

**E.M. MƏMMƏDOV**

**ELEKTRİK SİSTEMLƏRİNDƏ  
KEÇİD PROSESLƏRİ**

Bakı 2013

Elşad Məhərrəm oğlu Məmmədov. Elektrik sistemlərində keçid prosesləri–Bakı-2013  
AzTU “Elektrik təchizatı və izolyasiyası” kafedrası

Dərs vəsaiti ali məktəblərin 050608  
“Elektroenergetika mühəndisliyi” və 050626  
“Elektrik mühəndisliyi” ixtisasları üzrə təhsil alan  
tələbələr üçün nəzərdə tutulmuşdur.

**MÜNDƏRİCAT**

<b>1</b>	<b>Keçid prosesləri haqqında ümumi məlumat. Əsas anlayışlar.</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Keçid proseslərinin təsnifatı</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Qısa qapanmanın növləri və baş vermə səbəbləri</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Qısa qapanmanın fəsadları (nəticələri)</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Qısa qapanma cərəyanlarının hesablanma qaydaları</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Sxem çevirmələri və baza şərtinə gətirilmiş müqavimətlərin hesablanması</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>Baza şərtinə gətirilmiş müqavimətlərin hesablanması üçün ifadələr</b>	<b>26</b>
<b>8</b>	<b>Güc transformatorlarının müqaviməti</b>	<b>29</b>
<b>9</b>	<b>Asinxron mühərriklərinin qısa qapanmaya təsiri</b>	<b>31</b>
<b>10</b>	<b>Zərbə cərəyanlarının və ixtiyari zaman am üçün qısa qapanma cərəyanlarının hesablanması</b>	<b>33</b>
<b>11</b>	<b>Simmetrik mürəkkəbələr metodu (SMM)</b>	<b>36</b>
<b>12</b>	<b>Müxtəlif ardıcılıqlar üçün reaktiv müqavimətlər</b>	<b>39</b>
<b>13</b>	<b>Müxtəlif ardıcılıqlar üçün əvəzetmə sxemlərinin tərtib edilməsi</b>	<b>44</b>
<b>14</b>	<b>Qeyri - simmetrik qısa qapanma cərəyanlarının hesablanması</b>	<b>45</b>

<b>15</b>	<b>Kommutasiya aparatlarının seçilməsi və yoxlanılması</b>	<b>47</b>
<b>16</b>	<b>Qısa qapanma cərəyanının məhdudlaşdırma üsulları</b>	<b>55</b>
<b>17</b>	<b>İnduktivliyin açılmasını müşayiət edən keçid prosesləri</b>	<b>62</b>
<b>18</b>	<b>Tutumların açılmasını müşayiət edən keçid prosesləri</b>	<b>68</b>
<b>19</b>	<b>Elektrik veriliş xətlərinin (EVX) qoşulması və təkrar qoşulması</b>	<b>71</b>
<b>20</b>	<b>Elektrik sistemlərinin dayanıqlığı. Dayanıqlığın əsas anlayışları</b>	<b>74</b>
<b>21</b>	<b>Dayanıqlığın təhlili zamanı qəbul edilən sadələşmələr</b>	<b>78</b>
<b>22</b>	<b>Yükün statiki dayanıqlığı</b>	<b>79</b>
<b>23</b>	<b>Dinamiki dayanıqlıq</b>	<b>80</b>
<b>24</b>	<b>Elektrik sistemlərinin dayanıqlığının yaxşılaşdırılması üzrə tədbirlər</b>	<b>82</b>
<b>25</b>	<b>Avtomatik təkrar qoşma (ATQ) və ehtiyat qidalanmasının avtomatik qoşulması (EAQ)</b>	<b>85</b>
	<b>Məşğələ dərsləri üçün məsələlər həlli:</b>	<b>88</b>
	<b>Ədəbiyyat</b>	<b>90</b>

## **1. Keçid prosesləri haqqında ümumi məlumat.**

### **Əsas anlayışlar.**

Elektrik sistemi elektroenergetika sisteminin şərti olaraq ayrılmış bir hissəsidir. Bu sistem vasitəsilə elektrik enerjisi istehsal olunur, çevrilir, müxtəlif məsafələrə ötürülür və istehlak olunur. Qəza şəraiti baş verdikdə sistemdə keçid prosesi yaranır və bu prosesin davam etdiyi müddətdə bir rejimdən digərinə keçid baş verir. Elektrik sisteminin iş rejimləri zamanın istənilən anında elektrik sisteminin işini və onun vəziyyətini xarakterizə edən proseslərin toplusudur. Sistemin rejim parametrlərinə gərginlik, güc və digərləri aid olmaqla öz aralarında əlaqəli olan parametrlərdir. Müqavimət, keçiricilik, transformasiya əmsalı, zaman sabiti və digər parametrlər sistem parametrləri adlanır və onlar elementlərin fiziki xassələrinə görə təyin edilir. Elektrik sistemlərinin iş rejimləri bir neçə növə görə fərqlənir və aşağıdakılardır:

- 1) Qərarlaşmış (normal iş rejimi) – bu rejim sistemin rejim parametrlərinin kiçik kiçik hədlərdə dəyişməsi zamanı onların dəyişmədiyini qəbul etməyə imkan verən vəziyyətdir.
- 2) Normal keçid rejimləri – Bu sistemin normal istismarı zamanı, məsələn, sistemin hər hansı bir elementinin qoşulması və ya açılması, yükün

dəyişdirilməsi, sinxron maşınların sinxron qoşulması və s. üçün nəzərdə tutulan rejimdir.

3) Qəza keçid rejimləri – Elektrik sistemlərinin elementlərinin qəflətən açılması, onlarda baş verən qısa qapanma bu elementlərin təkrar qoşulması və açılması, sinxron maşınların qeyri-simmetrik qoşulması və digər qəzalar (həyəcanlanmalar) zamanı baş verir.

4) Qəzadan sonrakı qərarlaşmış rejimlər – Elektrik sistemlərinin zədələnmiş elementlərinin dövrədən açılmasından sonra baş verən prosesdir. Bu zaman qəzadan sonrakı rejimin parametrləri normal yəni, başlanğıc rejimin parametrlərinə həm yaxın həm də onlardan fərqlənə bilər.

Bu rejimlər zamanı bir rejimdən digərinə keçid zamanı sistemin elementlərinin elektromaqnit vəziyyəti dəyişir, generatorların və mühərriklərin valında mexaniki və elektromaqnit momentləri arasında balans pozulur və bu onu göstərir ki, keçid prosesi sistemində elektromaqnit və mexaniki dəyişikliklər baş verir. Onlar bir-birilə qarşılıqlı əlaqəlidir. Bir çox hallarda keçid prosesi 2 mərhələyə bölünür:

I mərhələdə elektrik sistemində fırlanan elektrik maşınları müəyyən ətalətə malik olduqlarına görə elektromaqnit dəyişikliklər üstünlük təşkil edir. Bu mərhələ saniyənin  $1/100$  hissəsindən  $1/10$

hissəsinə qədər davam edir və elektromaqnit keçid prosesi adlanır.

II mərhələdə sistemin mexaniki xassəsi özünü biruzə verir və o keçid prosesinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir və bu mərhələ elektromexaniki keçid prosesi adlanır. Əksər hallarda qəza keçid proseslərinin yaranmasına səbəb qısa qapanmalardır. Qısa qapanma normal istismar şəraitində nəzərdə tutulmayan fazalararası və ya faza ilə torpaq (yer) arasında yaranan qısa qapanmalardır.

Neytralı yerdən izolə olunmuş sistemlərdə bir fazanın yerlə qapanması (elektrik birləşməsi) sadə qısa qapanma adlanır. Torpaqla birləşmə yerlərində çox hallarda elektrik qövsü yaranır və onun müqaviməti qeyri-xəttidir. Qövsün qısa qapanma cərəyanına təsirinin nəzərə alınması mürəkkəbdir. Belə ki, qısa qapanma yerində qövsün müqavimətindən başqa çirklənmənin, izolyasiya qalığının olması ilə əlaqədar əlavə keçid müqaviməti yaranır. Keçid və qövsü müqaviməti kiçik olduğu hallarda onlar nəzərə alınmır. Neytralı yerlə bilavasitə birləşdirilmiş elektrik sistemlərində baş verən qısa qapanmalar bir-birindən fərqlidir. Elektrik sistemlərində ən çox baş verən qısa qapanmalar 1 fazalı qısa qapanmalardır. Bu növ qısa qapanmanın baş vermə ehtimalı şəbəkədəki gərginliyin artması ilə yüksəlir. Bu isə fazalararası məsafənin artması ilə əlaqədardır. Məsələn,

gərginliyi 6-10 kV olan EVX-larda fazalararası məsafə 0,7 m olduğu halda gərginliyi 500 kV olan şəbəkələrdə bu məsafə 14 m-ə qədər ola bilər. Digər növ qısa qapanmalar da əksinə şəbəkə gərginliyi artdıqca qısa qapanmaların baş verməsinin nisbi ehtimalı da azalır. Bəzi hallarda qəza prosesinin inkişafı dövründə qısa qapanmanın ilkin növü başqa növ qısa qapanmaya keçir. Məsələn, 1 fazalı qısa qapanma yerlə əlaqəsi olan 2 fazalı qısa qapanmaya keçir.

## **2. Keçid proseslərinin təsnifatı**

Qərarlaşmış (normal) proseslərdə gərginlik və cərəyanlar sabit cərəyan dövrlərində dəyişməz qalır, dəyişən cərəyan dövrlərində isə zaman üzrə dövrü olaraq dəyişir. Elektrik sistemlərində baş verən keçid prosesləri bir qərarlaşmış rejimdən digərinə keçidlə əlaqədardır və bu proseslərdə gərginlik və cərəyan qeyri-dövrü xarakter (səciyyə) daşıyır. Elektrik sistemlərində baş verən keçid proseslərinə aşağıdakılar aiddir:

Elektrik qurğularının gərginlik mənbəyinə qoşulması, elektrik qurğularının açılması, müxtəlif növ qısa qapanmalar və s.

Keçid prosesinin baş vermə səbəbləri aşağıdakılardır:



Bütün istismarda olan elektrik qurğuları induktivlik və tutum kimi parametrlərə malikdir. Onlarda müvafiq olaraq maqnit sahəsi enerjisi ( $\frac{Li^2}{2}$ ) və elektrik sahəsi enerjisi ( $\frac{CU^2}{2}$ ) cəmlənir. Keçid proseslərində bu enerjilər ani olaraq dəyişə bilməz. Bu səbəbdən müəyyən zaman intervalında maqnit və elektrik sahələri enerjiləri yenidən qərarlaşır. Bu zaman baş verən keçid prosesində aktiv müqavimətdə ayrılan enerjinin qiymətindən asılı olaraq keçid prosesi baş verir. Keçid prosesləri dövrə sxeminin və ya parametrlərinin dəyişməsi nəticəsində baş verir. Ümumi halda bu dəyişmələr kommutasiya adlanır. Elektrik sistemlərinin istismarı zamanı keçid prosesinin baş verməsi normal xarakter daşıyır. Lakin keçid prosesi qısa qapanma nəticəsində baş verirsə yəni, sistemdə qəzalar nəticəsində açılmalar baş verirsə bu növ keçid prosesləri arzuolunmazdır. Bəzi digər hallarda isə keçid prosesləri texnoloji səciyyə daşıyır. Məsələn, qoşulma, plan və ya qəza açılmaları, yəni, bu keçid prosesləri normal istismar prosesinə uyğun olan keçid prosesləridir. Alçaq tezlikli sistemlərdə məsələn, radio, avtomatika və idarəetmə sistemlərində keçid prosesləri təbii xarakterə malikdir. Keçid prosesləri 2 əsas yerə bölünür:

1) atmosfer monşəli keçid prosesləri

## 2)kommutasiya mənşəli keçid prosesləri

Atmosfer mənşəli keçid prosesləri iqlim şəraitindən asılı olaraq baş verən keçid prosesləridir.

Kommutasiya mənşəli keçid prosesləri 3 yerə bölünür:

a) Elektrik qurğularının plan kommutasiyaları – Bu növ kommutasiya mənşəli keçid proseslərinə EVX-nin, avtotransformatorların, transformatorların və digər elementlərin açılması və qoşulması ilə əlaqədar olan proseslər aiddir.

b) Elektrik qurğularının qəza kommutasiyaları – Bu növ kommutasiya mənşəli keçid proseslərinə qısa qapanmalarla (Q.Q.) əlaqəli açılmalar, avtomatik təkrar qoşulma, nominal gərginliyi  $U_{nom} \leq 35$  kV olan sistemlərdə yerlə qövsü birləşmələrlə əlaqədə olan keçid prosesləri aiddir.

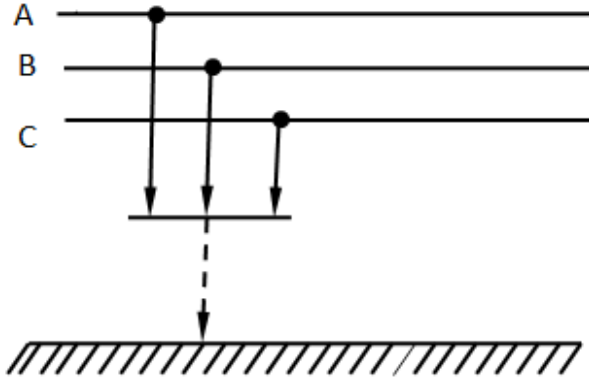
c) Qısa qapanmalar – Elektrik sistemlərində müxtəlif növ Q.Q.-ların baş verməsi sistemin normal iş rejimini pozur və Q.Q.-larla əlaqədar olan keçid prosesləri ən təhlükəli fəsadlarla nəticələnən proseslərdir. Q.Q.-ların baş vermə səbəbləri müxtəlifdir və bu istismar prosesinin düzgun təşkilindən eləcə də təsadüfən baş verə bilər.

### 3. Qısa qapanmanın növləri və baş vermə səbəbləri

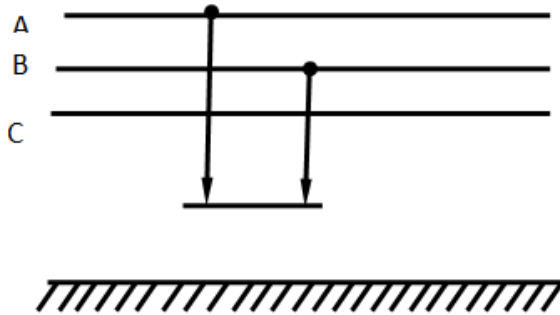
Elektrik sistemində 5 növ qısa qapanma baş verə bilər :

1) 3 fazlı qısa qapanma- şərti işarəsi  $k^{(3)}$

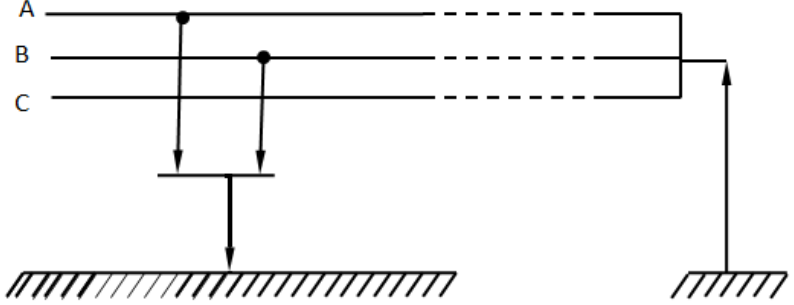
Bu növ qısa qapanma yerlə əlaqəsi ola bilər və ya yerlə birləşməyə bilər.



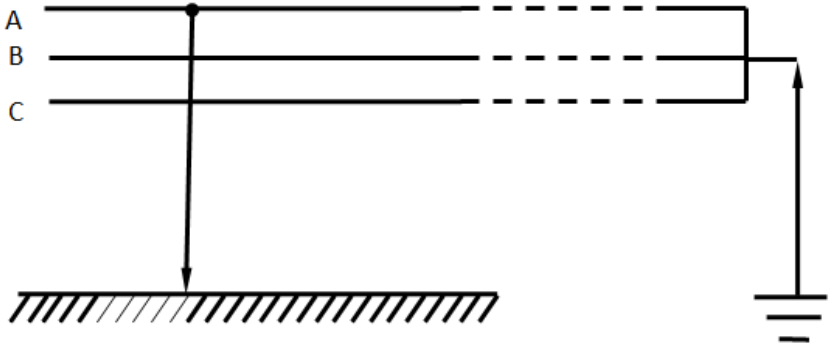
2) Yerlə əlaqəsi olmayan 2 fazlı qısa qapanma. Şərti işarəsi  $k^{(2)}$



3) Yerlə əlaqəsi olan 2 fazlı qısa qapanma. Şerti işarəsi  $k^{(1,1)}$



4) 1 fazlı qısa qapanma. Şerti işarəsi  $k^{(1)}$



5) İkiqat qısa qapanma. Bu qısa qapanma zamanı bir fazasının iki müxtəlif nöqtəsinin yerlə qapanması zamanı baş verir.

Bu qeyd olunan qısa qapanmaların baş vermə ehtimalı aşağıdakı kimidir:

-3 fazlı qısa qapanma - 1-6%

-Yerlə əlaqəsi olmayan 2 fazlı qısa qapanma-2-14%

- Yerlə əlaqəsi olan 2 fazlı qısa qapanma - 6-19%
- 1 fazlı qısa qapanma - 61-92%

Bu qısa qapanmalardan 3 fazlı qısa qapanmalar simmetrik qısa qapanmalar adlanır. Digər növ qısa qapanmalar qeyri-simmetrik qısa qapanmalar adlanır.

Qeyri simmetrik qısa qapanmalar: qeyri simmetrik yük sistemində eninə qısa qapanma yaradır. Üç fazlı şəbəkənin hər hansı bir simmetriyasının pozulması məsələn, elektrik veriliş xəttinin bir fazasının açılması uzununa qeyri simmetriklilik yaradır. Çox qat qeyri simmetriklərlə müşahidə olunan zədələnmələr məsələn, qısa qapanma və fazanın qırılması, yəni, ən azı iki ədəd zədələnmənin baş verməsi mürəkkəb zədələnmədir. Qısa qapanma çoxşaxəli yaranma səbəbləri aşağıdakılardır:

- 1) İzolyasiyanın köhnəlməsi, izolyatorların səthinin çirklənməsi və mexaniki zədələnmələr nəticəsində elektrik avadanlıqlarının izolyasiyasının pozulması.
- 2) Elektrik şəbəkəsi elementlərinin mexaniki zədələnməsi ( elektrik veriliş xəttinin dayaqlarının aşması, naqillərin qırılması və s.)
- 3) Qısa qapayıcının iş fəaliyyəti ilə mühafizənin işləməsi üçün süni yaradılan qısa qapanmalar.
- 4) Canlılar ilə cərəyan keçirən hissələrin qapanması.

5) Xidməti və əməliyyat işşilərinin iş zamanı, yəni, çevrilmə əməliyyatı zamanı səhvi nəticəsində

Elektrik sistemində qısa qapanmanın sayının azaldılması elektrik qurğularının texniki istismar qaydalarına ciddi əməl edilmə və elektrotexniki avadanlıqların keyfiyyətinin yüksəldilməsi ilə təmin edilir.

#### **4. Qısa qapanmanın fəsadları (nəticələri)**

Bir qayda olaraq qısa qapanma nəticəsində zədələnmiş fazalardan axan cərəyan bir neçə dəfə artır. Elektrik sistemlərində qısa qapanmaların baş verməsi aşağıdakı fəsadlarla nəticələnir

1) Naqıl və kontaktlar ifrat qızmaya məruz qalır, kontaktların keçid müqaviməti yüksəlir və onlar erroziyaya məruz qalır.

2) İzolyasiyanın termiki köhnəlməsi sürətlənir.

3) Şinlərin (cərəyan keçirən hissələrin) mexaniki möhkəmliyi azalır.

4) Elektrik cərəyanını nəql edən naqillər dinamiki təsirlərə məruz qalır.

Elektrik aparatları və maşınlarında təhlükəli mexaniki zədələnmələr baş verir. Bununla əlaqədar elektrik qurğuları, aparatlar, cihazlar qısa qapanma

cərəyanının təsirinə davamlı olmalıdır. Layihələndirilmə zamanı qısa qapanma cərəyanları hesablanmalı, avadanlıq və aparatlar seçilməsi zamanı onların qiyməti nəzərə alınır və sonra seçilmiş aparat və avadanlıqlar termiki və dinamiki dayanıqlığa görə yoxlanılır. Qısa qapanmaların baş verdiyi yerdə , yəni, zədələnmənin yaxınlığında gərginliyin azalması müşayiət olunur. Bu isə mühərrikin fırladıcı momentinin kəskin dərəcədə aşağı düşməsi ilə və generatorların paralel işləməsinin dayanıqlığının pozulması ilə nəticələnir və elektrik sistemlərində əhəmiyyətli qəza baş verir.

5)Sistemin dayanıqlığının pozulması ilə nəticələnən sistem qəzaları

Bu qısa qapanmanın ən təhlükəli nəticəsidir və o kifayət qədər texniki-iqtisadi ziyanə gətirib çıxarır.

6) Qısa qapanma cərəyanının təsirindən avadanlığın həddindən artıq qızması ilə əlaqədar onun termiki zədələnməsi

7) Cərəyan keçirən hissələr arasında böyük elektromaqnit qüvvələrinin təsirindən elektrik avadanlığının mexaniki zədələnməsi

8) İstehlakçıların iş şəraitinin ağırlaşdırılması

Məsələn: Gərginliyin 1 san və ondan çox müddətdə normadan aşağı (60-70 % -ə qədər) enməsi zamanı mühərriklərin kütləvi olaraq dayanması baş verə

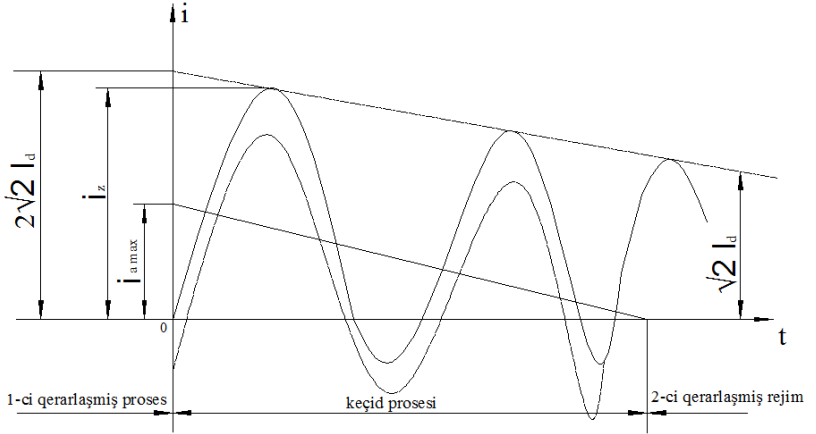
bilər. Bu isə öz növbəsində texniki proseslərin pozulmasına və iqtisadi ziyanın yaranmasına səbəb ola bilər.

9) Qeyri-simmetrik qısa qapanmalar zamanı qonşu rabitə və işarəvermə xətlərinə induksiyaalayan E.H.Q.-si xidməti işçilər üçün təhlükəli ola bilər. Qısa qapanma zamanı təhlükə onun yarandığı yerlə yanaşı sistemin digər elementləri üçün də təhlükəlidir. Qısa qapanmanın baş verdiyi yerdən və davamiyyət müddətindən asılı olaraq onun nəticəsi yerli qısa qapanma mənbəyindən uzaqlıqda olan qısa qapanmalar üçün xüsusən bütün sistemin iş fəaliyyətində əks oluna bilər.

## **5. Qısa qapanma cərəyanlarının hesablanma qaydaları**

Elektrik sistemlərində baş verən qısa qapanma cərəyanlarının hesablanması üçün qısa qapanma cərəyanının təyinatı, cərəyanın axma əyrisi və hesabat alqoritmi təyin olunmalıdır. Sistemdə qısa qapanma cərəyanının keçmə əyrisi aşağıdakı şəkildə göstərilir:





$$i_d = \frac{U}{Z_{qq}} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_{qq});$$

$$i_{d \max} = \sqrt{2} \cdot I_d = \frac{U}{Z_{qq}};$$

$$i_a = i_{a \max} \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_a}\right);$$

$$i_z = \sqrt{2} \cdot I_d \cdot k_z$$

Burada  $I_d$  – qısa qapanma cərəyanının təsiredici qiymətidir (dövri hissəsinin və ya mürəkkəbəsinin);  $i_d$  – qısa qapanma cərəyanının ani qiyməti;  $i_a$  – qısa qapanma cərəyanının aperiodik, yəni, qeyri-dövri hissəsi;  $i_{d \max}$  – qısa qapanma cərəyanının ən böyük ani qiyməti;  $i_z$  – zərbə cərəyanıdır;  $U$  – qıda mənbəyinin gərginliyi;  $Z_{qq}$  – qısa qapanma

dövrəsinin müqaviməti;  $\omega$  – mənbəyin dövrü tezliyi;  $\alpha$  – mənbə gərginliyinin ilkin fazasıdır;  $\varphi_{qq}$  – qısa qapanma dövrəsində sürüşmə bucağıdır;  $T_a$  – qısa qapanma dövrəsinin zaman sabitidir;  $k_z$  – zərbə əmsalındır. Zərbə əmsalının dəqiq hesablanması üçün onun qiyməti aşağıdakı kimi qəbul edilib:

- 1) nisbətən alçaq gərginlikli şəbəkələrdə  $k_z=1,15 - 1,8$ .
- 2) Nisbətən yüksək gərginlikli şəbəkələrdə  $k_z$  2-yə yaxındır.
- 3) Dövrənin aktiv müqaviməti  $R=0$  olduğu halda zərbə əmsalının maksimum qiyməti 2-yə bərabərdir.  $k_{z.max}=2$ .

Gücü 100 MVA-dən kiçik olan generatorların çıxışlarında baş verən qısa qapanmalarda zərbə əmsalının qiyməti 1,8-dən kiçik olur. Generator-transformator blokunda yüksək gərginlik tərəfdə baş verən qısa qapanma zərbə əmsalının qiyməti 1,9-a yaxındır. Qısa qapanma cərəyanlarının hesablanmasında məqsəd elektrik avadanlıqları və aparatlarının, eləcə də Rele mühafizə aparatlarının seçilməsi və yoxlanılmasıdır.

Qısa qapanma cərəyanlarının hesablanması zamanı aşağıdakı buraxılımlara icazə verilir:

- 1) Qısa qapanma müddətində generatorların faza bucaqları sabitdir (sinxron generator), yəni,

generatorun təsirlənmələri nəzərə alınmır və bu elektromaqnit keçid prosesləri zamanı baş verir.

2) Maqnit üsürlərinin doyması nəzərə alınmır və bununla induktiv müqavimətlər dəyişməz götürülür.

3) Yerə nəzərən tutumlar nəzərə alınmır.

4) 3 fazalı sistem simmetrik qəbul edilir.

5) Bir qayda olaraq aktiv müqavimətlərin az olması ilə əlaqədar qısa qapanma cərəyanlarının hesablanması zamanı onlar nəzərə alınmır. Çünki elektrik sistemlərinin əsas avadanlıqlarının, o cümlədən transformatorların dolaqlarının aktiv müqaviməti induktiv müqavimətlə müqayisədə həddindən artıq azdır. Ümumiyyətlə qısa qapanma cərəyanlarının hesablanması zamanı sinxron, asinxron maşınların, reaktorların, EVX-nin ancaq induktiv müqavimətləri nəzərə alınır.

6) Güc, avtotransformator və transformatorların maqnitləşdirici cərəyanları nəzərə alınmır.

Qısa qapanma cərəyanlarının hesablanmasının təyinatı 10 əsas məqsədin yerinə yetirilməsidir.

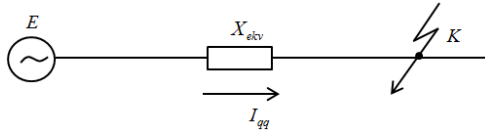
1) Qəza rejimində istehlakçıların iş şəraitinin təyin edilməsi.

- 2) Elektrik aparatlarının və cərəyan keçirən hissələrin seçilməsi və onların termiki və elektrodinamiki dayanıqlığa görə yoxlanılması.
- 3) Rele mühafizəsi və avtomatika qurğularının layihələndirilməsi və işə sazlanması.
- 4) Elektrik birləşmələrinin müqayisə edilməsi, qiymətləndirilməsi və seçilməsi.
- 5) Mühafizə aparat və qurğularının layihələndirilməsi və yoxlanılması.
- 6) EVX-nin rabitə xətlərinə təsirinin təyin edilməsi.
- 7) Yerlə birləşdirilmiş neytralların sayının təyin edilməsi və onların elektrik sistemlərində yerləşdirilməsi.
- 8) Boşaldıcıların seçilməsi.
- 9) Qəzaların təhlili.
- 10) Elektrik sistemlərində müxtəlif növ sınaqların keçirilməsinə hazırlığın yerinə yetirilməsi.

Qısa qapanmanın hesablanması dəqiqliyi onun məqsədlərindən asılıdır. Elektrik aparatlarının seçilməsi və yoxlanılması zamanı hesabatların yüksək dəqiqliyi tələb olunmur. Çünki onların bir növündən digərinə keçid halında aparatların parametrləri pillələrlə dəyişir. Rele mühafizəsi və avtomatika qurğularının seçilməsi zamanı işə

hesablanmaların dəqiqliyi yüksək olmalıdır. Qısa qapanma cərəyanlarının hesablanması aşağıdakı 5 ardıcılıqla yerinə yetirilir.

- a) Elektrik sistemlərinin hesabat sxemi tərtib edilir.
- b) Hesabat sxemi əsasında sistemin elektrik əvəzetmə sxemləri tərtib edilir.
- c) Əvəzetmə sxeminə əsasən elektrik sisteminin parametrləri hesablanır.
- d) Əvəzetmə sxemi sadələşdirilir. Sadələşdirilmə nəticəsində əvəzetmə sxemi bir və ya bir neçə budağa malik olan sxemə gətirilir.



- e) Qısa qapanma cərəyanının dövrü mürəkkəbəsinin təsiredici qiyməti hesablanır və sonra zərbə əmsalına əsasən zərbə cərəyanı hesablanır.

Bu zaman şəbəkənin gərginliyi nəzərə alınmalıdır. Çünki zərbə əmsalının qiyməti bu gərginlikdən asılıdır. Bütün hallarda verilmiş zaman anı üçün qısa qapanma cərəyanının həm dövrü həm də qeyri-dövrü (aperiodik) mürəkkəbələri hesablanmalıdır. Bütün hesablamalardan sonra elektrik sistemlərində quraşdırılan avadanlıqları qısa qapanma cərəyanından mühafizə etmək üçün elektrik

aparatları və cərəyan keçirən hissələr seçilir. Sonra isə termiki və dinamiki dayanıqlığa görə yoxlanılır.

## 6. Sxem çevirmələri və baza şərtinə gətirilmiş müqavimətlərin hesablanması

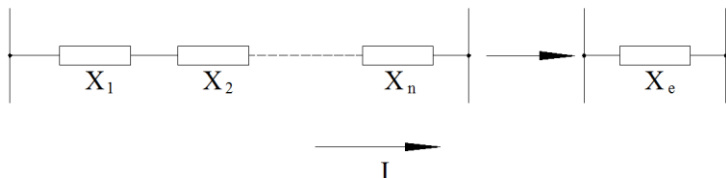
Elektrik sistemində qısa qapanma cərəyanının hesablanması zamanı əvəzetmə sxemi tərtib olunduqdan sonra sadələşmələr yerinə yetirilməlidir. Bu məqsədlə müqavimətlərin birləşməsindən asılı olaraq bir sxem çevirməsindən digərinə keçidlə sxem sadələşmələri yerinə yetirilir və yekun sxemə əsasən əvəzetmə sxeminin ekvivalent müqaviməti və keçiriciliyi təyin edilir. Bundan əlavə qısa qapanma cərəyanı hesablanarkən 2 vahidlər sistemi istifadə edilir.

1) Nisbi vahidlər sistemi (adsız yəni ölçü vahidi olmayan)

2) Adlı vahidlər sistemi.

Elektrik sistemində 4 növ sxem çevrilməsi tətbiq edilir.

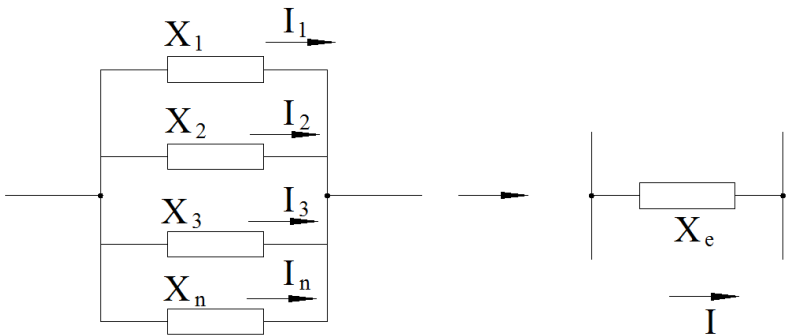
1) Ardıcıl birləşmə.



Bu sxemə əsasən ekvivalent müqavimət aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$X_e = \sum_i^n X_i; I_1 = I_2 = I_3 \cdots I_n = const$$

## 2) Paralel birləşmə



Bu halda əvvəlcə  $X_e$  (ekvivalent müqavimət) aşağıdakı kimi hesablanır:

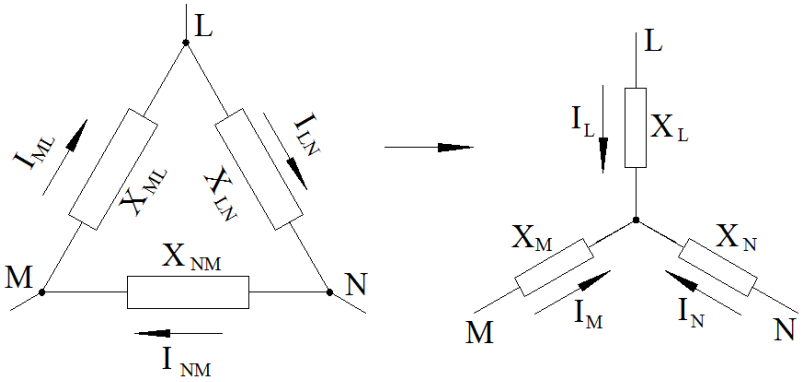

$$X_e = \frac{1}{y_e} = \frac{1}{y_1 + y_2 + \dots + y_n} = \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \dots + \frac{1}{X_n}}$$

Bu dövrdə cərəyan, cərəyanların cəmi kimi hesablanır:

$$I = \sum_i^n I_i$$

## İstənilən budağın cərəyanı

$$I_i = I \cdot \frac{X_e}{X_i}$$

3) Üçbucaq - ulduz birləşməsi. 

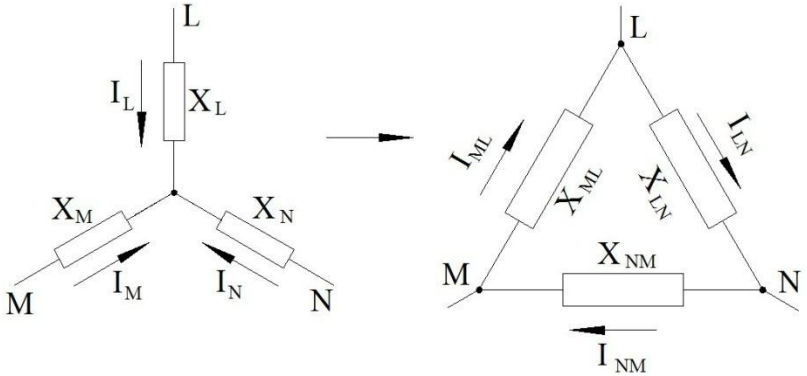
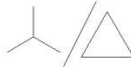
$$X_L = \frac{X_{LN} \cdot X_{ML}}{X_{LN} + X_{ML} + X_{NM}}$$

$$X_N = \frac{X_{LN} \cdot X_{NM}}{X_{LN} + X_{ML} + X_{NM}}$$

$$X_M = \frac{X_{ML} \cdot X_{NM}}{X_{LN} + X_{ML} + X_{NM}}$$



4) Ulduz – üçbucaq birləşməsi.

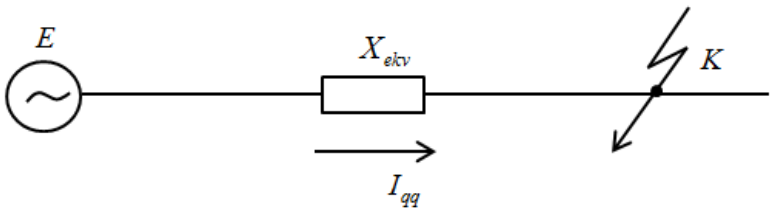


$$X_{LN} = X_L + X_N + \frac{X_L \cdot X_N}{X_M}$$

$$X_{NM} = X_N + X_M + \frac{X_N \cdot X_M}{X_L}$$

$$X_{ML} = X_M + X_L + \frac{X_M \cdot X_L}{X_N}$$

Bu sxem çevirmələri yerinə yetirildikdən sonra əvvəlcə elektrik sisteminin yekun tam sadələşmiş elektrik sxemi alınır.



Bu sxemə əsasən əvvəlcə qısa qapanma cərəyan nisbi vahidlərlə, sonra isə adlı vahidlərlə hesablanır. Bundan sonra qısa qapanma cərəyanlarının qiymətinə əsasən hesablanan elektrik sxemində quraşdırılan elektrik avadanlıqları, elektrik aparatları (açarlar, aralayıcılar, qısa qapayıcılar), reaktorlar və cərəyan keçirən hissələr (şinlər, kabellər və naqillər) seçilir. Seçilmiş bütün qurğular, termiki və dinamiki dayanıqlığa görə yoxlanılır.

## **7. Baza şərtinə gətirilmiş müqavimətlərin hesablanması üçün ifadələr**

Qısa qapanma cərəyanlarının hesablanması üçün elektrik sistemlərində quraşdırılan avadanlıqların eləcə də bu sistemi qidalandıran elektrik veriliş xətlərinin baza şərtinə gətirilmiş müqavimətləri hesablanır. Əvvəl qeyd edildiyi kimi baza şərtinə gətirilmiş müqavimətlər induktiv xarakterli müqavimətlərdir, çünki elektrik sistemində istismar olunan avadanlıqların aktiv müqavimətləri induktiv müqavimətlərlə müqayisədə kiçik olduğundan qısa qapanma cərəyanlarının hesablanması zamanı onlar nəzərə alınmır. Baza şərtinə gətirilmiş müqavimətlər aşağıdakı kimi hesablanır.

1) Asinxron mühərrik üçün

$$X = \frac{I_{nom} \cdot S_b}{I_{qos} \cdot S_{nom}}$$

2) Sinxron mühərrik və ya generator üçün

$$X = X_d^* \cdot \frac{S_b}{S_{nom}}$$

3) Şəbəkə üçün.

$$X = \frac{1,1 \cdot S_b}{S_{qq}}$$

4) Reaktorlar üçün.

$$X = X_{nom} \cdot \frac{S_b}{U_{or}^2}$$

5) Elektrik veriliş xətti üçün.

$$X = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_b}{U_{or}^2}$$

6) Transformator üçün

$$X = \frac{X_T \%}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{nom}}$$

7) Eninə tutum kompensasiya qurğusu üçün.

$$X = -\frac{S_b}{S_{nom}}$$

Bu ifadələrdə

$I_{qoş}$ -qoşulma cərəyanı.

$I_{nom}$ -nominal cərəyan.

$S_b$ -baza gücü.

$S_{nom}$ -nominal güc.

$X_d^*$ -sinxron maşınların ifrat keçid müqaviməti (nisbi vahidlərlə)

$U_{or}$ -elementin qoşulduğu şinlərin orta gərginliyi.

$X_0$ -1km elektrik veriliş xəttinin xüsusi müqaviməti.

$l$ -xəttin uzunluğu.

$X_T$ -transformatorun dolaqlarının müqaviməti (qiyməti hər bir transformator üçün onun texniki karakteristikəsindən götürülür)

Qısa qapanma cərəyanının hesabatında alınan nəticə nisbi vahidlərlə ifadə olunur.

Qısa qapanma cərəyanları amperlə təyin etmək üçün alınan nəticəni yəni, qısa qapanma cərəyanını nisbi vahidlə qiymətini həmin baza cərəyanının qiymətinə vurmaq lazımdır. Baza cərəyanının qiyməti adlı vahidlə aşağıdakı düsturla hesablanır.

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_{or}}$$

Burada  $U_{or}$  –qısa qapanma baş verdiyi nöqtədə orta gərginlikdir.

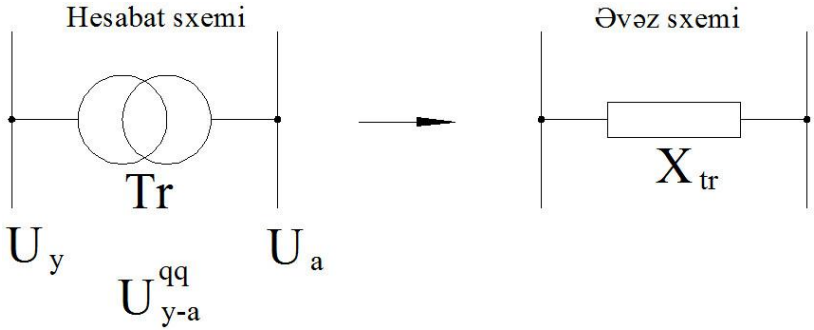
Elektrik sistemində tətbiq olunan orta gərginliklər aşağıdakılardır:

$U_{or}$	$U_{nom}$
770 kV	750kV
515kV	500 kV
340kV	330 kV
230kV	220 kV
154kV	150 kV
105kV	110 kV
37kV	35 kV
10.5kV	10 kV
6.3kV	6 kV
3.15kV	3 kV

## 8. Güc transformatorlarının müqaviməti

Güc transformatorları 1 və 3 fazalı, avtotransformator kimi 2 və 3 dolaqlı hazırlanır. Transformatorların qısa qapanma cərəyanlarının hesablanması zamanı hesablandıqları müqavimət induktiv müqavimətdir. (aktiv müqavimət induktiv müqavimətlə müqayisədə həddindən artıq kiçik olduğundan nəzərə alınmır. Transformatorların müqavimətləri (induktiv) hesabat və əvəzetmə sxemlərinə əsasən aşağıdakı kimi təyin edilir.

## 1) 2 dolaqlı transformatorlar üçün

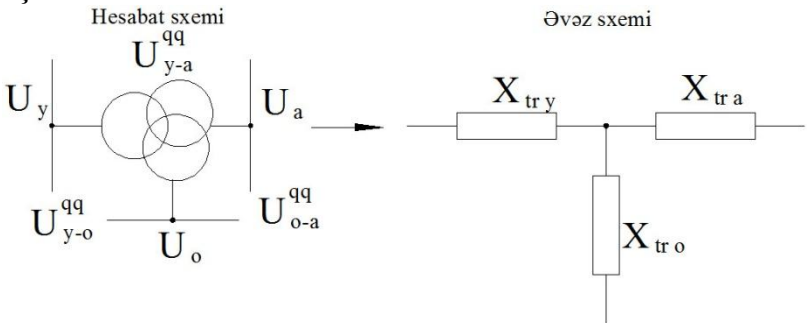


Transformatorun müqaviməti qısa qapanma gərginliyinə bərabərdir:

$$X_{tr} \% = U_{y-a}^{qq} \%$$

Qısa qapanma gərginliyi transformatorların əsas parametrlərindən biridir və bütün transformatorlar üçün onun pasport göstəricilərində qeyd olunur.

## 2) 3 dolaqlı transformatorlar və avtotransformatorlar üçün



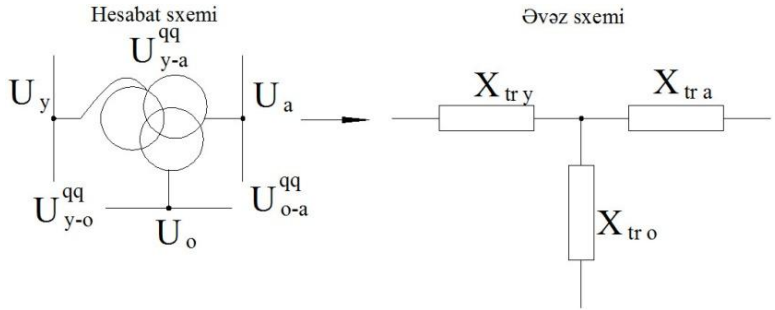
## Avtotransformatorlar üçün

Üç dolaqlı transformatorlar və avto transformatorlar üçün müqavimətlər aşağıdakı düsturlarla hesablanır:

$$X_{tr.y} \% = 0,5(U_{y-a}^{qq} \% + U_{y-o}^{qq} \% - U_{o-a}^{qq} \%)$$

$$X_{tr.o} \% = 0,5(U_{y-o}^{qq} \% + U_{o-a}^{qq} \% - U_{y-a}^{qq} \%)$$

$$X_{tr.a} \% = 0,5(U_{y-a}^{qq} \% + U_{o-a}^{qq} \% - U_{y-o}^{qq} \%)$$



## 9. Asinxron mühərriklərinin qısa qapanmaya təsiri

Elektrik sistemlərində asinxron mühərriklərinin olduğu halda qısa qapanma baş verərkən onların sayından asılı olaraq qısa qapanma cərəyanlarının yalnız zərbə qiymətinə təsiri nəzərə alınır. Bu zaman asinxron mühərrikinin nisbi vahidlə ifadə edilən induktiv müqaviməti və asinxron mühərrikinin nominal cərəyanı nəzərə alınır. Əgər bir dövrəyə bir neçə asinxron mühərriki qoşulmuş olarsa, bu halda asinxron mühərriklərinin nominal cərəyanlarının cəmi nəzərə alınmalıdır. Asinxron mühərrikinin qısa qapanma cərəyanının zərbə qiymətinə təsiri aşağıdakı emperik düsturla hesablanır:

$$i_z^{muh} = \sqrt{2} \frac{0,9}{X_{muh}} \cdot I_{nom} ;$$

Burada  $X_{muh}$  – asinxron mühərrikinin nisbi vahidlə induktiv müqavimətidir,  $I_{nom}$  – asinxron mühərrikinin nominal cərəyanıdır (Bir neçə asinxron mühərrik olduqda onların nominal cərəyanlarının cəmidir).

Bir qayda olaraq asinxron mühərrikinin induktiv müqavimətinin qiyməti  $X_{muh}=0,2$  götürülə bilər. Hesablamalar zamanı nəzərə almaq lazımdır ki, qısa qapanmanın baş verdiyi yer qıda mənbəyindən uzaqlaşdıqca qısa qapanma cərəyanında mühərriklərin təsiri yüksəlir. Ümumilikdə asinxron mühərrikinin induktiv müqaviməti aşağıdakı düsturla hesablanı bilər:

$$X_{muh} = \frac{1}{I_{or.q}}$$

Burada  $I_{or.q}$  – qoşulma cərəyanının orta qiymətidir. Məsələn, şin sisteminə 5 asinxron mühərriki qoşularsa mühərriklər qrupunun cəm orta qoşulma cərəyanı aşağıdakı kimi hesablanır.

$$I_{or.q} = S \cdot I$$

Bu halda

$$X_{muh} = \frac{1}{5} = 0,2$$

Zərbə cərəyanı hesablanarkən elektrik sisteminin xüsusiyyəti nəzərə alınmalıdır, (yəni, elektrik sisteminə qoşulan avadanlıqlar onların birləşmə sxemləri və şəbəkənin gərginliyi). Çünki, zərbə

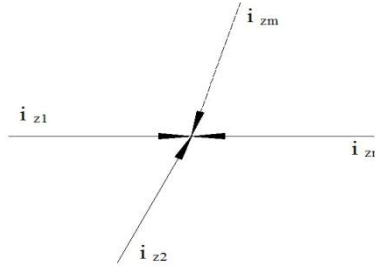


cərəyanının hesablanmasında nəzərə alınan zərbə əmsalının qiyməti şəbəkə gərginliyindən asılı olaraq dəyişir. Bu cərəyanın hesablanmasında eyni zamanda qısa qapanma cərəyanının təsiredici qiyməti də nəzərə alınır. Beləliklə qısa qapanma cərəyanlarının hesablanmasında məqsəd elektrik sistemlərində quraşdırılan elektrik aparatlarının və cərəyan keçirən hissələrin seçilməsi, zərbə cərəyanına görə isə seçilmiş bu aparatlar və cərəyan keçirən hissələr termiki və dinamiki dayanıqlığa görə yoxlanılır.

### **10. Zərbə cərəyanlarının və ixtiyari zaman anı üçün qısa qapanma cərəyanlarının hesablanması**

Qısa qapanma cərəyanlarının təsiredici və aperiodik qiymətləri hesablandıqdan sonra zərbə cərəyanları hesablanır ki, bununla da seçilmiş elektrik aparatları və cərəyan keçirən hissələr termiki və dinamiki dayanıqlığa görə yoxlanılır. Zərbə cərəyanlarının hesablanması zamanı dövrü mürəkkəbələr metodundan istifadə etmək alınmır .

Çünki, müxtəlif səciyyəli (xarakterli) dövrlərin  $\frac{R}{X}$  nisbəti əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Bütün bunları nəzərə alaraq zərbə cərəyanları hesablandıqda bütün budaqların zərbə cərəyanlarının cəmi ümumi zərbə cərəyanının qiymətinə bərabərdir.



Yəni, ümumi zərbə cərəyanı bütün budaqların zərbə cərəyanlarının cəminə bərabərdir.

$$i_z = \sum_{m=1}^n i_{zm} = \sqrt{2} \sum_{m=1}^n I_{dm} \cdot k_{zm}$$

Qısa qapanma cərəyanının qiyməti bütün nöqtələrin müxtəlif yerləşmələri üçün zərbə əmsallarının qiymətləri şəbəkənin gərginliyindən asılı olaraq xüsusi cədvəllərdən götürülür. Müasir Avropa istehsalı olan avadanlıqlar üçün zərbə əmsallarının qiymətləri köhnə Sovet istehsalı olan avadanlıqların zərbə əmsallarının qiymətlərindən fərqlənə bilər. Qısa qapanma cərəyanının hesablanmasında əsas məqsəd elektrik avadanlıqlarının seçilməsi olduğundan bu elektrik aparatları qısa qapanmanın baş verdiyi zamanda yox bir qədər sonra yəni, qısa qapanmanın ləğv olunması müddətində qısa qapanmaların təsirinə məruz qalır. Bu gecikmə zamanı 2 hissədən ibarətdir və aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\tau = t_{rm} + t_{ma}$$

Burada  $t_{r.m.}$  – Rele mühafizəsinin təsiri vaxtıdır,  $t_{m.a.}$  – açarın məxsusi işləmə vaxtıdır. Köhnə mənbələrdə

Rele mühafizəsinin təsiri zamanı  $t_{r.m.}=0,01$  san götürülür. Müasir açarlarda isə onun qiyməti bir qədər də kiçik götürülə bilər. Açarlarda məxsusi işləmə vaxtı  $t_{m.a.}= 0,2$  san-ə qədər götürülürdü . Müasir açarlarda onun qiyməti fərqlidir və aşağıdakı kimidir:

- 1) Yağ açarları (10 – 220 kV-luq) – 0,12 san
- 2) Hava açarları (20 – 750 kV-luq) – 0,08 san
- 3) Müasir eleqaz və vakuum açarları – 0,04 – 0,055 san

Müqayisədən göründüyü kimi yeni tipli açarların məxsusi işləmə zamanı köhnə açarlara nisbətən 3 dəfə azdır. Qısa qapanma cərəyanlarının ixtiyari andakı qiymətinin hesabı onun dövrü və qeyri-dövrü, yəni, aperiodik mürəkkəbələrinin zaman üzrə sönməsinə nəzərə almağı tələb edir. Qeyri-dövrü mürəkkəbənin  $\tau$  anındakı qiyməti təsiredici cərəyanın maksimal qiymətindən asılı olaraq aşağıdakı kimi hesablanır.

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2}i_{a\max} \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{T_a}\right)$$

Burada  $T_a$  – nın qiyməti qısa qapanmanın müxtəlif yerləşmələri üçün xüsusi cədvəllərdən götürülür. Elektrik sistemlərində əsas avadanlıqlardan hesab edilən generatorların nominal cərəyanının qiyməti hesablanmalıdır. Bu cərəyan generatorun nominal

gücündən , qısa qapanmanın baş verdiyi yerdəki orta gərginlikdən və güc əmsalından asılı olaraq aşağıdakı ifadə ilə hesablanır:

$$I_{nom}^{gen} = \frac{P_{nom}^{gen}}{\sqrt{3}U_{or.qq} \cos \varphi_{nom}}$$

Burada  $P_{nom}^{gen}$  - generatorun nominal aktiv gücü (kVt-la və ya MVt-la),  $U_{or.qq}$  – qısa qapanmanın baş verdiyi yerdəki orta gərginlik ,  $\cos \varphi_{nom}$  – nominal güc əmsalıdır.

## 11. Simmetrik mürəkkəbələr metodu (SMM)

Elektrik sistemlərində baş verən qısa qapanmalar əksəriyyəti qeyri simmetrik qısa qapanmalardır. Simmetrik qısa qapanmanın (3 fazlı) baş vermə ehtimalı cəmi 6%-dir. Yəni, bütün baş verən qeyri-simmetrik qısa qapanmaların nisbi payı təxminən 94% təşkil edir. Bu səbəbdən qeyri –simmetrik elektrik sistemləri üçün simmetrik mürəkkəbələr metodu (SMM) vasitəsilə qısa qapanma cərəyanları hesablana bilər. İxtiyari 3 fazlı elektrik sisteminin müvafiq olaraq fazalarından onlara uyğun faza cərəyanları axır. Bu cərəyanlar hesablama zamanı fazalara uyğun  $I_A$  ,  $I_B$  və  $I_C$  cərəyanları ilə işarələnir.

SMM –una görə bu cərəyanlar düz ardıcılıq cərəyanı  $\dot{I}_1$ , əks ardıcılıq cərəyanı  $\dot{I}_2$  və sıfır

ardıcılıq cərəyanı  $\dot{I}_0$  vasitəsilə ifadə edilə bilər. SMM – una görə bu cərəyanlar aşağıdakı düsturlarla hesablanır:

$$\dot{I}_1 = \frac{1}{3} \left( \dot{I}_A + a \dot{I}_B + a^2 \dot{I}_C \right)$$

$$\dot{I}_2 = \frac{1}{3} \left( \dot{I}_A + a^2 \dot{I}_B + a \dot{I}_C \right)$$

$$\dot{I}_0 = \frac{1}{3} \left( \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C \right)$$

Burada

$$a = e^{j120^\circ}$$

$$a^2 = e^{j240^\circ}$$

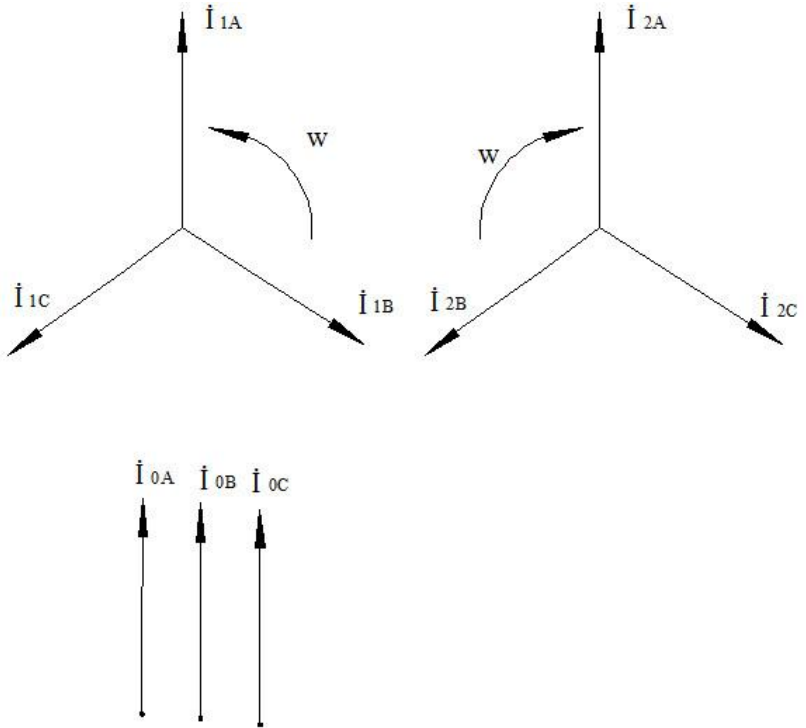
dönmə operatorlarıdır.

Bu operatorlar triqonometrik funksiyalar vasitəsilə aşağıdakı kimi hesablanır:

$$a = \cos 120^\circ + j \sin 120^\circ = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$a^2 = \cos 240^\circ + j \sin 240^\circ = -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Ardıcılıqların vektor diaqramları bir-birindən dönmə operatorlarında qeyd olunan müvafiq bucaqlar fərqi nəgərə aşığıdaki kimi yerləşdirilir. Yəni düz, əks və sıfır ardıcılıq faza cərəyanlarına uyğun olaraq vektor diaqramları aşığıdaki kimidir.



SMM-u vasitəsilə hesablamalarda aşığıdakıları nəzərə almaq lazımdır:

1) Düz ardıcılıq vektorlarının xassələri bütövlükdə simmetrik 3 fazalı sistemin xassələri ilə eynidir. Sıfır simmetrik sistemdə əks və sıfır ardıcılıq

kəmiyyətləri, yəni, cərəyan və gərginliklər 0-a bərabərdir.

2)Əks ardıcillıq vektor sistemi düz ardıcillıq vektorlar sisteminə əks istiqamətdə dövr edir. Deməli, əks ardıcillıq rejim kəmiyyətləri mənbəyin tezliyinə nəzərən ikiqat tezliklə fırlanır.

3)Sıfır ardıcillıq rejim kəmiyyətləri faza sürüşməsinə məruz qalır,yəni bütün fazalardakı gərginliklər və cərəyanlar eyni fazadadır.

Qeyri –simmetrik qısa qapanmaların hesablanmasında bütün fazaların müqavimətləri eyni götürülür və maqnit sisteminin doyması nəzərə alınmır.

SMM-unun tətbiqində elektrotexnikanın əsas qanunları olan Om və Kirxhof qanunları hər ardıcillıq üçün müstəqil şəkildə istifadə edilir.

## **12. Müxtəlif ardıcillıqlar üçün reaktiv müqavimətlər**

Bu müqavimətlərin qiymətləri elektrik sisteminin müxtəlif avadanlıq və elementi üçün fərqli hesablanır.

1. Sinxron generator , sinxron kompensator, sinxron və asinxron mühərrikləri üçün ümumi halda düz ardıcillıq  $X_1$  müqaviməti və əks ardıcillıq  $X_2$  müqaviməti bir-birindən fərqli olur. Yəni  $X_1 \neq X_2$ . Qeyri sinmetrik qısa qapanmaların hesablamalarında 2 cür yanaşma mövcuddur.

a) elektrik maşının  $X_2$  parametri məlum olduqda o  $X_1$  düz ardıcillıq müqavimətindən fərqli götürülür.

b) bu parametr məlum olmadıqda  $X_2 = X_d^*$  götürülür. İkinci yanaşmadakı buraxılma daha çox yaxın qısa qapanmaların hesablanmasında xətlər yaradır.

2. Transformatorlar, avtotransformatorlar, hava və kabel elektrik veriliş xətləri, reaktor və kondensator üçün düz ardıcillıq müqaviməti əks ardıcillıq müqavimətinə bərabər götürülür, yəni  $X_1 = X_2$ . Bu elementlərdə fırlanan hissələr olduğu üçün düz ardıcillıq müqaviməti, əks ardıcillıq müqaviməti ilə eynidir. Sıfır ardıcillıq müqaviməti xüsusi xarakterə malikdir və yerlə əlaqəli olan qısa qapanmanın hesablanmasında iştirak edir. Sıfır ardıcillıq cərəyanları 3 fazadan axaraq şəbəkənin torpaqlanmış neytral nöqtəsindən keçərək torpaq vasitəsilə qapanır. Sıfır ardıcillıq cərəyanlarının dövrləri həmin şəbəkənin düz və əks ardıcillıq dövrlərindən kəskin dərəcədə fərqlənir. Sıfır ardıcillıq cərəyanları hava xətləri transformatorlar və avtotransformatorlardan axır. Sıfır ardıcillıq müqavimətləri hava xətlərinin növündən asılı olaraq



hesablanır. Belə ki sıfır ardıcillıq müqaviməti tək və cüt dövrəli, trosu və trossuz hava elektrik veriliş xətləri üçün müxtəlif düsturlarla hesablanır. Sıfır ardıcillıq müqaviməti transformatorların birləşmə sxemindən və quruluşundan asılı olaraq, eləcə də avtotransformatorlar üçün də müxtəlif ifadələrlə hesablanır. Ümumilikdə sıfır ardıcillıq müqaviməti düz-ardıcillıq müqavimətindən asılı olaraq hesablanır. Hava elektrik veriliş xətləri üçün yeni standartlara uyğun olaraq sıfır ardıcillıq müqavimətinin qiyməti aşağıdakı düsturlarla hesablanır.

a) trossuz tək dövrəli xətt üçün

$$X_o = (2.6 \div 3.5)X_1$$

b) trossuz cüt dövrəli xətlər üçün.

$$X_o = (3.8 \div 5.6)X_1$$

c) trosu tək dövrəli xətlər üçün

$$X_o = (1.7 \div 2.1)X_1$$

d) trosu cüt dövrəli xətlər üçün

$$X_o = (2.4 \div 3.4)X_1$$

İfadələrdən görüldüyü kimi trossuz xətlərdə sıfır ardıcillıq müqaviməti trosu dövrələrə nisbətən çoxdur. Eyni zamanda cüt dövrəli xətlərdə də dövrədənaqillərin sayı 2 dəfə çox olduğundan ( 2

dövrənin hər birində 3 faza-6 naqıl) sıfır ardıcılıq müqaviməti 1 dövrəli xəttə nisbətən yüksəkdir. Bu düsturlarda  $X_0$  -in yəni sıfır ardıcılıq müqavimətinin qiymətləri qısa qapanmada ildırım ötürücü trosların, xəttin hər iki tərəfindən torpaqla birləşdiyi hal üçün verilmişdir.

Transformatorlar üçün 0 ardıcılıqreaktiv müqaviməti onun dolağının birləşmə sxemindən və transformatorun quruluşundan asılıdır. Dolaqlarının birləşməsi  $\triangleleft/\triangle$  olan transformatorun yüksək gərginlik tərəfində qısa qapanma baş verdikdə sıfır ardıcılıq müqaviməti aşağıdakı kimi hesablanır





$$X_0 = (0,7 \div 1) X_1$$

Əgər transformator 3 polad lövhədirsə bu halda  $X_0 = X_1$  götürülür. Yəni sıfır ardıcılıqlı müqaviməti düz ardıcılıq müqavimətinə bərabər götürülür. Əgər transformator 5 polad lövhəli və üç 1 fazalı hazırlanırsa və dolaqlarında birləşmə sxemi  $\triangleleft/\triangle/\triangle$  olarsa həmin transformatorun yüksək gərginlik tərəfində qısa qapanma baş verdikdə sıfır ardıcılıq müqaviməti aşağıdakı düsturla hesablanır.

$$X_0 = (1 \div 2,4) X_1$$

Müxtəlif quruluşlu transformatorlar üçün qeyd olunan birləşmə sxeminin orta və alçaq gərginlik tərəfində qısa qapanma baş verdikdə sıfır ardıcılıq

müqaviməti  $X_0 = \infty$  - dur. Ümumi halda sıfır ardıcılıq cərəyanlarının axması yalnız qısaqapanmaların başverdiyi nöqtənin, transformatorun torpaqlanmış ulduz birləşməsi

() tərəfində yerləşdiyi halda mümkündür. Bütün digər hallarda sıfır ardıcılıq müqaviməti  $\infty$ -a bərabər deyil yəni dəyişir. Üçbucaq birləşmə sxemi olan dolaqlarda sıfır ardıcılıq cərəyanları qapanır və üçbucaqdan kənara çıxmır. Yuxarıda baxılan  /  /  birləşmə sxeminin əvəz etmə sxemindən ulduzdolağının müqaviməti xaric olunur və nəticədə ardıcıl birləşmiş yüksək və alçaq gərginlik tərəflərin reaktivmüqavimətiqalır.

Avtotransformatorlar üçün bütün sıfır ardıcılıqlı müqavimətləri müvafiq düz ardıcılıqların müqavimətinə bərabərdir, yəni

$$X_{0y} = X_{ly} \quad X_{00} = X_{l0} \quad X_{0a} = X_{la}$$

və uyğun olaraq dolaqlararası müqavimətlərdə aşağıdakı düsturlarla hesablanır:

$$X_{0,y-0} = X_{l,y-0} \quad X_{0,y-a} = X_{l,y-a} \quad X_{0,0-a} = X_{l,0-a}$$

### **13. Müxtəlif ardıcılıqlar üçün əvəzetmə sxemlərinin tərtib edilməsi**

Əvəzetmə sxemləri hər bir ardıcılığın bir fazası üçün tərtib edilir. Düz ardıcılıq sxemi simmetrik 3 fazalı qısaqapanmanın hesablanmasında tərtib edilən əvəzetmə sxemi ilə eynidir. Əks ardıcılıq sxemi düz ardıcılıq sxeminin tərkibində e.h.q mənbəyini çıxmaq şərti ilə olan elementlərdən ibarətdir. Sxemin başlanğıcı generator budaqlarının başlanğıclarını birləşdirən nöqtə, sonu isə qısa qapanma nöqtəsidir. Sıfır ardıcılıq sxemi düzvə əks ardıcılıq sxemlərindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Sxemin başlanğıcı transformatorların və avtotransformatorların neytral nöqtələri sonu isə qısa qapanma nöqtəsidir. Sıfır ardıcılıq sxeminin tərtib edilməsi qısa qapanma nöqtəsindən başlayır. Müxtəlif ardıcılıqlar üçün əvəzetmə sxemləri simmetrik qısaqapanma üçün olduğu kimi sxemin sadələşdirilməsi vasitəsilə cəm müqavimətləri təyin edilir. Simmetrik qısa qapanma cərəyanlarının hesablanmasında olduğu kimi istənilən qeyri-simmetrik qısa qapanma cərəyanının hesablanması üçün verilmiş hesabat sxeminə əsasən düz, əks və sıfır ardıcılıq əvəzetmə sxemləri tərtib edilir. Bundan sonra həmin sxemlərə əsasən parametrlər (müqavimətlər) hesablanır. Növbəti mərhələdə tərtib edilmiş düz, əks və sıfır ardıcılıq sxemləri sadələşdirilərək yekun ümumi sadə sxemə gətirilir və həmin sxemin cəm müqaviməti hesablanır. Son

mərhələdə isə e.h.q-ni bu cəm müqavimətə bölməklə nisbi vahidlərlə qeyri simmetrik qısa qapanma cərəyanları hesablanır. Bundan sonra baza cərəyanı hesablanaraq qısa qapanma cərəyanı adlı vahidlərlə yerinə yetirilir.

#### **14. Qeyri - simmetrik qısa qapanma cərəyanlarının hesablanması**

Bu cərəyanları hesablamaq üçün birinci növbədə hər bir ardıcılıq üçün yəni düz, əks və sıfır ardıcılıq üçün cəm reaktiv müqavimətlər hesablanır

$$X_1; X_2; X_0$$

Bu halda periodik cərəyanın maksimum qiyməti yeni standartlara əsasən bütün qısa qapanmalar üçün aşağıdakı düsturlarla hesablanır.

- 1- Simmetrik qısa qapanma olduqda yəni 3 fazalı qısa qapanma zamanı periodik cərəyanın maksimum qiyməti nominal gərginlikdən və ancaq düz ardıcılıq müqavimətindən asılı olaraq aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$I_{p.\max} = \frac{1,1 \cdot U_{nom}}{\sqrt{3} |X_1|}$$

Burada  $U_{nom}$  - nominal gərginlik,  $X_1$  - düz ardıcılıq üçün reaktiv müqavimətin qiymətidir.

- 2- İki fazalı yerlə əlaqəsi olmayan qısa qapanma zamanı periodik cərəyanın maksimal qiyməti

$$I_{p.\max} = \frac{1,1 \cdot U_{nom}}{|X_1 + X_2|}$$

- 3- İki fazalı yerlə əlaqəli qısa qapanma zamanı periodik cərəyanın maksimal qiyməti.

$$I_{p.\max} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot U_{nom}}{\left| X_1 + X_2 + X_0 \cdot \frac{X_1}{X_2} \right|}$$

Burada  $X_0$  – 0 ardıcılıq müqaviməti,  $X_2$  isə əks ardıcılıq müqavimətidir.

- 4- Bir fazalı qısa qapanma zamanı periodik cərəyanın maksimal qiyməti.

$$I_{p.\max} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot U_{nom}}{|X_1 + X_2 + X_0|}$$

Nisbi vahidlərdən istifadə etdikdə nominal gərginliyin qiyməti faza gərginliyindən asılı olaraq onun vahid qəbul edilməsi şərti ilə aşağıdakı kimi hesablanır:

$$U_{nom} = \sqrt{3} \cdot U_f = \sqrt{3} \cdot 1 = \sqrt{3}$$

Qısa qapanma cərəyanları hesablandıqdan sonra müxtəlif qısaqapanma növləri üçün cərəyanlar müqayisə edilir və sonra daha təhlükəli qısa qapanma müəyyən edilir. Bunun üçün xüsusi

nomogrammlar tərtib edilir və onaəsasən daha təhlükəli qısa qapanma üçün qısa qapanma cərəyanının qiyməti müəyyən edilir. Ən çox baş verən qısa qapanma bir fazlı qısa qapanmadır, çünki bir fazlı qısa qapanma zamanı dövrənin müqavimətinin az olması ilə əlaqədar qısa qapanma cərəyanlarının qiyməti yüksəkdir.

### **15. Kommutasiya aparatlarının seçilməsi və yoxlanılması**

Yüksək gərginlikli kommutasiya və digər təyinatlı aparatlar normal şəraitdə işləmə qabiliyyətinə görə seçilir və qəza rejimlərində isə yoxlanılır. Kommutasiya aparatları dedikdə elektriksistemlərində quraşdırılanaçarlar, ayırıcılar, aralayıcılar, qısa qapayıcılar, yük açarları nəzərdə tutulur.

#### **1)Açarların seçilməsi.**

a)Açarların nominal gərginliyi şəbəkənin nominal gərginliyindən aşağı olmamalıdır.

$$U_{nom} \geq U_{şəb,nom}$$

b) Açarın nominal cərəyanı qərarlaşmış rejimin (normal rejimin) maksimum cərəyanından kiçik olmamalıdır.

$$I_{nom} \geq I_{norm,max}$$

c) Açarın nominal cərəyanı uzun müddətli rejimin maksimum cərəyanından kiçik olmamalıdır.

$$I_{nom} \geq I_{uz,müd,max}$$

d) Açarın qoşulma cərəyanı qısaqapanma cərəyanının dövrü mürəkkəbəsinin maksimum qiymətindən kiçik olmamalıdır.

$$I_{qoş} \geq I_{d,max}$$

e) Açarın qoşulma cərəyanının ani qiyməti zərbə cərəyanından kiçik olmamalıdır.

$$i_{qoş} \geq i_z$$

f) Açarın buraxıcı qabiliyyəti cərəyanın təsiredici qiymətinə görə qısa qapanma cərəyanının dövrü mürəkkəbəsinin maksimum qiymətindən kiçik olmamalıdır.

$$I_{hüd} \geq I_{d,max}$$

g) Açarın buraxıcı qabiliyyəti cərəyanının ani qiymətinə görə zərbə cərəyanından kiçik olmamalıdır.

$$i_{hüd} \geq i_z$$

Qeyd; f və g şərtlərinə görə açarın dinamik dayanıqlığa görə yoxlanılması təmin olunur.



h) Açar üçün termiki dayanıqlıq şərti yəni,

$$I_{hud.ter}^2 \cdot t_{hud.ter} \geq B_{qq}$$

Burada;  $I_{hud.ter}$  - termiki dayanıqlıq şərtinə görə açarın buraxa biləcəyi hüdud cərəyanıdır.  $t_{hud.ter}$  - termiki dayanıqlıq şərtinə görə qısa qapanma cərəyanının buraxıla biləcəyi maksimum müddətidir.  $B_{q,q}$  - qısa qapanma cərəyanının istilik impulsudur və aşağıdakı düsturla hesablanır.

$$B_{qq} = \int_0^{t_{ac}} i_{qq}^2 dt$$

Burada;  $t_{ac}$  - qısa qapanmanın açılma zamanıdır.  $i_{q,q}$  - qısa qapanma cərəyanının funksiyasıdır.

i) Açarın nominal açma cərəyanı  $\tau$  anında dövrü qısa qapanma cərəyanının qiymətindən kiçik olmamalıdır.

$$I_{a\varphi,nom} \geq I_{d,\tau}$$

j) Açarın nominal aperiodik açma cərəyanı  $\tau$  anında qısa qapanma cərəyanının aperiodik mürəkkəbəsindən kiçik olmamalıdır.

$$i_{a,nom} \geq i_{a,\tau}$$

2) Ayırıcıların seçilməsi.

Ayırıcılar cərəyansız dövrəni açıb qapamaq üçün istifadə edilən kommutasiya aparatlarıdır. Yarımstansiyalarda təmir, təftiş işləri yerinə yetirilərkən bu işləri yerinə yetirən işçilərin təhlükəsizliyini təmin etmək məqsədilə həmin yerlərdə ayırıcılar vasitəsilə dövrə açılaraq gözlə görünən arakəsmə yaradılır. Ayırıcıların seçilmə şərtləri aşağıdakılardır:

- a) Ayırıcıların nominal gərginliyi şəbəkənin nominal gərginliyindən aşağı olmamalıdır.

$$U_{nom} \geq U_{şəb,nom}$$

- b) Ayırıcıların nominal cərəyanı qərarlaşmış rejimin (normal rejimin) maksimum cərəyanından kiçik olmamalıdır:

$$I_{nom} \geq I_{norm,max}$$

- c) Ayırıcıların nominal cərəyanı uzun müddətli rejimin maksimum cərəyanından kiçik olmamalıdır.

$$I_{nom} \geq I_{uz,müd,max}$$

- d) Ayırıcıların dinamik dayanıqlıq cərəyanı zərbə cərəyanından kiçik olmamalıdır.

$$i_{din} \geq i_z$$

- e) Ayırıcının termiki dayanıqlıq cərəyanının kvadratı ilə termiki dayanıqlıq müddətinə hasili istilik impulsundan kiçik olmamalıdır

$$I_T^2 \cdot t_T \geq B_{qq}$$

### 3) Aralayıcıların seçilməsi

Aralayıcılar dövrəni açıb qapamaq üçün və qısa qapanma zamanı dövrəni avtomatik açmaq üçün istifadə edilən kommutasiya aparatıdır. Aralayıcılar qısa qapayıcılarla bir yerdə quraşdırılır. Belə ki, qısa qapayıcılar vasitəsilə dövrədə süni qısa qapanma yaradıldıqdan sonra aralayıcı vasitəsilə dövrə avtomatik açılır. Aralayıcının ayırıcıdan fərqi ondan ibarətdir ki, aralayıcı dövrəni avtomatik açır.

Aralayıcıların seçilmə şərtləri aşağıdakılardır.

- a) Aralayıcıların nominal gərginliyi şəbəkənin nominal gərginliyindən kiçik olmamalıdır.

$$U_{nom} \geq U_{\text{şəb},nom}$$

- b) Aralayıcıların nominal cərəyanı qərarlaşmış rejimin (normal rejimin) maksimal cərəyanından kiçik olmamalıdır.

$$I_{nom} \geq I_{norm,max}$$

- c) Aralayıcıların nominal cərəyanı uzunmüddətli rejimin maksimum cərəyanından kiçik olmamalıdır.

$$I_{nom} \geq I_{uz,müd,max}$$

- d) Aralayıcıların dinamik dayanıqlıq cərəyanı zərbə cərəyanından kiçik olmamalıdır.

$$i_{din} \geq i_z$$

- e) Aralayıcıların termiki dayanıqlıq cərəyanının kvadratı ilə termiki dayanıqlıq müddətinə hasili istilik impulsundan kiçik olmamalıdır

$$I_T^2 \cdot t_T \geq B_{qq}$$

#### 4) Qısa qapayıcılar

Qısa qapayıcılar dövrdə süni qısa qapanma yaratmaq üçün istifadə edilən kommutasiya aparatlarıdır. Qısa qapayıcıların seçilmə şərtləri aşağıdakı kimidir:

- a) Qısaqapayıcıların nominal gərginliyi şəbəkənin nominal gərginliyindən kiçik olmamalıdır.

$$U_{nom} \geq U_{şəb,nom}$$

- b) Qısa qapayıcının dinamik dayanıqlıq cərəyanı zərbə cərəyanından kiçik olmamalıdır

$$i_{din} \geq i_z$$

- c) Qısa qapayıcının termiki dayanıqlıq cərəyanının kvadratı ilə termiki dayanıqlıq müddətinə hasili istilik impulsundan kiçik olmamalıdır.

$$I_T^2 \cdot t_T \geq B_{qq}$$

## 5) Reaktorların seçilməsi.

Reaktorlar qısa qapanma cərəyanını məhdudlaşdıran avadanlıqlardır. Onların seçilmə şərtləri aşağıdakı kimidir.

- a) Reaktorların nominal gərginliyi şəbəkənin nominal gərginliyindən kiçik olmamalıdır.

$$U_{nom} \geq U_{şəb,nom}$$

- b) Reaktorların nominal cərəyanı qərarlaşmış rejimin (normal rejimin) maksimal cərəyanından kiçik olmamalıdır.

$$I_{nom} \geq I_{norm,max}$$

- c) Reaktorların nominal cərəyanı uzunmüddətli rejimin maksimum cərəyanından kiçik olmamalıdır.

$$I_{nom} \geq I_{uz,müd,max}$$

- d) Reaktorların dinamik dayanıqlıq cərəyanı zərbə cərəyanından kiçik olmamalıdır.

$$i_{din} \geq i_z$$

- e) Reaktorların termiki dayanıqlıq cərəyanı ilə termiki dayanıqlıq müddətinin kvadrat kökünə hasili istilik impulsunun kvadrat kökündən kiçik olmamalıdır.

$$I_T \cdot \sqrt{t_T} \geq \sqrt{B_{qq}}$$

Qeyd - Reaktorların müqaviməti  $X_R$  iki şərtə görə seçilir:

- 1) qısa qapanma cərəyanının məhdudlaşdırılması şərti ilə
- 2) nominal rejimdə icazə verilən  $U_R$  (reaktor gərginliyi) gərginlik itkisinin təmin olunması ilə
- 6) Yüklə açarlarının seçilməsi.

Yüklə açarlarının seçilmə qaydası ayırıcı və aralayıcıların seçilmə qaydaları ilə eynidir. Fərq aşağıdakılardan ibarətdir.

- a) Ardıcıl qoşulan qoruyucu olmadıqda açma cərəyanının nominal qiyməti açılma cərəyanının hesabi qiymətindən kiçik olmamalıdır.

$$I_{a\check{c},nom} \geq I_{a\check{c},hes}$$

Eyni zamanda nominal qoşulma cərəyanı qoşulma cərəyanının hesabi qiymətindən kiçik olmamalıdır.

$$I_{qo\check{s},nom} \geq I_{qo\check{s},hes}$$

- b) Dövrədə ardıcıl qoşulan qoruyucu olduqda açılma cərəyanının nominal qiyməti  $\tau$  anında qısa qapanma cərəyanının təsiredici qiymətindən kiçik olmamalıdır.

$$I_{a\check{c},nom} \geq I_{d,\tau}$$

Bu ifadələrdə  $I_{a\zeta, nom}$ -nominal açma cərəyanı,  $I_{qo\zeta, nom}$ -nominal qoşulma cərəyanı,  $I_{a\zeta, hes}$ -açılma cərəyanının hesabi qiyməti,  $I_{qo\zeta, hes}$ -qoşulma cərəyanının hesabi qiyməti.  $I_{d, \tau}$ - $\tau$  anında qısa qapanma cərəyanının dövrü qiyməti.

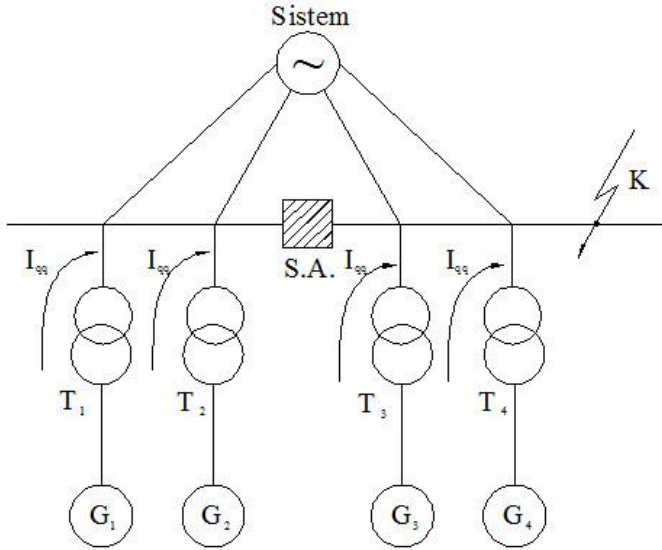
## 16. Qısa qapanma cərəyanının məhdudlaşdırma üsulları

Elektroenergetikanın inkişafı son nəticədə elektrik enerjisinin mənbələrinin sayının və gücünün yüksəldilməsini tələb edir. Bu birinci növbədə digər enerji növlərinə nəzərən nəql qabiliyyəti daha yüksək olan elektrik enerjisinə aiddir. Digər tərəfdən güclərin artımı və qısa qapanma cərəyanlarının çox olması elektrik sistemlərində bu cərəyanların məhdudlaşdırılmasını tələb edir. Eyni zamanda elektrik sistemlərini qısa qapanma cərəyanlarından mühafizə edən elektrik aparatlarının tez təsirli olması tələb olunur. Qısa qapanma cərəyanlarının məhdudlaşdırılması üçün 3 əsas üsul tətbiq edilir:

1. Elektrik şəbəkəsinin seksiyalaşdırılması yəni, bölmələrə ayrılması
2. Cərəyan məhdudlaşdırıcı reaktorların tətbiqi
3. Parçalanmış alçaq gərginlikli sarğılara malik olan transformatorların istifadəsi

### 1. Elektrik şəbəkəsinin seksiyalaşdırılması üsulu

Elektrik şəbəkəsinin istismar təcrübəsi göstərir ki, bu üsul vasitəsilə qısa qapanma cərəyanlarını 2 dəfəyədək alçaltmaq mümkündür. Elektrik şəbəkəsində seksiyalaşdırma aşağıdakı sxemdə verilmişdir:

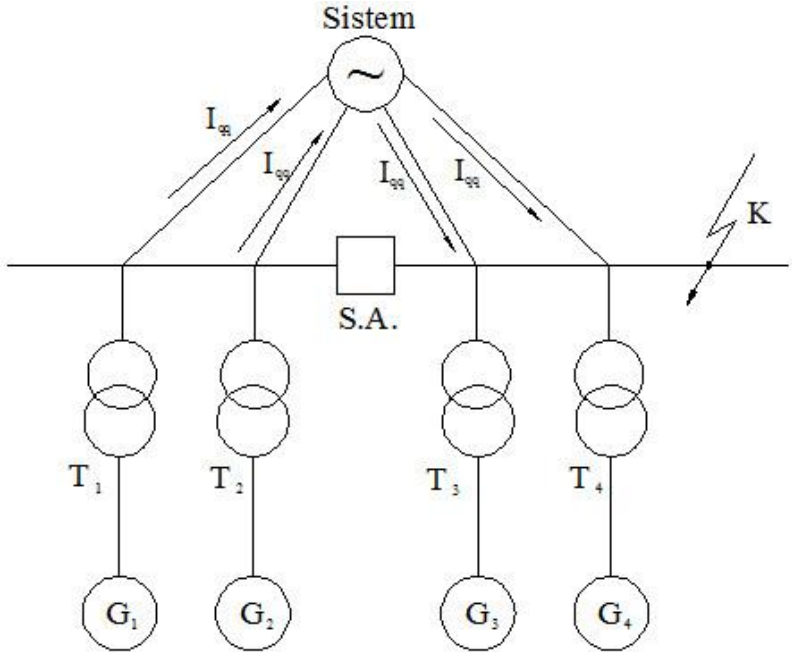


Şəkil 1. Seksiya açarı qapalı olduğu halda

Bu sxemə əsasən seksiya açarı qapalı olduqda K nöqtəsində qısa qapanma baş verdikdə bu nöqtəyə axan bütün qısa qapanma cərəyanları bilavasitə seksiya açarından keçməklə həmin nöqtəyə yönəlmişdir və qısa qapanma cərəyanlarının hesablanması zamanı ancaq generator və transformatorların induktiv müqavimətləri nəzərə

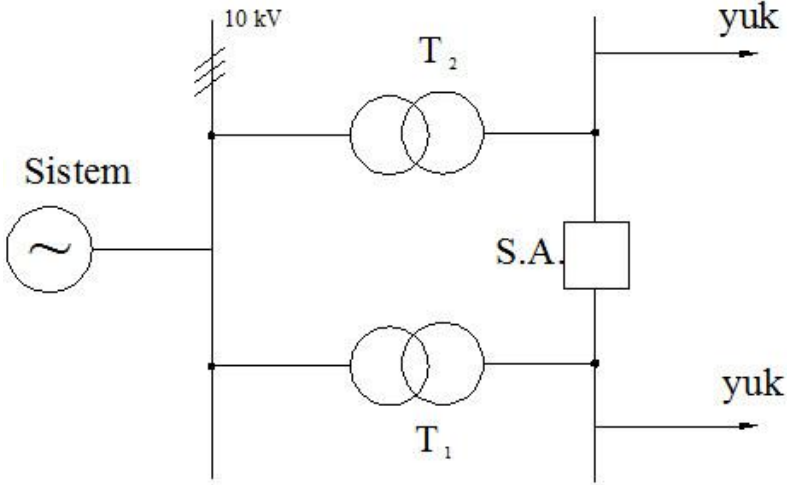


alınır. Seksiyalaşdırmanın tətbiq olunduğu halda seksiya açarı açıq vəziyyətdədir və qısa qapanma cərəyanları  $K$  nöqtəsinə sistem vasitəsilə axır. Bu halda qısa qapanma cərəyanları hesablanarkən EVX-nin müqavimətləri nəzərə alınır. Yəni qısa qapanma cərəyanlarının qiyməti cərəyanın xarici şəbəkədən keçməsi ilə əlaqədar generator və transformatorların müqavimətlərindən əlavə qısa qapanma dövrəsinə ardıcıl olaraq xətlərin də müqaviməti qoşulur. Nəticədə qısa qapanma cərəyanının qiyməti azalır.



Şəkil 2. Seksiya açarı açıq olduğu halda

Nominal gərginlikləri 10 kV və daha aşağı olan paylayıcı şəbəkələrdə transformatorların bölünmüş şin sistemində qoşulması geniş istifadə edilir.



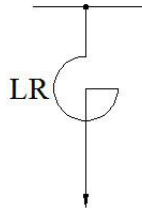
Şəkil 3. Transformatorların bölünmüş şin sistemində qoşulma sxemi

Bu sxemə əsasən transformatorların ikisi də işlədikdə seksiya açarı açıqdır. Bununla da yüklər (işlədicilər) qoşulduğu şinlərdə qısa qapanma baş verdikdə qısa qapanma cərəyanlarının qiyməti nisbətən kiçik olur. Yalnız transformatorlardan biri təmirə çıxarıldıqda seksiya açarı qapalı rejimdə işləyir. Bu rejimə seksiya açarı avtomatik olaraq Rele mühafizəsi vasitəsilə keçirilə bilər (məsələn, transformatorlardan biri  $T_1$  açıldıqda seksiya açarı qapanır və bütün yüklər 2-ci transformatordan qidalandırılır).

## 2.Reaktorların tətbiqi üsulu

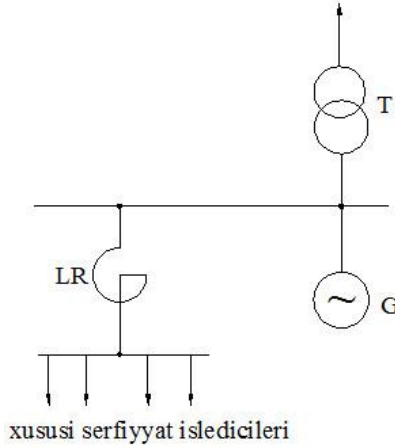
Reaktorlar qısa qapanma cərəyanlarını məhdudlaşdıran elektrik avadanlıqlarıdır. Reaktorlar maqnit materialından hazırlanmış nüvəyə malik olmayan induktivlikdir. Bir qayda olaraq reaktorlar 6-10 kV-luq şəbəkələrdə, bəzi hallarda isə daha yüksək gərginlikli şəbəkələrdə tətbiq edilir. Qısa qapanma cərəyanlarını məhdudlaşdırmaqla yanaşı eyni zamanda qısa qapanmalarla əlaqədar olan kəskin gərginlik düşgüsünü reaktor vasitəsilə qismən azaltmaq olur. Elektrik sistemlərində reaktorların 3 cür qoşulma sxemi tətbiq edilir.

### a) Reaktorların fərdi qoşulma sxemi

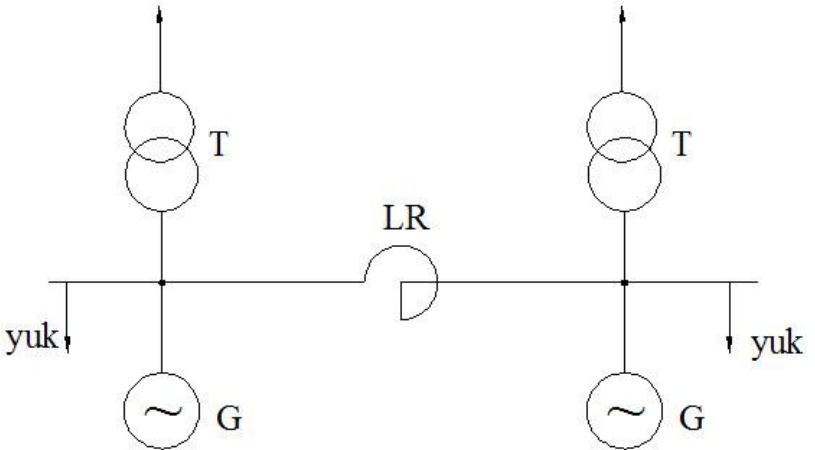


Bu sxemdə göstərilən qoşulma vacib, yəni, məsul işlədicilər üçün istifadə olunur. Bəzi hallarda reaktorlar bir qrup işlədicilərə qoşulur. Bu halda o qrup reaktoru adlanır.

### b) reaktorun elektrik stansiyasının xüsusi sərfiyyat işlədicilərinə qoşulma sxemi



c)Reaktorun seksiya (bölmə) reaktoru kimi qoşulma sxemi

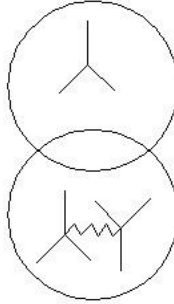


Bu cür qoşulma şəraitində reaktor hər bir generatorun qoşulduğu seksiyada qısa qapanma baş verdikdə qısa qapanma cərəyanı digər seksiyaya qoşulan generatorun payını kəskin dərəcədə azaldır. Reaktorun əsas çatışmayan cəhəti onların fayda

vermədiyi normal (qərarlaşmış) rejimdə kifayət qədər yüksək enerji itkilərindən ibarətdir.

### 3. Parçalanmış alçaq gərginlik sarğularına malik olan transformatorların istifadəsi

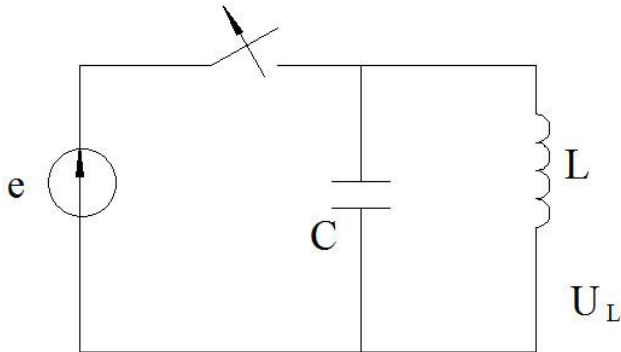
Bu üsul qısa qapanma cərəyanlarının məhdudlaşdırılmasını əhəmiyyətli dərəcədə təmin edir.



Transformatorun 2-ci tərəf dolağının parçalanması ilə qısa qapanma zamanı bu dolağın parçalanmış sarğularından keçən qısa qapanma cərəyanı məhdudlaşdırılır. Bəzi hallarda qısa qapanma cərəyanını daha çox məhdudlaşdırmaq üçün parçalanmış II tərəf dolaq sarğularına malik transformatorlarla yanaşı qoşalaşmış reaktorlar da tətbiq edilir ki, bunun nəticəsində qısa qapanma cərəyanları daha əhəmiyyətli dərəcədə məhdudlaşdırılır. Reaktorların layihələndirilməsində onun sənaye tezliyindəki induktiv müqaviməti qısa qapanma cərəyanının məhdudlaşdırılması şərtinə görə seçilir.

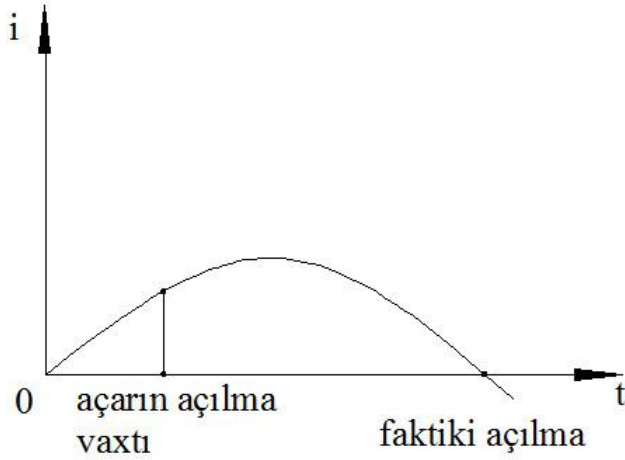
## 17. İnduktivliyin açılmasını müşayiət edən keçid prosesləri

İnduktiv yüklərin açılmaları enerji sistemi üçün təhlükəli keçid proseslərindən biridir. Bu növ keçid prosesində ifrat gərginliklər yüksək qiymət alaraq sistemin elementlərinin yüksək gərginlik izolyasiyası üçün təhlükə yaradır. İnduktivlik dedikdə transformatorlar, avtotransformatorlar və reaktorlar nəzərdə tutulur. İnduktivliyin açılmasını müşayiət edən keçid prosesləri üçün ən sadə sxem aşağıdakı kimidir:

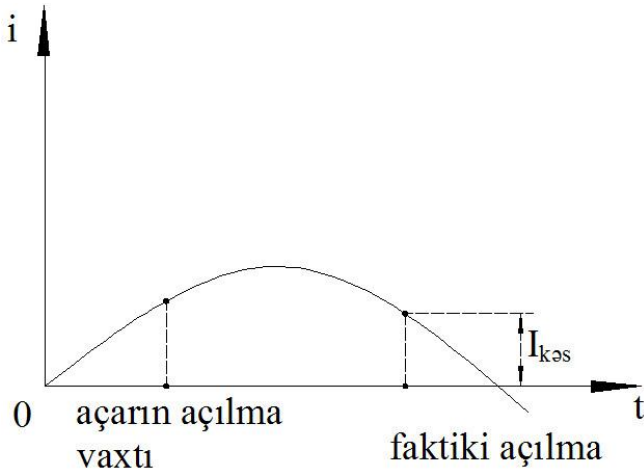


Elektrik qurğularının faktiki açılması açarın işləməsinin başlanğıc anında yox, yanan qövsün sönməsi anında baş verir. Qövsün qırılması ondan axan cərəyanın 0-dan keçməsi anına təsadüf edir. Ancaq yüksək qövssöndürmə qabiliyyətinə malik olan müasir açarlarda qövsün qırılması, cərəyanın 0-dan keçmə anından daha tez baş verir və bu hadisə

kəsilmə cərəyanı adlanır. Adi köhnə açarlar üçün açılma prosesi aşağıdakı kimidir.



Müasir tipli açarlarda bu proses aşağıdakı kimidir.



Cərəyan kəsildikdə yük qida mənbəyindən ayrılır və induktivlikdə cəmlənən enerjinin qiyməti aşağıdakı kimi hesablanır:

$$W_m = \frac{LI_{kes}^2}{2}$$

Bu enerji induktivliklə birlikdə rəqs konturunu təşkil edən tutuma boşalır. Bu sxemdə göstərilən dövrə üçün enerji balans tənliyi aşağıdakı kimidir:

$$\frac{CU_0^2}{2} + \frac{LI_{kes}^2}{2} = \frac{CU_{max}^2}{2}$$

Bu ifadədə C-açılan qurğunun giriş tutumudur  $U_0$ -açılam anında induktivlikdə olan gərginlikdir L-açılan qurğuların induktivliyidir,  $I_{kes}$  - açarın kəsilmə cərəyanıdır.  $U_{max}$ -açılan qurğuda ifrat gərginliyin mütləq qiymətidir. Onun qiyməti aşağıdakı düsturla hesablanır.

$$U_{max} = \sqrt{U_0^2 + \left( I_{kes} \sqrt{\frac{L}{C}} \right)^2}$$



Bir çox hallarda kökaltı ifadənin 2-ci toplananı 1-ci toplananından çox böyük olduğu üçün  $U_{\max}$  aşağıdakı düsturla hesablanır.

$$U_{\max} = I_{kes} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

İfrat gərginliyin qiyməti sonuncu ifadədən göründüyü kimi kəsilmə cərəyanı ilə düz mütənasibdir. Kəsilmə cərəyanının qiyməti açarın məxsusi parametri olaraq onun quruluşu qövssöndürücü mühitin və kontaktların materialından aslıdır. Müxtəlif növ açarlar üçün kəsilmə cərəyanının qiyməti aşağıdakı kimidir:

1) Yağ açarları üçün

$$I_{kəs}=4-40A$$

2) Hava açarları üçün

$$I_{kəs}=20A$$

3) Vakuum açarları üçün

$$I_{kəs}=3-5A$$

Tutum həndəsi xarakter daşıyır və bu səbəbdən təsiredici parametr kimi nəzərə alınmır. Beləliklə  $U_{\max}$ -ın qiyməti induktivliklə müəyyən edilir.

$$U_{\max} \sim L^{\frac{1}{2}}$$

Yəni induktivliyin kvadrat kökü ilə düz mütənasibdir . Digər kəmiyyətlər dəyişməz olarsa bu halda ifrat gərginliyin səviyyəsi böyük induktivliklər üçün daha böyük olur . Bu baxımdan transformator və avtotransformatorların yüksüz işləmə rejimində onların induktivliyi daha böyük olur. Transformator və avtotransformatorlar üçün  $U_{\max}$  aşağıdakı kimi hesablanır:

$$U_{\max} = I_{kes} \sqrt{\frac{L_{y.i}}{C_{qer}}}$$

Burada  $L_{y.i}$ -yüksüz işləmə induktivliyi ,  $C_{gir}$  –giriş tutumudur. Açılan qurğuda ifrat gərginliyin mütləq qiyməti, yəni,  $U_{\max}$ -un qiyməti müxtəlif növ açarlarla transformatorun açılmasının keçid prosesi üçün qiymətləndirilir. Məsələn 110kV-luq transformator üçün  $L_{y.i}=30\text{Hn}$  ;  $C_{gir}=12\text{pF}$  təşkil edərsə kəsilmə cərəyanının açarın növündən asılı olaraq

1) Yağ açarları üçün

$$I_{kəs}=12\text{A}$$

2) Eleqaz açarları üçün

$$I_{kəs} = 6A$$

3) Vakuüm açarları üçün

$$I_{kəs} = 5A$$

qəbul etsək, ifrat gərginliyin mütləq qiyməti aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\sqrt{\frac{L_{y.i}}{C_{qer}}} = \sqrt{\frac{30}{12 \cdot 10^{-9}}} = 5kOm$$

Bütün açarlar üçün onların kəsilmə cərəyanından aslı olaraq 110k V-luq transformatorların açılması zamanı ifrat gərginliyin  $U_{max}$  qiyməti aşağıdakı kimi təyin edilir.

1) Yağ açarları üçün

$$U_{max} = I_{kes} \sqrt{\frac{L_{y.i}}{C_{qer}}} = 12 \cdot 50 = 600kV$$

2) Vakuum açarları üçün

$$U_{max} = I_{kes} \sqrt{\frac{L_{y.i}}{C_{qer}}} = 5 \cdot 50 = 250kV$$

3) eleqaz açarları üçün

$$U_{\max} = I_{kes} \sqrt{\frac{L_{y.i}}{C_{qer}}} = 6 \cdot 30 = 300 \text{ kV}$$

Beləliklə hesablamaların nəticələri göstərir ki, eyni yüksüz işləmə induktivliyində və giriş tutumunda ifrat gərginliyin maksimum qiyməti yağ açarları üçün daha çoxdur . Bu baxımdan ən əlverişli açarlar vakuum açarlarıdır. Göründüyü kimi induktivliyin açılmasını müşayiət edən keçid proseslərində əsas amil açarın növüdür. Yəni, kəsilmə cərəyanı az olan açar daha əlverişlidir. Çünki, elektrik qurğusunun bu növ açar vasitəsilə açılması zamanı ifrat gərginliyin maksimum qiyməti ən aşağıdır (250kV). Real keçid proseslərində bu göstəricilər daha mürəkkəbdir. Bunun əsas səbəbi açılma zamanı baş verə biləcək qövsün təkrar qoşulmalarıdır.

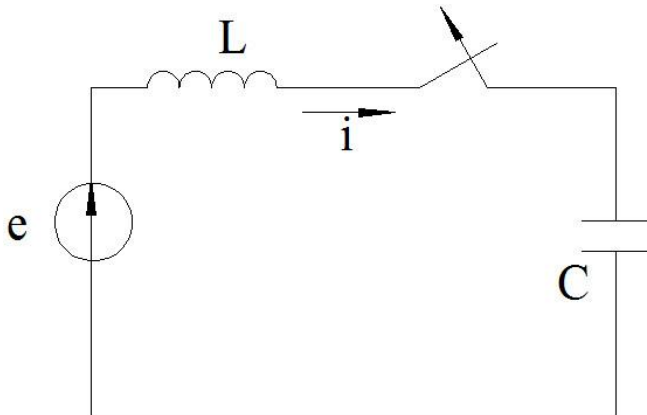
## **18. Tutumların açılmasını müşayiət edən keçid prosesləri**

Tutum xarakterli elementlər güclü kondensator batareyaları və yüksüz işləyən EVX –ləridir. Kondensator batareyalarının vəzifəsi, təyinatı yüksək və ifrat yüksək nominal gərginlikli elektrik şəbəkələrinin qovşaqlarında gərginlik və güc axınlarının tənzimlənməsindən ibarətdir. Tutum açılması kimi keçid proseslərinin əhəmiyyəti və

ağırılığı ilə kondensator batareyaları xüsusi seçilir. Bu onunla əlaqədar ki, batareyanın açılmasından sonra onda müəyyən miqdarda elektrik enerjisi cəmlənir ki, bu da aşağıdakı kimi hesablanır:

$$W_e = \frac{CU_c^2}{2}$$

Bu enerji faktiki açılmadan (açardakı qövsün sönməsindən) dərhal sonra yarımstansiyanın mənbədən ayrılan hissəsinə boşalır. Enerjinin hesablanma ifadəsində C-batareyanın tutumu,  $U_C$  isə batareyaya açıldıqdan sonra onun yerə nəzərən gərginliyidir. Tutum açılmasını müşayiət edən keçid prosesi aşağıdakı sxem üzrə yerinə yetirilir.



Bu sxemdən L –induktivliyi mənbəyin yəni , batareyanın qoşulduğu transformator və ya

avtotransformatorların induktivliyidir. Tutumun açılmasından əvvəl onda olan gərginlik faza gərginliyindən asılı olaraq aşağıdakı düsturla hesablanır.

$$U_c = U_f \frac{\beta^2}{\beta^2 - \omega^2}$$

$U_f$  -nominal faza gərginliyi ,  $\beta$  sxemin məxsusi dairəvi tezliyidir və aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$\omega$  -mənbəyin tezliyidir və aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\omega = 2\pi f$$

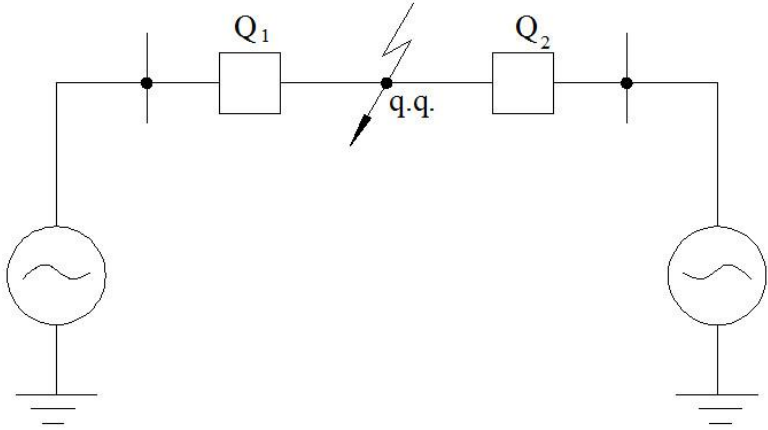
Praktiki halların bir çoxunda  $\beta$   $\omega$ -dan bir neçə dəfə çox olduğundan  $\beta^2 \gg \omega^2$   $U_c = U_f$  olur.

Yəni , tutumun açılmasından əvvəl olan gərginlik nominal faza gərginliyinə bərabərdir. Cərəyan kəsildikdən sonra batareyada  $U_f$  gərginliyin qalır, mənbə isə əvvəlki kimi işləyir, nəticədə açarların kontaktları arasında gərginlik bərpa olunur. Gərginliyin ən böyük qiyməti  $\approx 2U_f$  qədər olur. Bu anda aralanmış kontaktların arasındakı deşilmə gərginliyi  $2U_f$  -dan kiçikdirsə onda qövsün 1-ci

təkrar yanması baş verir. Qövsün 2-ci sönməsindən sonra batareyadakı gərginlik  $\approx 3U_f$  olur. Bu hadisələr ardıcıl bir dəfə də təkrar olunduqda batareyadakı gərginlik  $5U_f$  qiymətini alır. Ancaq müasir açarlarda açılma prosesi bir qədər fərqlidir. Müasir tədqiqatlar göstərir ki, bir qayda olaraq kondensator batareyalarının açılmasında ən pis halda ifrat gərginliyin dəfəliyi  $3U_f$  hüdudunda olur. EVX-lərinin yüksüz işləmə rejimində açılma eyni proses daşıyır, ancaq xətlər paylanmış parametrlərə malik olduğundan onların açılma prosesi bir qədər fərqli olur. Xətlərin açılmasında ifrat gərginliklərin dəfəliliyi kondensator batareyasına nəzərən kiçik olur. Bu səbəbdən bir xətlər üçün gərginlik və cərəyanlar arasındakı faza bucaqları  $90^0$  -dən xeyli kiçik olur. Məsələn bu bucaq  $60^0$  olduqda bir təkrar qoşulma halında ifrat gərginliyin dəfəliliyi  $2,5U_f$  -dan artıq olmur. Bu ən pis halda baş verir. Əksər hallarda isə onun qiyməti daha da kiçik olur.

## **19. Elektrik veriliş xətlərinin (EVX) qoşulması və təkrar qoşulması**

Bütün yüksək gərginlikli və ifrat yüksək gərginlikli EVX-ləri onların başlanğıcı və sonunda yerləşdiyi açarlarla təhciz olunur.



Açarların qəzadan sonrakı zamanda işə düşməsi 1-ci açarlara yaxın nöqtədə qısa qapanma baş verdikdə aşağıdakı kimidir:

- 1) Qısa qapanmadan sonra qısa qapanma nöqdəsində daha yaxın olan 1 açarı açılır və bu rejimdə o qısa qapanma cərəyanını kəsir.
- 2) Sonra qısa qapanma nöqtəsindən daha uzaq olan 2 açarı açılır . Bu rejimdə 2 açar artıq yüksüz işləyən xətti açır və tutum cərəyanını qırır.

Xəttin planlı qoşulmasında 1-ci qoşulan açar əvvəlcə mənbəyə qoşulmur, 2-ci qoşulan açar artıq gərginlik mənbəyinə qoşulur. Xəttin qoşulmasında əmələ gələn ən böyük ifrat gərginlik və ən böyük qoşulan cərəyanı aşağıdakılara bərabərdir:

$$U_{\max} = U_0 + \epsilon - U_0 \vec{k}_{ZU}$$



$$I_{\max} = \frac{E - U_0}{R + Z_d} k_{Z_i}$$

Burada  $U_0$  - gərginliyin qərarlaşmış qiyməti,  $R$  – xəttin aktiv müqaviməti,  $Z_d$ -xəttin xarakterik müqaviməti,  $k_{ZU}$ -gərginlik üzrə zərbə əmsalı,  $k_{Zi}$ -cərəyan üzrə zərbə əmsalıdır.

Onların qiyməti aşağıdakı ifadələrlə hesablanır.

$$k_{ZU} = 1 + \frac{\left( Z_{\omega} - \frac{R}{L} \right)^2}{Z_{\omega} \left( Z_{\omega} + \frac{R}{L} \right)}$$

$$k_{Zi} = 1 + \frac{0,84 Z_{\omega}}{R + 2 Z_{\omega}}$$

$$Z_{\omega} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Burada  $L$  və  $C$  –xəttin ekvivalent induktivliyi və ekvivalent tutumudur. Xətlərin avtomatik təkrar qoşulma rejimi məxsusi bir rejimdir. Bu rejimdə xətt 2-ci tərəfdən açıldıqdan sonra o ardıcıl olaraq hər 2 açarın qoşulması vasitəsilə yenidən gərginlik

mənbəyinə qoşulur. Qoşulmanın özü 2-ci açarın işləməsindən sonra baş verir. Bu rejimin təhlükəsizliyi ondan ibarətdir ki, avtomatik təkrar qoşulma fasiləsi kiçik olduğundan xətdəki yük çox aşağı dəyişir və əhəmiyyətli boşalmaya məruz qalmır. Nəticədə xətdə  $U_f$  (faza gərginliyin qiymətinə qədər) gərginlik qalır. Avtomatik təkrar qoşulma baş verdikdə ən əlverişsiz rejimdə ifrat gərginliyin qiyməti  $U_f$  qədər arta bilər. Məsələn, xəttin plan qoşulmasında ifrat gərginlik qərarlaşmış gərginliyin 2 mislinə qədər yüksələ biləcəyi halda avtomatik təkrar qoşulma rejimində ifrat gərginliyin qiyməti təqribən 30-50% arta bilər. Bu rejim ifrat gərginlik baxımından xətlər üçün ən təhlükəli rejimdir. EVX-lar 1-ci kateqoriyalı işlədiciləri qidalandırıldığından onların xəttin başlanğıcında və sonunda qoyulan açarlar vasitəsilə hər hansı bir qəza zamanı açılması təmin edilməlidir. Bundan əlavə xətlərdə avtomatik təkrar qoşulmanın tətbiqi bu xətlərin işlədiciləri həmişə elektrik enerjisi ilə təmin olunmasına imkan yaradır.

## **20. Elektrik sistemlərinin dayanıqlığı. Dayanıqlığın əsas anlayışları**

Elektrik sisteminin rejimlərinin qərarlaşmış və keçid rejimlərinə bölünməsi şərti olaraq qəbul edilmişdir. Real sistemdə qərarlaşmış rejimdə onun

parametrləri aşağıda qeyd olunan amillərlə əlaqədar olaraq daim dəyişir:

1) Yükün dəyişməsi və tənzimləyici qurğuların bu dəyişmələrə reaksiyası ilə.

2) Sistemin kommutasiya sxeminin normal istismar dəyişmələri ilə.

3) Ayrılıqda generatorların qoşulması, açılması və ya onların güclərinin dəyişdirilməsi ilə

Beləliklə sistemin qərarlaşmış rejiminin parametrlərində hər zaman kiçik təsirlər (həyacanlanmalar) mövcuddur ki, həmin həyacanlanmalarda sistem dayanıqlı olmalıdır. Statiki dayanıqlıq kiçik təsirlərdən sonra sistemin ilkin və ya ona yaxın rejimi bərpa etmək qabiliyyətidir. Elektrik sistemində qəza rejimi yük altında olan avadanlıqlarda, xətlərdə və ya digər elementlərdə qısa qapanmanın baş vermə səbəbindən qəza açılmaları zamanı yaranır. Böyük həyacanlanmaların təsiri altında rejimdə kəskin dəyişikliklər baş verir.

**Dinamiki dayanıqlıq** böyük təsirlərdən sonra sistemin ilkin və ya ona yaxın vəziyyətə qayıtma qabiliyyətidir. Böyük təsirlərdən sonra sistemin sinxron rejimi pozulduğu və ya yol verilən fasilədən sonra bərpa olunduğu halda sistemin yekun dayanıqlığı baş verir. Sistemin statiki dayanıqlığına təsirinə əsaslanaraq, qeyd etmək olar ki, elə bir rejim mövcuddur ki, həmin rejimdə yükün kiçik artımı

onun dayanıqlığının pozulmasına səbəb olur. Belə ki, statiki dayanıqlığın şərtlərinə görə son hədd rejimi yükü isə maksimal və ya son hədd yükü adlandırılır. Yük məhdudluğu digər səbəblər nəticəsində də məsələn, elektrik sisteminin elementlərinin, yəni generatorların, transformatorların və s. qızması səbəbindən baş verə bilər. Yükün məhdudlaşdırılması məhdudluğu qovşaqlarda gərginlik səviyyəsi üzrə mümkündür. Sistemin elementinin yük buraxma qabiliyyəti bütün məhdudlaşdırıcı amillər (qızma, dayanıqlıq, qovşaqlarda gərginlik və s.) nəzərə alınaraq həmin element vasitəsilə ötürülən ən böyük gücə deyilir. Dayanıqlığın təhlili zamanı elektrik sisteminə bir mövqe kimi baxılır. Bir mövqeli sistem elə sistemdir ki, burada rejimin parametrləri cari vəziyyətdən, qarşılıqlı yerləşmədən, məsələn, generatorların və mühərriklərin rotorlarının vəziyyətindən asılıdır. Bu zaman sistemin elementlərinin real dinamik xarakteristikası statiki xarakteristika ilə əvəz olunur. Statiki xarakteristikalar sistemin rejiminin analitik və qrafiki şəkildə zamandan asılı olmayaraq təqdim olunmuş parametrləri arasındakı əlaqəsidir. Bu əlaqə əsasən sistemin qərarlaşmış rejimində aşkar olunur. Dinamik xarakteristikalar sistemin rejiminin zamandan asılı olaraq təqdim olunmuş parametrləri arasında əlaqəsidir. Bu halda isə xarakteristikaya baxılan parametrlərin birinci və ya daha yüksək törəməsinin təsiri əks olunur. Bir rejimdən digərinə

dinamiki keçid keyfiyyətə qiymətləndirməyə məruz qalır. Bu zaman keçid prosesinin keçmə xarakteri (sürətli, yavaş, aperiodik və periodik) eləcə də yəni, qərarlaşmış rejimin xarakteri qiymətləndirilir. Əgər keçid prosesinin tez sönməsi, aperiodikliyi yaxud periodikliyi müşahidə olunursa o keyfiyyətə yaxşı hesab olunur. Keçid prosesindən sonra gələn rejimin keyfiyyəti qədər dayanıqlıq ehtiyatı olmalıdır. Bu hər hansı bir parametrin dəyişdirilməsi ilə yoxlanılır. Sistemin öz dayanıqlığını saxlaya bildiyi meyletmənin ən böyük qiyməti dayanıqlığın ehtiyatını müəyyən edir və dayanıqlıq əmsalı ilə ifadə olunur. Gərginliyə görə dayanıqlığın ehtiyat əmsalı aşağıdakı ifadə ilə hesablanır:

$$K_u = \frac{U_o - U_{kr}}{U_o}$$

Gücə görə dayanıqlığın ehtiyat əmsalı

$$K_p = \frac{P_{max} - P_o}{P_o}$$

Beləliklə bu əmsallarla sistemin dayanıqlıq ehtiyatı təmin edilir.

## **21. Dayanıqlığın təhlili zamanı qəbul edilən sadələşmələr**

Elektromaqnit keçid proseslərinin təhlili zamanı qəbul edilən sadələşdirmələrə əlavə olaraq dayanıqlığın qiymətləndirilməsini sadələşdirən və mühəndis hesablamalarının dəqiqliyini kifayət qədər təmin edən daha bir neçə sadələşmə qəbul edilir:

1) Fərz olunur ki, elektromaqnit keçid prosesinin gedişi zamanı sinxron maşınların rotorlarının sürəti kiçik həddə sinxron sürətin 2-3% həddində dəyişməsi qəbul edilir.

2) Hesab olunur ki, generatorun statorunun və rotorunun gərginliyi və cərəyanı ani olaraq dəyişir.

3) Sistemin parametrlərinin qeyri xətliliyi əksinə nəzərə alınmır. Rejim parametrinin qeyri xətliliyi isə nəzərə alınmalıdır. Bundan imtina olunan hallarda sistem xətləşmiş adlanır.

4) Elektrik sisteminin bir rejimdən digərinə keçmək sxemin məxsusi və qarşılıqlı müqavimətlərini həmçinin generator və mühərriklərinin e.h.q.-lərini dəyişməklə mümkündür.

5) Qeyri-simmetrik təsirlənmə zamanı dinamiki dayanıqlığın tətbiqi düz ardıcılıq sxemində yerinə yetirilir. Hesab olunur ki, generator və mühərriklərin rotorlarının hərəkəti düz ardıcılıq cərəyanının yaratdığı momentlə əlaqədardır.

## 22. Yükün statiki dayanıqlığı

Elektrik sisteminin yükü sinxron generatorların dayanıqlığına təsir edir. Əgər qəbuledici sistemin gücü elektrik sisteminin gücü ilə müqayisə oluna bilərsə, elektrik vericisinin rejimi dəyişdiyi halda yükün şinində gərginlik sabit qalmır. Bu halda ötürülən gücün həddi həqiqi həddir və yükün şinində gərginliyin sabit olduğu haldakı həddən xeyli aşağı olur. Digər tərəfdən yükün şinində gərginliyin dəyişməsi yükün tərkib hissələri olan sinxron və asinxron mühərriklərinin, yəni, yükün özünün dayanıqlığını poza bilər. Yükün öz gərginliyinə təsiri yükün tənzimləyici effekti ilə gərginliyin azalması ilə yükün aktiv və reaktiv gücünün azalması dərəcəsi ilə təyin olunur. Elektrik sistemində yükünün əsas hissəsini təşkil edən asinxron mühərriklər gərginliyin xeyli aşağı düşməsindən tormozlanaraq dayanır (çevrilir). Mühərrikin sıxaclarında nominal gərginlik olduqda onun maksimal gücü nominal gücdən təqribən 2 dəfə çox olur. Gərginliyin aşağı düşməsi nəticəsində mühərrikin elektromaqnit gücünün qiyməti kvadratik asılılıq üzrə aşağı düşür. Gərginliyin qiyməti təqribən 30% aşağı düşdükdə maksimal güc nominal gücə yaxınlaşır.

Qərarlaşmış rejimlərdə gərginliyin qiymətinin bu qədər aşağı düşməsi yol verilməzdir. Sinxron mühərriklərin statiki dayanıqlığı sinxron generatorun statiki dayanıqlığında olduğu kimi qiymətləndirilir.

### 23. Dinamiki dayanıqlıq

Əgər statiki dayanıqlıq sistemin qərarlaşmış iş rejimini xarakterizə edirsə, dinamiki dayanıqlığın təhlili sistemin böyük həyacanlanmalarda, təsirlərdə sinxron iş rejimini saxlama qabiliyyətini aşkar edir.

Böyük həyacanlanmalar həmçinin müxtəlif qısa qapanmalar, EVX-nın, generatorların, transformatorların açılması zamanı yaranır. Eyni zamanda böyük yüklərin gücünün dəyişdirilməsi hər hansı bir generatorun təsirlənməni itirməsi, böyük güclü mühərriklərin qoşulmasında böyük həyacanlanmalara aiddir. Yaranan həyacanlanmaların nəticələrindən biri generatorun rotorlarının fırlanma sürətlərinin sinxron sürətlə meyl etməsidir. Əgər hər hansı bir həyacanlanmadan sonra rotorların qarşılıqlı bucaqları müəyyən bir qiymət alarsa hesab olunur ki, dinamiki dayanıqlıq təmin edilir. Əgər hər hansı bir generatorun rotoru statorun sahəsinə nəzərən dönməyə başlayarsa bu dinamiki dayanıqlığın pozulmasının əlamətidir. Ümumi halda sistemin dayanıqlığı haqqında generatorların rotorlarının hərəkət tənliklərinin birgə həlli nəticəsində alınmış asılılığa görə mümkündür. Dinamiki dayanıqlığın təhlilinin energetik yanaşmaya əsaslanan daha sadə və əyani metodu mövcuddursa bu qrafik və ya sahələr metodu adlanır. Dinamiki dayanıqlığın təhlilinin aparılmasının vacibliyinin əsas



səbəblərindən biri həyacanlanmanın ən geniş yayılmış növü olan qısa qapanmalardır. Böyük həyacanlanmalar zamanı mühərrik yükləri onların iş rejimlərinə və eləcə də yükü qidalandıran sistemin fəaliyyətinə təsir edir. Elektrik təchizatı sistemi üçün xarakterik olan 2 növ həyacanlanmanı ayırmaq olar:

- 1) Mühərrikin sıxaclarında aşağıdakı səbəblərdən gərginliyin aşağı düşməsi
  - a) Paylayıcı şəbəkədə qısa qapanma
  - b) Mühərrikin qidalanmasının qısa müddətdə dayandırılması.
  - c) Mühərrikin işəsalınması.
- 2) Hərəkətə gətirilən mexanizmin iş rejiminin dəyişməsi ilə əlaqədar olaraq mühərrikin valında mexaniki momentin dəyişməsi.

Dinamiki dayanıqlığın hesablanmasında məqsəd sistemin bir rejimdən digərinə dinamik keçidinin xarakterini təyin etməkdir. Əgər bu zaman heç bir stansiya sinxronlaşmadan düşmürsə, belə system dayanıqlı system hesab olunur. Dinamiki dayanıqlığı təyin etmək üçün 3 qrupa bölünmüş hesablanma həyacanlanmaları qəbul edilir.

- 1-ci qrup: gərginliyi 500 kV və ondan aşağı olan şəbəkə elementlərinin açılması
- 2-ci qrup: şəbəkə gərginliyi 500kV-dan yüksək olan şəbəkənin istənilən elementinin açılması.

3-cü qrup: 1 trayektoriya ilə yarıdan çox uzunluğundan keçən 2 dövrəli yaxud 2 xəttin eyni zamanda açılması.

Verilmiş en kəsikdə yüksək gərginlik xətt açıldıqda dayanıqlıq saxlanıla bilər. Əgər

- 1) Statiki dayanıqlıq həddi 70%-dən çox azalarsa.
- 2) Qalan əlaqələr üzrə statiki dayanıqlıq həddi həmin en kəsikdə qeyri-müntəzəm rəqslərin hesabat amplitudunun 3 qatından çox olmazsa.

## **24. Elektrik sistemlərinin dayanıqlığının yaxşılaşdırılması üzrə tədbirlər**

Elektrik sisteminin dayanıqlıq səviyyəsini artırmaq onun elementlərinin və parametrlərinin, eləcə də iş rejimini dəyişməklə yaxud əlavə qurğular daxil etməklə mümkündür. Bununla yanaşı aşağıda qeyd olunan şərtləri və məhdudiyətləri nəzərə almaq mümkündür:

- 1) Əsas elementlərin parametrlərinin dəyişdirilməsi sistemin normal iş rejiminin və onun qənaətliliyinin pisləşməsinə səbəb olmamalıdır.
- 2) Dayanıqlığın yüksəldilməsi üçün tələb olunan qurğunun tətbiqi həmin qurğunun dəyəri ilə

hər hansı bir səbəbdən dayanıqlığın pozulması nəticəsində dəyəcək ziyan müqayisə olunaraq göstərilməlidir. Dayanıqlığın yüksəldilməsi üzrə tədbirlərin seçilməsi zamanı təklif olunan variantın texniki iqtisadi qiymətləndirilməsi aparılmalıdır.

Generatorların parametrləri həm statiki həm də dinamik dayanıqlığa kifayətdə təsir edir. Sinxron maşın təsirlənməsinin tənzimlənməsinə onun parametrlərinin yaxşılaşdırma vasitəsi kimi baxıla bilər. Təsirlənmənin ən yüksək gərginliyi generatorun verdiyi gücün həddinə nəzərə çarpacaq dərəcədə təsir edir. Bu qiymətin 2-dən 5-ə qədər artırılması reaktivliyin 1,5 dəfə azalmasına imkan verir. Təsirlənmənin artma sürəti dinamik dayanıqlığın səviyyəsinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Statiki dayanıqlığı yaxşılaşdırmaq üçün qeyri-həssaslıq əmsalının zonasının olmaması, təsirlənmənin fasiləsiz tənzimlənməsi, təsirlənmənin yalnız təsirlənən parametrlərin meyl etməsinə görə deyil, eyni zamanda onların birinci və ikinci törəməsi ilə yerinə yetirilir. Transformatorların parametrləri əsasən onun müqaviməti, maqnitləşdirici cərəyanı və s. Elektrik sisteminin dayanıqlığına əhəmiyyətli dərəcədə təsir

göstərmir. Dinamiki dayanıqlığı yaxşılaşdırmaq üçün qısa qapanmanın tez bir zamanda açılmasının həlledici əhəmiyyəti qısa qapanmanın aradan qaldırılması üçün imkan yaradır. Yəni, qısa qapanmanın açılma müddəti açarın məxsusi açma müddəti ilə Rele mühafizəsinin təsir müddətinin cəmi kimi təyin edilir:

$$T_{a\zeta} = t_{a\zeta, max} + t_{r, m}$$

EVX-nın parametrləri onların nominal qiymətləri sistemin dayanıqlığına əhəmiyyətli dərəcədə təsiredir. EVX-nın induktiv müqavimətini xətt naqilinin en kəsiyini hissələrə bölməklə azaltmaq olar. Faza naqilinin 3 hissəyə bölünməsi xəttin reaktiv müqavimətini 25-30% azaldır. Xətt naqilinin hissələrə bölünməsi faza parçalanması adlanır. Gərginliyi 330,500 və 750kV olan hava xətlərində faza parçalanmasını tətbiq etməklə xəttin müqaviməti, eləcə də itkilər azaldılır. Elektrik təchizatı sistemlərində uzununa tutum kompensasiyasından güclü cərəyan keçiricilərində gərginlik düşgüsünü azaltmaq və yük mühərriklərinin dayanıqlığını artırmaq üçün istifadə olunur. Əgər neytralı yerlə birbaşa birləşdirilmiş şəbəkəni, onun neytralının gərginliyini yüksəltməyə kiçik bir müqavimət vasitəsiləylə birləşdirsək, qeyri-simmetrik qısa qapanma zamanı sistemin dinamiki dayanıqlığı yaxşılaşacaq. Generatorun elektrik tormozlanması simmetrik qısa qapanma

zamanı dayanıqlığın yüksəldilməsi üçün istifadə olunur. Sistemin elementlərinin parametrlərini dəyişdirmədən və əlavə elementlər daxil etmədən statiki və dinamik dayanıqlığın səviyyəsini yüksəltmək olar. Sistemin rejimlərinin parametrini məqsədyönlü dəyişdirərək zəruri güc ehtiyatını təmin etməklə dayanıqlıq ehtiyatını əhəmiyyətli dərəcədə artırmaq olar. Elektrik stansiyalarında aktiv güc ehtiyatı həm statiki həm də dinamik dayanıqlığı yüksəldir. Generatorların tam yüklənməməsi hesabına alınan reaktiv güc ehtiyatı reaktiv gücün ilk rejimində dayanıqlığın zəifləməsinə səbəb olur. Bu halda generator kiçik təsirlənmə cərəyanı və ya böyük başlanğıc bucağı ilə işləyir. Elektrik sisteminin birləşmə sxemləri və onun ilk rejiminin seçilməsi dayanıqlığı əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Elektrik sisteminin qeyri-sinxron işləyən hissələrə bölünməsi onun dinamik dayanıqlığının pozulmasını aradan qaldıra bilər.

## **25. Avtomatik təkrar qoşma (ATQ) və ehtiyat qidalanmasının avtomatik qoşulması (EAQ)**

Elektrik sisteminin müxtəlif nöqtələrində yaranan qısa qapanmalar keçici ola bilər. Yəni, kiçik zaman fasiləsindən sonra ləğv oluna bilər. Bu halda qısa qapanmalar nəticəsində mühafizənin təsirindən açılmış elementin avtomatik təkrar qoşulmasının

tətbiqi effektivdir. Əgər zədələnmiş elementin hər 3 fazası açılırsa və ya qoşularsa bu 1 fazalı yəni, fazalar üzrə avtomatik təkrar qoşulma adlanır. Əgər açılma müddətində qısa qapanma öz-özünə ləğv olunarsa və avtomatik təkrar qoşulmadan sonra normal iş rejimi bərpa olunursa ATQ uğurlu hesab olunur. Əgər təkrar qoşulma davam edən qısa qapanmaya qoşularsa ATQ uğursuz hesab edilir, 1, 2 və çoxqat ATQ sistemləri istifadə olunur. Qısa qapanmaların açılma anı ilə təkrar qoşulma arasındakı zaman intervalı ATQ fasiləsi adlanır. Fasilə müddətində qısa qapanma yerində mühüm ionsuzlaşma baş verir və açar başlanğıc vəziyyətinə qayıdır. Elektrik təchizatı sistemində 35 kV-a qədər şəbəkələrdə ATQ-nin fasiləsi 0,3 – 0,5 san qəbul edilir. Bu qiymətlər təyin olunarkən 6 və 10 kV-luq şəbəkələrdə ionsuzlaşmanın başa çatması 0,07 – 0,09 san olur. Açarın məxsusi qoşulma vaxtı isə 0,25 – 0,3 san təşkil edir. Hava EVX-də baş verən bütün qəza açılımlarının 60 – 90%-ində ATQ elektrik təchizatını bərpa etməyə imkan verir. Transformatorlarda ATQ qurğusunun quraşdırılması hallarında ATQ-nin işləməsini qadağan edən bloklayıcının nəzərdə tutulması vacibdir. Bu hal transformatorların daxilində olan zədələnmələr zamanı mühafizə işlədikdə (Məsələn, qaz mühafizəsi) zədələnmə sahəsinin həcminin böyüməsinin qarşısı alınır. Bununla yanaşı məsul mühərriklər üçün onların qəza açılmasından sonra

öz-özünə işə düşməsinə təmin edən ATQ nəzərdə tutulur. Ehtiyat qidalanmasının avtomatik qoşulması (EAQ) elektrik təchizatının etibarlılığının yüksəldilməsinin effektiv üsuludur. EAQ qurğusu əvvəllər stansiyanın xüsusi sərfiyyatı üçün istifadə edilirdi. Hal – hazırda EAQ elektrik stansiyalarından əlavə bütün sahələrdə geniş istifadə edilir. EAQ-nın təsir müddəti elektrik təchizatı sxemindən elektrik mühərriklərinin özü işə düşmə şərtlərindən və qidalanan birləşmələrin, xətlərin Rele mühafizəsi və avtomatika qurğularının işləmə müddətindən asılıdır. Ehtiyatlanan sahədən qidalanan xətlərdə qısa qapanma olduqda EAQ qurğusu işə düşməməlidir. Bu əlavə dözmə müddəti və ya bloklama vasitəsilə təmin edilir.

### Məşğələ dərsləri üçün məsələlər həlli:

1. Ardıcıl birləşmə dövrəsində  $x_1=10 \text{ Om}$ ;  $x_2=50 \text{ Om}$ ;  $x_3=20 \text{ Om}$  və ümumi cərəyan  $120 \text{ A}$  olduğu halda ekvivalent  $x_e$  müqavimətini və  $I_1, I_2, I_3$  cərəyanların təyin edin.
2. Üçbudaqlı paralel dövredə  $x_1=10 \text{ Om}$ ;  $x_2=50 \text{ Om}$ ;  $x_3=20 \text{ Om}$  və ümumi cərəyanın  $120 \text{ A}$  olduğu halda ekvivalent  $x_e$  müqavimətini və budaq cərəyanlarını hesablayın.
3. Üçbucağın budaqlarının müqavimətləri müvafiq olaraq  $10, 20$  və  $30 \text{ Om}$  bərabərdir. Ekvivalent ulduzun budaq müqavimətlərini hesablayın.
4. Ulduzun budaqlarının müqavimətlərinin  $X_L = 20 \text{ Om}$ ;  $X_N = 50 \text{ Om}$ ;  $X_M = 10 \text{ Om}$  olduğu halda, ekvivalent üçbucağın budaq müqavimətlərini hesablayın.
5. Parametrləri  $S_b = 1000 \text{ MVA}$  -ya gətirilmiş sxemin  $U_{nom} = 110 \text{ kV}$  şinlərində baş verən qısa qapanma cərəyanının qiyməti  $0,98$  –dir. Qısa qapanma cərəyanını amperlə ifadə edin.
6. Qısa qapanma gərginliyi  $U_{y-a}^{q,q} \% = 10,5$  və gücü  $125 \text{ MVA}$  olan iki dolaqlı transformatorun



$S_b = 1000 \text{ MVA}$  baza gücünə gətirilmiş reaktiv müqavimətini hesablayın?

7. Qısa qapanma gərginlikləri

$U_{y0}^{q,q} \% = 12,5$ ;  $U_{ya}^{q,q} \% = 22$  və  $U_{0a}^{q,q} \% = 9,5$  olan ТДТН-40000/220 üç dolaqlı transformator üçün dolaqların nisbi müqavimətlərini hesablayın.

8. Parametrləri  $S_B = 1500 \text{ MVA}$  –ya gətirilmiş sxemin  $U_{\text{nom}} = 110 \text{ kV}$  –luq şinlərində baza cərəyanını təyin edin.

9. Gücü  $63 \text{ MVA}$ , qısa qapanma gərginliyi  $9,5$  olan iki dolaqlı transformatorun  $S_B = 1000 \text{ MVA}$  baza gücünə gətirilmiş reaktiv müqavimətini hesablayın.

10.  $110 \text{ kV}$ -luq EVX-nin uzunluğu  $60 \text{ km}$ -dir.  $x_0 = 0,36 \text{ Om/km}$  olduğu halda EVX-nin  $1000 \text{ MVA}$  baza gücünə gətirilmiş müqavimətini hesablamalı

11. Nominal gücü  $50 \text{ MVA}$  olan eninə tutum kompensasiya qurğusunun  $1000 \text{ MVA}$  baza gücünə gətirilmiş müqavimətini hesablamalı

12. Dövri cərəyanın maksimum qiyməti  $1,8 \text{ kA}$ , zərbə əmsalinin isə  $1,9$  olduğu halı üçün zərbə cərəyanını hesablamalı

## Ədəbiyyat

1. Yusifbəyli N.A. “Elektrik sistemlərində keçid prosesləri” Bakı AzTU – 2008 (330 səh.)
2. Süleymanlı E.H. “Elektrik sistemlərində keçid prosesləri” Bakı Maarif – 2001
3. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. Москва. Энергия 1980
4. Поцаевец В.С. Электрооборудование и аппаратура электрических подстанций М. Маршрут -2002 (56 стр)
5. Поцаевец В.С. Электрические подстанции. М. Маршрут -2001 (501 стр)