

**AZƏRBAYCAN TƏHSİL NAZİRLİYİ**

Azərbaycan Texniki Universiteti

Elektrik təchizatı və izolyasiya kafedası

Həsənov Qara əbdüləzim oğlu

“Elektrik stansiyalarının elektrik hissələri” fənnindən mühazirələr

*Təhsil nazirliyinin 10-11-2010 cu il tarixli 1448 Nö-li əmri ilə bakalavr dərəcəli mühəndislər üçün təsdiq edilmiş fənn proqramı əsasında tərtib edilmişdir*

## Mündəricat

GİRİŞ Elektrik stansiyaları haqqında ümumi məlumat. . . . .	3
1 Keçiricilər, izolyatorlar, kabellər. . . . .	4
1.1 Hava xətt məfilləri. Mexaniki montaj və sınaqları . . . . .	5
1.2 Xətt və aparat izolyatorları . . . . .	6
1.3 Kabellərin konstruksiya xüsusiyyətləri. . . . .	9
1.4 Kabellərin elektrik izolyasiyası. . . . .	12
2.1 Energetik avadanlıqlarının rolu və əhəmiyyətinə görə təyinatları. . . . .	13
2.2 Stansiyalarda əsas avadanlıq və binaların komponovka və yerləşməsinin ümumi prinsipləri. . . . .	14
2.3 Elektrik enerjisindən istifadə. Elektrik enerjisinin keyfiyyəti . . . . .	15
2.4 Cərəyan keçiriciləri və elektrik aparatlarının istilik və elektrodinamiki dayanıqlığı. Coul inteqralı . . . . .	18
2.5 Oynaq və sərt naqilli cərəyan keçiricilərində elektrodinamiki qüvvələr . . . . .	19
2.6 Keçirici naqillərə yaxın məsafədəki tirlərə maqnit sahəsinin təsiri. . . . .	27
2.7 Keçirici və izolyasiya konstruksiyalarında istilik məsələləri. . . . .	22
3.1 Generatorlar və onların iş prinsipləri. . . . .	35
3.2 Generatorların soyudulması. . . . .	32
3.3 Generatorların paralel işlədilməsi . . . . .	38
3.3 Sinxron generatorların əsas parametrləri. . . . .	40
3.4 Təsirlənmə sistemləri . . . . .	41
3.5 Statik düzləndiricili öz-özünə təsirlənmə sistemləri. . . . .	42
4.1 Transformatorlar və avtotransformatorlar. . . . .	43
4.4 Elektrik stansiyalarının xüsusi sərfiyyat avadanlıqları	
5.2 Baş sxemlərin seçilməsi. Ümumi tələblər. Transformatorların yüklənmə xüsusiyyətləri . . . . .	61
6.2 Yüklə açarları. . . . .	60
6.4 Cərəyan ölçü transformatoru . . . . .	61
6.1 Qısa qapayıcılar və aralayıcılar Generatorlarda maqnit sahəsinin söndürülməsi . . . . .	62
6.3 Yüksək gərginlik şəbəkələrinin məxsusi tezlikləri. Yüksək gərginlik açarlarının idarə edilməsi və açma qabiliyyəti	
6.4 Gərginlik ölçü transformatorları	
6.7 Sabit gərginlik və cərəyan ölçü transformatorları	
7.1 Transformatorların sınaq üsulları	
8.5 Açarlarda elektrik prosesləri. Bərpa olunan keçid gərginlikləri	

## GİRİŞ

### Elektrik stansiyaları haqqında ümumi məlumat

Energetika çox ümumi anlayışdır. Cəmiyyət həmişə onun üzərində dayanır və inkişaf edir. Bu məvhum – istilik energetikası, atom enerjisi, təbiət, dəniz və okeanların qabarma hərəkət energetikası, cisim və maddələrin cazibə enerjisi, kimyəvi-bioloji energetika, insan və digər canlıların əzələlərinin energetikası və s. kimi növlərə malikdir. İnsan yaşayışı üçün ən faydalı və səmərəli olan elektrik energetikasıdır. Ona uyğun enerji növü isə elektrik enerjisidir.

Elektrik enerjisinin cəmiyyətə verdiyi inkişaf tərzini, onun asanlıqla istənilən məsafələrə nəql edilməsi, tətbiqinin universallığı, çox sayda güclərə bölünməsi və konsentrasiya edilərək toplanma qabiliyyəti, intensiv inkişafı və genişlənməsi ilə bağlıdır. Elektrik enerjisinin tətbiqində avtomatlaşmanın asan və geniş tətbiqi də onu əvəzsiz edir.

Elektrik enerjisi alınmasında işlədilən yanacaq və onun təsirlərinə görə fərqlənən, çox müxtəlif prinsiplərlə işləyən *elektrik stansiyalarında* hasil edilir.

Elektrik stansiyaları elektrik enerjisi və bəzən həm də istilik enerjisi istehsal edən sənaye müəssisəsidir. Təbii enerji mənbəinin yanacaq növündən asılı olaraq (qaz, maye, kömür, nüvə, və s. yanacaqlar) elektrik stansiyaları: - istilik, su, atom və istilik-elektrik kimi əsas sahələrə ayrılır. Onlar qısa olaraq - İES, İEM, SES, AES işarələnilir. Stansiyaların ayrı-ayrı tipləri üçün, ilkin yanacaq formasında olan enerjinin elektrik enerjisinə çevrilmə texnologiyası baş verir. Texnoloji sxem elektrik və istilik enerjisinin alınmasına uyğun olan əməliyyatların ardıcılığıdır. Enerji çeviriciləri və əməliyyatları yerinə yetirən maşınlar və əsas avadanlıqlar aşağıdakılardır: buxar qazanları (atom reaktorları), buxar, su, qaz turbinləri, elektrik generatorları. Texnoloji sxem həm də çoxlu sayda əlavə - sərfiyat avadanlıqlarını özündə birləşdirir.

Hər ölkənin energetika sahəsi onun iqtisadiyyatının əsasını təşkil edir. Çünki o, nəinki sənaye sahələrinin inkişafını, hətta cəmiyyəti bütün digər həyat fəaliyyətini canlandıran bir varlıqdır.

Köhnə Sovetlər ittifaqında istehsal edilən 235 QBT elektrik enerjisinin 4,2 QVt-1 (2 %-i) Azərbaycanın payına düşürdü. Bu rəqəm cənubi Qafqaz ölkələri içərisində birincilik demək idi. Hazırda həmin rəqəm bir az da artmışdır və üç qafqaz ölkəsi arasında ölkəmiz yenə də birincidir.

Elektrik stansiyalarının enerji hasilatının çox payı istilik elektrik stansiyalarına aiddir. İrəlində uzun illər bu nisbət dəyişməyəcəkdir. Atom nüvə reaksiyası ilə işləyən – istilik elektrik stansiyalarını nəzərə alıqda, onların enerji hasilatında xüsusi çəkisi daha da artacaqdır.

Azərbaycanda 4 böyük istilik elektrik stansiyası vardır: - Azərbaycan Döblət rayon elektrik stansiyası (DRES), Şirvan DRES və onun yenidən qurulan sistemləri, Sumqayıt istilik-elektrik stansiyası və Şimal DRES. 1980-ci illərdən başlayaraq bütün dünyada atom elektrik stansiyalarının (AES) tikintilərinə maraq artmışdır.

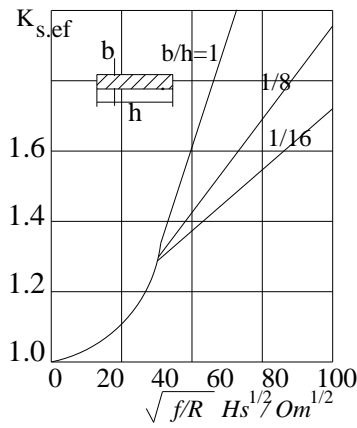
Elektrik stansiya və yarımstansiya qurğularına xidmətin: - operativ xidmət əməliyyatları və istehsal-texniki xidmət əlamətləri kimi iki qolu vardır. Operativ xidmətə aşağıdakılar daxildir: 1) maksimal qənaətlə, elektrik enerjisinin təyin edilmiş keyfiyyətini saxlamaqla, planlaşdırılan şəkildə elektrik və istilik enerjisinin alınmasında iştirak edən əsas avadanlığın rejimlərinin tənzimlənməsi; 2) əsas və yardımçı avadanlıqların vəziyyətinə nəzarət edilməsi və onların qeyri-normal iş rejimlərinin aradan qaldırılması; 3) rejim dəyişmələri və avadanlığın təmirə çıxarılması halında operativ çevirmə əməliyyatları; 4) qəzaların ləğv edilməsi.

Qabaqlayıcı-planlı təmirlərin aparılması, avadanlığın dəyişdirilməsi, texniki-iqtisadi göstəricilərin analizi, xidmət heyətinin fəaliyyətinin təhlili və qeydiyyatları sırf təsərrüfat məsələləri ilə yanaşı təsərrüfat-istehsalat xidmətlərinin kompetensiyasına daxildir. Operativ xidmətin təşkili ierarxiya prinsipi üzrə aparılır. Operativ idarə, rəhbərlik mərkəzi, dispetçer idarəsi (MDİ) və stansiya (yarımstansiya) əməliyyat qrupu vasitəi ilə həyata keçirilir.

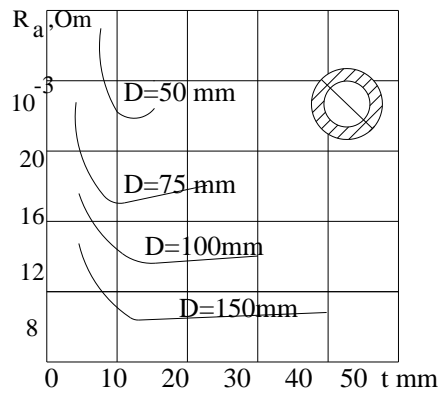
# 1 KEŞİRİCİLƏR, İZOLYATORLAR, KABELLƏR

İzolyasiyasız (çılpaq) sərt keçiricilərə şin deyilir. İqtisadi baxımdan şinlər ən çox Al-dan hazırlanır. Son zamanlar paylayıcı quruluşlarda mis şinlər də geniş istifadə edilir. Normal rejimdə keçiricidə cərəyanın sıxlığı EQQQ-də göstərilən iqtisadi cərəyan sıxlığına bərabər götürülməlidir (EQQQ cədvəl 18-2). Ona görə forması və en kəsiyinin ölçülərinə görə şinlər işçi cərəyanlara uyğun seçilir. Bu zaman səth effekti, QQ-da termik və dinamik dayanıqlıq da nəzərə alınır.

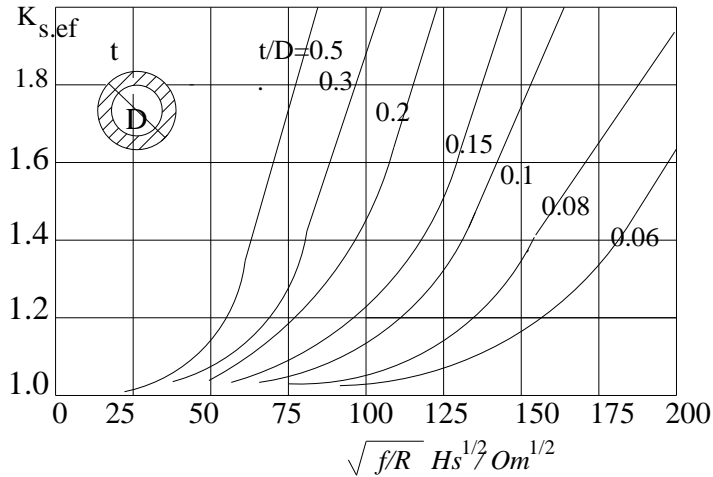
Səth effekti elektrik-mağnit təsiridir. Dəyişən cərəyanın səthə sıxlaşması hesabına yaranan bu effekt, şəbəkənin elektrik müqavimətini və güc itkilərini artırır. Tək naqilin aktiv  $R_a$  müqavimətinin, eyni temperaturdakı sabit cərəyana görə olan  $R$  müqavimətinə nisbəti səth effekti əmsalı adlanır:  $K_{s.ef} = R_a/R$ . Səth effekti əmsalı keçiricinin forması, en kəsik sahəsi və cərəyanın tezliyindən asılı olur şək.1.1, 1.2.



Şək.1.1 düzbucaqlı en kəsiyində olan şinlərin səth effekti əmsalı



Şək.1.2 Alüminium borunun aktiv müqavimətinin divar qalınlığından asılılığı

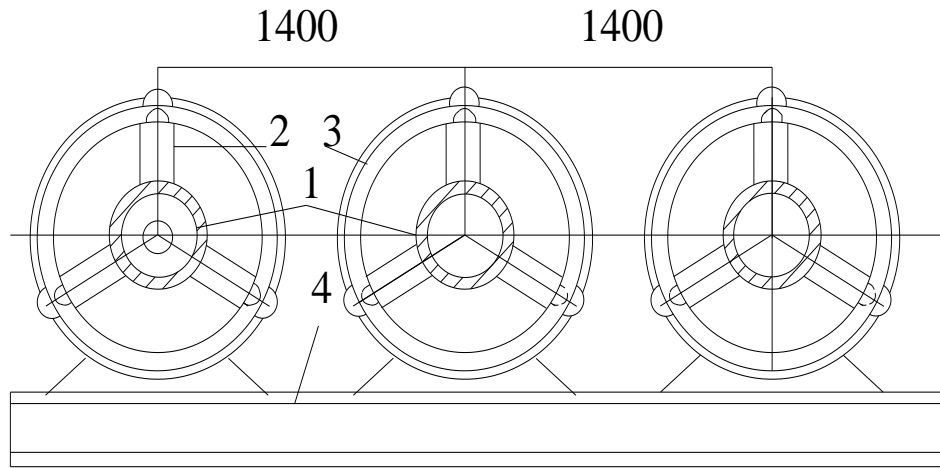


Şək.1.3 Dairəvi en kəsiyinə malik olan keçirici borularda səth effekti əmsalının dəyişmə əyriləri

Absiss oxunda  $(f/R)^{1/2}$ , ordinat oxunda  $K_{s.ef}$  əmsalının qiymətləri verilmişdir.  $R$ - uzunluğu 1000 m olan keçiricinin sabit cərəyandakı Omik müqavimətidir. Şəkillərdə  $b/h$  və  $t/D$  ölçü nisbətləri parametrlər kimi verilmişdir. Şəkillərdən görüldüyü kimi  $(f/R)^{1/2}$  artdıqca səth effekti

sürətlə artır.  $R$  müqaviməti  $s$  en kəsiyindən tərs mütənasib asılı olduğundan, en kəsiyinin artması ilə səth effektinin də artdığını söyləmək olar.  $b/h$  və  $t/D$  nisbətlərinin kiçik qiymətlərində səth effekti də azalmış olur. Bütöv en kəsiyində olan keçiricilərdə səth effekti, içi boş keçiricilərdən daha çox olur. Məsələn,  $t/D=0,1$  nisbətində, diametri 60 mm bütöv alimium keçiricinin səth effekti, diametri 100 mm olan borunun Omik müqavimətləri və en kəsikləri eynidir və  $28,3 \text{ sm}^2$ -na bərabərdir. Uyğun olaraq, onların sabit cərəyana olan müqavimətləri və  $(f/R)^{1/2}$  nisbətləri də eyni olacaqdır - ( $R=0,01255 \text{ Om}$  və  $(f/R)^{1/2}=63,8 \text{ Hs}^{1/2}/\text{Om}^{1/2}$ ). Lakin şəkl.1.3 –dən birinci keçirici üçün  $(f/R)^{1/2}=63,8 \text{ Hs}^{1/2}/\text{Om}^{1/2}$  qiymətində səth effekti əmsalı 1,375, ikinci halda isə 1,025 olur. Deməli, verilmiş ölçülü borunun aktiv müqaviməti, bütöv en kəsiyində olan keçiricinin müqavimətindən 25% kiçikdir.

Şəkil 1.2-dən görüldüyü kimi, diametri 50 mm-dən 150 mm-ə kimi dəyişən alimium borunun aktiv müqavimətinin borunun divar qalınlığından asılılığı, qalınlıq artdıqca müqavimətin kəskin azalmasına səbəb olur. Lakin borunun diametrinin müəyyən qiymətindən sonra qalınlığının artması müqavimətin nəinki azalmasına, hətta bir qədər artmasına səbəb olur. Bu səth effektinin artımı ilə izah edilir.



Şəkl.1.4 Generatorun çıxış şinlərinin sxemi 1-şinlər , izolyator, metal mühafizə borusu, 4-oturacaq ( metal tirlər)

50 Hs tezliklərdə, boru şəkilində olan alimium keçiricinin kritik qalınlığı 20mm, mis keçiricinin kritik qalınlığı isə 14 mm –dir.

Səth effektinin nəzərə alınması ilə böyük güclü generatorların çıxış şinlərini şəkl.1.4-də göstəriləndiyi kimi dairəvi en kəsiyinə malik olan formada və metal ekranla qapanmış şəkildə hazırlayırlar.

### 1.1 Hava xətt məftilləri. Mexaniki montaj və sınaqları

Elektrik və istilik enerjilərini, enerji sistemləri və yerli istehlakçılara ötürmək üçün lazımı qədər elektrik veriliş hava və kabel xəttləri və istilik trasları - məqstrallarının olması vacibdir. Yüksək gərginlikli elektrik veriliş xətt məftilləri alimium keçirici və polad içlikdən ibarət olur. Məftillər AC (alimium keçirici-polad özək, içlik) hərfi ilə markalanırlar: A 16, A 25, AC 35/6, AC 50/7, AC 70/13, AC 95/16 və s. Yüksək mexaniki qüvvə tələb olunan yerlərdə və ətraf mühitin aqressiv aşındırıcı təsirlərinə qarşı davamlılıq üçün (məftillər aralığına korroziyaya davamlı sürtkü yağ çəkilmiş) ACKP 95/19, ACKP 120/23, ACKP 150/25 və s. markalı hava xətt məftilləri istifadə edilir. Çox nadir hallarda hava xəttlərində mis naqillərdən də istifadə edilir.

Markalanmada kəsrin surətindəki rəqəm alimium keçirici, məxrəcindəki rəqəm isə polad içliyin en kəsiklərinin  $\text{mm}^2$ -la qiymətlərini göstərir.

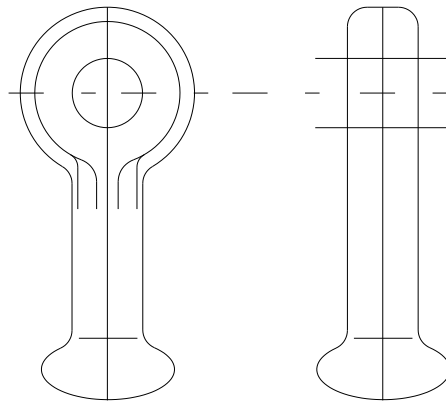
Hava xətt məftillərinin sınaqları: - məftillərin mexaniki və elektrik xassələrinin təyin olunması üçün iki hissədən ibarət olur. Sınaqlarda ayrıca məftillərin ağırlığı, ölçüsü, polad içliyin sink örtüyünün qalınlığı da yoxlanılır. Bu zaman aşağıdakı sınaqlar aparılır:

- 1- Məftilin qırılmaya davamlılığını yoxlamaq üçün sınaqlar – polad qarışıq Al məftilin dartılması zamanı 1%-li uzanma ilə təyin edilir. Məftilin bu yükə davamlı olub-olmadığını təyin etmək üçün, Al məftilləri tək-tək qırılana qədər dartır, polad içliyi isə 1% uzanana qədər dartırlar. Alınmış bütün qüvvələri toplayaraq mexaniki möhkəmlik üçün ümumi nəticəni alırlar.
- 2- Birləşmə yerinin sınaqları aparıldıqda: - bir birləşməsi olan 50 sm uzunluğunda qalvanik polad məftilə soyuq çəkmə üsulu ilə qırıcı dartı qüvvəsi tətbiq edilir. Yoxlanılan qırılmaya qarşı davamlılıq üçün sınaq nəticəsi 1%-li uzanmaya lazım olan qüvvənin 96%-in dən az olmamalıdır.
- 3- xüsusi müqavimətin ( $\rho$ ) sınaqları: - müqaviməti 1 Om-dan kiçik olan nümunələrdə Kelvin körpü sxemi ilə aparılır. 1 Om-dan böyük olan hallarda Uatson körpü sxemi istifadə edilir. Alınan nəticələrə görə aşağıdakı hesablatlar aparılır:

$$\rho = \frac{1}{d} \left( \frac{R}{l_2} \cdot \frac{M}{l} \right)$$

burada  $\rho$  -  $20^0$  C –də xüsusi müqavimətdir (AL üçün -  $0,294 \mu$  Om m),  $R$  -  $20^0$  C –də ölçülən sınaq nümunəsinin Om-la müqaviməti,  $M$ - sınaq olunan nümunənin qramlarla ağırlığı,  $d$  nümunənin  $qr/sm^3$  – la xüsusi çəkisi,  $l$  –sınaq nümunəsinin uzunluğu,  $l_2$  – birləşdirici naqillərin uzunluğudur. Bu ifadə ilə hesablanan xüsusi müqavimətin qiyməti 10 - 20 % xəta ilə alınır.

Xətt məftillərinin izolyatorlara, izolyatorların traverslərə montaj edilməsi üçün asqılar (serqi-CP Rusca) şəkl.1.5 və montaj qulaqları (Uşko-Rusca) istifadə edilir şəkl.1.6.

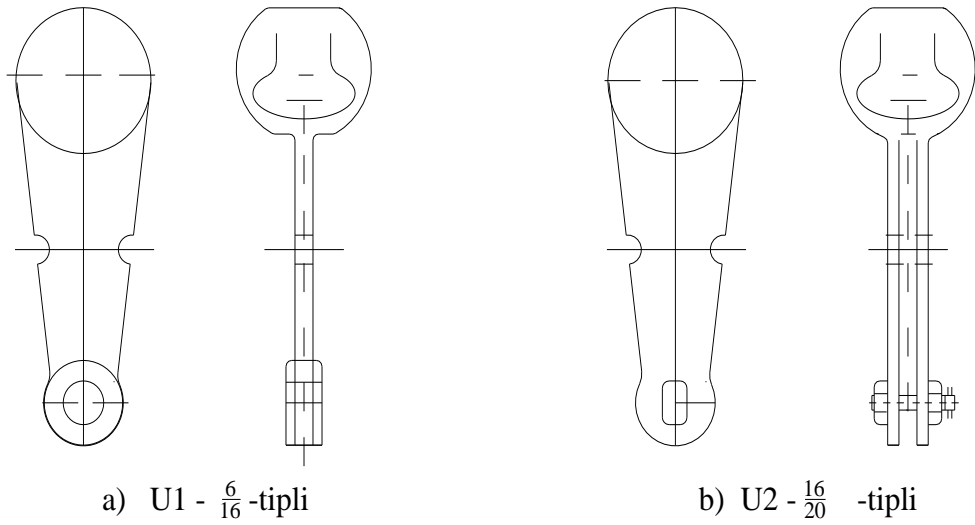


Asqı- tipi CP 6/16 - 30/24

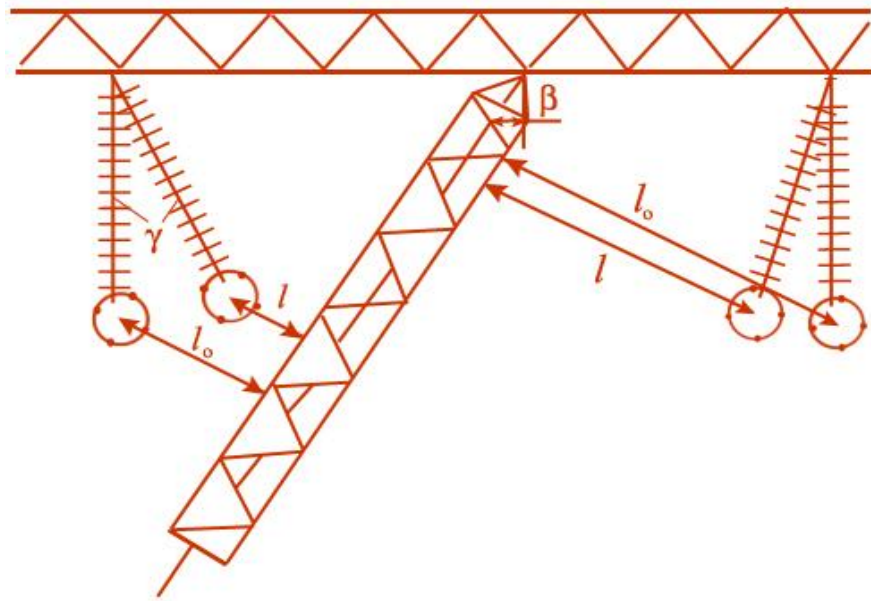
*Şəkl.1.5 asqı montaj elementi, şəkildə verilmiş marka tipi kəsrin surətində verilən rəqəm minimal dağıdıcı qüvvə, məxrəcdəki rəqəm isə izolyatorun mm-lə diametrini ifadə edir:məsələn, 6-6000 kq qüvvəni, 16 –izolyatorun diametrinin 16 mm olduğunu göstərir.*

Xətlərin montajı zamanı izolyator və məftillərin zincirlənməsində asqılarla yanaşı qulaqcıqlar da istifadə edilir. Qulaqcıqlar tək dəstəkli və iki dəstəkli olurlar şəkl.1.6 a) və b). Asqılar kimi markalanan qulaqların da kəsr ifadələrinin surətində çubuğun mexaniki möhkəmliyini göstərən minimal dağıdıcı yükün  $kq \cdot qüvvə$  ilə qiyməti, məxrəcdə isə dəstəyin diametri mm-lə verilir. Məsələn, Y2 30/24 – iki dəstəkli qulaq, 30000  $kq \cdot qüvvə$ , 24 mm

dəstəklərin birinin diametri; Y1 20/12 – bir dəstəkli qulaq, 20000 kq·qüvvə, 12 mm dəstəyin diametri və CP 6/16 – 16 mm-lik asqı, dağıdıcı mexaniki qüvvə 6000 kq·qüvvə -dir.



Şək.1.6 tək dəstəkli və iki dəstəkli montaj qulaqları



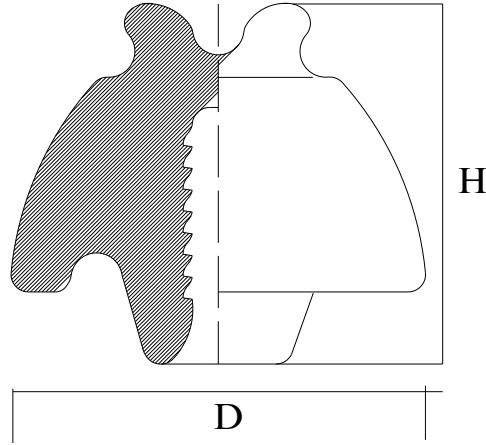
Şəkil 1.7 Asılan məftil-dayaq arası məsafənin hesabına aid sxem.

Yarımstansiya qurğularının paylayıcı şkaflarında açar, ayırıcı, cərəyan və gərginlik ölçü transformatorlarını birləşdirmək üçün mis və ya alüminium şinlər istifadə edilir.

## 1.2 Xətt və aparat izolyatorları

Yüksək gərginlikli EVX, stansiya və yarımstansiyalarda keçirici elementlərlə yanaşı izolyasiya elementləri və izolyator konstruksiyaları istifadə edilir. 6(10) kV hava xətlərində sadə ştrli izolyatorlar istifadə edilir şək.1.8.

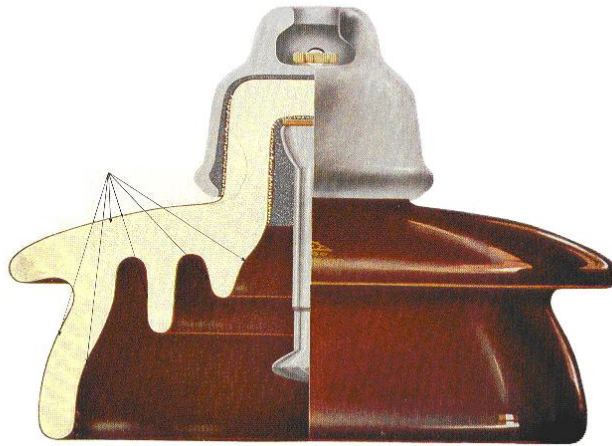
Yivli oxa taxılan və asma izolyatorlar, ГОСТ-a görə (ŞF)  $III\Phi$  və ya (ŞS)  $III C$ ; (PF)  $II\Phi$  və ya (PS)  $II C$ , (PSQ)  $II C T$  xətt izolyatorları, VDE, TSE, BS standartına görə tiplər, müxtəlif cür markalanırlar. Avropada polad ştrə taxılan izolyatorlara – PIN tip izolyator deyilir. İzolyatorun içərisində olan yivli yuvanın diametri 20 mm-dir.



Şəkil 1.8 Şırlı taxma izolyator (PIN tip izolyator (PS-12-A))

Xətt izolyatorları 35 kV və daha yüksək gərginliklərdə biri-birindən zəncir şəkilli asılmış salxımdan ibarətdir. F6-B-tip asma xətt izolyatorlarının nümunəsi şəkil 1.9-da göstərilmişdir. Bir sıra ölkələrdə xüsusi gücləndirilmiş şüşə izolyatorlar hazırlanır. İzolyatorların elektrik gücləndirilməsi sızma yolunun, izolyatorun hündürlüyünə olan nisbəti ilə təyin edilir: -  $L_{sız}/H$ . İstehsal müəssisələrində HX, dartı girlyanda zəncirəsi və YS partal dayaqları üçün ölçülər nisbəti  $L_{sız}/H \approx 2.2 \div 3$  qiymətlərində dəyişir.

İzolyatorlar Rus standartlarına görə DÜİST 6490 - PSQ6-A, İngilis standartları BS-147, Alman - VDE 0446 standartlarına görə GA-500 HG və GA-500 MG ilə markalanırlar.



Şəkil.1.9 Asma xətt izolyatoru (farfor)

Zəncirə yığılan izolyatorların yüksəkliyi və sızma yolunun boyuna görə, işçi gərginliyə müəyyən sayda izolyator olmalıdır. İşçi gərginliklərdə etibarlı istismar şərtləri üçün zəncirə yığılmış bütün izolyatorların sızma yolunun cəm uzunluğu aşağıdakı kimi hesablanır:

$$L_{sız} \geq K \lambda_{ef} U_{ən \text{ böyük işçi}} \text{ və izolyatorların sayı: } - n = L_{sız}/L_{sız1} \text{ olur.}$$

Burada  $\lambda_{ef}$  - xüsusi effektiv sızma yoludur, sm/kV – la göstərilir cədvəl 1.1, K- şəbəkədə nominal gərginliyin dəyişmə əmsəlidir (1,05 – 1,2) arasında qiymətlər alır.

Nəmliyin artması ilə sızma cərəyanı artır və izolyatorun səthində quruma baş verir. Lakin quruma bütün səthi bürüyə bilmir və ayrı-ayrı ləkələr şəkilində olur. Bu zaman həmin qurumuş ləkələrin üzərindən sıçrayan boşalmalar “səthi qismi boşalmalar” müşahidə edilir. Yaranan



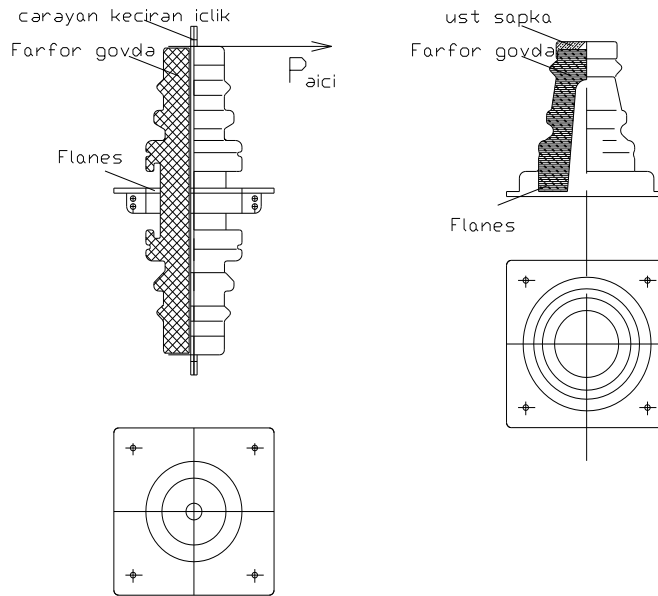
boşalma qılgılımlarının müqavimətləri azalır və sızma cərəyanlarının yolunda ardıcıl yerləşmiş (qurumamış) hissələrdə onun qiyməti yenidən artır. Bu qayda ilə, nəmlənmiş və çirklənmiş izolyator səthində qismi səth boşalmaları inkişaf edir. Müəyyən çirklənmə və nəmlənmə şərtlərində bu boşalmalar bütöv izolyasiya zəncirini bürüyərək xəttin açılmasına səbəb ola bilər.

35 -750 kV-luq asma izolyator zənciri və açıq paylayıcı qurğularda xüsusi effektiv sızma- $\lambda_{ef}$  yolu üçün normativ qiymətlər cədvəli

Cədvəl 1.1.

Atmosfer çirklənmə dərəcəsi	$\lambda_{ef}$ , effektiv sızma yolu, sm/kV Hava xəttləri üçün,			Açıq paylayıcı qurğular, kV	
	35	110- 220	330- 750	35	110- 750
I	1.7	1.3	1.3	1.7	1.5
II	1.9	1.6	1.5	1.7	1.5
III	2.25	1.9	1.8	2.25	1.8
IV	2.6	2.25	2.25	2.6	2.25
V	3.5	3.0	3.0	3.5	3.0
VI	4.0	3.5	3.5	4.0	3.5

Nəmlənmənin ilk anlarında izolyasiyanın səthində gərginlik paylanamsı xətti olur. Nəmlənmə təsirindən artan sızma cərəyan itkiləri izolyasiyanın səthini qurudur. Quruma izolyasiya səthini bürüyür. Tez quruyan hissələrdə səth müqaviməti artır və gərginlik düşküsü çoxalır. İki nəmli parça arasında olan izolyasiya səthində qılgılımlı qövs yaranır. Ona görə izolyatorlara verilən formalar elə olmalıdır ki, onların həm çirklənməsi, həm də çirklənən səthin nəmlənməsi biricinsli olsun. Lakin mürəkkəb formaya malik olan izolyatorlarda bunu yaratmaq çətinidir. İzolyatorun konstruksiyalarında olan əmək və dairəvi qabırğalar buna yaxşı təsir edirlər. Çünki onlar  $L_{sız}/H$  nisbətini xeyli dəyişdirirlər. Nəticədə sızma cərəyanlarının yolu artır, izolyatorlarda islanmayan və yağmurdan qorunan gizli əmək altı çıxıntılar əmələ gəlir. Bu hissələrdə izolyatorun hündürlüyə düşən tutumları da artır. Nəticədə həmin yerdə gərginlik azalmış olur.



Şəkil 1.10 6(10)kV yarımstansiyalarda istifadə olunan keçid və dayaq izolyatorları

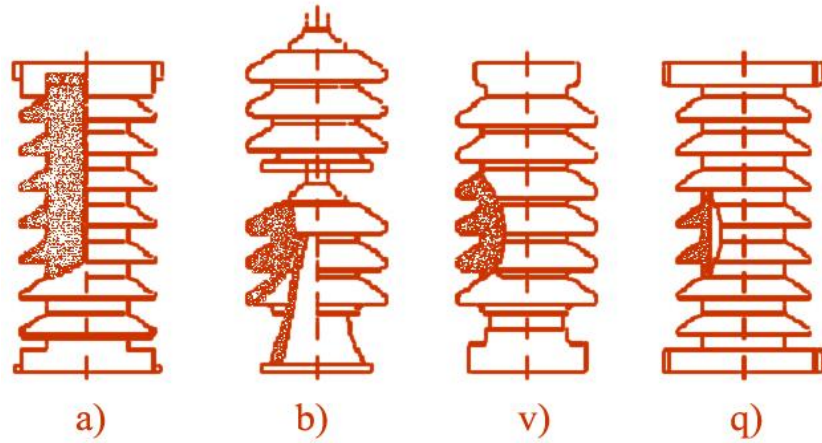
Xəttlərin yarımstansiyalara girişi və montajı üçün keçid və dayaq izolyatorları istifadə edilir, şəkil 1.10. Keçid izolyatorları, xətt gərginliklərini yarımstansiya binasının divarından içəri

keçirmək üçün tətbiq edilir. Sonra xətt girişləri divarda və ya xüsusi estakadalarda (Şin körpülərində) montaj edilmiş dayaq izolyatorları vasitəsi ilə paylayıcı qurğulara, oradan isə yenə şinlərlə transformator yuvasına verilir. Transformator girişində yenidən keçid izolyatorları vasitəsi ilə gərginlik transformator dolaqlarına verilir.

Keçid və dayaq izolyatorlarının elektrik və mexaniki möhkəmlikləri açıq atmosferdə işləyən hissələr üçün eyni elektrik və mexaniki möhkəmliklərə malik olmalıdırlar. Keçid izolyatorlarının dayaq izolyatorlarından fərqi onlarda bina və ya aparatın daxilində işləyən hissənin olmasıdır.

6(10) kV-luq keçid izolyatorlarının daxilində keçirici içliklə farfor gövdə arasında 3-5 mm məsafə qalır. Həmin aralıqda temperatur dəyişmələrindən kondensat və su buxarları yarandıqda izolyatorun daxilində qövs qapanması baş verə bilər. Ona görə 6(10) kV keçid izolyatorlarının daxili silindrik səthinə sadə üsulla keçə materialı çəkilir.

35 kV və daha yüksək gərginlikli keçid izolyatorları isə, xüsusi yağ-kağız və ya bakelit tərkibli daxili izolyasiyaya malik olurlar. 110 kv daha böyük gərginlikli keçid izolyatorlarının daxilinə əlavə olaraq 4 atm-ə yaxın təzyiqdə yağ doldurulur. Təzyiqin qiymətinə izolyatorun torpaqlanmış oturacağına bərkidilmiş manometr vasitəsi ilə nəzarət edilir.



*Şək.1.11 Dəyək izolyatorlarının növləri a) bütöv gövdəli tək uzun gövdəli (çubuq şəkilli) farfor izolyator; b) xarici tip (Rus markası OHIII-35kV) iki izolyatordan ibarət izolyator sütunu; c) müxtəlif izolyator ədəklərinin yapışdırılması ilə alınmış müxtəlif izolyator ədəklərinin yapışdırılması ilə alınmış "Multikon" konstruksiya, d) içi silindrik boşluq şəkilində olan dayaq izolyatoru*

Gərginliyi 110 kV və daha böyük olan yüksək gərginlikli dayaq və keçid izolyatorlarında izolyasiya sisteminin elektrik möhkəmliyinin artırılması və taclanma gərginliklərinin ləğv edilməsi məqsədi ilə, elektrik sahə gərginliklərini tənzimləmək lazımdır. 35 kv-a qədər gərginliklərdə bu məqsədlə sadə boşalma aralıqları kimi üsullardan istifadə edilir. O cümlədən konstruksiyaya müxtəlif formalar verməklə və ya daxilə sadə ekran örtükləri tətbiq etməklə ESG-ni tənzimləmək olar.

Hazırda bir sıra ölkələrdə (Rusiya, Kanada və s.) dəyişən gərginlikli HX-i vasitəsi ilə 500-1200 km məsafəyə ötürülən güc 2500-4000 MVt-a, gərginlik isə 750-1150 kV-a qədər artırılmışdır.

Ölkəmizdə ən böyük enerji daşıyıcı xəttin uzunluğu 270 km, gərginliyi 330-500 kV, gücü isə 600-800 MVt dır.

Sabit gərginliklərlə enerji ötürmələrinin müsbət tərəfi sabit cərəyan təsiri ilə elektrik izolyasiyasının, kommutasiya aparatlarının işlərinin yaxşılaşdırılması, güc, cərəyan və gərginliyin sabilliyinin saxlanmasıdır. Sabit cərəyan şəbəkələrində sinxron işləmə və fəzlaşdırılma problemləri yoxdur. Sabit cərəyanla enerji ötürmələrində daha böyük gərginlik

tətbiq etmək mümkündür (məsələn-1200 kV). Bu ötürmələrdə meydana çıxan problemlər isə yalnız çevirici qurğularla əlaqədardır.

12 fazlı inverter, kompaund qurğuları, cərəyan və gərginlik tənzimləyiciləri, xüsusi avtomatika və rele mühafizə qurğularının olması ötürmələrdə etibarlılığı azaldır. Aralıqda sabit cərəyanın dəyişən cərəyana çevrilməsi üçün olan inversiya qurğusu olmadığından sabit cərəyan ötürmələrində ara məsafələrdə xətt məfillindən güc alınması mümkün deyildir.

### 1.3 Elektrik veriliş xətt məfillərində istilik itkiləri

Elektrik veriliş xətt (EVX) məfillərinin ən kəsiyi ötürülən nominal cərəyana görə hesablanır. Bu zaman bütün keçiricilərdə olduğu kimi  $I^2 R_t$  Coul itkiləri baş verir. Bu itkilər istiliyə çevrilərək ətrafa yayılır. Al və mis yaxşı istilik keçirici olduqlarından yaranan itkilər onların səthindən hava axını ilə ətrafa ötürülür. Nominal cərəyan keçdikcə bu istilik həmişə yaranır və ətrafa ötürülür. Bu zaman ayrılan istilik hesabına müqavimət və gərginlik düşkünləri də artır, şəbəkənin faydalı işinə zərər verir.

Nominal gərginliyin artırılması ilə xətt məfillərinin elektrik sahə gərginliyi artır. Məftil arasında olan sahə gərginliyi hava qatını ionlaşdırır. Bu zaman işıqlanma, qısa məsafələrdə boşalmalar şəkilində, məftil yaxınlığında “toplanmış” taclanma baş verir. Tac boşalmasının tolandığı məftil əhatəsinə “taclanma qilafı” deyilir. Taclanma avadanlığın quraşdırıldığı yüksəklikdən başqa, nəmli və çiskinli hava şəraitində də xeyli intensivləşir və daha aşağı sahə gərginliyində baş verir.

Qeyd etmək lazımdır ki, taclanma itkiləri xəttin yük cərəyanından asılı deyildir. Taclanma qığılcımlı boşalma olduğu üçün enerji və istilik itkilərinə səbəb olur. Taclanmada yaranan illik itkilər, məftillərin qızmasına sərf olunan itkilərin 40 %-ni təşkil edir. Onlar EVX-nın texniki-iqtisadi xarakteristikalarına əhəmiyyətli dərəcədə təsir edirlər. Taclanma itkilərini təyin etmək üçün, müxtəlif hava şəraitlərində alınmış ümumiləşmiş xarakteristikalarından istifadə edilir. Hesabatlarda dörd cür hava şəraiti nəzərə alınır:- yaxşı hava (yağışsız), quru qar, yağış və ya sulu qar, don, buz, qırov. Hava xətti boyu meteoroloji şəraitə görə havanın müxtəlif şərtləri, onların illik təqvimdə orta statistik davam etmə saatları:  $h_y$  hava,  $h_{qhav}$ ,  $h_{qq}$ ,  $h_d$ ,  $h_y$  və elektrik veriliş xəttində müxtəlif şəraitlərdəki güc itkiləri hesablanır. Hava şəraitindən asılı olaraq güc itkilərinin ən doğru texniki-iqtisadi hesablatları  $E_{max}/E_{\delta aq}=0,5-0,9$  olan qiymətlərində alınır.

Alınmış nəticələrə görə illik enerji itkiləri  $kVt \cdot saat/km$ -lə aşağıdakı kimi hesablanır:.

$$A_{tac} = N^2 \cdot r^2 \left( P_{yh} \cdot h_{yh} + P_{qhav} \cdot h_{qhav} + P_y \cdot h_y + P_{qq} \cdot h_{qq} + P_d \cdot h_d \right)$$

Burada N - üç fazda olan bütün məftillərin sayı, r- məftilin radiusudur.

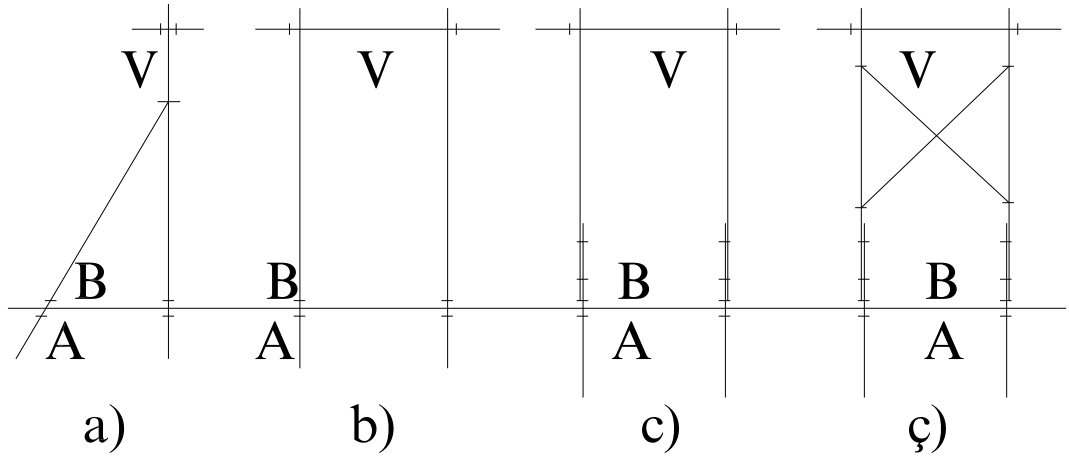
Normal hava şəraitlərində məftillərdə taclanmanın qarşısını almaq üçün onların diametri :  $d \geq 0,011U_{nom}$  olmalıdır.

### 1.5 Hava xətt dayaqaları

Elektrik stansiyaları və yarımstansiyaları yaxınlığında EBX istifadə edilir. Dayaqar məftillərin yer səthindən müəyyən hündürlükdə asılması və traverslərə bərkidilmiş izolyztorlar ilə yerdən, dayaqdan və başqa elementlərdən izolyasiya edilməsi üçün istifadə edilən əsas konstruksiyalardır. Dayaqar materialları, quruluşu, dövrələr sayı və işləmə xüsusiyyətlərinə görə fərqlənirlər:

1. Materiallarına görə dayaqar:- ağac, dəmir və dəmir-beton olurlar.
2. Konstruksiyalarına görə : oynaq, sərt, traversi bucaq altında dönən, dar və geniş oturmaqlı olurlar.
3. Dövrələr sayına görə:- tək dövrəli, iki və üç dövrəli olurlar.
4. İşləmə xüsusiyyətinə görə:-aralıq, anker, künc, sonluq, portal və xüsusi dayaqar olur. Əvvəlcə dayaqarın əhəmiyyəti və daşıdıqları yükə görə fərqlərinə baxmaq.

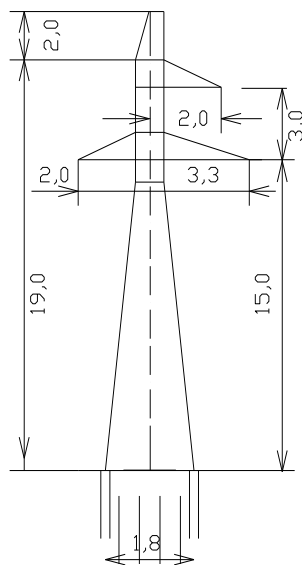
*Aralıq dayaqları*- onlardan, asma və ya ştira taxılan izolyatorlar vasitəsi ilə xətt məftilləri montaj edilir. Şəkillərdə 35-110 kV-luq ağac və metal dayaqların ümumi görünüşləri verilmişdir.



Şək.1.12 ağac dayaqların ümumi görünüşü və tipləri, V-travers, A-yer altı, B-yer üstü hissələr.  
a) A tip, b) II tip, c) beton oturacaqlı II tip, ç) çarpaz bağlı və beton oturacaqlı II tip,

Ağac dayaqların traversləri izolyasiya xassəsinə malik olduğundan, asma izolyatorlara düşən gərginlik payı azalır və izolyator zənciri etibarlı işləyir. Xüsusi ilə ildırım impulsları təsir etdikdə, ağac traversin 1 m uzunluğu 100 kV gərginliyə davam gətirir.

35 kV-luq, П35-1 markalı AC 150 və ya aşağı en kəsikli məftil üçün standart metal dayaq şək.1.13-də verilmişdir. 220 kV-luq П220-3 markalı ACO 400 -ə qədər məftillər üçün standart metal dayaq şək.1.15 verilmişdir. Buz yükündən asılı olaraq bu dayqlarda çəkilən məftillər ACO 150 və ACO 400 dən böyük ola bilməz.



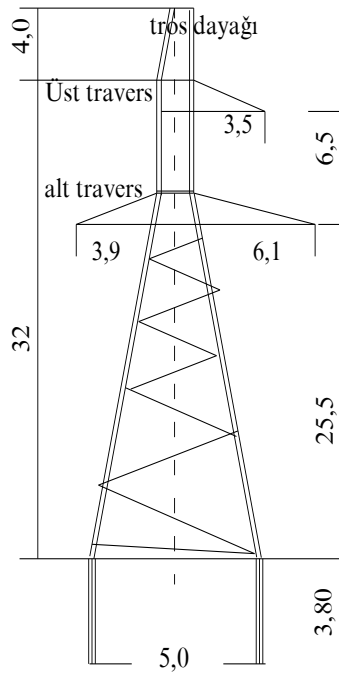
Şək. 1.13 П35-1 tipli dayaqın konstruksiyası və ölçüləri, çəkisi 1,53 tn

*Anker dayaqqlar* bir tərəfli xətt çəkilişinə mexaniki davamlı olan, möhkəm dayaqlardır. Onlarda izolyatorlar yan tərəflərə dartılmış vəziyyətdə montaj edirlər. Xətt istiqamətində dartılmış izolyatorlara xətt məfilləri şleyflər ilə birləşdirilir.

*Künc və sonluq dayaqqları* açıq paylayıcı quruluşa son girişlərdə, döngələrdə və künclərdə istifadə edirlər. Sonluq dayaqqları birtərəfli anker dayaqqları kimi xüsusi möhkəmliyə malikdirlər.

*Bucaq dayaqqları* yükəsk gərginlikli hava xətlərinin trasında müəyyən bucaq altında ( $90^0$ -dən böyük olan) lazımi dönüşləri istiqamətləndirmək üçündür.

220 kV tək dövrəli dayağın ümumi görünüşü və ölçüləri şəkil 1.14 –də verilmişdir. Dayaq ağır iqlim şərtləri və küləyin təzyiqinə davam gətirir.



Şəkil 1.14 II220-3tipli dayağın konstruksiyası və ölçüləri, çəkisi 4,85 tn.

## 2.1 Hava xətlərinin parametrləri

Xətt parametrləri ötürülən güc, məsafə, açılıb qoşulmada şəbəkənin bərpa olunan keçid gərginlikləri (BKG) və digər xüsusiyyətlərindən asılı olaraq seçilir.

Dəyişən gərginlik hava və kabel xətləri bir tərəfdən yarımstansiya avadanlıqları, digər tərəfdən işlədiciyə birləşdirilərək şəbəkə yaradırlar. Məlumdur ki, ayrı-ayrılıqda elektrik veriliş hava və kabel xətlərinin müxtəlif variantlarının seçilməsində, hər birinin öz xüsusiyyətləri ilə bağlı olan amillər əsas götürülür. Hava xətlərinin nominal gərginlikləri  $U_{nom}$ , ötürülən güc  $P$  və məsafə  $L$  arasında optimallaşma şərti və asılılığı vardır. HX-də nominal gərginliyin seçilməsinin texniki-iqtisadi kriteriyası mövcuddur. Ona görə, nominal güc, ötürülən güc və məsafə arasında aşağıdakı ifadələr tətbiq edilir: - a) 250 km uzunluqda və 60 MVt-a qədər güc üçün,

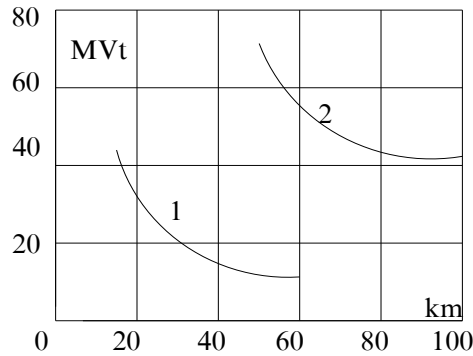
$U_{nom} = 4,34 \sqrt{L + 16 \cdot \frac{P}{n}}$  - istifadə edilən Ştill formulası; b) 60 MVt-dan böyük güc və 500 km-ə

qədər məsafə üçün Zalleski formulası,  $U_{nom} = \sqrt{\frac{P}{n} (100 + 15 \sqrt{L})}$  .c) Xətt və yarımstansiya

tikintisinin layihələrinə son zamanlar istifadə edilən ən ümumi hal olan İllarionov formulası:

$U_{nom} = \frac{1000}{\sqrt{500/L + 2500 \cdot n/P}}$ , Bu ifadədə,  $n$  - HX-i dövrlərinin sayıdır.

Şəkil. 1.15-də verilmiş ifadə ilə hesablanmış 35 və 110 kV gərginlikli elektrik ötürmələrinin texniki – iqtisadi cəhətdən əlverişli zonaları verilmişdir.



Şəkil 35 kV -1 əyrisi, 110 kV -2 əyrisi üçün güc verilişinin məsafədən asılılığı

Xəttlər elektrik stansiyalarında çevrilmiş yüksək gərginlikləri uzaq məsafələrə ötürür. Adətən iki sinif, uyğun çevirmələrə malik gərginliklər şkalası qəbul edilmişdir:-110/220, 220/500, 330/750, 500/1150 kV. Elektrik stansiyasında işləyən generatorları təqribən hər gərginlik sinfinə və mövsümə aid olan yük qrafikinə uyğun bölüşdürürlər. EVX – nin hesablanması üçün üçfazlı xətlərin uyğun tezliklərində düz və sıfır ardıcılıqlı dalğa müqavimətləri məlum olmalıdır.  $Z_1 = \sqrt{L_1/C_1}$  və  $Z_0 = \sqrt{L_0/C_0}$ , burada  $L_1$ ,  $L_0$  və  $C_1$ ,  $C_0$  düz və sıfır ardıcılıqlı induktivlik və tutumlardır.

İnduktivliklə yaranan müqavimət faza cərəyanı ilə meydana çıxan və induksiya EHQ-ni kompensasiya edən gərginlik düşküsü ilə təyin olunan parametrdir. Eyni zamanda, burada faza gərginlikləri ilə aktiv gücün qismi itkisi, reaktiv gücün isə generasiyası və artımı yaranır. Bir dövrəli xətt məfillərinin düz və sıfır ardıcılıqlı induktivlikləri aşağıdakı kimi hesablanır:

$$L_1 = \frac{L_{AA} + L_{BB} + L_{CC} - (M_{AB} + M_{AC} + M_{BC})}{3}$$

$$L_0 = \frac{L_{AA} + L_{BB} + L_{CC} + 2(M_{AB} + M_{AC} + M_{BC})}{3} \quad (3.7)$$

Burada  $L_{AA}$ ,  $L_{BB}$ ,  $L_{CC}$  – fazaların xüsusi induktivlikləri,  $M_{AB}$ ,  $M_{AC}$ ,  $M_{BC}$  isə fazalar arasındakı qarşılıqlı induktivliklərdir.

Vahid məsafəyə düşən xəttin 50 Hz tezliyə uyğun aktiv müqaviməti adətən hava xətt məfilləri və kabel damarlarının omik müqavimətinə bərabər götürülür. Səth effektinin təsiri bir qayda olaraq 300 mm<sup>2</sup>-dan böyük en kəsiklərində nəzərə alınır. Aktiv müqavimətin qiymətinə temperaturun təsiri daha çoxdur:  $r_v = r_0(1 + 0.004(v - 20))$ .

Karson nəzəriyyəsinə görə xətt məfillərinin “xətt-torpaq” ilgəyi üçün təşkil etdiyi induktiv müqaviməti, tezlik və torpağın xüsusi müqavimətindən asılı olaraq aşağıdakı kimi hesablanır:

$$z_x = r_m + \left( \pi^2 f + j29 f \cdot \ell g \frac{0.178}{\rho \sqrt{f \cdot \gamma 10^{-9}}} \right) \cdot 10^{-4}$$

Burada  $r_m$  –məftilin vahid məsafəyə düşən müqaviməti;  $f$ -xətt cərəyanının tezliyi;  $\rho$ -cərəyanın səth boyu yayıldığı (sıxlaşması) nəzərə almaqla məftilin ekvivalent radiusudur.  $\rho$  məsafəsi məftildə daxili maqnit sahəsini xarici maqnit sahəsinin təsiri ilə əvəz etdikdə hesablanır;-

aliminum-polad tərkibli hava xətt məftilləri üçün  $0.95 \cdot \rho_m$  götürülür;  $\gamma$  – qrunzun xüsusi keçiriciliyidir. 100 Om·m üçün  $10^{-2}$  Sim/m və ya  $10^{-4}$  Sim/sm-ə bərabər götürülür. Buradan standart  $f=50$  Hz tezliyi üçün iki məftilli xəttin vahid məsafəyə düşən poqon müqavimətidir -  $Z_x$ :

$$z_x = r_m + 0.05 + j \cdot 0.145 \cdot \lg \frac{D_t}{\rho}$$

Burada  $D_t$  –torpağın ekvivalent cərəyanının torpağın dərinliyindən keçən məsafəsidir. Bu məsafənin dərinliyi cərəyanın keçdiyi əks naqilin ekvivalent radiusuna bərabərdir:  $D_t = \frac{1.78}{\sqrt{f \cdot \gamma \cdot 10^{-9}}}$ . Qrunzun müqaviməti 100 Om·m və ya keçiriciliyi  $10^{-4}$

1/(Om·sm) olduğu halda  $D_t$  üçün  $\approx 800$  m məsafə alınır.

Məftillərin konstruksiyası, məftillər arası məsafə və şaxələndirmə radiusları, dayaqla yerləşmə qaydasından asılı olaraq verilən tezliklər üçün induktivlikləri hesabalamaq olar. Noraml rejimlərdə  $C_1$ ,  $C_0$  tutumlarının tezlikdən asılı olmadığını qəbul etdikdə onlar verilmiş konstruksiya və ölçü nisbətlərinə görə hesablanır. Deyilənlərə görə tutum keçiriciliyi üçün aşağıdakı ifadə yazılır:

$$b_c = \frac{7.58}{\lg \frac{D_{or}}{r_m}} \cdot 10^{-6} \text{ Sim / km}$$

Ümumiyyətlə tutum  $D_{or}$  və  $r_m$ -dən başqa, xətt məftillərinin yer səthindən olan hündürlüyü ilə də dəyişir. Yerdə faz məftillərinin yüklərinin güzgü əksini nəzərə aldıqda, aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$b_c = \frac{7.58}{\lg \frac{D_{or} \cdot H_x}{r_m \cdot H_y}} \cdot 10^{-6} \text{ Sim / km}$$

Burada  $H_x$  və  $H_y$  –uyğun olaraq xətt məftilinin asılma hündürlüyü və onun yerdəki güzgü əksinin orta hündürlüyü məsafələridir.

Təyin edilən ümumi tutum isə, güc və ölçü transformatorlarının, yüksək gərginlik avadanlıqları elementlərinin, açar, ayırıcı və PQ keçiricilərinin tutumlarından ibarətdir. Amerika standartları institutunun tədqimatlarına görə keçiricilər və yüksək gərginlikli elektrik avadanlıqlarının tutumu  $mkF$ -la aşağıdakı kimi hesablanır:  $C=159 \cdot I U^{0.48} \cdot 10^{-6}$ , burada  $I$  üçfazlı QQ cərəyanının təsiredici qiyməti,  $kA$ -lə,  $U$ - şəbəkənin xətt gərginliyidir,  $kV$ -lə. Həmin mənbələrə görə sıfır ardıcılıqlı ekvivalent tutum  $C_0=C_1/1,2$  kimi hesablanır.

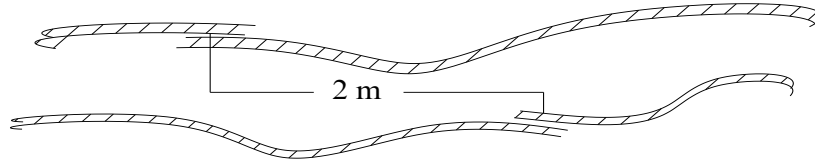
## 2.2 Kabellərin konstruksiya xüsusiyyətləri və parametrləri

Elektrik şəbəkələrində enerjinin, mənbədən nisbətən yaxında olan işlədiciyə ötürülməsi üçün, güc kabelləri istifadə edilir. Dəyişən gərginlikli HX-nə nisbətən yüksək gərginlikli kabel xəttləri az istifadə edilir. Texniki-iqtisadi səmərəsi üçün bu kabellər həm gərginliyin, həm də cərəyanın kifayət qədər yüksək gərginliklərinə hesablanır. Sənaye tezlikli dəyişən gərginlik kabelləri bir, üç və dörd ədəd cərəyan keçirici damarlardan ibarət olurlar. Güc kabelləri izolə edilmiş keçirici damarları, mühafizə örtüyü, yastı, dairəvi məftillər və lent şəkilli poladdan ibarət zireh konstruksiyalarından ibarətdir.

Kabellər elektrik qurğularına və ayrı-ayrı kabel uzunluqları biri-birinə birləşdirdikdə muftalar istifadə edilir. Muftalar elektrik enerji ötürülməsinin etibarlılığına bilavasitə təsir edən

və ən çox istifadə olunan, vacib izolyasiya və keçirici qovşaqdır. İki paralel kabel xəttinə birləşdirici mufta qoyulduqda onlar arasında, ən azı 2 m məsafə saxlanmalıdır şəkl.2.1.

KX xəttləri, kabel və kabel armaturları ilə qurulur. Kabel armaturları aşağıdakı 4 qrupa bölünür: a) binada və açıq atmosferdə montaj edilən kabellərin sonluq armaturları, b) kabellərin müxtəlif tikinti uzunluqları öz aralarında birləşdirən muftalar, c) kabel xətlərinin seksiyalaşdırılması və ya yağ saxlayıcı muftalar, d) kabel xətlərində yağın və ya qazın təzyiqini verilmiş həddlərdə saxlayan yüksək təzyiqliq armaturları.

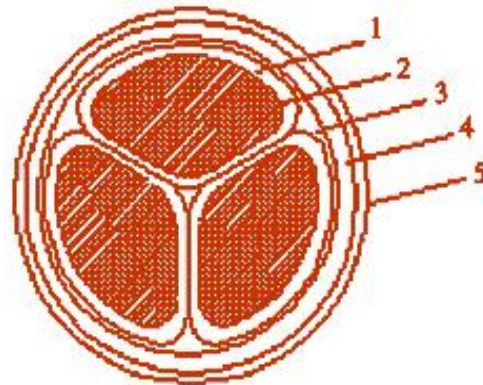


Muftalar arası məsafə

Şəkil 2.1 İki kabel xəttinin yanaşı muftalanma qaydası

Kabellər və onun elementləri bütövlükdə yüksək elastikliyə və çevikliyə malik olmalıdır. Bunun nəticəsində onlar asanlıqla barabanlara sarınıb-açılır, asan montaj edirlər. Daşınması rahat olur. Duru yağla soyudulan kabellərin çəkiliş trasında relyef fərqi olduqda yağın aşağı axmasını və müəyyən məsafələrdə yağın təzyiqini saxlamaq üçün yağ durdurucu mufta (seksiyalaşdırıcı) tətbiq edilir.

Şəkil 2.2 –də ənənəvi damar, damar və qurşaq izolyasiyaları, qılaf və digər elementlərdən ibarət olan 6-35 kV gərginlikli güc kabellərinin görünüşü verilmişdir. 35 kV-dan başlayaraq kabellərin damarları dairəvi en kəsiyinə malik olur. Bunun səbəbi damar ətrafı elektrik sahəsinin bərabər və səlis paylanmasıdır. Yüksüz rejimdə sabit elektrik sahəsində kabellərin işi, dəyişən gərginlik kabellərinin elektrik sahəsinə oxşardır. KX – də elektrik parametrləri əsasən tutum və keçiricilikdən ibarət sxem kimi götürülür.



Şəkil 2.2 Ənənəvi konstruksiyalı üç damarlı, 6-35 kV kabellər 1-damar izolyasiyası, 2 damar dolğu, 4-qurşaq izolyasiyası, 5-qılaf

Kabelin konstruksiyasından asılı olaraq örtüklərin tərkibində daxili yastıq, zireh örtüyü və xarici örtük kimi elementlər olur. İzolyasiyanın qalınlığı fazlar arası gərginliyə görə hesablanır.

Damarlar biri-birindən və yerdən xüsusi tərkibli dielektrik materiallarla izolə edirlər.



Onların təşkil etdiyi tutumlar 3 ədəd fəzlararası- $C_{fa}$  və hər bir damarla metal örtük arasında olan  $-C_0$  tutumlarının cəmi, aşağıdakı işçi tutum kimi hesablanır:

$$C_{işçi} = 3 \cdot C_{fa} + C_0$$

İzolə edilmiş damarlar bir yerdə burulduqdan sonra əlavə olaraq qurşaq izolyasiyası ilə sarınırlar. Qurşaq izolyasiyasının qalınlığı ümumi izolyasiyanın 0,73 - 0,75 nisbətini təşkil edir. Qurşaq izolyasiyasında, kabel damarından radial istiqamətdə yayılan ESG-yi, qismən tangensial (toxunan) istiqamət alır.

Hesabatlarda əvvəlcə təxmini olaraq verilən cərəyana və ya yükə görə kabellərin damarlarının en kəsiyi təyin edilir. Plastik və rezin izolyasiyalı kabellər üçün:

$$S = 0,02 \cdot I^{1,6}$$

Plastik izolyasiya amorf maddə olduğundan onların dəqiq ərimə temperaturu yoxdur. Onlar qızdırıldıqda yumşalır və tədricən əriyirlər. Belə kabellərin işçi temperaturası (70-80°C) kağız izolyasiyalı kabellərdən (50-65°C) böyük olur. Rezin izolyasiyalı kabellər isə, 65°C işçi temperaturasına malikdirlər. Aparılmış təxmini hesabatlarla, standartlara görə seçilən yaxın ölçülərin təyin edilməsi mümkün olmuşdur. Bu hesabatlara görə eyni cərəyan ötürülməsi şərtində kağız izolyasiyalı kabellərin damar en kəsiyi daha az olur. İstilik itkiləri və temperatur isə çox olur.

Son 30 ildə yeni kabel texnologiyası ilə TPE (XLPE) - tikilmiş polietilen izolyasiyalı, kabellərin istehsalına başlanmışdır. Ona görə çox bahalı və ağır istehsal texnologiyasına malik olan kağız izolyasiyalı kabelləri TPE kabellər əvəz edirlər. Quruluş dəyişməsi hesabına TPE kabellərin işçi temperaturası 90°C- qədər artmışdır.

Keçirici damarların ağırlığı, çəkiliş zamanı və ya barabana sarındığı zaman yaranan dartı qüvvələri kabellərin izolyasiyasına təsir edir, onun mexaniki gərilməsinə səbəb olur. Ona görə kabel izolyasiyasına çevikliklə yanaşı, yüksək mexaniki möhkəmlik də lazımdır.

Kabelin izolyasiyası və onun qalınlığı, onlarda deşilmə gərginliyinə qarşı olan elektrik möhkəmliklərinin, istismarda yarana bilən ən böyük təsir edici sahə gərginliyindən yüksək olması şərtidir.

Onların üzərindən metal (keçirici ekran) və ya plastik qılaf, zireh, mühafizə örtükləri və s. kimi konstruktiv elementlər çəkilir. Çəkilmə əlavə elementlər kabellərə müxtəlif təyinatlarda istifadə etməyə imkan verir. Məsələn, zirehlər ağır mexaniki şərtlərdə, ağır texnikanın intensiv hərəkəti olan yerlərdə, sualtı çəkilişlərdə, kimyəvi aqressiv mühitdə və s.-də lazım olan bir elementdir.

İki paralel çəkilməmiş tək damarlı TPE kabel arasında yaranan induktivlik aşağıdakı kimi hesablanı bilər:

$$L_{12} = \frac{\mu_0 \cdot \ell}{\pi} \cdot \left( \ln \frac{3 \cdot D}{\sigma} + \frac{1}{4} \right) \cdot 10^{-6} \text{ Hn / km}$$

Burada  $\sigma = 0,778 \cdot r_{dam}$ , əmsalı səth effektini nəzərə alan sahə daralmasını göstərir,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Hn/m}$  boşluğun maqnit nüfuzluluğudur,  $D$ - kabelin diametridir,  $\ell$ -paralel kabellərin uzunluğudur. İki paralel kabel xətti arasında məsafə ən azı  $2D$  götürüldüyündən,  $L_{12}$  ifadəsində kabellərin mərkəzləri nəzərə alınmaqla  $3 \cdot D$  hasili istifadə edilmişdir.



Şək.2.3 TPE (tikilmiş polietilen-XLPE) izolyasiyalı kabelin quruluşu və konstruksiya elementləri 1)keçirici damar, 2) izolyasiya, 3) yarım keçirici ekran, 4)keçirici ekran, 5) folqa sarğı, 6)xarici PVX şlanq mühafizə örtüyü.

TPE kabellərində dairəvi mis ekran məfilləri və onun üzərindən birləşdirici mis lent folqa sarınır. QQ rejimlərində folqa mis məfillər arasında birləşmə yaradaraq cərəyanın torpağa ötürülməsini asanlaşdırır şək.2.3. Bu kabellərin işçi tutumu damarla, keçirici ekran arasında, izolyasiyada yaranır:

$$C_{i\text{şşç}} = \frac{5.56 \cdot \varepsilon_d}{\ln \frac{D_{iz}}{r_{dam}}} \cdot 10^{-2} \text{ mkF / km}$$

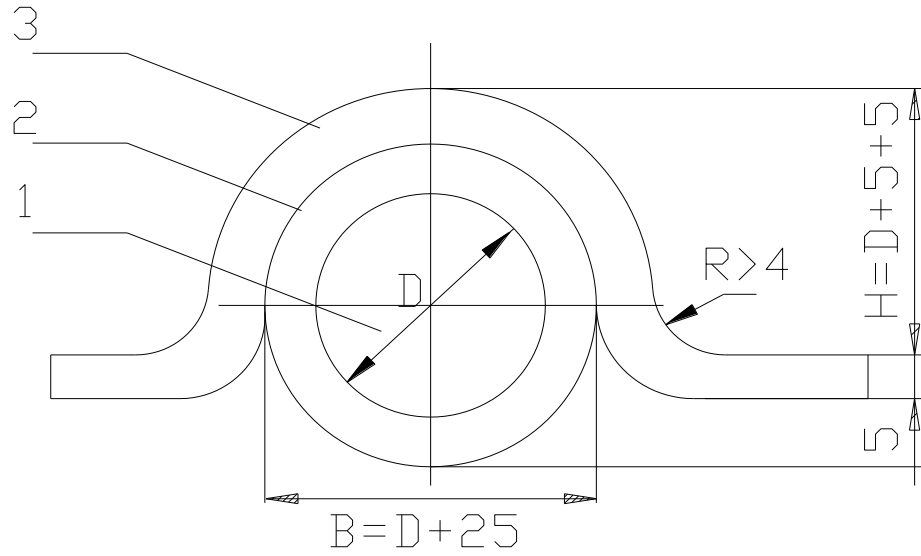
*Qilaf* kabel izolyasiyasının keyfiyyətini və yağın axmasını saxlayan, izolyasiyanın nəmlənməsinin qarşısını alan, tərkibin stabilliyini təmin edən bir konstruksiya elementidir.

Konstruksiyanın bu əsas elementləri ilə yanaşı kabellərdə əlavə *sıfır və torpaqlama naqilləri, doldurucu və kipləşdirici* kütlə, *ekranlar* və s. də olur. Dörd damarlı kabellərin əsas faz damarları sektor, dairəvi və seqment formalı ola bilər. Cərəyan keçirici damarların əsas funksiyası faz cərəyanlarını keçirmək və lazımı enerjini daşımağa xidmət edir. Sıfır damarlarından isə, fazlar qeyri bərabər yükləndiyi halda yaranan əsas faz cərəyanlarının fərqi keçir. Ona görə sıfır damarının en kəsiyi əsas damarların yarısına bərabər götürülür. Sıfır damarları cərəyan mənbəyinin neytralına birləşdirilir. Damarlarda olan tək telli məfillərin sayı və ölçüləri en kəsiyinə görə təyin edilir. Məsələn, en kəsiyi 25, 35, 50, 70 mm<sup>2</sup> olan damarlarda əvvəlcə 6 ədəd paralel məftil onların üzərindən isə, 12 ədəd bir qat burulmuş məftil çəkilir. En kəsiyi 95, 120 mm<sup>2</sup> olan damarlarda özəkdə 7 ədəd burulmuş məftil üzərindən isə 15 ədəd bir qat burulmuş məfillər gedir. 150 mm<sup>2</sup> və daha yüksək en kəsiyi olan damarlarda özəkdə yenə də 7 ədəd burulmuş məftil, ətrafda isə, iki qat burulmuş 15 ədəd məftil çəkilir. 95-120 mm<sup>2</sup> olan damarlarda xaricə çəkilmiş məfillərin en kəsiyi dəyişdirilə bilər. 150 mm<sup>2</sup> və böyük olan damarlarda isə məfillərin en kəsikləri dəyişmir.

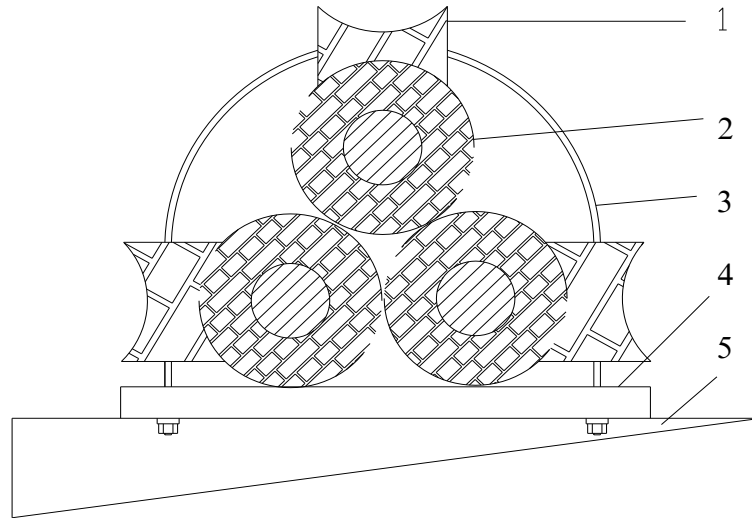
*Ekranlar* kabeldə elektrik sahəsinin bərabərləndirilməsi və elektromaqnit dalğalarının kabeldən çıxaraq, xarici dövrələrə göstərdiyi təsirləri aradan qaldırmaq üçün istifadə edilir. *Doldurucular* kabelin konstruktiv elementlərinin arasını dolduraraq, kabelə silindrik görünüş vermək, mexaniki möhkəmliyi artırmaq və hermetikliyi təmin etmək üçün istifadə edilir. *Qilaf*lar kabelin daxili elementlərini xarici təsirlərdən, kimyəvi aqressiv təsirlərdən və nəmlənmədən qoruyurlar. *Mühafizə örtükləri* kabel qilaflarını xarici təsirlərdən və nəmlənmədən qoruyur. 10-35 kV gərginlikli, qilaflı və zirehli kabellər montaj zamanı xəndəkdə diametrlərinin müəyyən misli qədər bir radiusla ( $R=15 \div 25D$ ) döndərilə bilər. Çünki daha kiçik radiuslarla döndərilməsində yağ-kağız izolyasiya sarğıları daxildə büzüşərək sıxlaşır, xarici səthində isə dartılaraq aralanır. Bu zaman Al və ya qurğuşun qilaf əyilmədə qatlanaraq büzüşürlər.

Kabellərin azan cərəyanlar yayılma zamanı, qrunt və ətraf mühitin zərərli korroziyalardan mühafizəsi EQQQ və DÜİST 9.015 və TSN (texniki sanitariya normaları) əsasən qoyulan tələblərə uyğun olmalıdır. TPE kabellər və armaturlarının montajında xüsusi armaturların olması lazımdır. Məsələn, onlarda xüsusi sıxaclar tətbiq edilir. Bunlar aparat sıxacları adlanırlar şək.2.6. Bu sıxaclar maqnit itkiləri və korroziyaya qarşı davamlı olan xüsusi Al ərintilərindən hazırlanırlar.

Şəkildən göründüyü kimi boltlu sıxaclar eninə və uzununa birləşdirilən və bir giriş, iki çıxış olmaqla fərqli konstruksiyalara malikdirlər. Onlar giriş diametrlərinə görə ПОД 26, ПОД 30 və ya ПОД 40 kimi markalanırlar. Kabelin metal konstruksiyalara montajı üçün də xüsusi Al xəlitəli tərkibə malik xamutlar istifadə edilir Şək. 2.4, və 2.5.



Şəkil 2.4 Kabelin metal konstruksiyaya montajı 1-kabel, 2-elastik araqatı, 3 sıxac-xamut



Şəkil 2.5 Kabellərin metal estakadaya üçlü klis qovşağı ilə bağlanması



Energy Division

High Voltage Connectors for  
145kV Outdoor Terminations



Şək.2.6 145 kV xarici birləşdirici "Tyco Electronics" aparat sıxaclarının görünüşü

## 2.2 Kabel və armaturların elektrik izolyasiyası

Güc kabellərində hopdurulmuş kağız izolyasiyası və müxtəlif plastmass tərkibli izolyasiyalar istifadə edilirlər. Üç damarlı kabellərin kağız izolyasiyası damar və qurşaq izolyasiyası şəkilində olur. Çox damarlı kabel izolyasiyasının qalınlığı izolyasiya materialının orta elektrik möhkəmliyinə görə təyin edilir. Məsələn, yağda hopdurulmuş kağız izolyasiyasının orta elektrik möhkəmliyi 10-12 kV/mm-dir. İzolyasiyanın elektrik möhkəmliyi artdıqca kabelin izolyasiya qalınlığını azaltmaq mümkün olur. Ona görə 10 kV ASB kabellərinin hər iki izolyasiya qatının birlikdə qalınlığı 4 mm-dən çox deyildir.

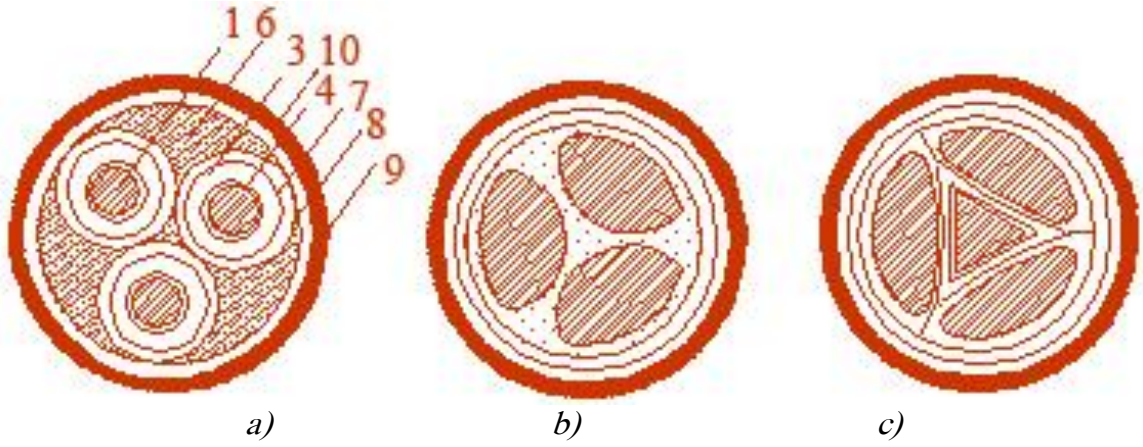
Hopdurucu yağın özülülük dərəcəsinə görə izolyasiya duru, orta və özülü qatlı və yağı tamamilə sıyrılmış (kasıblaşdırılmış), axmayan hopdurucu tərkiblərə malik olurlar. Hopdurulma əməliyyatında üstü tamamilə kasıblaşmış yağlı kağız izolyasiya, MII-3 markalı hopdurucu yağı kasıblaşdırılmış yağ-kanifol tərkibindən ibarətdir.

Qatı hopdurucu yağlar MII-3 markalı yağ-kanifol tərkibli mayedir. Bu KM-25 neft yağının tərkibində  $7,5 \pm 2,5\%$  kanifol,  $3 \pm 2\%$  mumsəkilli polietilen olur. Onlar markalanmada defisdən sonra B hərfi ilə göstərilirlər. Məsələn, ААШВ-Б. Belə kabellər vertikal və dik traslarda tətbiq edilirlər. İşçi temperaturası həddində axıcılığı olmayan hopdurucular serezin tərkibli hopduruculardır. Belə kabellər II hərfi ilə markalanırlar: - ЦАШВ, ЦАЖБ- 2JI və s.

10 kV sektor damarlı, kağız izolyasiyalı, qurğuşun qılafı ASB kabellərin 2,75 mm damar izolyasiyası, 1,25 mm qalınlığında qurşaq izolyasiyası vardır. 6 kV kabellərdə uyğun olaraq damar izolyasiyası 2 mm, qurşaq izolyasiyası 0,95 mm, 3 kV kabellərdə isə 1,35 mm qurşaq izolyasiyası 0.75 mm olur.

TPE izolyasiyalı kablərdə 6 kV - 4 mm, 10 kV - 6 mm, 35 kV isə - 9 mm, 110 kV - 17 mm izolyasiya qalınlığına malik olur.

İzolyasiyanın qalınlığı azaldıqca istilik ötürmə yaxşılaşır, buraxıla bilin cırıyanın qiyməti artır və kabel daha yüngül və çevik olur. Bu zaman həm də kabelin hazırlanmasına çəkilən xərclər, metal qılaf, zireh və mühafizə örtüyü üçün olan material sərfiyyatı da azalmış olur.



Şəkil 2.8 Güc kablərinin en kəsikləri : - a) dairəvi damarlı, b) ayrı-ayrı qılafları və qurşaq izolyasiyası olan, ovalşəkilli, sektor formalı 3 damarlı kablər; c) faz damarları seqment formalı, sıfır damarı üçbucaq formalı olan 4 damarlı kabelin en kəsiyi

Bəzən, elektrik sahəsinin radiallığını saxlamaq və kabelin ölçülərini kiçiltmək məqsədilə damarları 2.8 b) şəkildə göstərilən qaydada oval şəkilli hazırlayırlar.



Şək.2.9 OHVT markalı 123 kV-luq kompozit tərkibli sonluq muftası

Kabel xəttlərində izolyasiya müqaviməti 2500 V-luq meqaoometrə ölçülür. Ölçmə dövrədən açılmış və yükü boşaldılmış *KX* –də aparılmalıdır. Metal ekranı olmayan, torpaqda çəkilmiş bir damar kabellərdə ölçmələr damar-yer arasında aparılır. Metal qılaf, örtük və ya zirehi olan bir damarlı kabellərdə izolyasiya müqaviməti damarla onlar arasında ölçülür. Havada çəkilmiş bir damarlı kabellərdə izolyasiya müqaviməti ölçülmür.

Yüksək gərginlikli TPE tipli kabellərin xarici qurğulara birləşdirilməsi üçün silikon tərkibli kompozit sonluq muftaları istifadə edilir. Həmin muftaların daxili elektrik sahəsini tənzimləmək üçün, zavod komplektində mərkəzi boşluğu olan kəsik konus şəkilli elementlər-(stresscon), yarımkeçirici sarğı lentləri, torlu mis ekran materialları və digər torpaqlama sistemləri olur. Şək.2.9 - da 110 kV –luq açıq paylayıcı qurğuda montaj edilmiş OHVT tipli sonluq muftası göstərilmişdir. Həmin muftanın daxili boşluğu xüsusi silikon izolyasiya mayesi ilə doldurulur. Mayenin səviyyəsi üst qapaqdan 100 mm aşağı olmalıdır.

### **3.1 Energetik stansiya avadanlıqlarının rolu və əhəmiyyətinə görə təyinatları**

İstilik elektrik stansiyalarının inkişafının əsas istiqamətləri:-qazanların təkmilləşdirilməsi, buxarın parametrlərinin yüksəldilməsi, elektrik və istilik enerjilərinin birgə hasilatı, qaz və buxar turbinlərinin vahid tsikldə işlədilməsindədir.

Elektrik stansiyalarının əsas avadanlıqları xüsusi binalarda, açıq meydançalarda və ya yeraltı quruluşlarda yerləşdirilir. Aqreqatlar biri-biri ilə istilik (buxar) və ya elektrik əlaqəsində olurlar. Bu əlaqələr texnoloji, istilik və elektrik sxemlərində göstərilir.

Bunlarla yanaşı stansiyalarda ikinci kommunikasiya qurğuları – idarə sistemləri, nəzarət ölçü cihazları, mühafizə, bloklama, siqnal və s. elementlər quraşdırılır.

Stansiyalar həm də müxtəlif nəqliyyat və rabitə vasitələrinə malik olurlar:- xarici (dəmir yol, yaşayış məntəqəsi ilə əlaqə, fəhlə qəsəbəsi, kömür şaxtaları, yanacaq çənləri, daş karxanaları və s.) və daxili binalar arasında (material və yanacağın nəql və idarə edilməsi üçün) boru kəmərləri, elektrik, internet və rabitə əlaqələri olmalıdır. Bu əlaqə vasitələri həm inşaat-quraşdırma, həm də istismar və xidmət zamanı lazımdır.

Hazırda istilik elektrik stansiyalarının əksəriyyəti buxarın kritik-yüksək parametrlərində işləyirlər. Azərbaycanda 300-800 MVt gücündə olan bütün turbinlər buxarın 3-4 MPa təzyiq və buxarın 565<sup>0</sup>C temperatur qiymətlərində işləyirlər.

İstilik elektrik stansiyaları texniki-iqtisadi göstəricilərinə görə mükəmməl dərəcəyə çatmışdır. Hər kVt-saat enerjiyə 310-340 gr şərti yanacaq sərf olunur. Bir sıra ölkələrdə avtomatik tənzimləmə və optimal idarə üsulları ilə yanacaq sərfiyyatı 270 gr/kVt-saata qədər azaldılmışdır.

Elektrik enerji balansında əsas yerlərdən biri su elektrik stansiyalarına (SES) aiddir. Onların əsas üstünlüyü təbiətdə suyun dövrəni nəticəsində, çayların enerji resurslarının daima yeniləşməsindədir. Su elektrik stansiyalarında elektrik enerjisinin maya dəyəri çox azdır. Düzgün layihələndirilmiş SES–da gücün və onu sistemlə birləşdirən baş sxemlərin dəyişdirilməsinə ehtiyac qalmır. Çox hallarda hidrostansiyaların binaları maşın zalına bitişik olur.

Su elektrik stansiyalarının avadanlıqları yüksək manevrliyə malik olduqlarından, pik zamanı yükün qarşılınması və tezliyin tənzimlənməsində əvəzedilməz sistemlərdir. Hidro turbinin işə salınması və tam yükün yığılması 30-40 san çəkir. Bu zaman yükün dəyişmə sürəti 400-500 MVt/dəq ola bilər. Müqayisə üçün demək lazımdır ki, 200-300 MVt-lıq buxar turbin aqreqatının soyuq haldan işə salınması 10-12 saat çəkir.

Hidravlik turbinlərin yüksək manevrlilik qabiliyyəti xüsusi hidroakkumliyasiya elektrik stansiyalarının (HAES) daha perspektivli olduğunu göstərir.

Su elektrik stansiyalarının əsas mənfi cəhəti çayların hidroenergetik potensiallarının məhdud olmasındandır. Bu onlardan istifadə edilməni məhdudlaşdırır, stansiyaların su axınının ən uyğun yerində tikilməsi şərti, bəzən istehlakçılardan çox uzaq məsafələrə düşməsinə səbəb olur. Çaylarda su sərfiyyatının çoxillik və mövsümi dəyişmələri su elektrik stansiyalarının

istismarını çətinləşdirir. Tikintiyə çəkilən xərcləri artırır. Çünki çoxillik və müvsümi axını tənzimləmək üçün bahalı su hövzələri tikilməsi lazım gəlir. Bundan başqa su sərfiyyatının dəyişməsi hövzələrin sahillərini aşındırır və dağıdır. Bu amillər SES layihələrində nəzərə alınmalıdır. Su elektrik stansiyalarının əsas xüsusiyyətlərindən biri güclü hidrotexniki tikintilər, bəndlər, kanal və tunellərin olmasındadır. Onlar suyun yığılması və lazımı təzyiqlə ötürülməsinə xidmət edirlər.

### **3.2 Stansiyalarda əsas avadanlıqlar və binaların yerləşməsinin ümumi prinsipləri**

Stansiyanın bütün əsas bina və qurğuları yerləşən meydançanın planı – stansiyanın *baş planı* adlanır. Baş planda bina və quruluşlar ehtiva edirlər ki, bütün qovşaqlarda stansiyanın işinin etibarlılığı, istismarın asanlıığı və təhlükəsizliyi təmin edilsin. Bununla yanaşı stansiyanın gələcəkdə genişləndirilməsi imkanları da nəzərə alınmalıdır. Ona görə, bölgənin iqlim şərtləri, hakim küləklərin istiqaməti, ən qısa nəqliyyat və rabitə yolları, su təchizatı, yanğın təhlükəsizliyi, mülki müdafiə və ətraf mühitin ekoloji müvazinətinə uyğun olmalıdır.

Bina və avadanlıqların yerləşməsi stansiyanın tipindən asılıdır.

İEM meydançasının seçilməsində istilik istehlakçıları üçün istilik təchizatının qənaətliliyi və iqtisadi əlverişli olması nəzərə alınmalıdır. AES-in yerləşməsində yaşayış məntəqələrinin radiasiya və şüalanma təhlükəsizliyi gözlənməlidir. Atom stansiyalarının normal və qəza rejimlərində işlədiyi halda radiasiya qorxusu olmamalıdır.

İstilik (o cümlədən atom) elektrik stansiyaları üçün seçilən yerlər düzəngah olmalıdır. Düzən yerlərdə stansiyanın baş planı su təchizatı, yanacaqın müxtəlif növləri, aqreqlərin sayı və güclərindən asılı olaraq tərtib edilir.

Konkret elektrik stansiyası üçün baş planın yerləşmə qaydasında avadanlıq və binaların qarşılıqlı rəşional əlaqəsi əsas götürülür. Bu zaman quruluşların bütün hissələrinin: inşaat-tikinti, istilik, elektrik, hidravlik, sanitariya-texniki, arxitekturanın qarşılıqlı əlaqəsi və təsirləri nəzərə alınır.

Baş plan üçün birinci dərəcəli amil yanacağın daşınması və qazana verilməsi, su təchizatı yolları və sisteminin seçilməsi, ayrılan elektrik və istilik xətlərinin trasları və s. şərtlərdir. Bütün xarici elektrik xətləri, istilik ötürücü traslar və digər kommunikasiya sistemləri düz, qısa, normal istismara uyğun və yararlı olmalıdır.

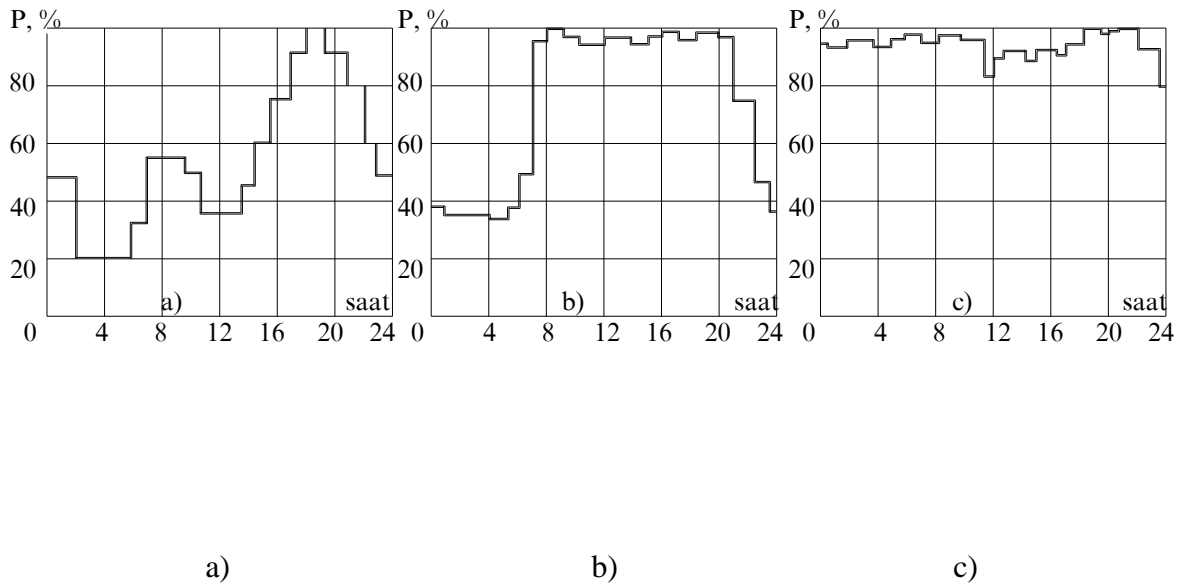
Birləşdirici kommunikasiyaların etibarlılığının artırılması, ucuzluğu və sadəliyi üçün texnoloji avadanlıqların uyğun və yaxın məsafələrdə yerləşdirilməsi lazımdır. Ümumi və ayrı-ayrı qovşaqların kompozisiyası texnoloji proseslərin qaydaları və ardıcılığı əsasında aparılır. Binalar arasında yolların, keçidlərin və nəqliyyat şəbəkəsinin yerləşməsi üçün kifayət qədər məsafələr olmalıdır.

### **3.3 Elektrik enerjisindən istifadə. Elektrik enerjisinin keyfiyyət göstəriciləri**

Elektrik enerji işlədicilərinin aşağıdakı əsas qrupları mövcuddur: 1) sənaye müəssisələri, 2) inşaat, 3) elektrifikasi edilmiş nəqliyyat, 4) kənd təsərrüfatı, 5) xidmət sahəsi və məişət işlədiciləri, 6) elektrik stansiyalarının xüsusi sərfiyyat avadanlıqları. Elektrik enerjisinin çox hissəsi asinxron mühərriklərdə, elektrik sobaları, qaynaq aparatları, məişət cihazları, kondensasiya və digər isitmə-soyutma qurğuları, telequrğular, tibb və s.-də sərf olunur. Sənaye müəssisələrində çoxlu sayda, müxtəlif dərəcəli ventilyatorlar, nasoslar, elektrik qaynaq aparatları, elektroliz qurğuları, konveyerlər, liftlər və bu kimi sənaye avadanlıqları daxil olur. Onlar tipinə, gücünə, iş rejiminə, gərginlik və cərəyanın növünə görə uyğun qruplara bölünür. Bunlardan başqa, elektrik enerjisinin çevrilməsi, ötürülməsi və paylanması üçün olan texnoloji sərfiyyatlar da təyin edilmişdir.

*Elektrik enerjisinin tələb olunan rejimləri* Müəssisələr, şəhər və kəndlərdə istifadə edilən elektrik enerjisi günün, ayın və ilin müxtəlif zamanlarında fərqli olur. Bu üç növbəli işləyən müəssisələrin növbələr və nöbələr arası fasilələrdə, fərqli enerji sərfiyyatı ilə əlaqədardır. Yay

günlərində işıqlı saatlar və temperaturun çox olması ilə, həmçinin bayram günlərində enerji sərfiyyatı minimum olur. Yüklərin qeyri bərabər sərfiyyatı, xüsusi ilə qış günləri səhər və axşamlar işıqlanmaya sərf olunan enerji ilə bağlıdır. Elektrik enerjisinin istifadə rejimi aktiv, reaktiv və tam gücün yük qrafiki ilə göstərilir. İlin müxtəlif mövsümlərində və həftənin, günün fərqli saatlarında yük qrafikləri dəyişir. Şəkil 3.1 a) əsasən işıqlanma yükündən ibarət olan elektrik stansiyasının, 3.1 b) iki növbə işləyən yüngül sənaye müəssisəsinin (ayaqqabı, tekstil, qida və s. müəssisələr), 3.1 c) üç növbə işləyən neftayırma, elektrotexniki avadanlıqlar və böyük kabel zavodları və s. üçün günlük yük qrafikləri verilmişdir.



Şəkil.3.1 Elektrik enerji işlədicilərinin gündəlik yük qrafikləri: a) əsas yükü işıqlanma olan yarım stansiyanın yük qrafiki, b) iki növbəli yüngül sənaye müəssisəsinin yük qrafiki, c) üç növbəli neftayırma zavodunun yük qrafiki.

Yük qrafiklərinin xarakterik cəhəti, dəyişmələrində maksimal  $P_{max}$ , minimal  $P_{min}$  və orta  $P_{or}$  güclərinin olması, yük qrafikinə qeyri bərabərlik əmsəlidir: -  $K_{qb} = P_{min} / P_{max}$ -kimi təyin edilir.

İllik yük qrafiki qış, payız-yaz və yay mövsümləri üçün gündəlik yük qrafikinə əsasən qurulur. Bu halda absiss oxunda 0–dan 8760 saat göstərilir və  $t_1$ -ə uyğun olan müddətdə yükün  $P_1$  və ya ondan böyük olduğunu göstərir.

İllik yük qrafikinə sahəsi müəyyən miqyasda illik elektrik enerjisini -  $W$  ifadə edir.  $W/P_{max} = T_{max}$  nisbəti isə, maksimal yükədən istifadə müddəti saat/il – ni göstərir.

Müxtəlif sənaye müəssisələrinin yük qrafikləri gözlənilən maksimal yükləri proqnozlaşdırmağa və elektrik enerjisinin sərfiyyat miqdarına və düzgün ölçülməsinə imkan verir. İşlədiciyə yük qrafiki nə qədər müntəzəm olarsa, bütövlükdə elektrik sisteminin yük qrafiki də bir o qədər səlis-bərabər və elektrik stansiyalarının işi iqtisadi səmərəli olar.

**Elektrik enerjisinin keyfiyyətinə göstərilən tələblər.** Elektrik enerjisinin keyfiyyəti dedikdə gərginliyin və tezliyin verilmiş normalara uyğun dəyişmələri nəzərdə tutulur. Belə dəyişmələri normalarda saxlamaq üçün tənzimləyici reaktorlar tətbiq edilir. Bu normalar ГОСТ-13109–a əsasən müəyyənləşdirilmişdir: - a) gərginliyin nominal qiymətlərindən meyl etmələri (gərginliyin qiymətinin saniyədə 1%-ə qədər dəyişməsi), %-lə hesablanır:

$$qU = \frac{U - U_{nom}}{U_{nom}} \cdot 100 ;$$



b) gərginliyin nominal qiymətlərindən fərqləri (gərginliyin saniyədə 1%-dən çox dəyişməsi) , %-lə hesablanır:

$$pU = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{nom}} \cdot 100 ;$$

c) gərginlik dəyişməsinin qeyri sinusoidallığı, qeyri sinusoidallıq əmsalı,  $K_u$ -% - lə aşağıdakı ifadə ilə yazılır:

$$K_u = \frac{U_u \Sigma}{U_1} \cdot 100 ,$$

burada  $U_u \Sigma = \sqrt{\sum_{u=2}^{\infty} U_u^2}$  ;  $U_u$  -  $\gamma$  harmonikalı gərginliklər,  $U_1$  əsas (sənaye) tezlikli gərginlikdir.

d) tezliyin meyl etməsi (10 dəqiqə ərzində), %-lə aşağıdakı kimi hesablanır:

$$qf = \frac{f - f_{nom}}{f_{nom}} \cdot 100 ;$$

## 2.4 Üç fazlı şəbəkənin qidalanmasının Fluke – 434 tipli keyfiyyət analizatoru

“Elektrik təchizatı və izolyasiya” kafedrasında 3 fazlı şəbəkənin qidalanmasının ən müasir keyfiyyət analizator cihazı “Fluke – 434” istifadə edilir. Bu cihaz 3 fazlı şəbəkənin diaqnostikasını üçün olan çox dəyərli bir vasitədir. Cihazın köməyi ilə elektrik şəbəkəsinin praktiki olaraq bütün parametrləri ölçülür. O cümlədən, gərginliklər, cərəyanlar, şəbəkədən verilən ümumi güc və istifadə edilən güclər, disbalans, harmonikaların flikeri və inter (xaricdən düşən) harmonikalar ölçülür. Bu zaman gərginliklərdə olan təkanlar və azalmalar, izlənərək qeyd edilir, şəbəkədə olan keçid prosesləri və işə buraxma cərəyanlarındakı artımlar, gərginlik kəsilmələri və onların təsadüfi dəyişmələri ölçülür.

Cihazın “AutoTrend” funksiyası, hər fazada və neytralda aparılan ölçmələrin nəticələrinə əsasən real zaman miqyasında avtomatik olaraq qrafiklər qurur və onları yaddaşa saxlayır. Eyni zamanda gizli rejimlərdə (fonda), ölçü prosesini dayandırmadan qeydiyyatlar aparır, kursorlar və miqyaslama (zoomlama) vasitəsi ilə qrafikləri analiz edir.

“Monitoring” funksiyası (System Monitor) davamlı olaraq şəbəkənin elektrik qidalanma xarakteristikasını izləyir, qidalanmada olan prosesləri diaqnoz edir, çatışmazlıqları və pozuntuları qeyd edir. Bununla yanaşı şəbəkənin cari parametrlərinin EN 50160 – Avropa standartlarına uyğunluğunu yoxlayır, onları yaddaşa saxlayır və lazım olduqda çapa verir. Nəticələr həm də sifarişinin istədiyi, verilən ixtiyari rejim parametrlərinə görə də müqayisə edilə bilər. Verilən parametrlərdən kənarlaşmalar, artımlar və s. olduqda, onlar real zaman işarəsi ilə cədvəl və qrafik şəkilində yazılaraq nəticəyə verilir.

“Dörd kanal” funksiyasında cihaz bütün fəzlərin və neytralin gərginliklərini və cərəyanlarını ölçür. Cihaz bu rejimdə izləmə və ölçmə ilə yanaşı bütün gərginlik və cərəyanların fəz diaqramlarını da qurur.

Qidalanmanın həm şəbəkə, həm də işlədici tərəfində baş verən keçid prosesləri və ona yaxın olan halları cihaz avtomatik olaraq qeyd edir. Bu zaman gərginlik və cərəyanların dəyişmələrini, ixtiyari nöqtədə bu səbəblərdən siqnalların təhrif olunmasını göstərir. Cihazın yaddaşına eyni zamanda 40 –a qədər, müddəti 5 mksəndən böyük olan hadisələr qeyd edilə bilər.

“Şəbəkənin idarəedicisi siqnallar” rejimində cihaz, uzaqdan verilən idarəedicisi siqnalların səviyyəsini ölçür. Bu siqnallar çox hallarda enerji paylaşdırıcı sistemlər tərəfindən şəbəkənin idarə edilməsi üçün verilir.

Cihazın “Registrator” rejimi çox saylı hadisələrin göstəricilərini uzun müddət yaddaşa saxlayır.

Möhkəm, etibarlı və portativ olan bu cihaz “NİMН” sistemli akkumulyator batareyalarına malikdir. Onlar 7 saat ərzində avtonom olaraq cihazın işləməsinə təmin edirlər. Asan və sərfəli olan “MENYU” funksiyası, cihazın istifadəsini sadələşdirir.

“Kursor ölçmələri” və “Zoom” funksiyası cihazda ölçmələr və analizlər üçün geniş imkanlar açır. Onlar real zaman və diaqnostika müddətində, həmçinin vəilənlərin (nəticələrin) emalı, saxlanması və başqa kompüterə köçürülməsinə imkan verir.

## 2.5 Cərəyan keçiriciləri və elektrik aparatlarının istilik və elektrodinamiki dayanıqlığı. Coul inteqralı

Məlumdur ki, QQ cərəyanlarının generatorlar və tənzimləyici təsirləndirici sistemlərin parametrləri ilə dəyişən periodik cərəyan  $\dot{I}_i(t)$  və ya zamana görə  $T_a$  sabitindən asılı olaraq eksponensial dəyişən aperiodik təşkilediciləri vardır. Periodik və aperiodik təşkiledicilər QQ yerindən, mənbədən olan uzaqlıqdan və digər şərtlərdən də asılıdır.

Elektrik aparatlarının istilik dayanıqlığı termik dayanıqlığa görə verilən nominal cərəyanlar  $\dot{I}_{ter\ nom}$  və bu cərəyanın nominal təsir müddəti –  $t_{ter\ nom}$  ilə təyin edilir. Aparatlar nominal termik cərəyanları 1-4 san ərzində saxlamalıdır. Bu müddət ərzində aparatın qızması buraxıla bilən istilik həddini aşmamalıdır.

Qeyd etmək lazımdır ki, elektrodinamiki dayanıqlıq şərtini ödəyən açarlar və ayırıcılar istilik dayanıqlığına da cavab verirlər:  $-\dot{I}_{ter\ nom}^2 \cdot t_{ter\ nom} \geq B$ .

Periodik və aperiodik cərəyan təsirlərinə görə B-ni aşağıdakı kimi ifadə edirlər:

$$B = \int_0^{t_{qq}} i^2 dt = \int_0^{t_{qq}} (i_p + i_a)^2 dt$$

Burada  $i$  – qısa qapanmanın tam cərəyanı,  $i_p = \dot{I}_m(t) \cos \omega t$  – cərəyanın periodik təşkiledicisi,  $\dot{I}_m(t)$  cərəyanın periodik təşkiledicisi,  $\dot{I}_{m0}$  – periodik cərəyanın  $\dot{I}_{m0}$  – başlanğıc şərtindən asılı dəyişən funksiyasıdır,  $i_a = \dot{I}_{m0} \cdot \exp(-t/T_a)$  – cərəyanın aperiodik təşkiledicisidir. Gətirilmiş ifadələr inteqralda nəzərə alınarsa, B inteqralı üçün yazmaq olar:

$$B = \int_0^{t_{qq}} I_m^2 \cos^2 \omega t dt + I_{m0}^2 \int_0^{t_{qq}} e^{-2t/T_a} dt + 2I_{m0} \int_0^{t_{qq}} I_m \cos \omega t \cdot e^{-t/T_a} dt$$

İfadənin birinci iki toplananı QQ cərəyanının periodik və aperiodik cərəyanlarına görə Coul inteqralı adlanır. Üçüncü toplanan çox kiçik olduğundan onu nəzərə alınmaq olar. Beləliklə Coul inteqralı  $B = B_p + B_a$  - olar.

Transformatorların buraxıla bilən ekvivalent yükü transformatorun günlük yüklənməsinə uyğun aşağıdakı kimi hesablanır:

$$I_{ekv} = I_n \sqrt{\frac{\alpha_1^2 \cdot \tau_1 + \alpha_2^2 \cdot \tau_2 + \dots + \alpha_n^2 \cdot \tau_n}{\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n}}$$

Burada  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  – nominal cərəyanın nisbətlərinə uyğun olan yüklənmə səviyyələri,  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$  bu yüklərin saatlarla davam etmə müddətləridir.

İndi isə çılpaq keçiricilər və kablərin termik dayanıqlığına aid əsas müddəalar və bu zaman nəzərə alınan şərtlərlə tanış olaq: - Bunun üçün QQ-nın müddətinin, verilmiş keçirici materialların istilik artımları ilə müqayisədə çox kiçik olduğu və istilik artım prosesinin adiabatik proses kimi keçdiyini qəbul edirlər. İkincisi temperaturun istilik dəyişməsinə xətti qanunla olduğu nəzərə alınır. Qısa qapanma cərəyanlarının naqilin bütün en kəsiyindən bərabər paylanaraq keçməsi qəbul edilir. Materialın xüsusi müqavimətinin temperatur dəyişməsi ilə

müqayisədə, istilik tutumunun dəyişməsi nəzərdən atılır. Bu şərtlər daxilində kabel və keçiricilərin QQ rejimində istilik dəyişməsi üçün aşağıdakı tənlik yazılır:

$$\frac{1}{S} \cdot \rho_1 \cdot \frac{\tau + \vartheta}{\tau + \vartheta_1} \cdot i^2 dt = S \cdot C \cdot d\vartheta$$

Burada S-keçiricinin en kəsik sahəsi,  $\rho$ -materialın xüsusi müqaviməti, C-materialın istilik tutumu,  $\vartheta$  – dəyişən cari temperatur,  $\vartheta_1$ ,- ətraf mühitin temperaturudur. İlk anda ətraf mühitin temperaturunu sıfır qəbul edirlər. Onda çevirmələrdən sonra aşağıdakı tənliyi yazmaq olar:

$$\frac{1}{S^2} \cdot i^2 dt = \frac{C}{\rho_1} \cdot \tau \frac{1}{\tau + \nu} \cdot d\vartheta$$

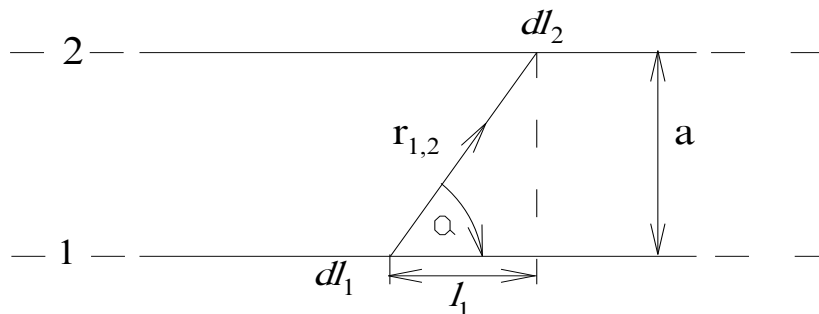
İntegralladıqdan sonra -  $\frac{B}{S^2} = \frac{C}{\rho_1} \cdot \tau \cdot \ln \frac{\tau + \nu_2}{\tau}$  alınır. Burada  $B = \int_0^{t_{qq}} i^2 \cdot dt$  - Coul inteqralıdır,  $[A^2 \cdot \text{san}]$ ,  $B/S^2$ -isə cərəyanın kvadratik sıxlığıdır,  $A^2 \cdot \text{san}/m^2$ -ilə ölçülür.

## 2.6 Oynaq və sərt naqilli cərəyan keçiricilərində elektrodinamiki qüvvələr

Məlumdur ki, elektrik cərəyanları qarşılıqlı təsir edirlər. Cərəyanlı naqillərin qarşılıqlı təsirləri elektromaqnit və elektrodinamiki təsirlərə ayrılır. Onlar cərəyanların kvadratı ilə mütənəsb olub qısa qapanmalarda çox böyük qiymətlərə çatırlar. Elektrik sisteminin bütün elementləri elektrodinamiki təsirlərə məruz qalırlar. Ona görə elektrik sistemlərinin bütün elementləri, naqillər və aparatlar QQ elektrik dinamik dayanıqlığına məlik olmalıdırlar. İxtiyari istiqamətdə çəkilmiş azalan en kəsikli düzxətli naqillərin və keçiricilərin qarşılıqlı təsir qüvvələri Laplas-Bio Savar qanunu ilə hesablanır. Şək.2.8 –də göstərilmiş  $I_2$  cərəyənli 2 naqilinin  $dl_2$  elementinin,  $I_1$  cərəyənli 1-ci naqilin maqnit sahəsindəki təsir qüvvəsi aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$dF_{1-2} = I_2 \cdot B_{1,2} dl_2 \cdot \sin \theta \quad (2.6.1)$$

Burada  $B_{1,2}$ - $dl_2$  elementinin olduğu yerdə,  $I_1$  cərəyənli qonşu 1 naqilinin maqnit sahəsinin induksiyasıdır;  $\theta$  -  $B_{1,2}$  və  $dl_2$  vektorlarının istiqamətləri arasındakı bucaqdır. Bu bucaq şəkil müstəvisinə perpendikulyar olduğu üçün şəkildə görünməyir.



Şəkil 2.8 İncə və oynaq paralel naqillərin qarşılıqlı təsirinə aid sxem

$B_{1,2}$  induksiyası 2 naqilinin uzunluğu boyu aşağıdakı ifadədən tapılır:

$$dB_{1,2} = \frac{\mu_0 I_1 \cdot dl_1 \cdot \sin \alpha}{4\pi \cdot r_{1,2}^2} \quad (2.6.2)$$

burada  $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$ -havanın maqnit nüfuzluluğu,  $Hn/m-lə$ ,  $r_{1,2} - dl_1$  elementindən 2-ci naqilin müşahidə edilən nöqtəsinə qədər olan radius,  $\alpha - dl_1$  və  $r_{1,2}$  vektorları arasındakı bucaqdır.

Əgər naqillər sonsuz uzun olarsa, maqnit sahəsi yastı müstəvi formasında olur. Naqillər arası  $a$  məsafəsini  $l_1$  və  $r_{1,2}$ -ni  $\alpha$  bucağı ilə ifadə edək:

$$r_{1,2} = \frac{a}{\sin \alpha}; \quad \ell_1 = a \cdot ctg \alpha; \quad dl_1 = -\frac{a \cdot d\alpha}{\sin^2 \alpha}.$$

2 naqilin ixtyari nöqtəsində maqnit induksiyası aşağıdakı kimi olur:

$$B_{1,2} = -\frac{\mu_0 I_1}{4\pi a} \int_0^\pi \sin \alpha \cdot d\alpha = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi a} \quad (2.6.3)$$

Maqnit indksiyası naqilin uzunluğu boyu sabit qalır və  $a$  məsafəsi ilə tərs mütənasib olur. Naqilin vahid uzunluğuna düşən elektrodinamiki qüvvə sabit qalır. Bu qüvvə aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$\frac{dF_{1,2}}{dl_2} = F_{1,2} = \frac{\mu_0 I_1 \cdot I_2}{2\pi \cdot a} \quad (2.6.4)$$

$L$  uzunluğundakı qüvvə isə aşağıdakı kimi hesablanır:

$$F_{1,2} = 2 \frac{l}{a} I_1 \cdot I_2 \cdot 10^{-7} \quad (2.6.5)$$

Elektrodinamiki qüvvələrin istiqaməti cərəyanın istiqamətindən asılı olur. Sol əl qaydası ilə təyin edilir. Cərəyanların eyni istiqamətində naqillər biri-birinə cəzb olunur, əks istiqamətli cərəyanlar olduğu halda isə naqillər itələnilir.

Üçfazlı naqillər arasında qısa qapanma zamanı yaranan elektrodinamiki qüvvələr zaman xarakteri daşıyırlar. Onlar QQ-ın növü, periodik və aperiodik cərəyan təşkilçilərindən və faza qoşulma bucağı  $\alpha$ -dan asılı olaraq dəyişir. QQ anında gərginliyin  $\alpha$  faz bucağı ilə təyin edilən bu qüvvə QQ cərəyanının periodik təşkilçisini nəzərə almadan hesablanır.  $\alpha$  faza bucağı elə seçilməlidir ki, tam cərəyanın maksimal qiyməti təmin olunsun. Aydındır ki, bu gərginliyin sıfırdan keçdiyi ana uyğun gəlir və ya  $\alpha=0$  olur.

Aşağıda bir müstəvi üzərində yerləşən sərt keçiricilərin elektrodinamiki qüvvələrinin hesabları verilir şəkl.2.9.

Sərt cərəyan keçiriciləri (CK) daxili və xarici tip paylayıcı qurğularda (PQ) tətbiq edilir. Ondan asılı olmayaraq,  $\alpha=0$  olдуғы halda üçfazlı QQ cərəyanları aşağıdakı kimi ifadə edilirler:

$$\left. \begin{aligned} i_A &= I_m \cdot \sin(\omega t - \varphi_k) + \sin \varphi_k \cdot e^{-t/T_A} \\ i_B &= I_m \cdot \sin(\omega t - \varphi_k - 2\pi/3) + \sin(\varphi_k + 2\pi/3) \cdot e^{-t/T_A} \\ i_C &= I_m \cdot \sin(\omega t - \varphi_k + 2\pi/3) + \sin(\varphi_k - 2\pi/3) \cdot e^{-t/T_A} \end{aligned} \right\} \quad (2.6.6)$$

Burada  $I_m = \sqrt{2} \cdot I_n$  - üçfazlı QQ cərəyanının periodik təşkilçisinin amplitud qiyməti;  $\varphi_k = \arctg(X/P)$ ;  $T_A = L/R$  - qq cərəyanının aperiodik təşkilçisinin sönmə zaman sabitidir.

Elektrodinamiki qüvvələrin təsiri ilə sərt naqillərin əyilməsi keçiricilər arası məsafəyə nəzərən kiçik olur. Keçiricilərin uzunluğu da onların ara məsafələrinə nisbətən çox böyük

olduğundan bu qüvvələr sonsuz uzun və kiçik en kəsiyinə malik olan oynaq paralel naqillər arasında cazibə kimi olur.

Üçfəzli orta B naqilinin iki kənar A və C –in təsiri ilə vahid məsafəyə gətirilmiş qarşılıqlı cazibə qüvvəsi aşağıdakı kimi hesablanır:

$$F'_B = \frac{2 \cdot 10^{-7}}{a} \left( i_A i_B - i_C i_B \right) \quad (2.6.7)$$

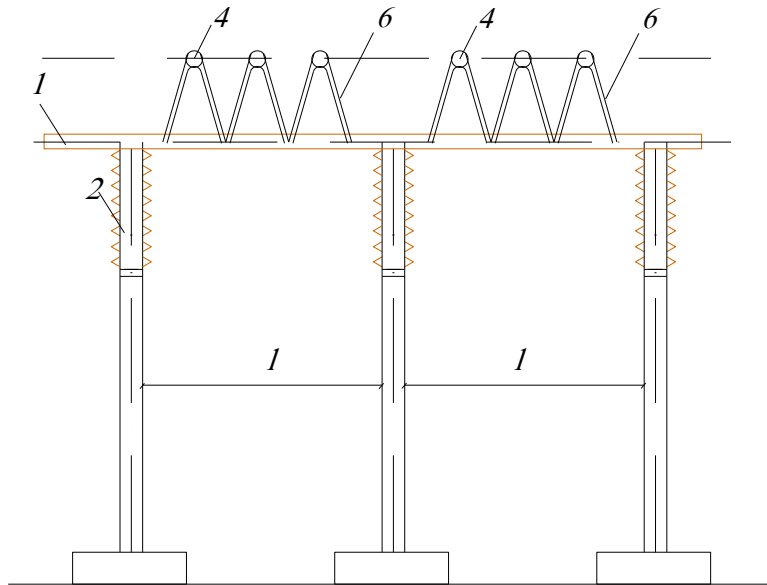
Minus işarəsi kənar naqillərin yaratdığı qarşılıqlı təsir qüvvələrinin əks istiqamətli olduğunu göstərir.

Kənar naqillərin vahid məsafəsinə düşən təsir qüvvəsi aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$F'_A = F'_C = \frac{2 \cdot 10^{-7}}{a} \left( i_A i_B + \frac{1}{2} i_A i_C \right) \quad (2.6.8)$$

İkinci toplananın 1/2 vuruğu A və C naqillərinin ikiqat məsafədə olduğunu nəzərə alır.

110 kV və yüksək gərginlikli xarici PQ-ın CK-nin tipik elementləri şəkil 2.9–da göstərilmişdir.



Şəkil 2.9 Sərt keçirici şinlər bərkidilmiş portal dayaqları

Böyük cərəyanlar üçün olan bu keçiricilər diametri 250 mm, qalınlığı 12 mm olan alüminium ərintilərindən ibarət borulardır. Yığılm şinlərinin keçiricilərə yer səthindən  $H_1$  hündürlüyündə eyni müstəvidə yerləşməlidir.  $H_1$  hündürlüyü PQ-a xidmət edən işçi heyətin təhlükəsizliyi üçündür. Dayaq izolyatorları-2 beton sütun-3 və ya polad dayaqlar üzərində montaj edilir. Dayaqlar arası məsafə 20 m-ə qədər ola bilər. Ayırıcı-4 və açarlar-5 birləşdirilən CK-ləri  $H_2$  hündürlüyündə quraşdırılır.

İkifəzli A və B və ya B və C arasında QQ zamanı vahid məsafədə təsir edən elektrodinamiki qüvvələr aşağıdakı kimi hesablanır:

$$F'_2 = \frac{2 \cdot 10^{-7}}{a} \cdot 0,75 \cdot i_A^2 \quad (2.6.9)$$

0,75 vuruğu ikifəzli və üçfəzli QQ-da cərəyanların nisbətərini göstərən ədəddir. Bu ədəd qq nöqtəsinin generatordan uzaqda olan nöqtə üçün hesabatında tətbiq edilir. Vahid uzunluqlu paralel keçiricilər arasında  $a$  məsafəsində təsir edən qüvvəni bazis kimi qəbul edərək üçfəzli QQ

üçün:-  $F'_6 = \frac{2 \cdot 10^{-7}}{a} \cdot I_m^2$  (2.6.10) yazmaq olar. Hesablanmış bütün qüvvələrin ifadələrində yuxarıda verilən üçfazlı QQ cərəyanlarını nəzərə almaqla elektrodinamiki qüvvələr zamandan asılı olaraq tapılır.

(2.6.7), (2.6.8) və (2.6.9) ifadələrini cərəyanların (2.6.6) sistem tənliyində verilmiş qiymətləri ilə əvəz etdikdə, vahid məsafəyə düşən elektrodinamiki qüvvə üçün ifadələr alınır:

a) üçfazlı QQ-da orta B fazasına düşən qüvvə :

$$F'_B \leftarrow = F'_6 \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \left[ \cos \left( \omega t - 2\varphi_k \right) + 2 \cdot e^{-t/T_a} \cos \left( \omega t - 2\varphi_k \right) - e^{-2t/T_a} \cos 2\varphi_k \right] = F'_6 \cdot f_B \leftarrow \quad (2.6.11) \text{ olar.}$$

$$F'_A \leftarrow = F'_C \leftarrow = F'_6 \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \left\{ \begin{array}{l} \left[ \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{1}{2} \cos \left( \omega t - 2\varphi_k \right) + e^{-t/T_a} \left[ \cos \left( \omega t - 2\varphi_k \right) - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \omega t \right] + \right. \\ \left. + e^{-2t/T_a} \cdot \left[ \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{1}{2} \cos 2\varphi_k \right] \right] \end{array} \right\} = \\ = F'_6 \cdot f_C \leftarrow = F'_6 \cdot f_A \leftarrow \quad (2.6.12)$$

Olar.

Burada  $f_B(t)$ ,  $f_A(t)=f_C(t)$  - uyğun elektrodinamiki qüvvələrin dəyişməsinə nəzərə alan ölçü vahidi olmayan (adsız) funksiyalardır. Bu funksiyalar 4 toplanandan ibarətdirlər: a) sabit toplanan- $f_0$ , b) məfillərdən axan periodik cərəyanların qarşılıqlı təsirindən yaranan 100 Hs tezlikli periodik toplanan  $f_{2\omega}$ , c) müxtəlif məfillərdən axan periodik və aperiodik cərəyanların qarşılıqlı təsiri ilə yaranan 50 Hs tezlikli periodik toplanan  $f_\omega$ , d) aperiodik cərəyanların qarşılıqlı təsiri ilə yaranan eksponensial toplanan  $f_e(t)$ .

Dayaqlara (izolyatorlara) və cərəyan keçiricilərinə düşən maksimal qüvvəni (ən böyük mexaniki gərginliyi) təyin etmək üçün, ( $F'_6$ ) funksiyaların və vahidsiz  $f_B(t)$ ,  $f_A(t)=f_C(t)$  funksiyaların maksimal qiymətlərini tutuşdurmaq və 3 fazlı QQ üçün orta və kənar məfillər üçün hesablar aparmaq lazımdır.

Maksimal elektrodinamiki qüvvələr, sönməyən qüvvə təşkilçilərinin  $f_0+f_{2\omega}(t)$ ,  $F'_6$  ifadəsi və  $k_{zər}=1.81$ -kvadratının hasilindən təyin edilir. Onda orta fazaya düşən elektrodinamiki qüvvə :

$$F'_{Bmax}=0,866 \cdot F'_6 \cdot k_{zər}^2=2,825 \cdot F'_6 \quad (2.6.13) \text{ olar.}$$

Kənar A, C fazaları üçün bu qüvvənin hesabı:-

$$F'_{Amax}=F'_{Cmax}=0,808 \cdot F'_6 \cdot k_{zər}^2=2,636 \cdot F'_6 \quad (2.6.14) \text{ olar.}$$

**Misal 2.1** 30 MVt gücündə olan generatorun dairəvi boru şəkilində Al ( $D=100$  mm,  $t=4$  mm, enkəsiyi  $12.1$  sm<sup>2</sup>, çəkisi  $m'=12,1 \times 100 \times 2,7 \times 10^{-3}=3,76$  kg) cərəyan daşıyıcısının, 10.5 kV şin sisteminə  $l = 1$  m,  $a = 0.35$  m aralıqla birləşdirilməsi halında, 2200 A cərəyanın təsiri ilə elektrodinamiki dayanıqlılığını hesablamalı.

Verilənlərə görə ətalət momenti:  $J=\pi(D^4-d^4)/64=3,14 \cdot (0.1^4-0.092^4)/64=1,445 \cdot 10^{-6} m^4$ ; müqavimət momenti  $W=J/(D/2)=1,445 \cdot 10^{-6}/0,05=28,9 \cdot 10^{-6} m^3$ , elastiklik modulu  $E=7 \cdot 10^{10} N/m^2$  olur. Seçilmiş şin altı İO-10 tip dayaq izolyatoru,  $h=230$  mm hündürlüyə malik olub,  $P_{dağ}=41,65$  kN dağıdıcı qüvvəyə davam gətirir. Üç fazlı QQ-nın periodik cərəyan təşkilçisi  $I_{qq}=70$  kA-dir.

Əvvəlcə statik yüklənmə üçün hesabat apararaq yükün intensivliyini təyin edək:-

$$F'_{max}=2,825 \times \frac{2 \cdot 10^{-7}}{a} \left( \sqrt{2} I_p \right)^2 = 2,825 \frac{2 \cdot 10^{-7}}{0,35} \cdot \left( \sqrt{2} \cdot 70 \right)^2 \cdot 10^6 = 15800 \quad N/m :$$

İzolyatorlara düşən statik qüvvə:  $P_{st}=1,25 \cdot F'_{max} \cdot l=1,25 \cdot 15800 \cdot 1=19750$  N.

EQQQ-yə görə izolyatorlarda buraxıla bilən mexaniki yük, dağıdıcı  $P_{dağ}$  qüvvənin 60%-i qədər ola bilər:  $P_{bbqiv}=0,6 \cdot P_{dağ} \cdot h / h' = 0,6 \cdot 41650 \cdot 230 / (230+5)=20500$  N alınır. Hesabatlardan görüldüyü kimi izolyatorların mexaniki möhkəmliyi elektrodinamiki təsirlərə davam gətirir.

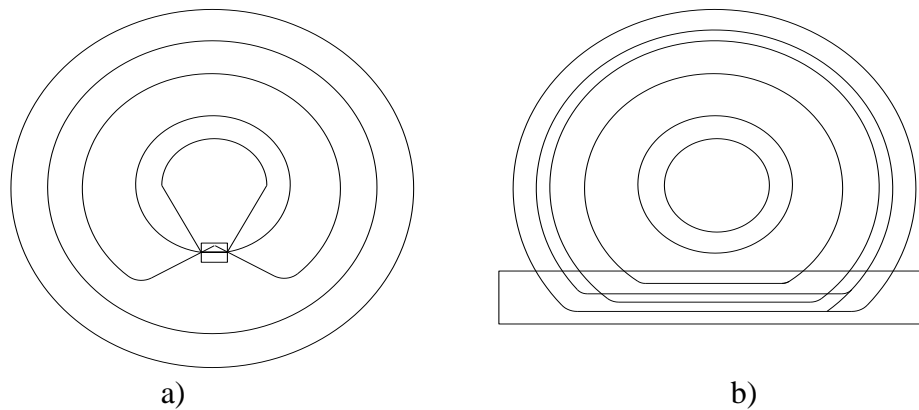
Əyici moment  $M_{st}=0,125 \cdot F_{max} \cdot l^2=0,125 \cdot 15800 \cdot 1=1975 \text{ N}\cdot\text{m}$ . Keçiricilərdə yaranan mexaniki gərginlik  $\sigma_{st}=M/W=1975/28,9 \cdot 10^{-6}=68,3 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2=68,3/\text{mm}^2$ . Hesablanmış mexaniki gərginlik *ADZITI* markalı aliminium ərintisinin  $\sigma=147 \text{ N/mm}^2$  cədvəl qiymətindən kiçikdir. 6-35 kV cərəyan keçiriciləri üçün əsas tezlik  $f_1$  150 Hz olur. Onun üçün aşağıdakı hesabat aparılır:

$$f_1 = \frac{\lambda^2}{2\pi} \left( \sqrt{\frac{E \cdot J}{m' \cdot l^4}} \right) = \frac{3,92^2}{2\pi} \cdot \left( \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 28,9 \cdot 10^{-6}}{3,76 \cdot 1}} \right) = 1800 \text{ Hz} .$$

Bu tezlik verilmiş cədvəl qiymətindən 12 dəfə (çox-çox) böyük olduğu üçün dinamik qiüvvələrə görə qəbul edilmiş əmsallar vahidə bərabər götürülür.

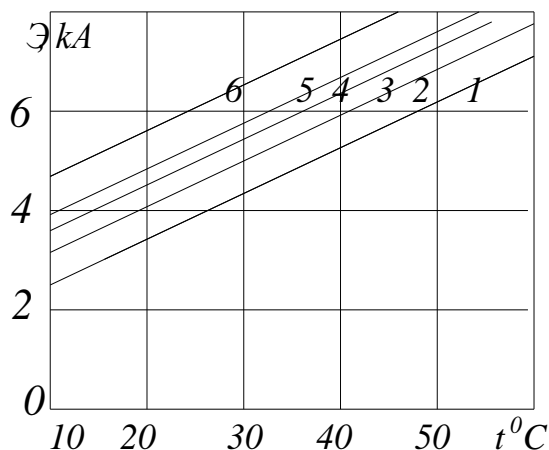
## 2.7 Keçirici naqillərə yaxın məsafədəki tirlərə maqnit sahəsinin təsiri

Böyük cərəyanlı keçiricilərə yaxın məsafədə olan dəmir və polad tirlərə maqnit sahəsi təsir etdikdə onlarda maqnit doyma hadisəsi və burluğan cərəyan baş verir. Hər iki səbəbdən tirin bütöv kütləsində istilik ayrılır. Elektrik stansiyalarında generatorların hər fazası metal boru içərisindən keçirilmiş komplekt cərəyan keçiricilərinə birləşdirilir. Boru ilə keçirici arasında məsafə saxlayan dayaq izolyatorları quraşdırılır. Bunun əsas məqsədi: - a) torpaqlanmış boru olan qurğuya təhlükəsiz xidmət, b) keçirici və izolyatorları çirklənmələrdən, toz və təsadüfi düşən kənar elementlərdən qorumaq, c) cərəyan keçiricilərin fəzalararası qapanmasının qarşısının alınması, d) keçiricilər arasında baş verən xarici QQ-da qarşılıqlı elektrodinamik qiüvvənin azalması, e) əsas polad montaj tirləri, dəmir-beton çatmalar və konstruksiyaların induksiya cərəyanları ilə qızmasının qarşısını alır. Dayaq izolyatorları metal boru ilə keçirici arasında saxlanan məsafələrə uyğun istilik ayrılır. Bu istiliyin qiyməti tirin və borunun keçiricidən olan məsafəsindən, cərəyanın qiymətindən və tirin naqilə nəzərən yerləşmə bucağından asılı olur. Tir keçiricinin oxuna paralel olduqda maqnit təsirləri minimal olur. Ən güclü maqnit təsirləri onların biri-birinə nəzərən perpendikulyar olduğu halda baş verir. Çünki, keçirici ətrafında yaranan maqnit seli onun oxuna və cərəyanın axın istiqamətinə perpendikulyar müstəvi üzrə yayılır. Belə yayın metal tirin bütöv uzunluğunda maqnit selinin təsirini artırır. Nəticədə tirin orta hissəsində maqnit seli sıxlaşır və güclü maqnitlənmə təsirinə məruz qalır. Mərkəzə sıxlaşmış maqnit seli cərəyanın səthə sıxlaşmasına səbəb olur və müqavimətin artması ilə güc itkiləri də artır.



Şək.2.11 metal tirin keçiriciyə nəzərən paralel-a) və perpendikulyar -b) vəziyyətlərdə yerləşməsi.

Maqnit doyması və burluğan cərəyanlara göstərilən müqavimətin artması tirin istiliyinin artmasına səbəb olur. Massiv ölçülərə malik olan maqnit materiallarında itkilər tezliyin üstlü funksiyası, maqnit nüfuzluluq əmsalı, materialın xüsusi çəkisi və s. parametrlərdən asılı olur. Onların dəqiq riyazi həlli və bu istiliyin riyazi hesabatları çox mürəkkəb olduğundan onlara aid aparılmış bir neçə təcrübələrin nəticələrini qrafik şəkildə vermək kifayətdir şək.2.11.



Şək. 2.11 25 sm-lik metal tirin keçiricidən olan məsafələrə görə cərəyan və temperatur asılılıqları; 6-1,25 m, 5-1m, 4-0,75m, 3-0,5m, 2-0,3m və 1-0,125 m məsafələr üçün verilmişdir

Bu nəticələrə görə 25 sm-lik iki tavrı tirin 12,5 sm, məsafədə keçiriciyə perpendikulyar yerləşmiş tirdə 6000 A cərəyanlı keçiricinin maqnit sahəsi hesabına temperatur artımı  $48^{\circ}\text{C}$  təşkil edir. Ətraf mühitin (məsələn Bakıda yayda olan  $42^{\circ}\text{C}$ ) temperaturunu nəzərə aldıqda tirin istiliyi  $90^{\circ}\text{C}$ -yə çatır. Bu temperatur yaxınlıqda olan izolyasiya materiallarına zərər verməklə yanaşı, xidmət heyətinin toxunması halında onların yanıqlarına səbəb olur və diskomfort yaradır.

#### Suallar

1. Hansı səbəbdən keçirici naqilə paralel bərkidilmiş polad tirdə istilik yaranması səif olur?
2. Nə üçün keçirici naqilə perpendikulyar bərkidilmiş polad tirdə yaranan istilik daha çox olur?
3. Maqnit seli, onun sıxlığı, induksiya və intensivliyini izah edin.
4. Maqnit sahəsinin yaratdığı burluğan cərəyan və digər təsirlərini izah edin.
5. Maqnit induksiya əmsali haqqında ətraflı məlumatlar toplayın.

### 3. Keçirici və izolyasiya konstruksiyalarında istilik məsələləri

Keçiricilər və aparatların qızması müxtəlif şəkildə, enerji itkiləri səbəbi ilə baş verir. Buraya aşağıdakılar aiddir: 1) cərəyanın kvadratı ilə mütənasib olan Coul itkiləri, 2) gərginliyin kvadratı ilə mütənasib olan dielektrik itkiləri, 3) maqnit içliklərdə burluğan cərəyanlar və histerezis itkiləri, 4) böyük ölçü və kütləli ferromaqnit detalların maqnit və induksiya cərəyanları. Bu və ya digər şəkildə itən enerji hesabına keçiricilərdə və aparatlarda qızma baş verir. Keçirici və aparatın qızması kontaktların və izolyasiyanın buraxıla bilən temperatur həddini və qurğunun işinin etibarlılıq dərəcəsinin azaltma həddini keçməməlidir. Buraxıla bilən temperatur həddini, qurğunun müşahidə edilən və ən çox qızmış nöqtəsindəki temperaturla təyin edilir. Bu temperatur ən çox qızma nöqtəsindəki temperaturdan aşağı ola bilər. Adətən, ən çox qızma olan nöqtədəki temperaturun ölçülməsi dəqiq olmur və ya ölçmə çətin olur. Ona görə, müşahidə edilən temperaturla ən çox qızma nöqtəsi arasındakı temperatur fərqi  $5-15^{\circ}\text{C}$  olur. Təcrübədə istifadənin rahatlığı üçün müşahidə edilən temperaturları normalaşdırırlar. Cədvəldən görüldüyü kimi istiliyə davamlılığa görə materiallar yeddi sinfə bölünür.

Cədvəl 2.1-də ən çox qızma nöqtələri üçün buraxıla bilən temperaturlar verilmişdir.

İstiliyə davamlılıq materialların normalaşdırılmış temperatur təsiri ilə elektrik izolyasiya xassələrini dəyişmədən elektrik avadanlığının normal istismar müddətində işləmə qabiliyyətinin saxlanmasıdır. Görüldüyü kimi izolə edilməmiş mis və Al kontaktların buraxıla bilən temperaturları  $70^{\circ}\text{C}$ -dir. Belə aşağı temperaturun seçilməsi kontaktların etibarlı işini və onlara toxunan izolyasiya materiallarının normadan çox qızmasına yol vermir.



Cədvəl 2.1

İstiliyə davamlılıq sinfi	Buraxıla bilən $^{\circ}\text{C}$ temperatur	Электроизоляционная материалларынын ясас групы
Q	90	Selüloza tərkibli lifli materiallar, pambıq və təbii ipək, hopdurulmamış izolyasiya materialları
A	105	Selüloza tərkibli lifli materiallar, pambıq və təbii sintetik ipək, hopdurulmuş izolyasiya materialları
E	120	Sintetik üzvi materiallar (plyonka, lif, qətranlar, kompaundlar və s.)
B	130	Slyuda, asbest, şüşə lifli materialların üzvi birləşdiricilər və hopdurucularla birlikdə tərkib
F	155	Slyuda, asbest, şüşə lifli materialların bu istilik sinfi ilə sintetik birləşdiricilər və hopdurucularla birlikdə
H	180	Slyuda, asbest, şüşə lifli materialların silisium üzvi birləşdirici, Silisium üzvi elastomerli birləşdirici tərkib
Y	>180	Slyuda, keramika, şüşə, kvars və ya onlardan kombinə edilmiş birləşdiricisiz və üzvi, elementi üzvi birləşmə olan hopdurucu ilə olan materiallar

Keçiricilər və aparatların normal rejimdə buraxıla bilən temperaturları:

Cədvəl 2.2

Keçiricilər və aparatlar	Buraxıla bilən $^{\circ}\text{C}$ temperaturlar
İzolə edilməmiş naqillər və şinlər	70
Kağız izolyasiyalı orta gərginlik kabelləri 3, 6, 10, 35 kV	80, 65, 60,
Rezin izolyasiyalı məfillər, şnurlar, PVX və plastmass izolyasiyalı kabellər	50
Havada Al, Cu və onların ərintilərindən olan kontaktlar üçün	55
Gümüşlə örtülmüş Alüminium kontaktlar	90
Gümüşlə örtülmüş mis kontaktlar	110
Boltla birləşdirilmiş mis və alüminium kontaktlar	120
Transformator yağı açarlarda və transformatorlarda	90
	80 və 90

Kağız izolyasiyalı kabellərin buraxıla bilən temperaturu ( $105^{\circ}\text{C}$ ), seçilən  $50-80^{\circ}\text{C}$ , yüksək temperaturalarda qaz qabarcıqlarının yaranması üçündür. Təcrübələr göstərir ki, qısa müddətlərdə bu temperaturu artırmaq da olar. Lakin bu zaman izolyasiyanın sürətli aşınmasını nəzərə almaq lazımdır.

Bərabər temperaturlu nöqtələrin həndəsi yerinə, ekvipotensial elektrik sahəsinə uyğun olaraq, izotermik istilik sahəsi deyilir. Temperatur sahəsini xarakterizə etmək üçün, temperatur gradienti istifadə edilir:

$$\text{grad } t = \frac{\partial t}{\partial n} n_0 = \nabla t \quad (3.1)$$

Burada,  $n$  izotermik səthə perpendikulyar olan  $n_0$  kimi vahid vektordur. Temperatur gradienti izotermik səthə normal vektor olub, temperaturun artım istiqamətində yönəlir. Vahid zamanda izotermik səthədən keçən istiliyin miqdarı istilik seli adlanır və  $Q$  ilə işarə edilir. İzotermik sahənin vahid səthindən keçən istilik selinin miqdarına istilik selinin sıxlığı deyilir və  $q$  ilə işarə edilir. İstilik selinin sıxlığı- $q$ , verilmiş nöqtədə temperaturun azalma istiqamətinə tərəf yönəlmiş

vektordur. Deməli  $q$  istilik vektoru, onun gradientinin əksinə yönəlidir. Ona görə, istilik keçirmə ilə istilik ötürülməsi halında, aşağıdakı Furiye tənliyini yazmaq olar [20] :

$$q = -\lambda \text{grad} t \quad (3.2)$$

Burada  $\lambda$  – maddənin istilikötürmə xassəsini göstərən əmsaldır,  $1^{\circ}C$  temperatur gradientində, vahid izotermik səthədən ötürülən istilik miqdarıdır. İstilik ötürmə əmsalı materialın quruluşu, sıxlığı, nəmlik, təzyiq və temperaturdan asılıdır. Sıxlıq, təzyiq və temperatur artdıqca istilik ötürmə əmsalı -  $\lambda$  artır. Elektrik izolyasiya materiallarının nəmliyi onların istilik ötürmə əmsallarını daha çox artırır. Ona görə məsaməli materialları mayelərlə hopdurduqda, onların istilik ötürmə xassələri güclənir. Bərk müstəvi dielektriklər üçün istilik hesabları apardıqda, onların divarını izotermik səth kimi qəbul edərək, bir ölçülü istilik səhəsinə keçirlər [21]. Belə sahədə istilik selinin sıxlığı üçün Furiye tənliyi aşağıdakı kimi yazılır:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx} \quad (3.3)$$

İntegralladıqdan sonra  $qx = -\lambda t + C_1$  alınır. İntegral sabiti  $C_1$  sərhəd şərtlərindən təyin edilir:  $x=0$  üçün,  $t=t_1$  və  $C_1 = \lambda \cdot t_1$  alınır. Onda istilik selinin sıxlığı üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$q = \frac{\lambda}{x} (t_1 - t_0) \quad (3.4)$$

Əgər, müstəvi lövhənin qalınlığı  $x=\Delta$  olarsa,

$$q = \frac{\lambda}{\Delta} \cdot (t_1 - t_0) \quad \text{ifadəsi alınır.} \quad (3.5)$$

Burada  $t_1$ - dielektrik lövhənin ən çox qızmış tərəfinin temperaturu,  $t_0$  – lövhənin soyuq sərhəddindəki temperaturdur.

(3.5) ifadəsinin sağ və sol tərəfinin, lövhənin  $-S$  səth sahəsinə hasili, istilik selinin miqdarı  $Q$  alınır:

$$Q = \frac{\lambda}{\Delta} S \cdot (t_1 - t_0) \quad (3.6)$$

Elektrik izolyasiya konstruksiyalarının daxili izolyasiya qatlarında ESG təsirindən dielektrik itkiləri hesabına əlavə güc itkiləri meydana çıxır. Bu itkilər hesabına ümumi istilik seli dəyişir və  $x$  artdıqca o da artır. Müstəvi lövhənin bir tərəfindən  $q_1$  sıxlığında istilik seli keçdiyi hal üçün dəyişən gərginlik tətbiq edilmiş elektrik izolyasiya qatına baxaq. Burada, dielektrik itkiləri hesabına  $x$  nöqtəsindəki istilik selinin sıxlığının artımı üçün aşağıdakı ifadə yazılır:

$$q_x = (E^2 \omega \epsilon_0 \epsilon_n \text{tg} \delta) \cdot x \quad (3.7)$$

burada  $E^2 \omega \epsilon_0 \epsilon_n \text{tg} \delta$  – dielektrikin vahid həcmində ayrılan istilikdir. İzolyasiya qatında istiliyi nəzərə almaqla (3.3), vahid həcmdə ayrılan istilik seli üçün aşağıdakı ifadə yazılır:

$$q_1 + q_x = -\lambda \frac{dt}{dx} \quad (3.8)$$

(3.7) –dən  $q_x$  –in qiymətini (3.8) –də yerinə yazaraq, integralladıqdan sonra aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$q_1 \cdot x + (E^2 \omega \epsilon_0 \epsilon_n \text{tg} \delta) \cdot x^2 / 2 = -\lambda t + C_1 \quad (3.9)$$

$C_1$ —inteqral sabiti sərhəd şərtindən təyin edilir: -  $x = 0$  nöqtəsində,  $t=t_1$  nöqtəsi üçün,  $C_1=\lambda t_1$  kimi tapılır. Əgər izolyasiyanın qalınlığını  $\Delta$ -ya bərabər götürsək, istilik düşküsi üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$t_1 - t_0 = q_1 \frac{\Delta}{\lambda} + \frac{E^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n t g \delta}{2\lambda} \Delta^2 \quad (3.10)$$

$\Delta$ -qatında istilik selinin sıxlığı üçün  $q_q = (E^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n t g \delta) \Delta$  olduğunu nəzərə aldıqda, istilik düşküsünü aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$t_1 - t_0 = \left( q_1 + \frac{q_q}{2} \right) \cdot \frac{\Delta}{\lambda} \quad (3.11)$$

(3.6) və (3.11) ifadələrinin müqayisəsindən görünür ki, daxilində əlavə istilik ayrılan izolyasiya qatındakı istilik mənbəinin (3.10) ifadəsi ilə hesablamaq olar. Bu zaman temperatur düşküsünün hesabı nümunənin ən çox qızmış olan qatında istilik selinin sıxlığına, üst qatın  $q_q$  selinin yarısı əlavə edilir. (3.11) ifadəsində izolyasiya qatının dielektrik itkilərinin temperatur asılılığının olmadığı nəzərə alınmışdır. Ona görə bu ifadə, nisbətən kiçik ölçülü və az istilik olan izolyasiya qatı üçün ifadəyə doğru olar.

*Silindrik formalı* izolyasiya nümunələrində (yükəsk gərginlikli kabel muftaları və girimlər üçün) hesablar analogi metodika ilə aparılır. Daxili radiusu  $r_1$ , xarici radiusu  $r_2$  olan silindrik nümunədə temperatur qradienti radius boyu dəyişdiyindən Furye tənliyi aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$q_r = -\lambda \frac{dt}{dr} \quad (3.12)$$

Daxili izolyasiya qatında istilik ayrılması olmayan, silindrik nümunənin divarlarından ətrafə ötürülən istiliyin miqdarı sabit olur.  $r$ -radiuslu izotermik səthdən keçən istilik seli aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$Q_r = q_r \cdot 2\pi r l \quad (3.13)$$

Burada  $Q_r$ - $r$  radiuslu izotermik səthdən keçən istilik selinin miqdarı,  $q_r$ -həmin səthdən keçən istilik selinin sıxlığı,  $l$ -silindrik divarın hündürlüyüdür. (2.13) ifadəsindən,  $Q_r = Q = konst$  şərtində  $q_r$ -i (3.12) tənliyində yerinə yazıb inteqralladıqda aşağıdakı ifadə alınır:

$$\frac{Q}{2\pi L} \ln r = -\lambda t + C_1 \quad (3.14)$$

İnteqral sabiti  $C_1$ -i sərhəd şərtlərindən təyin edirlər:  $r=r_1$  olduqda,  $t=t_1$  və  $C_1 = \lambda t_1 + \frac{Q}{2\pi \ell} \ln r_1$  olur.  $C_1$ -in qiymətini (3.14)- də yerinə yazaraq aşağıdakı ifadəni almaq olar:

$$\frac{Q}{2\pi \ell} \ln \frac{r}{r_1} = \lambda (t_1 - t) \quad (3.15)$$

Əgər  $r=r_2$  silindrik divarın xarici radiusu  $r_2$  -yə bərabər götürsək, istilik düşküsi üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$t_1 - t_0 = \frac{Q}{2\pi \lambda \ell} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (3.16)$$

Burada  $t_0$ -silindrik divarın xaricindəki temperaturdur.

Tətbiq edilən gərginlik təsiri ilə silindrik izolyasiya qatında dielektrik itkiləri hesabına əlavə istilik ayrılarsa, istilik selinin artımı üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$dQ = 2\pi r l \frac{E^2 r_1^2}{r^2} \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n \operatorname{tg} \delta dr \quad (3.17)$$

Burada  $E_1 - r_1$  radiuslu izolyasiya qatının daxili səthinə təsir edən ESG-yi,  $r$ -ixtiyari cari radius,  $l$  – silindrin hündürlüyüdür.

(3.17) ifadəsini inteqralladıqdan sonra,  $r=r_1$  və  $Q=Q_1$  sərhəd şərtlərini nəzərə almaqla, istilik seli üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$Q = Q_1 + \left( \pi l E_1^2 r_1^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n \operatorname{tg} \delta \right) \ln \frac{r}{r_1} \quad (3.18)$$

$Q$ -nün bu ifadəsini Furye tənliyinin yazılışında istifadə etdikdə, (3.14) və (3.15) –ə əsasən aşağıdakı tənlik alınır:

$$\frac{Q_1}{2\pi r l} + \frac{1}{2\pi r l} \left( \pi l E_1^2 r_1^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n \operatorname{tg} \delta \right) \ln \frac{r}{r_1} = -\lambda \frac{dt}{dr} \quad (3.19)$$

(3.19) tənliyinin inteqralı aşağıdakı ifadəni verir:

$$\frac{Q_1}{2\pi l} \ln r + \frac{1}{2\pi l} \left( \pi l E_1^2 r_1^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n \operatorname{tg} \delta \right) \frac{\left( \ln \frac{r}{r_1} \right)^2}{2} = -\lambda t + C_1$$

$C_1$ -inteqral sabitini  $r=r_1$ ,  $t=t_1$  və  $Q=Q_1$  sərhəd şərtlərindən aşağıdakı kimi təyin edirlər:

$$C_1 = \frac{Q_1}{2\pi l} \ln r_1 + \lambda t_1$$

$C_1$ -inteqral sabitini yerinə yazıb, aşağıdakı ifadəni alırlar:

$$\frac{2\pi l \lambda}{\ln \frac{r}{r_1}} \left( -t_1 \right) = Q_1 + \left( \pi l E_1^2 r_1^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n \operatorname{tg} \delta \right) \frac{\ln \frac{r}{r_1}}{2} \quad (3.20)$$

$r$ -i silindrik qatın xarici radiusu  $r_2$ -yə bərabər götürsək dielektrik qatında əlavə istilik- $Q_2$  ayrılmasını nəzərə alsaq, (3.20) tənliyini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$t_1 - t_0 = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi \lambda \cdot l} \cdot \left( Q_1 + \frac{Q_q}{2} \right) \quad (3.21)$$

Burada dielektrik itkiləri hesabına iç qatda ayrılan istilik seli:

$$Q_q = \left( \pi l \cdot E_1^2 \cdot r_1^2 \omega \cdot \varepsilon_0 \varepsilon_n \operatorname{tg} \delta \right) \ln \frac{r_2}{r_1} \quad \text{олур.} \quad (3.22)$$

(3.16) və (3.21) ifadələrinin müqayisəsindən görünür ki, ikinciyə izolyasiyanın daxili qatında ayrılan istilik selinin (3.22) yarısı əlavə edilmişdir. (3.21) ifadəsinin alınmasında dielektrik itkiləri və bucağın tangensinin temperatur asılılığı nəzərdən atılmışdır. Ona görə, temperatur düşküünün qiyməti nisbətən böyük alınır. Bu səbəbdən, (3.21) ifadəsi nazik təbəqələr üçün tətbiq ediləndə daha dəqiq nəticələr verir.

Deyildiyi kimi, kombinə edilmiş daxili izolyasiya konstruksiyaları çox hallarda elektrik və istilik səhəsinə görə ardıcıl birləşmiş qatlardan təşkil olunur. Divarları fərqli materialların sərhəd

qatlarından ibarət olan belə konstruksiyaların daxili istilik ayrılımlarını nəzərə almadıqda, istilik düşküsi aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\Delta t = \sum_{i=1}^n \Delta t_i = q \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_i}{\lambda_i} \quad (3.23)$$

Elektrik səhəsinin təsiri ilə istilik ayrılımları nəzərə alındıqda isə, aşağıdakı ifadə tətbiq edilir:

$$\Delta t = \sum_{i=1}^n \Delta t_i = q_1 \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_i}{\lambda_i} + \sum_{i=1}^n \left( \frac{q_{qi}}{2} + \sum_{i=1}^{i-1} q_{qi} \right) \frac{\Delta_i}{\lambda_i} \quad (3.24)$$

Burada  $\Delta t$ - çoxqatlı konstruksiyanın, baxılan kənar divarları arasında cəmi temperatur düşküsi,  $\Delta t_i$  –  $i$  qatında olan temperatur düşküsidür;  $q$ -qatlarda istilik ayrılması olmadığı halda,  $q_1$ -çoxqatlı izolyasiyanın birinci qatının sərhəddində,  $q_{qi}$  – daxili qatında ayrılan istilik sellərinin sıxlıqlarıdır;  $\Delta_i$  –  $i$  qatlarının qalınlığı,  $\lambda_i$  – həmin qatların istilik keçirmə əmsallarıdır.

Çox qatlı silindrik divarlı konstruksiyaların daxili qatlarında istilik ayrılımları nəzərdən atıldığı hallarda, temperatur düşküsi aşağıdakı ifadə ilə hesablanır:

$$\Delta t = \sum_{i=1}^n \Delta t_i = \frac{Q}{2\pi l} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} \quad (3.25)$$

İzolyasiya qatlarında əlavə istilik ayrılımları nəzərə alındıqda isə, temperatur düşküsi aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$\Delta t = \frac{Q_1}{2\pi l} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} + \frac{1}{2\pi l} \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_{qi}}{2} + \sum_{i=1}^{i-1} Q_{qi} \right) \frac{\ln \frac{r_{i+1}}{r_i}}{\lambda_i} \quad (3.26)$$

Burada  $Q_1$  – konstruksiyanın baxılan birinci qatının istilik seli,  $Q_{qi}$  – dielektrik itkiləri hesabına qatlarda istilik ayrılımlarının yaratdığı əlavə istilik seli;  $l$  – silindrin hündürlüyü,  $r_i$  və  $r_{i+1}$  –  $i$  qatının daxili və xarici radiusları;  $\lambda_i$  –  $i$  qatının istilik keçirmə əmsalıdır.

Son ifadələri, qalın divarları olan izolyasiya konstruksiyalarında temperatur düşkünlərinin hesabına da tətbiq etmək olar. Bu zaman qalın divarları, bir sıra nazik qalınlıqlara ayırmaq lazımdır. Sonra hər bir qatdakı temperatur düşkünlərini (3.13) və ya (3.24) ifadələrinə uyğun hesablayırlar. Bu halda düsturlarda  $q_1$  və  $Q_1$  –  $i$  bütün əvvəlki qatların istilik ayrılımlarının yaratdığı, bütün istilik sellərinin cəminə bərabər götürürlür.

Bəzən, izolyasiya konstruksiyaları istilik səhəsinin yayılma istiqamətinə nəzərən paralel qatlar kimi yerləşir. Hər qatdakı istilik seli isə, (3.14) ifadəsi ilə hesablanır. Bu halda cəm istilik seli aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i = \frac{t_1 - t_0}{\Delta} \sum_{i=1}^n \lambda_i S_i \quad (3.27)$$

Burada  $S_i$  –  $i$  qatı üçün səthin sahəsidir.

### Suallar

1. Yüksək gərginlik qurğu və avadanlıqlarında dielektrik itkiləri ilə yaranan istilik mexanizmini izah edin.
2. İstilik qradienti nədir?
3. Silindrik nümunələrdə istilik selinin Furye tənliyi hansı parametərə görə ifadə edilir?
4. Daxili qatlarda istilik mənbəininin yaranmasının səbəbləri nədir?

5. *İstilik hesabatında istilik ötürmə mexanizmlərinin hansı üsulları tətbiq edilir?*
6. *Daxili qatlarda ayrılan istilik seli hesabatlarda necə nəzərə alınır?*
7. *Çoxqatlı sistemlərdə istilik selinin cəmi hansı yolla tapılır?*

#### 4.1 Generatorlar və onların iş prinsipi

Sinxron generatorların yükü elektrik stansiyasının yük qrafiki ilə təyin edilir. Bu zaman generatorun reaktiv gücü təsirlənmə cərəyanının dəyişdirilməsi, aktiv gücü isə turbinə verilən buxar və ya suyun təzyiqinin (miqdarının) artırılması ilə tənzimlənir. Generatorun şəbəkəyə qoşulması zamanı şəbəkə və qoşulan generatorun gərginliklərinin faz ardıcılıqları mütləq yoxlanmalıdır. Bu zaman stator gərginliyinin artım sürətinə məhdudiyət qoyulmur. Generator və şəbəkənin faz ardıcılıqları uyğun olmazsa, qoşulduqda şəbəkə ilə generatorun əks istiqamətli böyük elektromaqnit momenti yaranır. Nəticədə generatorun stator dolağında ifrat cərəyan meydana çıxır. Bu səbəbdən generator və ya turbinin valları zədə ala bilər.

Turbin generatorların yüklənmənin artım sürəti məhduddur. O turbində temperaturun tədricən artması üçün lazım olan zamanla təyin edilir. Yüklənmə tədricən aparılır. Turbinin ilk soyuq rejimlərində yüklənmə 250-300 kVt/dəq, qızdırıldıqdan sonra isə 1 MVt/dəq olur. Adətən bu müddət bir neçə saat çəkir. Hidravlik generatorlar isə yüklənmə üçün uzun müddət tələb etmir. Onları bir neçə dəqiqə ərzində tam yükləmək mümkün olur.

Generatorun nominal rejimləri nominal parametrlərlə xarakterizə edilir: aktiv yük  $P_{nom}$ , nominal gərginlik  $U_{nom}$ , güc əmsalı  $\cos \varphi$ , tezlik  $f_{nom}$ , soyuducunun girişdə olan temperaturası  $\theta_0$ . Nominal parametrlərlə generatorlar uzun müddət (25-30 il) işləməlidir. Bu zaman stator dolağı, rotor və stator polad gövdəsinin temperaturları buraxıla bilən həddi keçməməlidir. Nominal iş rejimlərində maşının aktiv və reaktiv güclərinin nisbi vahidlərdə ifadələri aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$P = \frac{E_g \cdot U_s}{x_d} \cdot \sin \delta + \frac{U_s^2}{2} \cdot \frac{x_d - x_q}{x_d \cdot x_q} \cdot \sin 2\delta ;$$

$$Q = \frac{E_g \cdot U_s}{x_d} \cdot \cos \delta + \frac{U_s^2}{2} \cdot \frac{x_d - x_q}{x_d \cdot x_q} \cdot \cos 2\delta - \frac{U_s^2}{2} \cdot \frac{x_d + x_q}{x_d \cdot x_q}$$

Burada  $E_g$ -stator dolağının nominal gərginliyi,  $U_s$ -sistemin şəbəkə gərginliyi,  $\delta$ -onlar arasındakı bucaq fərqi,  $x_d$ -uzununa,  $x_q$ -eninə induktiv müqavimətlərdir.

İlkin mühərrikin mexaniki enerjisini elektrik enerjisinə çevirən generatorlar elektrik stansiyalarının əsas elementləri və hissələridir. Müasir elektrik stansiyalarında əsasən üçfazlı dəyişən cərəyan generatorları istifadə edilir.

Deyildiyi kimi ilkin mühərrik və yanacaqın növünə görə generatorlar turbin və hidravlik tiplərə malik olurlar. Turbin generatorları bilavasitə buxar və ya qaz turbinlərinə qoşularaq firladılır. Onların əsas xassəsi iti sürətləri və yüksək fırlanma tezliyidir. Turbinin fırlanma sürəti yüksək olduqca, onların qabarit ölçüləri kiçilir, f.i.ə-ı böyük olur. Bu səbəblərdən turbin generatorlarının sürətinin artırılması tendensiyası vardır. Lakin sürət artımının nominal tezlik və minimal qütblər sayı  $n=1$  üçün müəyyən bir həddi vardır. Tezliklə fırlanma sürəti arasında aşağıdakı asılılıq yazıla bilər:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (4.1)$$

Bu ifadəyə görə Avropa və köhnə Sovetlər birliyində olan ölkələrdə qəbul edilmiş 50 Hz tezlik üçün maksimal sürəti 3000 dövr/dəq, Amerika və Yaponiya kimi ölkələrdə isə (60 Hz tezlik olan) 3600 dövr/dəq olur. Bəzi hallarda bir cüt qütbü olan ( $n=1$ ) turbin aqreqatlarının maksimal fırlanma sürəti 3000 dövr / dəq-dən kiçik olur. Turbin valının aşağı fırlanma sürəti

təzyiqli buxar dəyən pərlərin səthinin artırılması ilə əldə edilir. Pərlərin uzunluğunun artırılması ilə keçən buxarın miqdarı və generatorun gücünün də artmasına nail olunur. Bu halada güc, turbin pərlərinə daha çox təzyiqlə düşdüyündən onların mexaniki gərginlik həddindən asılı olur. Bu üsuldən xüsusi ilə böyük güclü (1.2 QVt) və aşağı parametrlili buxar turbinlərində (məsələn, AES-də) istifadə edilir. Ona görə AES generatorların pərləri böyük olur. Bəzi hallarda kiçik güclü turbin generatorlar, turbinlə reduktorlar vasitəsi ilə birləşdirilir. Onlar bu halda daha sürətli fırlanma tezliyinə malik olurlar. Adi buxar turbin generatorlarında isə, işin etibarlılığına pis təsir etdikləri üçün belə reduktorlardan istifadə edilmir. Hidravlik (su) generatorların mühərrik və alternator hissəsi şaquli konstruksiyaya malikdirlər. Hidravlik generatorların fırlanma sürəti, hidroturbinlərin əlverişli olan fırlanma tezliyinə bərabər götürülür. Ona görə, hidravlik turbinlərin fırlanma sürəti –  $n_{turb}$  suyun 1 saniyədəki sərfiyyatı ( $m^3/san$ ), təzyiqlə və gücdən asılı olaraq aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$n_{turb} = n_b \cdot \frac{H^{3/4}}{\sqrt{P}} \quad (3.2)$$

Suyun sərfiyyatı və təzyiqlə hidravlik elektrik stansiyalarında çox fərqli olduğundan, hidravlik generatorların fırlanma sürətləri  $n_b$  da, 50-750 dövr/dəq arasında qiymətlər alan geniş diapazonlarda dəyişirlər. (3.2)-dən görüldüyü kimi, suyun aşağı təzyiqlə və generatorun böyük gücləri üçün, fırlanma sürəti mütənasib olaraq azalır. İndiyə qədər Rusiyada istehsal edilən və Azərbaycanın su elektrik stansiyalarında istifadə edilən generatorların əksəriyyəti 50-125 dövr/dəq sürətinə malikdirlər. Onlar aşağı sürətli olduqlarından daha etibarlı maşınlardır. Generatorlarda cüt qütblər sayı həmişə tam ədəd olduğundan, dövrlər sayı bəzən kəsr ədəd olur. Məsələn,  $n=36$  üçün fırlanma sürəti 83,3 dövr/dəq,  $n=58$  üçün fırlanma sürəti 51,5 dövr/dəq,  $n=32$  üçün isə, 93,8 dövr/dəq olur. Dizel və ya başqa porşenli mühərriklərlə birlikdə qoşulan aşağı güclü sinxron generatorlar çox qütblü və geniş diapazonda dəyişən fırlanma sürətlərinə malik (100-1500 dövr/dəq) olduqlarından, müxtəlif variantlarda hazırlanırlar.

Hidrogenatorlar üçün, maksimal güc təyin olunsa da, nominal gücün standart şkalası olmur. Çünki onların gücü verilən suyun miqdarı və təzyiqindən asılı olur. Suyun bu parametrləri isə, müəyyən vaxt müddətində müxtəlif su elektrik stansiyaları üçün çox müxtəlif həddlərdə dəyişə bilər. Ona görə hər bir SES üçün aqreqatların nominal gücü xüsusi layihə ilə hesablanır. Əgər 50 MVt –a qədər gücü olan su elektrik stansiyaları yaxınlığında böyük miqdarda enerji işlədən tələbatçılar varsa, onda generator gərginliyinin şin sistemində çıxarılması özünü doğruldur.

Turbingeneratorları iti sürətli, horizontal quruluşlu elektrik maşınlarıdır. Maşının rotoru (valı) tərənəmzə stator gövdəsinin mərkəzində horizontal vəziyyətdə böyük tezliklə fırlanır. Fırlanma sürəti artdıqca maşının qabarit ölçüləri azalır gücü və iqtisadi səmərəsi artır. Turbingeneratorlar iki qütblü (1 cüt) hazırlandığından onlar 3000 dövr/dəq-nominal fırlanma sürətinə malik olmalıdır. Atom elektrik stansiyalarında buxarın aşağı parametrlərə malik olması səbəbi ilə daha aşağı sürətli (1500 dövr/dəq), turbingeneratorları (4 qütblü) istifadə edilir. Son zamanlar 1000 MVt gücündə bloklara malik olan AES də 2 qütblü, 3000 dövr/dəq sürətli turbingeneratorlar tətbiq edilir. Aşağıda ГОСТ 533-85 üzrə turbingeneratorların nominal güc şkalası verilmişdir: -2,5;4;6;12;32;63;110; 160; 220; 320; 500; 800; 1000; 1200; 1600; 2000 MVt.

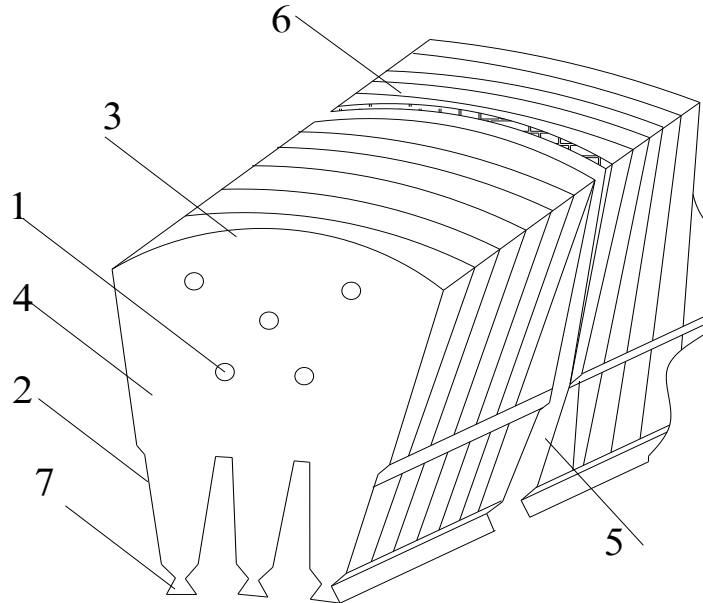
Fırlanma sürəti ilə generatorun nominal tezliyini təyin edən cüt qütblər sayı ilə yanaşı sinxron generatorlar bir sıra başqa nominal parametrləri ilə də xarakterizə olunurlar. Onlardan əsası aktiv güc və ya son zamanlar DÜİST-lə göstərilən tam gücdür. Nominal güc kmi generatorun uzun müddət verə biləcəyi faydalı güc hesab edilir. Bu güc şərtində verilmiş bütün digər parametrlər də nominal parametrlər adlanırlar. Onlara statorun nominal gərginliyi-  $U_n$ , cərəyanı-  $I_n$ , statorun təsirlənmə gərginliyi –  $U_{tas}$ , rotorun təsirlənmə cərəyanı  $I_{tas}$ , generatorun reaktiv gücü - $Q$ , güc əmsalı - $\cos\varphi$ , faydalı iş əmsalı- (f.i.ə.) –  $\rho$ .

Sinxron generatorun tam nominal gücü -  $S_n = \sqrt{3}U_n \cdot I_n$ , nominal aktiv gücü isə  $P_n = \sqrt{3}U_n \cdot I_n \cos \varphi$  kimi hesablanır.

Turbingeneratorların stator gövdəsi iki tərəfdən lövhələr qaynaq edilmiş polad qapaqlara malikdirlər. Hidrogen soyutmalı turbingeneratorun gövdəsi çox möhkəm və qazkeçirməyən olmalıdırlar. Stator içliyi ayrı-ayrı paketlərdən təşkil olunur şəkl. 1.3.

Polad paketlər qalınlığı 0,5 mm olan, seqment formalı polad vərəqələrdən yığılır. Burluğan cərəyan itkilərini azaltmaq məqsədi ilə polad vərəqələr izolyasiya lakaları ilə örtülür. Kiçik gücülü maşınlarda isti yayılmış polad, böyük güclü (100 MVt və çox) maşınlarda isə soyuq yayılmış polad vərəqələr istifadə edilir. Soyuq yayılmış polad vərəqələr yüksək maqnit nüfuzluluğuna və kiçik xüsusi itkilərə malik olan materialdır.

Soyuq yayılmış polad vərəqələr içliyin, ölçülərini və mis sarğı naqilinin sərfini azaldır. Stator polad içliyinin soyudulması üçün paketlərdə aksial kanallar-1 və paketləri ayıran radial ventilyasiya kanalları -5 vardır. Stator içliyinin pазlarında -7, dolaq sarğıları yerləşdirilir. Müasir turbingeneratorlarda stator, qısaldılmış addımlı, ikiqatlı, üst və alt çubuqlardan ibarət dolaqlardan təşkil olunur. Stator dolaqları alın hissəsində lehimlənərək birləşdirilir.



Şəkl.3.3 Turbin generatorun seqment paketi 1- aksial ventilyasiya dəliyi, 2-seqment dişi, 3- seqment beli, 4- seqment, 5- radial ventilyasiya kanalı, 6- seqment ay Turbin энергаторунр сегмент пакети 1- аксиал вентиляция дэлийи, 2-сегментин диши, 3-сегментин бели, 4- сегмент, 5- radial ventilyasiya kanalı, 6-seqment ayırıcısı, 7- statorun pazı.

Üçfazlı sinxron generatorun stator dolağını iki faz dolağı arasında olan xətti gərginliyinə nominal gərginlik deyilir  $-U_{nom}$ . Bu gərginliklər generator – transformator blokunda elektrik şəbəkəsinin, DÜİST -ə görə standartda çevrilən gərginliklərinə - 110, 220, 330, 500 və 750 kV-a, uyğun olub aşağıdakı qiymətlərə malikdirlər: 3,15; 6,3;10,5; 18,0; 20,0; 21,0; 24,0 kB.

#### Suallar

1. Generatorun iş prinsipi, fırlanma sürəti və tezliyi necə asılıdır?
2. Hansı generator aşağı sürətlidir?
3. Tam güc hansı parametrlərdən asılıdır və necə hesablanır?
4. Genrator və onların çevrilən gərginlikləri hansılardır?
5. Generator içliklərində lakların tətbiqi hansı məqsəd daşıyır?



6. Hidrogeneratorlar üçün nominal güc şkalası necə seçilir?

7. Polad yayma texnologiyasının hansı üsulu içlik üçün daha əlverişlidir?

### 3.2 Sinxron kompensatorlar

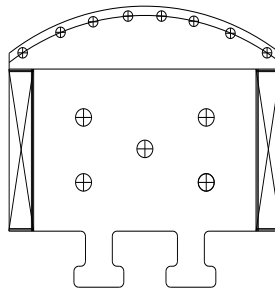
Sinxron kompensatorlar SK yüklənməmiş sinxron mühərriklərdir. Təsirlənmə cərəyanından asılı olaraq, həm generator həm də mühərrik rejimində işləyir. Artıq təsirlənmədə reaktiv güc hasil edərək çıxışa gərginlik verir, yetərsiz dərəcədə təsirləndirilmədə isə, şəbəkədən reaktiv güc tələb edir. Sinxron kompensatorların əsas xüsusiyyəti həm mənfi, həm də müsbət təsirlənmə ilə işləməsidir. Sinxron kompensatorlar aşkar qütblü elektrik maşınlarıdır. Onlar hidrogeneratorlara oxşardır. Hidrogeneratorlardan fərqli xüsusiyyətləri, kompensatorlarda valın horizontal yerləşməsidir. Bu şəkildə hazırlanan konstruksiyanın çəkisi az, montajı isə asan olur. Montajda xüsusi krana ehtiyac olmur. Vertikal valın həm təmiri, həm də montajında ağır tonlu kran lazım gəlir. Horizontal vallı sinxron kompensatorların özül konstruksiyaları da nisbətən kiçik olur.

Paralel işlədilən sinxron kompensatorların dayanıqlığını artırmaq üçün ətalət momenti böyük olan maşınlar istifadə edilir. Ona görə alçaq fırlanma momentinin olmasına baxmayaraq (valda yük olmadığından), sinxron kompensatorların valları çox massiv olur. Belə ağır valların mexaniki möhkəmliyini artırmaq məqsədi ilə onları sərtləşdirilmiş (döyülmüş) poladdan hazırlayırlar.

Hazırkı standartlara görə nominal gücü 10; 16; 25; 32; 50; 100; 160; 350 MVA, fırlanma sürəti 750-1000 dövr/dəq olan sinxron kompensatorlar istehsal edilir. Aşağı fırlanma sürəti ilə işləyən aşkar qütblü sinxron kompensatorlar, qeyri aşkar qütblü və yüksək sürətli maşınlardan daha sərfəli olduğundan ikincilər demək olar ki, tətbiq edilmir. Aşkar qütblü SK-larda enerji itkiləri az və qiyməti ucuz olduğundan onlar üstünlük təşkil edirlər. Aşkar qütblü sinxron kompensatorların işə düşmə prosesini yüngülləşdirmək üçün onlarda işə salma dolağı olur. İşəsalma dolağı, rotorun qütblərinin yarımçıq pazlarına montaj edilmiş çubuqlardan ibarət konstruksiyaya malikdir şək.7.8.

Qütblərin yan tərəflərində cubuqları latun və ya mis seqmentlərlə qısa qapayırlar. Qonşu qütblərin seqmentlərini isə elektriki birləşdirərək ümumi qısa qapanmış həlqə yaradırlar. Çubuqların və seqmentin en kəsikləri işəsalma cərəyanının qiyməti və müddətinə görə seçilir.

Sinxron kompensatorların reaktiv güc enerji tələb edən rejimdə işləməsi zamanı, maqnit səpələnmə seli stator dolağının alın hissəsində daha dərin nüfuz edir. Bu güc itkilərini artırır. Eyni zamanda təkcə stator içliyinin yan tərəfi deyil, həm də kronşteynlər, bondaj həlqələri, sıxıcı kronşteyn ləvhələri və s. elementlərin də qızmasına səbəb olur. Ona görə 50%-dən çox reaktiv güc işlədən sinxron kompensatorların bondaj həlqələri, sıxıcı kronşteynləri, stator içliyinin yan qapaqları qeyri maqnit materiallardan hazırlanır.



*Şək.3.4 Rotor qütbünün kəsiyi 1-içlik, 2-təsirlənmə dolağının sarğısı, 3-işəsalma (dempfer) dolağı*

**Sinxron kompensatorların asinxron işə qoşulması:**

İşəsalmanın bu üsulu sinxron elektrik mühərriklərinin işə qoşulmasına oxşardır, lakin sinxron kompensatorların valında yük olmadığından işəsalma daha asan baş verir.

Sinxron kompensatorların bir başa (asinxron) işəsalınması o zaman tətbiq edilir ki, onun sıxaclarında gərginlik  $0.6 U_{nom}$ -dan böyük olmasın. Əks halda, işəsalma cərəyanları buraxıla bilən qızma həddini aşır.

İşəsalma reaktorları tətbiq edildikdə, reaktorların müqavimətləri elə seçilməlidir ki, işəsalma cərəyanının qiyməti nominalın 2,5 misindən çox olmasın. Bu halda yarımstansiyanın şinlərində gərginlik  $0.85 U_{nom}$ -dan az olmayır. Həmin şərtlərdə sinxron kompensatorların başlanğıc asinxron momenti valın yastıqlarının fırlanmada sürtünmə momentindən 1.4-1.8 –dəfə çox olacaqdır. Adətən reaktorla işəsalma üsulunda işəsalma cərəyanı (1.8-2.5)  $I_{nom}$ , sinxron kompensatorun sıxaclarındakı gərginlik isə,  $0.4 U_{nom}$  həddlərində olur.

Tezlik üsulu ilə işəsalmada yeni işə qoşulan sinxron maşının stator dolağını, fırlanma sürəti 0-dan sinxron sürətə qədər dəyişdirilə bilən digər sinxron maşının statoruna birləşdirirlər. İşlək kompensatorun gücü, işə qoşulan generatorun gücünün 30-50 %-nə bərabər olmalıdır.

Tezlik üsulu ilə işəsalma aşağıdakı ardıcılıqla aparılır:

Elektrik maşınlarını bir başa və ya transformator vasitəsi ilə ayrı-ayrı şin sistemlərinə birləşdirirlər. Onları, tərpənməz halda xarici mənbə və ya ehtiyat təsirləndiricilərdən təsirləndirirlər. Fırladılan birinci maşına nominal təsirlənmə cərəyanı verilir, işəqoşulan yeni maşına isə elə təsirlənmə cərəyanı verilir ki, sinxron fırlanma tezliyində, yüksüz işəqoşulan kompensatorun sıxaclarında gərginlik nominaldan 2 dəfə aşağı olsun. Bu şərtə işəqoşulan maşın mümkün olan, ən böyük elektromaqnit momentinə malik olur. Sonra fırladılan ilkin maşının sürətini tədricən artıraraq, gərginliyin tezliyini artırır və onun çıxış parametrlərini işəqoşulan maşına verirlər. Bu halda işəqoşulan maşının dəyişən elektromaqnit momenti rotorun sürətini səlil olaraq dəyişdirir (artırır). Maşınların rotoru nominal fırlanma tezliyinə çatdıqda, onları öz (işçi) təsirlənmə dövrlərinə birləşdirirlər. Bundan sonra hər iki maşını dəqiq sinxronlaşma üsulu ilə şəbəkəyə qoşurlar. Rotorun qızmasının qarşısını almaq üçün təsirlənmə verildiyi andan (3 dəq müddətində) tezliyin dəyişdirilməsi ilə işəsalmanı dərhal başlamaq lazımdır. Çünki sükunətdə olan maşında sirkulyasiya və soyutma olmadığından rotor dolağı qıza bilər.

### 3.3 Generatorların soyudulması

İş prosesində generatorlarda elementlərin qızmasına səbəb olan enerji itkiləri baş verir. Müasir generatorların f.i.ə. çox yüksək olmasına baxmayaraq, itkilərin nisbi qiyməti 1.5-2%-ə çatır. Ona görə itkilərin mütləq qiyməti böyük olur (məsələn, 800 MVt generator üçün 10 MVt-a çatır). Generatorların qızmasının son həddi izolyasiyanın istiliyə davamlılığı ilə təyin edilir. İstiliyin artması izolyasiyanın elektrik və mexaniki dayanıqlılığını azaldır. İzolyasiya quruyur, ovxalanır və öz normal funksiyasını itirir. Təcrübələrdən görünür ki, izolyasiyanın istilik köhnəlməsi,  $T = T_0 \cdot \exp \left( \frac{a}{t} \right)$  ifadəsinə uyğun olaraq, temperaturun artması ilə sürətlənir və onların yaşama müddəti azalır. Burada  $T$ -  $t$  temperaturunda izolyasiyanın xidmət müddəti,  $T_0$ -  $t=0^\circ\text{C}$  temperaturda olan xidmət müddətidir. Texniki ədəbiyyatlarda  $T_0$  üçün  $(1.5-5) \cdot 10^4$  il müddət göstərilir,  $a$  əmsalı izolyasiyanın temperaturdan asılı olan köhnəlmə dərəcəsidir. Hər  $8^\circ\text{C}$  artımda izolyasiyanın ömrü iki dəfə azalır. Məsələn,  $105^\circ\text{C}$ -də 20 il işləməli olan izolyasiya  $113^\circ\text{C}$ -də 10 il,  $121^\circ\text{C}$ -də isə, yalnız 5 il işləyə bilər.

Сойудулмасына эюря турбинэнегенаторлары щава, щидроэен, щидроэен-маёе вя йа тямиз маёе иля сойудулма цсулларына маликдирляр. Щидроэенгенаторлар ися, йалныз щава вя щава-маёе сойутмалы олулар. Сойудужу аэентля мис сарбыларын температур мцбадиляси билавастя вя долайы йолла олулр. Яввялляр истещсал олунан эенераторларда адятян долайы цсул истифадя едилирди. Беля ки, истилик мис долаглардан изолясийайа,

изолйасийадан ися сойдужу мцщитя ютцрцлрцдц. Йени турбинэенераторларда ися сойутма бир-баша мисс долаьын ичярисиндяки канал васитяси иля ютцрцлрц. Бу заман истилик ютцрмя даща эффектли олур. Бу цсулун вя йарадылан системин цтцнцлцц щям дя изолйасийада аз истилик тясирляринин олмасындадыр. Soyutma sistemi maşında ayrılan istiliyin ötürülməsi, mis dolaqların, rotor, stator gövdəsinin temperaturunun sabit saxlanmasını təmin edir.

Эенераторларын эцжц дя сойутма интенсивлийиндян асылы олур. Турбинэенераторун ясас параметрляриня эюря онун там эцжц  $C, кВА$  иля :

$$S = K \cdot A_j \cdot B_s \cdot D^2 \cdot n_i \cdot l \quad \text{kimi tapılır.}$$

Burada  $B_s$  – aralıqda maqnit induksiyası, *Tesla*;  $D$ -statorun dolaqlar yerləşən çevrəsinin diametri,  $m$ -lə  $n$ -generatorun fırlanma sürəti,  $dövr/dəq$ ,  $K$  – turbingeneratorlar üçün  $1,1$  –ə bərabər götürülən əmsal,  $A_j$ - stator dolağının xətti yükü,  $A/sm$  –dir:  $A_i = I_n \frac{N_n}{b_1}$  kimi

təyin edilir. ( $I_n$  – statorun nominal cərəyanı,  $A_j$ ;  $N_n$ - pazda sarğı məftillərinin sayı;  $b_1$  –paz bölgüsü,  $sm$ -lə.

Maqnit induksiyasının qiyməti generatorun gücünün artırılmasına təsir edən əsas amildir. Lakin bunun artırılması içliyin dişlərində maqnit doyması səbəbindən mümkün olmur. Ona görə verilmiş fırlanma sürətində və hava aralığında induksiyanın  $0,8-1Tl$  qiymətlərində generatorun gücünün artırılması həndəsi ölçülərdən-  $D_l, l$  və rotor, stator dolaqlarında cərəyanın xətti sıxlığından asılı olur. İlk zamanlar generatorların gücləri və ölçüləri çox da böyük olmurdu. Ona görə gücün artırılması həndəsi ölçülərin dəyişməsi ilə aparıla bilirdi. Elektromaqnit yüklər də az dəyişirdi. Lakin rotor və statorun həndəsi ölçülərinin dəyişdirilməsi ilə olan güc artımlarının bir həddi gəlib çıxdı. Çünki fırlanma sürəti 3000 dövr dəqiqə olan rotor valının son uzunluq ölçüsü hələlik 7-8 m-dən böyük olmur. Çünki bu nisbət maşının aktiv hissəsi olan rotorun diametrinə görə 5,5-6,5 təşkil edir və onun bundan çox artırılması statik əyilmə, fırlanma zamanı yaratdığı titrəmələr və yaranan mexaniki gərginliklər səbəbi ilə mümkün olmur.

Deyilənlərdən aydın olur ki, generatorların güclərinin sonrakı artımları rotor və stator dolaqlarının cərəyanlarının xətti sıxlığının artımı ilə mümkündür. Rotor cərəyanının xətti sıxlığı stator cərəyanının xətti sıxlığı ilə düz mütənasibdir:  $A_2 = K_2 \cdot A_1$  - burada  $K_2$  vahiddən bir qədər böyük olan əmsaldır. Rotor cərəyanının xətti sıxlığı aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$A_2 = J_2 \cdot \frac{\sum S}{\pi \cdot D_2} \quad (3.3)$$

burada  $\sum S$ - rotorun pazlarında olan bütün təsirlənmə dolaqları sarğı məftillərinin en kəsiyinin cəmidir,  $mm^2$  –la,  $J_2$ -rotor dolağında cərəyanın sıxlığı,  $A/mm^2$ -la,  $D_2$  isə rotorun diametridir,  $m$ -lə.

Aydındır ki, cərəyanın sıxlığının artırılması yalnız soyutma sistemi ilə əldə edilə bilər. Səth effektini azaltmaq məqsədi ilə, çubuqlar kiçik en kəsiyi olan naqillərdən ibarət olur. Səthi hava və ya hidrogenlə soyudulan turbin generatorlarda bu naqillər bütöv en kəsiyinə, bilavasitə su və ya hidrogenlə bir başa soyudulan turbin generatorlarda isə həm bütöv en kəsiyi olan sarğı naqilləri, həm də içi boş kanalı naqillər istifadə edilir.

#### Suallar

1. Hansı soyutma üsulları və sistemləri vardır?
2. Cərəyanın xətti sıxlığı güc hesabına necə təsir göstərir?
3. Verilmiş fiziki parametrlərə görə generatorun güc vahidini hesablayın.
4. Rotor cərəyanı ilə stator dolaqlarının cərəyanları arasında hansı asılılıq vardır?

### 3.4 Синхрон генераторларын əsas параметрлери

Синхрон машинларын ясаc параметрлярия узунуна *синхрон индуктив* мцгавимят- $x_d$ , узунуна *кечид* индуктив мцгавимяти –  $x_d$  *вя узунуна али кечид* мцгавимятляри дахилдир  $x''_d$ . Бунлардан башга статор жряйянынын апериодик тяшкиледижисинин *электрик-магнит сюнмясинин заман сабити*-  $T_d$ , *сярбяст кечид*-  $T'_d$  *вя сярбяст али кечид* жряйяан тяшкиледижисинин заман сабитляри- $T''_d$  аиддир. Щесабатларда эенераторун индуктив мцгавимятляри нисби ващидялрдя, заман сабитляри ися санийяляря ифадя едилир.

Узунуна ох цзя синхрон индуктив мцгавимят – $x_d$  жряйяанын хятти сыхлыбы, вя гцтб бюлэцц  $\tau$  иля дцз, аралыгдакы магнит сели индуксийасы-  $B_c$  *вя аралыбын юлчцц* – $\delta$  иля тярс мцтянасиб олур. Аралыг буюццкжя магнит кечирижилийи *вя  $x_d$  мцгавимяти* азалыр. Аралыбын юлчцц артдыгжа синхрон машинда лазым олан индукция йаратмаг цццн тясирлянмя долабынын магнитлянмя селинин гцввяси артырылмалыдыр. Нятижядя тясирлянмя долабында жряйяан сыхлыбы артырылмалы *вя она эюря дя интенсив сойудулма* апарылмалыдыр. Бу сябябдя, синхрон машинын констрксийасынын ужуз олмасы цццн аралыг кичик,  $x_d$ -*нин ися буюцк олмасы* лазым олдуу айдынлашыр. Лакин эенераторун енерьи системи иля паралел ишлядилмяси цццн буюцк  $x_d$  сярфяли дейилдяр. Чцнки бу заман эенераторун статик дайаныгылыбы позулур :

$$P_{\max} = \frac{E_g \cdot U_s}{x_d + x_s} . \quad (3.4)$$

burada  $P_{\max}$  –*generatorun şəbəkə ilə dayanıqlı işlədiyi halda malik olduğu ən böyük güc*,  $U_s$  – *şəbəkə gərginliyi*,  $x_s$ - *şəbəkənin müqavimətidir*. Digər tərəfdən  $x_d$ -*nin kiçik aralığlara uyğun olan hədsiz böyük qiymətləri ventilyasiya şərtlərini pisləşdirdiyinə görə əlverişsiz sayılır*.

Буюк генераторларда сярэяанын хэtti сыхлыгы да артыр. Дэуишмэз магнит индуксийасында жряйяанын артмасы  $\delta$ ,  $\tau$  *вя  $x_d$  –нин артмасына* сябяб олур. Магнит индуксийасынын артырылмасы ротор дишляриндя дойма йаратдыбы цццн мцмкцн олмур. Она эюря  $x_d$ -*ни азалтмаг цццн аралыбы* артырмаг лазым эялир. Бунунла беля буюцк машинларда жряйяан сыхлыбынын артырылмасы, аралыбын юлчццццн артымына нисбятян даща чох одууандан, онларда  $x_d$ -*нин гиймяти буюцк олур*.

Кечид *вя али кечид* индуктив мцгавимятляри статор, тясирлянмя вя демпфер (сюндцрцжц) долагларында магнит селляринин сяпялянмяси иля тьяин едилир. Буюцк машинларда жряйяанын хятти сыхлыбы чох олдуу цццн,  $x'_d$  *вя  $x''_d$  мцгавимятляри* дя артыр. Бу ися кечид *вя али кечид* гж жряйяанларынын долаглардан кечян гиймятлярини азалдыр. Лакин щямин мцгавимятлярин артмасы ири машинларда динамики дайаныгылыбын азалмасына сябяб олур.

Ири машинларын юлчцляринин аз артмасы *вя интенсив сойутмя системинин тятбиги* иля эенераторун эцжц *вя  $T_d$ ,  $T'_d$ ,  $T''_d$  – заман сабитляри* дя гисмян артыр.

### 3.8 Generatorların işə qoşulması və paralel işlədilməsi

Эенераторларын işə qoşulması *вэ бири-бири* иля паралел ишлядилмяси цццн *дягиг синхронлашма* *вя юз-юзця синхронлашма* усуллары истифадя едилир. Техники истисмар гайдаларына (ТИГ) ясасян юз-юзця синхронлашма долайы йолла сойудулан *вэ блок схеми* иля гошулан бцццн турбин эенераторларда тятбиг едилир. Бу цсул щям дя щидро-эенератор *вя синхрон компенсаторлар* цццн тятбиг едилир. Эенератор шинлярия ишляйян, долайы *вя бир баша сойудулан турбин эенераторларын* гошулмасы *дягиг синхронлашма* цсулу иля йериня йетирилир. Гяза щяраитляриндя ещтийят эцжцн тяжили гошулмасы *вя йа паралел гошулан эенераторларын тезлик юлчян гурьусу* олмадыгда юз-юзця синхронлашма цсулу истифадя едилир.

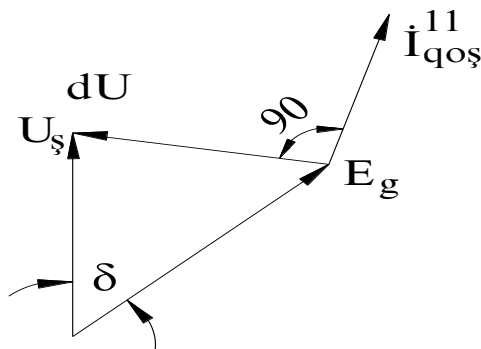
Фаз ардыжылыгыны, эенератору илк даягы гошдугда вя йа онун биринжи дюврясиндя тямир апарылдыгдан сонра йохламаг лазымдыр. Фаз ардыжыллыгы дцз олмадыгда эенераторун шыбьякяйя гошулмасы турбиндя якс истигамятли буюцк электромагнит моменти йаранмасына сябьяб олур. Бу заман эенераторун статор жряйяны да цядсиз буюцк гиймятляря чыхыр. Нятижядя эенераторун юзц вя йа турбинин валы сырадан чыха билир.

Фаз ардыжыллыгыны шин системиня бирляшдирилмиш, нювбя иля шыбьякяйя вя эенератора гошулан ейни бир эярэинлик трансформатору васитяси иля йохлайырлар. Дягиг синхронлашма иля эенераторун шыбьякяйя гошулдуьу шалда эенератор эярэинлийи шыбьякя эярэинлийиндян  $15^{\circ}$  бужаг фяргиня вя  $20\%$ -я гядяр модул фяргиня малик ола билир. Тезлийя эюря фярг  $0,1\%$ -дян ( $0,005\text{Цс}$ ) чох олмамалыдыр.

Бу кямийятлярдян ян тясирлиси бужаг фяргидир ( $\delta_{с\text{яшв}}$ ). Чцнки бужаг фярги статор жряйянында тьяканлар вя турбинин валында буюцк электромагнит моменти йарада билир.

Вектор диаграммындан эюрцнцр ки,  $U_{\text{ш}} = E_g = U$  эярэинликляри бярабяр олдугда  $\Delta U$  ццн ашаьыдакы ифадяни йазмаг олар:

$$\Delta U = 2 \cdot U \sin \frac{\delta_{с\text{яшв}}}{2} ; \quad I''_{qos} = \frac{\Delta U}{x'_d + x_s} .$$



Şəkil 3.7 Sinхronlaşma gərginlik vektorları

Дягиг синхронлашма цсулу. Бу цсул синхрон эенераторлары шыбьякяйя гошдугда истифадя едилир. Яввялжя эенератору турбинля синхрон фырладырлар. Сонра эенератору тясирляндириб уйьун бир шыраитдя шыбьякяйя гошурлар. Машынын шыбьякяйя гошулмасынын уйьун шыраитляри : 1) ишыя гошулан эенераторун шыбьякя вя йа ишыяйя эенераторла эярэинликляринин бярабярлийи; 2) бу эярэинликлярин фазларынын ейни олмасы; 3) йени гошулан эенераторла ишыяйя эенератор вя йа шыбьякянин тезликляринин бярабяр олмасыдыр. Биринжи шярт машынын тясирлянемясини тязимлямякля, икинжи вя ццнжц шяртляр машынын валынын фырланма моментини дяйишдириякля йериня йетирилир. Машынын валынын моменти ися верилян бухар вя йа суйун мигдары иля тязимлянир. Дягиг синхронлашма шярти ял ил вя автоматик олагаг апарылыр. Ял иля дягиг синхронлашмада эярэинлик вя тезлийя ики вотметр вя ики тезлик юлчянля нязарят едилир. Эярэинликляр арасында фаз фяргляриня ися синхроноскопла нязарят едилир. Синхроноскоп фазларын уйьунлуьу иля йанашы, йени гошулан эенераторун сцрятинин ишдя олан эенераторун сцрятиндян фяргини дя эюстярир. Ики волтметр, ики тезлик юлчян вя синхроноскоп бирликдя синхронлашма колонкасыны тьяшил едирляр. Синхронлашдырылан эенератора аид волтметр вя тезлик юлчян юз эярэинлик трансформаторуна, ишдя олан эенераторун (вя йа шыбьякянин) волтметр вя тезлик юлчяни ися, стансийянын йыьма шин системиня бирляшдирилир. Синхроноскоп ися ейни заманда икисинин дя эярэинлик трансформаторларына бирляшдирилир.

Йухарыда эюстярилян бцтцн шяртляр юдянилдикдя, йени гошулан эенератор вя шыбьякя эярэинликляринин фярги сыфыр олур, бярабярляшдирижи жряйяанлар йаранмыр.

Дягиг синхронлашманын бир сыра чатышмазлыгылары вардыр: 1) эярэинликлярин фаза ва модуларынын бярабярлящидирилмяси, эенераторун тезликляринин уйьунлащдырылмасы просесинин мцряккяблийи; 2) гошулманын нормал реьимдя бир неча дягигя, системдя гяза олдугда ися эярэинлик ва тезлийин дяйишмяси цзцндян бир саата гядяр узанмасы; 3) буюцк бужагла габагламасы щалында гошулдугда эенератор ва илкин мцщяррикин механики зядя алмалары.

*Юз-юзця синхронлашма цсулу.* Бу цсул гошулан синхрон машынын дягиг тезлик ва эярэинлик фазасында олмасыны тяляб етмир. Гошулан эенератору синхрон фырланмайа йахын сцрятля (бир неча % фяргля) фырладараг, тясирлянмямиш щякилдя щябякяйя гошурлар. Бу заман тясирлянмя долабыны ССА-ын бошалдыжы мцгавимяти иля гапайырлар. Бу мягсядя башга хцсуси резистор ва йа тясирляндирижинин йакору дя истифадя едиля биляр. Бу щалда тясирляндирижинин долагларында изолйасийайа зяряр верян тящцкяли ифрат эярэинликляр йаранмыр. Эенератор щябякяйя гошулдугдан сонра ССА-ын гошулмасы ццн импульс верилир ва машын тясирляндирилир. Она эоря щятта машынын сящв гошулмасы щалында да буюцк жярйанларын узун мцддятли тясири хцсуси тящцкя йаратмыр.

Тясирляндирилмямиш синхрон машынын щябякяйя гошулмасы заманы статор жярйанында тьяканлар ва щябякядя эярэинлик дцщкцц баш верир. Лакин йаранан жярйан ва электродинамики гцввя, эенераторун сыхажларында йаранан  $QQ - d$  акындан аз олдуйундан гошулма ямялиййатына зяряр эятирмир. Статор жярйаны щябякя эярэинлийи  $U_u$  иля йарандыьындан о, (эенератор тясирлянмямиш ва ЕЩГ сыфыр олмасы сябяби иля) нормал реьимин ЕЩГ-дян аз олмасы иля изащ едилир. Burada həm də generatorun  $X_{d}^{11}$  və  $X_{q}^{11}$  müqavimətlərindən böyük olan və şəbəkənin müqavimətləri hesabına artan  $X_{d\Sigma}^{11}$  və  $X_{q\Sigma}^{11}$  cəm müqavimətlər rol oynayır.

Тэсирлэнмэнин автоматик тэнзимлэнмэ (ТАТ) курьусу вэ яа фурсаж тэсирлэри олдуьда generatorun ilk yüklэнмэсиндэ, умумийьэтлэ актив yüklэнмэдэн асылы олмаян реактив yük, сурэтлэ арта билэр. Бу заман generatorun yük сэрэяны цох сурэтлэ артыр. Дигэр халда generatorun актив yüklэнмэ тэнзимлэнмэси 70-100%-лэ олдуьунда, сэрэянын артым сурэти generatorun белэ пик режимлэриндэ ола билэр. Белэ халларда generatorun статор вэ роторунун вэзиьйэтинэ бажылмалыдыр. Цункй, generatorun актив полад гөвдэсинин истилик заман сабити (40 дэь), долаьларын истилик заман сабитлэриндэн (0.5-3.2 дэь), 12-20 дэфэ бөйүкдүр. Полад вэ мисин истилик заман сабитлэринин фэрь, мащыннын yükүнүн сурэтлэ артмасы, мащыннын пазлары вэ ичлийиндэ деформасийалар вэ бу да өз нөвбэсиндэ изолйасийанын зэдэлэнмэсинэ сэбэб ола билэр. Изолйасийанын белэ зэдэлэнмэлэри тэнзимлэьйици generatorлар долаьларына даха хараьтерикдир.

### Suallar

1. Paralel qoşulmada faz ardıcılığının rolu və əhəmiyyəti nədir.
2. öz-özünə sinxronlaşma hansı hallarda və nə səbəblərdən tətbiq edilir?
3. Dəqiq sinxronlaşma hansı ardıcılıqla aparılır?
4. paralel qoşulmanın uyğun şəraiti hansıdır?

## 3.9 Generatorların qeyri simmetrik iş rejimləri

Гейри симметрик йцкляр бирфазлы ищляджилярин цох олдцц (електрик дарты мцщяррикляр, гыздырыжы ва ищыгланма жищазлары ва с.) схемлярдя, фаз жярйанларынын гейри симметриклиийня сябяб олан реьимляр ва электрик ютцрцжц хятлярин симметрик ишинин позулдуьу щалларда йараныр. Гяза ва диэяр щалларда трансформаторларын натамам фазла ищлядилмяси, фаз групларынын тьямири, трансформатор, хятт ва ачарларын натамам гошулмалары щалларында да гейри симметрик реьимляр мейдана чыхыр.

Техники истисмар гайдаларына эоря жярйанларын фяргли олдуьу реьимлярдя эенераторлары ищлятмяк олар. Лакин бу заман фаз жярйанларынын щеч биринин

геймяти статорун номинал жяряяанындан буюцк олмамалыдыр. Лювщядя амперметрлярин эюстяришляри иля щесаблинан гейри симметрилик дряжяси 10%-дя чох олмамалыдыр. Яэяр,  $I_a = I_{ж} = I_{ном}$  вя  $I_B < I_A$  оларса, гейри симметриклик ямсалы:

$$\alpha = \frac{I_A - I_B}{I_A} \cdot 100 \leq 10\% \text{ олмалыдыр.}$$

Гейри симметрик реьимдя статорда якс ардыжыллыгылы жяряяанлар йараныр. Якс жяряяанын йаратдыбы магнит сашяси ротора нисбятян икигат бужаг сцряти иля фырланыр. Онун роторда индуксийаладыбы икигат тезликли жяряяан ротор элементляриндя ялавя гызмалар йарадыр. Нятижядя элементлярин температуру бурахыла билин шяддлярдя буюцк олур.

Ротор долабынын буюцк индуктивлийи вя роторун кцтлясинин эцжлц экранлашдырыжы тясири иля, икигат тезликли жяряяан онун долагларында, элементлярдя фяргли олараг, кичик вя тясири аз олан жяряяанлар йарадыр. Бу жяряяан роторун массиви вя онун элементляриндя, паз йарыгларында, дишляриндя вя бандаь щялгяляриндя температуру артырыр. Икигат тезликли жяряяанын йаратдыбы сятц ефекти щесабына ротор массивиндя олан якс магнит сашясинин жяряяаны кичик олур. Жяряяан роторун сятчинин назик галынлыгында сәтһе уахш олан цст тябягясиндя ахыр:

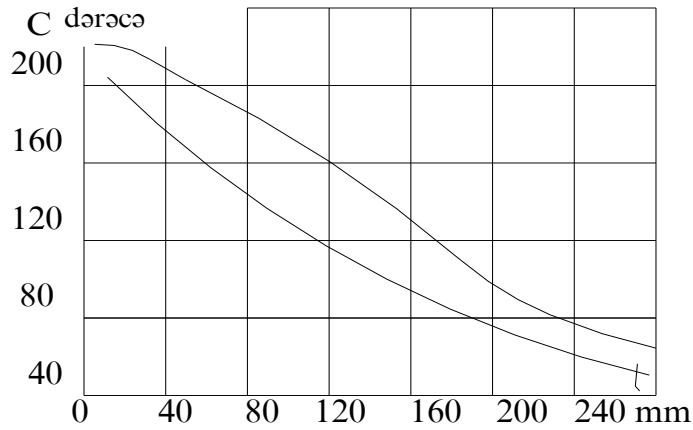
$$h = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}}$$

бурада  $\rho$ - материалын хцсуси, Ом·м;  $\mu$ - магнит нцфузлулуг ямсалы, В·сан/(А·м);  $\omega$  - бурлуйан жяряяанларын бужаг тезлийидир, рад/сан.

Ротор эювдясинин дишляри вя паз йарыгларында жяряяанын  $\psi$  нцфуз етмя дяринлийи 10-15 мм олур. Нәмин дәринлик сәрәуанын үст тәбәқәдәки қиймәтинин “e” дәфә азалmasına kifayət edir. Бу икигат тезликли жяряяанын роторда хейли мцгавимят йаратмасы вя статор жяряяанынын да гейри симметриклиийи иля роторда ялавя иткиляр йаратмасына сябяб олур. Билаваситя сойудулан яксяр турбин эенераторларда  $I_2 = 0,22 \cdot I_{ном}$  олдугда мейдана чыхан ялавя иткиляр роторун номинал иткиляриня бярабяр олур.  $I_2 = I_{ном}$  олдугда ися, жяряяан квадраты иля артан иткиляр номиналдан 15-20 дяфя чох олур. Она эюря гейри симметрик реьимляря жидди мящудуййят гойулур. Дейилдийи кими, ТИГ цзря бунун щядди 10 %-и кечмямялидир. Гейри симметриклиийин  $\alpha = 10\%$  олмасы цчцн ися, якс ардыжыллыбын 5% олмасы лазымдыр.

Бу мәһдудийәтләр тәксә әләвә иткиләрин артması илә дөйил, һәм дә онларын rotor сәтһи үзрә қөйри бәрәбәр paylanması илә тәйин edilir. Qeyri simmetrik rejimdә rotor gövdәsindә yaranan burлуған сәрәяанлар dişlәр arısı kontakt сәтһләри, pazlar və bandaj һәлқәләрindән qapanır. Kontaktlar nisbәтән böyük müqavimәтә malik olub və rotorun alın hissәsinin yaxınlıgında yerləşdiyindән, o hissә daha çox qızır. Elә buna görə дә rotorun alın hissәsinin istilik vəziyyәti, statorun qeyri simmetrik yüklәnmәsinin buraxıla bilән һәddini тәйин edir. Alın hissәnin әsas istilik мәнбәyi rotorun polad gövdәsidir. Bu мәsafәдә pazların kiçik istiliyә və böyük istilik keçiriciliyinә malik olması, istilik selinin pazlara istiqamәtlәnmәsinә сәбәб olur. Pazların istilikdән yumşalma дәрәсәsi дә poladdan az olduğundan, onlar rotorun zәif yeri hesab olunur. Qeyri simmetrikliyin әn çox тәsir etdiyi sahә içlik və pazlardır. Ona görə тәйин edilән әкс ardıcılıqlı сәрәяан һәddi dişlәрin, pazlar və mis sarğı naqillәrinin qızmasına və alın hissәsinin izolyasiyasına тәһүкә yaratmamalıdır.

Uzunmüddәtli buraxıla bilән qeyri simmetrik yüklәnmә илә yanaşı, generatorların keçici rejimләрдә artan istilik тәsirlәrinә (мәсәлән, rele мұһafizә qoyğusunun seçilmәsi zamanı) qarşı, rotorun qısa müddәtli, istiliyә davamlılıgı da istismar шәrtlәrindә нәзәрә alınmalıdır. Bu hal,  $I_2^2 \cdot \tau \leq T$ - inteqral kriteriyası илә buraxıla bilән rejimi тәйин edir. Burada  $\tau$ - әкс ardıcılıqlı сәрәяанын тәsir müddәti,  $I_2$ -onun orta kvadratik effektiv qiymәti, T-turbingeneratorun inteqral kriteriyasıdır.



Şək. 2.6 Temperaturun rotorun alın hissəsindən olan məsafə asılılığı, üst əyri- iki fazlı qısa qapanma üçün  $I_2=0.3$  nisbi vahiddə,  $\tau=120$  san,  $t_{baş}=30^{\circ}C$ ; alt əyri iki fazlı qısa qapanma  $I_2=0.6$  nisbi vahid,  $\tau=15$  san,  $t_{baş}=17^{\circ}C$ .

Şəkildən görüldüyü kimi rotorun alın tərəfindən uzaqlaşdıqca əlavə itkilərin yaratdığı istilik kəskin olaraq azalır. 120-130 mm məsafələrdə bu temperatur  $75-85^{\circ}C$ -yə qədər azalır.

Bu məhdudiyyətlərin qoyulması təkcə əlavə itkilərin artmasına görə deyil, həm də onların rotorun səthində qeyri bərabər paylanmasına görə edilir.

Rotor massivində yaranan burulğan cərəyanlar, qeyri simmetrik rejimlərdə dişlər arası kontakt səthləri, pazlar və bandaj həlqələrindən qapanırlar. Rotor valının yan səthində yerləşmiş bu kontaktlar daha çox müqavimətə malik olduğundan, alın hissəsinin qızmasına səbəb olur. Bununla, bir çox ədəbiyyatlarda sözü keçən rotorun alın hissəsinin qızmasının səbəbi aydınlaşır. Qızmada buraxıla bilən maksimal temperatur statorun qeyri simmetrik yüklənmə dərəcəsi üçün kriteriya kimi qəbul edilir.

### 3.5 Təsirlənmə sistemləri

Təsirlənmə sistemləri generatorların ən məsuliyyətli hissəsidir. Təsirləndiricilərin gücü generatorların gücünün  $0,4-0,6\%$ -ni ( $P_{mom}=U_{nom} \cdot I_{mom}$ ) təşkil etməsinə baxmayaraq, onların xarakteristikaları generatorların işinin dayanıqlılığına çox təsir edir. Onlar həm də stansiyada xüsusi sərfiyyat mühərriklərinin yük xarakteristikalarına güclü təsir edirlər. Bu isə yüksək güclü blok stansiyaların texnoloji rejimlərinin dayanıqlılığına təminat deməkdir.

Təsirləndiricinin nominal gərginliyinin seçilməsi: - təsirləndiricinin gücü, kontakt həlqələri və fırçalardan axan ən böyük cərəyanı və təsirləndiricinin etibarlı işini təmin edən ən böyük gərginliklə təyin edilir. Müasir generatorların təsirlənmə sistemlərinin nominal gərginlikləri  $80-600$  V arasında dəyişir. Gərginliyin aşağı həddi gücü bir neçə MVt, yuxarı həddi isə böyük güclü generatorlara aiddir.

Təsirləndiricinin nominal cərəyanı da generatorun gücündən asılıdır. Kiçik güclü genertorlarda bir neçə amper və ya 100 amperlə, 200 MVt-dan böyük güclü generatorlarda isə  $2000-8000$  A qiymətlərində dəyişir.

Təsirlənmə sistemləri aşağıdakı ümumi tələblərə cavab verməlidir: normal və qəza rejimlərində sinxron generatorun dolaqlarının etibarlı şəkildə qidalanması; təsirlənmə gərginliyinin verilmiş həddlərində dəyişdirilməsi ilə tənzimlənməsi; qəza rejimlərində yüksək forsaj misli ilə avtomatik tənzimlənmənin təmin edilməsi; qəza rejimlərində sahənin söndürülməsi ilə təcili təsirsizləşməni forsaj əmsalı ilə təyin edirlər:  $-k_f = U_{Tmax} / U_{Tnom}$ . Forsaj əmsalı təsirlənmənin maksimal gərginliyinin nominal təsirlənmə gərginliyinə nisbətidir. Forsaj sürəti bu rejimdə gərginliyin artımını ( $san^{-1}$ ) göstərir.



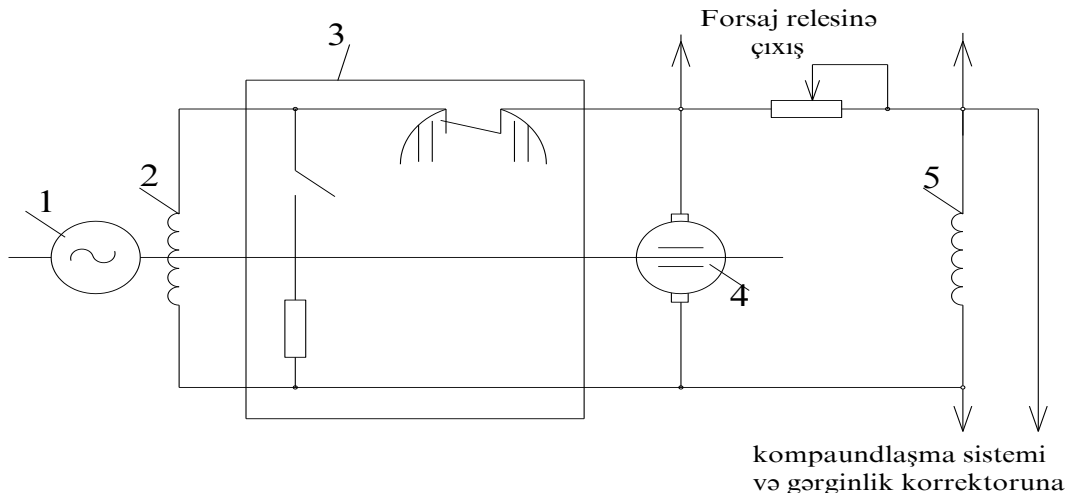
$$\frac{du_{tes}}{d\tau} = \mathcal{G}_u = \frac{0,632 \cdot (U_{tes\max} - U_{tes\text{-}nom})}{U_{tes\text{-}nom} \cdot \tau_1}$$

burada  $\tau_1$  - təsirləndiricinin gərginliyinin nominaldan,  $U_{\text{мяс}} + 0,632 \cdot (U_{\text{мясmax}} - U_{\text{мясном}})$  -a gədyar artmasına keçян мцдятидир. Мцасир турбин эенераторларын təsирляндирисилляри цццн  $k_f \geq 2$  вя  $\mathcal{G}_u - 1$  санийдя номинал təsирлянья эярэинлийинин ики ващиди гядяр артым сцрятиня бярабярдир. Тясирлянья жряйянынын бурахылан гиймяти вя бу заман фортаь реьиминин мцдяти эенераторун сойутма системиндян асылыдыр. Нәм rotoru, һәм дә statoru dolayı yolla soyudulan turbin generatorlarında 50 сан, rotoru birbaşa сойутма, statoru dolayы soyudulan turbin generatorlarında бу мцддят 30 сан, һәр iki dolagın билаваситя сойудулмасында исә 20 сан гютцрцля билляр.

Тясирлянья системляри електрик-машын вя вентил типиня бюлцнцр. Bundan başqa təsirlənmədə istifadə edilən enerji mənбəindən asılı olaraq bütün növ təsirlənmə sistemləri ашагдыкы 3 yerə bölünür:

- 1) sabit cərəyan generatoru (təsirləndirici) ilə qidalanan təsirlənmə sistemləri;
- 2) dəyişən cərəyan generatorlu (təsirləndirici) təsirlənmə sistemləri. Bu generatorun verdiyi dəyişən cərəyan yarımkeçirici düzləndiricilər vasitəsi ilə sabit cərəyana çevrilməlidir. Yarımkeçirici düzləndiricilər idarə edilən və ya idarə edilməyən tiplərə malik olurlar.
- 3) Təsirlənən generatorun öz enerjisi ilə (öz-özünə təsirlənmə) qidalandırılan təsirlənmə sistemləri. Bu halda da xüsusi transformatorlar və yarımkeçirici düzləndiricilər vasitəsi ilə enji sabit cərəyanlı hala gətirilir.

Elektrik-maşın təsirlənmə sistemində, əlavə sabit cərəyan təsirləndirici generatoru olur. Bu generatorlar sinxron və ya asinxron mühərriklə fırladılan sabit cərəyan generatorları olub təsirləndirilən maşının gərginliyindən asılı deyidir. İkincə təsirlənmə sistemi də təsirləndirilən maşının gərginliyindən asılı olmayır. Üçüncü təsirlənmə sistemləri isə təsirləndirilən sinxron generatorun gərginliyindən asılı olur. Ventil sistemli təsirləndiricilərdə civə və ya yarımkeçirici ventillə düzləndirilmiş cərəyan mənбəyi tətbiq edilir. Bu sistem də əsas və ya əlavə generatordan qidalandırılır. Təsirlənmə sistemləri qidalandırıcı mənбədən asılı olaraq, müstəqil təsirləndirilən və öz-özünə təsirlənən sistemlərə bölünür. Ən çox müstəqil təsirləndirilən təsirlənmə sistemləri tətbiq edilir. onlar təsirləndirilən sinxron maşının valının mexaniki enerjisi ilə qidalanırlar. Bu halda təsirlənmə şəbəkə sistemindən asılı olmadığından, təsirlənmədə onun (şəbəkənin) rejimindən asılı olmur. Burada təsirləndirici kimi sabit cərəyan generatoru istifadə edilir. Şək3.6. bəzən bu məqsədlə ventil düzləndiriciləri olan dəyişən cərəyan generatoru da istifadə edilir. Şək.3.7.



Şək 3.6. Sabit cərəyan generatorlu elektrik-maşın sistemli təsirlənmə a) təsirləndiricinin öz-

özünə təsirlənməsi ilə, 1 - sinxron generator, 2 - generatorun təsirlənmə dolağı, 3 - sahənin söndürülmə avtomatı, 4 - təsirləndirici, 5 - təsirləndiricini təsirləndirmə dolağı, 6 - alt təsirləndirici.

Öz-özünə təsirləndirmədə, təsirləndirilən sinxron maşının (əsas genertorun) və ya şəbəkənin enerjisi istifadə edilir. Bu halda təsirləndiricilər kimi sabit cərəyan generatoru və ya ventil düzləndiriciləri istifadə edilir.

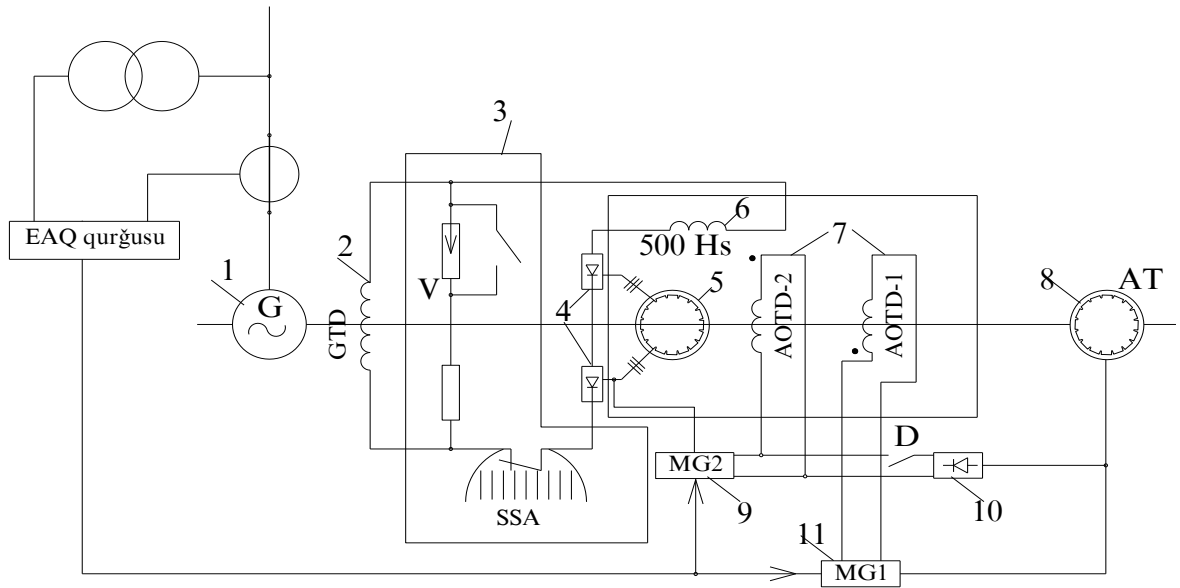
Son zamanlara qədər bütün generatorların təsirləndirmə sistemləri kimi sabit cərəyan generatorlu elektrik-maşın təsirləndiriciləri istifadə edilirdi. Bu sabit cərəyan generatorları bilavasitə əsas maşının valı ilə fırladılır və dövr edir. Sürəti 3000 *dövr/dəq* üçün onların gücü 500 kVt olur. Bu güc dolayı yolla soyudulan 150 MVt –a qədər və bilavasitə soyudulan 100 MVt –luq turbin generatorlarının təsirlənməsi üçün kifayətdir. Reduktor vasitəsi ilə və azaldılmış fırlanma sürəti 750 *dövr/dəq* –yə gədər fırladılan halda təsirləndirici sabit cərəyan generatorunun gücü 3 MVt-a gədər artırılmışdır. Lakin reduktorun olması etibarlılığı azaldır. Bu halda maşın valının ölçüləri artır ki, bu da onların çatışmazlığıdır. Ona görə reduktorlu elektrik-maşın təsirləndirici generatorlar, gücü 300 MVt olan (ТБ-300 və ТБМ-300 tipli) generatorlarında istifadə edilir.

Elektrik-maşın təsirləndirici sistemlər gərginlik korrektorlu ilə kompaundlaşdırılmış avtomatik tənzimləyici ilə təchiz olunur. Digər sistemlərə nisbətən onların yeyinliyi aşağıdır:  $\kappa_{\phi} \approx 2$ , təsirləndiricinin zaman sabiti isə  $T_{mas} = 0,3 \div 0,6$  san-dir..

Ona görə bu sistemlər dayanıqlılığına ciddi tələblər olmayan turbogeneratorların təsirlənməsində istifadə edilir.

Elektrik-maşın təsirləndiricilər gücü 100 MVt olan turbin generatorlar və kiçik güclü hidro generatorların təsirlənməsində istifadə edilir.

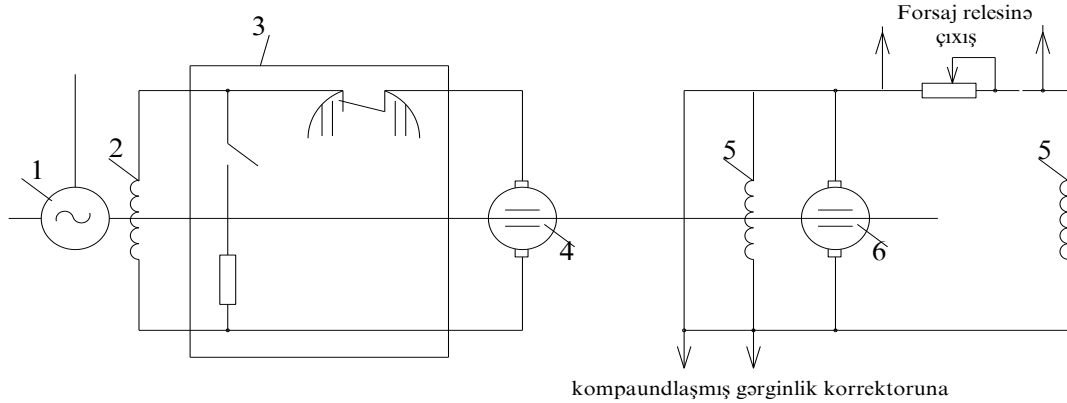
Böyük güclü generatorların təsirlənməsi üçün idarə olunan və ya idarə olunmayan təsirləndirici ventil sistemləri işlədilir. Şək.3.7. Yarımkeçirici yüksək tezlikli təsirlənmə sistemləri 165, 200, 300, 500 MVt turbin generatorlar seriyasında tətbiq edilir. Yüksək tezlikli təsirləndirici güclü kompaundlaşdırılmış induktorlu maşındır. Bu maşının təsirlənməsi generatorun rotoru ilə ardıcıl birləşmiş öz-özünə təsirlənmə dolağı ilə yerinə yetirilir. Keçid proseslərində rotorun sərbəst cərəyanı, öz-özünə təsirlənmə dolağından axaraq, lazımı qədər kompaundlaşma effekti yaradır.



Şək.3.7. yüksək tezlikli idarə olunmayan yarımkeçirici düzləndiriciləri olan təsirlənmə sistemləri 1-sinxron generator, 2-generatorun təsirlənmə dolağı-GTD,3-sahənin söndürülmə avtomatı- SSA, 4-düzləndirici qurğu, 5-yüksək tezlikli təsirləndirici, 6,7-ardıcıl və asılı

olmayan təsirlənmə dolagları-ATD, AOTD, 8-yüksək tezlikli alt təsirləndirici AT, 9, 11-magnit gücləndiricilər MG1, MG2, EAQ-qurğusunun tənzimlənməsi və kontaktsız forsaj qurğusu üçün, 10 - düzləndiricilər-D, B - boşaldıcı.

Generatorun dayanıqlılığı və tənzimlənməsi təsirləndiricinin avtomatik tənzimlənmə qurğusu ATQ və kontaktsız forsaj qurğusu ilə (KFQ) təmin edilir. Onlar təsirlənmə dolağının eyni yerinə birləşdirilərək iki sistemli korrektor kimi təsir edirlər. KFQ qurğusu yüksək tezlikli təsirləndiricinin stator dolağından qidalanır. EAQ qurğusu yüksək tezlikli alt təsirləndiricidən qidalanır. Alt təsirləndirici (sabit magnitli maşın), təsirləndirici və əsas generatorun valında oturdulur.



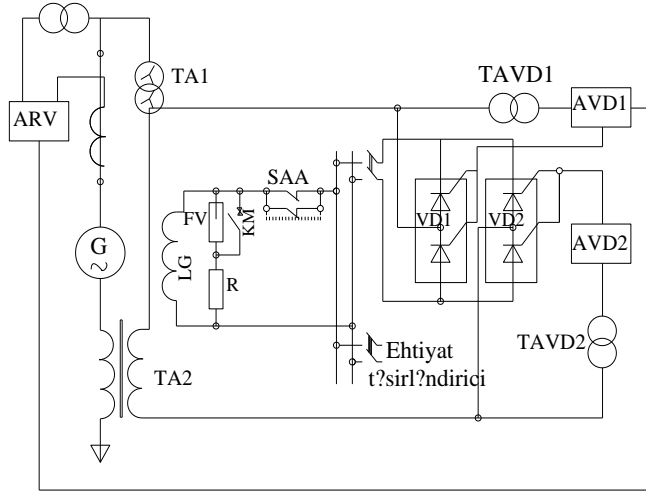
Şək.3.7 b) Alt təsirləndiricili təsirlənmə sistemi, 6-alt təsirləndirici

Yüksək tezlikli generatorun müstəqil təsirlənmə dolağında cərəyanın dəyişdirilməsi ilə təsirlənmənin tənzimlənməsi yerinə yetirilir. Bu sistem tez təsirliliyinə görə təsirlənmə gərginliyinin  $v_u=2\div4 \text{ san}^{-1}$  artım sürətinə malik olub elektrik-maşın təsirlənməsindən daha üstündür.

İon və tiristor tipli idarə olunan ventillərin tətbiqi ilə, təsirlənmə sisteminin tez təsirliliyini artırmaq mümkündür. Bu sistem köməkçi generatorun dəyişən cərəyanını sabit cərəyana çevirir.

### 3.5 Statik düzləndiricili öz-özünə təsirlənmə sistemləri

Bunlar statik tiristorlar tətbiq edilən, öz-özünə təsirlənmə prinsipi ilə işləyən, tez təsirli sistemlərdir. Təsirlənmədə istifadə olunan tiristorlar generatorun stator faz çıxışından gərginlik alan, xüsusi TA1 düzləndirici transformatorlarından qidalanırlar. Onlar digər tərəfdən generatorun stator dolağının torpaqlanmış çıxışına birləşdirilmiş, ardıcıl TA2 transformatoru ilə bəslənilər şək.3.8.



Şək. 3.8 Statik tiristorlu təsirlənmə sisteminin sxemi

Bəzən bu təsirlənmə sistemlərində sadəcə düzləndirici transformatorlardan qidalanan sxemlərdən də istifadə edilir. Düzləndirici qurğu iki tiristor qrupundan ibarətdir: - normal rejimdə əsas təsirlənməni təmin edən VD1 işçi qrupu, sinxron maşını fərsaj rejimində təsirləndirən VD2 fərsaj qrupudur. VD1 işçi qrupu düzləndirici transformatorun aşağı gərginlikli çıxışına, VD2 fərsaj qrupu isə, ardıcıl transformator vasitəsi ilə düzləndirici transformatorun yüksək gərginlik çıxışına bəqlənir.

Tiristorlar TAVD1, TAVD2 xüsusi sərfiyyat transformatorları ilə qidalanan AVD1 və AVD2 idarə sistemləri vasitəsi ilə idarə olunurlar. Generator ilk təsirlənməni isə ehtiyat təsirləndiricidən alır.

Təkcə düzləndirici transformatorlar olan sxemin əsas üstünlüyü onların sadə olmasındadır. Lakin bu halda generator yaxınlığında baş verən QQ zamanı, generatorun sıxaclarındakı gərginlik düşküsu tiristorlarda da gərginliyin azalmasına səbəb olur. Ardıcıl transformatorlar olduqda isə, yaxınlıqda olan QQ-larda daha etibarlı təsirlənmə təmin edilir. Beləliklə, statik tiristorlu təsirləndiricilər öz-özünə təsirlənmənin yüksək etibarlılığını təmin edirlər. Ardıcıl transformator olmayan təsirlənmə gücü 220 MVt-a qədər olan turbin generatorları və və gücü 300 MVt-a qədər olan hidrogenatorları təsirləndirmədə istifadə edilir. Düzləndirici və ardıcıl transformatorlu təsirlənmə sistemləri isə, 320-800 MVt-a qədər turbin generatorları və 400 MVt-a qədər hidro generatorların təsirlənməsində tətbiq edirlər.

### 3.6 Statik tezlik çeviriciləri

Invertorların sinxron işə qoşulması zamanı, şəbəkə çeviriciləri düzləndirici kimi təsir edərək aktiv gücü şəbəkədən sabit cərəyan girişlərinə ötürür. Maşın çeviriciləri invertor rejimində işləyir və sinxron maşının sıxaclarındakı gərginliyi istifadə edərək, sabit cərəyan girişlərindəki şəbəkə çeviricilərinin gərginliyinə əks olan gərginlik yaradır. Bu halda maşın çeviriciləri sabit cərəyan girişində olan gücü alaraq sinxron maşına ötürür.

Maşının sürətini azaltmaq lazım olduqda, maşın çeviricisi düzləndirici, şəbəkə çeviriciləri isə inventor rejiminə keçirlər. Bu zaman sabit cərəyan girişində gərginliyin qütblüyü dəyişir və sinxron işə buraxmanın əksi istiqamətində yönəlir. Bu səbəbdən, sabit cərəyan girişində cərəyanın istiqaməti dəyişmədikdə enerji (güc) maşından şəbəkəyə ötürülür.

Sabit cərəyan körpüləri arasındakı reaktorlar şəbəkə və maşın çeviricilərinin giriş nöqtəsini ayırır. Reaktor gərginliklər fərqi altında olur və aralıqdakı cərəyan siqnaallarını tənzimləyir və hamarlayırlar. Sürət artımı etapında işə buraxma gərginlik tənzimləyicisi maşının sıxaclarında gərginliyin sabit qalmasını təmin edir. Maşın çeviricilərində cərəyanın istiqaməti sinxron maşının sıxaclarındakı gərginliklə dəyişdirilir. Maşın dayanma rejimindən çıxdıqdan

sonra, fırlanma sürətinin minimal tezlikli dövrlərinə çatmasına qədər sinxron maşın, cərəyanın istiqamətini dəyişdirən gərginlik formalaşdırmır. Bu tezlik diapazonunda cərəyan dəyişmələri şəbəkə çeviricilərinin sinusoidal-periodik zaman döyünmələri ilə, düzləndirici rejimdən inventör rejimə keçir. Nəticədə sabit cərəyan girişində cərəyanın qiyməti sıfır olur. Maşın tiristor çeviricilərinin saxlayıcı cərəyanları verilən səviyyəyə çatmamışdan tiristorların təkrar qapanması təxminən 2 msan müddətində gecikmə ilə bərpa olunur. Maşın çeviricilərinin tiristorlarının növbəti açılması və şəbəkə çeviricilərinin düzləndirici rejimə keçməsi ilə cərəyan sinxron maşının növbəti fazasına qoşulur. Kommutasiyanın bu növü kəsilən – təkrarlanan rejim adlanır.

### 3.7 Generatorlarda магнит sahəsinin sönüdülməsi

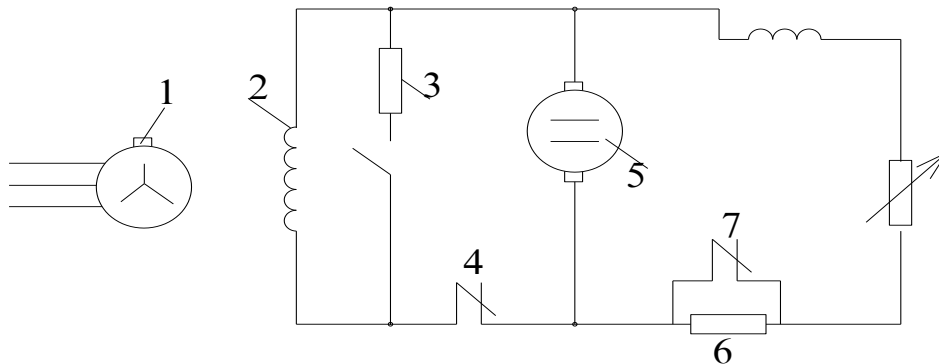
Generatorlar xarici mexaniki qüvvənin təsiri ilə, fırladılan qüvvənin təsiri ilə fırladılan val və onun üzərindəki rotor dolaglarından ibarət sistemdir. Rotor dolagları statorla aralıqda güclü magnet sahəsi yaradır.

EQQQ-ya görə hər sinxron generator və kompensatorun təsirlənmə dövrəsində sahənin tez sönüdülməsi generatorda daxili zədələnmə olduğda lazım gəlir. Tez və təhlükəsiz surətdə təsirsizləşdirmə qurğusu qoyulur - sahəni sönüdüən avtomat (SSA). Bu halda rətlət hesabına fırlanmadan açılan maşının daxili konturunda ENQ induksiyaalanır. ENQ-si qısa qaranma nöqtəsində yaranan qüvvənin yunması kütək edir, sator dolabı və mis sarğıların dağılmasına səbəb olur. Təsirlənmə dolabının bir başa açılması (SSA-sız) buraxıla bilməz.

Çünki kiçik tutum və böyük induktivlik olduğundan böyük ifrat gərginlik yaranı bilər:

$$U_{iös} = I_{iös} \sqrt{\frac{L_{iös}}{C_{iös}}}$$

SSA—beylə ifrat gərginlik baş verməsinin qarşısını alır. Bu təsirlənmə dolabını sönüdüən müqavimətə keçirməklə yerinə yetirilir. Bu zaman magnet sahəsinin enerjisi müqavimətdə sərjəlir. 1—sinxron generator, 200 təsirlənmə dolabı, 3—rotor dövrəsində sönüdüən müqavimət, 4—sahə sönüdüən yasa avtomat, 5—təsirləndirici, 6—təsirlənmə dolabında sönüdüən müqavimət, 7—təsirləndiricinin sahə sönüdüən avtomatı.

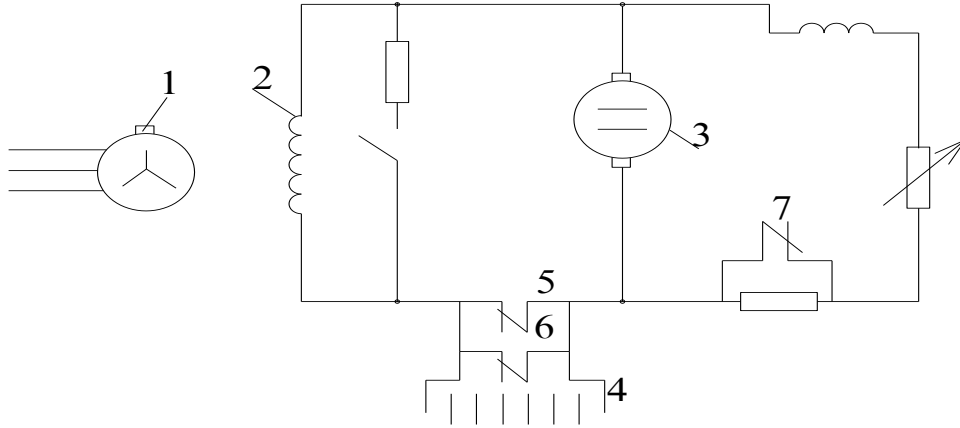


Şəkl 6.1. söndürücü müqavimətli sahə söndürücü sxem

Yaxşı sahə sönüdüən variantında təsirləndiricinin enerjisi qüvvə sönüdüən qüvvə arasında sönür. Bu halda avtomat kontaktların arasında yaranan qüvvə, qüvvə qarşılıqlı təsirlə arasında sönür. Burada o bir neçə qısa qüvvəyə qarşılıqlı təsirlə arasında sönür.

Sahəni sönüdüən avtomatlar (SSA) aşıbdağı təhlükələri yodəmlidir: sahənin sönüdülmə müddəti mütləq qısa olmalıdır, təsirlənmə dolabında baş verən ifrat gərginlik təhlükəli qiymətlərə çatmamalıdır.

Sahənin söndürülmə müddəti, generatorun  $E.H.Q$ -nin 500 V-a qədər azalması üçün keçən müddətdir. Bu halda qısa qapanma nöqtəsində yaranan qıvs dəyər-üzümlü sönməlidir. Nəzərə almaq lazımdır ki, təsirlənmə sərgəyənə ilə azalan  $E.H.Q$ -ny, rotor polad güvdəsinin qalıq maqnit hesabına 300 V-a qədər bir gərginlik də daxildir. Ona görə sönmə prosesi, generator  $E.H.Q$ -nin 200 V-a qədər azalması halında başa çatmış olur.



şək.6.2. Qövssöndürücü qəfəsi olan sahə söndürücünün sxemi.

Bütün hallarda təsirlənmə dolağının Bütün hallarda təsirlənmə dolağının ifrat gərginliyi  $7,5 U_{tösnom}$  sınaq gərginliyindən böyük olmamalıdır. Rotor dolağından asılı olaraq, 1,5-3,5 kV olur. Adətən buraxıla bilən ifrat gərginlik

$$U_{tösb} \leq 0,5 \cdot \sqrt{2} U_{tössin} \leq 0,7 U_{tössin} \quad \text{ola bilər.}$$

Burada  $U_{tössin}$  -50 Hs tezlikdə turbin generatorun rotor dolağının sınaq gərginliyinin effektiv qiymətidir. SSA-da müqavimət təsirlənmə dolağının müqavimətindən 4-5 dəfə böyükdür. Ona görə qövün sönməsi eksponensial əyri üzrə baş verir:

$$T_{sön} = \frac{L_{tös}}{(5 : 6) R_{tös}}$$

### 4.3 Elektrik stansiyalarının xüsusis sərfiyyat avadanlıqları

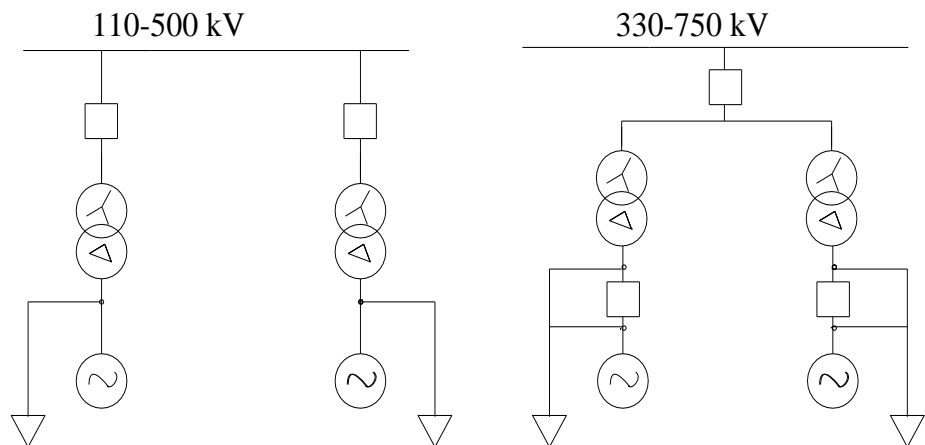
Müasir elektrik stansiyalarında bütün texnoloji tsikl mexanikləşdirilmiş avadanlıqlarla aparılır. Xüsusi sərfiyyatın (XS) çox saylı mexanizmləri əsas energetik qurğular (nüvə reaktoru, buxar generatoru, turbinlər) və stansiyanın köməkçi avadanlıqlarına aiddir. XS qidalandırma sxemləri, elektrik stansiyalarının işçi və ehtiyat qidalanma siteminin tərkib hissəsidir. Ona görə əsas sistemə göstərilən tələblər, onlara da aiddir. Bu sxemlərin quruluşundan, elektrik enerji hasilatında texnoloji dayanıqlığı, XS-a aid avadanlıqların elektrik enerji sərfiyyatının miqdarı, həmçinin XS üçün kapital qoyuluşunu təyin edir.

XS sxemlərinə aşağıdakı tələblər qoyulur:

1. XS-in işçi və ehtiyat qidalandırma sxemləri elektrik stansiyalarını işlədən əsas avadanlıqları və digər ayrı-ayrı xüsusi sərfiyyat mexanizmlərinin etibarlı işini təmin etməlidir.
2. XS sxemləri iqtisadi cəhətdən sərfəli olmalıdır və sxemdə dəyişiklik aparmadan daha güclü avadanlıqlarla dəyişmək imkanı olmalıdır.
3. Qidalandırma mənbələri və elektrik birləşmə sxemləri məsuliyyətli elektrik mühərriklərinin müvəffəqiyyətlə öz-özünə işə qoşulmasını təmin etməlidir.

Истилик электрик стансийаларында (ИЭС), йанажабын щазырланмасы вя дашынмасына, бухар газанларына верилян щава, су вя онларын тцстц вя газларыны кянарлащдыран вентилятор насосларына электрик енерьиси сярф едилир. Атом электрик стансийаларында (АЕС) енерьи истилик дашыйьжысы олан сууун, реакторун актив зонасында мяжбури циркулясийасы цццн сярф едилир. Бурада ИЭС вэ ИЕМ-дэн фэрqli олагац йанажабын йцклянмяси цццн сярф олуан енерьи чох аздыр.

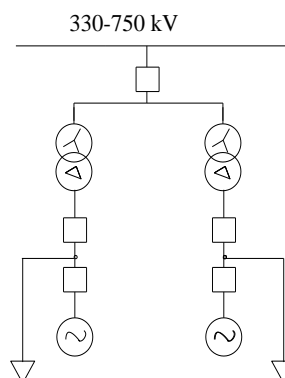
ИЭС (ИЕМ) вя АЕС-лярдя гидаландыржы суйун верилмяси цццн сярф олуан электрик енерьиси даща чох олур. Бундан ялавя бухар турбинляринин конденсаторларында вакуумун сахланмасы, техники су тяжщизаты вя стансийанын вентиляция системи, ишыгланмасы кими электрик енерьи сярфийятлары да ясас тэшkil едир Şәkil. 4.6.



Şәk.4.6. Xüsusi sərfiyyat işçi transformatorlarının elektrik stansiyalarının blok sxemina qoşulması

XS işlədicilərinin əsas qidalandırıcıları generator və elektrik şəbəkəsi olduğundan, sistemə göstərilən tələblərə görə, hər blok XS-in işçi transformatoru ilə qidalanır. Həmin transformator generator-transformator blokuna, ayrılma qaydasında birləşdirilir şək.4.7. Belə birləşmənin əsas üstünlüyü XS sistemində gərginlik rəqslərinin olmamasındadır.

Hidroelektrik stansiyalarında (HES) hidro-elektrotexniki qurğular, generator və transformatorların soyudulması və ventilyasiya, işıqlandırma və qış mövsümlərində qızdırıcılar üçün sərf edilir.



Şәk 4.7 Generator-transformator bloku arasından birləşdirilmiş XS sxemi

HES –in xüsusi sərfiyyat sisteminin İEM-dən fərqi onlarda, 6 kV-luq mühərriklərin olmaması və nisbətən kiçik güclərin istifadə edilməsindədir.

Xüsusi sərfiyyat üçün qidalandırıcı mənbələrin seçilməsində x.s. yükünün qiyməti nəzərə alınır. Ayrı-ayrı stansiyalarda bu enerji sərfiyyatının 2,5 – 7,5 %-ə qədər dəyişən fərqli qiymətləri olur.

Blok elektrik stansiyalarından qidalanan XS sxemlərinə əlavə tələblər də göstərilir: XS sxemləri də blok sxeminə daxil edilir, XS bölmələri elektrik və istilik bloklarına uyğun birləşmələrə malik olmalıdırlar, XS bölmələri asılı olmayan gərginlik altında tənzimlənmə qurğusuna malik olmalıdır. XS-da blok prinsipinin saxlanması elektrik stansiyasının etibarlılığını artırır. İxtiyari rejimdə XS-in hər-hansı elementi pozulduqda yalnız bir blokun açılması baş verir.

#### 4.4 Xüsusi sərfiyyat elektrik mühərriklərinin öz-özünə işə düşməsi

Böyük güclü, çox məsuliyyətli mərkəzi elektrik stansiya və yarımstansiyalarının xüsusi sərfiyyat avadanlığının avtomatik idarə sxemləri, bəzən qəza hallarında, planlı olaraq şəbəkədən açılma təsisatı və komanda sistemi olmadan işlədir. Belə hallarda qəza və QQ rejimlərində xüsusi sərfiyyat şinlərində, qısa müddətdə gərginliyin azalması və hətta kəsilməsi zamanı, mexanizmlərin məsuliyyətli elektrik mühərrikləri şəbəkədən açılmadıqda, elektrik stansiyalarının etibarlılığının artırılmasına nail olmaq mümkündür. Gərginlik normal qiymətə qayıtdıqda dövrədən açılmamış elektrik mühərrikləri öz-özünə işə düşərək, qrup şəkilində qəza rejimindəki aşağı sürətdən normal tezliyə qədər sürət yığırlar. Böyük işə buraxma cərəyanları transformatorlarda xeyli gərginlik düşküsü yaratdığından, öz-özünə işə düşmə gərginliyin aşağı qiymətlərində baş verir. Ona görə, öz-özünə işə düşmələr müvəffəq və qeyri müvəffəq ola bilər. Müvəffəq işə düşmə, şinlərin qalıq gərginliyinin, elektrik mühərrikləri təcilinə nominal fırlanma sürətinə qədər artırılması üçün kifayət edən halna deyilir. Bu zaman elektrik mühərriklərinin qızmasının buraxıla bilən qiymətləri, stansiyanın texnoloji rejimlərinin işə dayanıqlılığı saxlanmalıdır.

Su və buxarla eninə əlaqəsi olan orta təzyiqli stansiyalar üçün mühərriklərin qızması, öz-özünə işə düşmənin buraxıla bilən müddəti ilə 30-35 san təyin edilir. Yüksək və aşırı yüksək təzyiqli stansiya blokları üçün öz-özünə işə düşmə müddəti 10-12 saniyəyə qədər azalır. Bu müddət qidalandırıcı suyun qazana verilməsindən sonra texnoloji prosesin saxlanması ilə təyin edilir. Öz-özünə işə düşmənin daha qısa müddəti 1-2 san, atom elektrik stansiyasının kiçik ətalətli fırlanma kütləsinə malik olan sirkulyasiya nasoslarında olur. Bu stansiyalarda sirkulyasiyanın hətta çox qısa müddətli kəsilməsi zamanı qəza mühafizəsi reaktoru açır. Öz-özünə işə düşmə müddəti qidalanmada olan tənəfüs (pauza), qidalandırıcı transformatorun parametrləri, reaktorlar, şin və kabel xəttləri, öz-özünə işə düşən elektrik mühərriklərinin gücləri, mexanizmlərin mexaniki xarakteristikaları, təsirləndirici tənzimlənmə qurğuları və tipindən asılı olur. Elektrik mühərriklərinin sürət yığılması öz-özünə işə düşmədən əvvəlki vəziyyətdən və elektrik təchizatının pozulmasının səbəblərindən asılı olur. Qida mənbəi (işçi transformatorun) işinin dayanması səbəb olduqda öz-özünə işə düşmə, QQ olan haldakından fərqli keçir. Çünki qida mənbəinin açılması halında şin sisteminə birləşmiş olan elektrik mühərrikləri biri – biri ilə elektrik əlaqəsində qaldıqlarından, elektrik mühərriklərinin ətaləti hesabına yığılmış kinetik və elektromaqnit enerjisi şin sistemində xeyli gərginlik yaranmasına səbəb olur. Elektrik mühərriklərinin bu qəzaya qədər qeyri bərabər yüklənməsi və onların identik olmayan mexaniki xarakteristikaları və bir sıra başqa səbəblərdən elektrik mühərrikləri arasında bərabərləşdirici cərəyanlar meydana çıxır və enerji mübadiləsi baş verir. Beləliklə mənbə açıldıqdan sonra və bərpa olunma ilə yenidən sürət yığan elektrik mühərrikləri biri-biri ilə qarşılıqlı əlaqədə olduğundan belə prosesə “*qrup*” şəkilində işə düşmə deyilir.

Xüsusi sərfiyyat sisteminin elektrik təchizatında yaranan maneələr və mühərriklərin öz-özünə işə düşməsinin səbəbləri aşağıdakılardır: XS seksiya şinləri zədələndiyində qidalandırıcı xəttlərin və ya işçi transformatorun açılması və ya yaxın birləşmədə baş verən qq ilə həmin birləşməyə aid açarın sıradan çıxması, turbinlərin, generatorların, transformatorların və ya XS



transformatorlarının zədələnməsi zamanı blokların avtomatik açılması, XS seksiyasında gərginlik düşküsi ilə baş verən minimal gərginlik mühafizə qurğusu ilə ehtiyatın avtomatik qoşulması, əsas və ya XS avadanlıqlarının səhvən və ya öz-özünə açılması.

XS sisteminin elektrik təchizatında yaranan qısa müddətli kəsilmələr və pozulmalar halında şəbəkədən açılmamış mühərriklərin öz-özünə işə düşmələri elektrik stansiyalarındakı texnoloji avadanlıqların dayanıqlı işlərini təmin edir və bu zaman generatorun yükünə məhdudiyət qoyulmur.

#### *Suallar*

1. *Daş kömürlə işləyən istilik elektrik stansiyalarında xüsusi sərfiyyat maşın mexanizmləri hansı sahələrə xidmət edir?*
2. *“Qrup” işə düşmə nəyə deyilir?*

#### **4. Трансформаторлар вә автотрансформаторлар**

Мицхтялиф номинал эярэинликлярдя олан електрик шябьяклярини қиғмақ вә бирлящдирмяк цццн йцксялдижи вя йа алчалдыжы трансформаторлар истифадя едилир. Онлар бир вя цч фазлы, ики вя йа цч долаглы щазырланырлар.

Електрик стансийаларында щасил едилян електрик енерьиси ишляджиляря чатдырылана гядяр йцксялдижи вя алчалдыжы трансформаторларла бир нечя дяфя трансформасийа олунур. Она эюря енерьи системляриндя трансформаторларын гойулуш эцжц эенераторларын топлам эцжцндян 4-5 дяфя буюцк олур. *ФИЯ* –н буюцк олмасына бахмайараг трансформаторларда итирилян иллик енерьи буюцк мигдарда олур вя чохла мябляляр тутур. Она эюря трансформасийа олунан эярэинлик пилляляринин йахын олмасы вя траснформаторларын гойулуш эцжцнцн азалдылмасы вя онларын даща йахшы истифадя едилмяси тьовсийя едилир.

Трансформатор конструкторийалары цчфазлы вя бирфазлы, икидолаглы вя цчдолаглы вариантларда щазырланырлар. Игтисади эюстярижиляриня эюря бирфазлы трансформаторлар групундан даща цстцн олан цчфазлы трансформаторлар чох тятбиг едилир. Бирфазлы трансформатор групплары кцтлясинин азлыьы вя дашынмасынын асан олмасы иля йалныз 500 кВ-дан йцксяк вя чох буюцк эцжлярдя тятбиг едилир. Трансформаторларын (автотрансформаторлар) бцтцн типляри ашаьыдакы номинал эцж шкаласы (киловолт-амперлярля) иля щазрылапырлар:

10	-	16	25	-	40	-	63
100	-	160	250	-	400	-	630
1000	1250	1600	2500	-	4000	-	6300
10000	-	16000	25000	32000	40000	-	63000
100000	125000	160000	250000	320000	400000	500000	630000

Бирфазлы трансформатор групплары да верилмиш бу эцжляр шкаласында щазырланыр. Трансформаторлара гойулан ясас тялябляр, игтисади сямярилилик вя ишин етибарлылыьыдыр.

Цч фазлы трансформаторлар ейни эярэинликли цч ядыд тьяк фазлы трансформаторлар групундан даща ужудурлар. Онларын истисмары да асан вя ужубаша эялир. Бу сьабьялярдя щазырда цч фазлы трансформаторлар даща чох истецсал едилир. Лакин бир сыра щалларда трансформаторларын эцж вя эярэинлийинин буюцк олмасы сьабьби иля, онларын габарит юлцц вя чьяклярин чох артдыьындан, дашыма вя монтаж проблемляри йараныр. Беля щалларда трансформаторлар 3 ядыд тьяк фазлы групплар шьякилиндя щазырланырлар.

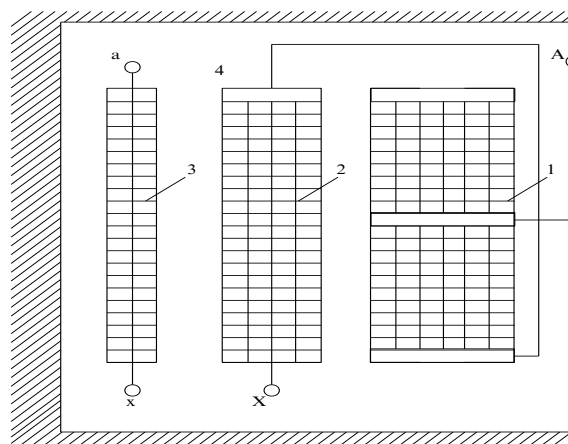
Ики синиф икинжи тьярф эярэинлийи тяляб олунан щалларда, цч долаглы трансформаторлар истифадя едилир. Мясялян, йарымстансийаларда шинлярдя 6(10)-35

кВ эярэинлик чыхарылмасы лазым эялдикдя, 110/35/6 вя йа 220/35/10 кВ эярэи пликли, цч долаглы эцж трансформаторлары истифадя едилмялидир. Вəзəн iki ədəd eyni gərginlikli ikinci tərəf dolaqları olan xüsusi transformatorlar, məsələn 110/10-10 kV və ya 220/35-35 kV gərginliklərə malik olan üçdolaqlı transformatorlar hazırlanır.

150-500 кВ эярэинликли шябьякялярдя щазырда автотрансформаторлар эениш тятбиг едилир. Онлар аді трансформаторлара нисбятян даща цстцн техники-игтисади эюстярижиляря маликдирляр. Материал сярфиййаты, гиймятляри, юлщ вя чякиляри аздыр. Долагларда мис иткиляри вя ичликдя полад иткиляри дя ашабы олур. Автотрансформаторлар адятян, цч фазлы щазырланырлар шяк.16.1.1. 500 кВ вя 500 МВА-дан буюцк эцжя малик олан автотрансформаторлар ися, 3 яяд айры бакларда монтаж едилмиш тьяк фазлы трансформатор групларындан ибарят олурлар.

Автотрансформаторлар йалныз нейтралы бир баша йерля гапанмыш вя эффектив торпагланмыш шябьякялярдя истифадя едилирляр. Она эюря бунлар 35 кВ-а гядяр эярэинликлярдя ишлядилмирляр. Чцнки яски Советлярдя 35 кВ-а гядяр шябьякяляр нейтралы изоля едилмиш реьимлярдя ишлядилдирдирляр. Щазырда бу гурулущда олан шябьякяляр Азярбайжанда буюцк яксяриййят тьяшкил едирляр. Она эюря 6-35 кВ шябьякяляр цчн бунун йериня, ялавя долаглары олан автотрансформаторлар тятбиг едилир. Беля цч фазлы вя йа цч яяд тьяк фазлы группа олан автотрансформаторларда ясас долаглар - орта нюгтяси торпагланмыш улдуз бирляшмяси шякилиндя олур. Ялавя долаглар ися цчбужаг шякилиндя бирляшдирлир.

Трансформатор вя автотрансформаторлар шябьякянин мцхтялиф мянтыягляриндя бирляширляр. Бу мянтыяглярдя эярэинлик реьимляри йерли шяраитдян асылы олараг дяйишир. Эярэинлийин дяйишмяси мянбядян олан узагылыа вя йцклярин (ишлядиджилярин) дяйишмяисня эюря олур. Бу шяртляр ися яввялжядян мялум олмур. Онлар йалныз истисмар просесиндя мейдана чыхыр. Она эюря трансформаторлар вя автотрансформаторлар тязимляйижи долагларла (будаглы) тязищиз олунурлар. *ЙАТ* - йцк алтында тязимлямя гурьусу иля, тязимляйижи долагларла трансформасийа ямсалыны дяйишдириб эярэинлийи даща чох: -  $\pm 20\%$ -я гядяр артырыб азалтмаг олур.



*Şəkil 4.1 110 kV və yüksək gərginlikli transformator dolaqlarının yerləşməsi YG dolağı 1-xarici konsentr, 2-daxili konsentr, 3-AG dolağı*

Нисбятян кичик эцжлщ трансформаторларда тязимлямянин тясирлянмямиш усулу истифадя едилир. Бу заман трансформатор ачылыр вя чевирэяжи ял иля фырладараг эярэинлик  $\pm 2,5\%$  гиймятиндя тязимлянир.

Трансформатор долагларынын ян садя схеми ики гатлы вя йа чох гатлы цилиндрик конструксийа шякилиндя олур щək.4.1. Долаг кабыз бакелит цилиндр цзяриня спиралвари гайдада сарыныр. Долагларын ян эениш йайылмыш гурулушу, кясилмяз сарьяжлардан ибарят оланлардыр.

Трансформатор изолясийасы, гурулушу в ящямийятиня эоря бир сыра щиссялярдян в я элементлярдян ибарят олан там в я бцтвов изолясийа системидир. Ишлямя хцсусийятиня эоря трансформаторлар ики нюв изолясийайа – *дахили в я харижи* изолясийайа маликдир.

Харижи изолясийа трансформатор цзяриндяки кечид изоляторларынын фарфор эювдяляринин йцксяклиий бойу ону бцрцйян шава аралыгларындан ибарятдир. Трансформаторун харижи изолясийасы да диэяр електрик апаратларынын изолясийасына (дайаг в я кечид изоляторларына) охшар олагаг сечилир, гуру в я тямиз, чиркли в я нямли атмосфер шяраитляриня эоря щесабланыр.

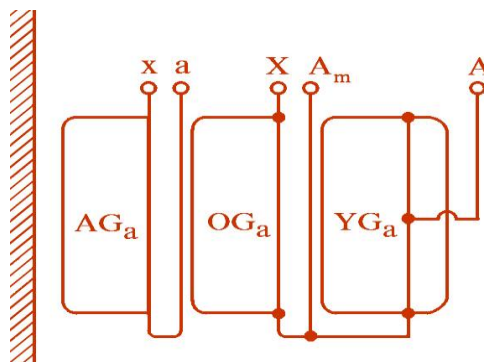
Дахили изолясийайа трансформаторларын *сарьяж в я сарьы изолясийалары*, *эиримлярин в я диэяр парчаларын йаь ичярисиня йерляидирилмиш изолясийа* щиссяляри аиддир. Долаг изолясийалары ениня в я узунуна изолясийалара бюлцнцр. Електрик сашясиня нязрян ениня (гцввя хятляриня перпендикулляр шякилдя) йерляидирилмиш, долаглар арасы изолясийа *ясас изолясийа* адланыр. Ясас изолясийайа щям дя, долагла магнит ичлик арасында, долагла трансформаторун дямир эювдяси арасында олан изолясийалар аиддир. Узунуна изолясийайа сарьяж мяфгилляринин изолясийасы, ики сарьяж арасы гат изолясийасы, чыхышлара баьланан кечирижи нагиллярин изолясийасы аиддир.

#### 4.1 Avtotransformatorlar

Автотрансформаторлар ики долабы арасында електрик ялагяси олан чох долаглы трансформаторлардыр. Енерьы системляриндя цчфазлы в я йа цч яяд бирфазлы трансформатор группарындан ибарят автотрансформаторлар истифадя едилир шяк. 4.2. Онлар 110 кВ в я йцксяк эярэинликли, номинал эярэинлик нисбятляри 3-4 арасында олан (мәсәлән, 330/220/110/35 kimi) еффектив торпагланмыш шябьяклярдя ади трансформаторларын йериня тятбиг едилдикдя игтисади жящятдянд даща сямьярляи олурлар.

$A-A_m$  дolağı *ardıcıl* дolaq,  $A_m-X$  дolağı исә *ümumi* дolaqdır.  $A$  чыışı үüksәк гәргинлик чыışı,  $A_m$  исә орта гәргинлик чыışı адланыр шәkil 4.2. Üçfazlı автотрансформатор (вә я үч әдәд бир fazlı трансформаторлар qrupu) торпагланмыш ( $X$ ) нейтраллы улдуз sxemi илә бirlәшdirilir.

Автотрансформаторун електрик әлаqәли дolaqlарында олан (*ardıcıl-ümumi*) sarğıлар sayını  $w_1$  - lә işarә edәk, ümumi дolaqда олан sarğıлар sayı исә  $w_2$  оlsün. Онда ardıcıl дolaqда  $w_1$ -  $w_2$  qәdәр дolaq sayı вә  $n=w_1/w_2$  трансформасија әmsalı оlур.



Şәkil 4.2 Üç dolaqlı автотрансформатор дolaqlарынын бirlәшmә sxemi

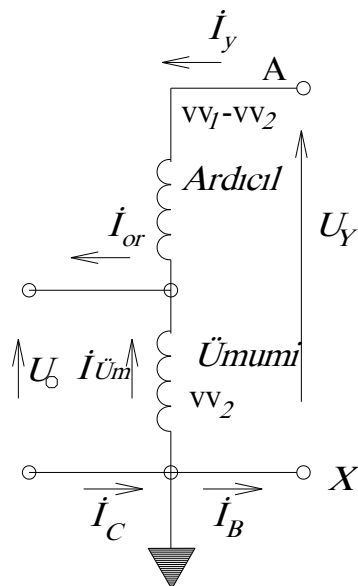
Yüksәk гәргинлик шәbәkәsindәән gücü орта гәргинлик шәbәkәsinә ötürән iki дolaqlı автотрансформаторун iş prinsipinә baxaq şәkil 4.3. Şәkildә гәргинлик вә cәрәyanların istiqamәtlәri oxlarla göstәrilmişdir. Автотрансформаторун maqnit hәрәkәt qüvvәsinin tәnlәklәri ашаğıда verilmişdir:

$$I_y w_1 - I_o w_2 = I_{um} w_1$$

burada  $I_y$  və  $I_o$  uyğun olaraq yüksək və orta gərginlik çıxışlarının cərəyanları,  $I_{um}$  – hər iki dolaqdan (*A-X nöqtələrindən*) keçən maqnitlənmə cərəyanlarıdır.

Əgər maqnitlənmə cərəyanı, az olması səbəbilə, nəzərdən atılsa  $I_y$  və  $I_o$  cərəyanları əks fazada olur və ümumi dolaqda onların cəbri fərqi aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$I_{um} = I_{or} - I_y$$



Şəkil 4.3 İki dolaqlı avtotransformator dolaqlarının prinsipial sxemi

Bu cərəyan orta gərginlik dolağının çıxışında olan cərəyandan az olur. Uyğun olaraq ümumi dolağın mis sərfiyyatı və itkiləri da az olacaqdır. Maqnitlənmə cərəyanı nəzərdən atıldıqda ardıcıl və ümumi dolaqların *MHQ*-i qiymətcə və fazaca bərabər (eyni) olur :

$$I_y \cdot w_1 - w_2 \approx I_y w_1 - I_y w_2$$

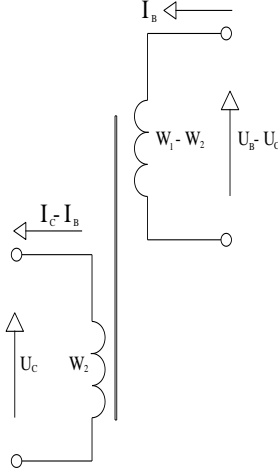
Buraya  $I_y w_1 = I_{or} w_2$  -yerinə yazsaq,  $I_y \cdot w_1 - w_2 \approx (I_{or} - I_y) w_2$ . Ona görə ardıcıl və ümumi dolaqları, avtotransformatorun birinci və ikinci tərəf dolaqları kimi qəbul etmək olar.

Maqnit sahəsi ilə birinci tərəf gücünü tamamilə ikinci tərəfə ötürən normal transformatorlardan fərqli olaraq avtotransformatorlarda gücün bir hissəsi transformasiya edilmədən ardıcıl və ümumi dolaqlar arasındakı elektrik kontakt əlaqəsi ilə olur. Avtotransformatorun birinci tərəf dolağından ikinci tərəfə ötürülən *tam gücü keçid*, maqnit sahəsi ilə ötürülən gücü isə, *transformasiya* (transformator) gücü adlandırılır. Şəkil 4.5 – sxemi üzrə keçid gücü  $S = U_y \cdot I_y \approx U_o \cdot I_o$ -ya bərabərdir.

Avtotransformatorların transformator gücü elektrik əlaqəsi olmayan ardıcıl və ümumi dolaqların maqnit sahəsi ilə yaratdıqları (şək.4.4) enerji çevrilməsindən alınır. Dolaqlar yalnız maqnit sahəsi ilə əlaqəli olduqlarından transformasiya əmsalı  $(w_1-w_2)/w_2$  kimi hesablanır. Ardıcıl dolağa  $U_B-U_C$  gərginliyi tətbiq edilir. Göründüyü kimi qısa qapanma zamanı ardıcıl dolağa təkcə  $U_B$  gərginliyi tətbiq edilmiş olur.

Ümumi dolağın çıxışındakı gərginlik:  $(U_B-U_C)w_2/(w_1-w_2)$  olur. Ardıcıl dolağın cərəyanı  $I_B$ , ümumi dolağın cərəyanı isə,  $I_B(w_1-w_2)/w_2$  olur. Ardıcıl dolaqdan ümumi dolağa ötürülən güc aşağıdakı kimi hesablanır:

$$S_{tr} = (U_B - U_C) \cdot I_B = U_C \cdot (I_C - I_B)$$



Şək.4.4 Avtotransformatorun transformasiya gücünü izah edən sxem

### Suallar

1. Hansı növ güc transformatorları vardır?
2. Avtotransformatorlarda hansı transformasiya mexanizmləri mövcuddur?
3. Ümumi və ardıcıl dolaqlar hansı birləşmə sxemlərinə malikdirlər?
4. Transformasiya əmsali ilə təyin olunan cərəyan və gərginliyi hesablayın.
5. Elektrik əlaqəli dolaqların transformasiya əmsali necə təyin edilir?
6. Keçid və transformasiya gücləri nədir?

### 4.2 Transformatorların seçilməsi və yüklənmə xüsusiyyətləri

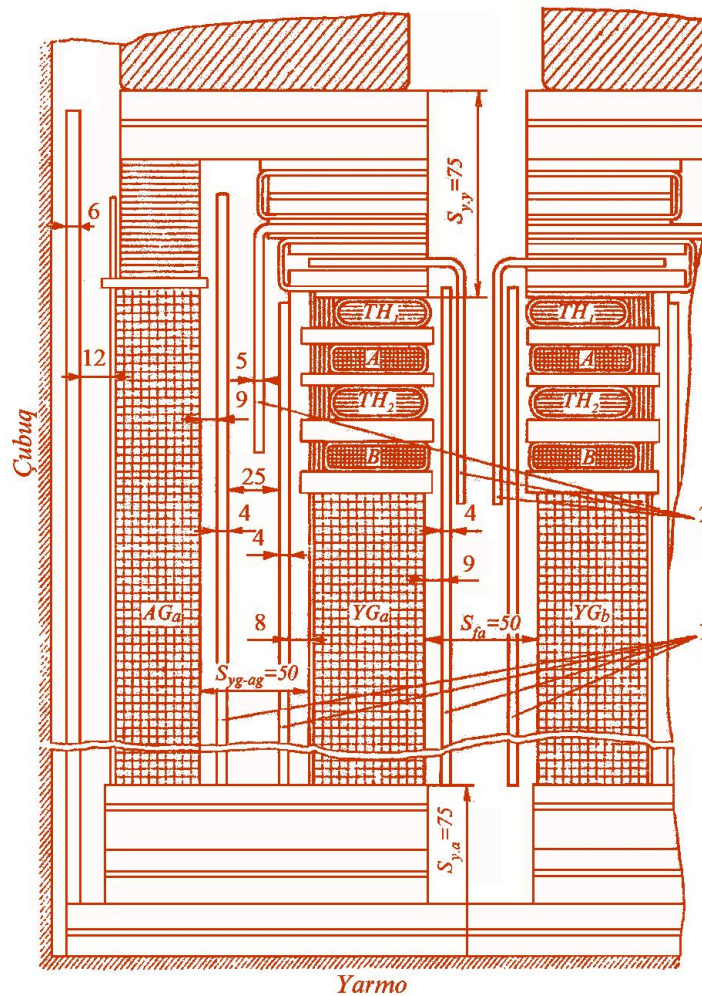
Transformatorların sayı və gücünün seçilməsində onlara və paylayıcı quruluşlara çəkilən məsrəflərin azaldılmasına çalışırlar. Bu qurulan elektrotexniki avadanlıqların sayı və ölçülərinin azaldılması ilə əldə edilir.

Transformatorların nominal gücü kimi, uzun müddət nominal gərginlik, tezlik və soyuducu mühitin nominal temperaturu və digər pasport göstəricilərini saxlamaqla, *kilo Volt Amperlərlə* ölçülən tam güc götürülür. Verilmiş xidmət müddətində yağın və dolaqların temperaturunun, soyuducu mühitin temperaturundan artımı təyin olunmuş həddləri aşmamalıdır. Real şəraitlərdə transformatorların işi, nominal şərtlərdən fərqli bir mühitdə baş verir. Transformatorun yükü gün və il ərzində dəyişikliyə uğrayır. Soyuducu mühitin temperaturu da sabit kəmiyyət deyildir. Ona görə, nominal gücə malik olan transformatorlar tam istifadə olunmamış aparatlar kimi qəbul edilməlidir.

Təcrübələr göstərir ki, baxılan müddətlərdə gücünü tam istifadə etməyən transformator, normal xidmət müddətinə zərər gəlmədən, günün və ya ilin müəyyən saatlarında artıq yüklənmə şəraitlərində də işləyə bilər. Ona görə bu və ya digər rejimlərin kriteriya şərtlərində nominal güc deyil, həmin müddət ərzində izolyasiya resursunun tükənməsi nəzərdə tutulur. Transformatorun artıq yüklənmə zaman intervallarında onlarda izolyasiyanın aşınması çox olmasına baxmayaraq, az yüklənmə zamanlarında izolyasiya demək olar ki dəyişməz qalır.

Əsas izolyasiyaya  $S_{yg-og}$  – yüksək gərginlik dolağıyla orta gərginlik arasında,  $S_{og-ag}$  – orta gərginlik dolağı ilə aşağı gərginlik dolağı arasındakı izolyasiya və  $S_{fa-lb}$  – fazlar arası izolyasiya məsafələrindən ibarətdir.

Quruluşuna görə güc transformatorlarının əsas izolyasiyası elektrik sahəsinin qüvvə xəttlərinə perpendikulyar istiqamətdə bir-birinə nəzərən ardıcıl düzülmüş elektrokarton aralıqlardan ibarətdir şək.4.6.



Şəkil 4.6 110 kV iki dolaqlı transformatorun əsas izolyasiyasının görünüşü

Онлар юз араларында йаь каналларындан тяшкил олунан йаь-барйер эярэинликляри иля тййин олунур. Сынаг эярэинликляри електрик шябьякясинин нейтрал реьимляри, бошалдыжыларынын характеристикасы вя трансформаторун эярэинлийи иля сечилир. 110 кВ вя йцксяк эярэинликли еффектив торпагланмыш шябьякялярдя йалныз хятт чыхышлары цчцн там сынаг эярэинлийи сечилир.

Температурун артырылмасы имканлары електрик изолясийасынын хцсусийятляриндән аsılı olduđu үşүн мящдуд һәддләрдә олур. Цчнки температур артдыгжа, изолясийанын кющнялмяси вя даьылма просесляри сцрятлянир. Цзви гурулушлу изолясийанын термики кющнялмяси ясаян кимйяви просесляр нятижясиндя мейдана чыхыр. Баш веряи кимйяви просесляр: - оксидляшмя, полимерлярин деструксийасы, поликонденсасийасы иля мцщацийят едилир. Температурун артымы кимйяви просесляри сцрятляндирир. Гисми бошальмалар (ГБ) ися бу просесляри даша чох артырыр. ГБ тясири вя истилийин артмасы иля кимйяви реаксийалар, микроадикалларын оксизен вя диэяр парчаланмыш актив маддялярля (азот вя сульфат туршу галыглары -  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_3$ , ЖО вя с.) эедян реаксийалар интенсивляшир. Бу просеслярин сцряти кимйяви реаксийаларын кинетикасы иля тййин едилир. Яэяр верилмиш маддянин ващид щяжминдя илкин молекулаларын сайы  $N_0$ ,  $t$  мцддятиндяи сонра ися,  $N_m$  иля эютцрцлярся, бурада эедян кимйяви реаксийанын сцряти ашаьыдакы кими ифадя олунар:

$$-\frac{dN_t}{dt} = K_t N_t \quad (4.1.1)$$

burada  $K_m$ - vaxid zamanda molekulanın parçalanma ehtimalını və ya kimyevi reaksiyanın sürətini göstərən əmsəldir. Reaksiyanın sürəti, temperaturdan asılı olaraq *Arrhenius* qanunu ilə yazılır:

$$K_t = K_0 e^{-\frac{W_a}{kT}} \quad (4.1.2)$$

burada  $K_0$ -maddənin quruluşu və molekulların ilkin  $N_0$  sayından asılı olan əmsəldir;  $W_a$  - aktivləşmə enerjisi,  $k$ -Bolsman sabiti,  $T$ - mütləq temperaturdur.

(4.1.1) formulasında başlanğıc şərtləri nəzərə alsaq ( $t=0$ ,  $N_t=N_0$  olduğundan) aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$N_t = N_0 \cdot e^{-Kt} \quad (4.1.3)$$

Çox hallarda  $N_t/N_0=C_1$  nisbətinin müəyyən bir qiymətində, termik parçalanma və məmulatın sıradan çıxdığını təyin etmək mümkün olur. Bu halda (4.1.2) və (4.1.3) ifadələrinə əsasən  $T_1$  və  $T_2$  temperaturlarında, məmulatın resursları arasında aşağıdakı münasibət doğru olur:

$$\tau_{r1} \cdot e^{-W_a/(kT_1)} = \tau_{r2} \cdot e^{-W_a/(kT_2)} \quad (4.1.4)$$

və ya başqa şəkildə:

$$\frac{\tau_{r2}}{\tau_{r1}} = e^{-\frac{W_a}{k} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad (4.1.5)$$

Müəyyən  $T_1$  temperaturası üçün,  $B = \tau_{r1} \cdot e^{-W_a/(kT_1)}$  qəbul edilərsə, ixtiyari  $T$  temperaturundan asılı olaraq izolyasiyanın resursu aşağıdakı formula ilə yazılır:

$$\tau_r = B \cdot e^{W_a/(kT)} \quad (4.1.6)$$

Plastik izolyasiya polietilen, polivinilxlorid, rezin-kauçuk və silikon-rezin tərkiblərə malik olurlar. Onlardan quru izolyasiyalı güc transformatorlarında “*Resiblok*”, “*GEOFAL*” və “*NOMEX*” tipli izolyasiya hazırlanır. Quru izolyasiyalı transformatorlarda kimyevi parçalanmaların sürəti, temperaturun hər  $10^\circ C$  artımı halında iki dəfə artır. Bu tip quru izolyasiyalı transformatorlar yüksək etibarlılığa, nəmlik və mexaniki vibrasiya təsirlərinə qarşı davamlı olurlar. Ona görə metrolar, saxta və digər vacib obyektlərdə istifadə edilir.

Transformatorun yağ-kağız izolyasiyası üçün  $6^\circ C$  asılılığı doğru olur. Bu proses müxtəlif yollarla keçir. Məsələn, selulozanın termik destruksiyası polimerləşmə dərəcəsinin azalması ilə keçir. Seluloza molekullarında struktur zəncirlərinin qırılması mexaniki möhkəmliyin azalması kağız və kartonun elastikliyinə (çevikliyin) azalması və kövrəkləşmə ilə müşahidə olunur. Kağız və karton izolyasiyasında istifadə edilən seluloza molekulasının ilkin polimerləşmə dərəcəsi 1300 radikalından  $[C_6O_5H_{10}]$  ibarət olur. Köhnəlmədən sonra isə bu say 100-200 -ə qədər azalır və o asanlıqla oxşalanıb tökülür. Kağız və karton təkcə izolyasiya elementi deyil, həm də konstruksiya məmulatları olduqlarından, mexaniki möhkəmliyin bu şəkildə itirilməsi yol verilməzdir. Termik təsirlərdən köhnəlmiş kağızın elektrik xassələri kifayət qədər yüksək qalsa da, mexaniki möhkəmliyin itirilməsi ilə yaranan çatlar deşilməyə və onların sıradan çıxmasına səbəb olur. Maddələrin kimyevi köhnəlməsi *elektrokimyəvi deşilmə* ilə nəticələnir.

İzolyasiya yağları və digər maye dielektriklərin kimyevi köhnəlməsi özünü hər şeydən çox oksidləşmədə göstərir. Quru olan oksidləşmiş yağın elektrik möhkəmliyi təzə yağın elektrik möhkəmliyindən çox da fərqlənmir. Lakin birincilərdə  $tg\delta$  və xüsusi keçiricilik -  $\gamma$  daha çox artır.

Havada yüksək nəmlik və temperatur olduqda, elektrokimyəvi deşilmə sürətlənir. Deşilmənin bu növü materialların müqavimətinin və elektrik möhkəmliyinin azalması ilə keçir, sabit və aşağı tezlikli gərginliklərdə daha intensiv olur. Qapalı məsələlərdə qaz

qabarcıqlarının ionlaşması, istilik effekti və bərpa edici kimyəvi reaksiyalara səbəb olan, yüksək tezlikli dəyişən gərginliklərdə də sürətlənir.

Elektrik-kimyəvi dəşilmə uzun müddətli prosesdir. Tərkibində dəyişən valentli metal oksidi olan (məsələn Ti O<sub>2</sub>) aktiv keramikada və bir sıra üzvi polimerlərdə çox müşahidə olunur.

## 5 Yarımstansiyaların baş sxemləri

Transformator yarımstansiyaları şəbəkə gərginliyinin yaxın rayonlara və ya uzaq məsafələrə iqtisadi və texniki cəhətdən əlverişli şəkildə paylanması üçün, çevrilməsini təmin edən elektrik qurğularından ibarətdir. Onlar aşağıdakı hissələrdən ibarətdirlər: bir və ya bir neçə transformator (avtotransformator), yüksək gərginlik paylaşdırıcı quruluşları, aşağı gərginlik (orta və alçaq) paylaşdırıcı quruluşları, köməkçi quruluşlar. Yarımstansiyalarda sinxron kompensatorlar, statik kondensatorlar və şunt reaktorları kimi aparatlar da quraşdırıla bilər.

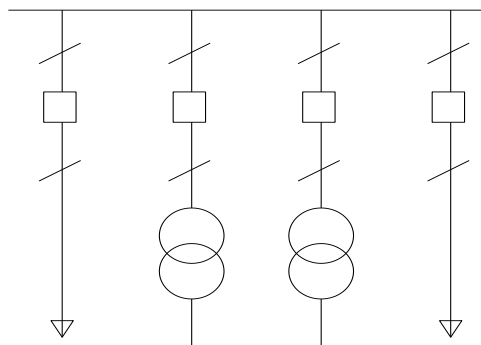
Yarımstansiyalar müxtəlif təyinatlı olduqlarından onların sinfləndirilməsi çətindir. Ancaq əsasən aşağıdakı əlamətlərə görə sinfləndirmə aparılır: 1) yüksək gərginlik tərəfinin nominalına görə, 2) aşağı gərginlik tərəfinin pillələrinə görə, 3) transformatorların sayı və onların vahid güclərinə görə, 4) yüksək gərginlik şəbəkəsində tutduğu vəziyyətə və yarımstansiya payalyıcı quruluşlarının (PQ) yüksək gərginlikdə təyinedici mövqeyinə görə və başqaları.

Bütün baş sxemlərdə olduğu kimi, yarımstansiyaların baş sxemlərində də etibarlılıq, xidmətin təhlükəsizliyi, texniki-iqtisadi səmərəlilik, monevrlilik kimi tələbatlar goyulur.

Yarımstansiyaların sistemdəki roluna görə etibarlılıq və manevrilik bəzi hallarda ciddi nəzərə alınır. Yarımstansiyaların baş sxemlərini elektrik şəbəkə və sistemlərin inkişaf perspektivlərinə əsasən layihələndirirlər. Onlar aşağıdakıları təmin etməlidirlər: a) yarımstansiya birləşməsində olan işlədicilərin normal və qəzadan sonrakı rejimlərdə etibarlı şəkildə və kateqoriyalara uyğun elektrik enerjisi ilə təmin edilməsi; b) yarımstansiyanın yüksək gərginlikli PQ - da sistemlərarası və magistral xəttlərə etibarlı güc tranzitinin təmin edilməsi; c) orta və alçaq gərginlik tərəfdə QQ cərəyanlarının iqtisadi məqsədəuyğunluğu; d) yarımstansiyanın tədricən genişləndirilməsinin mümkünlüyü; e) qəzaya qarşı avtomatika tələblərinin ödənməsi.

Sistemdə tutduğu vəziyyəti və əhəmiyyətinə görə baş sxemlər üç kateqoriyaya bölünür: dalan, tranzit(keçici) və govşag (sək.5.1).

Ən sadə baş sxem tək şinli seksiyalanmamış sxemdir.



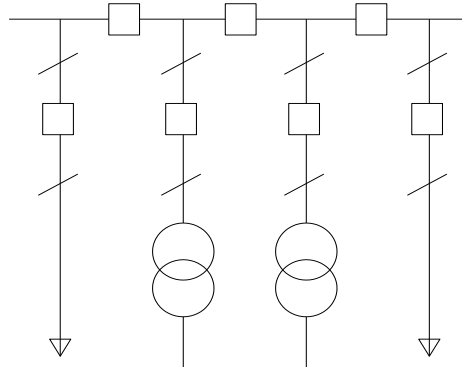
Şək.5.1 Seksiyalanmamış tək şinli sistem

Etibarlılığa görə sistemyaradıcı bir neçə tranzit və dalan yarımstansiyalarını əlaqələndirən govşag yarımstansiyalarına daha yüksək tələbatlar goyulur. Çünki böyük yük paylanmasına gullug etdiyindən belə yarımstansiyalarda baş verən gəza sistemin çökməsinə və rayonların enerji kəsintisində səbəb ola bilər.

Dalan və tranzit yarımstansiyaların digər yarımstansiyaların və sistemlərə təsiri az olduğundan onlarda etibarlılıq üçün ciddi tələblər göstərilir. Sxemlərin seçilməsində yarımstansiyalardakı transformatorların sayı əsas rol oynayır. Mövcüd təcrübələrə görə yarımstansiyalarda adətən iki transformator goyulur. Stansiya lar genişləndirildikdə və ya

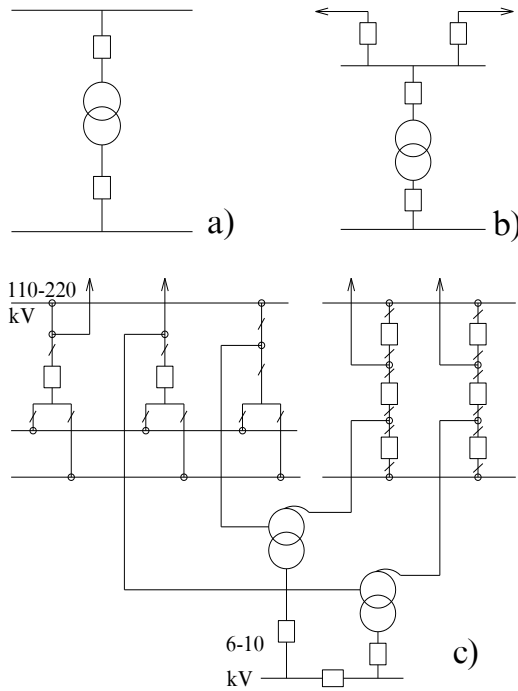


onların gücü artırıldıqda transformatorların sayını dəyişmədən onlardakı transformatorları daha güclü transformatorlarla əvəz edirlər.



Şək.5.2 b Seksiya bölmələrinə ayrılmış tək şinli sistem

Bu imkan əvvəlcədən, şin birləşmələri və digər aparatların seçilməsində standart güc şkalasında bir artıq siniflərin seçilməsi ilə əldə edilir.



Şək.5.3 Birləşmələri və təyinatlarına görə yarımstansiyaların növləri:- a)dalan tip, b)tranzit tip, c) qovşaq tip

İkinci, üçüncü dərəcəli işlədici kateqoriyaları olduğu halda yarımstansiyaya tək transformator qoyula bilər. Kiçik güclü birinci kateqoriyalı işlədicilər olan halda tək transformator o zaman qoyula bilər ki, ehtiyatın avtomatik qoşulması ilə yedək gidalanmaya və ya işlədicilər əlavə gida mənbəsinə malik olsun.

İki transformatorlu yarımstansiyalarda hər bir transformatorun gücü ümumi maksimal gücün 65-70%-i qədər seçilir. Ona görə qəza rejimlərində transformatorların biri

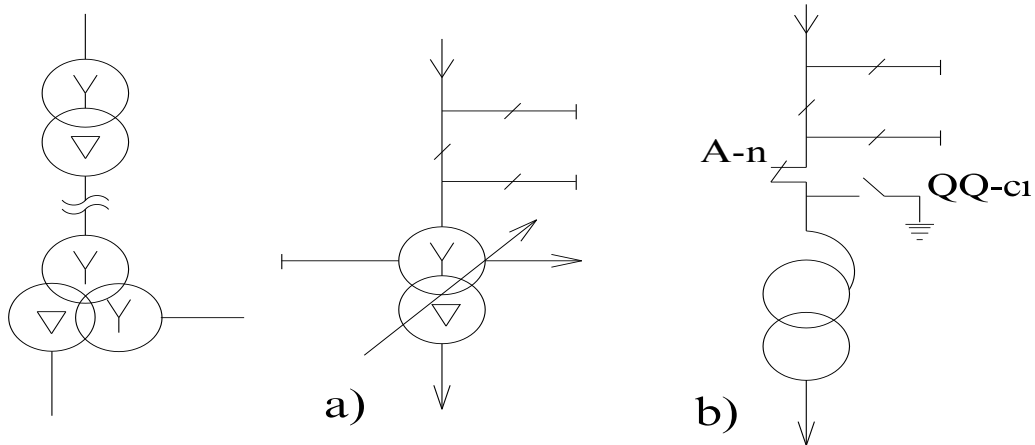
sıradan çıxdıqda ikinci transformator təmir müddətində o birinin artıq yükünə davam gətirir.

Yükün xarakteri və elektrik enerjisinin keyfiyyətinə göstərilən tələbatdan asılı olaraq, gərginliyin tənzimlənmə gurğusu seçilir. YAT—yük altında tənzimlənmə gurğusu və ya xətti gərginlik tənzimləyici transformator üsulları vardır.

Dalan yarımstansiyaların yüksək gərginlik tərəfdən baş sxemi ən sadə guruluşda olur. Adətən onlar üçün xətt transformator blok sxemi (X-T) gurulur və burada qoruyucu, ayırıcı qoyulur. Nadir hallarda isə açarlardan istifadə edilir.

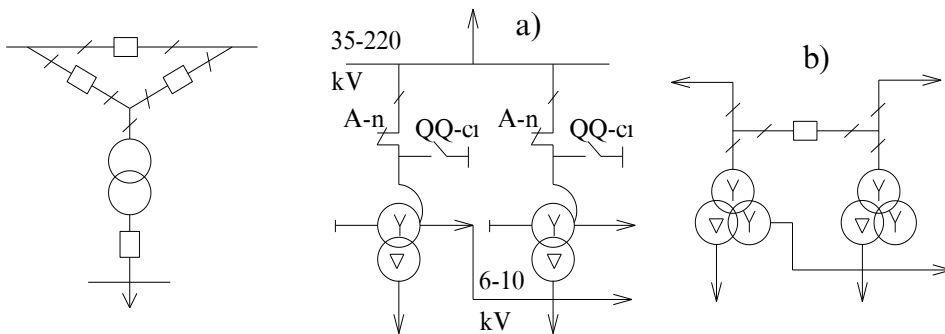
Rele mühafizəsinin işləməsinin və təsirinin dəqiq yerinə yetirilməsi üçün yarımstansiyanın yüksək gərginlik tərəfində ayırıcılar tətbiq edilir. Şək.5.4 a,b. Ayırıcılar telekanallar vasitəsi açarlara açıcı signallar göndərir. Bir sıra hallarda qısa qapayıcılarda, ayırıcılar birlikdə qurulur və onlar birlikdə açarların funksiyasını yerinə yetirirlər.

110-500 kV bir transformatorlu tranzit yarımstansiyalarda yüksək gərginlik tərəfindən, üç açarın birləşməsi ilə üçbucag sxemlər tətbiq edilir. Bu mürəkkəb sxem şəbəkənin seksiyalaşdırılması və yarımstansiyağa girən xəttlərdə hər faza üçün ATQ tətbiqində əlverişli olur.



Şək.5.4 Tək transformatorlu dalan tip y/st a) sadə sxem, b) ayırıcı (A-n) və qısa qapayıcı (QQ-c1) olan sxemlər

Blok sxemlərində, xətt-blok sxemləri iki transformatorlu dalan yarımstansiyalarda da tətbiq edilir. Əsasən dalan və tranzit yarımstansiyalarda yüksək gərginlik tərəfindən daha etibarlı sxemlər tətbiq edilir: - körpü, ikigat körpü, kvadratlar, şin seksiyalaşdırılması sistemləri kimi sxemlərdir şək.5.5 və şək.5.6.



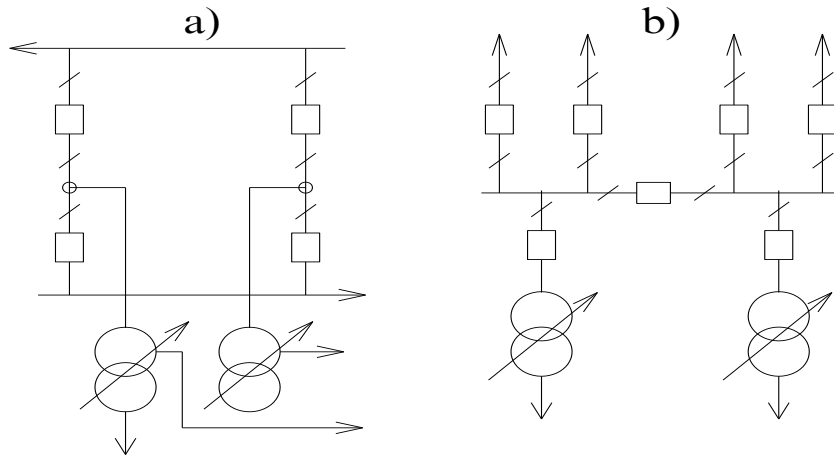
Şək.5.5 110-500 kV-lu y/stansiyanın  
üçbucaq sxemi

Birləşmələrin sayı 6-dan çox olduğda bir seksiyalı və dolaylı şin sistemi şəkil 5.3 də göstərilirdiyi kimi qurulur. Bu sistem daha məqsəddə uyğun olur. Birləşmələrin sayı 10-dan çox olduğda isə iki işçi və bir dolaylı şin sistemi tətbiq olunur.

220-500 kV güclü qovşağ yarımstansiyalarda yüksək gərginlik tərəfdə çox etibarlı şin sistemi tətbiq edirlər: üçbucaq, kvadrat, əlçələndirilmə nöqtələrində açar qoyulmuş üçbucaq və kvadrat sistemləri kimi sistemlər.

Adətən yarımstansiyaların alçaq gərginlik tərəfi tək sistem şinli hazırlanır. İki transformatorlu yarımstansiyalarda alçaq gərginlik tərəflərinin açarları ilə seksiyalaşmış bölmələr normal rejimdə ayrı-ayrı işləyirlər. Şək.5.8. Transformatorların hər hansı birində qəza olduğda və ya bir tərəfin yükü tamamilə azaldığıda seksiya açarı avtomatik olaraq qoşulur. Bu zaman alçaq gərginlik tərəfdə itkiləri azaltmaq məqsədi ilə yükü bir transformatora keçirmək əlverişli olur.

Qısa gapanma gücünü 6 kV şinlərdə 200 MVA, 10 kV şinlərdə 350 MVA-ya qədər məhdudlaşdırılması üçün, komplekt paylayıcı quruluşun aparatlarının şəraitinə görə, alçaq tərəfdə parçalanmış dolaqlı 25 MVA-lıq transformatorlar (227Nəli BEŞ yarımstansiya olduğu kimi) tətbiq edilir. Bu məqsədlə transformatorlar dövrəsini qrup şəklində sadə və ya çiyinli reaktorlar da qoyulur, şək.5.7 a) və b).



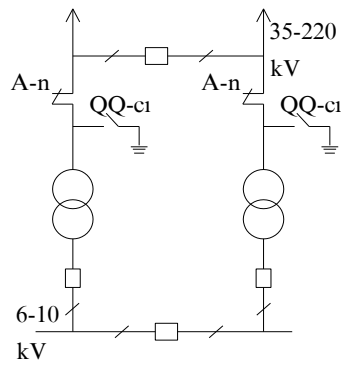
Şək.5.7 İki transformatorlu Y/it-in a) kvadrat, b) tək şinli sxemləri

Seksiya reaktorlarının qoyulması isə, bu halda effektiv hesab edilmir. Yarımstansiya paylayıcı quruluşunun bahalı və mürəkkəbləşdirməmək üçün ayrılan fiderlərə reaktorlar qoyulmur.

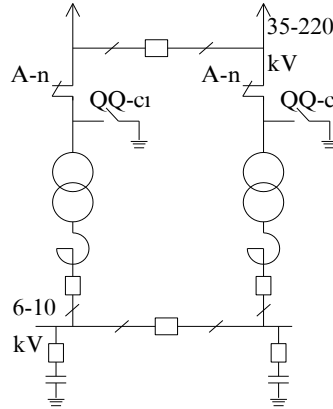
Bir çox yarımstansiyalarda reaktiv gücün kompensasiyası üçün və gərginliyin əlavə tənzimlənməsi statik kondensator batareyaları və ya sinxron kompensatorlar istifadə edilir. Bu əlavə gurguların qoyulması isə hesabatlarda əsaslandırılmalıdır. Hesabatlar yarımstansiya şinlərində reaktiv güc sərfiyyatının grafiki, yüksək tərəfdə gərginlik dəyişmələrinin rəqsəlmə səviyyəsi və həmçinin transformatorun YAT qurğusunun parametrlərinə görə aparılır.

Sinxron kompensatorlar, transformatorlar qoşulduqdan dərhal sonra qoşulurlar. Sinxron kompensatorlar arada olan reaktorlar vasitəsi ilə işə salınır. Statik kondensator batareyaları isə yarımstansiya alçaq gərginlik şinlərinə birləşdirilmiş şəkildə işləyir şək.5.8 və şək.5.9.

Bəzən qovşağ yarımstansiyalarda aktiv güc axınıni tənzimləmək üçün tənzimləyici transformatorlar da istifadə edilir. Onlar gərginliyin eninə tənzimlənməsinə də effektiv təsir edirlər. Lakin onların da qoyulması hər bir halda sistem rejimlərinin detaylı əsaslandırılmış hesabatları ilə təsdiqlənməlidir.



*Şək.5.8 QQ-lı və ayıranlı, alçaq tərəfdə bölmələri olan Y/st sxemi*



*Şək.5.9 İki transformatorlu reaktivləşdirilmiş Y/st sxemi*

## 5.2 Baş sxemlərin seçilməsi. Ümumi tələblər.

Elektrik stansiyasının baş sxeminin seçilməsi sadə məsələ deyildir, çünki bütün şəraitlər üçün yararlı olan universal sxem yoxdur. Bu sahədə formatlaşdırılmış elə bir dəqiq üsul yoxdur ki, əvvəlcədən tərtib edilmiş formula ilə bütün şərtləri hərtərəfli əhatə etsin. Ona görə stansiyaların rəşional sxemlərinin tapılması mürəkkəb məsələdir.

Baş sxemin seçilməsində yerli şəraitin və ümumi tələblərin əşasında hər konkret hal üçün layihə variantı işlənir. Onlar etibarlılıq və iqtisadi səmərəlilik göstəricilərinə görə müqayisə edilirlər. Qəza hallarının yaranması, sxemdə olan hər bir element və avadanlıq üçün iqlim, istismar, texnoloji, konstruktiv və s. kimi amillərdən aslıl olur. Baş sxemlərin müxtəlif variantlarında bu amillərin təsadüfi təsirlərinə aid əvvəlcədən seçilmiş ümumi yanaşma və ehtimal nəzəriyyəsinin riyazi statistika metodlarına uyğun nəticələr alınır.

Stansiyaların baş sxemləri ümumi sistemin bir hissəsi olduğundan bütöv sistemin xüsusiyyətləri və rejimlər nəzərə alınmadan seçilə bilməz. Ona görə burada elektrik stansiyası ilə şəbəkənin birlikdə normal işləməsi şərti əşas götürülür.

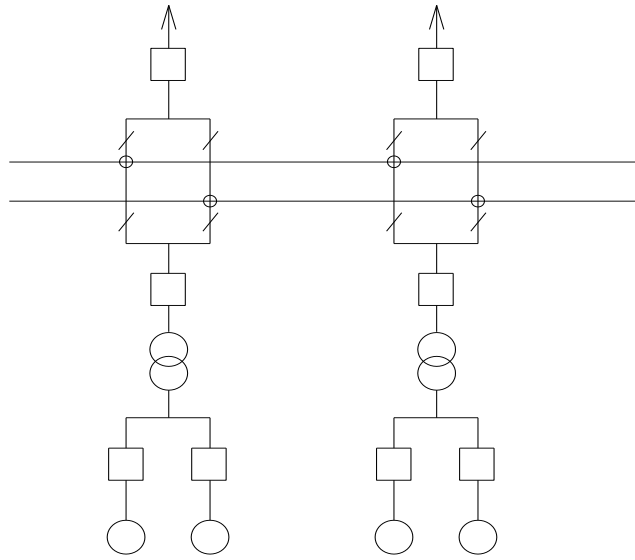
Məsələn, qəza zamanı itirilə bilən generator gücünə, sistemlə generator arasında olan (sistemdə) ehtiyat gücünün təsiri vardır. Şin seksiyalarının sayı birləşmələrin sayı ilə təyin edilir və çox hallarda qısa qapanma cərəyanlarının məhdudlaşdırılma şərtlərindən aslıl olur. Bir sözlə sxemin seçilməsi çoxsaylı və ziddiyyətli şərtlərin nəticəsi olur. Əgər sxemdə tez-tez xətt qruplarının dəyişdirilməsi lazım gəlirsə, normal və qəza rejimlərində aktiv güc verilişinin qiymət və istiqaməti dəyişdirilirsə, bu səbəbdən şəbəkənin əşas dövrəsinin ixtiyari şəkildə dəyişdirilməsi üçün iki işçi şin sistemli baş sxem qurulmalıdır. Belə sxem deyilən dəyişmələri asanlıqla həll edir.

Generator və transformator arasında generator açarının qoyulması bütövlükdə baş sxemin etibarlılığını çox artırır. Şəbəkəyə cüt-cüt qoşulan generator blokları ilə, ümumi və ayrı transformator işləyən arasında hökmən açar qoyulmalıdır (şəkil a). Bu qayda həm də blokların üçdolaqlı transformator və ya avtotransformatorla şəbəkəyə qoşulduğu hallara şamil edilir.

Sxemlərin seçilməsində sistemin inkişafı və stansiyanın (yarımstansiyanın) gələcəkdə genişləndirilməsini nəzərə almaq vacibdir. Çünki bir işçi və bir dolayı şin sistemli sxemdə belə dəyişikliklər aparıldıqda stansiyada birləşmələr tamamilə sökülməli və söndürülməlidir. Ancaq şəbəkə iki işçi şin sistemli və ya bir yarım sxemli olduğda birləşmələri açmadan rekonstruksiya işləri aparmag olar (şəkil 5.10 a) və b).

Baş sxemin seçilməsində əşas tələblərdən biri də onların təmirinin asan olmasıdır. Bu şərtlər daxilində olan sxemdə açarların təmirə çıxarılması zamanı elektrik təchizatında

kəsintinin olmaması və birləşmələrin normal montaj vəziyyətində qalmaları əsasdır. Bu şərtləri ödəyən ən uyğun sxem – biryarım və çoxbucaqlı birləşməyə malik olan baş sxemdir.



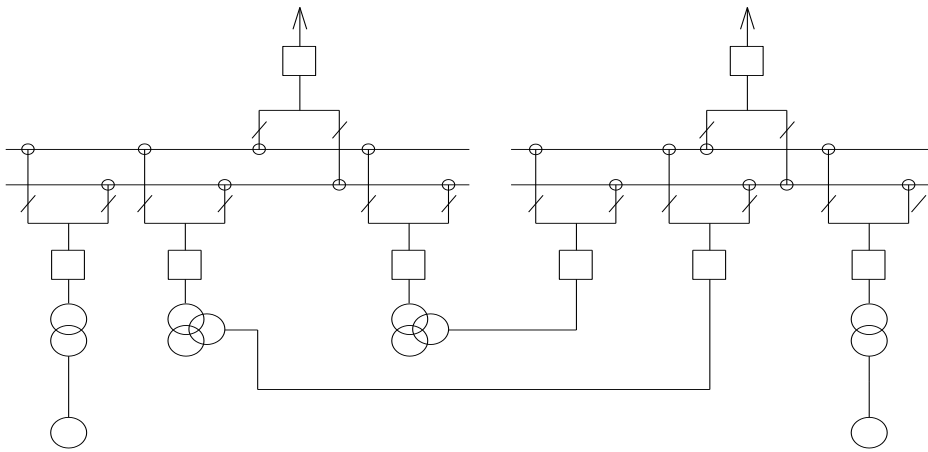
a)

Şəkil 5.10 Generator və transformator arasında açar olan sxem

Deyilənlərə əsasən baş sxemlər aşağıdakı qaydalara uyğun seçilir: - layihələndirmədə konkret hal üçün yerli şəraiti və baş sxemə göstərilən tələbatları nəzərə alaraq bir neçə variantlara baxılır. Onlar arasında ən ehtibarlı, iqtisadi cəhətdən səmərəli olan variant seçilir.

Qəza hadisəsi, iqlim şəraiti, istismar qaydaları, texnoloji-konstruktiv qusurlar və s. kimi təsadüfi təsirlərdən asılı olduğu üçün onları riyazi statistika və ehtimal nəzəriyyələrinə əsasən analiz edirlər.

Baş sxemlərdə qoyulan kommutasiya məhdudiyyətlərinə görə, qəzadan açılan hər hansı birləşmədə minimal sayda açar açılmalıdır.



b)

Şəkil 5.10 Üçdolaqlı transformatorlu blok sxem - b)

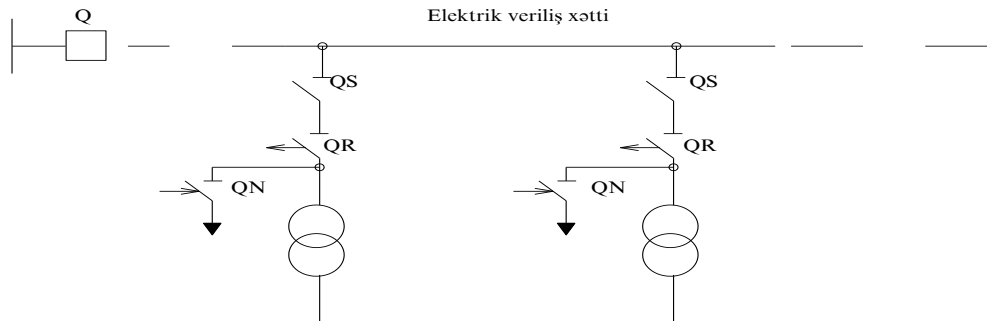
Qəbul edilən baş sxem elektrik stansiyası ilə sistemin birləşmə şərtinə görə normal iş rejimini təmin etməlidir. Nominal gərginliklər və onların çevrilməsi stansiyanın gücünün verilməsinə uyğun olmalıdır.

## 6.1 Qısa qapayıcılar və aralayıcılar

Qısa qapayıcılar şəbəkənin işçi torpaqlanma qaydasından asılı olaraq bir qütblü və ya iki qütblü ayırıcılar kimi hazırlanır. Onlar başında tərənəmz kontaktı və intiqalla əlaqə üçün sıxacı olan bir dayaq izolyatoru üzərində qurulmuşdur. Mexanizm, yaylı intiqal vasitəsi ilə, əl və ya avtomatik komanda ilə üçfazlı sistemin məftillərini yerlə birləşdirir. Bu zaman torpaqlanma bıçağı, val ətrafında fırlanaraq  $60^{\circ}$  döndür.

Aralayıcılar avtomatik idarə olunan və avtomatika qurğusunun komandasına uyğun olaraq dövrənin əvvəlcədən açarla açılmış bir hissəsində açma əməliyyatı aparən adi üçfazlı ayırıcılardır. Məsələn, iki sütunlu dayaq izolyatoru üzərində olan OD tipli aralayıcının RND ayırıcısından fərqi yalnız intiqal mexanizmindədir. Onlar açma komandası ilə hərəkət edən, yaylı intiqalla təchiz edilmişdir. Açma müddəti 0.5-1 san çəkir. Onların qoşulması əl ilə aparılır. Şəkil 6.3 –üzrə aralayıcı və qısa qapayıcıların işini aydınlaşdırmaq olar. 35-220 kV –luq güc açarı olmayan tək xəttə iki ədəd alçaldıcı transformator yük ayırıcısı və ya adi qısa QS ayırıcısı ilə birləşdirilmişdir. Transformatorların birinin zədələndiyi halda xeyli uzaqda quraşdırılmış xətt açarı Q ilə açılma olacaqdır. Transformatorla daxili zədələnmə hesabına kiçik cərəyanlar meydana çıxdıqda, xəttin əvvəlcə quraşdırılmış rele mühafizəsi işləməyə bilər. Bu halda daha həssas olan olan transformatorun differensial və ya qaz mühafizəsi işləyir. Bu mühafizə qısa qapayıcıya – QN-ə komanda verir. Effektiv və ya bir başa torpaqlanmış neytral sxemlərdə bir fazlı qısa qapayıcılar istifadə edilir. İzolə edilmiş və kompensasiya edilmiş neytrallı şəbəkələrdə isə iki fazlı qısa qapayıcılar lazımdır. Beləliklə hər iki halda QN qısa qapayıcısı işlədikdə cərəyan çox artır və xətt mühafizəsi təsir edərək transformatorları xətlə birlikdə açır şəkil.1.7 .

Xətt açıldıqdan sonra QR aralayıcısı zədəli transformatoru şəbəkədən ayırır. Xətt təkrar avtomatik olaraq qoşulur və sağlam transformatorla qidalanan işlədicilər yenidən enerji alırlar. Zədəli transformatorlar isə təmirə çıxarılır. OD seriyalı iki kontaktlı aralayıcı adi RND ayırıcıdan yalnız intiqal qurğusu ilə fərqlənirlər. Onlar uyğun komanda ilə işə düşən yaylı intiqalla təchiz edilmişdir. Açılmalar avtomatik olaraq 0,5-1 saniyədə baş verir. Aralayıcının qoşulması isə əl ilə aparılır.



Şəkil 6.3 Qısa qapayıcı və aralayıcının tətbiqinə aid sxem

## 6.2 Yük açarları

Yük açarı 1 kV-dan yuxarı nominal işçi cərəyanlarının açılması üçün istifadə edilən kommutasiya aparatıdır. Yük açarları avtomatik və ya mexaniki intiqal mexanizminə malikdirlər. Yük açarları qq cərəyanlarının açılmasını yerinə yetirmir. Lakin onların qoşma qabiliyyəti bu cərəyanların elektrodinamiki qüvvələrinə davam gətirir. Yük ayırıcıları, elektrik qurğusunun iş şəraiti imkan verdikdə, transformatorların yüksək gərginlik tərəfdən açılıb- qoşulmasını təmin edir. Onlar qq cərəyanlarını açmadığından, transformatorlar zədələndiyi zaman əriyən telli qoruyucularla və ya sxemin əvvəlki qovşağında olan

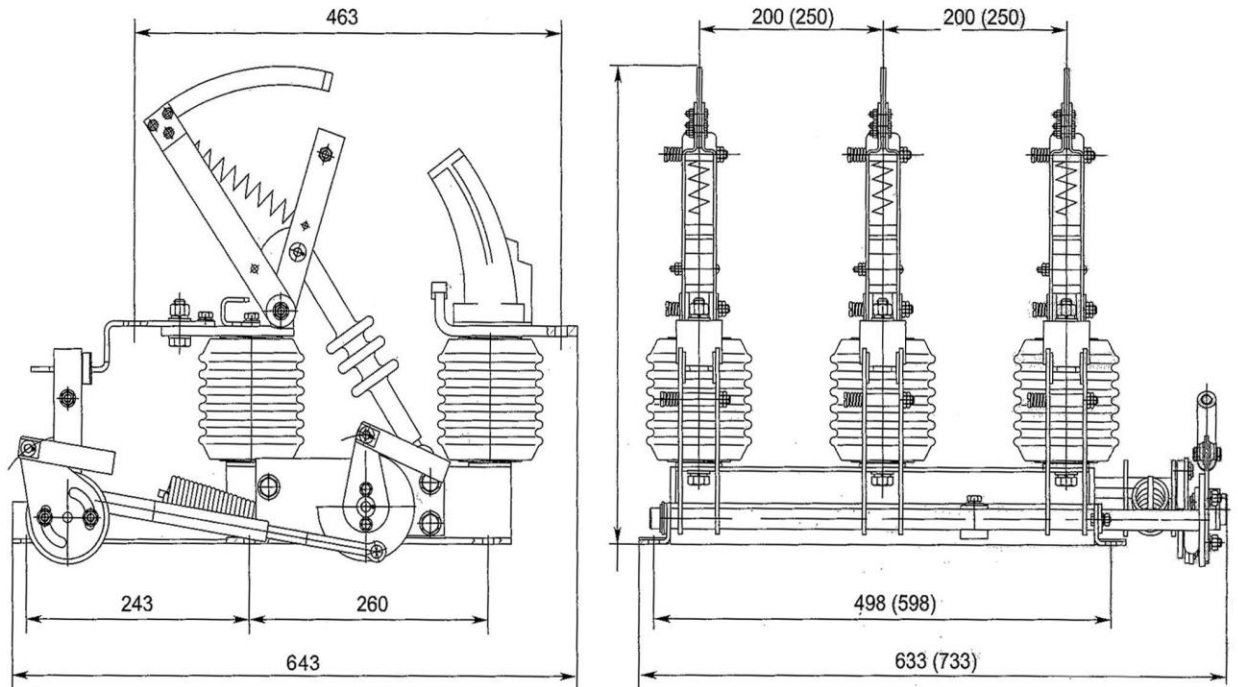
avtomatik açarla açılır. Yük açarlarının təkmilləşdirilməsi ilə onların tətbiq sahələri də artır.

**Qaz generasiya təsirli qövssöndürücü yük açarları.** Bu tip açarlar nominal gərginliyi 6-10 kV olan qurğular üçün buraxılır şəkl.6.4.

Şəkildən görüldüyü kimi, burada daxili tip, üç qütblü ayırıcıların elementləri istifadə edilmişdir. Ayırıcının dayaq izolyatorlarında qövssöndürücü kamera-5 bağlanmışdır. Ayırıcının bıçaqlarına - 1, əlavə - 4 bıçaqları bərkidilmişdir. Açılma və qoşulma zamanı bıçaqların hərəkət sürətinin əməliyyatçıdan asılı olmayan bir mexanizmə dəyişdirilmişdir. Bunun üçün yay-6 qoyulmuşdur.

Ayırıcının valının dönməsi zamanı yay gərilir, sərbəst qaldıqda isə öz enerjisini hərəkətli bıçaqlara verir.

«Qoşulu» vəziyyətdə köməkçi bıçaqlar söndürücü kameralara daxil olurlar. Ayırıcının - 2 kontaktı və qövssöndürücü kamernin - 7 sürüşən kontaktları qapanır. Cərəyanın böyük hissəsi ayırıcının kontaktından keçir.



Şəkil 6.4 Avtoqazlı yük ayırıcısının ümumi görünüşü və ölçüləri

### 6.3 Torpaqlanma sistemləri

Torpaqlanma elektrik şəbəkələri, stansiya və yarım stansiyalarının sadə, lakin çox vacib bir sistemləridir. Əhəmiyyətinə görə torpaqlanma üç yerə bölünür:- işçi torpaqlanma, təhlükəsizlik torpaqlanması, ildırım mühafizəsi torpaqlanması. Növünə görə stasionar və ya müvəqqəti (daşınan) olurlar. Yarımstansiyalarda bu məqsədlə xüsusi üç fəzli, elastiki birləşmələri olan, başlıqlı, səyyari torpaqlayıcılar istifadə edilir.

Konstruksiyasına görə onların əsas işçi elementləri югя onların яsas ишчи элементяги torpağa vurulmuş metal bəgular, кцнжлцк вя ya вцтюв en кясиyi olan yuvarlaq вя ya дюрдкцне materialдыр. Onlara torpaqlanma elektrodлары deyilir. Торпаqlауысы qurьular дяриндя, yerля bilavasity яlaqяси olan кечирисидян вя ya biri-бири иля qrup шяклиндя бирляшдирилмиш контакты olan кечирисиляг системиндян (торпаqlанма контурундан) ибарятдир.

Torpaqlanma elektrodлары иля s istemin вя аваданлыqlагын бирляшдирилимяси qalvanik метал золаqlаргын (40-4 mm- дян аз олмайан) qaунабы иля арагылыр. Бу zaman сечилян qaунаq

elektrodları da qalvanizli olmalıydılar. Йцксяк эярэинликли пайлайыжы гурьуларын ичярисиндя олан бцтцн ачар, айырыжы вя диэяр эярэинлик алтында олан эювдялярин торпагланмасы цццн стационар торпаглайыжылардан истифадя едилер.

Bir başa torpaqlanma transformatorların neytralının bilavasitə metallik yerlə birləşdirilməsi və ya kiçik müqavimətlə torpaqlanmasıdır. Bunun əsas üstünlükləri:- ifrat gərginliyin  $2.5 U_f$ -dan çox olmaması, bir fəzli qısa qapanma cərəyanlarının üç fəzli QQ –ın 60 %-dən çox olması və bu zaman sağlam fəzlərdəki gərginliklərin  $0.8 U_{xətti}$  gərginliyə qədər qiymət alması, rele mühafizəsinin dəqiq və tez işləməsidir. Eyni zamanda neytralın bu rejimində avtomatik təkrar qoşulmaların, daha effektiv işləməsidir.

Birfəzli QQ cərəyanlarının qiymətlərinin həddi stansiya və yarımstansiyada olan transformatorların bir qisminin torpaqlanmaması ilə tənzimləyə bilər. Çünki bütün transformatorların neytralı torpaqlandıqda QQ cərəyanları çox arta bilər. Lakin belə hesabatlar apardıqda avtotransformatorların neytralının torpaqlanmasının həmişə vacib olduğu nəzərə alınmalıdır. Həm də bütün transformatorların neytralının torpaqlanması rele mühafizəsinin işini mürəkkəbləşdirir, əlaqələndirici və rabitə xəttlərinin işi çətinləşir, onlara olan kənar təsirlər artır.

Ölkəmizdə istifadə edilən transformatorların dolaqlarının sıfır nöqtəsində tam izolyasiya səviyyəsi olmadığından, (məsələn, 110 kV transformator dolaqlarının sıfır nöqtəsi 35 kv izolyasiya səviyyəsinə uyğun olduğundan) qeyri simmetrik QQ-da neytralın gərginliyinin artması və bu zaman neytralın izolyasiyasının boşaldıcılarla mühafizə edilməsi hesabınmalıdır.

### **6.3 Yüksək gərginlik şəbəkələrinin məxsusi tezlikləri. Yüksək gərginlik açarlarının idarə edilməsi və açma qabiliyyəti**

Açarların qoşulması, açılması və təkrar qoşulması uzaqda olan əməliyyat personalı və ya avtomatik qurğuların komanda signalı ilə hərəkətə gələn intiqal mexanizmləri ilə yerinə yetirilir. Hava açarlarından başqa digər açarların intiqalı “qoşulu” halda “gərilmiş” vəziyyətdə olan “açıcı” yaydan, “qoşulu” vəziyyətdə hərəkətli hissənin kilidləyici mexanizmindən, açılma zamanı hərəkətli hissəni sərbəst buraxan qurğudan, qoşmanı yerinə yetirən elektromaqnit mühərrikdən, pnevmatik porşen qurğusu və gərilmiş yaylardan, hərəkətli kontaktları əlaqələndirən ötürmə mexanizmlərindən ibarətdir.

Hava açarlarında digərlərindən fərqli olaraq açıcı yaylar, ötürmə mexanizmi, mühərrik və s. olmur.

Açarların idarə edilməsinin enerji mənbəi elektrik sistemidir. Lakin sistemdən enerji birbaşa açara verilmir. O enerji əvvəlcə çevrilmiş və akkumlyasiya olunmuş bir şəkildə dönüür. Məsələn, elektromaqnit intiqallar üçün akkumlyator batareyalarında, pnevmatik qurğular üçün resiverlərdə sıxılmış hava şəkilinə, yaylı intiqallar üçün yayın gərilmiş vəziyyətinə çevrilir. İstənilən növ bu enerji akkumlyatorları qəza şəraitlərində sistemin baxılan nöqtəsində enerji kəsildiyi zaman intiqalın işləməsinə təmin edir.

Açarların intiqallar aşağıdakı tələbləri ödəməlidir:

- onlar istismarda çox etibarlı olmalıdırlar, intiqallar həftələr və aylarla sükunətdə olmasına baxmayaraq açılma komandası verildiyi zaman, sanki təmirdən çıxmış və ya sınaq olunma vəziyyəti kimi yaxşı işləməlidir;
- qoşulma, açılma və dəfələrlə təkrar qoşulmalar çox qısa müddətdə olmalıdır;
- stansiyanın və ya yarımstansiyanın işinin müvəqqəti pozulması və sistemin baxılan hissəsində enerji kəsildiyi zaman açarın qoşulma imkanı təmin edilməlidir.

Paylayıcı quruluşlarda (PQ) olan yüksək gərginlik açarları təkcə PQ-in deyil, bütün enerji sisteminin ehtibarlılığını təmin edən aparatlardır. Açarların ən məsuliyyətli əməliyyatları böyük qısa qapanma cərəyanlarının açılmasıdır. QQ cərəyanları hazırda onlarla kA qiymətlərə çatmışdır. Sistemin dayanıqlı işini təmin etmək üçün QQ cərəyanları maksimal dərəcədə tez, yəni bir neçə yarımperiod ərzində açılmalıdır. Hazırda iki yarımperiodlu açarlar vardır.



Açarlar böyük ifrat gərginliklər yaratmadan kiçik induktiv və tutum cərəyanlarını açmalıdırlar.

Açarlar nominal cərəyanları dəfələrlə (10000-25000 dəfə) açıb-qapama qabiliyyətinə malik olmalıdırlar. Açarların açma qabiliyyəti -  $P_{açma}$ , praktikada rast gəlinən məxsusi tezliklərdə aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$P_{açma} = \frac{K_{ah} \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{f_{mt}}\right)}{K_a \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{f_{mth}}\right)} \cdot P_{açmaH} \quad (1.8)$$

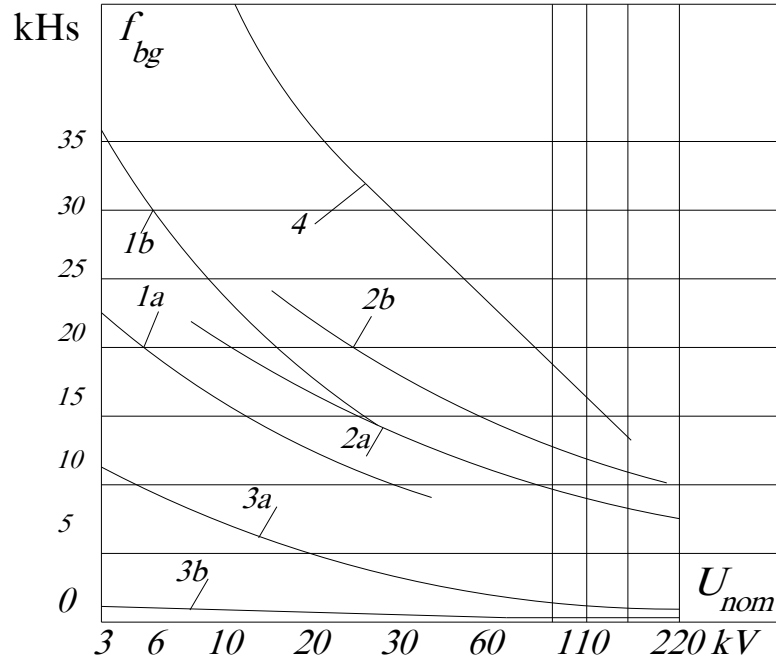
burada  $P_{açma}$ - açarın açma qabiliyyəti, MVA ilə;  $K_a$  və  $f_{mt}$  uyğun olaraq parametrlərin (gərginlik) artımı və şəbəkə şərtlərində açarın quraşdırıldığı nöqtədə bərpa olunan gərginliyin məxsusi tezliyidir.  $P_{açmaH}$ ,  $K_{ah}$  və  $f_{mth}$  isə, açarın hesablandığı hal üçün əvvəlkilərə uyğun kəmiyyətlər;  $\alpha$ - açarın konstruksiyası və qövssöndürmə prinsipindən asılı olan əmsəldir. Hava açarları üçün 2,7 kHs, yağ açarları üçün 170 kHs qəbul edilir.

$f_{mth} = \infty$  və  $K_{ah} = 1$  şərtlərində açarın açma həddi  $P_{açmaH}$  olarsa,  $f_{mt}$ - məxsusi tezlikdə açma həddi:  $P_{açma.həddi} = (1 + \alpha/f_{mt}) \cdot P_{açmaH}/K_a$  olar.

Beləliklə açarın açma qabiliyyəti bərpa olunan gərginliyin tezliyi ilə yanaşı, onun kamerasının qövs söndürmə üsulundan da asılı olur (yağ, sıxılmış hava, vakuum və s.). Müxtəlif qövs söndürmə üsulları, qövs özəyinin qalıq keçiricilikləri ilə fərqlənirlər. Bu zaman qalıq cərəyanlarının qiymətləri də fərqlənirlər. Qövsün qalıq keçiriciliyi qövs aralığını şuntlayaraq tezliklə sifra qədər azalır və müqavimət sürətlə sonsuz böyük qiymətə çatır.

Açarların kontaktlarında bərpa olunan gərginliklər şəbəkənin sxemi və parametrlərindən, həm də şəbəkənin həmin nöqtəsinə quraşdırılmış açarların özünün xarakteristikaları və parametrlərindən mürəkkəb şəkildə asılılıq təşkil edirlər. Bərpa olunan gərginliklər, bununla yanaşı şəbəkəyə qoşulmuş tutum, şunt müqavimətləri yaranan qövsün qalıq yükləri və mühitin qövssöndürücü xassələrindən asılı olur. Şəbəkənin parametrləri ilə təyin edilən məxsusi bərpa olunan gərginliklə, şəbəkə və açarın qarşılıqlı təsiri nəticəsində baş verən tam bərpa olunan gərginliklərə biri-birindən ayrı baxılır.

Məxsusi bərpa olunan gərginliklər periodun birinci kvadrantında (1/4-də) tezlikdən və gərginliyin artım sürətindən asılı olur. Bərpa olunan gərginliyin- $f_v$  məxsusi tezliyi isə nominal gərginlikdən və şəbəkənin konfigurasiyasından asılı olur. Göründüyü kimi şəbəkənin gərginliyi böyüdükcə onun məxsusi tezliyi azalır. Çünki gərginlik artdıqca, şəbəkənin induktivliyi və tutumu artır. Sxemin konfigurasiyasının məxsusi tezliyə təsirinin son həddlərində olan sxemləri şəkl.6.6 2 və 3- cü sxemləridir. 3 sxemi güclü və çox saylı hava və kabel xəttləri ilə əlaqələndirilən stansiya və yarım stansiyalara (böyük tutumlu şəbəkələrə) aiddir. 4 sxemi isə, yüksək gərginlikli xəttlərlə, böyük güclü mənbədən qidalanan yarımstansiyalara aiddir. Burada məxsusi tezlik transformatorun parametrləri ilə təyin olunur. Ona görə nisbətən kiçik QQ güclərində məxsusi tezlik böyük qiymətlər alır.



Şəkil 6.5 məxsusi tezliyin şəbəkənin nominal gərginliyi və sxemindən asılılıqları  
 1a- istilik elektrik stansiyası (İES) transformatorsuz və şinlərdə yüksəz olan hal, 1b- eyni ilə HES üçün, 2a- şinlərin yüksüz, lakin sistem əlaqələndirici transformator olan hal, 2b- eyni ilə HES üçün, 3a- Hava xətti ilə əlaqəli olan İES və ya y/stansiya üçün, 3b- eyni ilə kabel xətt əlaqəsi olan hal üçün, 4- hava xətti ilə qidalanan yarımstansiya üçün

#### Suallar

1. Açarların açma qabiliyyəti hansı parametrlərdən asılıdır?
2. Açarların idarəedilməsi hansı mexanizmləin işi ilə bağlıdır?
3. Hava və yağ açarları hansı parametrlərinə görə müqayisə edilir?
4. Elektrik şəbəkələrinin məxsusi tezliyi hansı əsas parametrlərdən təyin edilir?
5. xəttin və generatorların birləşmə sxemləri tezliyə necə təsir edir?

#### 6.4 Gərginlik ölçü transformatorları

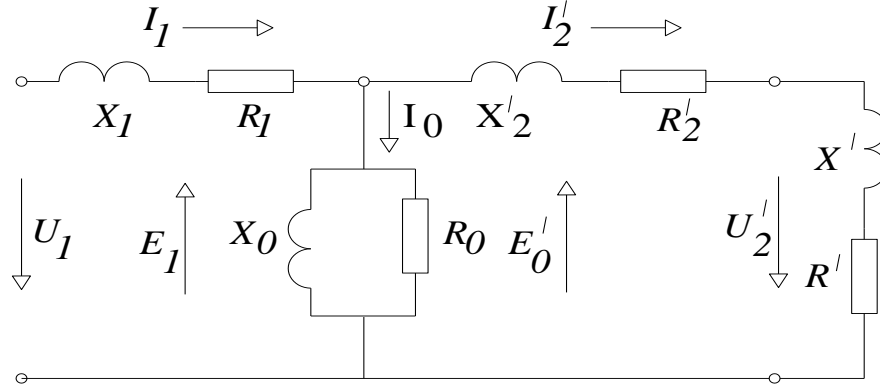
Gərginlik ölçü transformatorları birinci tərəfin yüksək gərginliyini ölçməyə uyğun olan qiymətə qədər azaldan və bunu kifayət qədər dəqiqliklə  $K_{nom}$  dəfə artırıdıqda birinci tərəf gərginliyi alınan həddə qədər dəyişdirən qurğudur. Transformatorun nominal transformasiya əmsalı -  $K_{nom} = \dot{I}_{1nom} / \dot{I}_{2nom}$ . olur. Gərginlik transformatorunun qiymət ölçü xətası aşağıdakı kimi tapılır:

$$f_U = \frac{K_{nom} \cdot U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

Gərginlik və cərəyanların elektrik-mağnit induksiya qanununa görə çevrilməsinin ideallaşdırılmış nəzəriyyəsi ilə hərəkət etdikdə xətalərin hesabı mürəkkəb olur. Ona görə əsl xətalərin həddini, gərginlik transformatorlarının maqnit keçirici içliyinin ölçülərindən, poladın maqnit xassələrindən, sarğılarının konstruksiyası və məftillərin en kəsiyindən təyin edirlər. Gərginlik transformatorlarının maqnit keçiricisinin induksiyası güc transformatorlarından az olmalıdır. Onlarda səpələnən maqnit seli və QQ gərginliklərinin nisbəti də güc transformatorlarından 5-15 dəfə kiçik olmalıdır. Ona görə xətaləri azaltmaq üçün bu parametrlər düzgün seçilməlidir.

Birinci və ikinci tərəf gərginlikləri arasında olan bucaq fərqi bucaq xətası deyilir. Əgər ikinci tərəf gərginliyi fazaca birinci tərəf gərginliyindən irəlidə olarsa xəta müsbət hesab edilir. Bucaq xətası radian və ya dəqiqələrlə ifadə edilirlər.

Bir fazlı gərginlik ölçü transformatorlarının xətalrı aşağıdakı əvəz sxemindən təyin edilir:



Şək. 3.6 Gərginlik transformatorlarının əvəz sxeması

Gərginlik transformatorunun ikinci tərəf  $X_2$ ,  $R_2$ , xarici dövrənin  $X$  və  $R$  müavimətləri, ikinci tərəfin  $I_2$  cərəyanı,  $U_2$  gərginliyi birinci tərəf dolaq sarğı saylarına gətirilsə, aşağıdakıları yazmaq olar:  $X_2' = X_2 \cdot n^2$ ;  $R_2' = R_2 \cdot n^2$ ;  $X' = X \cdot n^2$ ;  $R' = R \cdot n^2$ ;  $I_2' = I_2/n$ ;  $U_2' = U_2 \cdot n$ ,  $n = w_1/w_2$ .

Gərginlik transformatorunun müəyyən  $U_2'$  gərginliyi və  $I_2'$  cərəyanında malik olduğu xəta,  $I_2'$  cərəyanından  $Z_2' = R_2' + jX_2'$  müqavimətində və  $I_1 = I_0 + I_2'$  cərəyanı təsirindən  $Z_1 = R_1 + jX_1$  müqavimətində gərginlik düşkünləri ilə mütənasib olmalıdır:

$$U_1 - U_2' = I_2' \cdot Z_2' + I_1 \cdot Z_1 = I_0 \cdot Z_1 + I_2' (Z_1 + Z_2')$$

Burada  $I_0$ - birinci tərəf  $U_1$  gərginliyindən asılı olan maqnitlənmə cərəyanıdır.

Müqavimətlər və cərəyanların kompleks ifadələri nəzərə alındıqda gərginliklər fərqi üçün aşağıdakı ifadələri yazmaq olar  $I_2' = I_{2a}' - jI_{2r}'$  və  $I_0 = I_{0a} - jI_{0r}$ :

$$U_1 - U_2' = I_{0a} \cdot R_1 + I_{0r} \cdot X_1 + I_{2a}' (R_1 + R_2') + I_{2r}' (X_1 + X_2') + j [I_{0a} \cdot X_1 - I_{0r} \cdot R_1 + I_{2a}' (X_1 + X_2') - I_{2r}' (R_1 + R_2')] \quad (3.4)$$

Bu kompleks ifadənin həqiqi hissəsinin  $U_1$  gərginliyinə olan nisbətinin əks işarə ilə götürülmüş qiyməti gərginlik xətasına  $-f$ , xəyali hissəsinin nisbətinin əks işarə ilə götürülmüş qiyməti isə  $-\delta$  bucaq xətası adlanır.

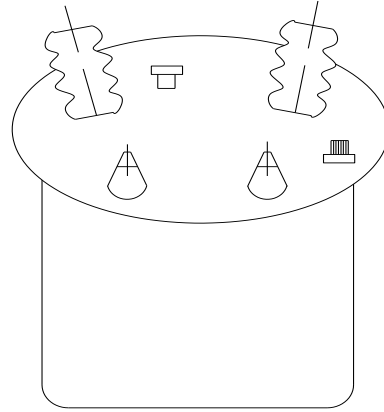
(3.4) ifadəsindən görünür ki, transformatorların gərginlik və bucaq xətalrı iki hissədən ibarət olur. Onlardan biri, ifadənin həqiqi və xəyali hissələrinin birinci iki toplananları, yüksüz transformatorun xətasına uyğundur. İkincisi isə, ifadənin 3 və 4-cü toplananları, yük cərəyanı ilə mütənasib olur. Göründüyü kimi aktiv və induktiv xarakterli yüklənmə və  $K_{nom} = n$  üçün, gərginlik xətası həmişə mənfi olur. Bu ikinci tərəf  $U_2$  gərginliyinin çevrilmə mislindən bir qədər az olduğunu göstərir. Ona görə ölçü dəqiqliyini artırmaq və xətanı azaltmaq üçün dolaqlarda sarğı sayını nominaldan bir qədər az seçirlər. Bu məqsədlə birinci tərəf dolağının sarğı sayını  $U_{1nom}/U_{2nom} = w_1/w_2$  nisbətindən daha az götürülür. Sarğıların bu şəkildə seçilməsinə sarğı korreksiyası deyilir. Aparılan belə korreksiya transformatorun bucaq xətasına təsir etmir.

Gərginlik ölçü transformatorları elektromaqnit prinsipli və tutum tipli növlərə bölünür. Onlar birfazlı və üçfazlı konstruksiyalarda ayrıca və ekranlaşdırılmış komplekt cərəyan keçiricisi və paylayıcı qurğusu ilə bitişik şkillərdə hazırlanırlar. Gərginliyi, qurğunun sxemi, vəzifəsi, soyutma sistemi, qurşadıldığı yerlərə görə gərginlik ölçü

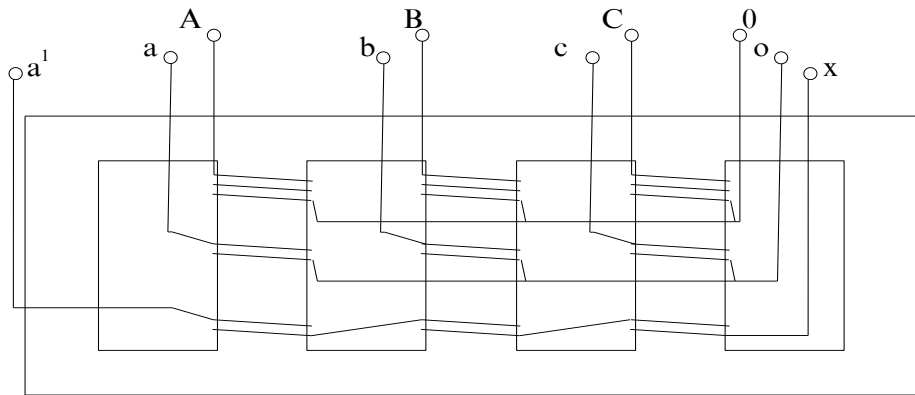
transformatorları aşağıdakı tiplərdə buraxılır: HOC, HOCK, HTC, HTCK – (O) –birfazlı, (T) – üçfazlı, (C)- quru, (K)- kompensə edilmiş. Bu transformatorlar 6(10) kV-luq daxili qurğular üçün buraxılırlar.

Hazırda epoksid tökmə izolyasiyalı NOL, ZNOL və s. markalı 6(10)-35 kV bir fazlı və iki fazlı gərginlik ölçü transformatorları buraxılır.

HOM, ЗНОМ tipli transformatorlarda yüksək gərginlik dolaqları daxildə torpaqlanmış vəxiyyətində olurlar. HTMK, HTMI, HAMИ tip üçfazlı gərginlik ölçü transformatorları bak içərisində yağda yerləşən konstruksiyalı transformatorlardır.

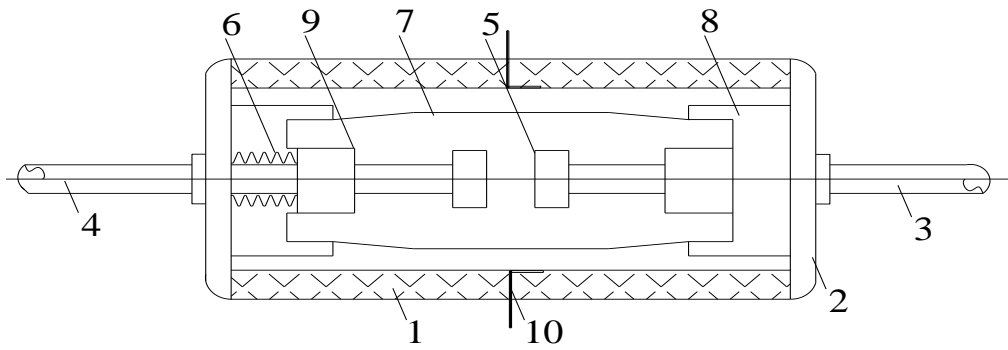
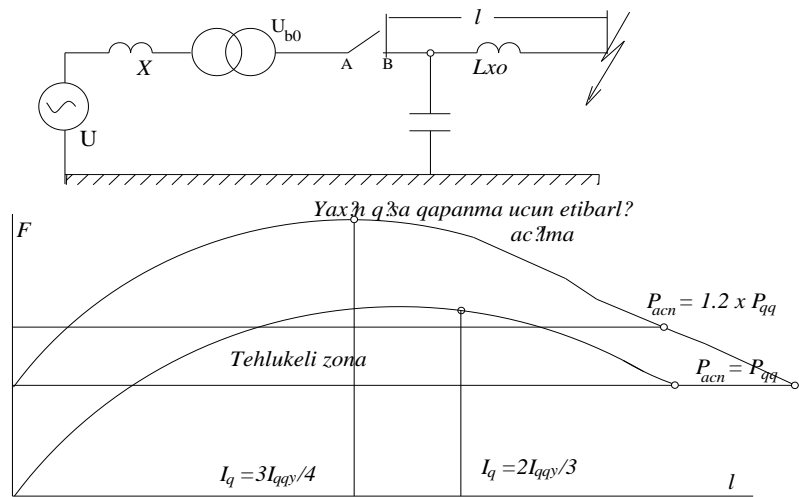
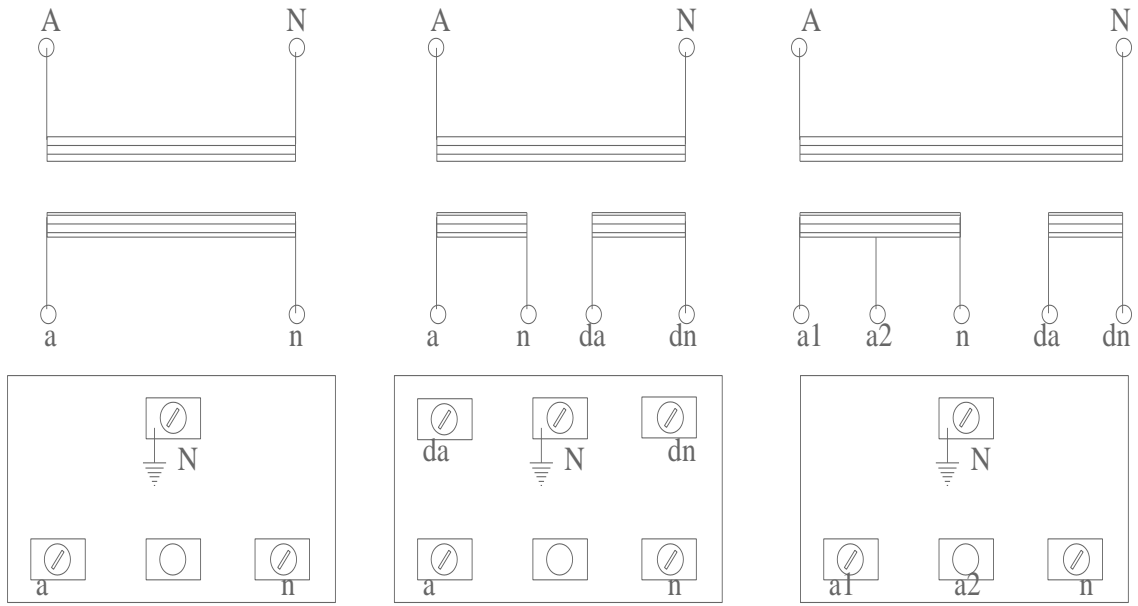


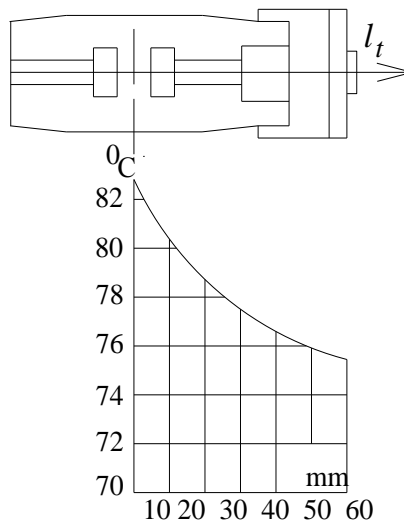
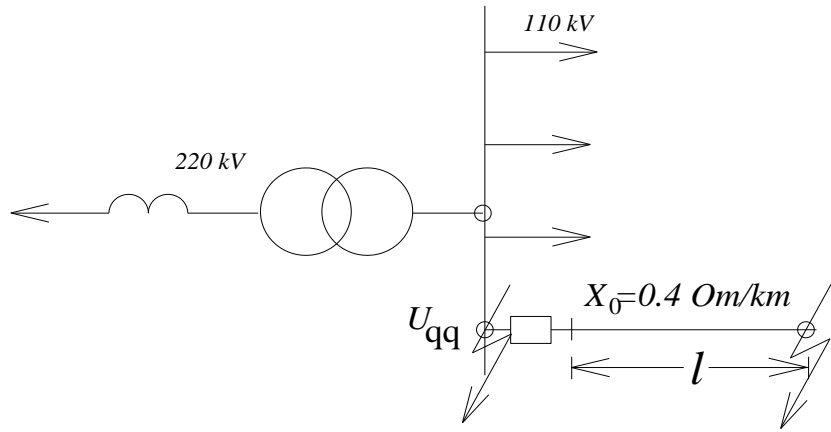
*Şəkil 6.6 Birfazlı gərginlik ölçü transformatoru NOS-6*



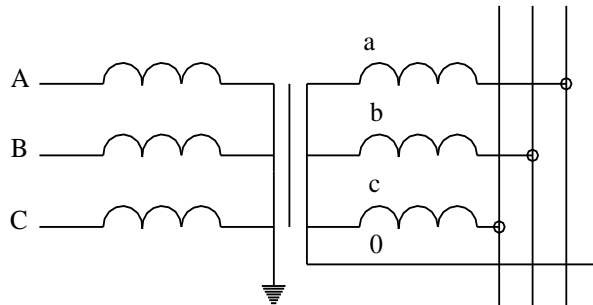
*Şəkil 6.7 NTMI tip gərginlik transformatoru dolaqlarının Y/Y/açıq üçbucaq sxemi*

Relə mühafizə dövrlərində gərginlik ölçü transformatorlarının müxtəlif birləşmə sxemləri tətbiq edilir. Məsələn, tək fazlı gərginlik transformatorları ilə yerə nəzərən faz və fazlar arasındakı gərginlikləri ölçmək üçün onlar Y/Y sxeminə uyğun birləşdirilir şəkl.6.8. Əlavə olaraq, sıfır ardıcılıqlı cərəyan və sıfır ardıcılıqlı gərginlik süzgeçləri kimi də birləşdirilirlər [17].





Transformatorun açıq üçbucaq birləşmiş dolağında normal halda (sümmetrik rejimdə) gərginlik olmur. Lakin bİrfazlı və ikİfazlı QQ rejİmlərİndə hava və ya kabel xətİndə yaranan sıfır ardıcılıqlı gərgİnlik təşkİledİcİsİ həmin açıq üçbucaq dolaqlarında xeyli artıq gərgİnlik yaradır ki, bu da onların sİqnal və dİgər şəkİldə qeyd edİlməsİnə İmkan verir.



Şək.6.8 Tək fazlı gərgİnlik transformatorlarının Y/Y birləşmə sxemi

Elektromaqnİt İnduksiyalı gərgİnlik ölçü transformatorları İlə yanaşı tutum gərgİnlik bölənləri (TGB) əsasında konstruksiya edilən gərgİnlik transformatorları da vardır. Gərgİnlik ölçü transformatorları İlə bİrlİkdə İşlədİlən tutum gərgİnlik bölənləri (TGB)

xüsusi forma və konstruksiyaya malik qurğulardır. Onlar bir neçə ardıcıl qoşulmuş kondensator tutumlarından ibarətdir. TGB-nin xətt çıxışı yüksək gərginlik fazasına, əks ucu isə torpaqlanma dövrəsinə birləşdirilir.

Bu transformatorlar 110 kV-dan böyük və xüsusi ilə 500-1150 kV gərginliklərdə daha sərfəli olurlar. Onlar etibarlılığına görə elektromaqnit transformatorlardan daha üstünlüklüdür.

Onlar xüsusi forma və konstruksiyalara malik qurğulardır. Bir neçə ardıcıl qoşulmuş kondensator tutumlarından ibarətdirlər. TGB –i tutum gərginlik bölənləri və onunla birləşdirilmiş elektromaqnit uyğunlaşdırıcı qurğudan ibarətdir. TGB-nin xətt çıxışı yüksək gərginlik faz məftilinə, əks ucu isə torpaqdanma konturuna birləşdirilir. Gərginlik böləni olan iki tutum elementindən biri  $C_1 \ll C_2$  digərindən çox–çox kiçikdir. Kondensatorlar arasında bölünən faz gərginliyi tutumların qiymətinə tərs mütənasib və ya tutum müqavimətinə düz mütənasib olaraq paylanır. Ona görə  $U_{c2}$  gərginliyi,  $U_{c1}$  gərginliyinin təxminən 12 kV qiymətində kiçik bir nisbətini təşkil edir şəkl. 6.9.

Uyğunlaşdırıcı elektromaqnit qurğusu  $LR$  reaktorundan və alçaldıcı transformatorndan –T ibarətdir. Bu transformatorun ikinci tərəfinə  $Z$  yükü və bir sıra ölçü və mühafizə cihazları qoşulur. Uyğunlaşdırıcı qurğunun açıq vəziyyətində  $C_2$  kondensatorunun sıxaclarında  $U_{c20}$  gərginliyi şəbəkənin faz gərginliyi  $U_1$ -ə mütənasib olur:

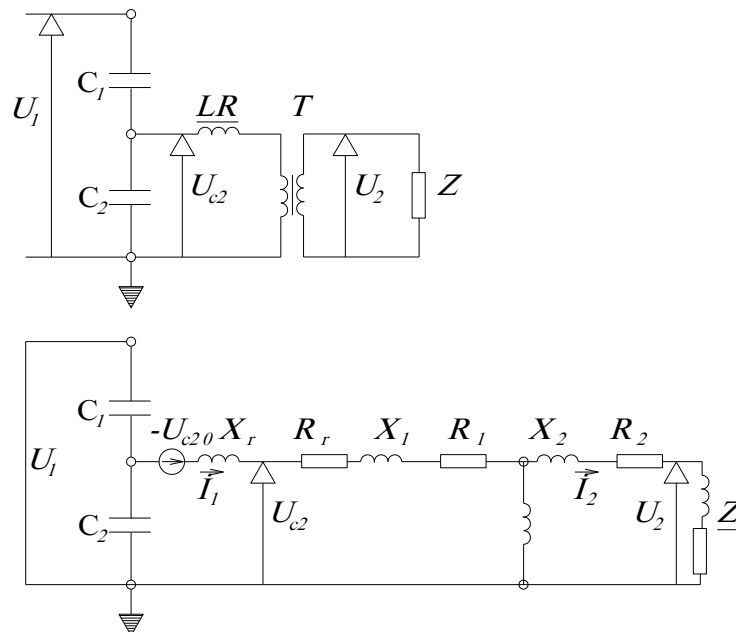
$$U_{c20} = \frac{\frac{1}{\omega C_2}}{\frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2}} = U_1 \frac{C_1}{C_1 + C_2} = \frac{U_1}{K_b}$$

burada  $K_b = (C_1 + C_2)/C_1$  –gərginlik bölgü əmsəlidir.  $c_{20}$  ( $C$  iki sıfır) indeksi yüksüz iş rejimi üçün tutum bölənlərinin sıxacındakı gərginliyi göstərir.

Uyğunlaşdırıcı qurğu qoşulduqda  $U_{c2}$  gərginliyi  $U_1$ -ə mütənasib olmur. Lakin reaktor və transformator dolaqlarının induktiv müqavimətlərinin təxminən

$\omega(C_r + L_1 + L'_2) \approx \frac{1}{\omega(C_1 + C_2)}$ -yə bərabər olan qiymətlərində ölçülərin dəqiqliyi artır.

Belə uyğunlaşdırıcı ölçü cihazı *köklənmiş qurğu* adlanır. Tutum gərginlik ölçü qurğularının əvəz sxemində uyğun vektor diaqramını aşağıdakı şəkildə göstərilmişdir.



Şəkil 6.9 Tutum gərginlik bölənli gərginlik ölçü transformatoru və uyğunlaşdırıcı kontur sxemi

Bu qurğuların parametrlərinin ölçü xətlərini təyin etmək üçün Tevennen teoremi tətbiq edilir. Onun üçün qurğunu A nöqtəsində ayıraraq, gərginlik mənbəi  $U_{1-i}$  qısa qapadıqda, həmin nöqtəyə əks işarəli  $-U_{c20}$  mənbəi qoşurlar. Bundan sonra sxem ikiqütblüyə çevrilir. İkiqütblünün sxaclarına  $U_{1-ə}$  mütənasib olan  $U_{c20}$  gərginlik mənbəi qoşulmuş olur. A nöqtəsinə nəzərən əvəz sxemində göstərilmiş bütün sistemin ekvivalent müqaviməti təyin edilir. Sxemin maqnitlənmə cərəyanı təqribən aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$I_0 \approx -jU'_2 / X_0$$

## 6.5 Cərəyan ölçü transformatorları

Cərəyan ölçü transformatorları cərəyanın ölçülməyə uyğun qiymətlərə qədər azaldılması və bu zaman kifayət qədər dəqiqliklə  $K_{nom}$  dəfə azaldılmış ikinci tərəf cərəyanının qiymət və fazaca birinci tərəf cərəyanının nisbətini verən qurğudur. Belə ki, ikinci tərəf cərəyanını  $K_{nom}$  dəfə artırırsaq birinci tərəf cərəyanı alınır- $K_{nom}$  mütənasiblik əmsali *nominal transformasiya əmsali* adlanır.

Konstruksiyalarına görə cərəyan ölçü transformatorları üç növə bölünür:

1) *çubuqşəkilli cərəyan transformatorları*, 2) *şin tip cərəyanölçü transformatorları*, 3) *daxilə quraşdırılmış cərəyan ölçü transformatorları*.

Cərəyan transformatorunun birinci tərəf dolağı cərəyanı ölçülən dövrəyə ardıcıl qoşulur. O çox az sayda dolaq sarğılarına (hətta bir ədəd sarğı ola bilər) və daha böyük en kəsiyinə malik olurlar. Bütün başqa transformatorlarda olduğu kimi cərəyan ölçü transformatorlarının birinci tərəf cərəyanı:  $I_1 = I_{2n} + I_0$  ifadəsi ilə təyin edilir. Bu ifadəyə görə cərəyan transformatorlarının xətası da, maqnitlənmə cərəyanından asılıdır. Bu isə öz növbəsində transformatorun konstruksiyası, maqnit keçirici poladın xassəsindən asılı olur. Transformatorun verilmiş konstruksiyası ilə, onun qiymət xətası birinci tərəf cərəyanı və yükdən asılı olur. Cərəyan transformatorunun xətasının hesablanması üçün  $K_{nom}$ ,  $n$ , ikinci tərəf  $X_2$ ,  $R_2$ , xarici dövrənin  $X$  və  $R$  müavimətləri, poladın maqnitlənmə xarakteristikaları məlum olmalıdır. İkinci tərəfin  $I_2$  cərəyanı,  $U_2$  gərginliyi və müqavimətləri ikinci tərəf dolaq sarğı saylarına gətirilsə, aşağıdakıları yazmaq olar:  $X_2' = X_2/n^2$ ;  $R_2' = R_2/n^2$ ;  $X' = X/n^2$ ;  $R' = R/n^2$ ;  $I_2' = I_2n$ ;  $U_2' = U_2/n$ ,  $n = w_2/w_1$ .

Tək sarğılı dolaqların hazırlanması daha asan başa gəlir. Lakin, birinci tərəf sarğısı tək dolaqlı və maqnit hərəkət qüvvəsi (MHQ) yaradan içlik orta keyfiyyətli olduqda, 0.5 dəqiqlik sinifli cərəyan ölçü transformatorunun xəta riski artır. Əgər birinci tərəf cərəyanı 400 A-dən kiçik olarsa, xəta daha da böyük olur. Şin tip cərəyan ölçü transformatorları 20 kV gərginliyə və 24 kA cərəyan qədər hazırlanır. Şin paketi istifadə etməklə, belə böyük cərəyanlı transformatorun birinci tərəf dolağını sadələşdirmək olar. İsinməni azaltmaq üçün, şin tip CT –in metal gövələri və armaturları qeyri maqnit materialdan hazırlanır.

İkinci tərəf dolaqları isə, birinciyə nisbətən çox az cərəyan (1, 2.5 və ya 5A) malik olduğundan kiçik en kəsiyi və çoxlu sarğılar sayına malik olurlar. Ölçü cihazları və relələri cərəyan transformatorlarının dolaqlarına ardıcıl qoşulur. Sarğacları və cərəyan ölçü transformatorlarının dolaq müqavimətləri kiçik olduğundan onların xətləri az olur. Bu halda birinci tərəfin cərəyanının dəqiq ölçülməsi təmin edilir. Cərəyan xətasının mütləq qiyməti aşağıdakı kimi hesablanır:  $- \Delta I = k_{nom} \cdot I_2 - I_1$

Nominal transformasiya əmsalının ikinci tərəf cərəyanına hasili və bu yolla hesablanmış birinci tərəf cərəyanlarının qiymətlər fərqlinin, birinci tərəf cərəyanına olan nisbəti cərəyan transformatorunun qiymət xətası adlanır:

$$f_1 = \frac{K_{nom} \cdot I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100\% \quad (3.3)$$

$K_{nom} \cdot I_2$ - birinci tərəf cərəyanından böyük olarsa, xəta müsbət, əks halda isə mənfəi olur.



Birinci və ikinci tərəf cərəyanları arasında olan bucaqlar fərqi bucaq xətası deyilir. Əgər ikinci tərəf cərəyanı fazaca birinci tərəf cərəyanından irəlidə xəta müsbət olur. Bucaq xətalrı radian və ya dəqiqələrlə ifadə edilir.

0,2 sinifli cərəyan transformatorları dəqiq ölçmələrdə istifadə edilir. Onlar elektrik stansiyaların elektrotexniki laboratoriyalarında tətbiq edirlər. 0,5 və 1-ci sinif cərəyan transformatorları paylayıcı quruluşlarda, 3 və 10-cu sinif cərəyan transformatorları rele mühafizəsi və avtomatika qurğularında istifadə edirlər. Onlarda ölçü xətası 3%-ə qədər ola bilər. Cərəyan ölçü transformatorlarının dəqiqlik dərəcəsi ikinci dövrənin yükündən asılı olaraq dəyişir. CÖT-in yükü, nominal  $I_2$  cərəyanında  $S_2$ ,  $\cos\varphi_2$  -dən və ya  $z = \sqrt{r^2 + x^2}$  -tam müqavimətdən asılı təyin edilir.

$I_2=5$  A hesabat qiyməti qəbul edərək, aşağıdakı ifadələri alırlar:

$$z = S / 25; \quad r = z \cdot \cos \varphi_2; \quad x = z \cdot \sin \varphi_2.$$

CÖT-in nominal yükü onun yüksək dəqiqlik sinfində yükləndiyi ən böyük  $S_2$  gücünə bərabər olur.

Zavod pasport və kataloqlarında adətən CÖT-in 10%-li xarakteristikaları verilir. Bu xarakteristikalarda birinci tərəf cərəyanının, yükəndən asılı olan, ikinci tərəf cərəyanına nisbətinin  $Om$ -la təyin edilən və 10%-i aşmayan asılılığı verilir. Ona görə aparat zavodları etibarlılığın artırılması üçün rele mühafizəsində doyma həddinin 10%-li sərhəddində istifadə edilən xarakteristikalar verirlər.

## 6.6 Cərəyan ölçü transformatorlarının seçilməsi

PQ – in layihələrində seçilən cərəyan ölçü transformatorları, tipləri, gözlənilən yükü və onun nominala müqayisəsi, elektrodinamiki və termiki dayanıqlığı ilə təyin edilir.

Birinci tərəfin nominal cərəyanının seçilməsi, CT-nin uyğun birləşmədəki yerinə görə, mühərriklərin qəzadan sonra işə düşmələrinə aid olan ağır rejimləri üçün aparılır. Birləşmələrdə nisbətən aşağı işçi cərəyanlar, lakin hesablanan böyük QQ cərəyanları olduqda, termik və elektrik-dinamiki dayanıqlığa görə nominaldan bir artıq ölçülü CT seçilməlidir. Bu hallarda CT-in ölçü xətası çoxalır.

Cərəyan ölçü transformatorlarının dəqiqlik sinfi onların əhəmiyyətinə görə seçilir. Əvvəlki mövzuda deyildiyi kimi, cərəyan transformatorunun xətası ona birləşdirilmiş yükəndən asılıdır. İstehsalçı zavodlar təkcə CT-in xətalının yüksək dəqiqlik həddlərini aşmayan ikinci tərəf maksimal yüklərini deyil, həm də böyük xətalara uyğun aşağı dəqiqliyə aid yüklərin qiymətlərini göstərirlər. Transformatorların xətalının dəqiqlik sinfindən kənara çıxmadığına əmin olmaq üçün, konkret sxem üçün hesablanmış yükü, transformatorun zavod tərəfindən dəqiqlik sinfinə verilmiş, uyğun yükü ilə müqayisə edilir.

İkinci dövrənin induktiv müqaviməti kiçik olduğundan, hesabatlarda yalnız aktiv müqavimətlər nəzərə alınır. Aktiv müqavimətlərə ardıcıl qoşulmuş cihazların, birləşdirici kabel və kontaktların müqavimətləri daxil edilir. Kontaktların müqavimətləri adətən 0,1 Om qəbul edilir.

Birləşdirici kabellər kimi, ölçü-nəzarət kabelləri (KVVQ və LYCY tip kabellər) istifadə edilir. Onların müqavimətləri cihazların birləşmə sxemindən, kabel damarının materialı və en kəsiyindən asılı olur. Xüsusi müqaviməti  $\rho=0,0172$  Om·mm<sup>2</sup>/m olan mis məftil gərginliyi 220 kV və daha yüksək olan stansiyalarda istifadə edilir. Əgər ölçü cihazları arasında sayğaclar olarsa, kabelin damar en kəsiyi dəqiq hesablanmalıdır. Bu məqsədlə, bəzən məsafədən asılı olaraq, en kəsiyi 2,5 və 4 mm<sup>2</sup> olan mis kabellər işlədilir.

Misal: - Elektrik stansiyasının aşağı gərginlik tərəfdə, xüsusi sərfiyyat - XS transformator birləşmələrinin ölçü cihazlarına aid cərəyan transformatorlarını seçin. XS transformatorunun gücü 10 MVA, transformasiya əmsali 10,5/6,3 kVdur.

Cərəyan transformatoruna ampermetr, vatmetr və aktiv enerji sayğacları birləşdirilir. ölçü cihazları ilə cərəyan transformatoru arasında məsafə 50 mt dir. 6 kV XS şəbəkəsi torpaqlanmamışdır. XS transformatorunda artıq yüklənmə buraxıla bilməz. Ona görə bu dövrənin maksimal cərəyanı, nominal cərəyana bərabər:  $I_{nom} = 10000 / (6,3 \cdot \sqrt{3}) = 917 \text{ A}$  olur.

QQ zərbə cərəyanı  $I_z = 26,6 \text{ kA}$  – dir.

Goul inteqralı  $B = 110 \text{ kA}^2 \cdot \text{san}$ -dir.

Baxılan sxemə uyğun 10 kV-luq, TPOLM tipli, 1000/5A-lik olan CT-dur. Bu cərəyan transformatorunun iki maqnit keçirici içliyi vardır. Onun biri ölçü cihazları, digəri isə rele mühafizə cihazlarına birləşdirilir. 0,5 dəqiqlik sinfi olan CT –un maqnit içliyin nominal yükü 0,6 Om-dur. Elektrodinamiki dayanıqlığın misli:  $K_{din} = 155$ , termik dayanıqlıq misli:  $K_{ter} = 65$ , müddəti isə 1 san-dir.

Əvvəlcə cərəyan transformatorunun elektrodinamiki və termiki dayanıqlığını təyin edək:

$\sqrt{2} I_{nom} \cdot K_{din} \geq i_{zəp}$ ; düsturu ilə hesabat -  $\sqrt{2} \cdot 1 \cdot 155 = 219 > 26,6 \text{ kA}$

$(I_{nom} \cdot K_{ter})^2 t_{ter} \geq B$  düsturu ilə hesabat -  $(1 \cdot 65 \cdot 1)^2 = 422 > 110 \text{ kA}^2 \cdot \text{san}$  olur.

Neytrali izolə edilmiş şəbəkələrdə cərəyan transformatorları A və C fazalara qoşulur şəkl.

8.12.

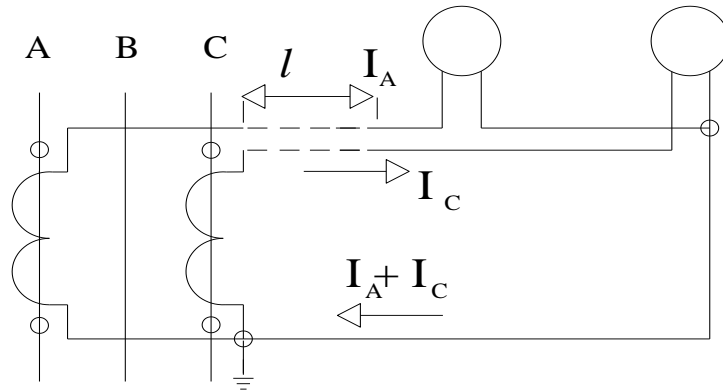
İndi isə, verilmiş ölçü cihazlarına görə CT –nın yüklərini təyin edək.

	Sarğı ehtiyacı	Fazların yükü A	C, VA-lə
Ampermetr	0,1	0,1	-
Vattmetr.	0,5	0,5	0,5
Aktiv enerji Sayğacı	2,5	2,5	2,5
Cəmi	3,1	3,1	3,0

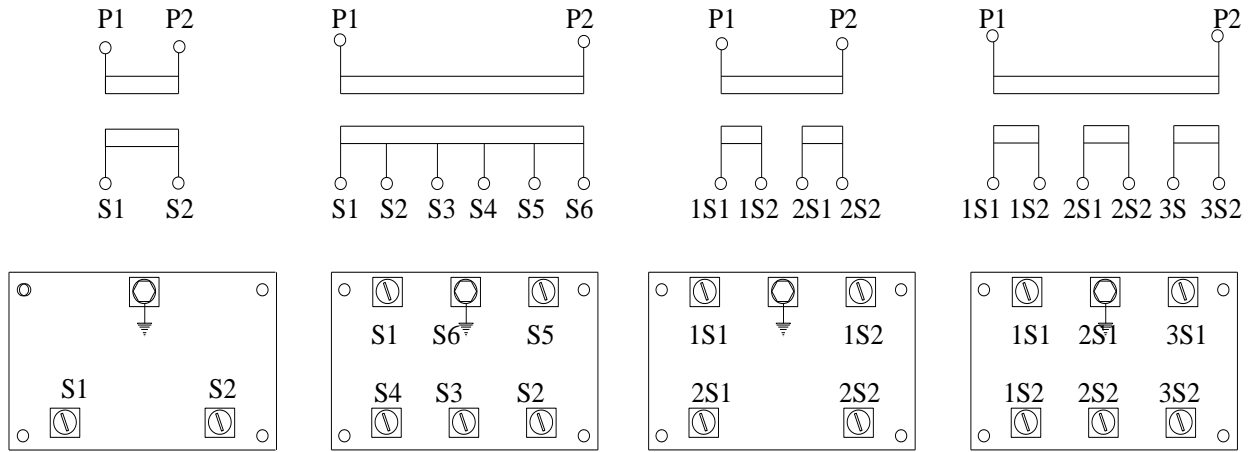
Deməli ən böyük yük, A fazasına birləşmiş CT-na düşür. 5A-lik çıxış sarğısı və 3,1 VA güc üçün:  $3,1 / 5^2 = 0,124 \text{ Om}$  təşkil edir.

İndi isə uzunluğu 50 mt, en kəsiyi  $4 \text{ mm}^2$ , xüsusi müqaviməti  $\rho = 0,0172 \text{ mkOm} \cdot \text{m}$  - olan mis məftil üçün yükü təyin edək:  $R_m = 0,372 \text{ Om}$  olur.

İkinci dövrənin tam müqaviməti :  $R = R_m + R_{dl} + R_k = 0,596 \text{ Om}$ , nominal müqavimət 0,6 olduğundan seçilmiş cərəyan transformatoru bütün tələbləri ödəyir.



Şək.8.12 ölçü cihazlarının cərəyan transformatorlarına birləşmə sxemi, iki faz (A və C fazları) cərəyanının ölçülməsi halı



### 6.7 Sabit gərginlik və cərəyan ölçü transformatorları

Ölçü cihazları, osilloqraflar, mühafizə qurğuları, tənzimləyici və avtomatika, çevirici qurğular və yüksək gərginlikli sabit cərəyan elektrik ötürücü xəttləri birləşdirmək üçün sabit gərginlikli (SGT) və cərəyanlı (SCT) elektrik ölçü transformatorları tətbiq edilir.

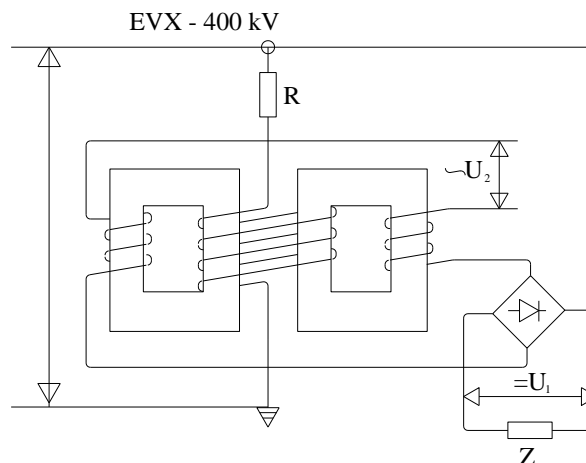
Dəyişən cərəyan ölçü transformatorlarına analogi olaraq dəyişən cərəyanlı SGT –da ikinci tərəf gərginliyi,  $(0,8 - 1,2) U_n$  gərginlik diapazonunda, ciddi olaraq birinci tərəf gərginliyinə mütənasib olur. İkinci tərəf dövrəsinin çıxış gücünün 30- 40 VA qiymətində SGT-nin xətası normalaşdırılmış qiymətindən böyük olmamalıdır.

SCT –nin ikinci tərəf cərəyanı,  $(0,2-1,2) I_n$  diapazonlarda, ciddi olaraq birinci tərəf cərəyanına mütənasib olmalıdır. Birinci tərəf cərəyanı  $(5-6)I_n$  –a qədər artdıqda da bu mütənasiblik dəyişmir. İkinci tərəf gücü 50-60 VA olduqda cərəyan xətası 10%-li həddi aşmamalıdır.

Sabit cərəyan dövrlərində ikinci tərəf dövrəsinin birinci tərəf dövrəsinə göstərdiyi elektromaqnit təsirləri və içlikdə olan itkilər səbəbi ilə ikinci tərəf cərəyanının təhrif olunur. Bu zaman yaranan əlavə xətlər nəzərə alınmalıdır.

SGT yüksək gərginlik faza xətti ilə torpaq arasına qoşulur şək.6.12.

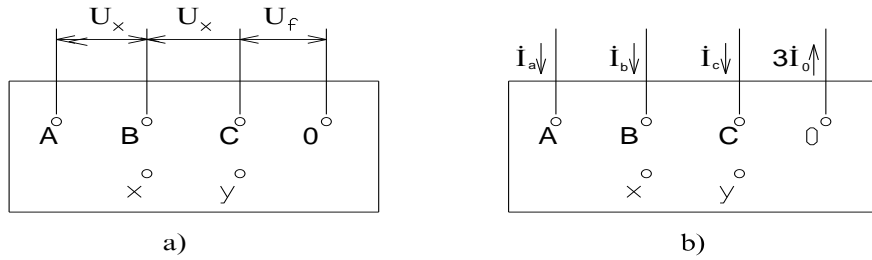
Birinci tərəf cərəyanını 0,01 A qiymətlərinə qədər azaltmaq üçün SGT-nin birinci tərəf dolağı ilə yüksək gərginlik xətti arsına yüksək Om-lu müqavimət qoşulur. Birinci tərəf dolağı sabit maqnit sahəsi yaradır.



Şək.6.13 İkinci tərəf dolaqları ilə ardıcıl birləşdirilmiş sabit gərginlik ölçü transformatoru SG

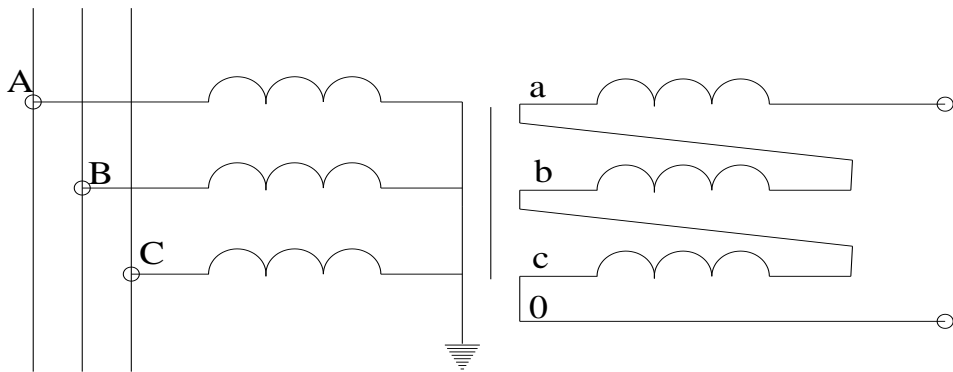
## 6.8 Simmetrik təşkiledicilərin süzgəcləri

Hər bir gərginlik və cərəyanın simmetrik təşkiledicilərinin süzgəci birinci və ikinci tərəf sıxacları olan xüsusi qurğulardır. Süzgəclərin vəzifəsi üçfazlı sinusoidal gərginlik və cərəyan sistemindən düz, əks və sıfır ardıcılıqlı simmetrik tərkibləri ayırmaqdır. Süzgəcin birinci tərəf sıxaclarına faza gərginliyi və ya cərəyan verdikdə, ikinci tərəf sıxacında simmetrik tərkibə uyğun mütənasib gərginlik və cərəyanlar alınır. Gərginlik və cərəyan süzgəclərinin ümumi görünüşü şək.4.3-də verilmişdir.



Şək.5.3 Süzgəclərin ümumi görünüşü a)gərginlik, b)cərəyan süzgəcləri

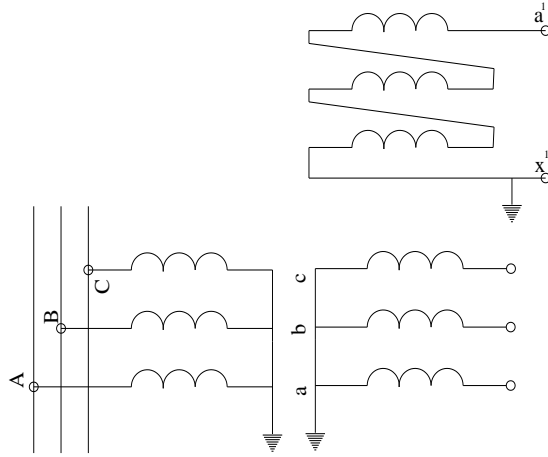
Cərəyan və gərginlik ölçü transformatorlarını ulduz və ya üçbucaq birləşdirməklə bu və ya digər ardıcılığın süzgəc sxemi yığıla bilər.



Şək.5.4 Birfazlı gərginlik transformatorlarının sıfır ardıcılıqlı cərəyan süzgəci birləşmə sxemi

Əgər baxılan qurğu hər hansı bir ardıcılığın süzgəcidirsə, girişə verilən cərəyan və gərginliklərdən ikinci tərəfdə yalnız digər ardıcılıqların qiymətləri çıxacaqdır. Süzgəci olan ardıcılıq isə sıfır olacaqdır.

Baxılan sxem universallığına görə 35 kV və yüksək gərginliklərdə geniş tətbiq edilir. Bir fazlı transformatorların dolaqlarının bir tərəfi yerdən tam gərginlik qiymətinə görə izolə edilir. Dolaqların ikinci tərəfləri torpaqlanır. Bu üsulla transformatorların konstruksiyası sadələşir və qiyməti azalır. Sxem hər üç fazanın yerə və fazlarsı gərginliklərin biri-birinə nəzərən ölçülməsinə imkan verir.



Şək.5.5 Birfazlı gərginlik transformatorlarının sıfır ardıcılıqlı gərginlik süzgəci birləşmə sxemi

Simmetrik tərkiblər süzgəclərinin əsas xarakteristikalarına kompleks çevirmə əmsalları  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_0$  və çıxış müqavimətləri daxildir. Gərginlik süzgəclərinin çevirmə əmsalı yüksüz işləmə, cərəyan süzgəclərinin isə qısa qapanma rejimləndəki kəmiyyətlərin nisbətləri kimi təyin edilir. Simmetrik tərkiblər süzgəcləri xətti elementlər olduğundan, onların çevirmə əmsalları sabit kəmiyyətlərdir.

Gərginlik mənbəyinin  $\dot{U}_a$ ,  $\dot{U}_b$ ,  $\dot{U}_c$  - faz gərginliklərinə qoşulmuş, gərginlik simmetrik tərkiblər süzgəcinin çıxış müqaviməti  $Z_{çixU}=Z_{qq}$  giriş sığaclarının qısa qapanmış vəziyyətində təyin edilir.  $\dot{I}_a$ ,  $\dot{I}_b$ ,  $\dot{I}_c$  – cərəyan mənbəyinə qoşulmuş cərəyan simmetrik tərkiblər süzgəcinin müqaviməti  $Z_{çixI}=Z_{y.i.s}$  giriş sığaclarının açıq vəziyyətində təyin edilir. Gərginlik süzgəcləri gərginlik, cərəyan süzgəcləri isə cərəyan mənbələridir.

Simmetrik tərkiblər süzgəcləri uyğunlaşdırılmış yüklərlə işlədilməlidir:

$$Z_{yük}=Z_{çix}$$

## 7.1 Transformatorların sınaq üsulları

Transformatorların əsas parametrlərini təyin etmək üçün onları qısa qapanma və yüksüz iş rejimlərində sınaq edirlər.

**Transformatorlarda güc itkiləri** yüksüz iş və qısa qapanma itkilərindən ibarətdir. Transformatorların istilik və təbii soyutma hesabalarını apardıqda hər iki itkiyə əsasən tam güc itkisi hesablanır:  $P = 0.2\sqrt{P_{qq}^2 + P_{y-zis}^2}$ . Maqnit keçiricilərdə itkiləri azaltmaq üçün onları az karbonlu və çöküntülü soyuq yayılmış poladdan hazırlayırlar. Maqnit keçirici vərəqlər 0,35 mm və daha az qalınlıqlarda olur. Qısa qapanma itkiləri dolaqlardakı mis itkiləri və transformator konstruksiyalarında maqnit sahə gərginliyinin səpələnmə seli ilə təyin edilən itkilərin cəmindən ibarətdir. Qısa qapanma itkilərinin azaldılması müxtəlif konstruksiya məqsədli tədbirlərlə yerinə yetirilir, o cümlədən izoləli çox telli sarğı naqillərinin tətbiqidir.

**Qısa qapanma gərginliyi.** Transformatorla gücün ötürülməsində transformator dolağının müqaviməti ilə təyin edilən  $u_{qq}$ , gərginlik düşküsü baş verir.  $U_{qq}$  gərginliyi dolaqların ölçüləri (diametr, dolaqlar arasındakı kanalların eni və sarğının hündürlüyü), transformatorun gücü və gərginliyindən asılıdır.  $U_{qq}$ -in kiçik qiymətləri transformatorunda gərginlik düşgüsünün də azalmasına səbəb olur. Lakin transformatorun xaricində olan QQ –da böyük cərəyan alınır. Ona görə transformatorlar böyük dinamik və termik davamlılığa hazırlanır. Bununla yanaşı ikinci tərəfin kommutasiya aparatlarının da dinamik və termik davamlılığı artırılır. Sistemdə transformatorların iş şəraitini nəzərə almaqla qısa qapanma

gərginliyinin optimal qiymətdə hazırlanmasına uyğun konstruksiyalar seçilir. Transformatorun gücü və gərginliyi artıqca onların QQ gərginliyi də artır. Məsələn, 6300 kVA 10-35 kV gərginlikli transformatorların QQ *gərginliyi* 5,5-7,5 %, 110-500 kV gərginlikli daha böyük güclü transformatorların QQ *gərginliyi* isə 10-15 % olur.

**Transformatorun qısaqapanma təcrübəsi:** - Qısaqapanma təcrübəsi aşağıdakı qaydada aparılır. Yüksək gərginlik dolağına elə gərginlik verilir ki, ondan transformatorun YG dolağının nominal cərəyanı axsın. Qısaqapanma gərginliyinin %-lə qiyməti aşağıdakı kimi hesablanır:

$$U_k \% = \frac{U_n}{U_{nom \text{ y.g.}}} \cdot 100\%$$

$U_k$ - təcrübə zamanı verilən gərginlik, V ilə

Aşağı gərginlik dolaqlarını en kəsiyi  $S=2 \dot{I}_{nom} / \delta$  [mm<sup>2</sup>] olan naqillərlə qısa qapayırlar.

$\dot{I}_{nom}$  – qısaqapanmış dolağın nominal cərəyanı,  $\delta$ - cərəyanın buraxıla bilən sıxlığı olub, mis üçün 2.5 A/mm<sup>2</sup> ; alüminium üçün 1.5 A/mm<sup>2</sup>

**Transformatorun qısaqapanma parametrləri:** - Bu parametrləri təyin etmək üçün aparılan təcrübələrdə aşağıdakılar təyin edilir:

$$I_{qq} = \sqrt{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2} \cdot \sqrt{3}$$

$$U_{qq} = \sqrt{U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{AC}^2} \cdot \sqrt{3}$$

$$P_{qq} = P_{1qq} + P_{2qq}$$

Əgər təcrübə zamanı cərəyan nominal cərəyandan fərqlənərsə, alınmış nəticələri nominal cərəyan şəraitinə gətirirlər.

$$U_{qq} = U'_{qq} \cdot \frac{I_{nom}}{I'_k}$$

$$P_{qq} = P'_{qq} \cdot \left( \frac{I_{nom}}{I'_k} \right)^2$$

$$U_{qq} = \left( \frac{U'_k \cdot I_{nom}}{U_{nom} \cdot I'_k} \right) \cdot 100\%$$

Qısaqapanma itkilərinin qiymətinə görə dolağa sərf olunan misin (alüminiumun) çəkisini təxmini təyin etmək olur:

$$P_{qq} = K_{\Pi} \cdot \delta^2 \cdot G_0$$

Burada  $P_{qq}$  – qısaqapanma itkisidir [Vt],  $K_{\Pi}$  - naqilin materialından asılı olan əmsaldır:

$$K_{\Pi} = \rho / \gamma$$

Burada  $\rho$  - naqilin materialının xüsusi müqavimətidir – Om mm<sup>2</sup>/m ilə,  $\gamma$  - materialın xüsusi çəkisi

mis üçün 20 °C - də  $K_{\Pi} = 1.97$  ; 75 °C – də  $K_{\Pi} = 2.4$  olur.

$\delta$  – buraxıla bilən hesabat üzrə cərəyan sıxlığıdır, [A/mm<sup>2</sup>]

mis üçün  $\delta = 1.8 \div 2.6$  qəbul olunur, belə ki, 25-40 kVA-lıq transformatorlar üçün: -  $\delta = 1.8 \div 2.2$  ; 63-630 kVA-lıq transformator üçün: -  $\delta = 2.2 \div 2.8$  ; 1000-6300 kVA transformator

üçün: -  $\delta = 2.3 \div 2.8$  ; 10000-16000 kVA transformator üçün: -  $\delta = 2.2 \div 2.6$  ; 25-80 MVA transformator üçün: -  $\delta = 2.2 \div 2.6$  qəbul edilir.

Ölçülərə əsasən transformatorun dolaqlarının tam müqaviməti, aktiv müqaviməti və güc əmsalı təyin edilir.

$$Z_{qq} = \frac{U_{qq}}{\sqrt{3} I_{nom}} ; \quad R_{qq} = \frac{P_{qq}}{3I_{nom}^2}$$

$$X_{qq} = \sqrt{Z_{qq}^2 - R_{qq}^2} \quad \cos \varphi_{qq} = \frac{P_{qq}}{\sqrt{3} U_{qq} \cdot I_{nom}}$$

Qısaqapanma təcrübəsi adətən transformatorun soyuq halında aparılır, ona görə nəticələr standartların tələbinə görə 75<sup>0</sup>C temperaturuna köçürülür:

$$P_{qq \ 75} = P_{qq \ t} \cdot \frac{310}{235 + t}$$

$$U_{qq \ 75} = \sqrt{U_{kt}^2 + \left( \frac{P_{qq \ t}}{10P_{nom}} \right)^2 \left( \frac{310}{235 + t} - 1 \right)}$$

Qısaqapanma təcrübəsində fazaların cərəyanları bir-birinə bərabər olmalıdır.

Praktikada  $Z_{qq}$  gücü 125 MVA və yuxarı olan transformatorlarda ölçülər, RPN-li tr-da əsas vəziyyətdə və hər iki kənar vəziyyətdə ölçülür.

$Z_{qq}$ -nin ölçülmüş qiyməti əsas vəziyyətdə zavod qiymətindən 5%-ə qədər fərqlənə bilər.

İstismar zamanı və əsaslı təmirdəki ölçülər ilkin nəticələrdən 30%-dən fərqlənməməlidir.

Transformator QQ rejimində hesablanmış QQ-dan 70% çox cərəyana məruz qaldıqda  $Z_{qq}$  normaldan çox fərqlənməsi, dolaqlarda deformasiya və sargılararası metallik qısaqapanma olması ilə əlaqədardır.

Aktiv müqavimət 1.05 ÷ 1.15 dəfə Omik müqavimətdən böyük olur. Transformatorların buraxıla bilən yüklənmələri müəyyən həddə qədər olur. ГОСТ 11677 –ə əsasən hazırlanmış, 250 MVA gücə qədər olan transformatorların ГОСТ 14209 –a və “Texniki istismar qaydalarına” əsasən buraxıla bilən qəza və sistemə artıq yüklənmə həddləri mövcuddur.

M, D, Dİ, və C kimi Rus markalı soyutma sistemləri olan transformatorlar qəza rejimlərində nominal cərəyanlardan dəfələrlə artan, ifrat cərəyanlara qısa müddətli dayanma qabiliyyətinə malikdirlər. Bu davamiyyət transformatorun quraşdırıldığı yerdən, soyuducu mühitin temperaturundan və qəzadan əvvəlki rejimdən asılı deyildir.

Aşağıdakı rəqəmlərlə yağlı transformatorların artıq yüklənməyə davamiyyəti verilmişdir:

<i>Cərəyana görə artıq yüklənmələr % - lə</i>	30	45	60	75	100	200
<i>Artıq yüklənmə müddətləri, dəq.-lə</i>	120	80	45	20	10	1,5

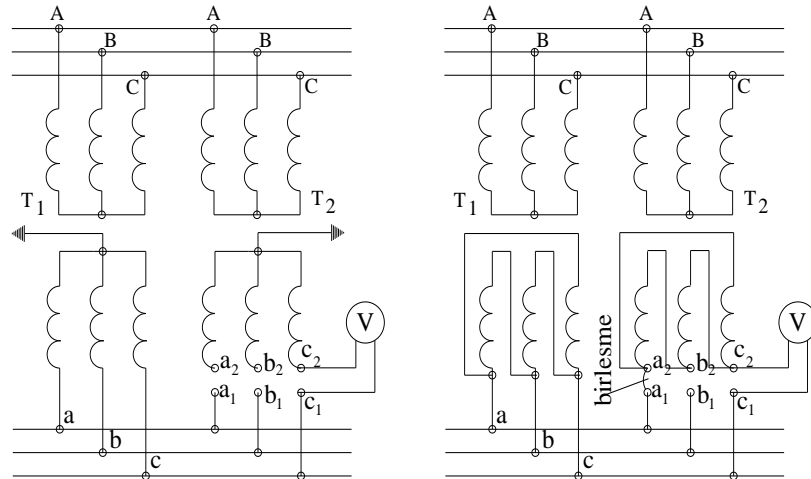
Quru transformatorlar artıq yüklənmələrə qarşı nisbətən zəifdirlər. Məsələn, 60%-li (160 % -lə) artıq yüklənmədə quru transformatorlar cəmi 5 dəqiqə (yağlı transformatorlar bu halda 45 dəqiqə) dözə bilər.

### **Güç transformatorlarının fazlaşdırılması**

Güç transformatorlarının şəbəkəyə qoşulması zamanı, faz gərginliklərinin şəbəkə ilə uyğun olması yoxlanmalıdır. Əks halda xeyli bərabərləşdirici cərəyanların yaranması, gücün məhdudlaşması və ya transformatorun artıq yüklənmə rejiminə düşməsi və hətta faz ardıcılığı uyğun olmadıqda qısa qapanma qəzaları da yarana bilər.

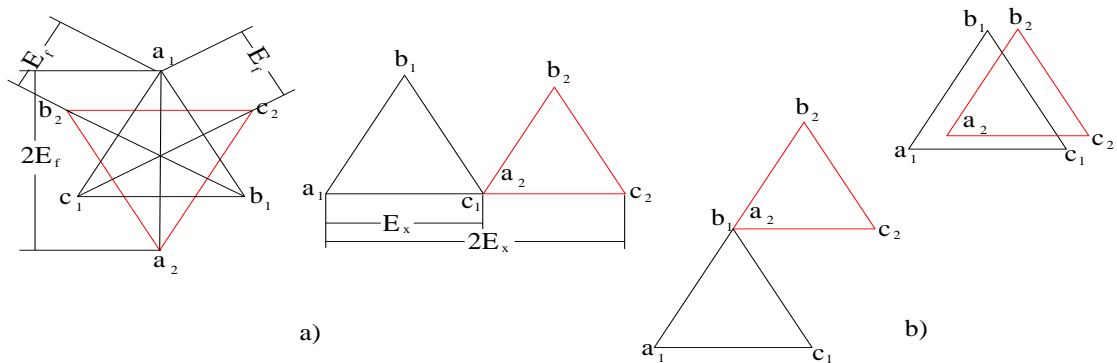
Belə yoxlama təcrübələri transformatorların fəzlaşdırılması adlanır. Fəzlaşdırmada yeni qoşulan transformatorla, şəbəkənin (və ya digər işlək transformatorun) eyni adlı və müxtəlif adlı fazları arasında gərginliyin olub-olmaması təyin edilir. 380 V-a qədər gərginliklərin fəzlaşması voltmetrlə, 380 V-dan yüksək gərginliklər üçün cərəyan və gərginlik ölçü transformatorları ilə aparılır. 2-10 kV gərginliklərdə fəzlaşma gərginlik göstəriciləri ilə (indikatorla), aşağı gərginlik tərəfdə isə hətta közərmə lampaları vasitəsi ilə yerinə yetirilə bilər.

Bütün hallarda səhv olmaması üçün, fəzlaşdırılan gərginliklər 10%-li fərq ilə simmetrik kəmiyyətlər olmalıdır. Ölçmə və yoxlamalar bütün eyni adlı fazlar arasında və hər bir fazla digər iki əks adlı fazlar arasında aparılmalıdır. Şək. 5.3 və 5.4 – də güc transformatorlarının alçaq və yüksək gərginliklərdə fəzlaşma sxemləri verilmişdir.



Şək.5.3 Alçaq gərginlikdə transformatorların biri-biri və şəbəkə ilə fəzlaşdırılma sxemi

Birinci halda Şək.5.3 aşağı gərginlikdə neytralı torpaqlanmış ulduz və üçbucaq birləşmə sxemləri istifadə edilir. Torpaqlanma olan sxemdə voltmetr və ya hər hansı gərginlik indikatoru ilə ölçü və yoxlama aparmaq olar. Çünki sxem, torpaqlama ilə elektrik dövrəsinin ölçüyə uyğun olan qapanmış vəziyyətinə gətirilmişdir.



Şək.5.4 Transformatorların fəzlaşdırılmasında qeyri normal hallar üçün vektor diaqramları

İkinci halda qapalı sxem almaq üçün, ölçmədən əvvəl eyni adlı bilinən hər hansı iki qütb, müvəqqəti olaraq elektriki birləşdirilməlidir. Əgər yoxlama nəticəsində eyni adlı fazlar arasında



$a_1 - a_2, b_1 - b_2, c_1 - c_2$  gərginlik yoxdursa və hər hansı fəz ilə digər iki fəz arasında  $a_1 - b_2, a_1 - c_2, b_1 - a_2, b_1 - c_2, c_1 - a_2, c_1 - b_2$  eyni qiymətli gərginlik varsa, onda belə transformatoru şəbəkəyə və ya işləyən transformatora paralel qoşmaq olar. Bəzən aşağıdakı sxemdə göstərilən tərs nəticələr də alınabilir. Şək.5.4 a)–da göstərilmiş transformatorun dolaqları ulduz birləşmiş və neytralı torpaqlanmışdır. Sıfırların ölçüsü gərginlik göstərmir. Lakin eyni adlı fəzlar arasında ölçülən gərginliklər  $2E_f$ , müxtəlif qütblü fəzlar arasında  $-E_f$  olur. Ona görə transformatorların paralel qoşulması üçün fəzlaşdırılan transformatorun bütün dolaqlarının başlanğıc və son nöqtələrini açıb tərs qaydada yenidən lehilmək lazımdır. Şək.5.4 b) -də transformatorlardan birinin dolağı ulduz, digəri isə üçbucaq birləşdirilmişdir. Neytrallar izolə edildiyindən, sıfır ölçmələr mümkün deyildir. Birinci gərginlik ölçüsü  $-E_x$ , ikinci isə  $-2E_x$  göstərir. Bu halda  $E_x$  gərginliyi verən iki müxtəlif adlı uclar elektriki birləşdirilərək, yenidən fəzlaşma aparılır. Bu halda görünür ki,  $a_2, c_2$  (sol şəkil) və ya  $a_2, b_2$  (orta şəkil) ucları tərs bağlanmışdır. Sağdakı şəkildə fəzların uyğunlaşdırıldığı vəziyyət göstərilmişdir.

Qrup birləşməsi uyğun olmayan sxemlərdə eyni adlı fəzların  $60^\circ$  sürüşmə ilə alınan vektorları yer alır. Bu halda fəzlaşdırılan transformatorun mənbə və aşağı gərginlik tərəfdən fəz dolaqları dəyişdirilir: - A C B və a c b. Nəticədə  $60^\circ$  tərs sürüşmə əldə edilir və yenidən fəzlaşma aparılır.

### 8.1 Elektrik avadanlıqlarının sınaqları

1. Güc transformatorlarının sınağı zamanı aşağıdakılar yoxlanılır:

- İzolyasiya müqavimətinin ölçülməsi; 2500 V-luq meqaoimmetrlə ölçülür.  $K_{abs} = R_{60}/R_{15}$  nisbətinin - absorpsiya əmsalının hesablanması şərti ilə ölçülür. İzolyasiya müqaviməti  $10^\circ C$  temperatordan yüksək temperaturlarda ölçülür və yağla doldurulduqdan 12 saat sonra aparılır.

- İzolyasiyanın səthi silinib təmizlənir, əgər hava nəmlidirsə, ekran qoyulur. Ölçü zamanı eyni gərginliyə aid çıxışlar birləşdirilir o biri dolaq və bak torpaqlanır.  $10-30^\circ C$  temperaturlarda  $K_{abs} \geq 1.3$  olmalıdır. 35 kV –a və 10 000 kVA gücə qədər bu nisbət saxlanılır.

$R_{60}$  və  $R_{15}$  uyğun olaraq 60 və 15 san. müddətindəki müqavimətlərdir.

35 kv –luq gərginliyə qədər transformatorun  $R_{60}$  müqaviməti temperatordan asılı olaraq, aşağıdakı cədvəldə verilir :

Cədvəl 8.1.

Transformatorun gücü kVA – ilə	$R_{60}$ MOM ilə, dolağın temperaturu $^\circ C$						
	10	20	30	40	50	60	70
6300 kVA gücə qədər	450	300	200	130	90	60	40
10000 kVA və daha böyük güclər üçün	900	600	400	260	180	120	80

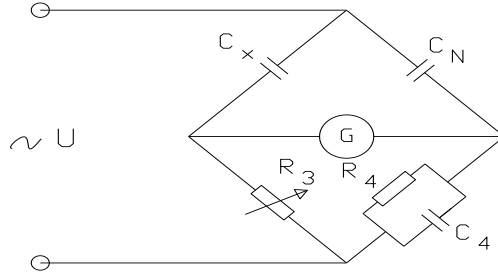
İzolyasiya müqaviməti temperatordan asılı olduğu üçün onun ölçülmüş qiymətini ( $R_{60}$ ), digər temperaturlara köçürmək üçün temperatur əmsalından istifadə edilir: K başqa temperaturlara köçürmə əmsalı:

Cədvəl 8.2.

Temperaturlar fərqi $t_2 - t_1$	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
Temperaturlar əmsalı K	1.04	1.08	1.13	1.17	1.22	1.50	1.84	2.25	2.75	3.4

2. Dolaqların izolyasiyasının dielektrik itgi bucağının tg-nin ölçülməsi.

Bu ölçü gərginliyi 110 kV – dan yüksək və gücü 31500 kVA-dan böyük olan transformatorlarda ölçülür. Ölçülər P-5026 tipli və ya başqa dəyişən cərəyan körpüsü vasitəsi ilə yerinə yetirilir. Körpünün prinsipial sxemi aşağıda verilmişdir. tgδ-nin qiyməti normalaşdırılmayıb.



Şək. İzolyasiyanın dielektrik itkiləri və  $\text{tg}\delta$ -ölçülməsi üçün körpü sxemi  
 $R_4 = 3184 \text{ Om}$ ;  $\text{tg}\delta = R_4 \omega C_4 = 3184 * 314 * C_4 = 10^6 C_4$  qəbul edilir.  $C_4$  tutumu elə təsis edilib ki, onun dəstəyindəki göstəriş bir başa  $\text{tg}\delta$ -ni göstərir.

### 3. Dolaqların müqavimətinin sabit cərəyanla ölçülməsi.

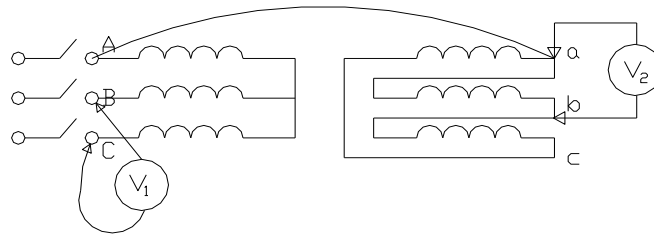
Ölçülər çevirgəcin bütün vəziyyətlərində ölçülür və qiymətlər eyni temperaturaya gətirildikdə biri-birindən fərg 2%-dən çox olmamalıdır.  $t_1$  və  $t_2$  temperaturundakı ölçülər uyğun olaraq  $R_1$  və  $R_2$  olarsa, onlar arasındakı əlaqə mis məfil üçün:

$$R_1 / (235 + t_1) = R_2 / (235 + t_2) ;$$

Aluminium üçün  $R_1 / (245 + t_1) = R_2 / (245 + t_2)$  olur.

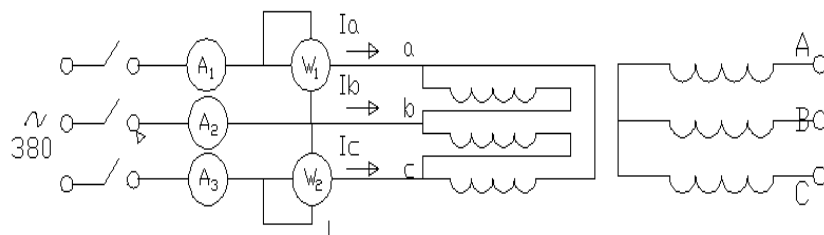
Sabit cərəyanla müqavimətin ölçülməsi zamanı lehim yerlərinin və kontakt yerlərinin müqavimətinin necəliyi və keyfiyyəti yoxlanılır.

1. Transformasiya əmsalının yoxlanılması və ölçülməsi: 2 voltmetr usulu ilə yerinə yetirilir. Qiymətlər pasport göstəricilərindən 2% -ə qədər fərqlənə bilər. Bu zaman yüksək gərginlik dolağma 380 V gərginlik verilir, aşağı gərginlik ölçülür.

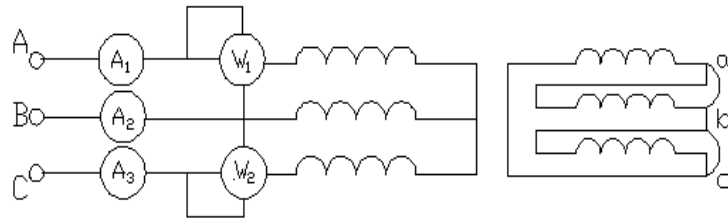


Şək. Transformasiya əmsalının ölçülmə sxemi

Yüksüz işləmə təcrübəsi  $i_a = i_c$  və  $i_b = (1.3 - 1.5) i_a$ ;  $P_{y-süzüş} = P_1 + P_2$  olur.



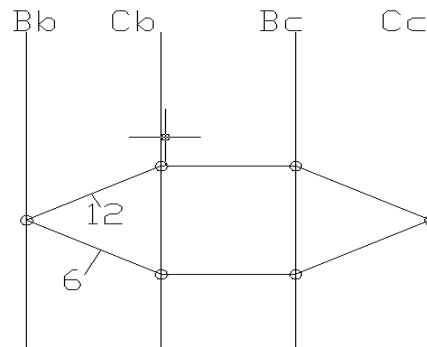
Şək. Yüksüz işləmə təcrübəsinin sxemi



Şək. Qısa qapanma təcrübəsinin sxemi

Qısa qapanma iş rejimi  $i_A=i_B=i_C$  ;  $P_{qq}=P_1+P_2$  olur.

3. Qrup birləşməsinin yoxlanılması (bir fazlı transformatorlarda polyarlığın yoxlanılması). Bu zaman `A` fazası ilə `a` fazası birləşdirilir və aşağıdakı ölçülər aparılır:-  $U_{Bb}$ ;  $U_{BC}$  ;  $U_{Cc}$ ;  $U_{Cb}$  sonra isə aşağıdakı qraqfik qurulur.



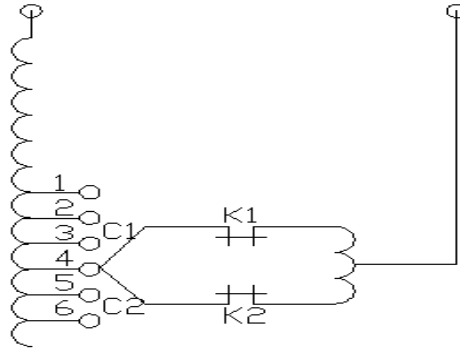
Şək.

Transformator və ya avtotransformatorlarda gərginliyin tənzimlənməsi üçün dolaqların birində, (üçdolaqlı transformatorlarda isə ikisində) əsas çıxışdan başqa əlavə yerlərdən dolaq ayrıntıları və transformasiya əmsalını dəyişdirən çevirgəc qurğuları nəzərdə tutulur. ПБВ (PBV) (gərginliyin təsirlənməsiz tənzimi) tipli çeviricilər I - lərə, PHT (RNT), PHOA (RNOA), PC tipli çeviricilər isə yük altında tənzimləyicilərə aid olub, onlar yük altında cərəyanı qırmadan gərginliyi tənzimləyir. Gərginliyi tənzimləmə qurğuları iş prinsiplərinə görə transformatorun gərginliksiz olduğu halda işləyən çevirgəclər və transformatorun yük altında olduğu halda işləyən tənzimləyici qurğulardır.

Çeviricilərin yoxlanılmasında əsasən onların ayrı-ayrı elementlərinin işinin və onların intiqalla qarşılıqlı əlaqəsi, həmçinin ППН (RPN) kontaktor seçicinin və ilkin seçicinin işləmə ardıcılığına nəzarət etməkdən ibarətdir. ППН-ni olan transformatorların yoxlanılmasında dairəvi diaqrammasının çıxarılması lazımdır.

ПБВ qurğusunun çeviricələrinin düzgün işini yoxlamaq üçün dolağın Omik müqavimətinin qiymətləri bütün vəziyyətlərdə ölçülür. Nəticə I, II, III, IV, V uyğun olaraq çoxdan aşağı qiymətlə azalan istiqamətdə olmalıdır.

3. Yük altında gərginliyi tənzimləyən qurğunun yoxlanması.



Şək. Ttransformator dolaq gərginliyinin təsirsiz tənzimlənmə sxemi

Dairəvi diaqrama aid kontaktor və ceviricilərin vəziyyəti aşağıda göstərilmişdir:

K <sub>1</sub>	+	-	-	-	+	+	+	+	+
Ç <sub>1</sub>	4	4	-	3	3	3	3	3	3
K <sub>2</sub>	+	+	+	+	+	-	-	-	+
Ç <sub>2</sub>	4	4	4	4	4	4	-	3	3

7 Transformator yağının sınağı; 8 Yüksək gərginliklə sınaq; 9 transformatorun təkanla nominal gərginliyə qoşulması.

## 8.2 Elektrik mühərrikləri

Bütün sənaye müəssisələrində olduğu kimi, elektrik stansiyalarında da maşınları işə qoşmaq üçün elektrik mühərrikləri istifadə edilir. Onlar elektrik stansiyalarında hasil edilən enerjinin xeyli hissəsini sərf edirlər. Sənaye müəssisələrinin əsas və köməkçi avadanlıqlarının iqtisadi səmərəliliyi, etibarlılığı, elektrik mühərriklərinin gücü, tipi, idarə etmə sistemləri və elektrik təchizat sxemlərindən asılı olur. Göstərilən məsələlərin həllində elektrik mühərriklərinin normal iş rejimləri ilə yanaşı, istismar zamanı baş verən anormal proseslərin də nəzərə alınması lazımdır.

Elektrik stansiyalarında işləyən ixtiyari mühərrik maşın aqreqlərinin bir hissəsi olduğu üçün, onların mexaniki xassələri, işçi maşınların xassələrinə uyğun olmalıdır. Bu xassələr əsasən, elektrik mühərriklərinin fırlanma momenti və müqavimət momentlərinin fırlanma sürətindən asılılığıdır.

Elektrik mühərriklərinin mexaniki xassələrindən aşağıdakılar fərqləndirilir:

-*mütləq sərt* mexaniki xassələr, bu halda elektrik mühərrikinin fırlanma tezliyi  $n$ , momentin  $M$  dəyişməsindən asılı olmur. Belə xassələr sinxron mühərriklər üçün xarakterikdir.

-*sərt* mexaniki xassələr, bu halda elektrik mühərrikinin fırlanma tezliyi, momentin artması ilə qismən azalır. Belə xassələr, kritik sürüşmədən kiçik sürüşmə ilə işləyən, paralel təsirlənən sabit cərəyan və asinxron mühərrikləri üçün xarakterikdir.

-*yumşaq* mexaniki xassələr, bu halda elektrik mühərrikinin fırlanma tezliyi, momentin artması ilə xeyli azalır. Belə xassələr, ardıcıl təsirlənən və kiçik momentlər zonasında işləyən sabit cərəyan mühərrikləri üçün xarakterikdir.

Elektrik stansiyalarında istifadə edilən iş maşınlarının mexaniki xarakteristikaları dörd tipə malikdir:

-*fırlanma sürətindən asılı olmayan* xarakteristikalar. Bu halda müqavimət momenti  $M_m$ , praktiki olaraq fırlanma sürətindən asılı olmur. Bunlara qaldırıcı kranlar, bucurqadlar, şneklər, kömür xırdalayan dəyirmanlar və sabit kütləli material daşıyan transportyorlar aiddir.

-*xətti artan mexaniki* xarakteristikalar. Bu halda müqavimət momenti fırlanma sürətindən xətti asılığa malik olur. Belə xassə müstəqil təsirlənən sabit cərəyan generatorlarına xasdır.

-*qeyri xətti-artan mexaniki* xarakteristikalar. Bu halda müqavimət momenti fırlanma sürətindən iki və daha çox üstlü dərəcə ilə fırlanma sürətindən asılı olur. Bunlara ventilyator momentli maşınlar deyilir. Ona görə statik təzyiq təsir etməyən pərli nasoslar, ventilyatorlar bu xassələrə malik olurlar.

-*xətti azalan mexaniki* xarakteristikalar. Bu halda müqavimət momenti fırlanma sürətindən tərs mütənasib asılılığa malik olur, işçi maşının gücü isə sabit olur. Belə xarakteristikalar metal emal dəzgahları və digər metallurji maşınlarla xasdır.

Ümumi halda bir sıra işçi maşınların mexaniki xarakteristikaları aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$M_m = M_{mo} + (M_{mnom} - M_{mo}) \cdot (n/n_{nom})^\alpha$$

burada  $M_{mo}$ - maşının başlanğıc müqavimət momenti (sükunət halındakı sürtünmə momentinin nəzərə alınmadığı halda), hərəkətli hissələrin sürtünmə qüvvələri momenti;  $M_{mnom}$ -nominal fırlanma sürətindəki müqavimət momentidir;  $\alpha$ -fırlanma sürətinin dəyişməsi ilə müqavimət momentinin dəyişməsinə nəzərə alan əmsaldır.

Sabit müqavimət momenti olan maşınlar üçün  $\alpha=0$ , xətti-artan xassəli maşınlar üçün  $\alpha=1$ , ventilyator müqavimətli maşınlar üçün  $\alpha=2$  və qeyri-xətti azalan xassəli maşınlar üçün  $\alpha=-1$  götürülür.

Elektrik stansiyalarında elektrik mühərrikləri, işə qoşma, tənzimləyici aparatlar, nəzarət ölçü cihazları, mühafizə qurğuları və digər köməkçi qurğulara uyğun olaraq seçilir və EQQQ –yə uyğun olaraq quraşdırılır:

- elektrik mühərriklərində və onların hərəkətə gətirdiyi mexanizmlərdə düzgün fırlanma istiqaməti, üzərlərində qoyulmuş oxlarla göstərilir;

- kommutasiya və digər aparatlarda onların hansı mühərrikə aid olduğu göstərməlidir;

- əriyən qoruyucuların üstündə onların nominal cərəyanları göstərməlidir, həmin yazı istehsal edən zavod və ya laboratoriya tərəfindən qeyd olunmalıdır;

- elementlərin mühafizəsi elə yerinə yetirilməlidir ki, əsas mexanizmlər və onların elementləri öz-özünə işə düşməsin;

- sinxron mühərriklər maksimum yüklənmə saatlarında reaktiv enerji generasiya etmə rejimində işləsin;

- ehtiyatda olan mühərriklər həmişə işə hazır vəziyyətdə olmalıdırlar, ona görə periodik onlara baxılmalı, qrafikə əsasən baş enerjetikin təsdiqlədiyi qrafik əsasında gərginlik verilərək yoxlanılmalıdır;

- elektrik mühərriklərinin normal işini təmin edən şindəki gərginlik (100-105)% nominal həddə saxlanmalıdır. Bəzən gərginliyin -5%-dən +10% dək dəyişməsinə icazə verilir. Gərginliyin qiymətlərinə nəzarət etmək üçün bəsləyici löbhələrdə (şitlərdə) Voltmetrlər qoyulur;

- mexanizmlərə xidmət edən personal elektrik mühərriklərinin yastıqlarının temperaturuna, ventilyasiya sisteminə nəzarət etməli, işə qoşma, tənzimləmə və dayandırma əməliyyatlarını aparmalıdır;

elektrik mühərrikləri aşağıdakı hallarda əl ilə açılmalıdırlar:

- bədbəxt hadisə baş verdikdə;

- elektrik mühərrikində və ya onun işə qoşma və tənzimləyici aparatlarında tüstü və ya yanma göründükdə;

- vibrasiya həddən artıq çox olduqda;

- intiqalda qırılma, sınma baş verdikdə;

- yastıqlar qızdıqda;

- tezliyin düşməsi ilə mühərriklərin sürətlə qızması zamanı.

Profilaktik sınaqlar və ölçülər "Sınaq normalarına" uyğun olaraq yerinə yetirilir.

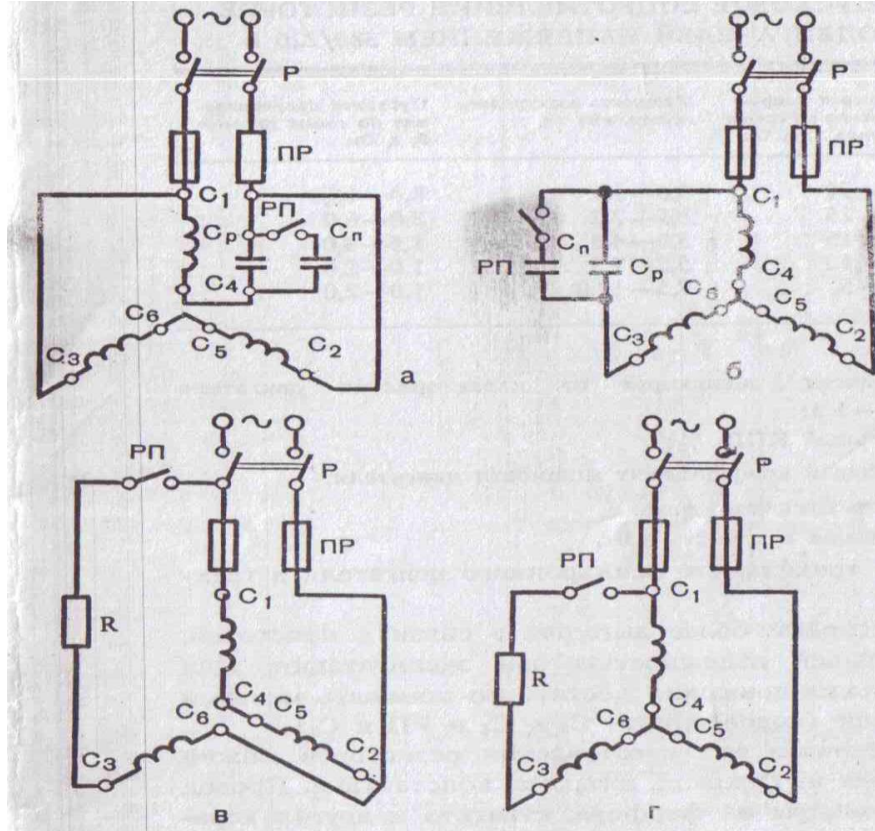
*Dolaqların markirovkası (işarələnməsi)*

- Asinxron mühərriklərin dolaqları işarələnrəkən dolağın girişi həmin nöqtədən axan cərəyanın dolağı saat əqrəbinin əksinə fırlandığını nəzərə almaqla A fazası üçün C1, B fazası üçün C2, C fazası üçün C3-lə işarə edilir. Çıxışlar uyğun olaraq C4, C5, C6 ilə işarə edilir.

- Üç fazlı şəbəkə olmadığı hallarda asinxron mühərriklərini bir fazlı rejimlərdə işlətmək mümkündür. Bir fazlı rejimdə işləyən asinxron mühərriki üç fazlı tam nominal gücünün 50%-i qədər güc verə bilər. Bu halda asinxron mühərrikində, xüsusi kondensator və rezistor müqavimətləri ilə şəkildə göstərilən qoşulma sxemləri istifadə edilir, işçi kondensatorun tutumu:  $C_{i\dot{s}} = (2740 - 2800) \cdot \dot{I}_n / U_n$ , işə buraxma kondensatorunun tutumu isə  $C_{i\dot{s}bur} = (2.5-3) \cdot C_{i\dot{s}}$  götürülür, burada  $\dot{I}_n$  və  $U_n$  uyğun olaraq mühərrikin nominal cərəyanı və gərginliyidir.

Gücü 7.5 kVt olan mühərriklərin rezistorlar vasitəsi ilə tək fazlı rejimdə işlədilmə sxemləri mövcuddur:

$$R = 0.86 U_n / K_{i\dot{s}bur} \dot{I}_n \text{ olur.}$$



Şəkil. 7.8.1 Üçfazlı asinxron mühərriklərinin birfazlı rejimdə işlədilməsi

Dolaqlar aşağıdakı variantlarda birləşdirilir:

- Nasoslar üçün seçilən mühərriklərin gücü aşağıdakı kimi hesablanır:  $P = K_e \gamma \theta H / (1000 \eta_n \eta_{i\dot{s}})$  burada  $K_e$ -ehtiyat əmsalı (1.1-1.4) həddlərdə olur, nasosla vurulan mayenin sıxlığı  $\gamma - N/m^3$  (soyuq su üçün  $9810 N/m^3$ );  $Q$ -nasosun məhsuldarlığı -  $m^3/san$ ;  $H$ - nasosun naporu (verdiyi təzyiqa uyğun yüksəklik-m-lə);  $\eta_n$ -nasosun f.i.ə., 39000 Paskaldan atmosfer təzyiqinə qədər  $\eta_n = 0.3-0.6$ ; ondan yuxarı təzyiqlərdə isə, 0.6-0.75 götürülür.  $\eta_i$ -intiqaalın f.i.ə.-dir. Mühərriklə bir başa birləşdirilmiş intiqal üçün  $\eta_i = 1$  götürülür.

Mərkəzdən qaçma nasosları üçün mühərrik seçdikdə aşağıdakıları nəzərə almaq lazımdır. Bu halda güc, napor, məhsuldarlıq və fırlanma sürəti biri-biri ilə aşağıdakı asılığa malik olurlar:  $P_1/P_2 = (n_1/n_2)^2$ ,  $H_1/H_2 = (n_1/n_2)^2$ ,  $Q_1/Q_2 = n_1/n_2$ ,  $M_1/M_2 = (n_1/n_2)^2$ ;  $M$ - mühərrikin fırlanma momentidir. Misal: - Nasosun aşağıdakı parametrlərinə görə:  $Q = 50 m^3/saat$ ,  $H = 30 m$ ,  $n = 1460$  dövr/dəq,  $\eta_n = 0.5$  olduqda, mühərrikin gücünü hesablamalı:  $P = 1.1 * 9810 * 50 * 30 / (1000 * 0.5 * 3600 * 1) = 8.99 kVt$

### 8.3 Elektrik mühərriklərinin və generatorların izolyasiya sınaqları

Dolaqların izolyasiya müqavimətinin ölçülməsi, başlanğıcı və sonu çıxarılmış mühərriklərdə hər bir dolağın müqaviməti, digər dolaqların yerlə birləşməsi şərtində aparılır.

Əgər dolaqların üçü də çıxarılsa, bütün dolaqların yerə nəzərən izolyasiyası yoxlanılır. Ölçü zamanı  $R_{15}$  və  $R_{60}$  ölçülür. Yüksək gərginlikli və 5000 kVt və yuxarı qüclü mühərrik və generatorların  $75^{\circ}\text{C}$  –dəki, 3 fazanın birlikdə izolyasiya müqavimətinin qiyməti aşağıdakı formula ilə təyin edilir:

$$R_{60} \geq U_{\text{nom}} / (1000 + 0.01 S_{\text{nom}}), \text{MOM.} - \text{ən kiçik buraxıla bilən qiyməti } 0.5 \text{ MOM ola bilər.}$$

ABB firmasının mühərrikləri və generatorları üçün firmanın izolyasiya müqaviməti üçün təklif etdiyi formula :

$$R_{60} \geq 20 U_{\text{nom}} / (1000 + 2P), \text{MOM} - \text{dur.}$$

Burada  $U_{\text{nom}}$  – xətt gərginliyi, nominal qiyməti Volt-larla,  $S_{\text{nom}}$  – nominal güc kVA –lə;  $P$  – nominal güc kVt-larla qəbul edilir.

İzolyasiya  $75^{\circ}\text{C}$ -dən aşağı qiymətlərdə ölçülsə, onu  $75^{\circ}\text{C}$ -yə gətirmək üçün temperatur əmsalından istifadə edirlər cədvəl 8.3.

*Cədvəl 8.3*

Temperatura $^{\circ}\text{C}$ -ilə	75	70	60	50	40	30	20	10
Temperatur əmsalı, $k_t$	1.0	1.2	1.7	2.4	3.4	4.7	6.7	9.4

5000 kVt-a qədər mühərriklərin izolyasiya müqavimətinin ən kiçik buraxıla bilən qiymətləri:

*Cədvəl 8.4*

Dolağın temperaturu $^{\circ}\text{C}$ -ilə	Nominal gərginliyə uyğun izolyasiya müqavimətinin MOM –larla qiyməti		
10	3 – 3,15	6 – 6.3	10-10.5
	30	60	100
20	20	40	70
30	15	30	50
40	10	20	35
50	7	15	25
60	5	10	17
75	3	6	10

#### **8.4 1 kV-dan yüksək dəyişən gərginlik açarları**

Hava açarlarında qövs aralığına yüksək təzyiqli xarici mənbələrdən üfürülən hava, açılan cərəyanın qiymətindən asılı olmur. Cərəyan sıfırdan keçdikdən sonra, bərpa olunan gərginlik, ionlaşmış və qızqın qaz dolmuş kiçik aralığa təsir edir. Aralığın elektrik möhkəmliyinin sürətlə bərpa olunması üçün, qazın soyudulması və ionlaşmış qazın təzə hava axını vasitəsi ilə sıxışdırılıb çıxarılması lazımdır. Bu proses müəyyən bir müddət tələb etdiyindən aralığın elektrik möhkəmliyinin bərpa olunması gecikir. Aralığın elektrik möhkəmliyinin bərpa olunması, cərəyanın sıfırdan keçdiyi andan 10-15 mksan sonra başlayır. Aralığın elektrik sahəsinin bərpa olunan gərginliyinin əsas mərhələsi 1-2 kV/mksan sürətindən çox olmayan bir sürətlə artır. Açılan cərəyanın qiyməti artdıqca aralığın bərpa olunan gərginliyinin sürəti azalır. Bu proseslər yağ, vakuum və eleqaz açarlarında da hava açarlarına oxşar olan müəyyən bir qaydada keçir.

Yüksək gərginlik açarlarına aşağıdakı əsas tələblər göstərilir: 1) ətraf mühit üçün təhlükəsizlik və iş etibarlılığı, 2) açma müddətinin mümkün qədər qısa olması, 3) kiçik qabarit ölçülər və az kütləsinin olması, 4) səssiz işləməsi, 5) nisbətən ucuz olması, 6) montaj və quraşdırma işlərinin asan olması. Hazırda işlədilən açarlar göstərilən tələbləri bu və ya digər dərəcədə ödəyirlər. Lakin yüksək gərginlik açarlarını layihələndirən mütəxəssislər tələblərin

bütünlüklə ödənməsinə çalışırlar. Ən başlıca tələblərdən biri açarların məlik olduğu etibarlılıqdır. Çünki açarların etibarlılığı bütövlükdə enerji sisteminin etibarlılığını təyin edir. Açarların ümumi xidmət müddəti 20 ilə yaxındır.

Tez təsirlilik tələbləri, açarların QQ zamanı çox qısa müddətdə açılmasına aiddir. Açma müddəti açara açma signalı verildiyi andan, kontaktlar arasında yaranan qövsün tam sönməsinə qədər keçən müddətdir. Keçən əsrin ortalarına qədər 110 kV –lu hava və yağ açarlarının açma müddətləri 8-10 sənaye periodu (0.2 san) təşkil edirdi. Sonralar bu müddət 4-6 və 1-2 perioda qədər azaldılmışdır. Xaricdə bir periodlu (2 msan-lik) açarlar hazırlanmışdır. Son zamanlar bir periodlu açarlar cərəyan məhdudlaşdırıcı qurğular üçün geniş tətbiq edilir.

Bir periodlu açarlar daha bahalı qurğulardır. Lakin onların tətbiqi ilə xəttlərlə ötürülən gücün artırılması mümkün olduğundan, buraya sərf olunan kapital qoyuluşu özünü doğruldur.

### *Suallar*

- 1. Yüksək gərginlik açarlarının hansı qövssöndürmə üsulları mövcuddur?*
- 2. Açarlara qoyulan tələblər hansı səbəblərlə izah edilir?*
- 3. Tez təsirlilik açarlarının hansı göstəricilərinə aiddir?*

## **8.5 Açarların kontaktları arasında elektrik möhkəmliyinin bərpa olunması**

Məlumdur ki, hər bir izolyasiya mühiti elektrik sahə gərginliyinə görə xüsusi elektrik möhkəmliyinə malikdir. Elektrik möhkəmliyinə adətən həmin izolyasiya aralığının bərabər və bircinsli elektrik sahəsindəki xassəsi kimi baxılır. Yüksək gərginlik aparatları və avadanlıqlarında isə bircinsli və bərabər elektrik sahəsi almaq mümkün olmadığı üçün deşilmə (qövs) prosesinə real hala uyğun sahədə baxılır. Məsələn, açarlarda kontaktlar arasına baxılmalıdır. Bu isə, elektrik möhkəmliyinin daha aşağı qiymətlərinə uyğun bir aralıqdır. Ona görə yüksək gərginlik açarlarının kontaktları arasında təkrar qövslərin yaranması ehtimalı çox olur və real təcrübə üçün maraq kəsb edir.

Bərpa olunan keçid gərginliyi ilə qövs aralığının təkrar deşilməməsi üçün, oradan (açılan kontaktlar arasından) yüklü hissəcikləri tez kənarlaşdırmaq lazımdır. Bu proses qövsün deionlaşması (ionsuzlaşma) adlanır. Stasionar qövsdə ionlaşma yüklərini tarazlaşdıran spontan ionsuzlaşma prosesi olur. Qövsün birinci qırılmasından sonra enerjisi kəsilir və temperaturu azalır, onun özərində təbii deionlaşma baş verir. Cərəyanın sıfırdan keçməməsi səbəbindən qalan ionlaşma dərhal yox olmur. Ona görə qövs aralığında elektrik möhkəmliyinin bərpa olunması gecikir. Qövsün qalıq özəyinin temperaturu aşağıdakı qanunla dəyişir:

$$t = t_{em} - (t_{qoz} - t_{em}) \cdot \exp(-\tau / \theta)$$

Burada  $t_{em}$  - ətraf mühitin temperaturu;  $t_{qoz}$  - qövs özəyinin kəsilməmişdən əvvəlki temperaturu;  $\theta$  - qövsün istilik zaman sabitidir. Qövsün istilik sabiti  $10^{-3} - 10^{-4}$  təcrübələrdə kiçik olduğundan qövs lüləsinin qalıq temperaturu çox sürətlə düşür. Millisaniyə və hətta daha tez bir zamanda ətraf mühitin temperaturu ilə bərabərləşir. Bu məqsədlə baklı yağ açarlarına 27 tın-a yaxın transformator yağı doldurulur. Bu açarlar əsasən xarici qurğular üçün tətbiq edilir. Açarın hər bir qütbü üçün yuxarıya tərəf genişlənən silindrik formalı keçid izolyatoru və cərəyan transformatoru quraşdırılan bak mövcuddur.

Havanın elektrik möhkəmliyi temperaturla tərs mütənasıbdır:

$$U_{des} = \frac{t_{öt.m}}{t_h} \cdot U_0$$

Burada  $U_0$  -havanın,  $t_h$  - temperaturunda elektrik möhkəmliyidir. Havanın elektrik möhkəmliyi də  $\theta$  zaman sabiti ilə eksponensial olaraq artır.



Qövs istilik zaman sabiti onun soyudulmasından asılıdır. Qövs lüləsindən ətrafa ötürülən istilik artdıqca onun müqaviməti və elektrik möhkəmliyi də tez və sürətlə artır.

## 9.2 Açarlarda qövs və onun xarakteristikası

Yüksək gərginlik açarları ilə dövrənin açılma prosesi sürətlə ardıcıl biri-birinə keçən üç fazadan ibarət olur: - kontaktların açılması və qövs yaranması; qövsün söndürülməsi; qövsün yenidən yanmasına mane olan bərpa olunan gərginliyin yaranması.

Açılmada yüksək gərginlik açarlarının kontaktları aralanır, lakin kontakt aralığında yaranan qövs davam etdiyinə görə, dövrənin cərəyanı hələ kəsilmir.

Sabit cərəyan açarlarında qövs söndürmə əsasən onun kritik uzunluğa qədər uzadılması və  $a$ ,  $b$  sabitlərinin artırılması ilə baş verir:  $u_q \approx a + bl_q$ ;  $a$  -əmsalı anod və katodda gərginlik düşkünləri;  $b$ -qövsün vahid uzunluğunda gərginlik düşküsüdür.

Lens qanununa əsasən, dəyişən cərəyana mütənasib EQ baş verir  $e_L = -L di/dt$ , yaranan elektrik hərəkət qüvvəsi onu əmələ gətirən cərəyanının artmasına mane olur. EQ-si özünə açarın ayrılan kontaktları arasında elektrik qövs qapanması şəkilində yol açır. Bu cərəyanı qırmaq üçün qövs tez söndürülməlidir.

Yaranan qövs yüksək temperatur və gərginlik hesabına böyük keçiricilik göstərməklə yanmağa davam edir. Əgər açılan güc kiçik olarsa kontaktlar arasında sadəcə qığılcım yaranacaqdır. Qığılcım heç bir iz buraxmadan keçir. Böyük güclərin açılmasında isə güclü qövs yaranır. Qövsün təsiri ilə kontaktlar yanır, metal buxarlanır və s. kimi zərərli təsirlər müşahidə edilir.

Qapalı mühitdə (açarların qövs kameralarında) dəyişən cərəyan qövsü, sabit cərəyan qövsündən fərqlənir. Bu hal xüsusilə yüksək gərginlik açarlarının kontaktları arasında yaranan qapalı qövs prosesinə aiddir. Dəyişən cərəyan qövs cərəyanı 0,01 san-də iki dəfə sıfırdan keçdiyindən onun sönməsi üçün əlverişli şərait yaranır. Sıfırdan keçən qövsün sönməsi ifrat gərginliklərin yaranmasının qarşısını alır. Çünki induktivdə toplanan  $L^2/2 \cdot enerjisi$  praktiki olaraq sıfıra çevrilir. Böyük sabit cərəyanlarda açılan konturun anod yaxınlığında gərginlik sabiti ( $a \ll bL_q$ ) 30 V-dan kiçik olarsa, açılmada qövs əmələ gəlmir. Dəyişən gərginliklərdə isə bu halda, dövrənin cərəyanının açılma sürəti və qövs cərəyanının dartılma sürəti sabit olur. Bu zaman yanan qövsdə gərginlik düşküsü aşağıdakı kimi hesablanır:

$$u_q \approx b \cdot l_q \approx b \cdot \vartheta \cdot \tau \quad (8.1.1)$$

Bunu qəbul etdikdən sonra, dəyişən cərəyan açarlarında qövsün sönmə prosesini izah etmək olar. Sırf aktiv müqaviməti olan cərəyan dövrəsinin açılmasına baxaq. Bu halda  $a$  sabitini nəzərdən atdıqda aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$\left. \begin{aligned} E \cdot \sin \omega \tau &= R \cdot i + b \vartheta \tau; \\ i &= \frac{E \cdot \sin \omega \tau}{R} - \frac{b \vartheta \tau}{R}; \\ i &= I \sin \omega \tau - \frac{b \vartheta \tau}{R}. \end{aligned} \right\} \quad (8.1.2)$$

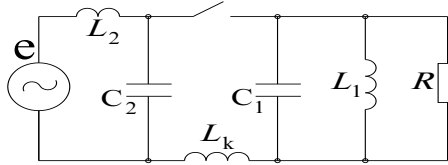
burada  $E$  konturun E.H.Q.i,  $R$ - aktiv müqavimət,  $v$  açılmanın sabit sürəti,  $I$  –konturun qapalı halında keçən cərəyandır.

## 8.4 Kiçik induktiv və tutum cərəyanlarının açılma xüsusiyyətləri

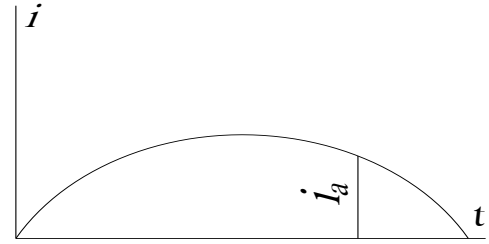
Qısa xəttlər, yüksüz transformatorlar və kondensator batareyalarının açılması bu qəbildən olan hallardır. 100 A dan böyük olan cərəyanlar və onları müşahidə edən qövsün

açılması sinusoidal cərəyan əyrisinin sıfırdan keçdiyi halında baş verir. Bu zaman təhlükəli ifrat gərginliklər olmur, çünki konturda elektrik maqnit enerjisi  $-Li^2/2 = 0$  olur. Bərpa olunan gərginlik şəbəkənin işçi gərginliyinin iki qat mislinə çatır.

Yağ və hava açarlarında cərəyanın qiyməti 25 A-dən, vakuum və elegaz açarlarında isə 32 A-dan kiçik olan hallarda cərəyan sıfırdan keçməmişdən də açıla bilər. Bu yüksək gərginliklər texnikasında cərəyanın kəsilməsi və ya “qırılma” adlanır Şək .4.6 belə hallara rast gəlinir.



Şək.8.1a kiçik induktivliyin açılmasını izah edən sxem



Şək.8.1b Dəyişən cərəyanın kəsilməsi.

Cərəyanın kəsilməsi onun qiymətindən asılı olduğu üçün sinusoidanın ixtiyari nöqtəsində, hətta amplitud qiymətlərində də baş verə bilər. Real olaraq bu hal yüksüz transformatorlar və ya şuntlayıcı reaktorların açılmasında baş verir.

Bu sahədə aparılan son tədqiqatlar göstərir ki, cərəyan kəsilməsi açarın hər iki tərəfində olan  $C_1$  və  $C_2$  tutmaları və onları əlaqələndirən  $L_k$  induktivliyindəki cərəyan və  $LC$  konturunun yaratdığı yüksək tezlikli cərəyanların toplanması ilə baş verir Şək.8.1. Belə

konturun xüsusi  $f_L = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_k C}}$  tezliyi adətən onlarla kilo Hersə çatır.

$$f_L = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_k C}},$$

burada,

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

(8.1.3)

Yüksək tezlikli cərəyan rəqslərinin amplitudası böyük olur. Cərəyanlar bir-birinin əksinə yönəldiyi halda, qövs cərəyanının vaxtından əvvəl sönməsi mümkün olur.

Yüksüz transformatorun açılması ilə yaranan kəsilməsinin transformatorun induktivliyində toplanan elektrik-maqnit enerjisi induktivlikləri şuntlayan tutumların yüklənməsinin elektrik statik enerjisinə çevrilir. Bu tutumlar transformator girimlərinin şinlərdə olan tutumlarıdır.

Deyilənlərdən:

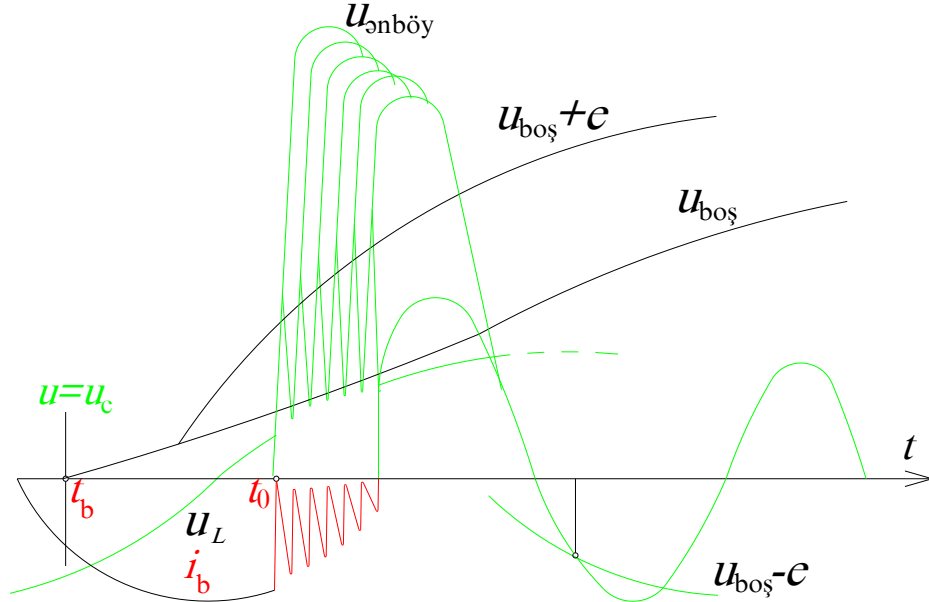
$$\frac{LI^2}{2} = \frac{CU^2}{2},$$

$$U = I\sqrt{L/C}$$

(8.1.4)

Transformatorların yüksüz iş cərəyanları (0.5-2.5%)  $\dot{I}_{nom}$  qiymətlərdə, onların tutumları çox kiçik (5000 pF), maqnit selinin səpələnmə induktivlikləri isə böyük olduğundan  $\sqrt{L/C}$  müqaviməti 10-100 kOm qiymətlərə çatır. Nəticədə gərginliyin qiyməti bir neçə qat artaraq ifrat gərginlik yaradır. Söndürücü dempfer müqaviməti və transformator içliyinin polad itgilərinə baxmayaraq ifrat gərginliyin misli böyük olur.

Şək.8.2 –də yüksüz transformatorun açılması halında yaranan ifrat gərginlik əyriləri verilmişdir. Şəkildə əyrilər sinusoidal azalan cərəyanın kəsilməsi halı üçün gərginlik dəyişmələrini göstərir.



Şək.8.2 Yüksüz transformatorun açılmasında keçid prosesinin əyriləri

Təcrübə göstərir ki, cərəyan kəsilməsi ilə yaranan ifrat gərginliklər, qövsün təkrar yanmasına səbəb olur. Cərəyanın birinci kəsilməsi  $t_0$  anında baş verir. Bundan sonra tutumda gərginlik aşağıdakı ifadə ilə artır:

$$u_c \approx U_0 \cos \omega_1 t + I_0 \sqrt{\frac{L_k}{C}} \sin \omega_1 t \quad (3.19)$$

Şəkil 8.2 –dən görüldüyü kimi açarın kontaktları cərəyan kəsilməsindən əvvəl  $t_b$  –də aralanmışdı. Əgər qövs həmin anda sönmüş olsa idi, onda açarda bərpa olunan gərginlik  $u_{boş}$  əyrisi ilə artardı.  $t_0$  anında cərəyan kəsildikdə də qövsün tez sönməsi ilə aralığın elektrik möhkəmliyi  $u_{boş}$  əyrisinə uyğun olan qiymətə qədər artır. Açarın kontaktları arasında olan gərginlik əyrisi  $u_{boş}$  əyrisi ilə kəsişdikdə qövs yenidən təkrarlanır.

Qövsün yenidən yanması ilə kontaktlar arası gərginlik sıfır, tutum gərginliyi  $u_c$  isə mənbənin gərginliyinə bərabər olur. Açarda yenidən cərəyan axır. Müəyyən müddətdən sonra bu cərəyanın da kəsilməsi baş verir. Lakin bu dəfəki cərəyan kəsilməsi  $t_0$  anındakı  $\dot{I}_0$  cərəyanından aşağı qiymətdə baş verir. Nəticədə açarın kontaktları arasında gərginlik də azalmış olur. Lakin o hələ aralığın yenidən qapanmasına kifayət etdiyindən qövs yenidən yaranır. Bu proses o zamana qədər davam edir ki, kontaktlarda azalan maksimal gərginlik aralığın bərpa olunan elektrik möhkəmliyindən kiçik olsun.

Bəzən açarlarda yaranan təkrarlanan qövslər iki və daha çox sənaye tezlik müddətləri ərzində davam edir. Qövsün təkrar yanma müddəti nə qədər çox olarsa, transformatorun açılan induktivliyində yaranan ifrat gərginlik də bir o qədər çox olar. İfrat gərginliyin ən böyük qiyməti  $4U_f$ -a qədər artır.

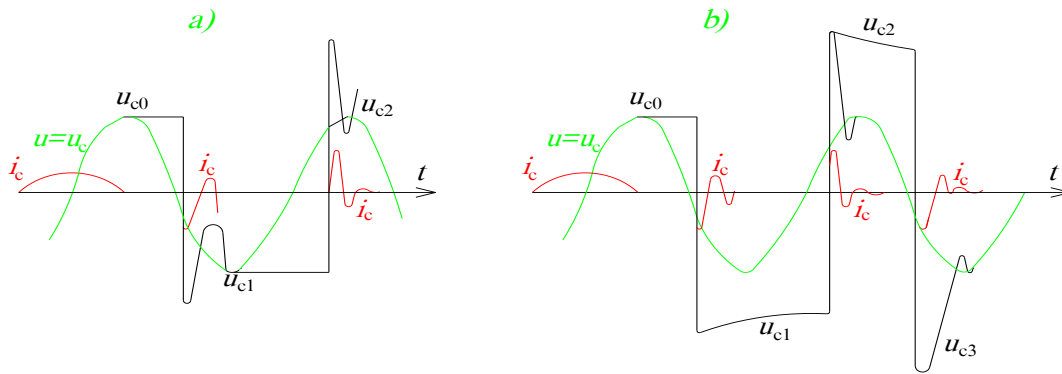
Bu bir tərəfdən arzu olunmaz haldır, çünki QQ-nın ləğv edilməsini ləngidir. Digər tərəfdən isə yeni qövs transformatorun qısa müddətdə qoşulması və dolaqlarındakı elektrik-maqnit enerjisinin şəbəkəyə boşalmasına və ifrat gərginliyin azalmasına səbəb olur. Bəzi mənbələrə görə 5–4 A qiymətlərində olan induktiv cərəyanların açılması [32] təhlükəli ifrat gərginliklər yaradır.

Reaktorların açılmasında yaranan qövs yüksüz transformatorun qövsünə nisbətən daha qüvvətli və dayanıqlı olur. Reaktor cərəyanının sinusoidal əyrisi də düzgün formada dəyişir. Ona görə yüksüz transformatorlara nisbətən reaktorlarda cərəyan kəsilməsi aşağı qiymətlərə uyğun gəlir. Lakin eyni zamanda qövsə verilən enerji çox olduğundan onun ionsuzlaşması və sönməsi yavaş keçir. Eyni şərtlərdə baş verən kəsilmə cərəyanının yaratdığı qövsün müddəti açılan reaktorlarda yüksüz transformatorlara nisbətən çox olur.

Əgər kiçik kəsilmə cərəyanlarının yaratdığı ifrat gərginliklər qövsün təkrar yaranmasına kifayət etməzsə ifrat gərginliyin sönməsi baş vermir. Bu halda kommutasiya ifrat gərginlikləri yüksüz transformatorların açılmasında yaranan ifrat gərginlikdən böyük olur Şək. 4.8.

Kondensator batareyaları, tutum xarakterli dövrələr, (nisbətən qısa məsafəli EÖX-də) yüklənmə cərəyanları fazaca gərginlikdən irəli olduğundan onların açılması zamanı cərəyan kəsilməsi baş vermir. Lakin bu halda da açılma zamanı xeyli ifrat gərginlik meydana çıxır. Əgər sinusoidal qanunla dəyişən yük cərəyanı sıfırdan keçdikdə kəsilərsə, açılan xəttə yüklər və onunla da sabit potensial qalır. Bu yüklər xəttə olan sızma hesabına yavaş-yavaş azalır. Baxılan keçid prosesinin sonuna qədər xəttin gərginliyi işçi gərginliyin amplitud qiymətinə bərabər qiymətdə olur Şək. 8.3

Açarın şin tərəfdə olan digər kontaktında 10 msan-dən sonra gərginlik sinusoidal qanunla dəyişərək, işçi gərginliyin əks işarəli amplitudasına çatır. Bu zaman kontaktlar arasında şəbəkə gərginliyindən iki dəfə artıq gərginlik təsir edir. Əgər bərpa olunan gərginlik bu ana qədər kontaktlar arasında olan gərginlikdən böyük olarsa, xəttin açılması təkrar qövs yanmadan baş verəcəkdir.



Şək.8.3. Tutum və xətlərin açılmasında yaranan kommutasiya ifrat gərginliyi: a) kiçik tutum, b) böyük tutum və ya xəttin açılması.

Əgər şəbəkə gərginliyi amplitud qiymətinə çatana qədər, bərpa olunan gərginlik aralığın elektrik möhkəmliyinə kifayət edən qiymətə çatmasa, onda qövs təkrar yanacaqdır. Bu halda tutum və ya açılan xətt torpağa nəzərən iki qat şəbəkə gərginliyi altında olacaqdır. Bu zaman gərginlik rəqslərinin məxsusi tezliyi böyük olduqda qövs aralığı ionlaşmış vəziyyətdə qalır və qövs sönmür. Gərginlik isə ifrat qiymətindən amplitud qiymətinə qədər

sönür. Şək.8.3-dən aydındır ki, bu hal yalnız kiçik tutumlar və qısa xəttlərin açılması zamanı baş verə bilər.

Uzun xəttlərin açılmasında qövs söndükdən sonra xəttə qalan gərginlik qidalandırıcı gərginlikdən xeyli böyük olur, şək.9.6. b)

Qövsün təkrar yanmaları sinusoidal gərginliklərin pik nöqtələrində olduğundan, ventil boşaldıcıları və ya QXGM - qeyri-xətti gərginlik məhdudlaşdırıcısı olmadığı halda xəttin izolyasiyası deşilə bilər.

Ona görə xəttlər və kondensator batareyalarının açılması elə aparılmalıdır ki, yaranan qövs təkrarlanmasın. Bu iki pilləli açarların şuntlayıcı müqavimətləri və ya az yağlı açarların kontaktlarının kombinə edilməsi ilə yerinə yetirilir .

### *Suallar*

- 1. Boşaldıcılar hansı növ aparatlardır?*
- 2. Qeyri xətti gərginlik məhdudlaşdırıcıları hansı element bazasına malikdirlər?*
- 3. Müxtəlif açılmalarda yaranan qövs xarakterləri özünü necə göstərir?*
- 4. Kontaktlar arasında bərpa olunan gərginliklə qövsün təkrar yanmaları zamanı baş verən gərginliklərin qarşılıqlı təsir mexanizmlərini izah edin?*
- 5. Hansı halda qövsün təkrar yanma ehtimalı baş verir?*

### **8.5 Açarlarda elektrik prosesləri. Bərpa olunan keçid gərginlikləri**

İnduktiv element olan dövrənin açılması halında proses daha mürəkkəb xarakterdə olur. Bu halda qövs yanan aralıqda gərginliyin dəyişməsi, mənbənin E.H.Q. - nin dəyişməsindən aşağı sürətdə olur. Ona görə demək olar ki, içəridə qövsün mövcud olmadığı zona qalmır. Bu zaman qövs aralığında dərin və güclü deionlaşma və elektrik möhkəmliyinin bərpa olunması ehtimalı artır.

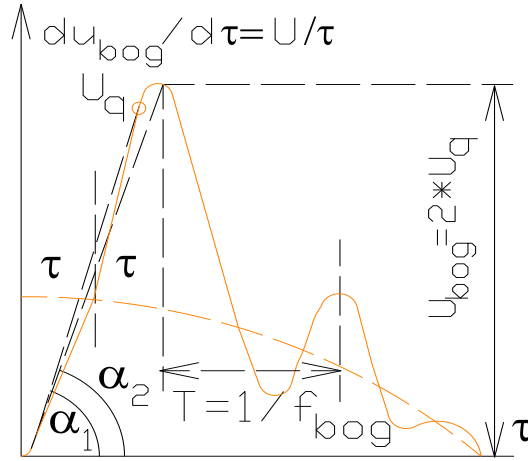
Eyni zamanda qövsün təkrar yanmasının qarşısını almaq üçün elektrik möhkəmliyi sürətlə bərpa olunmalıdır. Qısa qapanmada gərginlik və cərəyan arasında faz sürüşməsi 90°-yə çatır. Cərəyanın sıfırdan keçdiyi andan sonra bərpa olunan keçid gərginliyi (BKG) sırf aktiv müqavimət olduğu haldakı BKG-dən xeyli böyük olur.

Kommutasiya qanunlarına əsasən, tutum olan haldan fərqli olaraq, induktivlik dövrəsinin açılması zamanı gərginlik sıçrayışla dəyişə bildiyindən qayıdış gərginliyi sürətlə maksimal qiymətə qədər artır və qövsün yenidən yanmasına səbəb olur. Həqiqətdə isə xətt, generator, transformator və s. kimi induktivlik olan bütün şəbəkə elementlərində tutum elementi və parametri də olur.

Açarlarda kommutasiya prosesi zamanı açılan cərəyanlardan dərhal sonra bərpa olunan keçid gərginliyi (BKG), qayıdış gərginliyi və qövsdə gərginlik düşgüsü üçün asılılıq qrafikləri şəkil 8.1.5-də verilmişdir. Bu hallar üçün VQK-ın kommutasiya resursları çox böyük olur. Buna baxmayaraq qövsün tam sönməsindən sonra açarın kontaktlarında bərpa olunan keçid gərginliklərinin - BKG hesabının aparılması maraqlıdır. Çünki bu təkcə açarların xassələrindən deyil, sistemin (şəbəkənin) məxsusi tezlikləri və qısa qapanma nöqtələrindən asılı olan mürəkkəb bir prosesdir. Bu hallara oxşar hadisələrə görə vakuum açarları üçün əldə hələ kifayət qədər statistik nəticələr və məlumatlar da yoxdur. Ona görə bütün açarlar üçün keyfiyyətə eyni keçən bu prosesə ümumilikdə baxaq.

BKG -inin əyrisi birtəzlikli və çoxtezlikli təşkeidicilərdən ibarətdir. Ümumiyyətlə birtəzlikli əyrinin özü də çoxtezlikli təşkeidicilərdən ibarətdir. Çünki açılan şəbəkə tərəfdə (açardan mənbəyə tərəf) yaranan məxsusi tezlikli (yüksək) gərginliklər, xətt tərəfdən 50 Hz tezlikli gərginlik ayrıləri ilə açarın kontaktlarında toplanır. Sonra isə yenidən xətt tərəfdən QQ nöqtəsinin  $I$  uzaqlığına görə,  $\tau=4lb=75000/l$  -mikrosaniyələrə uyğun tezlikli gərginliklər əlavə olunur. Nəticədə kontakt gərginliklərinin tərkibində çoxtezlikli təşkeidicilər olur. Şəbəkənin BKG -i işçi tezlikdən 10 dəfələrlə böyük olur. Ona görə açarın kontaktlarında, qısa qapanma nöqtəsi 5-6 km xətt uzunluğunda olan yerlər üçün

mikrosaniyələrlə keçən gərginlik rəqsləri baş verir. Bu zaman 50 Hs tezlikli gərginliyin sabit qaldığı gəbul edilir şək.8.4.



Şək. 8.4. Bərpa olunan gərginliyin təktezlikli rəqslənmə əyrisi

Bərpa olunan gərginliyin təktezlikli əyrisi aşağıdakı əlamətləri ilə xarakterizə olunur:  $f_{bog}$  – bərpa olunan gərginliyin tezliyi;  $du_{bog}/dt$  – bərpa olunan gərginliyin artım sürəti;  $U_{bogm}/U_q = K_a$  – amplituda əmsalı, bərpa olunan gərginliyin amplitud qiymətinin qayıdış gərginliyinin maksimal qiymətinə olan nisbətidir.

Bərpa olunan gərginliyin artım sürəti və tezliyi bütün ölkələrin standartlarında öz əksini tapmışdır. Bu standartlar şəbəkənin müxtəlif nöqtələrində olan qısa qapanmaların açarlarla açılmasının müvəffəqiyyətli keçməsinə xidmət və kömək edirlər. Şək.8.4-də açardan 5-6 km yaxınlıqda olan QQ –nın açılmasının təktezlikli konturdan alınan hesabat əyriləri göstərilmişdir.

Hesabatlar aşağıdakı qaydada aparılmışdır:

$$K_a = \frac{U_{bogm}}{U_q} = \frac{du_{bog}/d\tau}{U_{qm}} \cdot 2\tau = \frac{du_{bog}/d\tau}{2 \cdot f_{bog} \cdot U_{qm}} \quad (6.1.3)$$

$$f_{bog} = \frac{du_{bog}/d\tau}{2 \cdot K_a \cdot U_{qm}} \quad (6.1.4)$$

$$\frac{du_{bog}}{d\tau} = 2 \cdot K_a \cdot f_{bog} \cdot U_{qm} \quad (6.1.5)$$

Burada  $U_q$ - açarın kontaktında qövsün tamamilə sönməsindən dərhal sonra yaranan sənaye tezlikli gərginlikdir, qayıdış gərginliyi adlanır;  $f_{bog}$  – bərpa olunan gərginliyin tezliyidir;  $K_a$ - gərginliyin amplitudasının artım əmsalıdır;  $du_{bog}/dt$ - bərpa olunan gərginliyin artım sürətidir.

Şəbəkənin aktiv yükü konturda sönməni artırdığından, gərginliyin artım əmsalına xeyli təsir edir. Bərpa olunan gərginliyin amplitudasını və dikliyini azaldaraq onu dempferləşdirir. Nəticədə açılan konturda gərginlik qövsün sönməsindən dərhal sonra bərpa olunmur şək.6.1.7. Keçən  $\tau$  müddətindən sonra iş aralığının elektrik möhkəmliyi kifayət qədər artır. Sadə ardıcıl birləşmiş  $R, L, C$  dövrəsini götürdükdə tək tezlikli BKG-ni aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$u_{bog} \approx U_{qayid} \sqrt{2} \cdot \left( -e^{-\delta/\tau} \cdot \cos \omega_1 \tau \right) \quad (6.1.6)$$

burada  $u_{bog}$ - bərpa olunan gərginliyin ani qiyməti,  $U_{qayid}$  – işçi gərginliyin təsiredici qiyməti,  $\delta = R/2L$  – konturun sönmə dekrementi,  $\omega = 1/\sqrt{LC} = 2 \cdot \pi \cdot f_{bog}$  - konturun bucaq tezliyidir.

Kompensasiya edilmiş neytral və işçi  $U$  gərginlik rejimində işləyən, torpaqla əlaqəsi olmayan üçfazlı qısa qapanmaların açılması zamanı, açılan birinci fazada ( $K_a=2$ ) bərpa olunan keçid gərginliyinin artım sürəti aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\frac{du_{bog}}{d\tau} = 2 \cdot 2f_{bog} \cdot 1,5 \frac{U \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 4,9 \cdot f_{bog} \cdot U \quad (6.1.7)$$

Açılan kontur (sxem) tutum xarakterli müqavimətə malik olduqda bərpa olunan gərginlik  $4 \cdot \tau_c$  periodu ilə dəyişən rəqsi şəkildə olur. Bu hal qövs aralığında elektrik möhkəmliyinin bərpa olunmasına müsbət təsir edir. Çünki tutum nə qədər böyük olarsa qövsün sönməsi bir o qədər etibarlı, açarın işi isə asan olar.

Beləliklə qısa qapanma cərəyanlarının müvəffəqiyyətlə açılması və açarda qövsün sönməsi iki prosesin qarşılıqlı yarıışı şəraitində keçir: - qövs aralığında elektrik möhkəmliyinin bərpa olunması və açarın kontaktları arasında keçid gərginliyinin bərpa olunması.

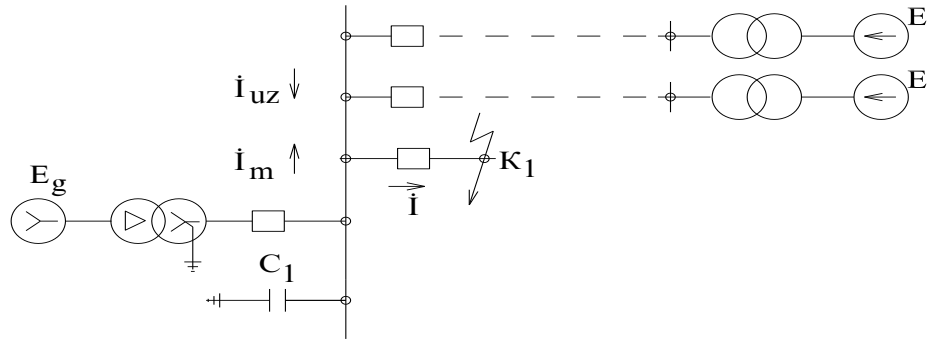
Açılma prosesində QQ nöqtəsinin açardan olan məsafəsi də xüsusi rol oynayır. Açardan olan məsafə 5-6 km olduqda açılan dövrə hissəsinin tutumu çox kiçik olur və şəbəkə hissəsinin bərpa olunan gərginliyinin məxsusi rəqş tezliyi nəzərə cərpacaq dərəcədə artır. Bu halda açma zamanı, açarın iş rejimi çox ağır keçir. Bu bərpa olunan gərginliyin sürətinin və amplitudasının artması ilə izah edilir. Bu şəraitlərdə açarın işinin yüngülləşdirilməsi usullarından biri şuntlayıcı müqavimətlərin tətbiqidir. Şuntlayıcı müqavimətlərin təsirinə irəlidə baxılacaqdır. Onlar açarların açma qabiliyyətini artırır və bərpa olunan gərginliyin sürətini azaldır.

## 8.6 Bir faz-torpag sistemində bərpa olunan gərginliyin hesabatı

Açarın qütblərində qövsün sönməsindən sonar yaranan gərginliyə keçid prosesinin bərpa olunan gərginliyi (KBG) deyilir. Həqiqi bərpa olunan gərginlik və sistemin keçid bərpa gərginlikləri fərqli proseslərdir. Həqiqi KBG açarın kontaktında ölçülən gərginlikdir. Bu KBG sxem və ya sistemin parametrindən, həmçinin açarın xassələri və konstruksiyasından asılıdır. O cümlədən, KBG kontakt rezistorları, qövs gərginliyi, qövs söndükdən sonar kontaktlar arası keçiricilikdən və s. dən asılı olur. Ona görə müxtəlif konstruksiyalı açarların eyni şəraitlərdə açılan kontaktları arasında KBG fərqli olur. Sistemdə meydana çıxan KBG isə, sistemin xarakteristikasından asılı olur. Sistem KBG-lərdə sistemin ideal açarla açıldığı nəzərə alınaraq, açarların konstruksiya və xassələrinin bu proseslərə təsiri nəzərdən atılır. Bu halda qövsün müqaviməti sıfır, qövs söndükdən sonar isə sonsuz böyük olduğu diqqətə alınır. KBG-nin hesabatına bu cür yanaşma, sistemdə bu hesabatları asanlaşdırır və onların açarların normallaşdırılmış xarakteristikaları ilə müqayisə edilməsinə imkan verir.

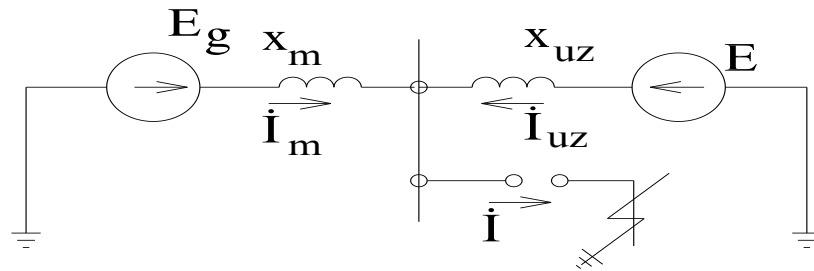
Bir faza, faza-yer sistemində KBG-nin hesabatı üçfazlı sistemlərin uyğun hesabatlarına ilk zəmin təşkil edir. Neytral effektiv torpaglanmış güclü elektirk stansiyaları üçün bu hesabatlar xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Belə tipik yarımstansiya və ona birləşmiş şəbəkənin sxemi şəkl. 3.1-də verilmişdir.

Elektrik stansiyasının blok sxeminə generator və yüksəldici transformatorlar, digər elektrik stansiyalar ilə əlaqələndirici xətlər daxildir. Sxemdə şərti olaraq bir agregat (generator-transformator bloku) göstərilmişdir. Şəkl.3.1-də həmçinin elektrik aparatları, birləşdirici naqillər və yığma şinlərə uyğun  $C_1$  tutumu goşulmuşdur. Bu tutumun qiyməti böyük olmasa da bərpa olunan keçid gərginliyin qiymətinə güclü təsir edir.



Şəkil 3.1. Effektiv torpaqlanmış şəbəkə və ona goşulmuş stansiyanın sxemi.

Sxemdə göstərilmiş \$K\_1\$ nöqtəsində üçfazlı qısaqapanma yarandıqda xətt açarı \$I\$ cərəyanını açır. Bu cərəyanın hesabı şəkil 3.2 sxemi üzrə aparılır. Sxem yerlə stansiyaaya aid \$x\_m\$ və xəttə birləşmiş uzaq stansiyaaların \$x\_{uz}\$ - düz ardıcılıqlı müqavimətlərindən ibarətdir. Uyğun olaraq cərəyanlar \$\dot{I}\_m\$ və \$\dot{I}\_{uz}\$ kimi işarə olunmuşdur.

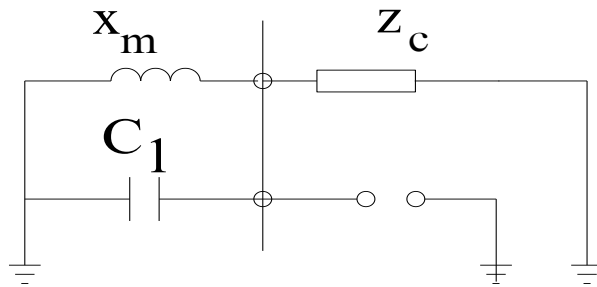


Şəkil 3.2 Üçfazlı qısa qapanma cərəyanının hesabat sxemi

Şəkil 3.3.-da üçfazlı sistemin bir fazasını seçib, qq zamanı açarın həmin qütbündə bərpa olunan keçid gərginliyinin hesablanmasına baxaq.

Şəkil 3.4 sxemi paralel birləşmiş yerli \$x\_m\$, \$C\_1\$ və uzaq birləşmələrin cəm müqaviməti \$Z\_c\$-dən ibarətdir. Məlumdur ki, uzaq birləşmələrin bircinsli xəttləri eyni məftillə (eyni dayaqlarda) çəkilmiş olduqlarından keçid prosesində aktiv qiymətli dalğa müqavimətləri

$z_d = \sqrt{\frac{L}{C}}$  - ilə əvəz edilir.



Şəkil 3.4 KBG hesabı üçün əvəz sxemi



Bir neçə əlaqə xəttləri olduqda  $Z=Z_d /n$  kimi ( $n$ -xəttlərin sayı) götürülür. Digər zədələnmiş xəttədən başqa xəttlər ikinci başında açıq qəbul edilir. Çünki xəttlərin ikinci başına digərlərinə qoşulmuş transformatorlar keçid prosesinin yüksək tezliklərində müqavimətlərin çox böyük səpələnmə qiymətləri yaranır. Açarın qütbündə KBG-ni superpozisiya (toplanma) prinsipinə əsasən, qısa qapanma yerində əks cərəyan mənbəyinin qoşulması üsulu ilə həll edirlər. Bu sxemlər və metod aşağıdakı kimi izah edilir.

Açılan  $i = I_m \sin \omega t = \sqrt{2} \cdot I \sin \omega t$  cərəyanı sıfırdan keçərkən,  $t=0$  anından başlayan keçid prosesində qövs sönür. Əgər həmin anda, əks işarəli cərəyan mənbəyi qoşaraq,  $-\sqrt{2}I \cdot \sin \omega t$  və digər mənbələrin E.H.Q. generatorları şuntlanılsa, açarın qütbündə olan gərginlik KBG-yi olacaqdır. Bu gərginlik aşağıdakı operator ifadəsi ilə yazılır:

$$U_{bkg} = I(p) \cdot Z(p) \quad (3.1)$$

Burada  $z(p)$  yer – faz sxeminin kontaktlara nəzərən şəkl 15.1.10- da göstərilmiş operator şəkilindəki giriş müqavimətidir.

$$Z(p) = \frac{1}{\frac{1}{PL_m} + PC_1 + \frac{1}{Z_c}} \quad (3.2)$$

KBG-nin hesabasında əsasən qısa qapanma nöqtəsində cərəyanın periodik təşkleicisi nəzərə alınır. Sonralar aperiodik cərəyanın təsiri də nəzərə alınacaqdır. Adətən cərəyanın aperiodik təşkleicisi KBG-nin qiymətini azaldır. Keçid müddətinin azalması səbəbi ilə açılan  $\sqrt{2}I \cdot \sin \omega t$  cərəyanı kiçik xəta ilə  $i = \left. \frac{di}{dt} \right|_{t=0} \cdot t = \sqrt{2}I \cdot \omega t$  ilə əvəz etmək olar.

Onun Laplas çevirməsinə görə təsviri  $I(p) = \frac{\sqrt{2}I\omega}{p^2}$  olacaqdır.  $I(p)$  və  $z(p)$  ifadələrini  $U_{KBG}$ -in ifadəsində yerinə yazdıqda aşağıdakı operator tənliyi alınır:

$$U_{BKG}(p) = \frac{\sqrt{2}I\omega}{PC_1} \cdot \frac{1}{p^2 + \frac{1}{C_1 Z_c} \cdot p + \frac{1}{L_m C_1}} \quad (3.3)$$

Keçid prosesi sıfır başlanğıc şərtlərində keçir. Çünki  $t=0$  anında cərəyan sıfırdan keçir və açarın kontaktlarında yaranan qövsün söndüyü həmin anda gərginlik də sıfır idi. Sonuncu ifadənin analitik üsulla tapılan orijinalı aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$u_{KBG} = u_q \left\{ 1 - \exp \frac{-t}{2Z_c C_1} \left[ \frac{\exp \frac{\sqrt{\delta} t}{2Z_c C_1} - \exp \frac{-\sqrt{\delta} t}{2Z_c C_1}}{2\sqrt{\delta}} + \frac{\exp \frac{\sqrt{\delta} t}{2Z_c C_1} + \exp \frac{-\sqrt{\delta} t}{2Z_c C_1}}{2} \right] \right\} \quad (3.4)$$

Burada  $\sqrt{\delta} = \sqrt{1 - (4Z_c^2 C_1 / L_m)}$ ,  $u_q = \sqrt{2I\omega L_m}$ -qayıdış gərginliyi adlanır, əsas tezliyə görə təyin olunur. Keçid prosesinin sonunda bərpa olunan gərginlik, qayıdış gərginliyinə bərabərləşir. Qayıdış gərginliyinin qiyməti faz gərginliyinin amplitudasından böyükdür və keçid prosesi ərzində sabit qalır. Çünki  $L_m > L_k$  və  $L_k$  şəbəkə sistemin qısa qapanma nöqtəsinə qədər olan induktivliyidir. Keçid prosesinin xarakteri ölçü vahidi olmayan  $\sqrt{\delta}$  əmsalından asılıdır. Onun yerinə hesabata daha uyğun olan  $\eta = \sqrt{1 - \delta} = 2Z_c \sqrt{\frac{C_1}{L_m}}$  parametri qəbul edilir.  $\eta = 1$  qiyməti keçid prosesinin monoton olduğu kritik şərtə görə seçilir.  $\eta$ -nin kiçik artması ilə keçid prosesi rəqsi xarakterə keçir.  $\eta < 1$  olduqda keçid prosesi monoton xarakterli olur Şək.3.4.  $Z_c$  müqaviməti gərginlik rəqslərinin sönməsini təyin edir.  $\eta = 1$  olduqda  $Z_c = Z_{kr} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{L_m}{C_1}}$  olur.  $\eta = \frac{Z_c}{Z_{kr}}$  nisbəti ilə təyin edilir. KBG-nin müxtəlif  $\eta$  əmsalı üçün analitik ifadəsi mürəkkəb alınır.

Aşağıda xüsusi hallar üçün KBG-nin ifadələri verilmişdir:  $\eta = 1$  halı üçün (kritik şərt)

$$U_{BKG} = U_q \cdot \left[ 1 - \left( 1 + \frac{2Z_c t}{L_m} \right) \cdot \exp \frac{2Z_c t}{L_m} \right] \quad (3.5)$$

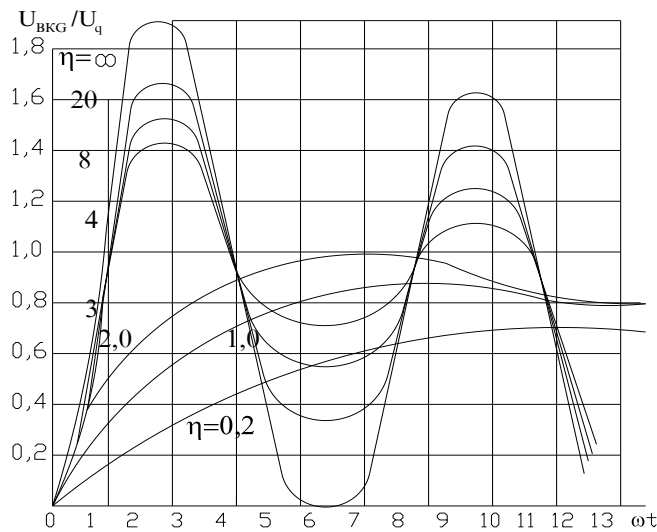
$\eta \rightarrow \infty$  halında proses sönmə olmadan rəqsi xarakterdə dəyişir.

$$U_{BKG} = U_q \cdot \left[ -\cos(t / \sqrt{L_m C_1}) \right] \quad (3.6)$$

$C_1 = 0$  olduqca proses eksponensial qanunla dəyişir:

$$U_{BKG} = U_q \cdot \left[ 1 - \exp \frac{Z_c t}{L_m} \right] \quad (3.7)$$

Son üç ifadənin birinci həddi qayıdış gərginliyinə bərabər, ikinci həddi isə sərbəst gərginliyə bərabərdir.



Şək3.6. Birfazlı sistemdə KBG-in ümumiləşdirilmiş ayrılırları

Sərbəst gərginliklər  $Z_c$  müqavimətinə uyğun sönmə əmsalı zaman keçdikcə azalır.

*Bərpa olunan gərginliyin sürəti.* KBG-nin sürəti dövrənin açılma prosesin ə təsir edir. Tutum olmadıqda açarın qütbündə gərginlik eksponenta qanunu ilə artır. KBG-nin sürəti (15.1.49.) ifadəsinin törəməsi kimi tapılır:

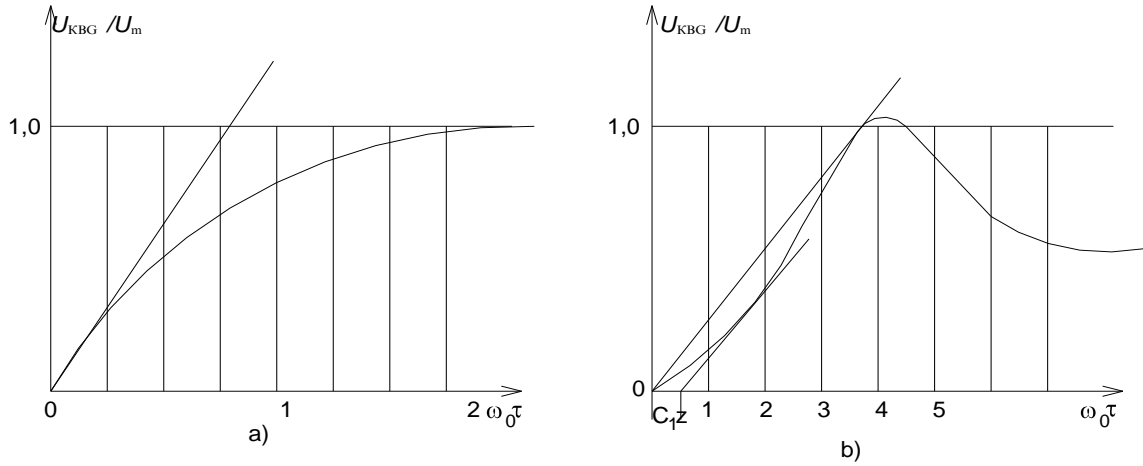
$$\frac{dU_{KBG}}{dt} = \sqrt{2}I\omega Z_c \exp \frac{-Z_c t}{L_m} \quad (3.8)$$

$t=0$  anında (3.8) ifadəsi KBG-nin sürətini verir:

$$S = \sqrt{2}I\omega Z_c \quad (3.9)$$

Göründüyü kimi KBG-nin sürəti açılan cərəyan və cəm müqavimətlə mütənəsbidir.

Tutum olduğda  $U_{KBG}(t)$  əyrisini başlanğıc hissədə çökük xarakter alır, əyrilikdən sonra isə qabarıq şəkildə artır şək 3.7 a,b.



Şək 3.7 KBG-in sürətini izah edən qrafiklər, toxunanlar-törəmə üsulu ilə ifadəsi a) tutum olmadıqda, b) tutum olduğda

$$\eta = 1, \gamma = 0,6; \eta < 1; \gamma < 0,6; \eta > 1; \gamma > 0,6; \eta \rightarrow \infty \gamma \rightarrow 1,44 \text{ olur.}$$

Həndəsi olaraq KBG-nin orta sürəti kimi koordinat başlanğıcından keçən xəttin absiss oxu ilə təşkil etdiyi bucağın  $tg$ -si qəbul edilir. Eyni zamanda onu (3.9) ifadəsi ilə  $Z_c = Z_{kr}$  və  $C_1 = 0$  olan halda  $\gamma$  sürət əmsalını nəzərə almaqla aşağıdakı kimi hesablamaq olar:

$$S = \sqrt{2}I\omega Z_{kr} \cdot \gamma \quad (3.10)$$

$\gamma$  vuruğu  $S_{or}/S_o$  nisbətinə bərabərdir.  $\gamma$  əmsalı  $\eta$  parametrinin funksiyasıdır.

### 9.1 Effektiv torpaqlanmış şəbəkədə üçfazlı QQ açılmalarında bərpa olunan keçid gərginliyinin hesablanması

Şəbəkənin effektiv torpaqlanması trnasformatorların neytralının bir başa və ya kiçik induktiv müqavimətli reaktor vasitəsi ilə torpaqlanmasıdır. Reaktorların induktiv müqaviməti elə

hesablanır ki, birfazlı qısa qapanmada sağlam fəz məftillərinin yerə nəzərən qiyməti 1,4 –dən çox olmasın. Bu şərt şəbəkənin ixtiyari yerində QQ nöqtəsinə qədər olan hissənin cəm müqavimətlərinin aşağıdakı nisbi qiymətlərində ödənməlidir:

$$X_{o\Sigma}/X_{l\Sigma} \leq 3; \quad \text{və} \quad R_{o\Sigma}/X_{l\Sigma} \leq 1$$

Burada  $X_{o\Sigma}$ ,  $X_{l\Sigma}$  və  $R_{o\Sigma}$  - uyğun olaraq sıfır və düz ardıcılıqlı induktiv müqavimətlərin cəmi və sıfır ardıcılıqlı aktiv müqavimətlərin cəmidir.

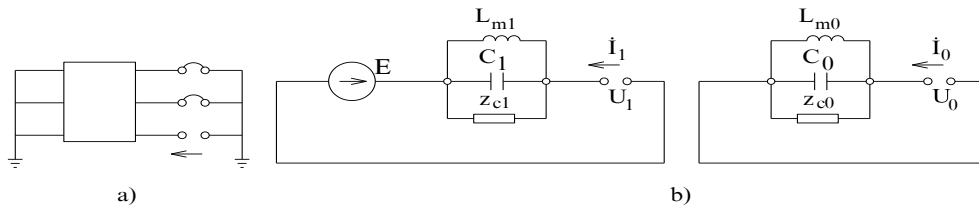
Effektiv torpaqlanmada məftilin yerə qapanması şəbəkədə böyük cərəyanlı qısa qapanma və açarın açılmasına səbəb olan (Fazlar arası qapanmada yaranan) haldır. Sistemdə birfazlı QQ cərəyanının hesablanması sistem elementlərinin müqavimətindən asılıdır. Məftillərin yerə nəzərən müqavimətləri isə, kiçik olduğundan nəzərdən atılır. Torpaqlayıcı qurğuların hesabatında torpaqlayıcıdan ötürülən ən böyük torpaqlanma cərəyanını təyin etmək əsasdır. Həmin cərəyan şəbəkənin işçi torpaqlanmasından asılıdır. Effektiv torpaqlanmanın hesabat cərəyanı kimi bir fazlı qısa qapanma cərəyanı götürülür. Çünki bu halda cərəyanın sıfır ardıcılıqlı təşkilicisi daha çox olur.

Üçfazlı qövsün açarların kontaktlarının açılması halında sönməsi eyni zamanda baş vermir. Bunun səbəbi qövs cərəyanlarının faz sürüşmələridir. Şəbəkələrin qısa qapanma statistikasına, 80-90%-in bir fazlı qq ilə baş verdiyini göstərir. Üçfazlı qısa qapanma az olur. Bu qq əsasən yerlə qapanma ilə baş verir. Üçfazlı yerlə qapanmayan qq nadir hallarda müşahidə edilir. Ona görə üçfazlı yerlə qısa qapanmaya baxaq.

**Üçfazlı yerlə qq.** Belə qapanmada üçfazlı qq cərəyanlarının birinci sıfırdan keçən fazası açılır. Digər iki fazanın cərəyanları isə hələlik qapanmış qalır.

Birinci qütbün cərəyanı açılır və qövs söndükdən sonra ikifazlı yerlə qq rejimi başlayır. İkinci qütbə qövs açıldıqdan sonra isə bir fazlı yerlə qq qalır, üçüncü qütb qövsünün sönməsi isə bir fazlı qq açılması ilə başa çatır.

KBG-ni təyin etmək üçün açarın açılan qütbünün cərəyanına əks olan cərəyan mənbəyi qoşulur. Digər iki qütb qapanmış vəziyyətdə qalır. Şək.3.8-ə bu halda sistemin simmetriyası pozulur. Açılan qütbə görə sistemin giriş müqavimətinin tapılması üçün simmetrik toplananlar metodundan istifadə edirlər. Bunun üçün düz (əks) və sıfır ardıcılıqlı əvəz sxemləri şək.3.8 b qurulur.



Şək.3.8 Üç fazlı sistemdə KBG-nin hesablanması aid sxem

Əgər generatorlar üçün düz və əks ardıcılıqlı eyni götürülsə, əks ardıcılıqlı sxem və sıfır ardıcılıqlı əvəz sxemlərində gərginlik mənbəi olmur. Əks ardıcılıqlı sxeminin bütün parametrləri düz ardıcılıqlı ilə eyni olur. Sıfır ardıcılıqlı sxem isə yalnız transformatorların xarakterlərinə aid olan öz xüsusi parametrləri ilə ifadə edirlər.

Göründüyü kimi hər sxem üç elementin paralel birləşməsindən ibarətdir :- generator və transformatorun cəm induktivliyi  $L_m$  (sıfır ardıcılıqda isə yalnız transformatorun induktivliyi  $L_{m0}$  olur), C tutumu və şəbəkə xəttlərinin uyğun ardıcılıqlı müqavimətləri.

Verilmiş parametrləri nəzərə almaqla, açarların açılan qütblərinə nəzərən sxemlərin giriş müqavimətləri aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\begin{aligned} Z_1 = Z_2 &= \frac{1}{1/\omega L_{m1} + \omega C_1 + Z_{c1}^{-1}} \\ Z_0 &= \frac{1}{1/\omega L_{m0} + \omega C_0 + Z_{c0}^{-1}} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Düz və sıfır ardıcılıqlı yekun induktivlikləri generator və transformatorun nisbi müqavimətlərindən hesablamaq olar.  $C_1$  və  $C_0$  -in tapılması aşağıda göstərilmişdir. Uzun bircinsli xəttlərin düz və sıfır ardıcılıqlı əvəz sxemində dalğa müqavimətlərinə bərabər qiymətdə aktiv müqavimətlər götürülür.

Açarın qütblərində gərginlik və cərəyanları  $\underline{U}_A, \underline{U}_B, \underline{U}_C, \underline{I}_A, \underline{I}_B, \underline{I}_C$  kimi işarə edək. Uyğun olaraq simmetrik toplananları  $\underline{U}_1, \underline{U}_2, \underline{U}_3$  və  $\underline{I}_1, \underline{I}_2, \underline{I}_3$  kimi götürək. Məsələnin həlli üçün aşağıdakı əlavə şərtlər verilir.

$$\underline{U}_B = \underline{U}_C = 0 \text{ və } \underline{I}_A = \underline{I} \text{ -açılan cərəyandır.}$$

Axtarılan  $\underline{U}_A$  gərginliyinin simmetrik təşkilçiləri aşağıda yazılmışdır.

$$\begin{aligned} \underline{U}_0 &= \frac{1}{3}(\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C) \\ \underline{U}_1 &= \frac{1}{3}(\underline{U}_A + a\underline{U}_B + a^2\underline{U}_C) \\ \underline{U}_2 &= \frac{1}{3}(\underline{U}_A + a^2\underline{U}_B + a\underline{U}_C) \end{aligned} \quad (3.13)$$

burada  $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$  ardıcılıq və ya vektorların dönmə əmsallarıdır. Əlavə şərtləri nəzərə aldıqda (15.1.57) dən aşağıdakı ifadə tapılır.

$$\begin{aligned} \underline{U}_0 = \underline{U}_1 = \underline{U}_2 &= \frac{\underline{U}_A}{3} \\ \underline{I}_0 + \underline{I}_1 + \underline{I}_2 &= \underline{I} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Hər bir ardıcılıq üçün Kirxhov tənliyini yazdıqda

$$\underline{U}_1 = \underline{I}_1 \cdot Z_1; \quad \underline{U}_2 = \underline{I}_2 \cdot Z_2; \quad \underline{U}_0 = \underline{I}_0 \cdot Z_0 \text{ olar.}$$

(3.14) bərabərliyi və sonuncu ifadələri daha uyğun bir şəkildə yazmaq olar:

$$\begin{aligned} 3\underline{U}_0 &= 3\underline{U}_1 = 3\underline{U}_2 = \underline{U}_A \\ 3\underline{U}_1 &= 3\underline{I}_1 \cdot Z_1 \\ 3\underline{U}_2 &= 3\underline{I}_2 \cdot Z_2 \\ 3\underline{U}_0 &= 3\underline{I}_0 \cdot Z_0 \end{aligned} \quad (3.15)$$

Bu bərabərliklərə Şək. (3.4) -də göstərilmiş kompleks əvəz sxemi uyğun gəlir bu sxemi giriş müqaviməti  $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2$  halı üçün

$$Z_{ekv}^{(1,1,1)} = \frac{3\underline{Z}_1\underline{Z}_0}{\underline{Z}_1 + 2\underline{Z}_0} \text{ olar.} \quad (3.16)$$

Beləliklə uç fazlı qq-da açarı 1-ci qütbünün açılması zamanı KBG-nin (3.16) ifadəsi ilə hesablamaq olar. Bunun üçün,  $L_m C$  və  $Z_c$  parametrlərini ekvivalent üçfazlı sxemdən alınmış qiymətlərlə əvəz etmək lazımdır:

$$L_{ek}^{(1,1,1)} = \frac{3L_1L_0}{L_1 + 2L_0}; \quad Z_{ek}^{(1,1,1)} = \frac{3Z_1Z_0}{Z_1 + 2Z_0}; \quad C_{ek}^{(1,1,1)} = \frac{2C_1 + C_0}{3}$$

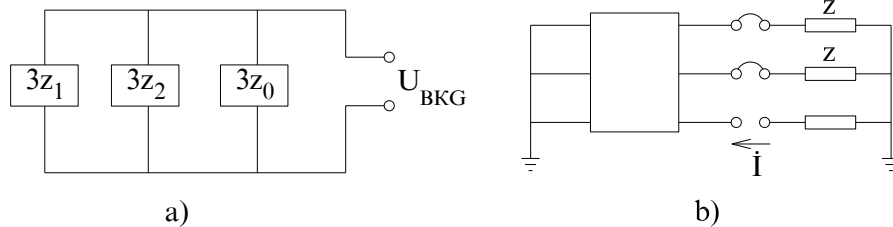
**Üçfazlı yerlə qapanmayan QQ.** KBG-nin hesabata görə bu hal ağır rejimlərdəndir. Lakin bu QQ-nin ehtimalı çox azdır. KBG-nin hesabata ciddi yanaşıldıqda şək. (3.9-b)-də göstərilən xətt müqavimətləri nəzərə alınmalıdır. Hesabatlar göstərir ki,  $Z$  müqavimətinin KBG-yə təsiri azdır.

Təqribi hesabatlarda xətt müqavimətini  $z \rightarrow \infty$  götürmək olar. Bu zaman sıfır ardıcılıqlı budaq şək. 3.9 a) - da açıq götürmək olar, onda ekvivalent giriş müqaviməti aşağıdakı kimi yazılır:

$$\underline{Z}_{ek}^{(3)} = 1,5 \cdot \underline{Z}_1 \quad (3.17)$$

Göründüyü kimi sxem yalnız  $L_m, C, Z_c$ -nin düz ardıcılıqlı parametrləri ilə göstərilir. Bu halda giriş müqaviməti  $\underline{Z}_1 - 1,5$ -ə vurulur. Bu halda da KBG-nin hesabata ifadəsi (3.17) kimi götürülür.

Birinci qütb açıldıqdan sonra sxem iki fazlı QQ-ya keçir. Yerlə qapanma olmadığından açarın 2-ci və 3-cü qütblərinə ardıcıl müqavimət qoşulmuş olur. Ona görə müqavimətlərə uyğun olan, ümumi gərginliyin qiyməti bu aralıqlardakı gərginliyin yarısına bərabər olur. Ona görə 2-ci və 3-cü qütblərin açılması yüngül rejim olur.



Şək.3.9 KBG-nin hesabata sxemi

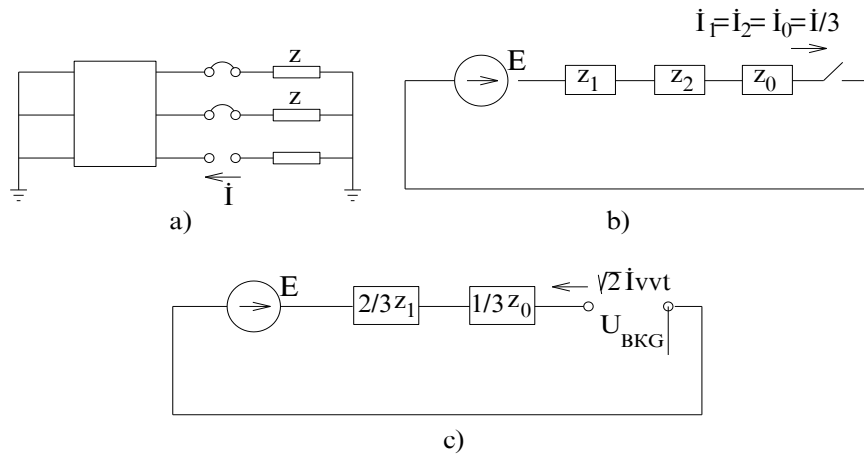
**Birfazlı QQ.** Yuxarıda deyildiyi kimi birfazlı qq açılması, üçfazlı qısa qapanmada axırıncı fazın açılmasına uyğundur. Bu halda cərəyan 1-ci qısa qapanma nöqtəsindəki cərəyandır. Bu cərəyanın hesabı şəkl. 15.1.15-də verilmiş əvəz sxeminə əsasən aparılır.

b) sxemə görə düz, əks və sıfır ardıcılıqlı müqavimətlər ardıcıl qoşulmuş və cərəyanlar  $\frac{I}{3}$ -ə bərabərdir. KBG-ni hesablamaq üçün açıq dövrəyə  $-i = \sqrt{2}I\omega t$  əks cərəyan mənbəyi qoşulur və  $E$  mənbəyi isə dövrədən çıxarılaraq şuntlanır şəkl. 3.10 c) sxemi. QQ-da açarın kontaktına nəzərən giriş müqaviməti aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\underline{Z}_{ek}^1 = \frac{2\underline{Z}_1 + \underline{Z}_0}{3} \quad (3.18)$$

KBG-nin hesabları yenə də (15.1.62) ifadəsi ilə aparıla bilər. Bu halda  $L_m, C, Z_c$  parametrləri aşağıdakı ekvivalentli ifadələrlə əvəz edilir:

$$L_{ek}^{(1)} = \frac{2L_1 + L_0}{3}, \quad L_{ek}^1 = \frac{2Z_1 + Z_0}{3}, \quad C_{ek}^{(1)} = \frac{3C_1 C_0}{2C_0 + Z_1} \quad (3.19)$$



Şəkl. 3.10 Hesabat sxeminin ekvivalentləşdirilməsi

Beləliklə (3.18) ifadəsi QQ-nin açılması zamanı KBG-nin hesablanması üçün universal ifadəsi olaraq istifadə edilir.

Natamam qoşulmalar və birfazlı QQ-ın açılmasında alınan əyriyə keçid prosesində gərginliyin rezonans xarakterinə aid edilir.

Lakin ferrozonans xarakterli ifrat gərginliklər bunlardan keyfiyyətcə fərqlidir. İndii isə bu məsələyə baxaq.

### Suallar

1. Kontaktların keçid bərpa olunan KBG nədir?
2. Simmetrik təşkiləticilər hansı sistemlərdə ifadə edilir?
3. Düz ardıcılıqlı sxemdə hansı gərginlik mənbəyi olur?
4. Sıfır ardıcılıqlı müqavimətlərdə transformatorların hansı parametrləri təsir edir?
5. Nə səbəbdən bir fazlı qısa qapanmada xətt məftillərinin müqavimətləri nəzərə alınmır?

## 9.2 Açarların kommutasiya qabiliyyətinin normallaşdırılması.

Elektrik dövrlərində qısa qapanmanın (QQ) açılması və ya qapanmasını təmin edən xüsusi açarlar seçilməlidir. Layihə üçün texniki şərt verilən hər bir dövrdə bu məsələ xüsusi qaydada fərdi aparılır.

QQ rejimlərində dövrəni açma-qapanması açarların kommutasiya qabiliyyəti adlanır. Ona görə ilk öncə açarlarda nominal açma cərəyanları  $I_{nomaç}$  və nominal qapanma cərəyanları  $I_{nomqap}$  təyin edilir.

**Nominal açma cərəyanı.** Açma prosesinin çətinliyi əsasən açılan cərəyanın periodik təşkeledicisinin qiymətindən asılıdır. Ona görə nominal açma cərəyanı kimi simmetrik cərəyanın periodik təşkeledicisinin ən böyük qiyməti və ya qövssöndürücü kontaktların  $\tau$  momentindəki asimmetrik cərəyanın periodik təşkeledicisinin ən böyük qiyməti qəbul edilir. Açar asimmetriyası  $\beta = i_{a\tau} / (\sqrt{2}I_{p\tau})$  qiymətindən  $\beta_{nom} = i_{a\tau nom} / (\sqrt{2}I_{nomaç})$  qiymətinə qədər olan cərəyanları etibarlı şəkildə açmalıdır. Bu zaman şəbəkədə ən böyük işçi gərginlik, bərpa olunan gərginliyin nominal parametrləri, açma və qapanma əməliyyatlarının normallaşdırılmış tsiklləri ola bilər.

QQ cərəyanının periodik təşkeledicisinin  $\tau$  momentinə uyğun olan azalma əyrisinə görə təsiredici qiyməti şəkl. 4.1-də göstərilmişdir.

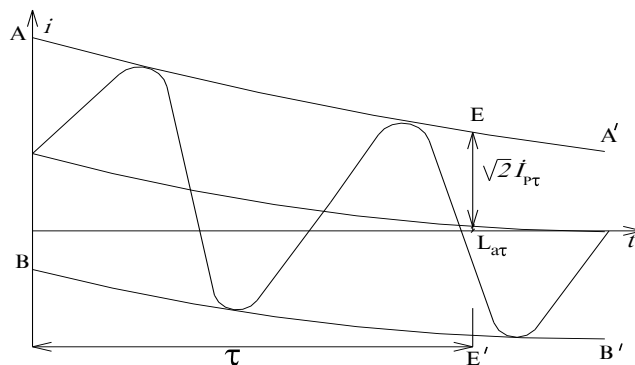
Qövs söndürücü kontaktların  $\tau$  açılma momenti, açarın xüsusi açma  $t_{açx}$  müddəti və rele mühafizəsinin minimal təsir müddətinin (0,01 san) cəmindən təşkil olunur:

$$\tau = t_{açx} + 0,01san \quad (6.1.8)$$

Açarların xüsusi açma müddəti zavod tərəfindən göstərilir. Xüsusi açma müddəti açara komanda verildiyi andan qövs söndürücü kontaktların açılmasına qədər keçən müddətdir.

Nominal asimmetriya faizlə ifadə edilir:

$$\beta_{nom} = i_{a\tau nom} \cdot 100 / (\sqrt{2}I_{noma}) \quad (6.1.9)$$

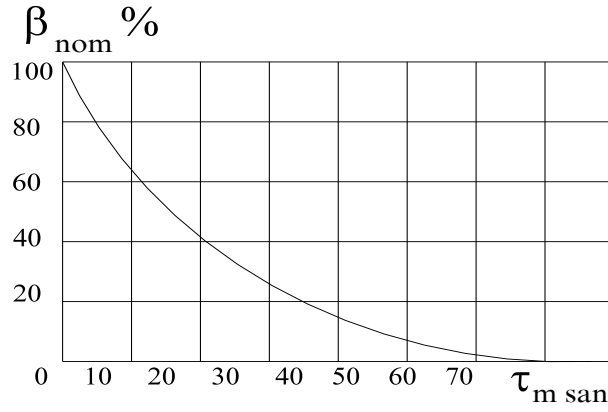


Şəkl. 4.1 Açılan QQ cərəyanının osilloqramı AA' və BB' əyriylərin əyiciləri, EE' – qövssöndürücü kontaktlarının açılma momentidir.

Açarlara aid DÜİST 687-78-ə əsasən nominal asimmetriya -  $\beta_{nom}$ ,  $\tau$  müddətinin funksiyası kimi verilir şəkl.4.2.

Şəkl.4.2,  $\beta_{nom}(\tau)$  əyridən görüldüyü kimi,  $\beta_{nom}(\tau)$  funksiyası,  $\tau/T_A$  dərəcəsi ilə eksponensial azalan əyri şəklindədir.





Şəkl 4.2  $\tau$  - hesabat müddətində açılan cərəyanın nominal assimetriya əsilliyi.

Şəbəkənin bir çox nöqtələrində olan orta müddət kimi -  $T \geq 0,045$  san qiyməti qəbul edilir.  $\tau > 70$  msan müddətindən sonra  $\beta_{nom}(\tau) = 0$  olur.

Açılan nominal cərəyana görə açarların seçilməsi aşağıdakı şərti ödəməlidir:

$$\begin{aligned} I_{noma} &\geq I_{p\tau} \\ I_{a\tau nom} &\geq i_{a\tau} \end{aligned} \quad (6.1.10)$$

Burada  $i_{a\tau nom} = \sqrt{2}I_{noma}\beta_{nom}/100$  açılan cərəyanın aperiodik təşkilçisinin nominal qiymətidir.

Verilmiş bərabərsizliklərin sol tərəfində açarların nominal parametrləri, sağ tərəfində isə hesablanacaq qiymətlər yazılmışdır.

İkinci şərt ödəmədikdə, cərəyanın aperiodik təşkilçisi nominal qiymətindən böyük olur. Bu halda tam açılma cərəyanının aşağıdakı şərti qiyməti istifadə edilir:

$$\begin{aligned} \sqrt{2}I_{noma} (1 + \beta_{nom}/100) &\geq \sqrt{2}I_{p\tau} (1 + \beta/100) \\ \text{buradan} \quad I_{noma} &\geq I_{p\tau} \frac{1 + \beta/100}{1 + \beta_{nom}/100} \end{aligned} \quad \text{kimi hesablanır.}$$

Sonuncu ifadədən görünür ki, açarlar QQ cərəyanının aperiodik təşkilçisinin nominal cərəyanından böyük qiymətlərində açılabilir. Bu halda, nominal açma cərəyanı  $I_{a\tau}$  hesabat  $I_{p\tau}$  cərəyandan  $\frac{1 + \beta/100}{1 + \beta_{nom}/100}$  nisbəti qədər böyük olur.

**Nominal qapama (qoşma) cərəyanı.** Açarın QQ-da nominal qoşma cərəyanı, etibarlı şəkildə qapanmasını təmin edir. Zavodda ən böyük təsiredici bu cərəyanın qiyməti nominal açma cərəyanına bərabər götürülür:

$$I_{nomqap} = I_{noma}$$

Eyni zamanda ən böyük ani cərəyan aşağıdakı kimi yazılır:

$$i_{nomqap} = 2,55I_{noma}$$

Buradan görüldüyü kimi nominal açma cərəyanına görə seçilmiş açarlar nominal qapanma cərəyanına görə də etibarlı şəkildə kommutasiya edirlər. Bu səbəbdən əlavə yoxlamaya ehtiyac yoxdur.

**Açılıb qoşulmanın normallaşdırılmış əməliyyat tsiklləri.** Avtomatik təkrar qoşulmalar (ATQ) üçün nəzərdə tutulmuş açarlarda aşağıdakı normallaşdırılmış tsikllər verilmişdir:

$$1) 0 - t_{c-zpauza} - Q0 - 180san - BO;$$

$$2) 0 - 180san - BO - BO$$

Burada 0-QQ açılma əməliyyatı; Q0 qq-ya qoşulma və dərhal yenidən açılma;  $t_{c-zpauza} - ATQ - nu$  normallaşdırılmış cərəyansız gözləmə müddətidir. Cərəyansız müddət 0,3-1,3 san arasında dəyişir.

**Açarların istilik və elektrik-dinamiki dayanıqlığının yoxlanılması.** Elektrik aparatlarının elektirk dinamikki dayanıqlıq şərtləri aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$\begin{aligned} I_{dinnom} &\geq I_{po} \\ I_{dinnom} &\geq i_{xüü} \end{aligned} \quad (6.1.11)$$

Elektrik dinamiki dayanıqlığın nominal cərəyanları aşağıdakı şərtlərlə yazılır:

$$\begin{aligned} I_{dinnom} &= I_{noma} \\ I_{dinnom} &= 2,55I_{noma} \end{aligned} \quad (6.1.12)$$

Buradan görünür ki nominal açma cərəyanına görə seçilmiş açar kifayət qədər elektrik dinamikki dayanıqlığa malik olur.

Açarların istilik dayanıqlığı aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$I_{istnom}^2 t_{istnom} \geq B$$

Burada  $I_{istnom}$  - açarın nominal açma  $I_{nomaç}$  cərəyanına bərabər istilik dayanıqlığının nominal cərəyanı,  $\tau_{ist.nom}$  - istilik dayanıqlığının nominal müddəti (3-4 san),  $B$  -  $0 - t_{aç}$  intervalında hesablanan Coul inteqralıdır.

Bərpa olunan gərginliyin sürəti (BGS) dövrənin açılma prosesinə təsir göstərir. Tutum olmadıqda, açarın kontaktında gərginliyin dəyişməsi eksponensial asılılığa malik olaraq aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$\frac{dU_{BKG}}{dt} = \sqrt{2}I\omega Z_c \exp \frac{-Z_c t}{L_M} \quad (9.1.13)$$

Sonuncu ifadədə  $t=0$  şərtində, BGS  $S = \sqrt{2}I\omega Z_c$  olur. Göründüyü kimi, BGS açılan cərəyana və xəttlərin cəm dalğa müqavimətlərinə mütənəsbdir.

### 10.1 Ferrerezonanas xarakterli daxili ifrat gərginliklər

Elektrik ötürmələrində ferrerezonans ifrat gərginlikləri, şəbəkədə müxtəlif səbəblərdən: - elektrik maşınları, güc və gərginlik ölçü transformatorlarında olan maqnit içliklərdəki doyma prosesi ilə baş verir.

Nominal gərginlikdə maqnitlənmə cərəyanı transformatorun nominal cərəyanının 2-4%-ni təşkil edir. Gərginlik nominaldan çox olduğu halda maqnitlənmə cərəyanı da sürətlə nominal cərəyana qədər artır. Bu maqnitlənmə cərəyanında yüksək harmonikaların payı çoxalır. Tərkibində yüksək tezlikli toplananlar olan cərəyan 2 əyrisi ilə dəyişir. Qeyri

sinusoidal cərəyanlar sxemdə olan elementlərdən keçdikdə qeyri sinusoidal formalı gərginliklər yaranır. Beləliklə transformator və  $EÖX$ -in xəttin digər nöqtələrində yüksək harmonikalı gərginlik düşkünləri meydana çıxır.

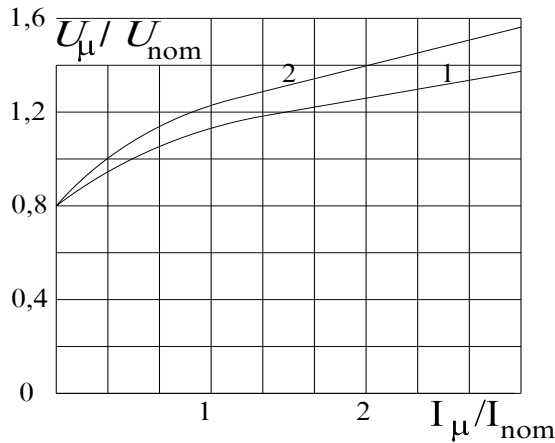
Transformatorun maqnitlənmə cərəyanının artması bəzi hallarda sənaye tezlikli gərginliyin məhdudlaşmasına səbəb olur. Uzaq ötürmələrdə maqnit doymuş transformatorlar, qeyri xətti reaktorlar kimi, xəttin tutum cərəyanlarını qismən kompensasiya edirlər.

Təhrif olunan cərəyanın forması dəyişir və onun əsas harmonikasının amplitudası maksimal cərəyanın 50-70 %-ni təşkil edir şəkil 3.11.

Şək. 3.11-də maqnitlənmə cərəyanı nominal cərəyanın 2%-i qədər olan hal üçün, gücü xəttin nominal gücünə bərabər olan transformatorun maqnitlənmə xarakteristikası verilmişdir.

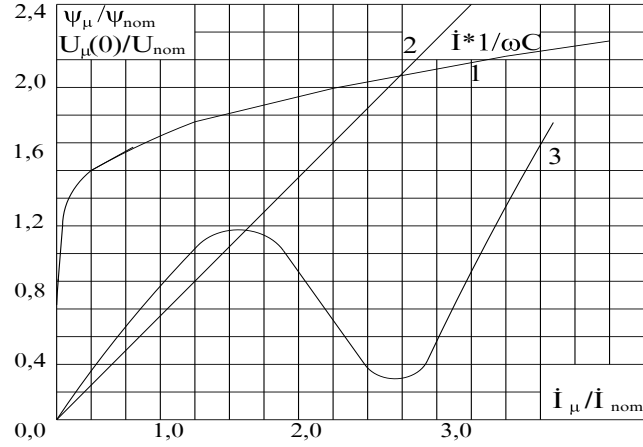
Sxemin müqaviməti az yüklənmiş və ya yüksüz transformatora nisbətən tutum xarakterli olarsa, ifrat gərginliyin qiyməti xeyli artır. Bu hal qeyri xətti dövrlərdə ferrezonanas hadisəsinə aid tipik misaldır. Sənaye tezliklərdə rezonansa gəlmə *harmonik rezonanas*, fərqli tezliklərdə (*sənaye tezliyindən böyük və ya kiçik*) isə, qeyri harmonik rezonans adlanır.

Ferrezonans ifrat gərginliyini qeyri xətti induktivlik, tutum və aktiv müqavimətin sinusoidal mənbəyə qoşulma sxemlərinin köməyi ilə öyrənilir. Reaktiv  $L$ ,  $C$  elementlərinin ardıcıl qoşulmasında gərginliklər ferrezonansı, paralel qoşulmasında isə cərəyanlar ferrezonansı yaranır.



*Şək.3.11 Transformatorun qeyri xətti maqnitlənmə xarakteristikası 1-maqnitlənmə cərəyanının gərginliyin amplitudasından asılılığı, 2-sənaye tezlikli cərəyan və gərginlik asılıqları*

Texniki ədəbiyyatlarda qeyri xətti xarakteristikanın müxtəlif şəkildə verilməsi göstərilir. Onlar cərəyanın əsas harmonikasının, sənaye tezlikli gərginliyin amplitudasından və ya induktivliyin maqnit ilişmə selindən asılılığı kimi qrafik şəkilində, həmin asılılıqların aproksimasiya edilmiş təqribi funksiyası və ya cədvəllər şəkilində verilə bilər [57]. Onların təsiri qeyri xətti induktivlik qoşulmuş  $R$ ,  $L$ ,  $C$  dövrəsində cərəyanla gərginlik arasında qeyri xətti Volt-Amper xarakteristikası şəkil.3.12 və ya transformatorun doyma halında induktivliklə maqnit ilişmə selinin asılılığı kimi hesabat alqoritmlərinə daxil edilir.



Şək.3.12. Güc transformatorunun maqnit içliyinin qeyri xəttiliyinin təsiri: 1 əyrisi –əsas harmonikanın qeyri xəttiliyi, 2 əyrisi - əsas harmonikanın təsirdən yaranan tutum gərginliyi, 3 əyrisi-rezonans gərginliyin alınması (3-sadəlik üçün bu şəkilin üzərində başqa miqyasda verilmişdir .

Bu zaman elektrik şəbəkəsində olan ötürücü xətlər digər elementlər və xətti maqnit dövrləri adi qaydada nəzərə alınır. Bizim yanaşmamızda bu asılılıq şək.15.1.16 –ya uyğun, lakin onun induktivliklə maqnit ilişmə seli arasında doyma cərəyanı ilə yazılmış təqribi aproksimasiya formasında verilir:

$$\psi_{\mu} = 0,8 + 0,0026 \cdot I_{\mu} + 0,0234 \cdot I_{\mu}^2 + 0,0514 \cdot I_{\mu}^3 + 0,00262 \cdot I_{\mu}^4 \quad (3.20)$$

(3.20) ifadəsində verilmiş əmsallar şək.15.1.16 əyrisindən 4 nöqtədə götürülmüş koordinatlara görə tərtib edilən tənliklər sistemindən təyin edilmişdir. Bu əmsallarla aparılan hesabatlarda verilmiş əyriyə çox yaxın olan asılılıq alınmışdır.

Beləliklə sistemdə olan qeyri xəttilik maqnitlənmə cərəyanı və maqnit ilişmə seli kimi alqoritmlərə daxil edilir. Bu halda səhifə 379–da verilmiş (14.1.11-14.1.14) tənliklərinə əlavə sərbəhd şərti kimi xəttin əvvəlində transformator içliyinin qeyri xətti cərəyan tənliyi qoşulur. Dövrələrin belə təqribi analizi yüksək tezliklərin təsirinin az olduğu və qeyri xətti  $\psi(I_{\mu})$  və ya  $U(I_{\mu})$  asılılığın əsas tezliklərin təsiredici qiymətləri arasında güclü olduğu hallarda doğru ola bilər.

Şək.15.1.17-də, (15.1.63) üstlü funksiyanın köməyi ilə alınmış doyma əyrisi və xəttin girişində hesablanan rezonans gərginliyinin 3 əyrisi verilmişdir. Sxemdə aktiv müqavimətin gərginlik düşküüsü hesabına rezonans zamanı əyrinin çökük hissəsi sıfır səviyyədən yuxarıda yerləşir. İdeal  $L$ - $C$  parametrləri olsa idi gərginlik əyrisinin çökük hissəsi sıfır olardı.

İndi isə müqayisə üçün xəttin sonu üçün baxılmış məsələnin qeyri xətti variantının həllinə baxaq şək.3.13.

Verilmiş sxemə aid aşağıdakı tənlikləri yazmaq olar:

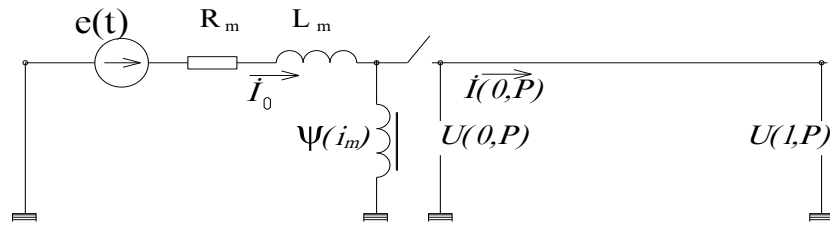
$$U_{\Omega, p} = E_{\Omega} - Z_m I_0 \quad (3.21)$$

$$U_{\Omega, p} = p \cdot \psi_{\mu} \quad (3.22)$$

$$I_{\Omega, p} = I_0 - I_{\mu} \quad (3.23)$$

$$I_0 = \frac{E_{\Omega}}{R_m + pL_m} - \frac{U_{\Omega, p}}{R_m + pL_m} \quad (3.23)$$

$$I_{\Omega, p} = \frac{U_{\Omega, p}}{z_d \cdot \text{cth} \gamma l} \quad (3.24)$$



Şək.3.13 Transformatorun qeyri xətti maqnit ilişmə selinin hesabat sxemi

Xəttin sonu açıq olduğu üçün

$$U(l, p) = U(0, p) \cdot ch \gamma l \quad (3.25)$$

(3.21-3.25) ifadələrinin inteqral tənliklər metodu ilə həlli aşağıdakı ardıcılıqla aparılır. Transformatorun maqnit içliyinin qeyri xətti doyma xarakteristikası (3.25)–dən təyin olunan  $U(0, t)$  funksiyasının orijinalı ilə nəzərə alınır. Xəttin sonu üçün gərginlik hesablarında yuxarıdakılara analoji olaraq ifadələrin sürət və məxrəc funksiyalarının ayrı-ayrılıqda orijinaları təyin edilir. Bu məsələnin inteqral tənliklər, diskret çevirmələr və bükülmə teoreminin tətbiqi ilə alınan nəticələrinə baxaq. (3.24) tənliyinin  $U(0, p) = p \cdot \psi(i_m)$

ifadəsi zaman oblastında  $u(0, n) = T \sum_{m=1}^n \delta'(\tau - mT) \psi(i_m)$  qapalı cəm şəkilində hesablanır.

Alınmış  $u(0, n)$  funksiyasına əsasən xəttin sonundakı  $u(l, n)$  gərginliyi və əvvəlindəki  $i(0, n)$  cərəyanları hesablanır:  $U(l, p) = \frac{U(0, p)}{ch \gamma l}$ ;  $I(0, p) = \frac{U(0, p) sh \gamma l}{z_d ch \gamma l}$ . Tənliklərə daxil edilmiş

$sh \gamma l$  və  $ch \gamma l$  hiperbolik funksiyalarının açılışı aşağıdakı sadə yazılışa malikdir: -

$$sh \gamma l = \frac{1 - e^{-2p\tau} \cdot e^{-2\sigma\tau}}{2 \cdot e^{-\sigma\tau}} \quad \text{və} \quad ch \gamma l = \frac{1 + e^{-2p\tau} \cdot e^{-2\sigma\tau}}{2 \cdot e^{-\sigma\tau}}$$

$u(0, n)$  funksiyası ilə  $(1 - e^{-2p\tau} \cdot e^{-2\sigma\tau}) / (1 + e^{-2p\tau} \cdot e^{-2\sigma\tau})$  hiperbolik funksiyaların inteqral bükülməsi istifadə edilir. Bunun üçün əvvəlcə kəsr vuruğunu diskret çevirməyə uğratmaqla xarakterik ordnatları tapmaq lazımdır.

$$H1(p) = \frac{Fl(p)}{T \cdot Q(p)} = \frac{1}{Q(p)} \cdot \sum_{m=1}^n H1(p) \cdot Q(p - m) \quad (3.26)$$

### Suallar

1. Harmonik rezonans nəyə deyilir?
2. Qeyriharmonik rezonansın səbəbləri nədir?
3. Şinlərə qoşulmuş hava və kabel xəttləri ferrezonansa necə təsir edir?
4. Güc transformatoru və generatorlar ferrezonans hadisəsinə hansı yolla təsir edirlər?
5. Hiperbolik sinus və cosinus funksiyalarının açılışını yazın və bir neçə arqument üçün hesabat aparın!

## 10.2 Avtomatik təkrar qoşulmada ifrat gərginlik

*ATQ* bütün qapanmalarda baş verən qövs xarakterinə əsaslanır. Ona görə xəttin qısa qapanmasının iki tərəfdən açılması ilə qövs sönür və müəyyən  $t_{ATQ}$  müddətindən sonra yenidən qoşulur. *ATQ* tsiklləri aşağıdakı 4 mərhələlərə bölünür:

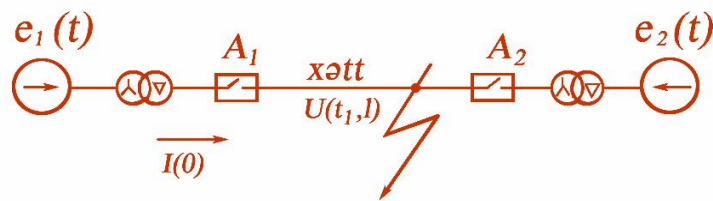
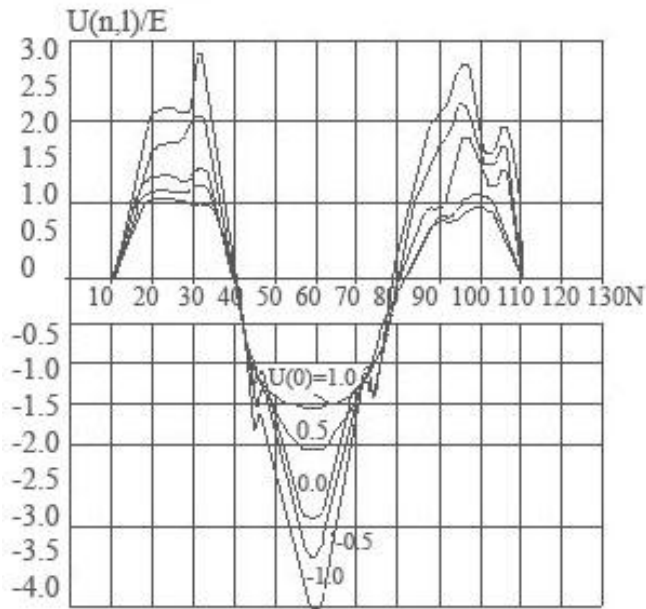
Xəttin qısa qapanma yerinə yaxın olan *Q2* açarı ilə açılması nəticəsində xətt qısa müddətdə birtərəfli qıda rejiminə keçir;

Xəttin sağlam fazlarının *Q1* açarı ilə açılması ilə tutum cərəyanlarının sıfırdan keçməsi ilə kəsilməsi və bu anda həmin fazların gərginliyinin maksimal qiymətdə olması baş verir.

Açılmış xəttin *Q1* açarı ilə yenidən gərginliyə qoşulması. *Q2* açarının qoşulması ilə xəttin normal işinə qayıtması.

Yüksək gərginlik açarları *ATQ*-ni böyük sürətlə yerinə yetirməlidir. *Q2* - (*A2*) açarı açıldıqda xəttin sağlam fazlarının başlanğıc və sonunda olan gərginliklər bir-birindən və mənbəyin EHQ-dən fərqli olurlar. Bunun səbəbi qısa qapanmış fazanın tutm effekti və bu səbəbdən yaranan eninə qeyri-simmetrikdir.

*Q1* - (*A1*) açarı açıldıqdan sonra zədələnmiş fazın yükü qövs vasitəsi ilə yerə axır. Sağlam fazlarda gərginliklər bərabərləşir. Eninə qoşulmuş reaktorlar olmadıqda sağlam fazların elektrik yükləri də aktiv keçiricilik vasitəsi ilə tədricən yerə axır. Bu proses meteoroloji-iqlim şəraitindən, izolyatorun səthi çirklənməsindən asılıdır. Orta hesabla təmiz və quru havada  $t_{ATQ}=0,4$  san-də xəttin qalıq gərginliyi ilkin gərginliyin 60-70%-ni təşkil edir.



Şəkil 3.17 Avtomatik təkrar qoşulma üçün hesabat sxemi və gərginlik ayrılması

İfrat gərginliyin maksimal qiyməti, *Q1* açarının xətti qoşması zamanı baş verir.

$$U(l_1 t) = A_{gersm} \sin(\omega t + \varphi) - \sum A_k e^{-\delta_k t} \cdot \sqrt{sm^2 \varphi + \left(\frac{\omega}{\omega_k} \cos \varphi\right)^2} \cdot \sin \left( \omega_k t + \varphi_k \right)$$

## Suallar

1. *ATQ üsulu və rejimləri hansı xarakterik halda tətbiq edilir?*
2. *ATQ fasiləsində xəttin qalıq gərginliyi necə dəyişir?*
3. *ATQ ifrat gərginlikləri ilə qalıq gərginliklərinin əlaqəli təsirlərini izah edin.*

### 11.1 Elektrik sistemlərində qısa qapanma cərəyanlarının məhdudlaşdırılması

Stansiyaların gücləri artması və şəbəkələrin inkişafı ilə əlaqədar olaraq *qq* cərəyanları son illərdə hədsiz dərəcədə artmışdır. Hətta stansiyalarda olan açarlar və avadanlıqlar artan *QQ* cərəyanlarına cavab vermirlər. Bu səbəbdən avadanlıqların dəyişdirilməsi və ya *qq* cərəyanlarının məhdudlaşdırılması vacib olur. Hazırda bu məqsədlə, 35 kV –a qədər neytralı izolə edilmiş şəbəkələrdə cərəyan məhdudlaşdırıcı reaktorların tətbiqi daha üstün sayılır. Avadanlığın dəyişdirilməsi isə çoxlu xərclər və zaman tələb edir. Dəyişmə müddətində enerji təchizatı kəsilir və şəbəkənin etibarlılığı azalır. *QQ* cərəyanları durmadan artdığı üçün yeni qurulmuş açarlar, açma üçün bir neçə ildən sonra yenə də yetərsiz olacaqlar.

110 kV və daha yüksək gərginlikli şəbəkələrdə *qq* cərəyanlarının xəttə qoşulmuş reaktorlarla məhdudlaşdırılması məqsəddə uyğun deyildir, çünki bu halda stansiyaların paralel işlədilməsində dayanıqlığı azalır. Reaktorlar həm də açarların kontaktlarında keçid bərpa olunan gərginliyin sürətini artırır.

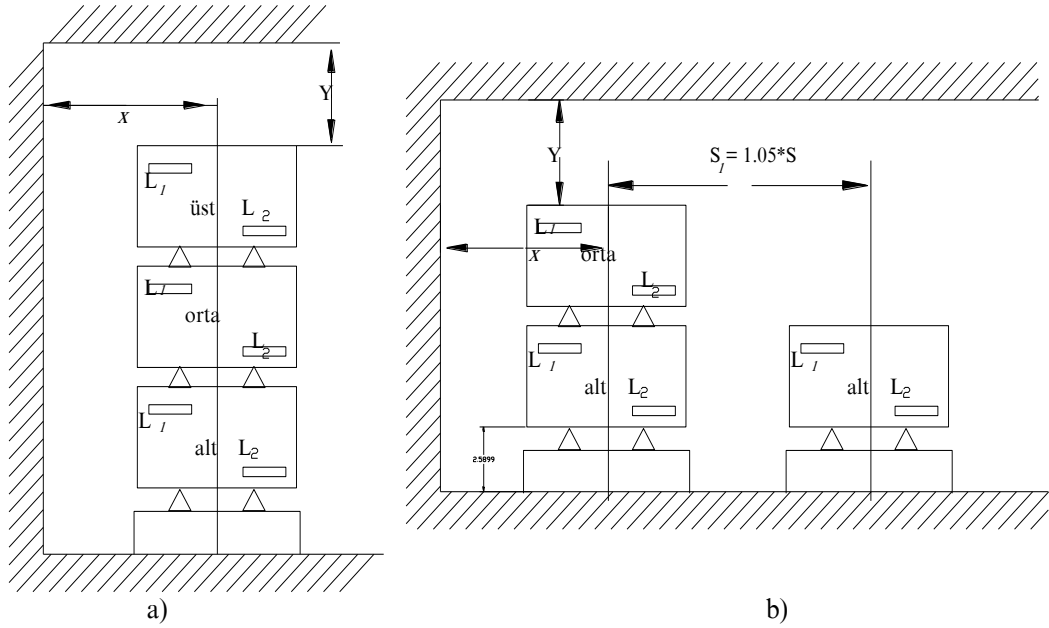
Başqa üsulda *QQ* cərəyanlarının məhdudlaşdırılması onun iki asılı olmayan hissəyə bölünməsi ilə mümkündür. Lakin bu zaman birgə işləmə imkanları itirilir və xəttlərin sayının artırılması lazım gəlir.

*QQ* zamanı sistemin avtomatik olaraq bölünməsi rejiminə baxaq. Bölünmə stansiyaların birgə normal işini saxlamaqla açılan açarlar *qq* cərəyanının məhdudlaşdırılmasına imkan verir. Bu məqsədlə *qq* zamanı, nominal cərəyandan daha böyük cərəyanla işə düşən avtomatik qurğu nəzərdə tutulur. Həmin qurğu sistemin düyün nöqtələrində olan bir və ya bir neçə bölmə açarlarının açılmasına komanda verir. Zədələnmiş hissələr açıldıqdan sonra, sistemin bölmələrindəki digər açarlar yenidən qoşulur və həmin istiqamətlərdə enerji təchizatı bərpa olunur. Sistemin bölmə açarları ilə ayrılmış hissəsinin işləməsi kifayət qədər uzun olmalıdır ki, bölmə açarları açıla bilsin, lakin bu müddət sistemin dayanıqlı işini poza qədər uzun olmamalıdır.

### 11.2 Cərəyan məhdudlaşdırıcı reaktorlar

Ənənəvi cərəyan məhdudlaşdırıcı beton reaktorlar 6-35 kV gərginliklərə və 400-4000A nominal cərəyanlara malik olan, quru izolyasiyalı aparatlardır. Onlar daxili və xarici quruluşlara malik olan konstruksiyalarda hazırlanırlar. Üç fazlı cərəyan məhdudlaşdırıcı reaktor 3 ədəd polad içliyi olmayan sarğaclardan təşkil olunur. Bu reaktorlarda cərəyan nominal qiymətindən *QQ* qiymətinə qədər dəyişdikdə gərginliyin xətti dəyişməsi müşahidə edilir. *QQ* cərəyanı nominal cərəyandan 10-20 dəfə çox olur. Sarğacların aktiv müqavimətləri nisbətən kiçik olur.

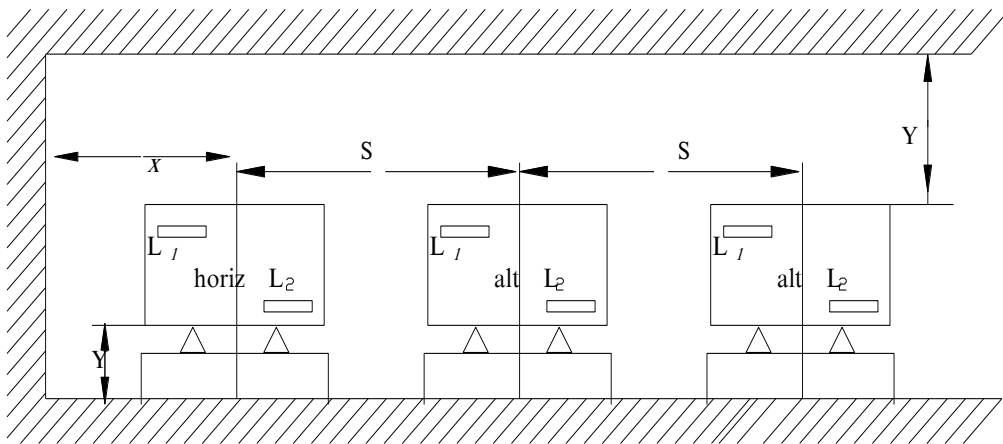
Reaktorların dolaqları çoxtelli Aliminium və ya Mis məftillərdən sarınır. Burluğan cərəyanların yaratdığı əlavə itkiləri azaltmaq məqsədi ilə məftillər beton gövdə ilə olan xarici izolyasiyadan başqa, damar üstü izolyasiya ilə örtülülər.



Şək. 3.4 Beton reaktorların şaquli və dəyişik montajı a) üst-üstə montaj, b) ikisi üst-üstə biri yanda yerləşdirilmiş montaj

Nominal cərəyanı 630 A-dən böyük olan reaktorların sarğıları bir neçə paralel budaqlardan təşkil olunur. Bu zaman dolaq sarınarkən budaqlama məftillərini öz aralarında transpozisiya edirlər. Transpozisiya edilən sarğılarda uzunmüddətli işçi cərəyanları və  $QQ$  cərəyanlarının paylanması bərabər olur.

Sarğılara lazımi mexaniki möhkəmlik vermək üçün, onlara xüsusi forma verilmək məqsədilə (betonlaşdırmaqla) sıyıq sementlə doldururlar. Sement bərkidikdən sonra onu qurudur və xüsusi nəmliyə davamlı boya ilə rəngləyirlər. Sonra sarğıları farfor dayaq izolyatorları üzərinə montaj edirlər şək. 3.18. Beton reaktorların faz sarğıları şaquli, pilləli və horizontal qaydada yerləşdirilə bilər şək.3.19 a), b) və c). İstehsalçı zavod montaj üçün reaktorun gücü və gərginliyinə uyğun hesablanmış oxlar arası məsafələri ( $S$  və  $S_1$  -ləri) göstərməlidir. Bu məsafələrin olması əsasən üçfazlı reaktor komplektinin elektrodinamiki dayanıqlığı üçün vacibdir.



Şək. 3.3 c) Reaktorlardan ferromaqnit gövdələrə qədər olan minimal məsafələr



Reaktorların şaquli, horizontal və ya pilləli qurşadılma üsulları reaktor sarğaçlarının ölçüsü, kütləsi və PQ-nun yerləşdiyi binanın quruluşundan asılıdır.

Şəkildə rektor sarğaçlarının çıxışları  $L_1$  və  $L_2$  ilə işarələnmişdir. Horizontal yerləşmədə ara məsafələr  $S$ , divarla məsafə  $x$ , tavanla və döşəmə ilə isə  $Y$ -dir.

30-60 MVt gücündə olan ilk İEM stansiyalarında hasil edilən enerji generator gərginlikləri 6-10 kV-la, kabel vasitəsilə şəbəkəyə və ya paylayıcı quruluşa verilir. 120-240 MVt gücündə olan stansiyada, transformatorla elektrik şəbəkəsinin birləşmə sxeminin şinlərində, QQ cərəyanının qiyməti 100 kA-ə çatır. Ona görə şin və paylayıcı quruluşda olan açarların açma qabiliyyətini normallaşdırmaq və paylayıcı şəbəkələrdə kabellərin termik dayanıqlığını təmin etmək üçün həmin cərəyanların məhdudlaşdırılmasına ehtiyac vardı. Bu məsələ xəttlərə və bolmələrə quraşdırılan reaktorlar vasitəsi ilə yerinə yetirilir.

Yuxarıda göstərilən konstruksiyalarda olan tək sarğılı reaktorlardan başqa, xəttlərdə istifadə edilən iki çiyinli (cüt sarğılı) reaktorlar da istehsal edilir. Bu reaktorlarda bir fazaya iki ədəd eyni istiqamətdə sarınmış və uyğun birləşmiş dolaqlar olur. Bu reaktorların biri ortaq olmaqla 3 birləşmə çıxışı vardır şək. 3.4. Orta sıxaqla rektor enerji mənbəinə (şəbəkəyə) birləşdirilir. Cüt sarğılı rektorun nominal cərəyanı kimi sarğının nominal cərəyanı götürülür. Orta sıxac iki qat cərəyana hesablanmışdır şəkil 3.4 a).

Reaktorlar quraşdırılan binada induksiya cərəyanlarının təsirindən hədsiz qızmalara görə ətrafdakı ferromaqnit konstruksiyaları mühafizə etmək lazımdır. Bu məqsədlə istehsalçı zavod uyğun ferromaqnit konstruksiyalardan (sütun, rigellər, dəmir-beton divar və örtüklər) olan  $x$  və  $y$  məsafələrini verir. Ona görə reaktorları binanın dəmir-beton sütunlarından, çatma və kirişlərdən zavodun müəyyən etdiyi məsafələrdə ( $X$  və  $Y$  koordinatları üzrə) quraşdırırlar.

Reaktorlarda güc itkiləri nisbətən az olur. Ayrılan istilik isə ətraf mühitə ötürülür. Sarğı məfillərinin en kəsiyi elə seçilir ki, ən çox qızma nöqtəsindəki maksimal temperatur, izolyasiya üçün buraxıla bilən temperaturu aşmasın. Bina daxilinə quraşdırılan reaktorlar olan sahələr ventilyasiya edilir. Xüsusi ağır şəraitlər halında isə bina ventilyasiya ilə soyudulur.

QQ zamanı dolağın temperaturu kəskin olaraq artır. QQ-da maksimal temperatur sarğı naqilləri və izolyasiya materialının istiliyə davamlılıq həddi ilə təyin edilir.

Ölçü nisbətlərinə görə reaktorlarda induktiv müqavimətin (induktivliyin) hesabı onların həndəsi ölçülərinə və sarğılar sayına əsasən aşağıdakı kimi aparılır :

$$L = 10,5 \cdot w^2 \cdot D \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{D}{2 \cdot \epsilon + h}\right)^3} \cdot 10^{-6} \quad (3.2)$$

-hesabatlarda ölçülər  $sm$ -lərlə, induktivlik isə  $mHn$ -lərlə alınır. Burada  $0.3 \leq D/(b+h) \leq 1$ , əgər  $D/(b+h) = 1 \div 3$  arasında dəyişərsə, (3.2) formulasında kvadrat kök altında  $(D/(2) \cdot b+h)$  ifadəsi tətbiq edilir.

Hündürlüyü digər ölçü nisbətlərindən az və çox olan yastı və hündür reaktorlarda induktivlik hesabları fərqli ifadə ilə aparılır:-  $b/D \gg h/D$  olduqda,  $L = W^2 k_1 D \cdot 10^{-6}$  və  $h/D \gg b/D$  olduqda isə,  $L = W^2 k_2 \cdot D \cdot 10^{-6}$ .

### 11.3 Reaktorların induktiv müqaviməti

Üçfazlı rektorun hər fazasında məxsusi bu fazanın özünə  $EHQ$ -dən başqa, qonşu fazaların cərəyanlarının təsirindən qarşılıqlı induksiya  $EHQ$ -ri də induksiyalanır. Hər üç fazanın  $R$  aktiv müqaviməti və  $L$  induktivliyi eynidir. Lakin qeyri simmetrik yerləşmələri səbəbi ilə  $M_{AB}$ ,  $M_{BC}$ ,  $M_{CA}$  qarşılıqlı induktivlikləri fərqli olurlar. Reaktorların fazalarında gərginlik düşkünləri aşağıdakı ifadələrlə yazılır:

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_A &= \mathbf{R} + j\omega L \cdot I_A + j\omega M_{AB} \cdot I_B + j\omega M_{AC} \cdot I_C \\ \Delta U_B &= \mathbf{R} + j\omega L \cdot I_B + j\omega M_{BC} \cdot I_C + j\omega M_{BA} \cdot I_A \\ \Delta U_C &= \mathbf{R} + j\omega L \cdot I_C + j\omega M_{CA} \cdot I_A + j\omega M_{CB} \cdot I_B \end{aligned} \right\} \quad (3.21)$$

Faz sarğılarının simmetrik yerləşməsini və bu səbəbdən  $M_{AB}=M_{BC}=M_{CA}=M$  olduğunu nəzərə alsaq, gərginlik düşgünləri sadələşir:

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_A &= \mathbf{R} + j\omega \mathbf{L} - M \cdot I_A \\ \Delta U_B &= \mathbf{R} + j\omega \mathbf{L} - M \cdot I_B \\ \Delta U_C &= \mathbf{R} + j\omega \mathbf{L} - M \cdot I_C \end{aligned} \right\} \quad (3.22)$$

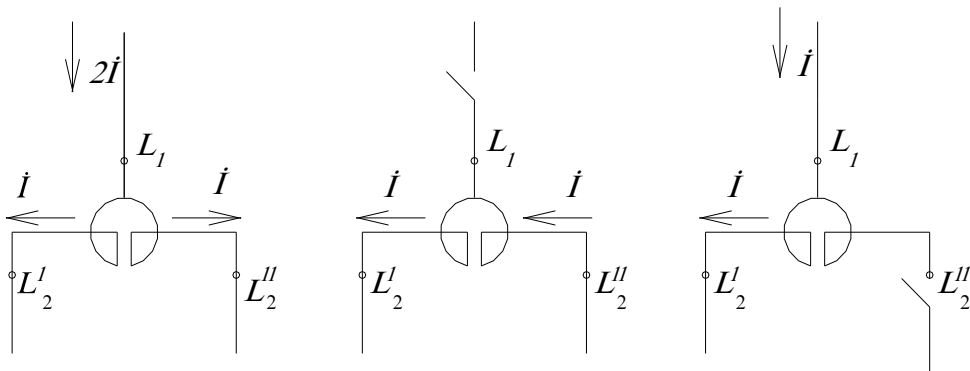
$L$ - $M$  parametrlərinin fərqi fazanın ekvivalent induktivliyi kimi  $L^*$  qəbul edilir. Məlumdur ki fazlar qeyrisimmetrik məsafələrdə yerləşdiklərindən ekvivalent induktivliklər və uyğun gərginlik düşgünləri də yazıldığından fərqli olacaqdır.

İstehsalçı zavod tərəfindən əsas xarakteristika kimi -  $X_{nom}=\omega L'$  müqaviməti verilir. Bu müqavimət reaktorda sarğacın sayı və onların nisbi ölçüləri və yerləşmə qaydası ilə təyin edilir. Deyilənlərə əsasən -  $L'$  üçfazlı reaktorun ekvivalent induktivliyi kimi qiymətə malik olur və əhəmiyyət daşıyır:

$$\Delta U = X_{nom} \cdot \dot{I}$$

və ya nominal faz gərginliyinin nisbəti ilə yazıldıqda: -  $\Delta U_* = \frac{\sqrt{3} X_{nom} \cdot I}{U_{nom}}$  olar.

İkili reaktorlu, çiyinli sarğacın bir faza elementini həddində induktivliyi və qarşılıqlı induktivlikləri ilə xarakterizə edilir. Qarşılıqlı induktivlik əsas induktivliyin 0,4-0,6 nisbətini təşkil edir. Burada  $k=M/L$  nisbəti *əlaqə əmsalı* adlanır. Reaktorların pasportunda nominal induktivlik və əlaqə əmsalları verilir.



Şəkil 3.4 İkili (çiyinli) reaktorların xarakterik rejimləri a) bir başa keçid, b) uzununa birləşmə, c) birdövrəli iş rejimləri

İkili reaktorlarda cərəyanların qiyməti və istiqamətindən asılı olaraq sarğaclardakı gərginlik düşgünləri, əgər cərəyanlar əks istiqamətli olarsa, aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\Delta U_1 = \dot{I}_1 \cdot \omega L - \dot{I}_2 \cdot \omega M$$

$$\Delta U_2 = \dot{I}_2 \omega L - \dot{I}_1 \omega M$$

İstismar təcrübələrində bir sıra yerlərdə, gərginlik düşkülərini azaltmaq məqsədi ilə budaqlanma – sarğac cərəyanlarının eyni dərəcədə yüklənməsi təmin edilir. Bu rejim *bir başa* keçiricilik adlanır (Şəkil 3.4 a).

Bölmə reaktorlarının seçilməsi. Bölmə reaktorları aşağıdakı şərtlərə əsasən seçilməlidir: 1) reaktorun nominal cərəyanı stansiyanın normal rejiminin pozulduğu halda bir bölmədən digər bölməyə veriləcək gücə uyğun olmalıdır; 2) bölmə reaktorunun müqaviməti, paylayıcı quruluşun həmin şinində quraşdırılan açarında QQ cərəyanının kifayət qədər məhdudlaşdırılması üçün lazımi qiymətə malik olmalıdır.

#### Suallar

1. Reaktorların hansı əsas növləri istifadə edilir?
2. Qarşılıqlı induksiya parametri nədir və necə təsir edir?
3. Məxsusi induktivlik nədən yaranır?
4. Məxsusi induktivlik necə hesablanır?
5. Çiyinli reaktorların hansı konstruksiya və xarakterə malikdir?
6. Reaktorların montajında dəmir beton və polad massivlərdən hansı məsafələr saxlanmalıdır?

### 11.4 Reaktorların elektrodinamiki və termiki dayanıqlığı

QQ zamanı reaktorların sarğılarında keçən cərəyanın qiyməti nominaldan 15-20 dəfə çox olur. Bu halda sarğı məftilləri arasında qarşılıqlı cazibə və ya itələnmə (cərəyanın istiqamətindən asılı olaraq) böyük elektrik-dinamiki qüvvələr yaranır. Bu qüvvələr qonşu reaktor sarğıları, hətta bir reaktorun eyni bir sarğı məftilləri arasında da yarana bilər.

Məlum olduğu kimi iki konturun qarşılıqlı təsir qüvvəsi  $\dot{I}_1$  və  $\dot{I}_2$  cərəyanları və qarşılıqlı induksiya əmsali ilə mütənasib olaraq aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$F_x = I_1 \cdot I_2 \frac{\partial M}{\partial x} .$$

burada  $M$ -konturların qarşılıqlı induksiyası,  $\partial x$  - qüvvə istiqamətində konturun yerdəyişmə məsafəsidir. Yerdəyişmə elə olur ki, həmişə sistemin maqnit sahəsini gücləndirir.

Şəkilə bir fazın tək reaktorunun çoxqatlı silindrik sarğısının daxili elektrik-dinamiki qüvvələri göstərilmişdir. Göründüyü kimi ox istiqamətində qüvvələrin təşkilədiciləri horizontal A-A müstəvisi üzrə simmetrik yönəlmişdir. Onların böyük qiymətləri ən üst və ən alt horizontal müstəvi kəsikləri üzrə, silindrik qatlarda olacaqdır. Bu qüvvələr sarğacı oxu istiqamətində sıxmağa çalışır. Qüvvələrin radial təşkilədiciləri, oxdan uzaq olan ən üst sarğı məftilləri müstəsna olmaqla, xarici istiqamətdə yönəlmiş olurlar. Onların da ən böyük qiymətləri sarğının A-A müstəvisi və reaktorun oxuna yaxın məsafələrdə baş verir. Dolaq sarğılarının daxili elektrik-dinamiki qüvvələri karkas və dolaq tərəfindən qəbul edilir. Onlar hesabı elə aparılır ki, bu qüvvələrə qarşı davamlı olsunlar.

Üç fazlı reaktorun qarşılıqlı təsir qüvvələri sarğılar sayı, sarğacların nisbi ölçüləri və yerləşmə qaydası və onlardan axan cərəyanların istiqamətindən asılı olaraq təyin edilir. Əgər sarğılar eyni istiqamətdə sarınmış və onların oxu eyni olarsa, iki və üçfazlı qısa qapanmalarda üst fazaya təsir edən qüvvə yuxarı istiqamətdə yönəlmiş olacaqdır. Dayaq izolyatorları dartılmaya işlədiyindən, bu hal arzu edilməzdir. Ona görə, üçfazlı şaquli quraşdırılan reaktorlarda orta fazanın cərəyanının istiqamətini yuxarı dolağın əksinə, (sarğı dolağının sarınma istiqaməti ilə) dəyişdirilir. Əgər şəkil 3.3 c) də olduğu kimi, reaktor sarğaclarının oxları paralel olarsa,  $\partial M / \partial x$  törəməsi nisbətən kiçik olur. Bu zaman qarşılıqlı təsir qüvvələri də şaquli istiqamətə nisbətən, bir o qədər azalmış olur.

İkili reaktorlu sistemlərdə qarşılıqlı təsir qüvvələri daha böyük olur. Çünki onlar biri-biri ilə sıx yerləşmiş vəziyyətdə sarınırlar.

Zavodlar nominal cərəyanlara görə və *QQ zərbə* cərəyanları əsasında hesablanan elektrik-dinamiki dayanıqlığı pasportlarda göstərilir. Bu zaman həm də yerləşmə qaydasına görə reaktorların tipi göstərilir.

Bunlarla yanaşı termik dayanıqlığın nominal cərəyanları da göstərilir  $-I_{ter}$ . Bu sabit amplitudalı sinusoidal cərəyanın təsiredici qiyməti və təsir müddəti  $t_{ter}$  -şəkilində verilir.

Reaktorları elektrik-dinamiki dayanıqlığa yoxladıqda aşağıdakı ifadələr doğru olmalıdır:

$$i_{din} \geq i_{zər} \text{ və } \dot{I}_{ter} t_{ter} \geq B$$

Elektrik-dinamiki dayanıqlığı olan reaktorlar adətən, termik dayanıqlığına da malik olur.

### 11.5 Kompensasiya edilmiş neytrallı və eninə reaktor qoşulmuş xətlərin açılması.

6-35 kV xətlərdə qısa qapanmada yaranan tutum cərəyanlarının məhdudlaşdırılması üçün və (500kV-1150kV çox) uzun xətlərdə girişə eninə qoşulmuş reaktorlar olan sxemlərin kommutasiyası qorxulu ifrat gərginliklərə səbəb olur. Əgər yarımstansiyadan yalnız bir xətt çıxarsa onun açılmasında A və B farasının yük cərəyanının kəsildiyi C fazasından isə hələ I cərəyanı keçdiyini hala rast gəlmək olar. C farasının bu cərəyanı transformator qövs söndürücü sarğacda (reaktorda)  $\frac{Li^2}{2}$  - qədər elektrik-mağnit enerjisi toplanmış olar.

Yaranan qövs söndükdə xəttin tutumu sxemdən ayrılır. Bu konturun tutumu torpağa nəzərən yanma şinlərin, transformator dolaqlarının və sarğacın (reaktor) tutumlarından ibarət kiçik bir qiymətə malikdir. Qövs söndürücü sarğacın elektrik-mağnit enerjisi həmin tutum tərəfindən qəbul edilir.

$$\frac{Ll \cdot i^2}{2} = \frac{C_T U^2}{2}.$$

Bu halda işçi faza gərinliyindən 4-5 qat artıq ifrat gərginlik yaranır.

Əgər yarımstansiya şinlərinə böyük tutumlu bir neçə elektrik veriliş hava və kabel birləşmiş olarsa, belə açılmalarda çox qorxulu ifrat gərginliklər baş vermir. Yarımstansiya ventil boşaldıcıları ilə qısa müddətli impuls torpaqlanması ilə torpaqlanırsa ifrat gərginlik qalıq gərginliyi həddində olur. Torpaqlandıqda da ifrat gərginlikləri azaltmaq mümkündür. Belə torpaqlanma nöqtəsi olmayan sxemdə sonuncu xəttin açılması ilə aparılır. Bu zaman əvvəlcə sxemdə olan qövssöndürücü sarğac açılmalıdır.

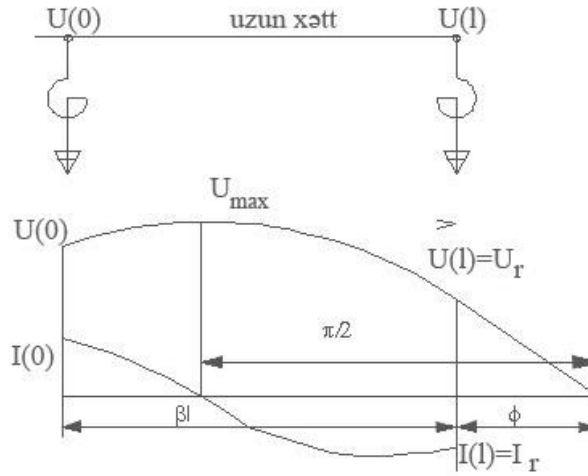
Ona görə, xüsusi ilə komutasiya rejimlərində, stansiyaların yüksək gərginlik şinləri, enerji göndərən və qəbul edən sistemləri ilə yerə nisbətən eninə kompensasiya reaktorları qoşulur şəkl.4.1.

Normal yük rejimlərində isə, reaktorlar qəbuledici sistemlərdən açılır. 300-400 km uzunluqlu sonu açıq olan xətlərdə, gərginlik düşgülləri böyük olmadığından, reaktorların stansiya şinlərində qoyulması kifayət edir. Uzun veriliş xətlərinin başlanğıcında reaktorların qoyuluş reaktiv gücünün 20-40 %-i toplanır. Ona görə, digər reaktorlar şəbəkə boyu müxtəlif yarımstansiyalar və çevirici məntəqələrdə quraşdırılır. Tam güc rejimlərində isə, hesabata görə bu reaktorların bir neçəsi və ya hamısı açılır.

Bir tərəfli qoşulmuş xətt üçün reaktorların təsirinə baxaq. Bir tərəfli qoşulma, xətt yükünün qəza açılması, sonu açıq olan xəttin planlı qoşulması və xüsusi ilə sinxronlaşma rejimləri üçün xarakterikdir.

Qəzadan sonrakı rejimlə sinxronlaşma rejimlərinin fərqi, sinxronlaşmada sxemin əvvəlcədən hazırlanmasındadır. Bu zaman gərginliyin optimal rejimi təmin edilir. Belə ki,

sxemdə generatorun təsirlənməsi azaldılır, transformasiya əmsalları minimal həddə qoyulur və bütün reaktorlar işə qoşulur. Qəzadan sonrakı rejimlərdə isə, bunlar hamısı normal və ya maksimal güc şərtlərinə uyğun və çox böyük qiymətlərdə ola bilərlər.



Şək. 4.1 Reaktor qoşulmuş xəttə gərginlik və cərəyan paylanması. Əyri reaktorun xəttin sonuna qoşulduğu hal üçündür

Açıq xətt üçün qəza sxeminə hesablanan reaktor, təkcə xəttin gücünə görə deyil, onların yerləşdiyi nöqtəyə görə də gərginliyin məhdudlaşdırılmasına təsir edir. Reaktor xəttin əvvəlinə qoşulduqda, xətt boyu gərginlik paylanması və xəttin ötürmə əmsalı reaktorsuz haldakı kimi olur (9.2.5) və (9.2.6). Lakin, mənbədən keçən tutum cərəyanını kompensasiya etdiyindən, reaktor xəttin giriş müqavimətini artırır. Xəttin əvvəlinə qoşulmuş reaktorla, giriş müqaviməti aşağıdakı kimi yazılır:

$$\underline{Z}_{gir} = \frac{-jZ_d \operatorname{ctg} \beta l}{1 - q \cdot \operatorname{ctg} \beta l}, \text{ burada } q = Z_d / X_r \quad (9.2.22)$$

Ötürmə əmsalı isə, (9.2.7)-də verilmiş şəkildə qalır.

Tutum cərəyanının tam kompensasiyası üçün (9.2.22)- də məxrəc sıfıra çevrilməlidir. Yəni, reaktorun gücü  $q = \operatorname{tg} \beta l$  olmalıdır. Bu güc isə, reaktor üçün çox böyük qiymət olduğundan, tutum cərəyanının tam kompensasiyası tövsiyə edilmir.

Reaktor xəttin sonuna qoşulduqda ötürmə əmsalının azalmasına səbəb olur:

$$K = \frac{1}{\cos \beta l \cdot (1 + q \cdot \operatorname{tg} \beta l)} \quad (9.2.23)$$

Əgər,  $1/q = X_r / Z_d = \operatorname{tg} \varphi_c$  ilə əvəz edilərsə, (9.2.23) ifadəsi daha uyğun bir şəkildə düşər:

$$K = \frac{1}{\cos \beta l + \operatorname{ctg} \varphi_c \cdot \sin \beta l} = \frac{\sin \varphi_c}{\sin (\beta l + \varphi_c)} \quad (9.2.24)$$

Əgər dalğa uzunluğu  $\varphi_c$  olan qısa qapanmış xəttin giriş müqaviməti  $jZ_d \operatorname{tg} \varphi_c$  kimi götürülsə, sonuncu ifadə aşağıdakı fiziki mahiyətə uyğun gəlir: -a) reaktor, dalğa uzunluğu  $\varphi_c$ , giriş müqaviməti  $X_r$ -olan, qısa qapanmış xətt kimi götürülür, b) sonuna reaktor qoşulan bütün xətt isə,  $(\beta l + \varphi_c)$  dalğa uzunluğu olan, qısa qapanmış xətt kimi götürülür. Bu xətt boyu  $U(x)$  gərginlik paylanması üçün şək.9.2.3 -də verilir. Göstərilən şəkildə  $x$  xəttin sonundan sayılır. Gərginliyin göstərilən maksimal qiyməti, aşağıdakı nöqtəyə uyğun gəlir:

$$\left. \begin{aligned} \sin(\beta l - x) + \varphi_e &= 1; & \beta l - x &= \pi/2 - \varphi_e \\ U_{\max} &= U \sin(\beta l + \varphi_e) \end{aligned} \right\} \quad (9.2.25)$$

Şəkilə xəttin başlanğıcında gərginlik artımı görünür. Bunun səbəbi ilk anda xəttədən keçən tutum cərəyanıdır. Gərginliyin maksimal qiymətində isə, bu cərəyan sıfırdan keçir və induktiv xarakterli olur. Bu səbəbdən xətt boyu gərginlik azalır.

Sonuna reaktor qoşulmuş xəttin giriş müqaviməti aşağıdakı kimi yazılır:

$$Z_{gir} = jZ_d \operatorname{ctg} \beta l \frac{1 + q \cdot \operatorname{tg} \beta l}{1 - q \cdot \operatorname{ctg} \beta l} \quad (9.2.26)$$

Müqayisə etdikdə görünür ki, bu müqavimət reaktorun xəttin əvvəlinə qoşulduğu haldakı müqavimətdən (9.2.22) böyükdür. Buna baxmayaraq, tutum cərəyanının tam kompensasiya şərti, reaktorların bərabər güclərində ödənilir. Bunun səbəbi kəsrin məxrəcələrinin eyni olmasıdır.

(9.2.26) ifadəsindən, xəttin başlanğıcı və sonunda gərginliklərin bərabərlik şərtinə əsasən ( $K=1$ ), reaktorun gücünü hesablamaq olar. (9.2.24)-dən  $\sin \varphi_e = \sin(\beta l + \varphi_e)$  olur. Bu bərabərlik  $\beta l + \varphi_e = \pi - \varphi_e$  şərtində ödənəcəkdir. Oradan isə, aşağıdakı çevrilmiş ifadəni yazmaq olar:

$$\varphi_e = \frac{\pi}{2} - \frac{\beta l}{2}; \quad q = \frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_e} = \operatorname{ctg} \varphi_e = \operatorname{tg} \frac{\beta l}{2}. \quad (9.2.27)$$

Bu halda xəttin giriş müqaviməti aşağıdakı kimi olar:

$$Z_{gir} = jZ_d \operatorname{tg} \left( \beta l + \frac{\pi}{2} - \frac{\beta l}{2} \right) = -jZ_d \operatorname{ctg} \frac{\beta l}{2} \quad (9.2.28)$$

Şəbəkələrimizdə əsasən kompensasiya reaktorlarının, xətlərin əvvəli və sonuna qoşulduğu bu iki halı tətbiq edilir. Bu paragrafda alınmış ifadələrin köməyi ilə, xətlərə qoşulan reaktorların güclərini hesablamaqla, xəttin reaktiv güc və gərginlik xarakterini təyin etmək olar.

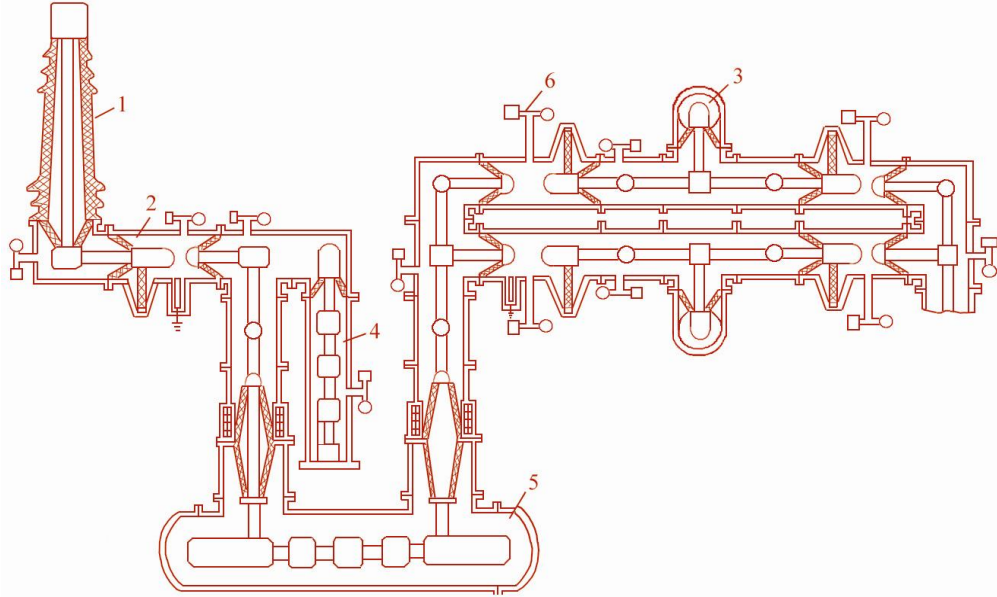
Azərbaycanda uzununa kompensasiya (tutum batareyaları) və xəttin ortasına qoşulmuş eninə reaktor kompensasiyası olmadığından həmin sxemlərə bu kitabda baxılmamışdır. Tutum batareyaları tətbiq edilən sxemlər çox uzun məsafələrə çəkilməmiş xətlərin induktiv müqavimətlərinin kompensasiyası üçün istifadə edilir. Onların təsiri xüsusi məsələlər kimi öyrənilə bilər [36].

## 11.7 Komplekt paylayıcı quruluşlar

Elektrik stansiya və yarımstansiyalarında quraşdırılan elektrik maşınları, transformatorlar, elektrik hava və kabel xətləri idarə edilməlidirlər. Onlar eyni zamanda zədələnmələr, anormal iş rejimlərindən mühafizə olunmalıdırlar. Bunun üçün kommutasiya aparatları, ölçü transformatorları, cərəyan məhdudlaşdırıcı reaktorlar, boşaldıcılar və birinci dövrəyə qoşulan digər elektrik avadanlıqları lazımdır. Eyni zamanda PQ-da idarə aparatları, ölçü-nəzarət, rele mühafizəsi və avtomatika cihazları olmalıdır. PQ elektrik avadanlıqlarının *daxili* və *xarici* növlərinə aid olmaqla bina daxili və xaricə quraşdırılan tiplərə bölünür. Sonuncu tip avadanlıqlar havanın geniş diapazonlarda dəyişən temperaturlarında, yağış, qar, buzlaşma, külək və günəş radiasiyasının təsirləri altında işləyirlər.

Stansiyalarda PQ-lar transformator və ya avtotransformatorlarla birləşdirilən (əlaqələndirilən) bir neçə nominal gərginlik pillələrinə malik olurlar.

Komplekt paylayıcı quruluşlar, sifarişçinin verdiyi texniki şərtə uyğun olaraq, zavodda hazırlanmış, böyük bloklar şəkilində daşınma və quraşdırmaya, quraşdırıldıqdan sonra isə şəbəkəyə qoşulmağa hazır olan qurğulardır. Onlar, metal mühafizə örtüyü təşkil edən, mexaniki möhkəm karkas gövdədən ibarətdirlər. Bu gövdələrin içərisində birinci dövrənin yüksək gərginlikli açar, ayırıcı, cərəyan və gərginlik ölçü transformatorları, ikinci dövrənin rele mühafizə və avtomatika cihazları montaj edilir şək.11.7



Şək. 11.7 123 - 362 kV-luq eleqaz izolyasiyalı "SIEMENS" qapalı tip QPQ

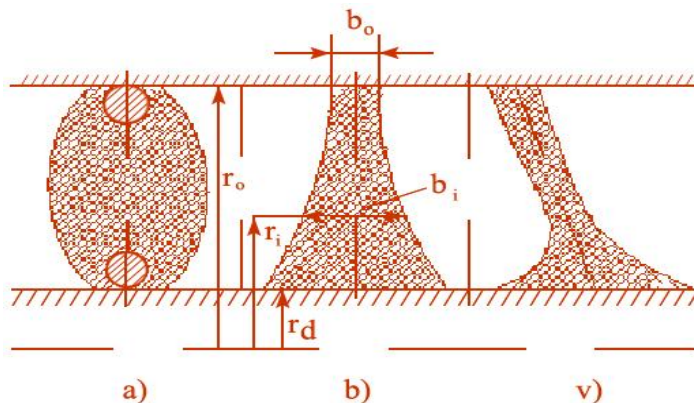
Xarici firmalarda qapalı tip paylayıcı quruluşların daha kompakt və uyğun tipləri hazırlanmışdır. Şək.11.8-də "SIEMENS" firmasına məxsus QPQ-nin sxemi verilir.

525 kV – a qədər olan QPQ-də hər üç fazanın şinləri bir boru içərisində yerləşdirilir. Keçirici şinlər üçbucağın təpə nöqtələrində yerləşdirilir. Şinlər borudan xüsusi formalı epoksid izolyatorlar vasitəsi ilə izolə edilir şək.11.8.

Mərkəzdən məsafə saxlayan disk şəkilli izolyatorların şək.11.8.b gövdəsində maksimal ESG-nin mümkün qədər çox azaldılması izolyatorlara xüsusi forma verməklə həll edilir. Bu zaman izolyatorun qalınlığını HPQ-n xarici qılafından mərkəzə uzaqlaşdıqca, aşağıdakı formulaya uyğun şəkildə artırmaq lazımdır:

$$b_i = b_0 \left( r_0 / r_i \right)^{\alpha} \quad (2.5.7)$$

burada  $b_0$ -  $r_0$  radiuslu HPQ qılafı yaxınlığında qəbul edilmiş qalınlıq;  $r_i$  – kəsiyin  $b_i$  qalınlığına uyğun olan radiusudur.



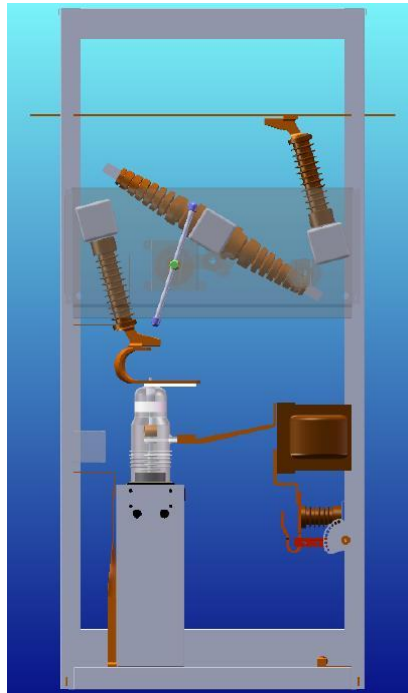
Şək.11.8. HPQ-da məsafə saxlayıcı dayaq izolyatorlarının əsas növləri (eskizlər) a)ekranlı tökmə epoksid kompaund, b,v)disk qıl şəkilli,

Epoksid kompaundlu ( $\epsilon \approx 4\epsilon_0$ ) diskşəkilli izolyatorlar koaksial elektrodlar arasında ən kiçik məsafəni tutmalıdır. Bu zaman, maksimal və orta gərginliklərin nisbətinin izolyator qalınlığı üzrə minimal qiyməti -  $E_{mak}/E_{or}=1,2$  olur. Hesabatlarda (2.5.7) ifadəsinə daxil olan digər parametrlər: -  $a=2,5$ ,  $b_0=0,067r_d$  və  $r_0/r_d=e$  qiymətlərində götürülür.

Qıf şəkilli izolyatorlarda *şək.2.5.5* v boşalma gərginliklərini artırmaq üçün, daxili elektrodun səthi yaxınlığında qalınlıq çoxaldılır. Bu halda qalınlıq, daxili və xarici elektrodlar arasındakı məsafənin 45<sup>0</sup>-lik bucaq istiqamətindəki yarı məsafəsi qədər artırılır. Belə konstruksiyalarda, qıf şəkili izolyatorun qalınlığına düşən ESG, disk şəkilli izolyatordakı ESG-dən 10% aşağı olur.

QPQ-də ayırıcıların konstruksiyaları paylayıcı quruluşdakı elementlər və aparatlarının yerləşmə qaydası ilə əlaqədar olaraq seçilir. QPQ-da ayırıcılar seçildikdə PQ-ın baş sxemi, gərginlik və cərəyan transformatorları, mühafizə aparatlarının tipləri və yerləşməsi nəzərə alınır. Ona görə bütün hallar üçün universal ayırıcı konstruksiyası seçmək mümkün deyildir. Yüksək gərginlik ayırıcılarının müxtəlif konstruksiyalar şəkilində olması da bununla izah edilir. Bütün ayırıcılarda əsas işçi element olan, hərəkətli və tərpənməz kontakt sistemləri vardır. Hərəkətli kontaktlar izolyasiya dəstəyi və intiqal mexanizmi vasitəsi ilə hərəkət etdirilir. Bunlardan başqa, ayırıcılar dayaq izolyatorları, cərəyan keçirən hissələrin ekran sistemləri kimi hissələrdən ibarətdir. Dayaq izolyatorları kontakt sistemlərini və ekranları saxlayan, elektrik izolyasiyası və montaj üçün olan əsas konstruksiyalardır.

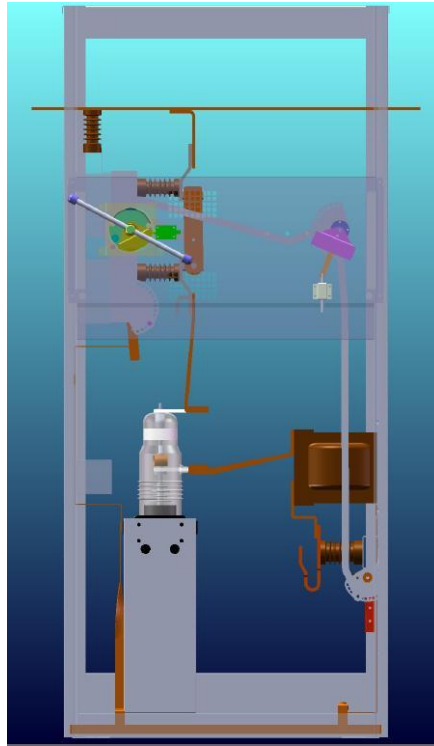
Aşağıda 6(10) gərginlik paylayıcı komplekt qurğularda iki növ ayırıcının tətbiqi göstərilmişdir: 6(10) və 35 kV yarımstansiyalarda elektrik enerjisinin girişi və paylanması üçün birtərəfli xidmət olunan (KSO- tip kameralar) istifadə edilir. Onlar orta gərginlik yuvaları olaraq istehsal edilir *şək. 3.9*.



*Şəkil 3.9 Birtərəfli xidmət olunan 10 kV-luq Vakuum açarlı, dönmən tip ayırıcısı olan yuva*

Şək.3.10-də mərkəzi oxu üzrə dönmən ayırıcı bir tərəfli xidmət edilən yığma kamera göstərilmişdir.





*Şək. 3.10 Adi ayırıcılı (Rus variantı RVRz-10 torpaqlama bıçaqlı), 6-10 kV birtərəfli xidmət olunan paylayıcı yığma kamera- BXYK*

Burada ayırıcının oxu dəqiqliklə şinlə açarın çıxış kontaktı arasında olan çevrə mərkəzinə düşməsi hesablanıb montaj edilir. Ayırıcının iki tərəfli tərpənməz kontaktlarından biri şinlə, digəri isə açarın çıxış kontaktı ilə əlaqəlidir. Bu kontakt ucları yuvanın sağ və sol divarlarında sabit bərkidilmiş epoksid gövdəli dayaq izolyatorları üzərində montaj edilmişdir.

### 7.3. Ayırıcılar

Ayırıcılar nominal gərginliklər və cərəyanları; quraşdırılma növü (daxilə və xaricə quraşdırılmış tipləri); qütblər sayı (bir, iki və ya üç qütblü); idarə qaydası (əl ilə, elektrik və pnevmatik intiqallı); və nəhayət torpaqlanma bıçaqlarının olub olmaması ilə fərqlənirlər.

Ayırıcılar elektrik stansiya və yarımstansiyalarının ən çox istifadə olunan qurğularıdır. Yüksək gərginlik şəbəkələrinin sxemlərində onların sayı açarlara nisbətən 2,5 – 4 dəfə çox olur. Onlar şəbəkədə gözlə görünən açılmalar yaratmaq üçün istifadə edirlər. Ayırıcılar həmişə yüksüz dövrələr halında qoşulub açılmalıdır. Ona görə şəbəkəni yükdən açıqda ayırıcı açardan sonra açılmalı, qoşduqda isə açardan əvvəl olan əməliyyat sırasında qoşulmalıdır. Yüklü şəbəkə elementlərinin ayırıcı ilə açılması qadağandır. Çünki, ayırıcının açıq kontaktları arasında yaranan qövs çox böyük ölçülərə çataraq qonşu fazalara və ya torpaqlanmış elementlərə sıçraya bilər. Açıq paylayıcı quruluşlarda olan ayırıcılar bütün iqlim şərtlərində (külək, buzlaşma, çirklənmə, nəmlənmə və s) etibarlı olaraq açıb qapama əməliyyatı aparmalıdırlar.

Xətt məftillərində olduğu kimi ayırıcıların kontaktları yaxınlığında da taclanma hadisəsi baş verir. 220 kV və daha yüksək gərginliklərdə həmin ətrafda taclanmanın ləğv edilməsi üçün, bərabərləşdirici ekranlar tətbiq edilir. Yüksək gərginliklərdə həmin ekranlar ayırıcıların dayaq sütunları üzrə ESG-ni bərabərləşdirir.

Ayırıcıların konstruksiyaları paylayıcı quruluşdakı elementlər və aparatlarının yerləşmə qaydası ilə əlaqədar olaraq seçilir. Ayırıcılar seçildikdə PQ-ın baş sxemi, gərginlik və cərəyan transformatorları, mühafizə aparatlarının tipləri və yerləşməsi nəzərə alınır. Ona

görə bütün hallar üçün universal ayırıcı konstruksiyası seçmək mümkün deyildir. Yüksək gərginlik ayırıcılarının müxtəlif konstruksiyalar şəkilində olması da bununla izah edilir. Bütün ayırıcılarda əsas işçi element olan, hərəkətli və tərpənməz kontakt sistemləri vardır. Hərəkətli kontaktlar izolyasiya dəstəyi və intiqal mexanizmi vasitəsi ilə hərəkət etdirilir. Bunlardan başqa, ayırıcılar dayaq izolyatorları, cərəyan keçirən hissələrin ekran sistemləri kimi hissələrdən ibarətdir. Dayaq izolyatorları kontakt sistemlərini və ekranları saxlayan, elektrik izolyasiyası və montaj üçün olan əsas konstruksiyalardır. Ayırıcılar nominal gərginliklər və cərəyanları; quraşdırılma növü (daxilə və xaricə quraşdırılmış tipləri); qütblər sayı (bir, iki və ya üç qütblü); idarə qaydası (əl ilə, elektrik və pnevmatik intiqallı); və nəhayət torpaqlanma bıçaqlarının olub olmaması ilə fərqlənirlər.

Bunlardan başqa ayırıcılar nominal gərginlik, cərəyanlarına və ya digər əlamətlərinə görə, fərqlənən müxtəlif konstruksiyaları (kontakt hərəkətinin üfqi, şaquli, maili və s. olması ilə) əhatə edirlər. Onlar aşağıdakı kimi fərqləndirilir:

*Vertikal dönən* (kəsicici tip). Bu ayırıcılarda bıçaqların qapanması və açılması dayaq izolyatorlarının oxuna paralel müstəvidə fırlanma hərəkəti ilə yerinə yetirilir şəkl.7.3.3 a.

*Horizontal dönən* (fırlanan) tip. Bu ayırıcılarda bıçaqların qapanma və açılması dayaq izolyatorlarının oxuna perpendikulyar müstəvidə fırlanması ilə yerinə yetirilir şəkl. 7.3.3 b.

610)-35 kV daxili tip yığma kameralarda mərkəz oxu üzrə bağlanmış izolyatorların fırlanma tipli (dönən) olan ayırıcılar, izolyasiya məsafələri saxlanılmaqla kameraların daha yığcam ölçülərdə alınmasına imkan verir. Azərbaycanda «GBS» və «AzEIKo» şirkətləri tərəfindən hazırlanan yığma kameralarda belə ayırıcılar təbiq edilmişdir.

*Yellənən tip 7.3.3 c.* Burada kontakt bıçaqları izolyatorlarla bərabər və onların oxuna paralel hərəkəti ilə baş verir.

*Diyirlənən tipli ayırıcılar.*

Düz xəttli hərəkət edən, qatlanan bıçaqlı, asma tip ayırıcılar da mövcuddur 7.3.3 d,e.

Pantoqraf ayırıcılar şaquli qalxan konstruksiyalara malik olurlar.

Şəkl.7.3.4-də tək və iki izolyator sütunu üzərində montaj edilmiş horizontal dönən tip ayırıcıların sxemləri verilir.

Bundan başqa ayırıcılar daxili və xarici qurğular üçün, dayaq izolyatorlarının fərqi görə bir neçə tip və konstruksiyalara malik olurlar.

### 7.3.2. Ayırıcıların izolyasiya hesabatlari

Ayırıcılar gözlə görünən açıq kontaktlar arasında və izolyasiya məsafələrində yaxşı elektrik izolyasiya səviyyəsinə malik olmalıdırlar. Buraya əsasən aşağıdakı hissələrin izolyasiya səviyyələri aiddirlər: a) gərginlik altında və torpaqlanan hissələr arasında izolyasiya; b) gərginlik altında olan qonşu fazlar arası izolyasiya; v) bir qütblün açıq kontaktları arasında izolyasiya.

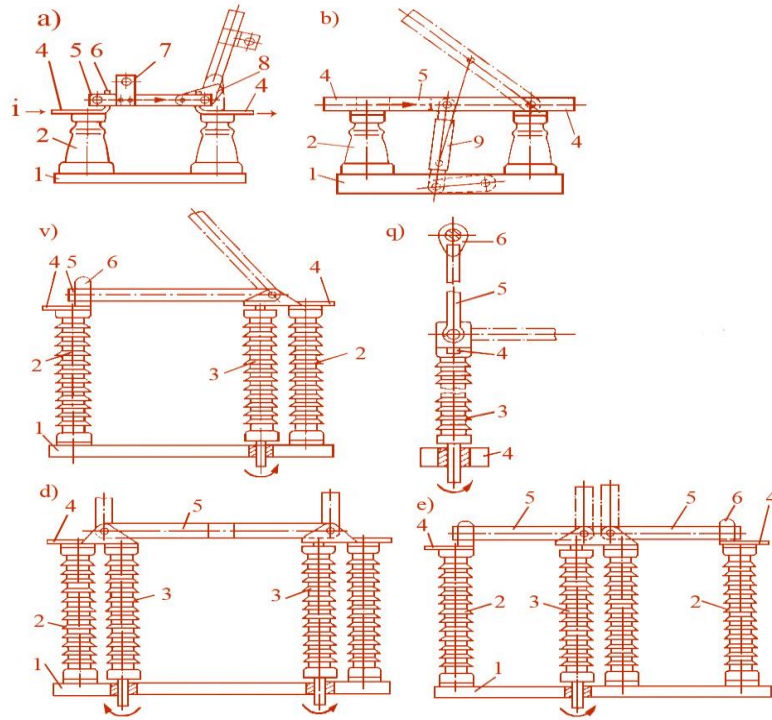
Göstərilmiş bu elementlər arasında elə izolyasiya yaradılır ki, ayırıcı IEC 62271 və DÜİST 1516.1-76 standartlarına uyğun gəlsin.

Ayırıcıların yuxarıda göstərilmiş əsas izolyasiya məsafələrinin minimal qiymətlərini təyin etmək üçün, təcrübələrdən alınmış asılılıq əyriləri şəkl.7.3.4 – 7.3.6 və ya təcrübə yolla alınmış empirik ifadələrdən istifadə edirlər.

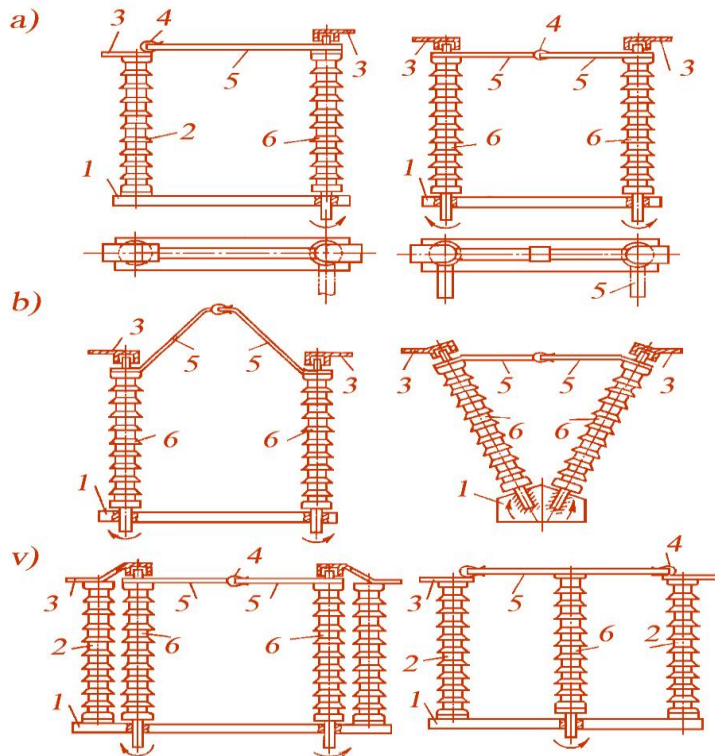
Məlumdur ki, ayırıcılar digər şəbəkə aparatları kimi, mümkün olan bütün gərginliklərin təsirinə məruz qalır. Ona görə, izolyasiya məsafələri üçün sənaye tezlikli gərginlik, standart impuls gərginliyi və kommutasiya impuls gərginlikləri üçün əyrilər və empirik ifadələr tətbiq edilir.

**Sənaye tezlikli gərginliklər təsir etdikdə izolyasiya aralıqları məsafələrinin təyin edilməsi.** Şəkl.7.3.5-7.3.7-də göstərilən gərginlik təsirləri ilə havada izolyasiya aralıqlarını təyin etmək üçün olan əyrilər göstərilmişdir. Havada deşilmə gərginliyinin qiyməti, xarici izolyasiyanın quru və təmiz olduğu halda 50 Hs, 1 dəqiqə saxlanan sınaq gərginliklərinin

deşilmə gərginliklərindən 5-10 % böyük olur. Burada gərginliyin təsiredici qiymətləri götürülür.



Şək.7.3.3. Veritikal dönən tip 6(10)kV a) və b), 35-220 kV izolyatoru üzərində horizontal dönən və bıçaqları qatlanan tip ayırıcılar:- v), q), d), e)



Şək.7.3.4. Müxtəlif tip tək və cüt izolyatorlu, vertikal və V şəkilli yüksək gərginlikli horizontal dönən tip ayırıcıların konstruksiyaları

## İkinci dövrə birləşmə sxemləri ilə elektrik qurğularının idarə edilməsi

Elektrik enerjisinin mənbədən işlədicilərə qədər keçdiyi yolu göstərən əsas sxem və ya birinci dövrə birləşmələri ilə yanaşı ikinci dövrə elementləri də sərfəli birləşmə sxemlərinə malikdirlər. İkinci dövrə elementləri və cihazlarına cərəyan və gərginlik ölçü transformatorların çıxışlarının birləşmələri, rele mühafizə və avtomatika, gərginlik, cərəyan və güc cihazları (voltmetr, ampermetr, vattmetr), avtomatik idarə qurğuları, qəza və qabaqlayıcı siqnal cihazları daxildir. Avtomatika qurğuları, o cümlədən rele mühafizə cihaz və elementləri elə yerlərdə qurulmalıdır ki, onlar rejim dəyişmələrinə tez reaksiya versinlər və qəzalılıq dövrənin dərhal açılmasını təmin etsinlər. Məsələn, QQ-da dövrənin bir sıra yerlərində cərəyanların kəskin artması və sistemin həmin zədəli hissəsinin dərhal açılması ilə, şəbəkənin digər sağlam yerlərindəki avadanlıqların daha az zərər görməsini və dövrənin qalan elementlərinin işinə davam etməsinə nail olunur.

Elektrik qurğularının səmərəli və etibarlı işləməsi ikinci dövrə elementləri və sxemindən asılıdır. Bu sxemlərin keyfiyyətli tərtibatı və oraya daxil edilən cihaz və aparatların etibarlı şəkildə montaj edilməsi böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Təyinatlarına görə ikinci dövrə birləşmələri aşağıdakı tiplərə bölünürlər: a) prinsial, b) tam, c) montaj və quraşdırma.

Prinsial sxemlər rele mühafizəsi, idarə və siqnalizasiya, ölçü cihazlarını birləşmələrinin ayrı-ayrı elementlərinin təşkil etdiyi dövrələrdir.

Prinsial sxemlər ikinci birləşmələri əhatə edən tam sxemin yaradılması üçün əsas təşkil edir. İkinci sxemlər funksional, texnoloji və struktur əlamətləri ilə fərqlənən generator, xətt, transformator, xüsusi sərfiyyat mexanizmlərinə aid olan göstəriciləri ilə tam sxemin bir qolu kimi təsir edirlər.

Montaj sxemləri, ikinci dövrənin quraşdırılması üçün lazım olan işçi cizgilərdən ibarətdir. Montaj sxemlərində avadanlıqların hansı ardıcılıqla və hansı vasitələrlə necə birləşdirilməsi göstərilməlidir. Güc və kontrol kabellərinin en kəsiyi, tipləri, montaj sıxaclarının sırası və sınaq sıxacları verilməlidir. Montaj cizgiləri avadanlığın ərazi üzrə səpələnməsi və yerləşməsinə həll edir. Burada paylayıcı quruluş yuvaları, rele, avtomatika və elektrik idarə lövhələrinin birləşmə ardıcılığı göstərilir.

Montaj zamanı ləbüd olan dəyişikliklər və əlavələr edildikdən sonra, işin icrası üçün son işçi cizgələr hazırlanır və bu cizgələr qurğuların istismarında əsas sənəd kimi istifadə edilir.

Prinsial və tam sxemlər təsvir formasına görə qapalı (yığcam) və açıq (geniş) şəkildə olurlar. Qapalı sxemlərdə cihaz və aparatlar, onlara aid olan sarğılar və kontaktlarla yığılmış vəziyyətdə birlikdə göstərilir. Sxemdə olan elementlər sayı çox olduqda, yığcam sxemlərin oxunması mürəkkəbləşir. Cizgilərə görə natura sxemlərin elektrik birləşmələrinin doğruluğunu yoxlamaq çətin olur.

Açıq (geniş) sxemlərdə cihaz və aparatların tərkibində olan bütün elementlər və hissələr verilir. Bu elementlər cərəyanın istiqamətinə görə, məsələn + dən – yə tərəf, fazadan-fazaya, fazadan-neytrala doğru öz aralarında birləşmə ardıcılığı ilə göstərilir. Elementlər sxem üzrə cərəyanın istiqamətində qayda ilə, 1) soldan sağa sətirlərin yuxarıdan aşağı şaquli istiqamətdə düzülüşünə görə, 2) yuxarıdan aşağı sətirlərin üfüqi istiqamətdə soldan sağa düzülüşünə görə oxunan şəkillərdə olur.

Şəkil – də kabel xəttlərinin yığcam və geniş şəkildə verilmiş prinsial sxemləri göstərilmişdir.

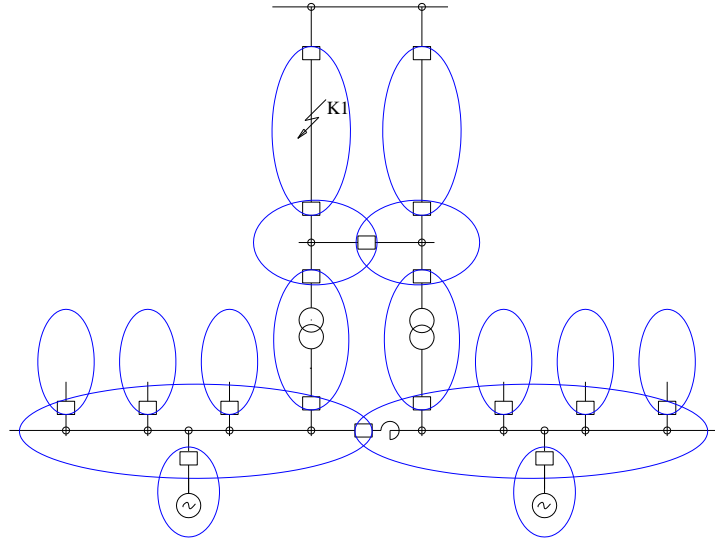
Sxemlər cihaz və aparatların siyahısı, şərti işarələri, tipləri, texniki məlumatları və mümkünsə zavod kataloq nömrələri ilə də əlavə olaraq cədvəl şəkilində göstərilməlidir.

Mürəkkəb sxemlərin, xüsusi ilə avtomatika qurğularının olduğu halda, layihələndirilməsi açıq və geniş sxemlərin tətbiqi ilə mümkündür. Onlar sxemin təsirini izləməyə, dövrələrdə olan yanlışlığı tez aşkar etməyə və torpaqlanması nəzərdə tutulmayan ikinci dövrə elementlərinin yaratdığı uyumsuzluğu tez aradan qaldırmağa imkan verir.

Açıq sxemlərin daha uyğun (anlaşılan) olması üçün, montaj vahidləri olan cihazlar və aparatların aydın şəkildə markalanması ilə yanaşı, orada olan kabel və digər birləşmələrin də markalanması vacibdir.

Cərəyan dəyişmələrinə reaksiya verən avtomatika qurğuları ikinci dövrənin bərləşmə sxemlərinə komandalar göndərir. Avtomatika qurğuları cərəyan dəyişmələrinə, güclərin istiqaməti və digər faktorlara görə təsir edirlər. Nəticədə idarə olunan dövrə hissəsindəki açarların işinə dərhal və avtomatik qaydada müdaxilə olunur.

Sistem elementlərinin avtomatik açılması seçicilik prinsiplərinə - "selektivliyə" malik olmalıdır. Bu dövrənin ixtiyari hissəsinin zədələnməsi halında, həmin yerə yaxın olan açarın açılması deməkdir. Bu zaman sistemin digər hissəsinin işi pozulmamalıdır şək. 7.5.



Şək.7.5 Stansiya və dövrə hissəsinin elektrik sxemi. Mavi dairələr stansiya və dövrənin hissələrində zədələnmələr olduğu halda açılan sahələrin sərhədlərini göstərir.

### Torpaqlama sistemləri

Torpaq termini - 50 periodlu cərəyanın keçdiyi, torpağın üz qatı sayılır. Torpağı təşkil edən əsas maddələr silisium iki oksid -  $\text{SiO}_2$  və  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -dür. Hər iki maddə praktiki olaraq cərəyanı keçirmir. Torpağın keçiriciliyi isə, bu maddələr arasında keçən su buxarları və həll olmuş duzların hesabına baş verir. Beləliklə torpaq elektrolitik keçiriciliyə malik olur.

Ona görə xüsusi müqavimət -  $\rho$  torpağın cinsindən və ilin mövsümündən asılı olaraq dəyişir. Lakin torpağın 2.5 mt dərinliyində müqavimətin qiyməti sabit olduğundan, torpaqlayıcının ümumi müqaviməti də dəyişmir. Buna baxmayaraq, mövsüm əmsali ölçülən müqavimətin hesabat qiymətini aşağıdakı kimi dəyişdirir:

$$\rho = K \cdot \rho_{ölç}$$

burada  $K$ - mövsüm əmsali,  $\rho_{ölç}$  - qrunun ölçülən xüsusi müqavimətidir. Əgər ölçmələr normal nəmlik şəraitində aparılırsa,  $K=1.4$  ; yüksək nəmlik şəraitində aparılırsa,  $K=2.6$  olaraq qəbul edilir.

Bir sıra qrunlarda torpağın xüsusi müqavimətləri aşağıdakı qiymətlərdə olur:-  
*Qayalıq yerlər - 1000 Om·m; Qum - 500 Om·m; Gil - 60 Om·m; Qara torpaq - 50 Om·m; Çay suyu- 10-30 Om·m; Dəniz suyu - 1-10 Om·m.*

Torpaqlayıcı qurğulara qoyulan tələblər, onların ödəyə biləcəyi parametrlərə görə təyin edilir. Bu parametrlərin əsasını elektrik təhlükəsizliyi tələbləri təşkil edir: -

a) effektiv-torpaqlanmış şəbəkələrdə torpaqlayıcının potensialı 10000V-dan və ilin bütün fəsilərində müqavimətin 0.5 Om-dan böyük olmadığı halda elektrik təhlükəsizliyinin təmin

olunduğu qəbul edilir. Bu şərtlər yerə ötürülən cərəyanın qiyməti və təsir müddətindən asılı olmamalıdır. Əlavə olaraq EQQQ & 17.5.1-ə əsasən torpaqlayıcıların konstruksiyalarına bir çox xüsusi tələblər qoyulur.

b) İzolə edilmiş və ya qövs söndürücü sarğacalar (reaktorlar) vasitəsi ilə torpaqlanmış elektrik təhlükəsizliyi aşağıdakı şərtlər daxilində təmin edilmiş olur: -

yalnız 6-35 kV elektrik qurğularının torpaqlayıcıları üçün potensial 250 V-dan çox olmamalıdır. Bu halda torpaqlayıcının müqaviməti –  $R_t=250/\dot{I}_t$  və  $10\text{ Om}$  dan kiçik.

Eyni zamanda ikinci tərəf gərginliyində - 380/220 V işlədilən torpaqlayıcı qurğuların potensialı 125 V- dan böyük olmamalı, müqaviməti –  $R_t=125/\dot{I}_t$  və  $4\text{ Om}$  kiçik. Burada 125 V-luq aşağı potensial, neytral - sıfır məftilinin potensialının məhdudlaşdırılması və bütün sistemin sıfırlanması məqsədi daşıyır.

Böyük impuls cərəyanları –ildırım impulsları- təsir etdikdə, torpaqlayıcı elektrodlardan keçən cərəyanın sıxlığı çox böyük olur. Ona görə elektrodların səthinə yaxın torpaq sahəsində yüksək elektrik sahə gərginliyi-  $E=J\rho$  meydana çıxır. Elektrodların ətrafında qığılımlı zona yaranır. Torpağın elektrik deşilməsi onun ölçülərinin böyüməsi kimi effekt yaradır və torpaqlama müqaviməti azalır.

### 8.1.1. Torpaqlayıcıların impuls rejimlərdə hesablatları

İmpuls rejimində cərəyanın sürətli artımı onun cəbhəsində torpaqlayıcı elektrodun induktiv müqavimətinin yaranmasına səbəb olur. İnduktiv müqavimət öz növbəsində torpaqlayıcı elektroddan ətrafa ötürülən cərəyanın qiymətini məhdudlaşdırır.

İmpuls rejimində torpağın dərinliyində qığılımlı boşalmalar hesabına aktiv müqavimətin azalması və əksinə, torpaqlayıcının induktiv müqaviməti hesabına, onun artması ikili effekt yaradır. Hər iki səbəbdən meydana çıxan impuls müqavimətinin - $R_t$  dəyişməsi, torpaqlayıcının 50 Hs tezlikdə malik olduğu (8.1.1), (8.1.2) və (8.1.3) ifadələri ilə hesablanan normal -  $R$  müqavimətdən fərqli və nisbətən kiçik olur.

İmpuls torpaqlama müqavimətinin stasionar torpaqlanma müqavimətinə olan nisbəti impuls əmsalı adlanır:

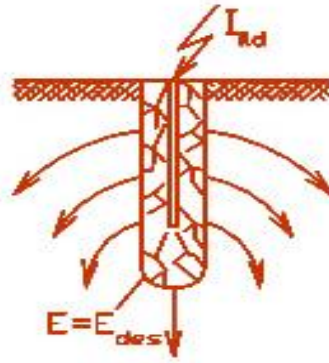
$$\alpha_{imp}=R_{imp}/R. \quad (8.1.4)$$

Tutaq ki, dərinliyi  $t=0$  olan şaquli elektroddan torpağa axan cərəyan  $\dot{I}$ -dir. Torpaqlayıcı elektrodlardan ildırım impuls cərəyanı  $\dot{I}_{ild}$  keçdikdə, onlarda yaranan yüksək cərəyan sıxlığı -  $J=\dot{I}_{ild}/(2\pi r \cdot l)$ , elektrodların səthində böyük elektrik sahə gərginliyinə (ESG) səbəb olur:-  $E=J\rho$ . Bu ESG-yi isə, torpaqlayıcının yaxınlığında qrunzun deşilməsinə səbəb olur.

Elektrodlar ətrafında qığılımlar yaranır. Nəticədə onların effektiv ölçüləri artmış, torpaqlanma müqaviməti isə azalmış olur. Lakin ildırım impulsunun cəbhə hissəsində cərəyanın kəskin artması, torpaqlayıcıda paylanmış xarakterli induktivliyin yaranmasına səbəb olduğundan onların səthindən ətrafa ötürülən cərəyan azalır, nəticədə isə müqavimət artır.

Torpaqlayıcı elektrodun torpaqla kontakt edən səthi yaxınlığında  $r_{qz}$  radiuslu qığılımlı boşadma zonası yaranır. Həmin ətrafdakı elektrik sahə gərginliyi, şəkl.8.1.2- də göstərdiyi kimi təyin edilir :

$$E_{des} = J\rho = \frac{I}{2\pi r_{qz} \ell} \cdot \rho \quad (8.1.5)$$



Şək.8.1.2. Şaquli elektrodun ətrafında, torpağın dərinliyində yaranan qığıljımlı zona

(8.1.5) - dən qövs zonasının radiusu üçün yazılır:

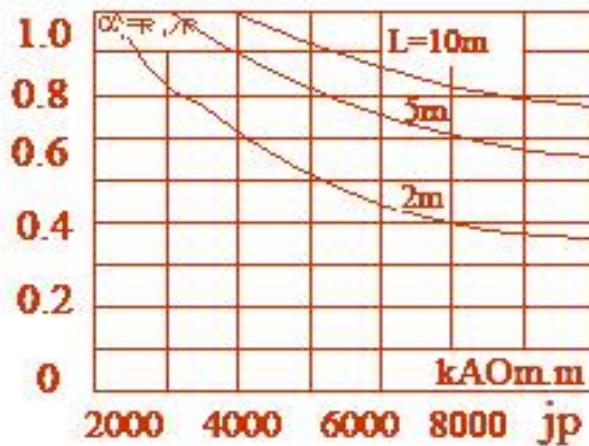
$$r_{qz} = \frac{I\rho}{2\pi l E_{des}} \quad (8.1.6)$$

Ətrafında qığıljım zonası yaranan torpaqlama çubuğu, radiusu genişlənmiş elektrod kimi hesablandığından aşağıdakı impuls müqavimətinə malik olurlar:

$$R_i = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{r_{qz}} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4\pi l^2 E_{des}}{I\rho} \quad (8.1.7)$$

$$\alpha_i = \frac{\ln \left( \frac{4\pi l^2 E_{des}}{I\rho} \right)}{\ln \frac{2l}{r}} \quad (8.1.8)$$

Torpağın xüsusi müqaviməti və ildırım cərəyanı nə qədər çox olarsa, torpaqlayıcıların impuls müqaviməti bir o qədər az olur şək.8.1.3.



Şək.8.1.3. İmpuls müqavimətinin  $J_p$  hasilindən asılılığı

Əgər torpaqlayıcı,  $n$  ədəd boru və ya torpaqlayıcı zolaqlardan ibarət olarsa, onların impuls müqavimətləri aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$R_i = \alpha_i R / n \quad (8.1.9)$$

burada  $\eta_i$  -torpaqlayıcının impuls istifadə əmsəlidir. Bu əmsal qığılcım boşalmasında elektrodların ekranlaşdırma effekti hesabına, ildırım cərəyanının torpağa ötürülmə şətinin pisləşməsini göstərir.

Uzun müddətli təcrübələr nəticəsində müəyən S sahəsini əhatə edən torpaqlayıcı konturun müqavimətinin empirik ifadəsi alınmışdır şəkl.8.1.1. Vertikal və horizontal elektrodlarla tikilmiş torpaqlama konturunun tam müqaviməti aşağıdakı kimi hesablanır:

$$R_t = \rho \cdot \left( \frac{A}{\sqrt{S}} + \frac{1}{L} + n \cdot \ell \right) \quad (8.1.10)$$

burada  $\rho$ -qruntun xüsusi müqaviməti,  $L$  – bütün horizontal elektrodların cəm uzunluğu,  $L$  vertikal elektrodun birinin uzunluğu,  $n$ - onların sayıdır.

A əmsalı  $U/\sqrt{S}$  -dən asılı olaraq, müxtəlif qiymətlər alır:

$U/\sqrt{S} - \dots$	0	0,05	0,1	0,2	0,5
A . . . .	0,44	0,40	0,37	0,33	0,26

Torpaqlanma elektrodları ilə sistemin və avadanlıqların birləşdirilməsi qalvanik lamaların, 40-4 mm - dən az olmayan, qaynağı ilə aparılır. Bu zaman seçilən qaynaq elektrodları da qalvanizli olmalıdırlar.

Bunlardan başqa energetikada təbii torpaqlanma elementləri də istifadə edilir. Onlar yüksək gərginlik xətt dirəklərinin torpaqlanma konturları, binaların dəmir–beton özülləri, estakada konstruksiyaları, dəmir modul binaları və s təbii torpaqlanma sayılır.

Məişətdə təhlükəsizlik torpaqlaması kimi işlədilən çubuq şəkilli mis elektrodların təsisatlar və elektrik cihazları ilə birləşdirilməsi tək damarlı və izolyasiyalı mis məftillə yerinə yetirilir. İldırım ötürən üçün olan torpaqlama sisteminin aktiv hissə ilə birləşdirilməsi üçün cüt və çılpaq miss məftil ilə yerinə yetirilir. Bir sıra hallarda ildırım ötürənləri torpaqlama konturları ilə birləşdirilən, cərəyan keçirən enişləri də 120-150 mm<sup>2</sup> en kəsiyində olan çılpaq mis məftillə yerinə yetirilir. Deyilən torpaqlama sistemləri süni torpaqlanmaya aiddir. Şəkil 8.1.1-də S ərazisində qurulmuş, 6 ədəd şaquli torpaqlayıcıdan ibarət olan bir torpaqlama konturu göstərilmişdir.

Göründüyü kimi torpaqlanma müqavimətinin hesablarında qruntun xüsusi müqavimətləri, torpaqlayıcıların ölçüləri, yer səthindən olan dərinlik, və s. kimi parametrlər nəzərə alınır.

Deyildiyi kimi, stansiya və yarımstansiya torpaqlayıcı konturlarının toplam müqaviməti 10-15 Om arasında olmalıdır.  $E_{QQQ}$  -yı görə 110 kV və yüksək gərginlikli şəbəkələrdə torpaqlama 0.5 Om-a qədər, 1000 V-a qədər 4 Om olur. Yerlə birləşmə cərəyanlarının qiymətindən asılı olaraq, neytralı izolə edilən şəbəkələrdə müqavimətin buraxıla bilən qiymətləri aşağıdakı formulalar ilə hesablanır:

$$R_t = 250/\dot{I}_t \text{ və } R_t = 125/\dot{I}_t$$

burada  $\dot{I}$  tutum cərəyanı olub, aşağıdakı kimi hesablanır:  $\dot{I} = U \cdot (35I_k + I_{hx})/350$ ;  $I_k$  və  $I_{hx}$  – uyğun olaraq kabel və hava xəttlərinin uzunluqları,  $U$  - xəttin gərginliyidir, kV-la qəbul edilməlidir. Bu halda  $R_t$  -nin maksimal qiymətini 10 Om-dan çox götürmək olmaz.

Tutum cərəyanı kompensasiya edilən şəbəkələrdə  $\dot{I}$  cərəyanı kompensasiya edici qurğuların cərəyanından 1,25 dəfə çox götürülür.

Torpaqlayıcı qurğular istismara verildikdə onlara aid texniki sənədlər, təhvil-təslim sınaqlarının protokolları sınaq normalarına uyğun vəziyyətdə istismarçı müəssisəyə verilir.

Torpaqlayıcıların müqaviməti MC-08 tipli sabit cərəyan cihazı ilə ölçülür. Ölçmələr biri –birindən 10 mt uzaqlıqda yerə çalınmış zond və köməkçi elektrodlar (Şuplar) vasitəsi



ilə aparılır. Torpaqlanma müqaviməti alınmış gərginlik və cərəyanların nisbətindən tapılır. Hazırda bir sıra müasir elektron tipli müqavimət ölçən cihazlar da tətbiq edilir.

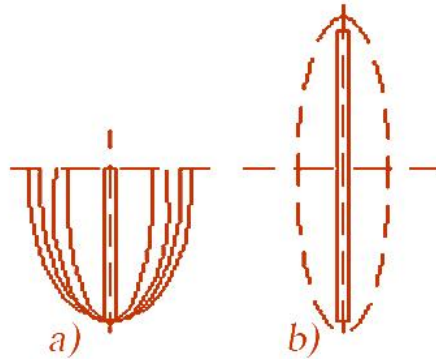
Torpaqlama ölçü-nəzarət sınaqları aşağıdakı həcmdə müxtəlif usullarla aparılır: - *torpaqlayıcı qurğu elementlərinin yoxlanılması*; bu mərhələdə baxılması mümkün olan elementlərin hamısına vizual baxış keçirilir. *Torpaqlayıcılar və torpaqlanan qurğular arasında dövrənin yoxlanılması*; burada məftillərin sıx kontakla etibarlı birləşmələri, sıfırlama və torpaqlama nöqtələrinin bağlantı yerlərinin vəziyyəti yoxlanılır. *1 kV-a qədər olan elektrotexniki qurğularda dəşilən qoruyucuların olması* və onların vəziyyəti yoxlanılır. Dəşilən qoruyucular gərginlik sinfinə uyğun olmalıdırlar. *Bir başa torpaqlanmış 1 kV-a qədər olan qurğularda faza-sıfır dövrəsinin yoxlanılması* – yoxlama xüsusi cihazla, gövdəyə vuran qısa qapanma cərəyanının ölçülməsi ilə aparılır.

### 8.1.2. Torpaqlayıcıların elektrik sahəsinə görə hesabı

Torpaqlayıcılardan işçi və ya qəza cərəyanı  $I_{qq}$  (qısa qapanma) keçərkən gərginlik düşgüsü yaranır. Qısa qapanma cərəyanı üçün bu gərginlik  $U_{tor} = I_{qq} \cdot R_{tor}$ -a bərabər olur. Torpaqlayıcının aktiv iş prosesində hesabı, borunun hündürlüyü üzrə cərəyanın qeyri bərabər paylanması əsasında aparılır. Bu cərəyan torpaqlayıcının ətrafında meydana çıxan elektrik sahəsi ilə əlaqəli olur.

Bircinsli torpaqda torpaqlayıcının elektrik sahəsi səlissə paylanır *şək.8.1.4 a*. Torpağın səthində elektrik sahə intensivliyi və onun yaratdığı cərəyan, toxunan təşkilediciyə malik olur. Çünki torpaq-hava sərhəddinə cərəyan nüfuz etmir. Torpaq-hava mühiti sərhəddində elektrik sahəsi təsvir metodu ilə təyin edilir. Nüfuz edilməyən hissədə cərəyanın təsvirinin işarəsi torpaqlayıcıdan keçən əsas cərəyanın istiqamətində götürülür *şək.8.1.4 b*. Bu şərt  $E_n = 0$  və  $E = E_t$  olduğunu göstərir. Burada  $E$ - ESG,  $E_n$  və  $E_t$  uyğun olaraq, normal və tangensial elektrik sahə gərginlikləridir.

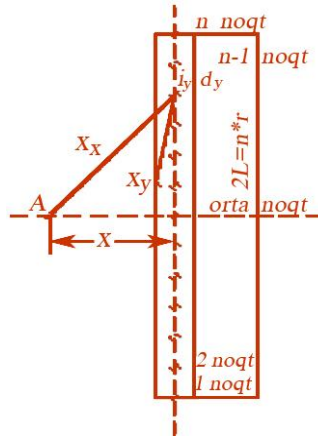
Şək.8.1.4 b)-dən görüldüyü kimi, torpaqlayıcının elektrik sahə gərginliyinin hesabı onun iki qat uzunluğu üçün aparılır. Burada sadəlik üçün torpaqlayıcı borunun xüsusi müqaviməti sabit  $\rho_t$  olan torpqada olduğu qəbul edilir.



*Şək. 8.1.4. Bir cinsli qruntda torpaqlayıcının elektrik sahəsinin təsviri a)torpaqlayıcının elektrik sahəsi, b)torpaq-hava sərhəddində elektrik sahənin təsvir hesabı sxemi*

Borunun səthi boyu torpağa yayılan cərəyan ədədi inteqral usulu ilə hesablanır. Tutaq ki radiusu  $r$ , uzunluğu  $l$  olan torpaqlayıcı boru verilmişdir. Hesabat sxemi, torpağın altı və üstündə  $2l$  ölçüsündə götürülür. Elektrik sahəsinin həm  $y$ , həm də  $x$  oxu üzrə simmetrik olduğunu qəbul edək *şək.8.1.5*.

Metallın keçiriciliyi torpağın keçiriciliyindən  $10^6$ - $10^7$  dəfə böyük olduğundan torpaqlayıcı ekvipotensial səth kimi qəbul edilir.



Şək.8.1.5. Boru şəkilli torpaqlayıcının elektrik sahəsinin hesabat sxemi

Torpaqlayıcının cərəyanının onun simmetriya oxundan yerə axdığını qəbul etdikdə ixtiyari nöqtədəki səthi gərginlik üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$\frac{\rho}{4\pi} \cdot \int_{2\ell} \frac{i_y dy}{x_y} = u \quad (8.1.11)$$

burada  $i_y$  –torpaqlayıcının oxu boyu yayılan cərəyanın sıxlığı,  $x_y$  - $i_y$  cərəyanı keçən səthdən  $dy$  uzunluqlu elementə qədər olan məsafə,  $x_x$  –həmin nöqtədən torpağın A nöqtəsinə qədər olan məsafə,  $u$  –torpaqlayıcının ekvipotensial səthinin gərginliyidir. Torpağa yayılan  $i_y$  cərəyanı torpaqlayıcının səthi üzrə ehtə paylanmalıdır ki, torpaqlayıcının səthində bütün nöqtələrdə gərginlik eyni olsun (8.1.11). (8.1.11) tənliyinin  $i_y$  –ə görə həlli, hər hansı kvadratur formula ilə sonlu cəm şəkilində aparılır:

$$\int_{2\ell} f(x) dx = \sum_{i=1}^n A_i \cdot f(x_i) \quad (8.1.12)$$

burada  $A_i$  –kvadratur formulalarda impuls əmsalları,  $f(x_i)$  -addım nöqtələrində inteqral altı funksiyanın qiymətləridir. Hesabatlar üçün torpaqlayıcının səthində  $n$  sayda hesabat nöqtələri seçilir. Onlara uyğun olaraq, simmetriya oxunda inteqral addımı kimi  $-dy$  sayda bərabər aralıqlar götürülür. Həmin aralıqlardakı cərəyanların sıxlığı  $i_1, i_2, \dots, i_n$  olacaqdır. Bundan sonra hesabat sxeminə görə, hər bir nöqtə üçün (8.1.11) və (8.1.12) tənliklərinin ədədi sırası qurulur. Nəticədə  $n$  tərtibli  $n$  məchullu xətti tənliklər sistemi alınır. Bu cəbri tənliklər sistemini həll etdikdə, borunun səthi boyu yayılan  $i_1, i_2, \dots, i_n$  cərəyanları tapılır. Sonra inteqral hesablamı aparmaqla torpaqlayıcının digər xarakteristikaları təyin edilir.  $R_t$ -torpaqlayıcının səthindən yayılan cərəyana göstərilən müqavimət, potensialın tam cərəyana nisbəti kimi təyin edilir:

$$R_{tor} = \frac{U}{I_{tam}} = \frac{U}{\int_{2\ell} i_y dy} = \frac{U}{\sum_{k=1}^n A_k \cdot i_k} \quad (8.1.13)$$

$2l$  uzunluqlu torpaqlayıcının müqaviməti üçün  $R_{tam} = 2 \cdot R_{tor}$  olur.

Addım gərginliyinin hesablanması analoji olaraq  $x$  oxu üzrə yer səthindəki müxtəlif nöqtələrdə aparılır.  $X$  oxu üzrə ixtiyari nöqtədəki potensial aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\frac{\rho}{4\pi} \int_{2\ell} \frac{i_y dy}{x_x} = u_x \quad (8.1.14)$$

burada  $x-x$  oxu üzərindəki  $A$  nöqtəsi ilə,  $i_y$  sıxlıqlı cərəyanı olan  $dy$  elementi arasındakı məsafədir. İnteqralda addım nöqtələrinin sayı və uyğun cərəyanların işarələri  $1 \div 13$  arasında, uzunluqla radiusun nisbəti  $l/r=18$  götürüldüyündən,  $N=36$  olacaqdır. Elektrik sahəsi  $x$  oxuna nəzərən simmetrik olduğundan, simmetrik nöqtələrdən yerə axan cərəyanlar da bərabər olar:  $i_1=i_{13}, i_2=i_{12}, i_3=i_{11}, \dots, i_6=i_8$ .

İndi isə, (8.1.5) tənliyinin tərtib edilməsində trapeslər formulundan istifadə edək. Bu halda  $A$  əmsalları:  $A_1=A_n=h/2$  və  $A_2=A_3=\dots=A_{n-1}=h$  kimi təyin edilir. Burada  $h$  inteqrallama addımı,  $n$  –inteqrallama diskret nöqtələrinin sayıdır. Bizim halda,  $h=3r$ ;  $n=13$ ; bölünən parçalar isə 12 götürülmüşdür. Tənlikləri tərtib etdikdə torpaqlayıcının səthində olan nöqtələrlə onun oxunda yerləşən nöqtələr arasındakı  $x_{ik}$  və həmin nöqtələrlə  $A$  nöqtəsi arasındakı  $x_{Ak}$  məsafələri təyin edilir. Qalan 6 nöqtə üçün də analoji olaraq cəbri tənliklər qurulur. İndeksərdə göstərilən  $i$  –torpaqlayıcının səthindəki nöqtənin nömrəsi,  $k$  isə ox üzərində olan nöqtənin nömrəsidir.  $4\pi/\rho$  əmsalını (8.1.5) tənliyinin sağ tərəfinə keçirərək 1 nöqtəsi üçün (8.1.12) və (8.1.14) tənliklərinə əsasən aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$\begin{aligned} & i_1 \frac{1,5r}{r} + i_2 \frac{3r}{3,16r} + i_3 \frac{3r}{6,08r} + i_4 \frac{3r}{9,05r} + i_5 \frac{3r}{12,04} + i_6 \frac{3r}{15r} + i_7 \frac{3r}{18r} + i_8 \frac{3r}{21r} + \\ & + i_5 \frac{3r}{24r} + i_4 \frac{3r}{27r} + i_3 \frac{3r}{30r} + i_2 \frac{3r}{33r} + i_1 \frac{3r}{36r} = u \cdot \frac{4\pi}{\rho} = 1,5417i_1 + 1,0396i_2 + \\ & + 0,593i_3 + 0,4423i_4 + 0,374i_5 + 0,342i_6 + 0,1666i_7. \end{aligned} \quad (8.1.15)$$

Göründüyü kimi, səthin hər bir nöqtəsi üçün 13 məsafə hesablanmalıdır. Qurulan ədədi matrisanın baş diaqonalının ətrafında hər iki tərəfdə simmetrik rəqəmlər olması, onun düzgün hesablandığını göstərir.  $x_{ik}$  məsafələri hesablandıqdan sonra, uyğun  $A_i$  əmsallarını  $x_{ik}$ –lara bölərək oxşar indeksli cərəyan həddlərini toplayırlar. Bu yolla alınmış 7 tərtibli cəbri tənliklər sistemindən, 7 nöqtədən torpağa yayılan cərəyanlar hesablanır. Cərəyanların müxtəlif nöqtələrdə xətti sıxlığını hesabladıqan sonra, torpaqlayıcıdan yerə axan tam cərəyan hesablanır:

$$I_{tam} = 2 \int_{\ell} i_y \cdot dy = 2 \sum_{k=1}^7 A_k \cdot i_k \quad (8.1.16)$$

Sonra (8.1.7) tənliyindən torpaqlayıcının müqaviməti hesablanır. Torpaqlayıcının bu üsulla hesablanmış qiyməti (8.1.1) ifadəsinə əsasən hesablanmış müqavimətin qiymətindən kiçik alınır. Bunun səbəbi torpaqlayıcının aktiv olduğu halda müqavimətinin azalmasıdır. Lakin burada impuls rejimi üçün olan müqavimətlərin hesabları nəzərə alınmamışdır.

## Texniki ədəbiyyatlar

1. К. А. Гасанов «Расчеты перенапряжений в цикле АПВ с помощью Z-преобразования» М. МЭИ 1978 г.
2. Həsənov Q.Ə. «Elektrik izolyasiyasının hesablanması və layihələndirilməsi» I hissə Bakı - 1993 il.
3. Я. Б. Кадымов, З. Я. Кулиев, К.А. Гасанов «Метод расчета переходных процессов в линейных системах с распределёнными параметрами на основе теории импульсных систем» Изв. Вузов Энергетика 4, 1975 г.
4. Q.Ə. Həsənov, H.M. Hüseynov, G.N. Əliyeva Yüksək gərginliklər və elektrik izolyasiya texnikasından laboratoriya işlərinə dair metodik vəsait Bakı, Az.Resp. Təhsil nazirliyi 28-04-2003, 18 sayılı protokolla təsdiq edilmişdir, Çəşoğlu, 2003 il
5. Q.A. Qasanov «Учет влияния короны в длинных линиях глектропередачи» Труды МГИ выпуск 304 Москва 1977 г.
6. Y.B. Kadymov, G.A. Mamedov, K.A. Gassanov `Studies of System Generated over Voltages In Poluphaze Elektric Cirts With Distributed Parametrs on the Bazis of diskrete Functions `Amsterdam-Nevvork 1980/
7. Q.Ə.Həsənov, D.M. Rüstəmov «Şüşə plastik izolyatorlara yarımqeçirici örtük çəkilməsi» Beynəlxalq Konferensiya, tezislər Azərb. Neft kimya institutu 1988 il.
8. T.İ. Aqalarov, K.A. Qasanov «Metod rasçeta perenaprəcəniy na osnove inteqralğnıx preobrazovaniy» Sbornik trudov AzPI Bakı 1983 q.
9. Həsənov Q.Ə. «Yüksək gərginliklər və elektrik izolyasiya texnikası» , Ali texniki məktəblər üçün dərslik, Bakı AzTU 2009 il
10. Həsənov Q.Ə. 110 kV kompozit muftaların montaj texnologiyası Bakı AZTU konferensiya materialları 2008 il