



TEMPUS PROJEKT: 516678 TEMPUS-1-2011-1-DE-TEMPUS-JPCR) ANPASSUNG DES LEHRBETRIEBS AN DEN BOLOGNA PROZESS IM INGENIEURSTUDIUM FÜR ASERBAIDŠCHAN

**Vorlesungsskript: „Grundlagen der Elektrischen Maschinen”
Für Studiengang: Automatisierungstechnik und Elektrische Energietechnik**

**Dr. Ing. Aliyev Nadir (ASEIU)
Dr-İng. Nemetli Vasif (AzTU)
Dr-İng.Husseyinov Ramiz (SUS)
Baku 2015**

**AZƏRBAYCAN ÜÇÜN MÜHƏNDİS TƏHSİLİNDƏ TƏDRİSİN
BOLONYA PROSESİNƏ UYĞUNLAŞDIRILMASI
516678 TEMPUS-1-2011-1-DE-TEMPUS-JPCR TEMPUS
LAYİHƏSİ**

**“Proseslərin avtomatlaşdırması mühəndisliyi” və
“Elektroenergetika mühəndisliyi” ixtisaları üçün
«Elektrik maşınlarının əsasları» fənnindən mühazirə
konspektləri**

**Dos. Əliyev Nadir (ADNSU)
Dos. Nemətli Vasif (AzTU)
Dos. Hüseynov Ramiz (SDU)**

Bakı 2015

INHALTSVERZEICHNISSE

1. Einführung.....	6
2. Transformatoren.....	8
2.1. Aufgaben der Transformatoren und Einsatzgebiete.....	8
2.2. Aufbau der Einphasentransformatoren und der Betriebsprinzip...9	
2.3. Betriebsprinzip des Transformators ohne Belastung.....	14
2.4. Untersuchung des Betriebsprinzips des Transformators ohne Belastung.....	19
2.5. Kurzschlußregime des Transformators und Unter- suchung.....	21
2.6. Lastverhältnis des Transformators.....	25
2.7. Änderung der zweiten Spannungsseite des Transformators und Außencharakteristika.....	28
2.8. Dreiphasentransformator.....	31
2.9. Schaltgruppe des Transformators.....	32
2.10. Parallelbetrieb des Transformators.....	35
2.11. Autotransformatoren.....	37
3. Asynchrone Maschinen.....	39
3.1. Aufgaben der asynchronen Maschinen, Einsatzgebiete und Aufbau.....	39
3.2. Generation des drehenden Magnetfeldes im Dreiphasensys- tem.....	42
3.3. Betriebsweise des dreiphasigen asynchronen Motors.....	46
3.4. Gleichungen der Stator- und Rotorquellenspannung des asynchronen Motors und Ausdrücke der Spannungen	47
3.5. Gleichungen des asynchronen Motors bei den Bedingungen des drehenden Rotors, Ersatzschaltbilder und Vektordiagramm	51
3.6. Verluste des asynchronen Motors, energetisches Diagramm und Wirkungsgrad.....	55
3.7. Drehmoment und mechanische Charakteristik des asynchronen Motors.....	57
3.8. Inbetriebnahme des asynchronen Motors.....	61

3.9. Regelung der Drehfrequenz der asynchronen Motoren.....	66
3.10. Einphasige asynchrone Motoren.....	70
4. Synchronen Maschinen.....	75
4.1. Aufgaben der synchronen Maschinen und Einsatzgebiete...	75
4.2. Aufbau der synchronen Maschine und Betriebsweise.....	76
4.3. Vektordiagramme des synchronen Generators.....	80
4.4. Charakteristiken des synchronen Generators.....	82
4.5. Parallelbetrieb des synchronen Generators mit dem Netz....	87
4.6. Elektromagnetisches Moment und Eckcharakteristika des synchronen Generators.....	90
4.7. Aufbau und Betriebsweise des synchronen Motors.....	91
5. Gleichstrommaschinen.....	94
5.1. Aufgaben und Einsatzgebiete der Gleichstrommaschi- nen....	94
5.2. Aufbau und Betriebsweise der Gleichstrommaschinen.....	95
5.3. Ankerreaktion.....	98
5.4. Induzierungsverfahren der Gleichstrommaschinen.....	101
5.5. Charakteristiken der Gleichstromgeneratoren.....	104
5.6. Parallelbetrieb der Gleichstromgeneratoren.....	111
5.7. Inbetriebnahme des Gleichstrommotors.....	113
5.8. Regelung der Drehfrequenz der Gleichstrommotoren.....	115
5.9. Mechanische Charakteristiken der Gleichstrommotoren...	118
5.10. Betriebscharakteristiken der Gleichstrommotoren.....	119
Literatur.....	120

M Ü N D Ə R İ C A T

1. Giriş	6
2. Transformatorlar	8
2.1. Transformatorların vəzifəsi və tətbiq sahələri.....	8
2.2. Bifazlı transformatorun quruluşu və iş prinsipi.....	9
2.3. Transformatorun yüksüz işləmə rejmi.....	14
2.4. Transformatorun yüksüz işləmə təcrübəsi.....	19
2.5. Transformatorun qısa qapanma rejimi və təcrübəsi.....	21
2.6. Transformatorun yük rejmi.....	25
2.7. Transformatorun ikinci tərəf gərginliyinin dəyişməsi və xarici xarakteristikası.....	28
2.8. Üçfazlı transformatorlar.....	31
2.9. Transformator dolaqlarının birləşmə qrupları.....	32
2.10. Transformatorların paralel işləməsi	35
2.11. Avtotransformatorlar.....	37
3. Asinxron maşınlar	39
3.1. Asinxron maşınların vəzifəsi, tətbiq sahələri və quruluşu.....	39
3.2. Üçfazlı sistemdə fırlanan maqnit sahəsinin yaradılması.....	42
3.3. Üçfazlı asinxron mühərrikin iş prinsipi.....	46
3.4. Asinxron mühərrikin stator və rotor ehq-nin tənlikləri və cərəyanlarının ifadələri.....	47
3.5. Fırlanan rotor şəraitində asinxron mühərrikin tənlikləri, əvəz sxemləri və vektor iaqramı.....	51
3.6. Asinxron mühərrikin itgiləri, energetik diaqramı və faydalı iş əmsalı.....	55
3.7. Asinxron mühərrikin fırladıcı momenti və mexaniki xarakteristikası.....	57
3.8. Asinxron mühərriklərin işə salınması.....	61
3.9. Asinxron mühərriklərin fırlanma tezliyinin tənzimi.....	66
3.10. Bifazlı asinxron mühərriklər.....	70
4. Sinxron maşınlar	75
4.1. Sinxron maşınların vəzifəsi və tətbiq sahələri.....	75

4.2. Sinxron maşının quruluşu və iş prinsipi.....	76
4.3. Sinxron generatorun vektor diaqramları	80
4.4. Sinxron generatorun xarakteristikaları	82
4.5. Sinxron generatorun şəbəkə ilə paralel işləməsi.....	87
4.6. Sinxron generatorun elektromaqnit momenti və bucaq xarakteristikası	90
4.7. Sinxron mühərrikin quruluşu və iş prinsipi.....	91
5. Sabit cərəyan maşınları	94
5.1. Sabit cərəyan maşınlarının vəzifəsi və tətbiq sahələri.....	94
5.2. Sabit cərəyan maşınlarının quruluşu və işləmə prinsipi.....	95
5.3. Lövbər reaksiyası	98
5.4. Sabit cərəyan maşınlarının təsirlənmə üsulları.....	101
5.5. Sabit cərəyan generatorlarının xarakteristikaları.....	104
5.6. Sabit cərəyan generatorlarının paralel işləməsi	111
5.7. Sabit cərəyan mühərrikinin işə salınması.....	113
5.8. Sabit cərəyan mühərriklərinin fırlanma tezliyinin tənzimi.....	115
5.9. Sabit cərəyan mühərriklərinin mexaniki xarakteristikaları.....	118
5.10. Sabit cərəyan mühərriklərinin işçi xarakteristikaları.....	119
Ədəbiyyat.....	1211

1. GİRİŞ

Müasir elmi texniki tərəqqi elektrik enerjisinin istehsalı və istehlakı ilə bilavasitə əlaqədardır. İstehsal proseslərinin avtomatlaşdırılması elektrik enerjisinin geniş tətbiqi nəticəsində mümkündür. Bütün bu vəzifələri elektrik maşınları yerinə yetirir.

Elektrik maşınlarının nəzəri əsasları 1821-ci ildə M.Faradeyin elektromaqnit induksiya qanununun kəşfindən sonra qoyulmağa başlanmışdır. 1830-cu ildə elektrik mühərrikinin ilk dəfə olaraq sadə modeli yaradılmışdır. Bundan sonra elektrik maşınlarının inkişafı böyük sürətlə irəliləyir. Müasir dövrdə xalq təsərrüfatının bütün sahələrini elektrik maşınları olmadan təsəvvür etmək qeyri-mümkündür.

Elektrik maşınları mexaniki enerjini elektrik enerjisinə çevirir (generatorlar), ya elektrik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirir (mühərriklər), yaxud da bir parametrlı dəyişən cərəyan elektrik enerjisinə digər parametrlı dəyişən cərəyan enerjisinə çevirir (transformatorlar). Digər məqsədlər üçün istifadə edilən elektrik maşınları da mövcuddur. Avtomatika qurğularında fırlanma tezliyini ölçmək üçün taxogeneratorlar, selsinlər, fırlanan transformatorlar, faz tənzimləyiciləri, induktiv və tutum parametrik maşınlar və s. geniş istifadə edilir.

Generatorlar M.Faradeyin elektromaqnit induksiya qanunu, mühərriklər Bio-Savarın elektromaqnit qüvvə qanunu, transformatorlar isə D.Maksvelin elektromaqnit induksiya qanunu əsasında işləyir.

Elektrik maşınlarında dönmə prinsipi yerinə yetirilə bilər, yəni eyni bir elektrik maşını həm generator, həm də mühərrik kimi işləyə bilər.

Cərəyanın növünə görə elektrik maşınları dəyişən və sabit cərəyan maşınlarına ayrılır. Dəyişən cərəyan maşınları iki qrupa bölünür:

a) sinxron maşınlar

b) asinxron maşınlar

Sinxron maşınlarda rotorun (fırlanan hissənin) fırlanma tezliyi ilə maqnit sahəsinin tezliyi eyni olur.

Asinxron maşınlarda isə bu tezliklər arasında fərq yaranır.

Sabit cərəyan maşınları kollektorlu olmaqla, həm generator, həm də mühərrik kimi istifadə olunur. Kiçik güclər şəraitində kollektorlu maşınlar universal mühərrik kimi hazırlanır, həm sabit, həm də dəyişən cərəyanla işləyə bilər.

Hər bir elektrik maşını konstruktiv və aktiv hissələrdən təşkil olunur. Konstruktiv hissələrin vəzifəsi, mexaniki hissələri özündə cəmləşdirmək, ona mexaniki möhkəmlik vermək və yaranan qüvvələri ötürməkdən ibarətdir. Konstruktiv hissələrə yastıqları, yan qapaqları, gövdəni, valı, qaykaları, boltları, sancaqları və s. misal göstərmək olar. Aktiv hissələrə cərəyan keçirici naqillər, elektrotexniki polad və izolyasiya materialları aiddir. İzolyasiya materialları buraxıla bilən temperatura uyğun olaraq siniflərə bölünür. Tərkibində silisiumun miqdarından asılı olaraq elektrotexniki poladların da müxtəlif markaları vardır.

2. TRANSFORMATORLAR

2.1. Transformatorların vəzifəsi və tətbiq sahələri.

Müasir elektrik stansiyaları təbii enerji mənbələrinin yaxınlığında tikilir və orada elektrik enerjisi dəyişən cərəyan generatorlarından adətən 6-24 kV gərginliklərdə alınır. Təssərüfatın bütün sahələrində elektrik enerjisinin istifadəsi əsasən 220, 380, 660 V və bəzən 6-10 kV şəraitində həyata keçirilir.

Əgər istehsal olunan elektrik enerjisi elektrik stansiyalarından xeyli uzaqlarda yerləşən işlədicilərə gərginliyin aşağı qiymətində göndərilseydi, bu olduqca böyük qiymətli cərəyan şiddəti hesabına əldə edilə bilərdi.

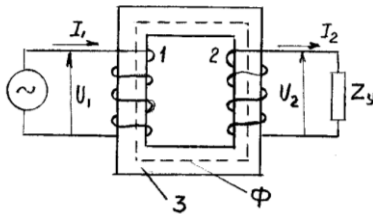
İntiqal xətlərində böyük cərəyan hesabına yarana biləcək güc itgilərinin az olması üçün bu xətlərin en kəsiyi çox böyük olmalı idi. Bu isə artıq metal sərfiyyatına və işlərin çətinliyinə səbəb olardı. Buna görə də, dəyişən cərəyan elektrik enerjisi çox yüksəldilmiş (110, 220, 330, 500, 750 və daha yüksək) gərginliklər şəraitində işlədicilərə göndərilir. Bu məqsədlər üçün transformatorlardan istifadə olunur.

Transformator dəyişən cərəyanın tezliyini dəyişmədən onun gərginliyini və cərəyanını bir qiymətdən digər qiymətə çevirə bilən statiki elektromaqnit aparatdır.

Transformatorlardan energetik qurğularda, radio-texnikada, avtomatika-telemexanika sistemlərində, hesablama texnikasında və s. yerlərdə müxtəlif məqsədlər üçün istifadə olunur.

2.2. Bifazlı transformatorun quruluşu və iş prinsipi.

Transformatorun bir biri ilə elektromaqnit əlaqəsində olan iki və ya bir neçə dolağı olur. Ən sadə transformator ikidolaqlı bifazlı transformatordur. Belə transformatorun elektromaqnit sxemi şəkil 1-də göstərilmişdir. 1 dolağına kənar mənbədən elektrik enerjisi verilir, 2 dolağına isə yük (tələbatçılar) qoşulur. Enerji bir dolaqdan digərinə elektromaqnit induksiya vasitəsilə ötürülür. Elektromaqnit əlaqəni gücləndirmək üçün dolaqlar qapalı nüvə (3) üzərində yerləşdirilir.



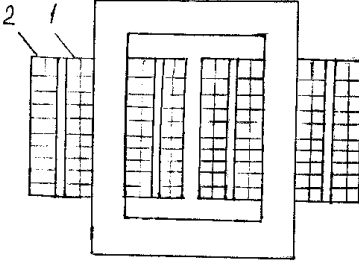
Şəkil 1. Transformatorun elektromaqnit sxemi

Transformatorun dəyişən cərəyan mənbəyinə qoşulan dolağına birinci tərəf dolağı, yük qoşulan dolağına isə ikinci tərəf dolağı deyilir.

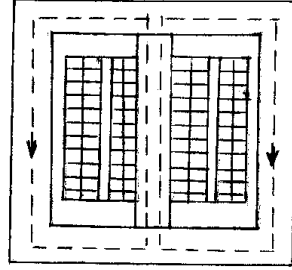
Transformatorun yüksək gərginlikli şəbəkəyə qoşula bilən dolağına yüksək gərginlik (YG) dolağı, alçaq gərginlikli şəbəkəyə qoşulan dolağına isə alçaq gərginlik (AG) dolağı deyilir.

Beləliklə, transformator iki əsas hissədən maqnit dövrəsi (nüvə) və dolaqlardan ibarətdir.

Maqnit dövrəsinin quruluşuna görə transformatorlar çubuqlu (şəkil 2) və zirehli (şəkil 3) olur.



Şəkil 2. Birfazlı çubuqlu transformator

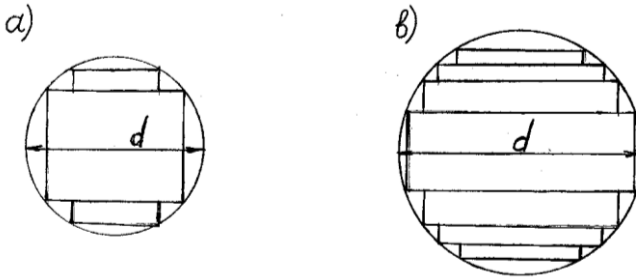


Şəkil 3. Birfazlı zirehli transformator

Birfazlı çubuqlu transformatorun maqnit dövrəsi iki çubuqdan (şaquli hissələr) və iki yarmodan (üfüqi hissələr) ibarətdir. Çubuqlu transformatorlar zirehli transformatorlara nisbətən daha yaxşı soyudula bilir və kütləsi kiçik olur.

Burulğanlı cərəyanların (Fuko cərəyanları) təsirindən yaranan itgiləri azaltmaq məqsədi ilə nüvə qalınlığı 0,3-0,5 mm olan elektrotexniki polad vərəqlərdən yığılır. Vərəqlər bir-birindən nazik oksid təbəqəsi ilə izole edilir.

Maqnit dövrəsində çubuqların en kəsiyinə çevrə daxilinə çəkilmiş pilləvari çoxbucaqlı forma verilir (şəkil 4, a,b).

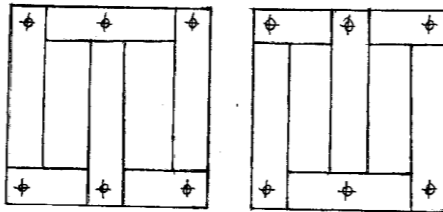


Şəkil 4. Nüvə çubuqlarının en kəsiyi

Çoxbucaqlı forma, tələb olunan en kəsikli çubuğu minimal diametrdə almağa və dolaq boşluğunun poladla dolma əmsalını artırmağa imkan verir. Beləliklə, dolağın sarğısının orta uzunluğu azalır və dolaq materialına qənaət edilir.

Yarmonun en kəsiyi çubuğun en kəsiyindən 10-15 % artıq götürülür ki, bu da polad itgilərinin azalmasına kömək edir.

Maqnit dövrəsinin müqavimətinin azaldılması məqsədi ilə güc transformatorlarının maqnit dövrəsi şıxtələnməmiş hazırlanır. Belə ki, çubuqlarla yarmo uc-uca deyil, uc nayihələrində ayrı-ayrı təbəqələrin bir-birini örtməsi üsulu ilə yığılır (şəkil 5).



Şəkil 5. Nüvə vərəqlərinin qat-qat yığılması

Dolaqlar. Nominal cərəyan və gərginlikdən asılı olaraq transformator dolaqlarının quruluşu müxtəlif olur.

Güc transformatorlarında adətən konsentrik dolaqlar tətbiq edilir. Bu halda maqnit dövrəsinin hər bir çubuğu üzərində hər iki dolaq bir-birinin üzərinə geydirilməklə yerləşdirilir. Daxili silindr AG dolağı, xarici silindr isə YG dolağı olur. Yüksək və alçaq gərginlik dolaqlarının ucları uyğun olaraq AX və ax ilə işarə edilir.

Transformatorun dolaqları həm bir-birindən, həm də nüvədən səliqə ilə izolə edilir. Soyuma şəraitini yaxşılaşdırmaq üçün radial və aksial kanallar saxlanılır. Dolaqlar mis və ya aliminiumdan hazırlanır. Kiçik güc və cərəyanlar şəraitində dairəvi, böyük güc və cərəyanlar şəraitində isə düzbucaqlı en kəsikli naqillərdən istifadə edilir.

Konstruksiyasına görə dolaqlar-silindrik çoxqatlı və birqatlı, arasıkəsilməyən, yivşəkili, sargac şəkilli dolaqlara ayrılır.

Soyudulması. İş zamanı transformatorda itgilər yarandığı üçün o qızır. Güc transformatorlarının soyudulması təbii və məcburi ola bilər. Təbii soyudulma hava və yağ vasitəsilə, istiliyin konveksiya üsulu ilə ötürülməsi hesabına əldə edilir. Hava ilə soyudulan transformatorlar “mayesiz”, yaxud “quru” transformator, yağla soyudulanlar isə “yağ” transformatoru adlanır.

Yağ transformatorlarında nüvə dolaqlarla birlikdə təmizlənmiş mineral yağla dolu çənin içərisində yerləşdirilir. Yağ dolaqlardan ayrılan istiliyi çənin divarlarına ötürməklə həm transformatoru soyudur, həm də izolya-

siyanın elektrik möhkəmliyini artırır . Böyük güclü transformatorların yaxşı soyudula bilməsi üçün, çənin soyuma səthini süni sürətdə artırmaq məqsədi ilə onu hər tərəfdən borular sistemi ilə təmin edirlər. Yağ boruların içərisi ilə dövr edir.

Transformatorun işlənmə prinsipi. Transformatorun iş prinsipinin əsasını elektromaqnit induksiya qanunu təşkil edir.

Birinci dolağın uçları f tezlikli sinusoidal dəyişən cərəyan mənbəyinə qoşulduqda bu dolaqdan axan cərəyan transformatorada eyni tezlikli maqnit seli yaradır. Nüvədəki dəyişən maqnit seli oradan qapanaraq hər iki dolağın sarğılarını kəsir və bu dolaqlarda müvafiq elektrik hərəkət qüvvəsi (e.h.q) induksiyanır.

İkinci dolağın uçlarına yük qoşularsa, həmin dolaqdan cərəyan axar. Nüvənin ümumi maqnit seli hər iki dolağın cərəyanlarının birgə təsiri ilə yaranır.

Maksvell qanununa əsasən dolaqlarda induksiyanan e.h.q. -nin ani qiymətləri aşağıdakı ifadələrlə təyin edilir:

$$e_1 = -W_1 \frac{d\Phi}{dt}; \quad e_2 = -W_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

e.h.q.-lərin ani qiymətləri əvəzinə onların təsiredici qiymətlərini yazaraq, aşağıdakı münasibəti almaq olar:

$$\frac{e_1}{e_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} \quad (1)$$

Dolaqların gərginlik düşgülləri kiçik olduğundan onları nəzərdən atsaq, alarıq:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = K \quad (2)$$

burada K -transformasiya əmsalı, W_1 və W_2 uyğun olaraq 1-ci və 2-ci tərəf dolaqlarının sarğılar sayıdır.

Beləliklə, 2-ci tərəf sarğılarının sayını dəyişməklə orada istənilən qədər e.h.q. almaq olar.

Transformator ancaq cərəyan və gərginlikləri dəyişir, güc isə təxminən sabit qalır.

$$U_2 I_2 \approx U_1 I_1, \text{ buradan}$$

$$I_2 / I_1 \approx U_1 / U_2 = W_1 / W_2 = K \text{ alınır.}$$

Transformator yalnız dəyişən cərəyan dövrələrində işləyə bilər. Birinci tərəf dolağı sabit cərəyan mənbəyə qoşularsa, onun maqnit dövrəsində sabit maqnit seli yarandığından, dolaqlarda e.h.q.-lər induksiya olunmur. Belə rejim həтта transformator üçün qorxuludur. Beləki e.h.q. (E_1) olmadığından birinci tərəf cərəyanı $I_1 = U_1 / r_1$ çox böyük qiymət alır.

Transformatorun istismarı zamanı üç rejim yarana bilər: yüksüz işləmə; qısa qapanma və yük rejimləri.

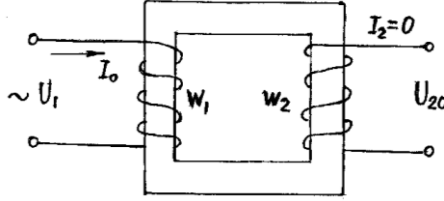
2.3 Transformatorun yüksüz işləmə rejimi.

Belə rejim əsasən təcrübə məqsədilə yaradılır. İkinci tərəf dolağının uclarının açıq halında birinci tərəf dolağına nominal gərginlik tətbiq edilərsə, transformator üçün yüksüz işləmə rejimi alınır.

Əvvəlcə ideal transformatoru nəzərdən keçirək.

İdeal transformator, maqnit seli tamamilə nüvədən qapanan və itgiləri olmayan transformatordur.

Fərz edək ki, birinci tərəf dolağına sinusoidal dəyişən gərginlik tətbiq olunmuşdur (şəkil 6.)



Şəkil 6 Birfazlı transformatorun yüksüz iş rejimi.

Ümumi halda yüksüz işləmə rejimində birinci tərəf dolağının dövrəsi üçün müvazinət tənliyi belə olar:

$$U_1 = I_0 r_1 + (-e_1) \quad (3)$$

İdeal transformatorada $r_1 = 0$ olduğunu nəzərə alsaq,

$$U_1 + e_1 = 0 \quad \text{olar} \quad (4)$$

U_1 və e_1 -in sinusoidal dəyişdiyini nəzərə alsaq (4) ifadəsini kompleks şəkildə göstərmək olar:

$$\dot{U}_1 + \dot{E}_1 = 0 \quad (5)$$

Görünür ki, birinci tərəf dolağına verilmiş gərginlik dolaqda induksiylanan e.h.q ilə müvazinətləşir. Dolağa tətbiq olunmuş U_1 gərginliyi sinusoidal qanunla dəyişərsə onda bu halda maqnit seli fəzaca 90° geri qaldığını və $F = F_m \sin(\omega t - \pi/2)$ qanunu ilə dəyişdiyini nəzərə alsaq, hər iki dolaqda induksiylanan e.h.q-lərin ifadələri aşağıdakı kimi olar:

$$\begin{aligned}
 e_1 &= -W_1 \frac{d\Phi}{dt} = -W_1 \frac{d}{dt} \left[\Phi_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \right] = \\
 &= -W_1 \omega \Phi_m \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = 2\pi f W_1 \Phi_m \sin(\omega t - \pi)
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 e_2 &= -W_2 \frac{d\Phi}{dt} = -W_2 \frac{d}{dt} \left[\Phi_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \right] = \\
 &= -W_2 \omega \Phi_m \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = 2\pi f W_2 \Phi_m \sin(\omega t - \pi)
 \end{aligned} \tag{7}$$

burada F_m - maqnit selinin amplitud qiyməti; $\omega = 2\pi f$ - cərəyanın bucaq tezliyidir.

(6) və (7) tənliklərindən görünür ki, e.h.q.-lər maqnit selindən 90° geri qalır.

Hər iki e.h.q.-nin effektiv qiyməti belə olar:

$$E_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f W_1 \Phi_m = 4,44 f W_1 \Phi_m \tag{8}$$

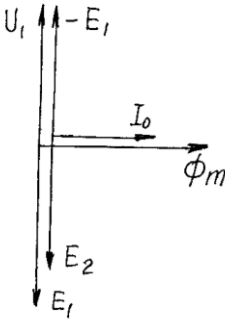
$$E_2 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f W_2 \Phi_m = 4,44 f W_2 \Phi_m \tag{9}$$

Transformator nüvəsinin doymadığını nəzərə alsaq, 1-ci tərəfdən axan cərəyanın maqnit selinə mütənasib olduğunu qəbul etmək olar.

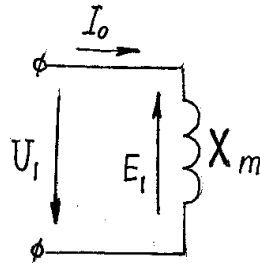
İdeal transformatorun vektor diaqramı şəkil 7-də göstərilmişdir. Göründüyü kimi yüksüz işləmə cərəyanı I_0 maqnit seli ilə eyni fazada, $\dot{U}_1$ və $\dot{E}_1$ vektorları isə (5) tənliyinə uyğun olaraq əks fazada göstərilmişdir.

Yüksüz işləmə rejiminə uyğun transformatorun əvəz sxemi şəkil 8-də göstərilmişdir. Bu sxemdə X_m -əsas maq-

nit selinə uyğun olan induktiv müqavimətdir. Bu müqavimətə uyğun gələn cərəyan yüksüz işləmə cərəyanı adlanır. $I_0 = U_1 / jX_m$. Yüksüz işləmə cərəyanı tam reaktiv olub, nominal cərəyanın təxminən 5%-ni təşkil edir.



Şəkil 7. İdeal transformatorun yüksüz iş rejiminin vektor diaqramı



Şəkil 8. İdeal transformatorun yüksüz iş rejiminin əvəz sxemi

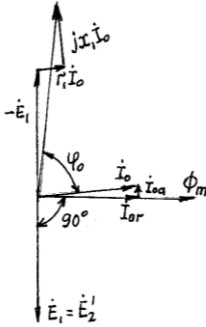
Real transformatorada I_0 cərəyanı birinci dolaqda səpələnmə sahəsi və polad itgiləri yaradır. Dolaqların aktiv müqavimətlərini də nəzərə alsaq, tətbiq olunan gərginliyin bir hissəsinin aktiv və induktiv gərginlik düşgüsünə sərf olunduğunu söyləmək olar. ($I_0 r_1$ və $I_0 X_1$). Onda birinci tərəf dolağı üçün gərginliyin müvazinət tənliyi aşağıdakı kimi yazılar:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 r_1 + j\dot{I}_0 X_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 Z_1 \quad (10)$$

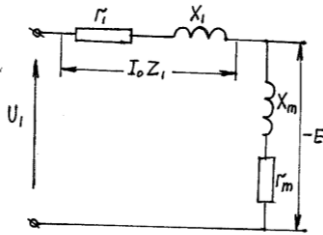
Bu tənliyə əsasən transformatorun yüksüz işləmə rejiminin vektor diaqramını qurmaq olar (şəkil 9).

(10) tənliyinə və vektor diaqramına əsasən təsəvvür etmək olar ki, real transformator yüksüz işləmə zamanı ardıcıl qoşulmuş iki sargıcdan ibarətdir.

Bunlardan biri nüvəsiz olub, 1-ci tərəf dolağının müqavimətləri $Z_1=r_1+jX_1$ ilə, digəri isə nüvəli olmaqla $Z_m=r_m+jX_m$ müqavimətləri ilə təyin olunur. Burada Z_m , r_m və X_m -müqavimətləri maqnitləndirici konturun parametrləri, r_1 və X_1 uyğun olaraq birinci tərəf dolağının aktiv və induktiv müqavimətləridir.



Şəkil 9. Real transformatorun yüksüz iş rejiminin vektor diaqramı



Şəkil 10. Real transformatorun yüksüz iş rejiminin əvəz sxemi

Yüksüz işləmə zamanı transformator şəbəkədən aktiv və reaktiv güc alır. Aktiv gücün bir hissəsi dolağın qızmasına, yəni elektrik itgilərinə $\Delta P_{el1}=I_0^2 r_1$, digər hissəsi isə polad itgilərini dəf etməyə $\Delta P_m=I_0^2 r_m$ sərf olunur.

Elektrik itgiləri yüksüz iş zamanı çox kiçik olduğunu nəzərə alsaq, transformatorun yüksüz işləmə gücü belə olar:

$$P_0 \approx \Delta P_m = I_0^2 r_m \quad (11)$$

Transformatorun aldığı reaktiv güc qismən səpələnmə savhəsi yaratmağa sərf olunur,

$$\Delta Q_1 = I_1^2 X_1$$

Reaktiv gücün bir hissəsi isə transformatorada əsas maqnit sahəsini yaradır, yəni $\Delta Q_m = I_0^2 X_m$. Onda reaktiv yüksüz işləmə gücü belə olar:

$$Q_0 = \Delta Q_1 + \Delta Q_m \quad (12)$$

Əgər $\Delta Q_1 = 0$ qəbul etsək, onda reaktiv yüksüz işləmə itgiləri

$$Q_0 = \Delta Q_m = I_0^2 X_m \quad (13)$$

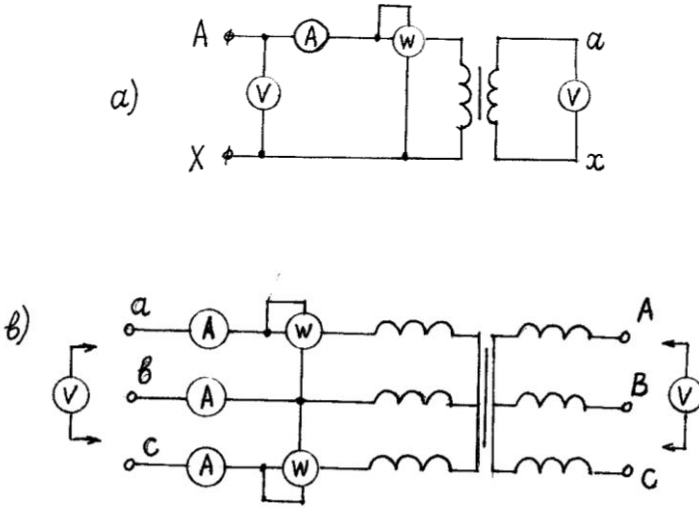
qəbul edilir. Beləliklə, yüksüz işləmə cərəyanı kiçik aktiv və böyük reaktiv mürəkkəbəyə malik olur:

$$I_0 = \sqrt{I_{oa}^2 + I_{or}^2} \quad (14)$$

Adətən aktiv mürəkkəbə I_{oa} tam yüksüz işləmə cərəyanı I_0 -in 10%-dən artıq olmur və onun qiymətinə az təsir göstərir. Yüksüz işləmə cərəyanının forması əsasən maqnitləndirici cərəyanın dəyişmə xarakterindən asılı olur.

2.4 Transformatorun yüksüz işləmə təcrübəsi.

Yüksüz işləmə təcrübəsinin məqsədi maqnitləndirici konturun parametrlərini və əvəz sxeminin digər kəmiyyətlərini təyin etməkdən ibarətdir. Birfazlı və üçfazlı transformatorların yüksüz işləmə təcrübəsi şəkil 11-də göstərilən sxem üzrə aparılır.



Şəkil 11. Transformatorun yüksüz işləmə təcrübəsinin sxemləri.

Dolaqlardan birinə, adətən, alçaq gərginlik dolağına nominal gərginlik verilir, digər dolağın ucları açıq saxlanılır. Cihazların göstərişləri U_{10} , U_{20} , P_0 və I_0 qeyd edilərək yüksüz işləmə parametrləri tapılır:

a) tam aktiv və induktiv yüksüz işləmə müqavimətləri

$$Z_0 = U_{10}/I_0; \quad r_0 = P_0/I_0^2; \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2} \quad (15)$$

b) transformasiya əmsalı

$$K = U_{20}/U_{10}; \quad (16)$$

c) güc əmsalı

$\cos \varphi_0 = P_0/U_{10}I_0$; üçfazlı transformator üçün

$$\cos \varphi_0 = P/3U_{10}I_0; \quad (17)$$

Yüksüz işləmə rejiminin əvəz sxeminə əsasən yazmaq olar:

$$Z_0 = Z_1 + Z_m; \quad r_0 = r_1 + r_m; \quad X_0 = X_1 + X_m.$$

Güc transformatorlarında r_1 və X_1 müqavimətləri r_m və X_m müqavimətlərindən çox kiçik olduğundan yüksüz işləmə parametrlərinin maqnitləndirici konturun parametrlərinə bərabər olduğunu hesab etmək olar:

$$Z_0 \approx Z_m ; r_0 \approx r_m ; X_0 \approx X_m. \quad (18)$$

onda

$$Z_0 = U_{10}/I_0 ; r_0 = P_0/I_0^2 ; X_m = \sqrt{Z_m^2 - r_m^2} \quad (19)$$

Aktiv güc itgiləri də çox kiçik olduğundan, hesab etmək olar ki, transformatorun aldığı güc bütünlüklə nüvədəki maqnit itgilərinə sərf olunur:

$$P_0 = I_0^2(r_1 + r_m) \approx I_0^2 r_m$$

və buradan

$$r_m = P_0/I_0^2 \text{ olur.}$$

Sonra yüksüz işləmə xarakteristikaları qurulur

$$I_0 = f(U_{10}) ; P_0 = f(U_{10}) ; \cos \varphi_0 = f(U_{10})$$

2.5. Transformatorun qısa qapanma rejimi və təcrübəsi

İstismar şəraitində transformatora nominal gərginlik verilmiş halda qısa qapanma rejimi qəza rejimi olmaqla, transformator üçün təhlükəlidir.

İkinci tərəf dolağının qısa qapanmış halında 1-ci tərəfə tətbiq olunmuş gərginliyi azaltmaqla elə qiymətə çatdırmaq olar ki, hər iki dolaqdan axan cərəyanlar nominal olsun. Qısa qapanma rejimində dolaqlardan nominal cərəyan axıda bilən gərginliyə qısaqapanma gərginliyi deyilir.

Transformatorada qısaqapanma gərginliyi əsas kəmiyyətlərdən biri olub U_q ilə işarə olunur və faizlə verilir:

$$U_q\% = (U_q / U_n)100\% = 5 \div 15\%$$

Qısa qapanma rejimində dolaqlardan axan I_1 və I_2 cərəyanları müvafiq olaraq maqnit hərəkət qüvvələri yaradır:

$$F_1 = I_1 W_1 ; \quad F_2 = I_2 W_2$$

Bu mħq -lərin həndəsi cəmi $\dot{F}_1 + \dot{F}_2 = \dot{F}_q$ nəticəsində transformatorun əsas maqnit seli F_q yaranır. Hər bir e.h.q. uyğun dolaqda öz xüsusi səpələnmə maqnit sellərini F_{σ_1} F_{σ_2} yaradır. Maqnit seli gərginliyə müntənasib olduğundan və qısa qapanma rejimində nominal gərginliklərdən çox kiçik olduğunu nəzərə alsaq, onun yaratdığı F_q -ni nəzərdən atmaq olar:

$$\dot{F}_k = \dot{F}_1 + \dot{F}_2 = 0; \quad I_1 W_1 + I_2 W_2 = 0 \quad (20)$$

buradan isə

$$\dot{I}_1 \frac{W_1}{W_2} = -I_2 \quad \text{və ya } I_1 = I_2 / K \quad \text{alınır.}$$

Qısa qapanma rejimində birinci tərəf dolağına tətbiq edilən gərginliyin balans tənliyi:

$$\dot{U}_q = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 r_1 + j I_1 X_1 = -E_1 + \dot{I}_1 Z_1 \quad (21)$$

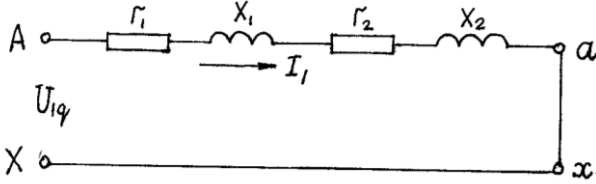
İkinci tərəf dolağında induksiyaalanan ehq:

$$\dot{E}_2 = \dot{I}_2 r_2 + j I_2 X_2 = \dot{I}_2 (r_2 + j X_2) = \dot{I}_2 Z_2 \quad (22)$$

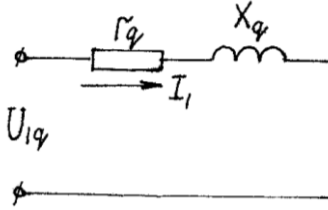
Xüsusi halda $K=1$ olarsa: $E_1 = E_2$ və $I_1 = -I_2$ olur. Onda qısa apanma üçün gərginliklərin müvazinət tənliyi aşağıdakı kimi olar:

$$U_q = I_1(Z_1 + Z_2) \quad (23)$$

Sonuncu ifadəyə əsasən qısaqapanma rejiminin əvəz sxemini qurmaq olar (şəkil 12)

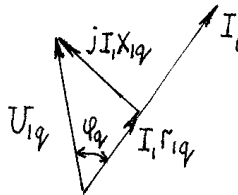


Şəkil 12 Qısaqapanma rejiminin əvəz sxemi



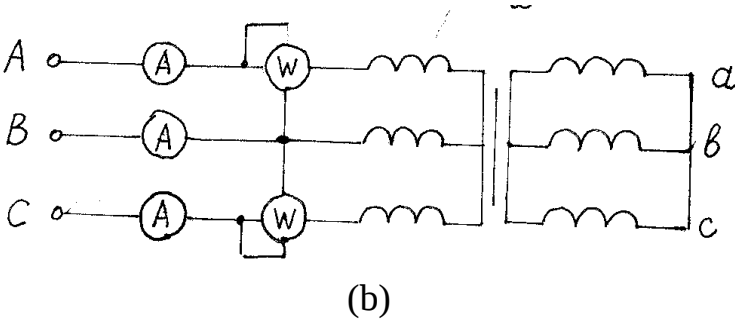
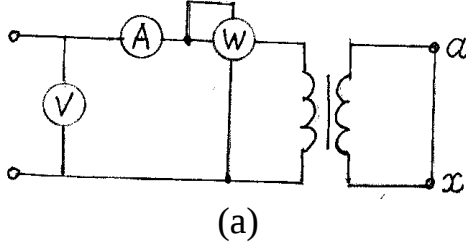
Şəkil 13 Qısaqapanma rejiminin sadələşmiş əvəz sxemi

$r_1 + r_2 = r_q$; $X_1 + X_2 = X_q$ əvəz etsək sadələşmiş əvəz sxemi alınır (şəkil 13). Burada r_q və X_q transformatorun qısaqapanma parametrləri adlanır. Sadələşmiş əvəz sxeminə uyğun gələn vektor diaqramı şəkil 14-də göstərilmişdir.



Şəkil 14 Qısaqapanma rejiminin sadələşmiş vektor diaqramı

Qısaqapanma parametrlərini təyin etmək üçün şəkil 15-dəki sxem üzrə təcrübə aparılır.



Şəkil 15 Transformatorun qısaqapanma təcrübəsinin sxemləri.

İkinci dolağın qısa qapanmış halında birinci dolağa $5 \div 7\% U_n$ qədər gərginlik verilir ki, axan cərəyanlar nominaldan çox olmasın. Cihazların göstərişləri qeyd edildikdən sonra qısaqapanma parametrləri təyin edilir:

$$Z_q = \frac{U_q}{I_q}; \quad r_q = \frac{P_q}{I_q^2}; \quad X_q = \sqrt{Z_q^2 - r_q^2} \quad (24)$$

Bu halda nominal qısaqapanma gərginliyi :

$$U_{qn} = I_n Z_q$$

Müqavimətləri bilərək parametrlərin nisbi qiymətləri tapılır:

$$U_q\% = (U_{qn}/U_n) \cdot 100\% = (I_n Z_q / U_n) \cdot 100\% \quad (25)$$

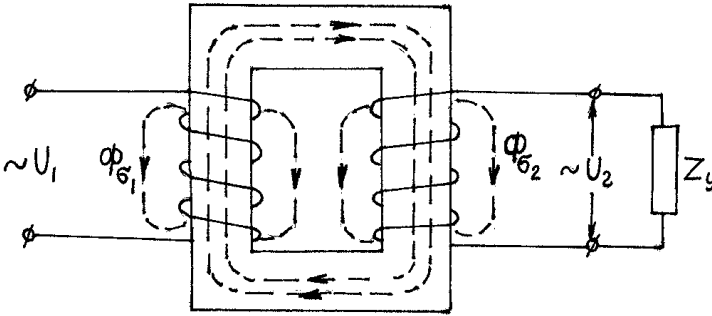
Qısaqapanma gərginliyinin nisbi qiyməti qısa qapanma müqavimətinin nisbi qiymətinə bərabər olur, beləki,

$$I_{q*} = \frac{U_{qn}}{U_n} = \frac{I_n Z_{q0}}{U_n} = \frac{Z_q}{Z_n} = Z_{q*} \quad (26)$$

Təcrübənin nəticələrinə əsasən $I_q = f(U_q)$; $\cos \varphi_q = f(U_q)$; $P_q = f(U)$ xarakteristikaları qurulur.

2.6. Transformatorun yük rejimi.

İkinci tərəf dolağının uclarına hər hansı yük qoşulduğu zaman birinci dolağa gərginlik verilərsə, transformatorun yüklü rejimi alınır (şəkil 16).



Şəkil 16. Transformatorun yük rejiminin sxemi

Yükün nominala yaxın qiymətlərində $I_1(r_1 + jX_1)$ gərginlik düşgüsünün kiçik olduğunu nəzərə alsaq, $U_1 \approx E_1$ yazmaq olar. E_1 -nüvədən qapanan maqnit selinə mütənəsib olduğundan yazı bilərik:

$$\Phi_m \approx U_1/4,44fW_1 \quad (27)$$

Yük rejimində dolaqlardan axan I_1 və I_2 cərəyanları F_1 və F_2 m.h.q.-ləri yaradır.

$$F_1 = I_1 W_1 ; \quad F_2 = I_2 W_2$$

Bu m.h.q.-lərin birgə təsiri ilə nüvənin əsas maqnit seli F yaranır və onun qiyməti (27)-dən göründüyü kimi gərginliyin qiymətindən asılıdır.

Gərginliyin yükədən asılı olmayaraq sabit qaldığını nəzərə alsaq yüksüz işləmə və yük rejimlərinin maqnit sellərinin eyni olduğunu söyləmək olar: $\Phi = \Phi_0$.

F_0 maqnit seli F_0 -ın təsirindən yaranır. $F_0 = I_0 W_1$ olduğunu nəzərə alaraq,

$$F_0 = F_1 + F_2 \quad \text{və ya} \quad I_0 W_1 = I_1 W_1 + I_2' W_1 \quad (28)$$

(28) ifadəsinin hər tərəfini W_1 -ə bölsək cərəyanların müvazinət tənlikləri alınar:

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2' \quad \text{və ya} \quad I_1 = I_0 + (-I_2') \quad (29)$$

Transformatorun yük rejiminin əvəz sxemini və vektor diaqramını qurmaq üçün cərəyan və gərginliklərin müvazinət tənliklərindən istifadə olunur. Dolaqlar səpələnmə maqnit selləri F_{σ_1} və F_{σ_2} öz dolağı ilə işləyərək öz-özünə induksiya ehq.-ləri yaradır:

$$E_{\sigma_1} = 4,44fW_1 F_{\sigma_1} ; \quad E_{\sigma_2} = 4,44fW_2 F_{\sigma_2}$$

Bunları nəzərə alsaq 1-ci və 2-ci tərəf dolaqları üçün aşağıdakı müvazinət tənliklərini almaq olar:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 + \dot{E}_1 + \dot{E}_{\sigma_1} &= I_1 p_1 \\ \dot{E}_2' + \dot{E}_{\sigma_2} &= I_2' p_2' + I_2' Z_y' \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + (-I_2') \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

burada Z_y -yük müqavimətidir.

$E\sigma_1$ və $E\sigma_2$ ehq vektorları uyğun sel və cərəyandan 90° geri qaldığından yaza bilərik:

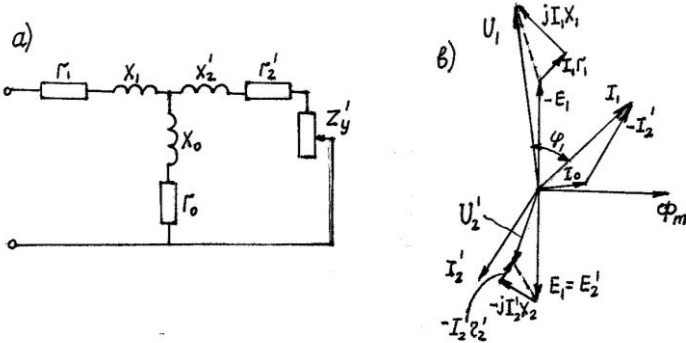
$$E\sigma_1 = -j\dot{I}_1 X_1 \quad ; \quad E\sigma_2 = -j\dot{I}'_2 X'_2$$

Bu halda 1-ci və 2-ci dolaqlardakı gərginliklərin balans tənlikləri belə olur:

$$U_1 = -E_1 + I_1 r_1 + jI_1 X_1 = -E_1 + \dot{I}_1 Z_1 \quad (31)$$

$$U'_2 = E'_2 - I'_2 r'_2 - jI'_2 X'_2 \quad (32)$$

(30), (31) və (32) tənliklərindən istifadə edərək yüklü rejimdə transformatorun elektrik əvəz sxemini və vektor diaqramını qurmaq olar (şəkil 17) .



Şəkil 17. Transformatorun yük rejiminin əvəz sxemi (a), və vektor diaqramı (b).

Vektor diaqramları dolaqların cərəyanları, EHQ-ləri və gərginlikləri arasındakı münasibətləri aydınlaşdırmağa imkan verir. Diaqramdan görünür ki, yük rejimində U'_2 gərginliyi, yüksüz işləmə rejimindəki $U_{20} \approx U_1$ gərginliyindən xeyli kiçikdir. Dolaqların müqavimətləri r_1 , x_1 , r_2 ,

x_2 və φ_2 bucağı nə qədər böyük olsa bu fərq daha da çoxalır. Şəkildə göstərilmiş vektor diaqramı yükün induktiv - aktiv xarakterdə olduğu hala uyğundur. Transformatorun yükünün tutum xarakterli halı üçün vektor diaqramının qurulması qaydası dəyişməz qalır, lakin onun görünüşü bir qədər dəyişir. Çünki bu halda I_2' vektoru E_2' vektorundan müəyyən bucaq qədər irəli düşür. Ona görə də $U_2' > E_2'$ olur.

2.7. Transformatorun ikinci tərəf gərginliyinin dəyişməsi və xarici xarakteristikası

Transformatorun yükü artıqca ikinci tərəf dolağında gərginlik düşgüsü artır.

Transformatorun qısa qapanma rejimindən nominal yük rejiminə keçəndə ikinci tərəf gərgiliyinin dəyişməsi onun əsas xarakteristikalarından biri olub aşağıdakı kimi təyin edilir :

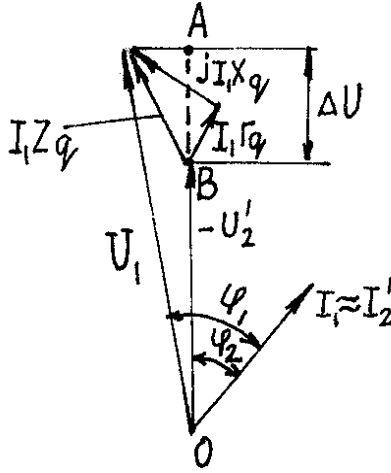
$$\Delta U \% = [(U_{20}' - U_2') / U_{20}'] \cdot 100\% \quad (33)$$

ΔU gərginlik düşgüsünün transformatorun kəmiyyət-lərindən asılılıq ifadəsini almaq üçün sadələşmiş vektor diaqramından istifadə etmək əlverişli olur (şəkil 18).

Vektor diaqramından təxmini hesablamalar üçün $\Delta U = U_1 - U_2' = \overline{OA} - \overline{OB} = \overline{BA}$ qəbul etmək olar. Uyğun olaraq $I_1 r_q$ və $j I_1 x_q$ vektorlarının da U_2' vektoru istiqamətindəki proyeksiyaları nəzərə alınsa :

$$\Delta U = \overline{BA} = I_1 r_q \cos \varphi_2 + I_1 x_q \sin \varphi_2 \quad (34)$$

alırıq. Axırıncı ifadəni belə də yazmaq olar :



Şəkil 18. Transformatorun sadələşmiş vektor diaqramı

$$\Delta U = \frac{I_1}{I_n} I_n r_q \cos \varphi_2 + \frac{I_1}{I_n} I_n x_q \sin \varphi_2 \quad (35)$$

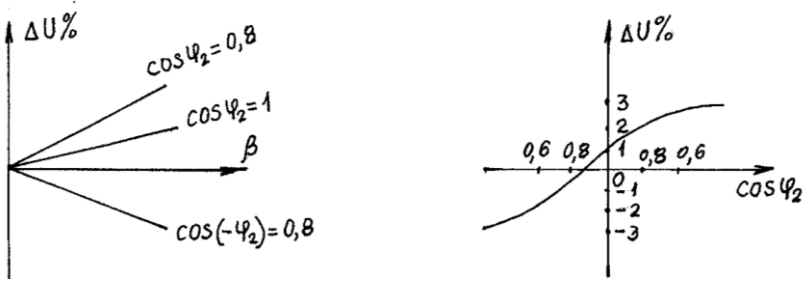
Əgər $(I_1 / I_n) = \beta$, yük əmsalı qəbul etsək, onda

$$\Delta U = \beta \cdot (I_n r_q \cos \varphi_2 + I_n x_q \sin \varphi_2) \quad (36)$$

(36) ifadəsinin hər bir həddini U_{1n} -ə bölüb 100-ə vursaq gərginliyin nisbi dəyişməsini alarıq :

$$\Delta U \% = \beta \cdot (U_{qa} \% \cos \varphi_2 + U_{qr} \% \sin \varphi_2) \quad (37)$$

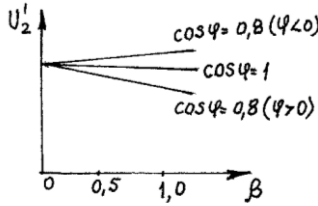
Görünür ki, $\Delta U \% = f(\beta, \varphi_2)$ alınır və gərginliyin nisbi dəyişməsi yükün xarakterindən asılıdır. $\cos \varphi = \text{const}$ şəraitində $\Delta U \% = f(\beta)$ asılılığı şəkil 19-da göstərilmişdir. $\Delta U \% = f(\cos \varphi_2)$ asılılığından görmək olur ki, aktiv yüklərdə $\Delta U \%$ kiçik olub, aktiv-induktiv xarakterli yüklər şəraitində artır. $\varphi_2 = \varphi_k$ olanda maksimum olur; aktiv tutum xarakterli yüklərdə isə mənfi də ola bilər.



Şəkil 19. ΔU -nin yükün xarakterindən asılı olaraq dəyişmə qrafikləri

$U_1 = U_{1n} = \text{const}$, $\cos \varphi_2 = \text{const}$ şəraitində $U_2 = f(\beta)$ və ya $U_2 = f(I)$ asılılığına transformatorun xarici xarakteristikası deyilir. Bu xarakteristikanı qurmaq üçün $U_2' = U_{1n}(1 - \Delta U\%) = U_{1n} [1 - \beta(U_{qa}\% \cos \varphi_2 + U_{qr}\% \sin \varphi_2)]$ (38) düsturundan istifadə etmək olar.

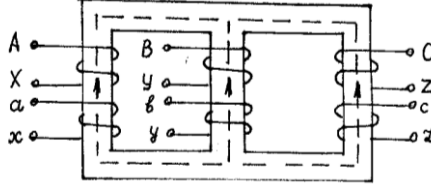
Müxtəlif yüklər şəraitində qurulmuş xarakteristikalar şəkil 20-də göstərilmişdir.



Şəkil 20. Transformatorun xarici xarakteristikaları

2.8 Üçfazlı transformatorlar

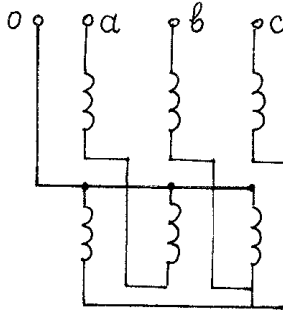
Üçfazlı cərəyanı transformasiyanı etmək üçün üç ədəd birfazlı transformator qrupundan və ya üçfazlı, üçbucluq transformatordan istifadə etmək olar (şəkil 21).



Şəkil 21 Üçfazlı transformator

Belə transformatorun maqnit dövrəsi qeyri-simmetrik alınır, belə ki orta fazın və kənar fazların maqnit qüvvə xəttlərinin uzunluğu müxtəlifdir. Orta fazın maqnit müqaviməti kiçik olduğundan yüksüz işləmə rejimində $I_{ao} \approx I_{co} \neq I_{bo}$ olur. Təklif olunan gərginliklər simmetrik olduğundan $F_A = F_B = F_C$ olar. Sellər eyni olduğundan maqnit müqaviməti kiçik olan fazın yüksüz işləmə cərəyanı da kiçik olmalıdır. Yük rejimində isə qeyri simmetriqliyin təsiri çox az olur.

Üçfazlı transformatorların dolaqlarfı dörd sxem üzrə birləşdirilir: ulduz (Y), sıfır nöqtəsi çıxarılmış ulduz (Y_0), üçbucaq (Δ), sıfır çıxışla ziqzaq. Ziqzaq birləşmə xüsusi təyinatlı transformatorlarda istifadə edilir (şəkil 22).



Şəkil 22 Transformatorun ikinci tərəf dolağının
ziqzaq birləşdirilməsi

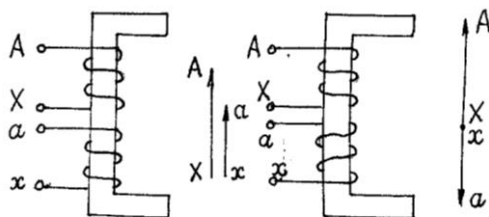
Y/Y sxemi üzrə dolaqların birləşdirilməsi zamanı transformatorlarda yaranan faz maqnit sellərinin üçüncü harmonikaları, nüvədən qapana bilmədiyi üçün əlavə itgilər mənbəyinə çevrilir. Üçüncü harmonikaların qarşısını almaq məqsədilə dolaqları Y / Δ və Y_0 / Δ sxemləri üzrə qoşulmuş üçcubuqlu transformatorlar daha yaxşı sayılır.

2.9. Transformator dolaqlarının birləşmə qrupları

Birinci və ikinci tərəf dolaqlarının uyğun xətt gərginliklərinin vektorları arasındakı bucaqdan asılı olaraq transformatorlar bir neçə birləşmə qrupuna ayrılır. Bu bucağın qiyməti bir nüvə üzərində yerləşən birinci və ikinci tərəf dolaqlarının sarınma istiqamətindən və üçfazlı birləşmə sxemindən asılıdır.

Əgər dolaqlar bir istiqamətdə sarınıb uc işarələrinin nişanlanması simmetrikdirsə (şəkil 23 a), onda bu dolaqlarda induksiyaalanan EQ-lər eyni istiqamətli olar və uyğun yüksüz işləmə gərginlikləri üst-üstə düşər.

Dolaqlardan birinin sarınma istiqaməti və uclarının yeri dəyişdirilsə (şəkil 23 b) 1-ci və 2-ci tərəf gərginlik vektorları fazaca 180^0 fərqlənər.



Şəkil 23 Bifazlı transformatorlarda dolaqların birləşmə qrupları

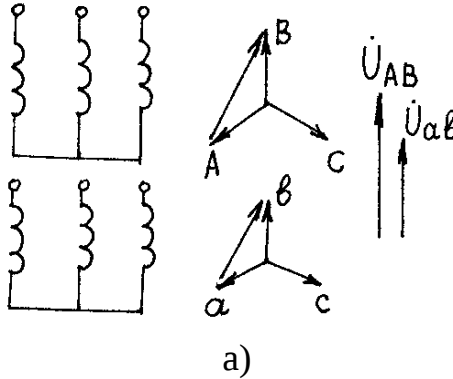
Üçfazlı transformatorun dolaqlarından biri ulduz, digəri üçbucaq sxemi üzrə birləşərsə, xətt gərginlikləri arasında bucaq fərqi 30^0 olduğundan, belə üçfazlı transformatorlarda dolaqların sarınma istiqamətindən asılı olaraq birinci və ikinci tərəf xətt gərginlikləri arasında bucaq $\alpha=360^0$ saatın 12, $\alpha=330^0$ saatın 11, $\alpha=180^0$ saatın 6 və $\alpha=150^0$ saatın 5 göstərdiyini müəyyən edirik. Yəni sadəlik üçün gərginlik vektorlarını saat əqrəblərinə bənzədirlər, Beləliklə, üçfazlı transformatorlarda ümumi halda 12 birləşmə qrupu mövcud ola bilər. Bütün Y/Y və Δ/Δ sxemləri üzrə qoşulmuş transformatorlar cüt, Y/ Δ və Δ /Y qoşulmuş transformatorlarda isə nömrəli birləşmə qrupunu verir.

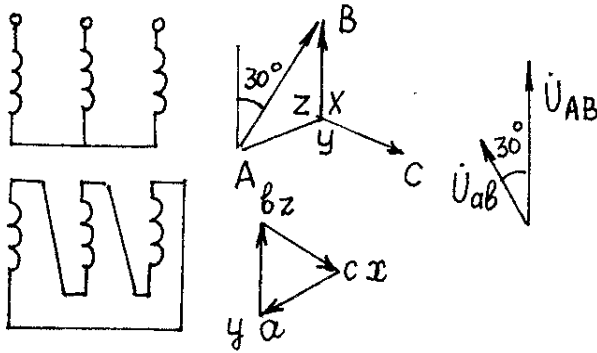
Bəzi hallara baxaq. Fərz edək ki, YG və AG dolaqları Y/Y sxemi üzrə qoşulub, hər iki dolağın sarınma istiqaməti eynidir (şəkil 24 a). Bu sxem əsasən hər iki dolaq üçün qurulmuş faz və xətt gərginliklərinin vektor diaqramları da göstərilmişdir. Görünür ki, bu sxem üzrə

qoşulmuş transformatorun birləşmə qrupu Y/Y-0 ilə işarə edilir.

Əgər baxdığımız sxemdə AG dolağının uclarının yeri dəyişdirilsə, bu dolağın gərginlik vektorları fazaca 180^0 dəyişir və transformator 6 nömrəli birləşmə qrupuna mənsub olar.

Dolaqların Y/ Δ sxemi ilə qoşulmasına uyğun vektor diaqramı şəkil 24 b-də göstərilmişdir. Görünür ki, bu halda 11 nömrəli birləşmə qrupu alınır (Y/ Δ). Bu halda AG dolağının uclarının yeri dəyişdirilsə uyğun xətt gərginlik vektorları arasındakı bucaq 150^0 olar ki, bu da 5 nömrəli birləşmə qrupunu verir.



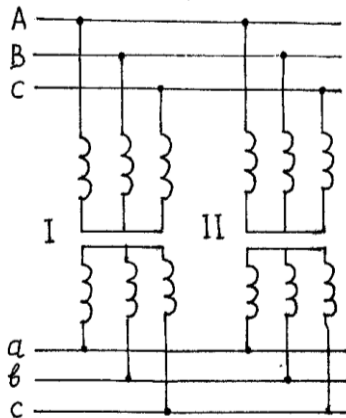


b)

Şəkil 24. Üçfazlı transformatorun dolaqlarının birləşmə qrupu

2.10. Transformatorların paralel işləməsi.

Elektrik təchizatının etibarlılığının artırılması məqsədilə böyük güclərin ötürülməsi zamanı bir neçə transformator paralel qoşulur (şəkil 25).



Şəkil 25. Transformatorun paralel işləmə sxemi

Transformatorların paralel işləyə bilməsi üçün aşağıdakı şərtlər yerinə yetirilməlidir.

- 1) transformatorların birinci və ikinci tərəf gərginlikləri bir-birinə bərabər olmalıdır. Bu isə transformasiya əmsallarının bərabərliyi deməkdir;
- 2) paralel qoşulan transformatorların birləşmə qrupları eyni olmalıdır;
- 3) qısa qapanma gərginlikləri bərabər olmalıdır $U_{q1}=U_{q2}$.
- 4) paralel işləyən transformatorların nominal gərginliklərinin nisbəti 3:1-dən çox olmamalıdır.

Fərz edək ki, transformatorların ikinci tərəf gərginlikləri bərabər deyil, yəni $K_I \neq K_{II}$. Bu halda ikinci tərəf dolaqlarından əmələ gəlmiş kontur üzrə bərabərləşdirici cərəyan axır;

$$I_{b\bar{r}} = \frac{\Delta U}{Z_{q1} + Z_{q2}} \quad (39)$$

Bu cərəyan gərginliyi yüksək olan dolaqdan alçaq olan dolağa tərəf axır. Transformatorlar yükləndikdə bərabərləşdirici cərəyan birinin yük cərəyanından çıxılır, digərinin yük cərəyanı ilə toplanar. Ona görə bu hala yol vermək olmaz. Məsələn $Z_{q1}=Z_{q2} \approx 5\%$ və $\Delta U = 0,01$ nisbi vahid qəbul etsək,

$$I^*_{b\bar{r}} = \frac{\Delta U}{Z^*_{q1} + Z^*_{q2}} = \frac{0,01}{0,05 + 0,05} = 0,1 \quad \text{olur.}$$

Bu isə nominal cərəyanın 10%-ni təşkil edir. Belə halın baş verməməsi üçün

$\Delta K = [(K_1 - K_2) / K] \cdot 100\% \leq 0,5\%$ olmalıdır, burada $K = \sqrt{K_1 K_2}$ -transformasiya əmsallarının orta həndəsi qiymətidir.

Transformatorların birləşmə qrupları eyni olmadıqda ikinci tərəf xətt gərginlikləri arasında faza fərqi yaranacaq və ΔU əmələ gələcək ki, bu da böyük qiymətli bərabərləşdirici cərəyanın meydana çıxmasına səbəb olacaq. Məsələn transformatorlar ən yaxın Y/ Δ -11 və Y/Y-0 birləşmə qruplarına malik olmaqla paralel işə qoşularsa bərabərləşdirici cərəyan nominaldan 5,18 dəfə çox olur.

Transformatorların qısa qapanma gərginlikləri bərabər olmadıqda isə yük cərəyanı onlar arasında qeyri bərabər paylanır. Qısa qapanma gərginliyi kiçik olan transformator daha çox yüklənir: Beləliklə, bu şərtin praktiki ödənilməsi üçün, qısa qapanma gərginliklərinin fərqi onların orta hesabı qiymətinin $\pm 10\%$ -dən artıq olmamalıdır.

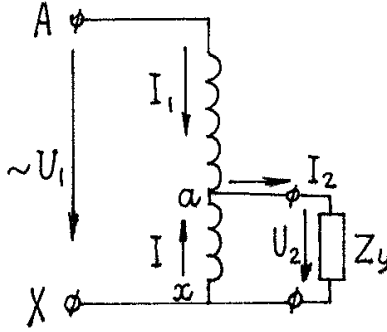
2.11. Avtotransformatorlar.

Adi transformatorlarda birinci və ikinci tərəf dolaqları arasında yalnız maqnit əlaqəsi mövcuddur. Avtotransformatorların adi transformatordan fərqi ondan ibarətdir ki, onun alçaq gərginlik dolağı yüksək gərginlik dolağının bir hissəsidir. Beləliklə, avtotransformatorlarda dolaqlar arasında həm elektromaqnit, həm də elektrik əlaqəsi mövcuddur. Dolaqların quruluşu və onların nüvə üzərində yerləşdirilməsi adi transformatorlarda olduğu kimidir, lakin elektrik əlaqəsinə görə hər iki dolağın izolyasiyası yüksək gərginliyə hesablanmalıdır.

Avtotransformatorlar alçaldıcı və yüksəldici olur. Fərz edək ki, alçaldıcı transformatorun sxemində (şəkil 26) birinci tərəf dolağına U_1 gərginliyi tətbiq edilib, ikinci tərəf dolaqlarının a, x ucları isə açıqdır.

Dolağın hər bir sarğısında induksiyaalanan ehq-nin $E=4,44f F_m$ olduğunu və $E_1 \approx U_1$ nəzərə alsaq, yüksüz işləmə rejimi üçün

$$U_2=E_2=EW_2=4,44 W_2 f F_m=\frac{U_1}{W_1} W_2=\frac{U_1}{K} \quad (40)$$



Şəkil.26 Alçaldıcı avtotransformatorun sxemi.

alırıq. Burada K transformasiya əmsalıdır.

Yük rejimində itgiləri nəzərdən atsaq $U_2 I_2 = U_1 I_1$ olduğundan

$$I_2 = \frac{U_1}{U_2} I_1 = K I_1 \quad \text{alınır} \quad (41)$$

İtgilər nəzərdən atılırsa keçid gücü

$S_{keç} = U_1 I = U_2 I_2$, hesabi güc $S_h = U_2 I$ olur, burada I - dolağın ax hissəsindən axan cərəyandır. Yüksüz işləmə

cərəyanı nəzərdən atılsa düyün nöqtəsi a üçün yazmaq olar:

$$I_2 = I_1 + I \quad (42)$$

Bu halda keçid gücü

$$S_{keç} = U_2 I_2 = U_2 (I_1 + I) = U_2 I_1 + U_2 I \quad (43)$$

(41)-i nəzərə alsaq

$$S_{keç} = U_2 I_2 / K + U_2 I = S_{keç} + S_{em} = S_{el} + S_{em} \quad (44)$$

Burada $S_{em} = U_2 I = S_h$ - avtotransformatorun hesabi gücü (elektromaqnit sahəsilə ikinci tərəfə verilən güc); $S_{el} = U_2 I_2 / K = S_{keç} / K$ isə elektrik əlaqəsi ilə ikinci tərəfə verilən gücdür. (44)-Dən avtotransformatorun hesabı və ya elektromaqnit gücünü belə də yazmaq olar:

$$S_h = S_{em} = S_{keç} - S_{keç} / K = S_{keç} \left(1 - \frac{1}{K} \right) \quad (45)$$

$K \leq 2,5$ olanda avtotransformatorlar iqtisadi cəhətdən əlverişli olur.

3. ASİNXRON MAŞINLAR

3.1 Asinxron maşınların vəzifəsi, tətbiq sahələri və quruluşu.

Asinxron maşınlar əsasən elektrik mühərrikləri kimi xalq təsərrüfatının bütün sahələrində geniş istifadə olunur. Buna səbəb onun quruluşunun sadəliyi və etibarlı işləməsidir. Asinxron mühərriklərin tətbiq sahəsi çox genişdir. Onlar avtomatika qurğularında, məişət elektrik

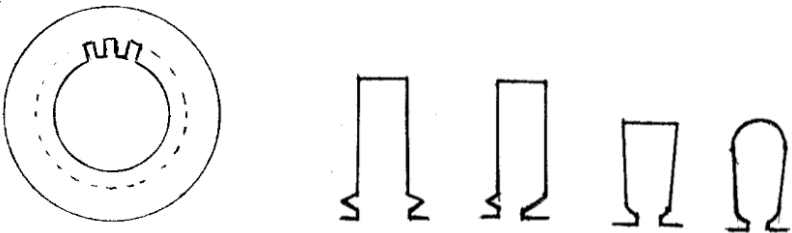
cihazlarının intiqalında, iri avadanlıqların intiqalında gücü bir neçə vattdan minlərlə kilovatt diapazonda istifadə edilməkdədir. ən çox istifadə edilən sənaye tezlikli 3 fazlı asinxron mühərriklərdir.

Quruluşca asinxron maşın iki əsas hissədən- stator və rotordan ibarətdir. Stator maşının tərpənməz, rotor isə fırlanan hissəsidir.

Stator nüvədən, dolaqlardan və gövdədən ibarətdir. Statorun nüvəsi elektrotexniki polad vərəqlərdən ştamplanaraq yığılır. Vərəqlərin üzərində dolaq yerləşdirmək üçün yuvalar açılır. Yuvaların formaları maşının gücündən asılı olaraq müxtəlif həndəsi fiqurlar şəklində olur (şəkil 28).

Stator dolaqları misdən hazırlanır, əsasən üçfazlı olur və stator nüvəsində açılmış yuvalarda yerləşdirilir.

Hər bir faz dolağının başlanğıcı və sonu uyğun olaraq C1-C4; C2-C5 və C3-C6 ilə işarələnir və mühərrikin gövdəsində bərkidilmiş lövhə üzərindəki sıxaqlara bərkidilir. Dolaqlar ya ulduz, ya da üçbucaq sxemi üzrə qoşulur.



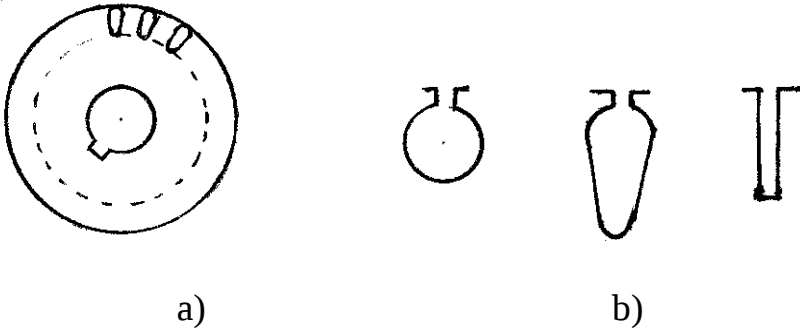
a)

b)

Şəkil 28. Stator vərəqi (a) və yuvalar (b)

Rotorun quruluşuna görə asinxron mühərriklər qısa qapanmış, faz və ya bütöv (massiv) rotorlu hazırlanır.

Qısa qapanmış rotor nüvədən, dolaqdan və valdan ibarətdir. Rotorun nüvəsi qalınlığı $0,35 \div 0,5$ mm olan elektrotexniki polad vərəqlərdən yığılır (şəkil 29).

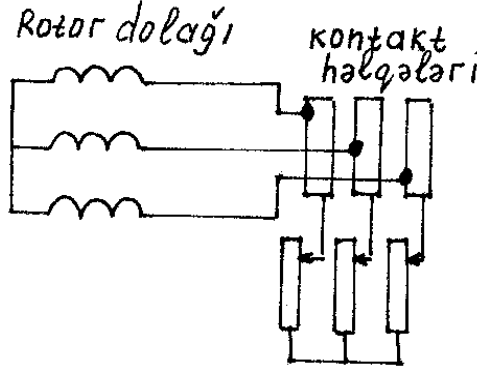


Şəkil 29. Rotor vərəqi (a) və yuvaları (b).

Rotor dolağı adətən aliminiumdan tökülür, “dələ qəfəsi” adlanan dolaq yuvalarda yerləşdirildikdən sonra hər iki tərəfdən qısa qapayıcı eyni metallı həlqələr vasitəsilə qapanır. Rotor nüvəsi qısa qapanmış dolaqla birlikdə vala geyindirilir.

Faz rotor nüvədən, faz dolağından, kontakt həlqələrindən və valdan ibarətdir. Rotorun nüvəsi qısa qapanmış rotorda olduğu kimidir. Nüvə yuvalarında yəfəzli paylanmış dolaq yerləşdirilir. Bu dolaq ulduz və ya üçbucaq sxemi ilə birləşdirilərək üç ucu kontakt həlqələrinə çıxarılır. Kontakt həlqələri tərpənməz fırçalarla

sürüşkən kontakt yaradır və rotoru xarici dövrə ilə əlaqələndirir (şəkil 30).

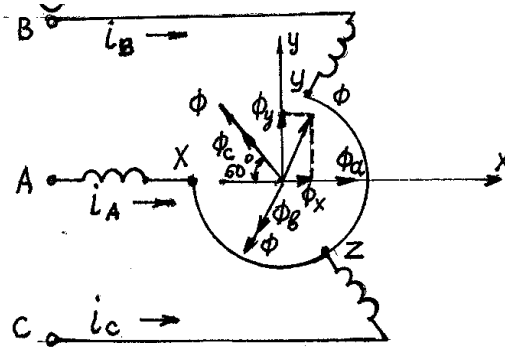


Şəkil 30. Faz rotorlu asinxron mühərrikin rotor dövrəsi.

Adətən fırçalara xarici dövrədə işə salma reostatı qoşulur.

3.2 Üçfazlı sistemdə fırlanan maqnit sahəsinin yradılması.

Üçfazlı dəyişən cərəyan mühərriklərinin iş prinsipi fırlanan maqnit sahəsinə əsaslanır. Belə sahənin yaranmasını üçfazlı və iki qütblü dolağın timsalında nəzərdən keçirək (şəkil 31).



Şəkil 31. Üçfazlı dolağın fırlanan maqnit sahəsinin yaranması

Faz dolaqları fəzada bir-birinə nəzərən 120^0 bucaq altında yerləşir və ucları ulduz sxemi üzrə birləşir. Dolağa gərginlik tətbiq edildikdə oradan üçfazlı cərəyan axır və hər faza dolağının ətrafında maqnit seli yaranır. Dolaqdan axan faz cərəyanlarının və maqnit sellərinin ifadələri aşağıdakı kimidir:

$$i_A = I_m \sin \omega t$$

$$F_A = F_m \sin \omega t$$

$$i_B = I_m \sin(\omega t - 120^0)$$

$$F_B = F_m \sin(\omega t - 120^0)$$

$$i_C = I_m \sin(\omega t + 120^0)$$

$$F_C = F_m \sin(\omega t + 120^0)$$

Maqnit selləri fəzada fazaca bir-birindən 120^0 fərqlənir. Nəticə maqnit sellərinin X və Y oxları üzrə proyeksiyalarını təyin edək:

$$\begin{aligned}
F_X &= F_{AX} + F_{BX} + F_{CX} = F_A - F_{BC} \cos 60^\circ - F_C \cos 60^\circ = \\
&= F_m \sin \omega t - \frac{1}{2} F_m \sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{2} F_m \sin(\omega t + 120^\circ) = \\
&= F_m \left\{ \sin \omega t - \frac{1}{2} [\sin(\omega t - 120^\circ) + \sin(\omega t + 120^\circ)] \right\} = \\
&= \frac{2}{3} F_m \sin \omega t
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_Y &= F_{AY} + F_{BY} + F_{CY} = -F_{BY} \sin 60^\circ + F_C \sin 60^\circ = \\
&= \frac{\sqrt{3}}{2} F_m [\sin(\omega t + 120^\circ) - \sin(\omega t - 120^\circ)] = \frac{2}{3} F_m \cos \omega t
\end{aligned}$$

Nəticə maqnit selini təyin edək:

$$\Phi = \sqrt{\Phi_x^2 + \Phi_y^2} = \frac{2}{3} \Phi_m \quad \text{və ya} \quad F = 1,5 F_m.$$

Görünür ki, nəticə maqnit seli zamandan asılı deyil. F seli ilə Y oxu arasında bucaq

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Phi_x}{\Phi_y} = \frac{1,5 \Phi_m \sin \omega t}{1,5 \Phi_m \cos \omega t} = \operatorname{tg} \omega t;$$

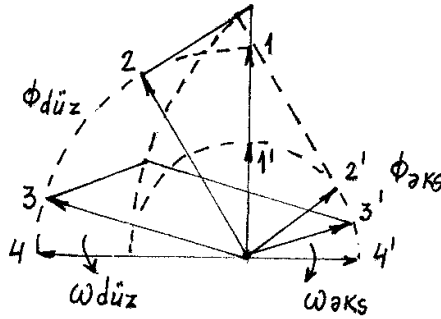
və $\alpha = \omega t$ olur. α bucağı zamandan asılı dəyişdiyindən nəticə maqnit selinin müsbət istiqamətində şəbəkə gərginliyinin bucaq tezliyinə bərabər olan bucaq sürətilə fırlandığını söyləmək olar.

Beləliklə, üçfazlı dolaq üçfazlı sinusoidal cərəyan mənbəyinə qoşulduqda fəzada dairəvi fırlanan maqnit seli yaranır. Bu maqnit selinin bucaq tezliyi $\omega = 2\pi n_1/60$; $\omega_1 = \omega/p$ olduğundan;

$$\frac{2\pi n_1}{60} = \frac{2\pi f_1}{p} \quad \text{və ya} \quad n_1 = \frac{60 f_1}{p} \quad \text{olur} \quad (46)$$

n_1 - sinxron sürət adlanır. p -cüt qütblər sayıdır. Fırlanan maqnit sellərinin istiqaməti saat əqrəbi istiqamətində A-fazasından B-yə doğru yönəlir. Bu sahənin istiqamətini dəyişmək üçün hər hansı iki fazanın uclarını dəyişmək lazımdır.

Üçfazlı maşında statorun faz dolaqları qeyri-simmetrik olarsa, dolaqlara qeyri simmetrik gərginlik tətbiq edilərsə, onda yaranan fırlanan maqnit sahəsi dairəvi deyil, ellips formasında olur. Belə sahəni düz və əks istiqamətlərdə fırlanan iki dairəvi sahənin həndəsi cəmi kimi göstərmək olar (şəkil 32).



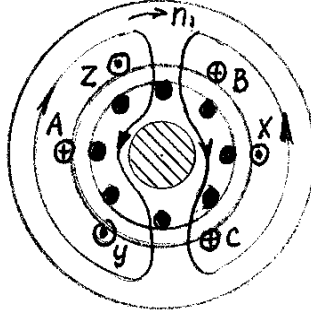
Şəkil 32. Ellips şəkilli fırlanan maqnit sahəsinin ayrılması.

Əgər maqnit sahəsinin düz və əks toplananları bir-birinə bərabər olarsa, nəticə sahə döyünən olur.

3.3 Üçfazlı asinxron mühərrikin iş prinsipi.

Asinxron mühərrikin iş prinsipinin əsasını elektromaqnit induksiya və elektromaqnit qüvvə qanunları təşkil edir.

Stator dolağını üçfazlı cərəyan mənbəyinə qoşduqda fırlanan maqnit sahəsi yaranır. Bu sahənin fırlanma tezliyi $n_1 = 60f/p$ ilə təyin edilir. Sahə statorla, statorla rotor arasındakı hava aralığından və rotordan qapanır (şəkil 33).



Şəkil 33. Asinxron mühərrikin iş prinsipinə dair.

Stator sahəsi sinxron sürətlə fırlanır. Fırlanan sahə rotor dolağını kəsərək burada ehq-si induksiylayır. Dolaq qapalı olduğundan oradan cərəyan axır. Rotor cərəyanı ilə fırlanan sahənin qarşılıqlı təsirindən rotor naqillərinə qüvvə təsir edir və elektromaqnit moment yaranır. Rotor sahənin hərəkəti istiqamətində n_2 sürəti ilə fırlanır. Lakin $n_2 < n_1$ olur. Görünür ki, rotorun fırlanma tezliyi sahənin fırlanma tezliyindən fərqlənir.

Stator sahəsi ilə rotorun sürətlər fərqlərinin nisbi qiymətinə sürüşmə deyilir:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad \text{və ya} \quad S\% = \frac{n_1 - n_2}{n_1} 100\% \quad (47)$$

Asinxron mühərrikin iş rejimləri sürüşmə ilə xarakterizə olunur. Mühərrik nominal yüklə işləyən zaman $S_n = 0,01 \div 0,06$ olur. Əgər $n_2 = n_1$ olsa, maqnit sahəsi rotor dolağını kəsməz, ehq yaranmaz və elektromaqnit moment yaranmaz.

$n_2 > n_1$ olsa $0 > S > -\infty$ olur və maşının generator rejiminə uyğun gəlir. Əgər $0 > n_2 > -\infty$ olarsa; $-1 < S < \infty$ deməli elektromaqnit tormoz rejimi alınır.

3.4 Asinxron mühərrikin stator və rotor ehq-nin tezlikləri və cərəyanlarının ifadələri.

Asinxron mühərriklərdə də enerji transformatorlarda olduğu kimi bir dolaqdan digərinə elektromaqnit yolla ötürülür.

Əgər asinxron mühərrikin rotoru başqa bir mühərrik vasitəsilə $n_2 = n_1$ sürəti ilə fırlandırılırsa, rotor dolağından cərəyan axmaz, $I_2 = 0$ olar. Bu halda stator dolağından yüksüz işləmə cərəyanı $\dot{I}_0$ axır. Bu cərəyan həm aktiv, həm də reaktiv gərginlik düşgülləri yaradır. I_0 cərəyanının reaktiv hissəsi maqnitləndirici cərəyan adlanır və o, maqnit seli əmələ gətirir ki, bu da iki hissədən ibarət olur: qarşılıqlı induksiya seli F_m və səpələnmə seli F_{σ_1} . Hər iki sel

stator dolağında uyğun ehq induksiya layır:

$$E_1 = 4,44 f_1 W_1 K_{w1} F_m$$

$$E_{\sigma_1} = 4,44 f_1 W_1 K_{w1} F_{\sigma_1}$$

burada K_{w1} -dolaq əmsalı, W_1 stator dolağının sarğılar sayıdır.

Stator dolağına U_1 gərginliyinin tətbiq edildiyini nəzərə alsaq

$$U_1 + E_1 + E_{\sigma_1} = I_0 r_1 \quad \text{olur.}$$

$E_{\sigma_1} = -j I_0 X_1$ olduğunu nəzərə alsaq yaza bilərik:

$$U_1 = -E_1 + I_0 r_1 + j I_0 X_1 ; \quad X_1 = 2 \pi f_1 L_1$$

I_0 yüksüz işləmə cərəyanı transformatorndan fərqli olaraq böyük olur:

$$I_0 = (15 \div 50) \% I_n$$

Fırlanan maqnit seli həm də rotor dolağında ehq induksiya layır:

$$E_2 = 4,44 f_1 W_2 K_{w2} F_m$$

Ehq-yə və yaxud gərginliyə görə çevirmə əmsalı;

$$K_E = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1 K_{w1}}{W_2 K_{w2}}$$

Rotor dolağı qısa qapalı olanda, asinxron maşının rejimi transformatorun qısa qapanma rejiminə oxşadığından aşağıdakı tənlikləri yazmaq olar:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= -E_1 + I_1 r_1 + j I_1 X_1 \\ 0 &= E'_2 - I'_2 r'_2 - j I'_2 X'_2 \\ I_1 &= I_0 + (I'_2) \end{aligned} \right\} \quad (48)$$

(48) tənliklər sistemi asinxron maşının tərpənməz rotor şəraitində gərginliklərin və cərəyanların balans tənlikləridir. Tənliklərdə ştrixlə rotor dolağının çevrilmiş kəmiyyət və parametrləri göstərilmişdir.

$$E_2' = E_1 = K_E E_2; \quad I_2' = I_2 / K_I; \quad K_I = \frac{m_1 W_1 K_{W1}}{m_2 W_2 K_{W2}}$$

burada K_I -asinxron maşının cərəyana görə çevrilmə (transformasiya) əmsalıdır.

Rotor n_2 sürəti ilə fırlanarsa, statorun maqnit sahəsi rotora nəzərən $\Delta n = n_1 - n_2$ sürətilə fırlanacaqdır. Ona görə də rotor dolağında f_2 tezlikli ehq induksiyanlar:

$$f_2 = \frac{p \Delta n}{60} = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} \cdot \frac{n_1}{n_1} = S f_1$$

$$f_2 = S f_1$$

Rotor dolağında induksiyananan ehq-nin qiyməti:

$$E_{2s} = 4,44 f_2 W_2 K_{W2} F_m = 4,44 S f_1 W_2 K_{W2} F_m = S E_2;$$

burada $E_2 = 4,44 f_1 W_2 K_{W2} F_m$ - tərpənməz rotor şəraitində rotor dolağındakı ehq-dir. Rotor dolağının induktiv müqaviməti də sürüşmədən asılıdır:

$$X_{2s} = \omega_2 L_2 = 2 \pi f_2 L_2 = 2 \pi S f_1 L_2 = S X_2,$$

burada $X_2 = \omega_2 L_2$ -tərpənməz rotor şəraitində rotor dolağının induktiv müqavimətidir. Rotorun çevrilmiş kəmiyyətləri də uyğun olaraq belə olar:

$$E_{2s}' = S E_2'; \quad X_{2s}' = S X_2'; \quad r_{2s} = r_2' = \text{const}$$

Fırlanan rotor şəraitində rotor cərəyanının çevrilmiş qiyməti;

$$I'_{2s} = \frac{E'_{2s}}{Z'_{2s}} = \frac{SE'_2}{r'_2 + jSX'_2} \quad \text{və ya} \quad I'_{2s} = \frac{E'_2}{Z'_{2s}} = \frac{SE'_2}{\frac{r'_2}{S_2} + jX'_2}$$

Cərəyanı modulu isə $|I'_2| = \frac{E'_2}{\sqrt{\left(\frac{r'_2}{S}\right)^2 + (X'_2)^2}}$ olur.

Asinxron mühərrikdə əsas maqnit seli F statorun F_1 və rotorun F_2 mħq-lərinin qarşılıqlı təsirindən yaranır:

$$F = \frac{\dot{I}_1 + \dot{I}_2}{\dot{Z}_m} = \frac{\dot{I}_0}{\dot{Z}_m}$$

Burada Z_m mühərrikin maqnit dövrəsinin F maqnit selinə olan müqavimətidir, F_0 -yüksüz işləmə mħq-nə bərabər olan mühərrikin nəticə mħq-dir və belə tapılır:

$$\dot{I}_0 = 0,45m_1I_0W_1K_{w_1} / p$$

Uyğun olaraq F_1 və F_2 mħq-ləri:

$$F_1 = 0,45m_1I_1W_1K_{w_1} / p ; \quad F_2 = 0,45m_2I_2W_2K_{w_2} / p$$

Mühərrikin valındakı yük dəyişən zaman, yalnız I_1 və I_2 cərəyanları dəyişir. Gərginlik dəyişmədiyindən F seli dəyişməz, ona görə də $F_0 = F_1 + F_2 = \text{const}$ qəbul etmək olar.

F_1 və F_2 -nin qiymətlərini nəzərə alaraq yazmaq olar:

$$0,45m_1I_0W_1K_{w_1} / p = 0,45m_1I_1W_1K_{w_1} / p + \\ + 0,45m_2I_2W_2K_{w_2} / p$$

buradan isə $I_0 = I_1 + I_2 \frac{m_2W_2K_{w_2}}{m_1W_1K_{w_1}} = I_1 + (-I'_2)$ alınır.

Sonuncu ifadədən görünür ki, $I_2' = 0$ olarsa $I_0 = I_1$ alınır. Bu halda $S \approx 0$ olur, və yüksüz işləmə rejiminə uyğun gəlir.

3.5 Fırlanan rotor şəraitində asinxron mühərrikin tənlikləri, əvəz sxemləri və vektor diaqramı

Fırlanan rotor şəraitində asinxron mühərrikin işi aşağıdakı tənliklərlə xarakterizə olunur.

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + I_1 r_1 + j I_1 X_1 \\ 0 &= \dot{E}_{2s} - I_2' r_2' - j I_2' X_{2s}' \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2') \end{aligned} \right\} \quad (49)$$

$E_{2s} = S E_2'$ və $X_{2s} = S X_2'$ olduğunu nəzərə alsaq, 2-ci tənliyi belə də yaza bilərik:

$$0 = S E_2' - I_2' r_2' - j I_2' S X_2' \quad (50)$$

Bu tənliyi S -ə bölsək, fırlanan rotoru ekvivalent tərpənməz rotor şəraitinə gətirmək olar:

$$0 = E_2' - I_2' \frac{r_2'}{S} - j I_2' X_2' \quad \text{və yaxud} \quad r_2' \text{ -i belə yaza}$$

bilərik:

$$r_2' = r_2' + \frac{1-S}{S} r_2'$$

$$\frac{1-S}{S} I_2' r_2' = U_2' \quad \text{qəbul edərək (50) tənliyini aşağıdakı}$$

şəkildə göstərmək olar: $U_2' = E_2' - I_2' r_2' - j I_2' X_2'$.

Sonuncu tənliyin hər tərəfini I_2' -ə vuraq:

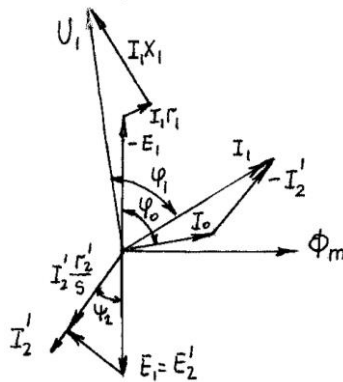
$$U_2' I_2' = E_2 I_2' - (I_2')^2 r_2' - j(I_2')^2 X_2' \quad (51)$$

Burada $U_2' I_2' = \frac{I - S}{S} (I_2')^2 r_2' = P_{\text{mex}}$ - rotordan vala ötürülən mexaniki gücdür.

Beləliklə asinxron maşın üçün aşağıdakı tənliklər sistemi alınır:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 r_1 + j \dot{I}_1 X_1 \\ 0 &= E_2' - I_2' \frac{r_2'}{S} - j I_2' X_2' \\ I_1 &= I_0 + (-I_2') \end{aligned} \right\} \quad (52)$$

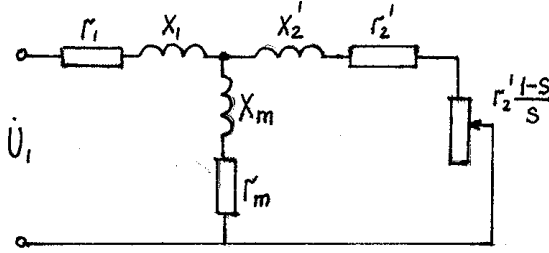
Asinxron mühərrikin elektrik əvəz sxemləri və vektor diaqramı. Asinxron mühərrikin stator və rotor ehq-nin və cərəyanlarının müvazinət tənliklərinə (52) əsasən onun vektor diaqramını qurmaq olar. Diaqram transformator da olduğu qayda üzrə qurulur. Fərq yalnız ondan ibarətdir ki, rotorda gərginlik düşgülləri onun dolağı qısa qapalı olduğundan tərpənməz rotorun ehq-si ilə müvazinətləşir. Lakin bu vektor diaqramı dəyişən aktiv müqavimətə $r_2' \frac{I - S}{S}$ işləyən transformatorun vektor diaqramına uyğundur (şəkil 34).



Şəkil 34. Asinxron mühərrikin vektor diaqramı

Transformatorada olduğu kimi asinxron mühərrikdə də gərginliklər və cərəyanların tənliklərinə uyğun elektrik əvəz sxemi qurmaq olar. Əvəz sxemləri vasitəsilə mühərrikdə baş verən real fiziki proseslər öyrənilir, analitik üsulla maşının cərəyanları, gücləri və digər kəmiyyətləri təyin edilir.

Asinxron mühərrikin “T” şəkilli əvəz sxemi şəkil 35-də göstərilmişdir. Buradakı $r_2' \frac{1-S}{S}$ aktiv müqaviməti tərpənməz rotorun dolağına qoşulmuş xarici müqavimət hesab etmək olar. Bu müqavimətin qiyməti sürüşmənin S qiyməti ilə, yəni mühərrikin valında olan mexaniki yükün qiyməti ilə müəyyən edilir.



Şəkil 35. Asinxron mühərrikin “T” şəkilli əvəz sxemi.

r_m müqaviməti nüvədəki maqnit itgilərini müəyyən edir.

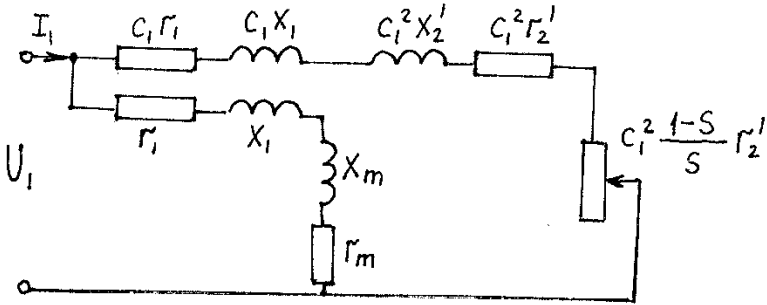
Maqnitləndirici konturu $Z_m = r_m + jX_m$ giriş uclarına çıxarmaqla “T” şəkilli əvəz sxemini dəyişdirmək olar. Yüksüz işləmə cərəyanı öz qiymətini dəyişməsin deyə, ona ardıcıl stator dolağının r_1 və X_1 müqavimətləri qoşulur. Ekvivalentlik şərtlərinə uyğun olaraq aşağıdakı tənliyi alırıq:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_1 + Z_m} + \frac{\dot{U}_1}{C_1 Z_1 + C_1^2 Z'_{2s}} \quad (53)$$

Burada $C_1 = 1 + (Z_1/Z_m)$ kompleks əmsaldır. $r_1 \ll X_1$; $r_m \ll X_m$ olduğunu nəzərə alsaq sadələşdirmək olar.

$$C_1 = 1 + \frac{r_1 + jX_1}{r_m + jX_m} \approx 1 + \frac{X_1}{X_m}$$

Asinxron maşının “L” şəkilli əvəz sxemi 36-cı şəkildə göstərilmişdir.



Şəkil 36. Asinxron maşının “L” şəkilli əvəz sxemi

“L” şəkilli əvəz sxeminə uyğun gələn rotor cərəyanının qiyməti aşağıdakı kimi olar:

$$\frac{I_2'}{C_1} = \frac{U_1}{\left(c_1 r_1 + c_1^2 \frac{r_2'}{S} \right) + j \left(c_1 X_1 + c_1^2 X_2' \right)};$$

cərəyanın modulu isə,

$$|I_2'| = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + c_1 \frac{r_2'}{S} \right)^2 + j \left(c_1 X_1 + c_1^2 X_2' \right)^2}}; \text{ olur } (54)$$

3.6 Asinxron mühərrikin itgiləri, energetik diaqramı və faydalı iş əmsalı.

Şəbəkədən alınan elektrik enerjisinin mexaniki enerjiyə çevrilməsi prosesi itgilərlə müşayət olunur. Stator dolağına 3 fazlı şəbəkədən elektrik gücü verilir.

$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1.$$

Bu gücün bir hissəsi stator dolağının müqavimətində elektrik itgilərinə sərf olunur.

$$\Delta P_{el1} = m_1 I_1^2 r_1$$

Gücün başqa bir hissəsi statorun nüvəsində maqnit itgilərinə sərf olunur.

$$\Delta P_{maq1} = m_1 I_0^2 r_m$$

Gücün yerdə qalan hissəsi statordan rotora maqnit sahəsi vasitəsilə ötürülür və buna elektromaqnit güc deyilir.

$$\Delta P_{em} = P_1 - (\Delta P_{el1} + \Delta P_{maq1})$$

Rotorun elektromaqnit gücünün bir hissəsi də rotor dolağında elektrik itgilərinə sərf olunur

$$\Delta P_{el2} = m_2 I_2^2 r_2 = m_1 (I_2')^2 r_2'$$

Elektromaqnit gücün qalan hissəsi mexaniki gücə çevrilir.

$$P_{mex} = P_{em} - \Delta P_{el2} = m_1 (I_2')^2 \frac{l - S}{S} r_2'$$

Onda elektromaqnit gücün ifadəsini aşağıdakı kimi də yazmaq olar.

$$P_{em} = P_{mex} + \Delta P_{el2} = m_1 (I_2')^2 \frac{r_2'}{S} \quad (55)$$

Mexaniki gücün bir hissəsi də mexaniki itgilərə və əlavə itilərə sərf olunur və digər hissi valda faydalı gücə çevrilir.

62

$$P_2 = P_{mex} - \Delta P_{mex} - \Delta P_{el}$$

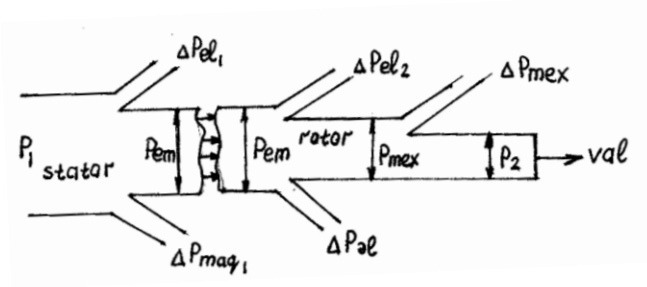
Faydalı gücü başqa şəkildə də yazmaq olar:

$$P_2 = P_1 - \Delta P$$

Mühərrikin faydalı iş əmsalı:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_1}$$

Yuxarıdakı ifadələrə uyğun olaraq asinxron mühərrikin energetik diaqramını qurmaq olar (şəkil 37).



Şəkil 37. Asinxron mühərrikin energetik diaqramı.

Energetik diaqrama uyğun olaraq aşağıdakı ifadələri almaq olar:

$$\Delta P_{el2} = P_{em} - P_{mex} = m_1 (I'_2)^2 \frac{r'_2}{S} - \quad (56)$$

$$-m_1 (I'_2)^2 \frac{1-S}{S} r'_2 = S P_{em}$$

$$P_{mex} = (1-S) P_{em}$$

(56) ifadəsindən görünür ki, elektromaqnit güc iki hissədən ibarətdir: rotor dolağındakı elektrik itgiləri ΔP_{el2} və rotorun mexaniki gücü P_{mex} .

3.7 Asinxron mühərrikin fırladıcı momenti və mexaniki xarakteristikası.

Asinxron maşının fırladıcı elektromaqnit momenti onun elektromaqnit gücünə görə təyin edilir:

$$M = P_{em} / \omega_1$$

$\omega_1 = 2\pi f_1 / P$ olduğunu nəzərə alsaq və (55), (56) ifadələrindən istifadə etməklə elektromaqnit moment üçün aşağıdakı ifadəni almaq olar:

$$M = \frac{m_1 P U_1^2 \frac{r_2'}{S}}{2\pi f_1 \left[\left(r_1 + C_1 \frac{r_2'}{S} \right)^2 + (X_1 + C X_2')^2 \right]} \quad (57)$$

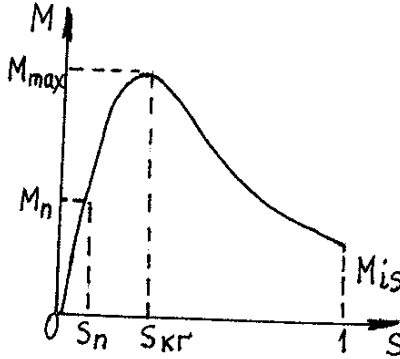
Bu ifadəyə daxil olan bir çox kəmiyyətlər sabitdir:

$$m_1, f_1, r_1, X_1, X_2', C = \text{const.}$$

Səthə sıxılmanı nəzərə almasaq r_2' -də sabit qəbul edilə bilər. Şəbəkə gərginliyini də dəyişməz hesab etsək elektromaqnit moment yalnız sürüşmədən asılı olur: $M = f(S)$. Bu asılılıq asinxron maşının mexaniki xarakteristikası adlanır. Sürüşmənin müxtəlif qiymətləri üçün bu asılılığın forması şəkil 38-də göstərilmişdir.

(57) ifadəsində $S=1$ qəbul etsək, mühərrikin işə salma momentinin ifadəsini alarıq:

$$M_{is} = \frac{m_1 P U_1^2 r_2'}{2\pi f_1 \left[\left(r_1 + C_1 r_2' \right)^2 + (X_1 + C X_2')^2 \right]} \quad (58)$$



Şəkil 38. Asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikası

(57) ifadəsindən görünür ki, bu funksiyanın ekstremumu (maksimumu) vardır. Maksimal qiymətə uyğun gələn kritik sürüşməni təyin etmək üçün $\frac{dM}{dS} = 0$ əməliyyatı aparılmalıdır. Asinxron mühərrikdə maksimal qiymətə uyğun gələn kritik sürüşmə aşağıdakı kimi olur.

$$S_k = \frac{C_1 r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (X_1 + CX_2')^2}} \quad (59)$$

Sürüşmənin bu qiymətini (57) ifadəsində yerinə qoyaraq sadələşmə aparsaq, momentin maksimal qiymətini tapırıq

$$M_{max} = \frac{m_1 P U_1^2}{4\pi f_1 \left[r_1 + \sqrt{r_1^2 + (X_1 + CX_2')^2} \right]} \quad (60)$$

Elektromaqnit moment ifadəsinin və mexaniki xarakteristikanın araşdırılması göstərir ki, sürüşməni $S=1$ qiymətindən $S=S_{kr}$ qiymətinə qədər azalması nəticəsində momentin artımı müşahidə olunur. Sürüşmənin sonrakı azalması ilə moment azalır. Ümumi halda asinxron mühərrikin valına fırladıcı elektromaqnit moment M , mexanizmin tormozlayıcı momenti M_t və sürətin dəyişməsi ilə yaranan dinamik moment M_j təsir edir.

Hər bir anda rotora təsir edən momentlər müvazinətdə olmalıdır:

$$M - M_t - M_j = 0$$

Rotorun momentlərinin müvazinət tənliyi ümumi halda aşağıdakı kimi olmalıdır:

$$j \frac{d\omega_2}{dt} = M - M_t$$

Rotorun fırlanma tezliyi $\omega_2 = \text{const}$ olduqda fırlandırıcı elektromaqnit moment valdakı tormozlayıcı yük momenti ilə müvazinətləşir:

$$M = M_t$$

Xarakteristikanın analizi göstərir ki, asinxron mühərrikin dayanıqlı işi yalnız sürüşmənin kritik qiymətindən kiçik sürüşmələrdə $S < S_{kr}$ mümkündür (OA hissəsi). Bu hissədə işləyən mühərrikin hər hansı səbəbdən fırlanma tezliyi azalarsa sürüşmə artar və fırladıcı moment tormozlayıcı momentdən böyük olar.

$$j \frac{d\omega_2}{dt} = M - M_t > 0$$

Ona görə də rotorun fırlanma tezliyi artaraq əvvəlki qiymətinə çatmağa çalışar. Fırlanma tezliyi artan halda isə

$j \frac{d\omega_2}{dt} = M - M_t < 0$ olur və tormoz momentinin

təsirindən rotorun sürəti aşağı düşərək qərarlaşar.

Ümumiyyətlə asinxron mühərrikin işinin dayanıqlıq kriteriyası $dM/dS > dM_t/dS$ şərti ilə xarakterizə olunur.

Dayanıqlıq ehtiyatını təmin etmək üçün mühərrikin yü-

klənmə qabiliyyəti $K_y = M_m/M_n = 1,7 \div 3$ arasında götürülür.

3.8 Asinxron mühərriklərin işə salınması

İşə salma prosesində aşağıdakı əsas tələblər yerinə yetirilməlidir:

- a) işə sama cərəyanı I_{is} mümkün qədər kiçik olmalıdır;
- b) işə salma momenti M_{is} mümkün qədər böyük olmalıdır;
- c) işə salma sxemi mümkün qədər sadə olmalıdır;
- d) işə salma müddəti qısa olmalıdır;
- e) işə salma prosesi səlist və qənaətli olmalıdır;

Asinxron mühərriklərin işə salınması üçün müxtəlif üsullar mövcuddur:

1. Kiçik və orta güclü asinxron mühərriklər çox zaman şəbəkəyə birbaşa qoşulmaqla işə salınır. Bu halda mühərrikə verilən gərginlik şəbəkə gərginliyinə bərabər olur: $U_{1n} = U_{\gamma}$. İşə salma yüksüz və ya valda mexaniki yük olduqda aparılır. $n_2 = 0$ və $S = 1$ olduğuna görə işə salma cərəyanı çox böyük olur:

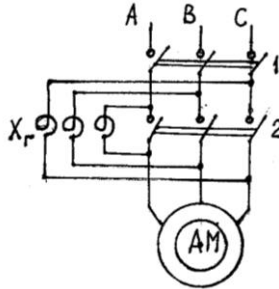
$$I_{is} = (4 \div 7) I_n.$$

Birbaşa işə salma cərəyanının təsirindən yaranan, elektrodinamiki qüvvələr və qızmaya dözə bilməsi hallarında bu üsuldan istifadə olunur.

Şəbəkənin gücü kiçik olan halda bu üsuldan istifadə edilmir, beləki, şəbəkədə gərginlik düşgüsü böyük olduğundan dtgər işlədicilərin işinə mənfi təsir göstərir.

Stator dolağına verilən gərginliyi azaltmaq üçün reaktordan, avtotransformatordan və yaxud stator dolağının birləşmə sxemini üçbucaqdan ulduza keçmək üsulundan istifadə olunur.

2.Reaktorla işə salma şəkil 39-da göstərilmiş sxem üzrə aparılır.



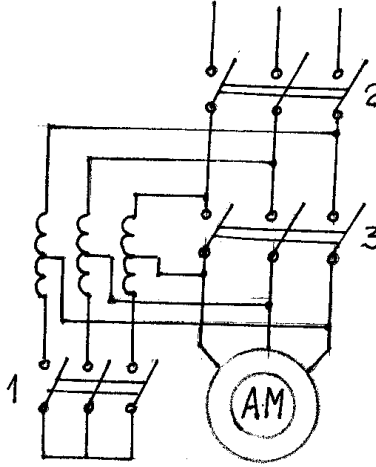
Şəkil 39. Asinxron mühərrikin reaktorla işə salma sxemi

Mühərrikin işə salınması aşağıdakı kimi aparılır . 2 açarının açıq vəziyyətində 1 açarı qapanır və stator dolağına reaktor vasitəsilə cərəyan verilir. Bu zaman reaktorda gərginlik düşgüsü $\Delta U = I_{is} X_D$ yaranır və stator dolağına alçaldılmış gərginlik verilir:

$$U'_1 = U_{Inom} - \Delta U$$

Rotorun sürəti qərarlaşmış qiymətə çatdıqdan sonra 2 açarı vurulur və dolağa nominal gərginlik verilir. Üsulun mənfi cəhəti odur ki, gərginliyin U'_1 / U_{Inom} dəfə azalması, işə salma momentinin $M_{is}(U'_1 / U_{Inom})^2$ dəfə azalması ilə nəticələnir.

3. Avtotransformatorla işə salma sxemi şəkil 40-da göstərilmişdir.



Şəkil 40. Asinxron mühərrikin avtotransformatorla işə salma sxemi.

Mühərrik aşağıdakı ardıcılıqla işə salınır. Əvvəlcə 1 açarı, sonra işə 2 açarı qoşulur. Mühərrikin sıxaclarına verilən gərginlik alçaldılmış olur:

$$U_1 = U_{is} / K_{atr};$$

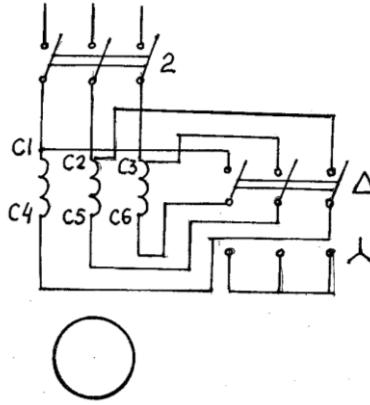
burada K_{atr} -avtotransformatorun transformasiya əmsalıdır.

Uyğun olaraq mühərrikin işəsalma cərəyanı da azalır,

$$I_{isatr} = I_{is} / K_{atr}.$$

Lakin avtotransformatorun 1-ci tərəf və yaxud şəbəkə cərəyanı $I_{isatr}/K_{atr}=I_{is}/K_{atr}^2$ olur. İşəsalma momenti gərginliyin kvadratına mütənasib olduğundan $M_{isatr}=M_{is}/K_{atr}^2$ olur. Beləliklə, avtotransformatorla işə salma zamanı işə salma momenti və cərəyanı eyni nisbətdə azalır ki, bu da üsulun müsbət cəhətidir.

4. Ulduzdan üçbucağa keçməklə işə salma sxemi şəkil 41-də göstərilmişdir.

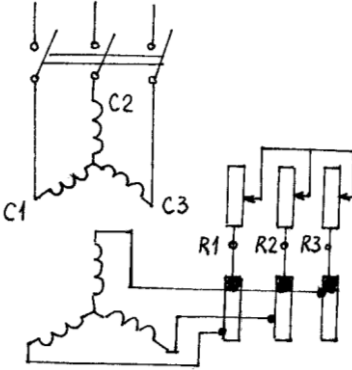


Şəkil 41. Asinxron mühərrikin ulduzdan üçbucağa keçməklə işə salma sxemi

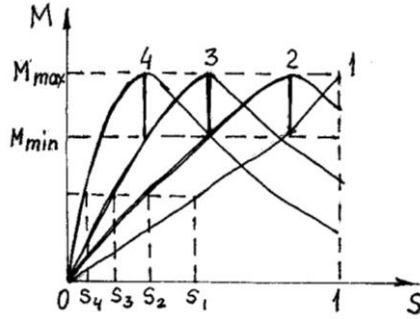
Mühərriki işə salmaq üçün əvvəlcə 1 açarı aşağı vəziyyətdə qoyulur. Bu stator dolağının ulduz birləşməsi halına uyğundur. Sonra 2 açarı vurulur. Stator dolağına verilən gərginlik $U_s/\sqrt{3}$ olur. İşə salma momenti də uyğun olaraq $(\sqrt{3})^2=3$ dəfə az olur. İşə salma cərəyanı da üç dəfə az olur. Mühərrik işə düşdükdən sonra 1 açarı üçbucaq vəziyyətinə gətirilir. Üsulun çatışmayan cəhəti ondan ibarətdir ki, keçid zamanı mühərrikin dövrəsi qısa müddət

ərzində qırılır və bu səbəbdən kommutasiya ifrat gərginliyi yarana bilər.

5.Faz rotorlu asinxron mühərriklərin işə salınması şəkil 42-də göstərilmişdir.



Şəkil 42. Faz rotorlu asinxron mühərrikin işə salınması sxemi.



Şəkil 43. Faz rotorlu asinxron mühərrikin işə salma zamanı elektromaqnit momentin və cərəyanın dəyişmə qrafiki.

Faz rotorlu asinxron mühərrikin quruluşu onun rotor dövrəsinə işə salma reostatının qoşulmasına imkan verir. Rotor dövrəsinə əlavə aktiv müqavimətin qoşulması, mühərrikin işə salma cərəyanını azaldır, eyni zamanda işə salma momentini artırır. İşə salmanın əvvəlində reostat tam rotor dövrəsinə daxil edilir. Bu səbəbdən işə salma momenti ən böyük olur (şəkil 43). Mühərrikin sürəti artdıqca onun momenti 3 əyrisi üzrə azalır. Momentin qiyməti M_{min} -a çatanda, reostat 2-ci pilləyə keçirilir, onun müqaviməti

azalır və $M=f(S)$ əyrisi 2 formasına keçir. Bu zaman mühərrikin işə salma momenti yenidən M_{max} qiymətinə qədər qalxır. Sonra növbə ilə digər pillələr də rotor dövrəsindən çıxarılır və rotor nominal sürət aldıqdan sonra işə salma reostatı dövrədən açılır.

Göstərilən üsulla işə salma zamanı faz rotorlu asinxron mühərrikin işə salmamomenti və cərəyanı arasında əlverişli nisbət əldə edilir. Valda böyük yüklər olduğu halda bu vacib şərtlərdən biridir.

3.9 Asinxron mühərriklərin fırlanma tezliyinin tənzimi.

Asinxron mühərrikin rotorunun fırlanma tezliyi sürüşmə ifadəsindən təyin edilə bilər:

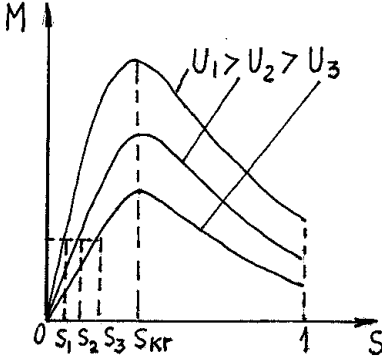
$$n_2 = n_1(1 - S) = \frac{60f_1}{n}(1 - s)$$

Bu ifadədən görünür ki, fırlanma tezliyini üç kəmiyyəti dəyişməklə tənzim etmək olar: sürüşməni, stator cərəyanının tezliyini, mühərrikin cüt qütblər sayını dəyişməklə.

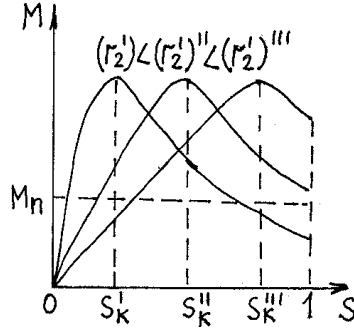
1. Sürüşməni dəyişməklə fırlanma tezliyinin tənzimi.

Qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərrikin sürüşməsini dəyişdirmək üçün stator dolağının gərginliyini tənzim etmək lazımdır. Beləki, statora verilmiş U_1 gərginliyi azaldıqca, mühərrikin momenti U^2 -na mütənasib olaraq azalır və mexaniki xarakteristikanın

formasını dəyişir. Bu üsulla sürüşmə $0 < S < S_{kr}$ hədlərində tənzim oluna bilər (şəkil 44).



Şəkil 44. Gərginliyi dəyişməklə fırlanma tezliyinin tənzimi



Şəkil 45. Rotor dövrəsinə əlavə müqavimət qoşmaqla fırlanma tezliyinin tənzimi

Sürüşmənin artması ilə rotorda itgilər artır. Gərginliyin azalması ilə moment azaldığından mühərrikin yüklənmə qabiliyyəti pisləşir. Ona görə də gərginliyin müəyyən qiymətindən aşağı düşməsinə yol verilmir.

Faz rotorlu asinxron mühərriklərin sürüşməsini dəyişmək üçün rotora əlavə müqavimət qoşulur və ya rotor dövrəsinə əlavə ehq tətbiq edilir. Rotor dövrəsinə daxil edilmiş əlavə müqavimətlərin qiymətinin artması ilə, mühərrikin sürüşməsi də artır və fırlanma tezliyi azalır (şəkil 45). Momentin maksimal qiyməti isə dəyişmir. Bu üsulla sürəti geniş diapazonda dəyişmək olar.

2. Stator cərəyanının tezliyini dəyişməklə fırlanma tezliyinin tənzimi.

Bu məqsəd üçün tezliyi tənzim oluna bilən mənbə tələb olunur. Stator cərəyanının tezliyi f_1 dəyişdikdə sahənin sürəti dəyişərək rotorun dövrlər sayı sahəninə mütənəsib olur. Son zamanlar mühərriklər qrupunun fırlanma tezliyinin tənzimi üçün tiristor tezlik çeviricilərindən istifadə olunur. Tənzim zamanı maqnit selinin qiyməti sabit qalmalıdır, və bu halda mühərrikin imkanlarından tam istifadə olunur.

$$F_m = \text{const.}$$

Stator dolağından gərginlik düşgüsü nəzərdən atılarsa

$$U_1 \approx E_1 = 4,44 f_1 W_1 K_w F_m \text{ və buradan}$$

$$U_1 / f_1 \approx 4,44 W_1 K_w F_m \text{ alırıq.}$$

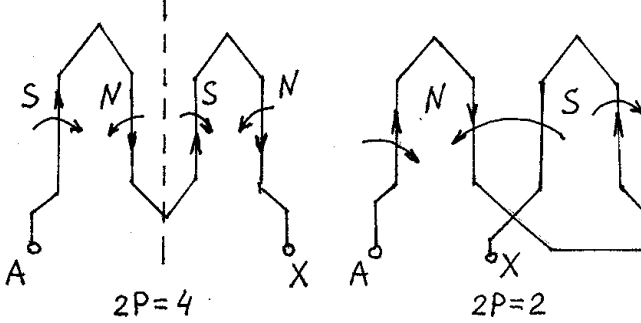
Maqnit seli sabit olduğundan $U_1 / f_1 = \text{const}$ olur. Bu şərt mühərrikin valındakı momenti sabit saxlamağa imkan verir.

3. Cüt qütblər sayını dəyişməklə fırlanma tezliyinin tənzimi.

Bu halda yalnız qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərriklərin stator dolağının cüt qütblər sayını dəyişdirmək lazım gəlir. Üsul sürətin pilləli tənzim edilməsinə imkan verir. Stator dolağında cüt qütblərin sayının dəyişdirilməsi iki üsulla həyata keçirilə bilər: 1) statorda iki müxtəlif qütblər sayı olan dolaq yerləşdirməklə 2) Statorda dolağın bağlanma sxemini dəyişməklə müxtəlif cüt qütblər almağa imkan verən dolaq yerləşdirməklə.

Birinci üsul iqtisadi cəhətdən əlverişli olmadığından ikinci üsul daha çox istifadə olunur. Yalnız iki sürət almaq

lazım gəldikdə statorda bir dolaq qoyulur. Bir dolaq vsitəsilə qütblər sayını iki dəfə dəyişmək prinsipi şəkil 46-da göstərilmişdir.



Şəkil 46. Stator dolağının müxtəlif qütblər sayına uyğun qoşulma sxemləri.

Dolağın birləşmə sxemindən asılı olaraq sürətin dəyişməsi sabit moment və ya sabit güc şəraitində ola bilər. Şəkil 47-də sabit moment şəkil 48-də isə sabit güc şəraitində qütblər sayının dəyişdirilməsi sxemləri göstərilmişdir.

$2p=8$ halına uyğun $P_1 = \sqrt{3}U_x I_f \cos \varphi$;

$2p=4$ halına uyğun $P_2 = \sqrt{3}U_x 2I_f \cos \varphi$ olur.

$P_2/P_1=2$ olur və deməli $M = \text{const}$.

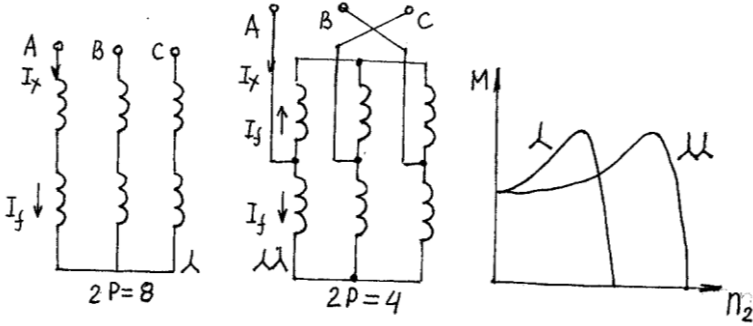
Burada P_1 və P_2 aşağı və yüksüz sürətlərə uyğun güclər, U_x ; I_f - isə xətt və faz cərəyanlarıdır.

Gücün təxmini sabit şəraitinə uyğun gələn halda alırıq:

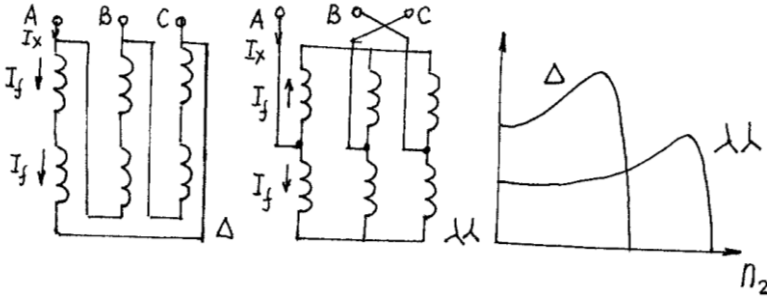
$$P_1 = \sqrt{3} U_x I_x \cos \varphi = \sqrt{3} U_x \sqrt{3} I_f \cos \varphi;$$

$$P_2 = \sqrt{3} U_x I_x \cos \varphi = \sqrt{3} U_x 2 I_f \cos \varphi;$$

Buradan $P_1/P_2 = 2 / \sqrt{3} \approx 1,15$ alırıq. Deməli $P = \text{const}$.



Şəkil 47. Sabit moment şəraitində qütblər sayının dəyişdirilməsi sxemi



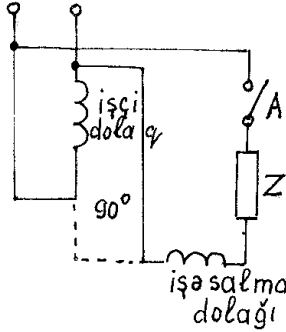
Şəkil 48. Sabit güc şəraitində qütblər sayının dəyişdirilməsi sxemi.

3.10 Birqfazlı asinxron mühərriklər

Quruluşuna görə bir fazlı asinxron mühərriklər uclarından statorda olan dolağının sayına görə fərqlənir.

Beləki, statorda üç ədəd faz dolağı əvəzinə paylanmış iki dolaq yerləşdirilir.

Dolaqlardan biri işçi, digəri isə işəsalma dolağı adlanır. Bu dolaqların oxları fəzada bir-birindən 90 elektrik dərəcəsi qədər fərqlənir (şəkil 49). Maşının rotoru isə qısa qapanmış quruluşa malikdir.



Şəkil 49. Birqazlı asinxron mühərrik.

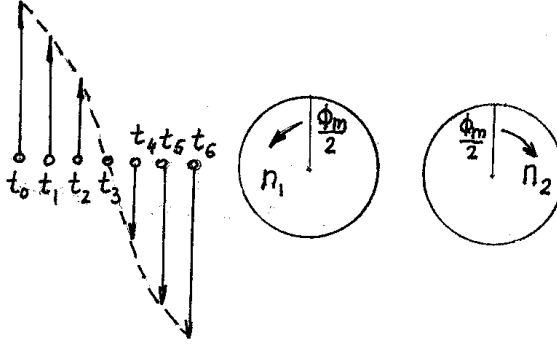
İşçi dolaq birqazlı cərəyan mənbəyinə qoşulan zaman, ondan keçən cərəyan döyünən maqnit sahəsi yaradır.

$$\Phi = \Phi_{max} \sin \frac{\pi}{\tau} x \cos \omega t$$

Döyünən sahəni iki fırlanan sahəyə ayırmaq olar:

$$\Phi = \frac{\Phi_m}{2} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} x \right) + \frac{\Phi_m}{2} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} x \right)$$

Bu sahələrdən biri düz istiqamətdə $V_{düz} = \tau \omega / \pi$ sürəti ilə, digəri isə əks istiqamətdə $V_{əks} = - \tau \omega / \pi$ sürəti ilə fırlanacaqdır (şəkil 50).



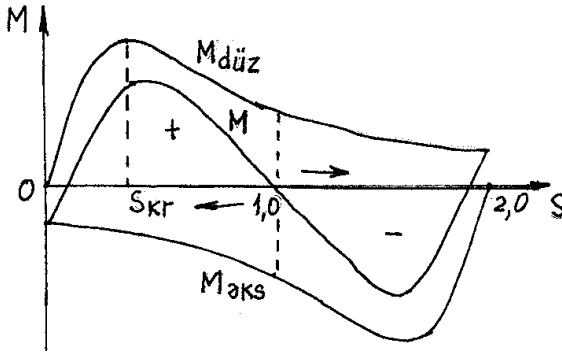
Şəkil 50. Döyünən sahənin fırlanan sahələrə ayrılması

Rotor fırlanan zaman düz sahəyə nəzərən onun sürüşməsi $S_{düz} = (n_1 - n_2)/n_1 = S$, əks sahəyə nəzərən sürüşməsi isə $\frac{-n_1 - n_2}{-n_1} = \frac{n_1 + n_2}{n_1} = 2 - S$ olar.

Düz və əks sahələrin təsiri altında rotor dolağında müvafiq olaraq $E_{2düz}$ və $E_{2əks}$ ehq induksiyanılır və öz növbəsində bu ehq-lər qapalı rotor dolağında $I'_{2düz}$ və $I'_{2əks}$ cərəyanları axıdar. $f_2 = S f_1$ olduğunu nəzərə alsaq, $f_{düz} = S f_1$; $f_{əks} = (2 - S) f_1$ və $f_{əks} \gg f_{düz}$ alırıq. Deməli, düz sahənin rotorda induksiyladığı cərəyan aktiv xarakterdə (kiçik tezlikdə induktiv müqaviməti nəzərdən atmaq olar) əks sahənin induksiyladığı cərəyan isə induktiv xarakterdə olur. Hər iki sahə uyğun rotor cərəyanı ilə qarşılıqlı təsirə girərək düz və əks istiqamətlərdə elektromaqnit moment yaradır. Elektromaqnit moment cərəyanın aktiv mürəkkəbəsindən asılı olduğuna görə $M_{düz} \gg M_{əks}$ olur və rotor düz istiqamətdə fırlanır.

Rotor hərəkət etmədikdə $n_2=0$; $S=1$ olduğu üçün $f_{düz}=f_{aks}=f_1$; $M_{düz} - M_{aks}=0$; $M_{düz}=M_{aks}$. Görünür ki, birfazlı mühərrikin işə salma momenti yoxdur.

Birfazlı mühərrikin mexaniki xarakteristikasını iki xarakteristikanın cəmi kimi göstərmək mümkündür (şəkil 51).



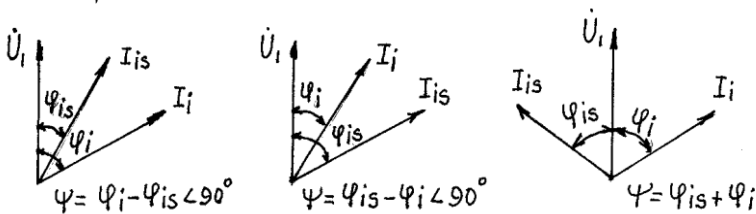
Şəkil 51. Birfazlı mühərrikin mexaniki xarakteristikası.

Göründüyü kimi rotor tərpənməz vəziyyətdən hansı tərəfə təkan alarsa, o istiqamətdə də fırlanmağa başlayaqqdır.

Başlanğıc işə salma momenti yaratmaq üçün birfazlı mühərriklər işə salma dolağı adlanan əlavə köməkçi dolaqla təmin edirlər. Bu dolaq qısa müddət ərzində işlədiyindən stator yuvalarının 1/3 hissəsini, işçi dolaq isə 2/3 hissəsini tutur.

İşə salma zamanı fırlanan sahənin alınması üçün cərəyanlar arasında müəyyən faz fərqi olmalıdır. Buna görə də, işə salma dolağı ilə ardıcıl Z_f müqaviməti qoşulur. Müqavimətin induktiv, tutum və ya aktiv xarakterdə

olmasından asılı olaraq işçi və işə salma cərəyanları arasında müxtəlif faz fərqi yaranır. Şəkil 52-də göstərilən vektor diaqramlarından görünür ki, aktiv müqavimət və induktivlik fazalar arasında 90^0 bucaq fərqi təmin etmir. Tutum isə bunu təmin edir. Tutumun qiyməti elə seçilir ki, cərəyanlar arasındakı faz fərqi 90^0 olsun.

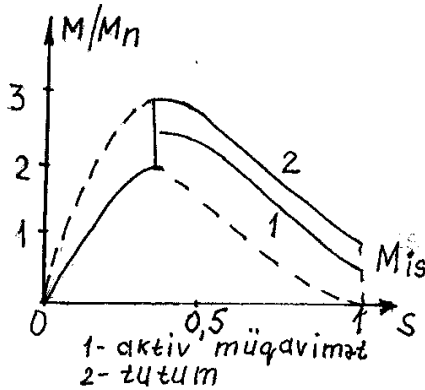


Şəkil 52. Birfazlı mühərriklərin vektor diaqramları.

Görünür ki, yaxşı işə salma xarakteristikaları tutum tətbiq etdikdə alınır. Kondensatorla işə salınan mühərrikin mexaniki xarakteristikası şəkil 53-də göstərilmişdir.

Əgər köməkçi dolağa kondensator daimi qoşulmuşsa, buna kondensatorlu asinxron mühərrik deyilir. Bu halda köməkçi dolaq uzun müddətli iş rejiminə hesablanır. Bəzən işə salmaq üçün bir kondensatorun tutumu kifayət etmədiyindən onunla paralel daha bir kondensator da qoşulur. Mühərrik işə düşdükdən sonra bu kondensatorlardan biri dövrədən

açıılır. Belə mühərriklər böyük işə salma momenti tələb edilən qurğularda-kondisionerlərdə, kompressorlarda istifadə edilir.



Şəkil 53. Birfazlı mühərrikin mexaniki xarakteristikaları
1 - aktiv müqavimət; 2- tutum.

4. SİNXRON MAŞINLAR

4.1 Sinxron maşınların vəzifəsi və tətbiq sahələri

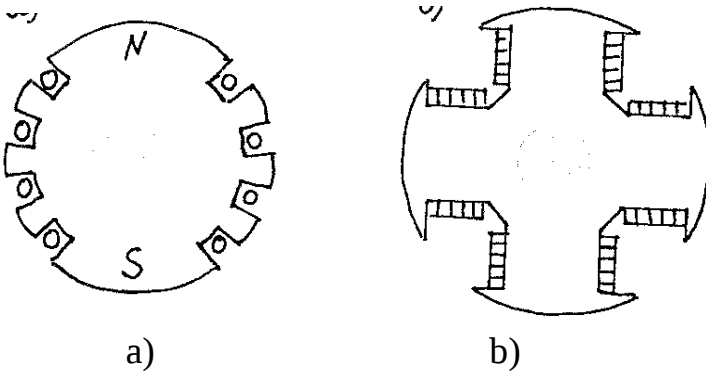
Sinxron maşınlar dəyişən cərəyan elektrik enerjisinin əsas istehsalçıları kimi istifadə edilir. Onlar istilik, hidravlik və atom elektrik stansiyalarında, eyni zamanda nəqliyyat vasitələrində quraşdırılır. Sinxron maşınlar həm generator, həm də mühərrik kimi işləyə bilər. İntiqalın növündən asılı olaraq sinxron generatorun quruluşu müəyyən edilir və onlar trbogeneratorlara, hidrogeneratorlara və dizel generatorlarına bölünür. Sinxron mühərriklər 100 kVt və daha böyük güclər

Göründüyü kimi sinxron maşın iki əsas hissədən - statordan və rotordan ibarətdir. Sinxron maşının statoru asinxron maşının statoru kimidir. Statorun nüvəsi qalınlığı 0,35 - 0,5 mm olan elektrotexniki polad vərəqlərdən yığılır. Nüvənin içərisindəki yuvalarda üç fazlı dəyişən cərəyan dolağı yerləşdirilir. Adətən faz dolaqlarının son ucları ulduz birləşdirilir.

Rotorun quruluşuna görə sinxron maşınlar iki formada hazırlanır: aydın görünən qütblü və aydın görünməyən qütblü.

Böyük güclü iki və ya dörd qütblü maşınlar 1500, 3000 d/dəq fırlanma tezliyində bir qayda olaraq aydın görünməyən rotorlu hazırlanır. Belə rotorun nüvəsi bütöv (massiv) polladan hazırlanır. Rotorun səthinin 2/3 hissəsində açılmış yuvalarda təsirlənmə dolağı yerləşdirilir (şəkil 55, a)

Qütblər sayı dörd və ya daha çox olduqda aydın görünən qütblü rotordan istifadə edilir (şəkil 55, b).



Şəkil 55. Sinxron maşının rotorunun quruluşu

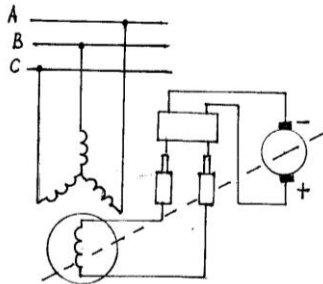
Təsirlənmə dolağı bu halda düzbucaqlı en kəsikli silindirik sarğaclar şəklində hazırlanır, qütblərin nüvəsində yerləşdirilərək qütb sonluqlarında möhkəmləndirilir.

Aydın görünən qütblü sinxron mühərriklərin qütb sonluqlarında yüksək xüsusi elektrik müqaviməti olan çubuq şəkilli işə salma dolağı yerləşdirilir. Generatorda da belə dolaq istifadə edilir. Bu dolaq dempfer və ya sakitləşdirici adlanır. Beləki sinxron maşının keçid rejimlərində o, rotorun rəqslərinin tez sönməsinə kömək edir.

Sinxron maşınların təsirlənmə dolağının çıxışı rotorun valında yerləşən iki ədəd kontakt halqasına çıxarılır. Halqalar xarici dövrə ilə fırçalar vasitəsilə əlaqələndirilir.

Təsirlənmə dolağına sabit gərginliyin verilməsi usulundan asılı olaraq sinxron maşınlar kənardan və öz-özünə təsirlənən olurlar.

Müstəqil təsirlənmədə, təsirlənmə dolağının mənbəyi kimi sabit cərəyan generatorundan istifadə edilir. Bu generator sinxron maşının rotorunun valı üzərində quraşdırılır (şəkil 56, a)



Şəkil 56. Sinxron maşının təsirlənmə sxemləri

Öz-özünə təsirlənən sinxron maşınlarda təsirlənmə dolağı lövbər dolağından enerji alaraq idarə olunan və ya idarə olunmayan yarımkeçiricilərdən yığılmış düzləndiricidən doydurulur (şəkil 56, b). Güclü generatorlarda təsirləndiricidən başqa təsirləndiricinin təsirləndiricisi də qoyulur . Bu öz-özünə təsirlənmə prosesinin daha da etibarlı olmasını təmin edir.

Son zamanlar güclü sinxron generatorlarda kontaktsiz təsirlənmə sistemlərindən geniş istifadə edilir.

Sinxron maşının generator rejimində iş prinsipi aşağıdakı kimidir: rotorun təsirlənmə dolağına kontakt həlqələri vasitəsilə sabit cərəyan verilir. Rotor hər hansı bir mexanizmlə hərəkətə gətirilir. Rotor hər hansı n_2 sürəti ilə fırlanan zaman təsirlənmə cərəyanının yaratdığı maqnit seli də onunla birlikdə fırlandığından stator dolağının naqillərini kəsərək onun fazalarında dəyişən E ehq-si induksiylayır. Bu ehq-nin tezliyi

$$f_1 = pn_2/60$$

olur. Əgər stator dolağı hər hansı bir yükə qoşularsa, onda dolaqdan axan I_a cərəyanı fırlanan maqnit sahəsi yaradar. Bu sahənin fırlanma tezliyi

$$n_1 = 60f_1/p \text{ olar.}$$

İfadələrin müqayisəsindən $n_1 = n_2$ olduğu görünür. Beləliklə, rotorun fırlanma tezliyi ilə statorun maqnit selinin tezliyi eyni olur. Ona görə də belə maşınlar sinxron maşınlar deyilir.

4.3. Sinxron generatorun vektor diaqramları.

Yük altında olan sinxron generatorun sığaclarındakı gərginlik, yüksüz işləyən generatorun gərginliyindən (ehq-dən) fərqlənir. Buna səbəb lövbər reaksiyası, səpələnmə maqnit sellərinin mövcudluğu, stator dolağının aktiv müqavimətindəki gərginlik düşgüsüdür.

Yüksüz iş rejimində generatorun ehq-ni E_0 , nominal yüklənmə zamanı onun sığaclarındakı gərginliyi U_n işarə etsək, onda gərginlik dəyişməsinin faizlə miqdarı aşağıdakı kimi təyin edilə bilər:

$$\Delta U = \frac{E_0 - U_n}{U_n} \cdot 100\% \quad (61)$$

Gərginliyin dəyişməsinə təsir edən amillərin nəzərə alınması üçün sinxron generatorun vektor diaqramları qurulur. Vektor diaqramlarını qurmaq üçün gərginliklərin balans tənliyi yazılır.

Təsirlənmə dolağının F_{T0} mhq-si stator dolağında əsas ehq E_0 induksiylayır. Uzununa ox istiqamətində lövbər reaksiyası mhq-si F_{1d} -nin maqnit seli F_{1d} stator dolağında lövbər reaksiyası ehq-si E_{1d} induksiylayır. Bu ehq-nin qiyməti X_{ad} müqavimətinə mütənəsibdir. Eninə ox istiqamətdə lövbər reaksiyasının maqnit seli F_{1q} , stator dolağında E_{1q} e.h.q.-si induksiylayır. E_{1q} e.h.q.-si X_{aq} müqavimətinə mütənəsibdir. Stator dolağının səpələnmə maqnit seli F_{s1} isə dolaqda E_{s1} ehq-si əmələ gətirir ki, onun da qiyməti səpələnmə induktiv müqaviməti X_l -ə mütənəsib olur.

$$E_{s1} = -jI_1X_1 \quad (62)$$

Stator dolağından axan cərəyanın yaratdığı gərginlik düşgüsü aşağıdakı kimi olur:

$$U_{1a} = I_1r_1 \quad (63)$$

Beləliklə sinxron generatorun çıxışındakı gərginlik, qeyd edilən ehq-nin həndəsi cəminə bərabər olmalıdır:

$$U_1 = \sum E - I_1r_1 = E_0 + E_{1d} + E_{1q} + E_{s1} - I_1r_1 \quad (64)$$

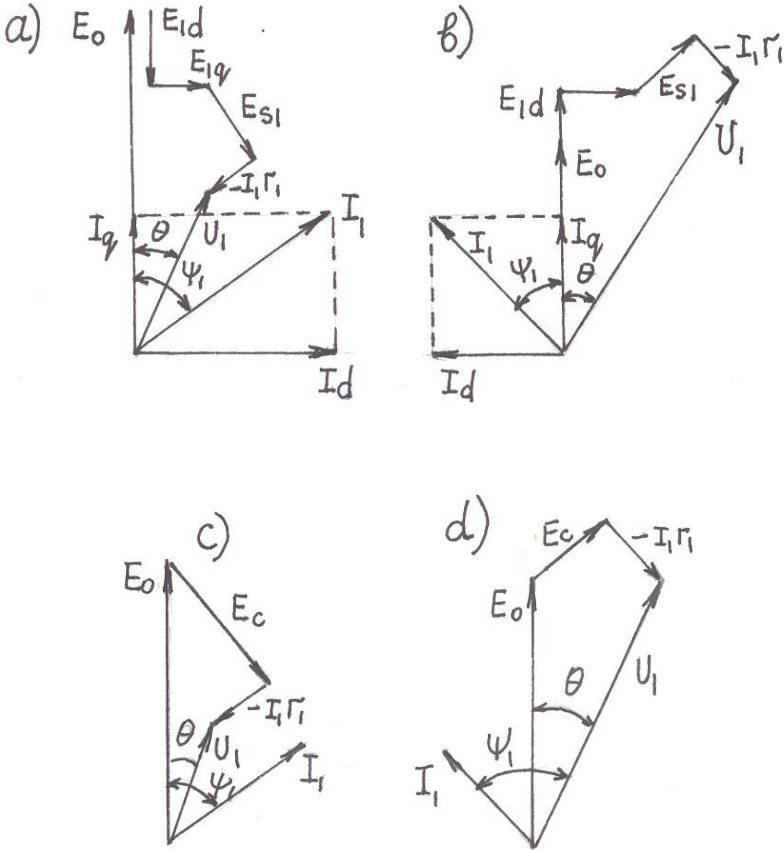
(64) tənliyi aydın görünən qütblü sinxron generatora uyğundur. Aydın görünməyən qütblü sinxron generator üçün gərginliklərin balans tənliyi aşağıdakı kimi olur.

$$U_1 = \sum E - I_1r_1 = E_0 + E_c - I_1r_1 \quad (65)$$

burada $E_c = E_1 + E_{s1}$ aydın görünməyən qütblü sinxron maşının ehq-sidir. (64) və (65) tənliklərinə uyğun olaraq sinxron generatorun vektor diaqramları şəkil 59-da göstərilmişdir.

Vektor diaqramlarının qurulması aşağıdakı qayda ilə yerinə yetirilir: İxtiyari istiqamətdə E_0 ehq vektoru çəkilir. ψ_1 bucağı altında I_1 cərəyan vektoru qeyd edilir. I_1 cərəyan vektorunun uzununa və eninə ox istiqamətində mürəkkəbələri $I_d = I_1 \sin \psi_1$ və $I_q = I_1 \cos \psi$ ayrılır. Sonra E_0 vektorunun sonundan $E_{1d} = -jI_dX_{ad}$; $E_{1q} = -jI_qX_{aq}$; $E_{s1} = -jI_1X_1$ və $U_{a1} = -I_1r_1$ vektorları çəkilir. U_{a1} vektorunun sonunu O nöqtəsi ilə birləşdiriləoək bütün vektorların həndəsi cəminə bərabər olan U_1 gərginlik vektoru alırıq.

Qeyd edək ki, aktiv-tutum yük halında I_1 cərəyan vektoru E_0 ehq-ni fazaca qabaqlayır.

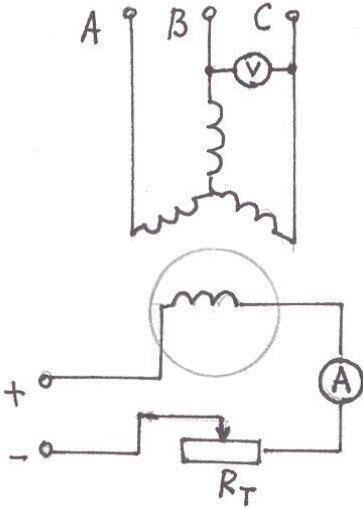


Şəkil 59. Aydın görünən və aydın görünməyən qütblü
sinxron generatorun vektor diaqramı
a, c - aktiv-induktiv yüklə, b, d -aktiv-tutum yüklə.

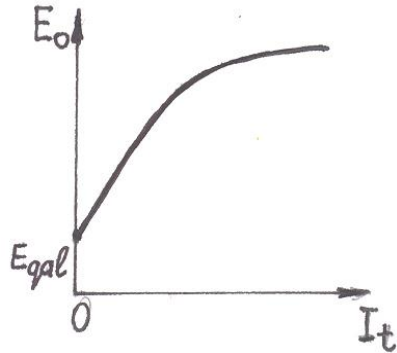
4.4 Sinxron generatorun xarakteristikaları.

Sinxron generatorun iş xüsusiyyətlərini onun xarakteristikaları müəyyən edir.

Yüksüz işləmə xarakteristikası. Bu xarakteristika stator dolağının ucları açıq olduqda, generatorun sıxaclarındakı gərginliyin (ehq-nin) təsirlənmə cərəyanından $n_1 = \text{const}$, $U(E) = f(I_t)$ asılılığını göstərir. Yüksüz işləmə xarakteristikası şəkil 60-da göstərilən sxem üzrə çıxarılır.



Şəkil 60. Yüksüz işləmə təcrübəsinin sxemi

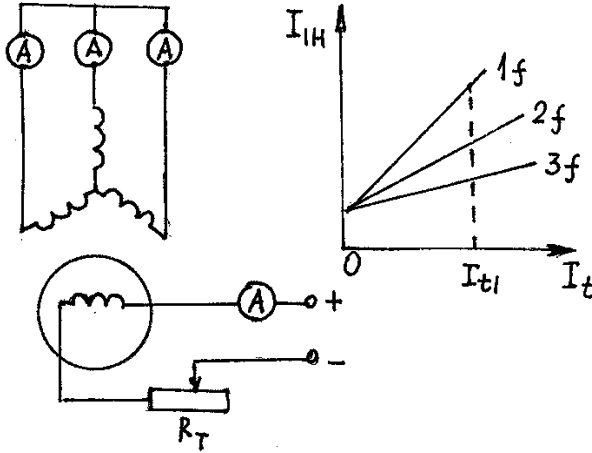


Şəkil 61 Yüksüz işləmə xarakteristikası

Təsirlənmə cərəyanının müxtəlif qiymətləri üçün çıxış gərginliyi qeyd edilərək xarakteristika qoyulur (şəkil 61).

Qısa qapanma xarakteristikası. Üçfazlı qısa qapanma xarakteristikaları şəkil 62-də göstərilən sxem üzrə çıxarılır. Rotor sinxron sürətlə fırlandırılır, stator

dolağının ücları qısa qapanır və təsirlənmə cərəyanı ya-
vaş-yavaş artırılaraq ($I_{1q}=1,25 I_{1nom}$) uyğun stator cərəyanı
qeyd edilir. Stator dolağının ehq-si generatorun işçi re-
jimində nəzərə alınmadığından maşının maqnit sistemi
doymur. Bu səbəbdən də, qısa qapanma xarakteristikası
düz xətt olur (şəkil 62 b).



Şəkil 62. Sinxron generatorun qısa qapanma təcrübəsi

Eyni qayda ilə generatorun bir fazlı və ikifazlı qısa
qapanma xarakteristikalarını almaq mümkündür. Eyni
təsirlənmə cərəyanı şəraitində xarakteristikaların
müqayisəsindən görünür ki, üçfazlı qısa qapanma re-
jimində stator cərəyanı daha az olur. Buna səbəb lövbər
reaksiyasının maqnetsizləşdirici təsirinin daha çox ol-
masıdır.

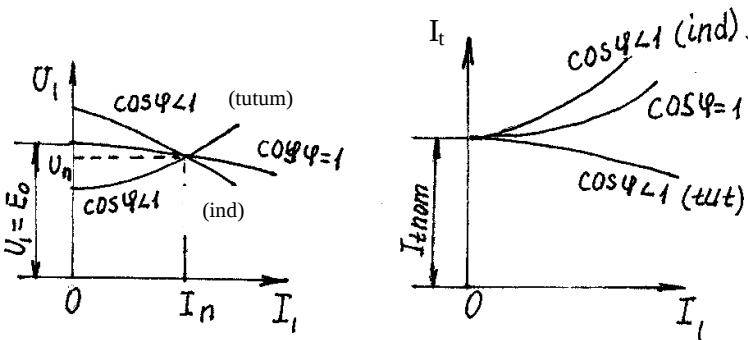
Sinxron maşının vacib parametrlərindən biri qısa qapanma nisbətidir. Qısa qapanma nisbəti yüksüz işləmə rejimində, nominal gərginliyə uyğun təsirlənmə cərəyanının, qısa qapanma rejimində nominal stator cərəyanına uyğun təsirlənmə cərəyanına nisbətində deyilir.

$$QQN = I_{tU} / I_{tI}$$

Sinxron maşınlar üçün QQN böyük əhəmiyyət kəsb edir. Kiçik QQN olan maşınlar paralel iş zamanı az etibarlılığa malik olur.

Xarici xarakteristika təsirlənmə cərəyanının, güc əmsalının və rotorun fırlanma tezliyinin sabitliyi şəraitində ($I_t = \text{const}$; $\cos \varphi_1 = \text{const}$; $n_1 = n_{\text{nom}} = \text{const}$) statorun sıxaclarındakı gərginliyin yük cərəyanından asılılığına xarici xarakteristika deyilir: $U = f(I_1)$.

Sinxron generatorun xarici xarakteristikasının forması yükün xarakterindən asılıdır. Şəkil 63-də aktiv, induktiv və tutum yükü hallarına uyğun xarici xarakteristikalar göstərilmişdir.



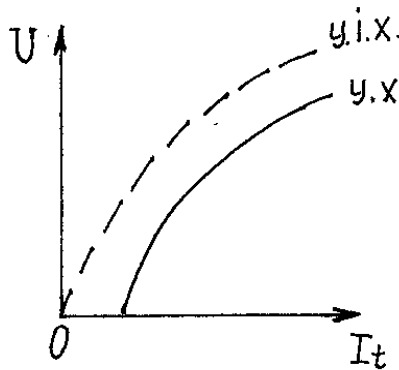
Şəkil 63. Sinxron generatorun xarici xarakteristikası

Şəkil 64. Sinxron generatorun tənzim xarakteristikası

Tənzim xarakteristikası. Bu xarakteristika, yük cərəyanı dəyişdikdə generatorun sıxaclarında gərginliyin nominal qiymətində saxlanılması üçün təsirlənmə cərəyanının necə dəyişilməsini göstərir: $U_1 = U_{nom} = const$; $n_1 = n_{nom} = const$, $I_t = f(I)$.

Tənzim xarakteristikası şəkil 64-də göstərilmişdir. Görünür ki, tənzim xarakteristikası da yükün xarakterindən asılı olub bir növ xarici xarakteristikanın güzgü əksidir.

Yük xarakteristikası. Yük cərəyanının nominal və sabit qiyməti şəraitində generatorun sıxaclarındakı gərginliyin təsirlənmə cərəyanından asılılığına yük xarakteristikası deyilir: $I = I_{nom} = const$, $n_1 = n_n = const$, $U = f(I_t)$. Bu xarakteristikanın forması şəkil 65-də olduğu kimidir.



Şəkil 65. Yük xarakteristikası.

Yüksüz işləmə xarakteristikası yük xarakteristikasının xüsusi bir halıdır ($I=0$). Yük

cərəyanının qiyməti artdıqca xarakteristika sağa tərəf sürüşür.

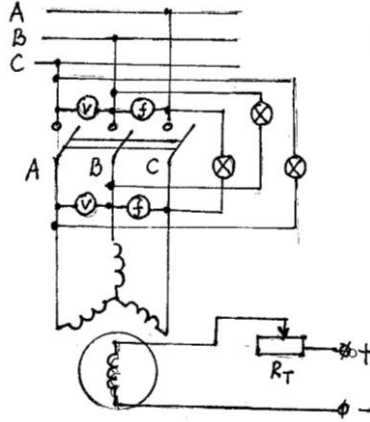
4.5 Sinxron generatorun şəbəkə ilə paralel işləməsi.

Adətən elektrik stansiyalarında bir neçə sinxron generator quraşdırılır və onlar paralel işləyir. Bununla da elektrik stansiyalarının ümumi gücü artmış olur. Beləliklə, elektrik stansiyalarında quraşdırılmış sinxron generatorun tipik iş rejimlərindən biri, onun güclü şəbəkəyə paralel qoşulmasından ibarətdir.

Generatoru şəbəkəyə paralel qoşmaq üçün dəqiq və ya öz-özünə sinxronlaşma üsullarından istifadə edilir. Öz-özünə sinxronlaşma üsulu sistemdə qəza hallarında tətbiq edilir.

Sinxron generatoru şəbəkəyə paralel işə qoşmaq üçün aşağıdakı şərtlər yerinə yetirilməlidir: paralel qoşulma anında generatorun ehq-si E_0 və şəbəkə gərginliyi U_φ bir-birinə bərabər olmalıdır; ehq E_0 fazaca şəbəkə gərginliyinə U_φ əks isiqamətdə olmalıdır ($E_0 = -U_\varphi$); generator ehq-nin tezliyi f_q şəbəkə gərginliyinin tezliyinə bərabər olmalıdır ($f_q = f_\varphi$); generatorun və şəbəkənin faz ardıcılığı eyni olmalıdır.

Bu şərtlərin hər hansı birinin ödənilməməsi qəza hadisəsinə səbəb ola bilər. Generatorun şəbəkəyə paralel qoşulmasının sxemi şəkil 66-da göstərilmişdir.

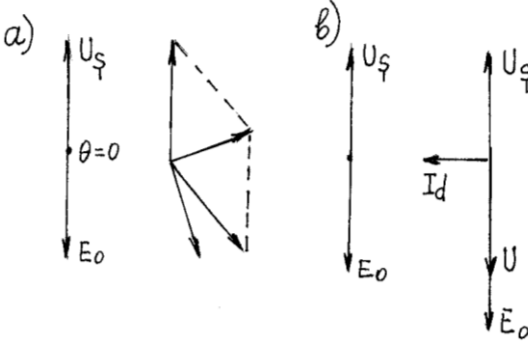


Şəkil 66. Sinxron generatorun şəbəkəyə paralel qoşulması

Sinxron generatorun şəbəkəyə paralel qoşulması zamanı yerinə yetirilən şərtlər toplusu sinxronlaşdırma adlanır. Sinxronlaşdırma zamanı əvvəlcə rotorun sinxron fırlanma tezliyi əldə edilir. Bu halda tezliklərin təxmini bərabərliyi əldə edilir: $f_q \approx f_s$. Sonra təsirlənmə cərəyanı tənzim edilərək generatorun ehq-si şəbəkə gərginliyi ilə eyniləşdirilir. Gərginlik və ehq vektorlarının əks fazada olmasına nəzarət lampalı və ya əqrəbli sinxronoskopla edilir. Bu şərt yerinə yetirilən zaman lampalar qısa müddətə sönmüş olur. Beləki, lampalara $\Delta U = U_s - U_g$ gərginliyi təsir edir.

Faz ardıcılığı da, lampaların yanib-sönməsinə əsasən müəyyən edilir. Əgər lampalar eyni zamanda yanib-sönürsə bu, faz ardıcılığının düzgün olduğunu, növbə ilə yanib-söndükləri halda isə faz ardıcılığının düzgün olma-

dığını söyləmək olar. Qeyd edilən şərtlər yerinə yetirildikdən sonra generator şəbəkəyə qoşulur.



Şəkil 67. Şəbəkə ilə paralel işləyən generatorun vektor diaqramları

Şəbəkəyə paralel qoşulmuş generatorun aktiv gücünü artırmaq üçün onun valına tətbiq edilən xarici momenti artırmaq lazım gəlir. Bu halda şəbəkə gərginlik vektoru U_{φ} ilə ehq vektorları arasında bucaq θ dəyişir.

Şəbəkə ilə paralel işləyən sinxron generatorun raktiv gücünün artırılması üçün təsirlənmə cərəyanını artırmaq lazımdır. Təsirlənmə cərəyanının artması ilə əlaqədar E_0 ehq-nin qiyməti artır. Bu artım maşının induktiv müqaviməti ilə təyin edildiyindən yaranan cərəyan reaktiv olur və gərginlikdən fazaca 90° geri qalır (şəkil 67 b).

4.6 Sinxron generatorun elektromaqnit momenti və bucaq xarakteristikası

Şəbəkə ilə paralel işləyən sinxron generatorun aktiv gücü aşağıdakı kimi təyin edilə bilər:

$$P = mUI \cos \varphi \quad (66)$$

Aydın görünən qütblü sinxron maşının vektor diaqramından istifadə edərək (şəkil 59, a) gücün digər ifadəsini almaq olar

$\varphi = \psi - \theta$; $I_d = (E_0 - U \cos \theta) / X_d$; $I_q = (U \sin \theta) / X_q$ olduğunu nəzərə alsaq, (66) ifadəsindən alarıq:

$$P = mUI \cos \varphi = mU(I \sin \psi \sin \theta + I \cos \psi \cos \theta) = mU(I_d \sin \theta + I_q \cos \theta) \quad (67)$$

I_d və I_q cərəyanlarını (67)-də yerinə qoymaq sadələşdirmə apararaq :

$$P = \frac{mUE_0}{X_d} \sin \theta + \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta \quad (68)$$

Elektromaqnit moment gücə mütənasib olduğundan aydın görünən qütblü generatorun elektromaqnit momenti aşağıdakı kimi olur:

$$M = \frac{P}{\omega_1} = \frac{mUE_0}{\omega X_d} \sin \theta + \frac{mU^2}{2\omega_1} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta \quad (69)$$

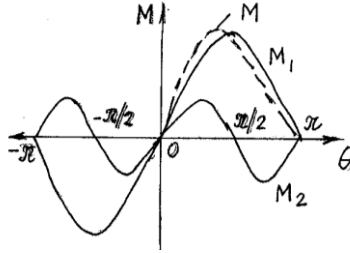
(69) ifadəsinin analizi göstərir ki, aydın görünən qütblü maşının elektromaqnit momenti iki hissədən ibarətdir:

əsas hissə $M_1 = \frac{mUE_0}{\omega_1 X_d}$ və

reaktiv hissə $M_2 = \frac{mU^2}{2\omega_1} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta$.

Aydın görünən qütblü sinxron maşınlarında $X_q = X_d$ olduğundan $M_2 = 0$ olur.

$M = f(\theta)$ asılılığı sinxron maşının bucaq xarakteristikası adlanır (şəkil 68).



Şəkil 68. Sinxron maşının bucaq xarakteristikası

4.7 Sinxron mühərrikin quruluşu və iş prinsipi.

Quruluş etibarı ilə sinxron mühərrik sinxron generator ilə eynidir. Rotorun 1500-3000 dövr/dəq. dövrlər sayı şəraitində qütbləri aydın görünməyən, aşağı qiymətlərində isə aydın görünən olur.

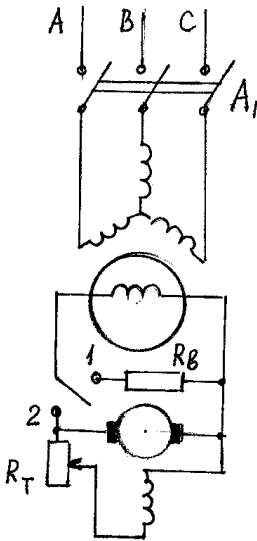
Mühərrikin işə salına bilməsi üçün rotorda təsirlənmə dolağından başqa işə salma dolağı olur. Bu dolaq, rotorun sonluğunda çubuqlar şəklində yerləşdirilir və qısa qapanır.

Sinxron iş rejimində mühərrikdə baş verən proseslər generatorda olduğu kimidir. Fərq yalnız ondan ibarətdir ki, val üzərində fırlandırıcı turbin deyil, mexaniki yük oturur. Yükün yaratdığı tormozlayıcı momenti kompensasiya etmək üçün mühərrik şəbəkədən aktiv güc alır və fırladıcı elektromaqnit moment yaradır. Aktiv gücün istiqaməti şəbəkədən mühərriyə olduğundan θ bucağının işarəsi mənfi olur.

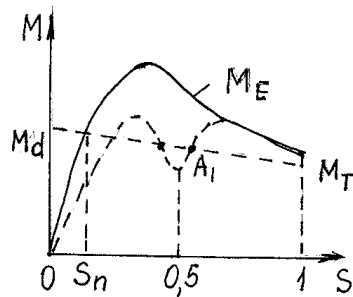
Sinxron mühərrikin iş prinsipi belədir : lövbər dolağına üç fazlı gərginlik tətbiq edilir və dolaqdan

cərəyan axır. Cərəyanın yaratdığı fırlanan maqnit sahəsi işə salma dolağını kəsərək orada ehq induksiyaalayır . Dolaq qapalı olduğundan cərəyan axır. Bu cərəyanın lövbərin maqnit sahəsi ilə qarşılıqlı təsirindən elektromaqnit moment yaranır və rotor hərəkətə gəlir. Beləliklə, sinxron mühərrik asinxron sürətlə fırlanır. Bu zaman təsirlənmə dolağına sabit cərəyan verilir və rotorun maqnit qütbləri yaranır və mühərrik sinxronizmə girir.

Sinxron mühərrikin işə salınması sxemi şəkil 69-da göstərilmişdir.



Şəkil 69. Sinxron mühərrikin işə salınması sxemi.



Şəkil 70. Sinxron mühərrikin işəsalma xarakteristikası

Rotorun tərپənməz halında təsirlənmə dolağının ucları R_b - aktiv müqavimətinə qoşulur. Müqavimətin

qiyməti təsirlənmə dolağının müqavimətindən 10-12 dəfə çox olur. Mühərrikin sinxronizmə girməsi üçün sinxron sürətə yaxın, məsələn sürüşmə 5 % -ə bərabər olanda yaranan elektromaqnit moment val üzərindəki tormoz momentindən çox olmalıdır. Buna gtrmə momenti deyilir (M_g). Təsirlənmə dolağına qoşulmuş R_b -müqavimətinin vəzifəsi dolaqdan axan cərəyanın qiymətini məhtudlaşdırmaq və onun aktiv hissəsini artırmaqdan ibarətdir. Aktiv mürəkkəbə artıqca elektromaqnit moment də artır. Əgər $R_b=0$ olsa, onda moment azalar, əlavə olaraq $S=0,5$ şəraitində moment xarakteristikasında çökəklik yaranardı. Bu işə böyük tormoz momenti olan hallarda rotorun məsələn, A_l nöqtəsində ilişib qalmasına səbəb olardı. Şəkil 70-də mühərrikin işə salma xarakteristikası göstərilmişdir.

$R_b=\infty$ olsa (təsirlənmə dolağının ucları açıq olarsa) fırlanan sahə təsirlənmə dolağında izolyasiya üçün təhlükəli ehq induksiyaayar. Ona görə də $R_b=(10 \div 12)R_T$ qəbul edilir.

Sinxron mühərriklərin bəzi xüsusiyyətlərini qeyd edək: təsirlənmə cərəyanının yolundakı müqavimət omik olduğundan təsirlənmə gərginliyi də az olur. Təsirlənmə gücü az olduğundan f.i.ə. asinxron mühərrikdən çox olur. Öz təsirlənmə cərəyanı olduğundan, şəbəkədən reaktiv cərəyan götürmür, hətta çox təsirlənmə rejimində işləyən zaman reaktiv güc verə bilər və $\cos\varphi$ -ni qaldırır.

5. SABİT CƏRƏYAN MAŞINLARI

5.1. Sabit cərəyan maşınlarının vəzifəsi və tətbiq sahələri

Sabit cərəyan maşınları həm generator, həm də əsasən elektrik mühərrikləri kimi istifadə olunur.

Sabit cərəyan mühərrikləri artıq yüklənə bilmə qabiliyyətinə malik olmaqla bərabər, işçi mexanizmin sürətini geniş hədlərdə və nisbətən asan tənzim edilməsinə imkan verir. Bu səbəbdən sabit cərəyan mühərrikləri metallurgiya mexanizmlərinin elektrik intiqallarında, nəqliyyatda, yük qaldırıcı qurğularda, gəmilərdə, toxuculuq sənayesində və s. yerlərdə geniş miqyasda tətbiq edilir. Bəzi avtomatik idarə sistemlərində və kosmik texnikada da bu mühərriklər geniş istifadə olunur.

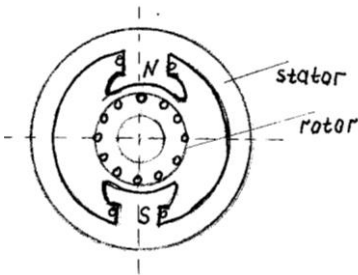
Sabit cərəyan mühərriklərinin çatışmayan cəhətləri, quruluşunun asinxron mühərriklərə nisbətən mürəkkəb olması və baha başa gəlməsidir.

Son illərdə, yarımkəçiricilər texnikasının sürətli inkişafı ilə əlaqədar yeni quruluşlu kontaktsız sabit cərəyan mühərrikləri yaradılır. Bu mühərriklərdə mexaniki düzləndirici funksiyasını yerinə yetirən kollektorlu kontaktsız kommutator əvəz edir və onlar dəyişən cərəyan şəbəkəsindən qidalandırılır.

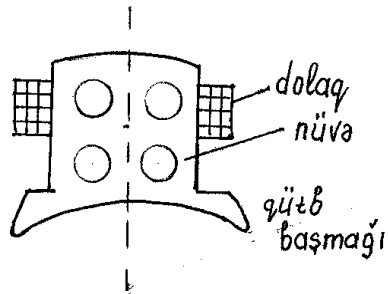
Sabit cərəyan generatorları əsasən sabit cərəyan mühərriklərini və akkumulyator batareyalarının doydurulması üçün, elektroliz proseslərində, sənişin vaqonlarında, avtomobillərdə və s. yerlərdə istifadə olunur.

5.2. Sabit cərəyan maşınlarının quruluşu və işləmə prinsipi

Sabit cərəyan maşını iki əsas hissədən-tərpənməz statordan və fırlanan rotordan ibarətdir. (Şəkil 72). Stator-da əsasən elektromaqnitlər yerləşir. Quruluşca elektromaqnitnövədən və təsirlənmə dolağından təşkil olunmuşdur və bunlar maşının əsas qütbləri adlanır. Qütb, nüvəsi vərəq şəkilli elektrotexniki poladdan hazırlanır və uc hissəsi enli olur. Buna qütbün başmaq hissəsi deyilir (Şəkil 73). Hər qütb üzərindəki təsirlənmə dolağı ardıcıl qoşulur və sabit cərəyanla doydurulur. Beləliklə, stator induktor (maqnit seli yaradan) funksiyasını yerinə yetirir. Statorda həm də yan qapaqlar, yastıqlar və fırçalar yerləşdirilir.



Şəkil 72. Sabit cərəyan maşınının quruluşu



Şəkil 73. Əsas qütb nüvəsi

Rotor valdan, onun üzərində yerləşmiş elektrotexniki polad vərəqlərdən yığılmış nüvədən və val

üzərindəki kollektordan ibarətdir. Nüvənin xarici səthində açılmış yuvalarda rotorun dolağı yerləşdirilir. Dolağın ucları kollektor lövhələrinə çıxarılır. Kollektor misdən hazırlanır. Onlar bir-birindən və valdan izolə olunur. Kollektorla kontakt fırçalar vasitəsilə yaradılır. Fırçalar qrafit və yaxud mis-qrafit qarışığından hazırlanır, fırçasaxlayan mexanizmdə yerləşdirilir. Rotor statorun daxili boşluğuna geydirilir və yastıqlar üzərində sərbəst dayanır. Beləliklə, rotorun əsas vəzifəsi e.h.q. induksiyaalanan dolağı özündə saxlamaqdan ibarətdir. Sabit cərəyan maşınının rotoru lövbər adlanır (e.h.q. yaranan hissə).

Əsas qütblərdən başqa maşında əlavə qütblər də olur. Bunların vəzifəsi kommutasiya prosesini yaxşılaşdırmaqdan ibarətdir. Əlavə qütblər də, əsas qütblər kimi nüvədən və dolaqdan təbarətdir. Bu qütblərin dolağı lövbər dolağı ilə ardıcıl qoşulur. Əlavə qütblər əsas qütblərin arasında, yəni həndəsi neytralda gövdəyə bağlanır.

Sabit cərəyan maşınlarının generator rejimində iş prinsipinə baxaq. Lövbər hər hansı bir n_n sürəti ilə fırlandırılır. Əsas qütb dolaqlarından təsirlənmə cərəyanı axıdılır.

Qütblərin yaratdığı maqnit seli hava aralığından və lövbərin nüvəsindən keçərək gövdədən qapanır. Ona görə də fırlanan lövbərin dolaqlarını kəsərək ehq induksiyaalayır.

Faradey qanununa əsasən bir naqildə induksiyaalanan ehq-nin orta qiyməti

$$E_{n0} = B_{\delta 0} l V \quad (70)$$

olur.

Lövbərin xətti sürəti $V = \pi D n / 60$ və çevrəsinin uzunluğu $\pi D = 2 \tau P$ olduğundan

$$E_{no} = B_{\delta o} l \frac{2 \tau P}{60} n \quad (71)$$

alınır.

(71) ifadəsində $F = B_{\delta o} l \tau$ maqnit selidir. Onda bir naqilin ehq-si belə olar:

$$E_{no} = \Phi \frac{n}{60} 2 p$$

Əgər lövbərin bütün naqillərinin sayını N , paralel qollar sayını $2 a$ ilə işarə etsək, hər paralel qola düşən naqillər sayı $N/2a$ olar. Onda fırçalardan alınan ehq-nin orta qiymətini təyin etmək olar:

$$E_o = E_{no} \frac{n}{2 a} = \frac{PN}{60 a} \Phi \cdot n = C_e \cdot \Phi \cdot n \quad (72)$$

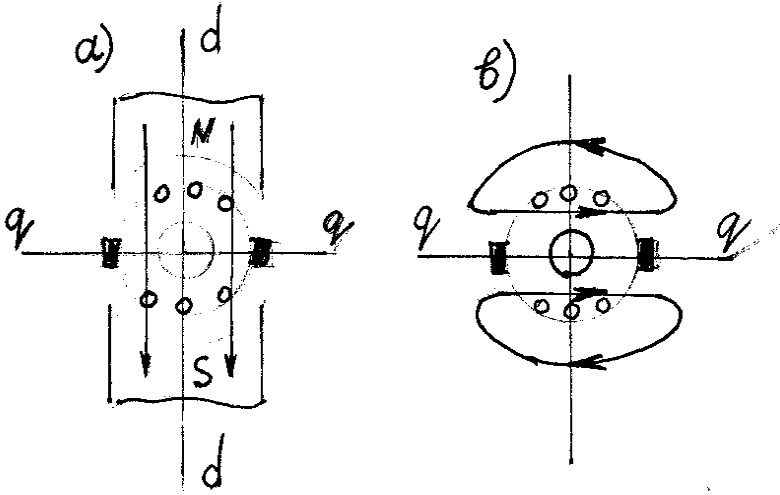
Qeyd edək ki, lövbər dolağından induksiyaalanan ehq-nin tezliyi $f = Pn/60$ olur. Lakin xarici dövrədən axan cərəyan həmişə bir istiqamətdə olur. Buna səbəb kollektordur və o, düzləndirici vəzifəsini yerinə yetirir.

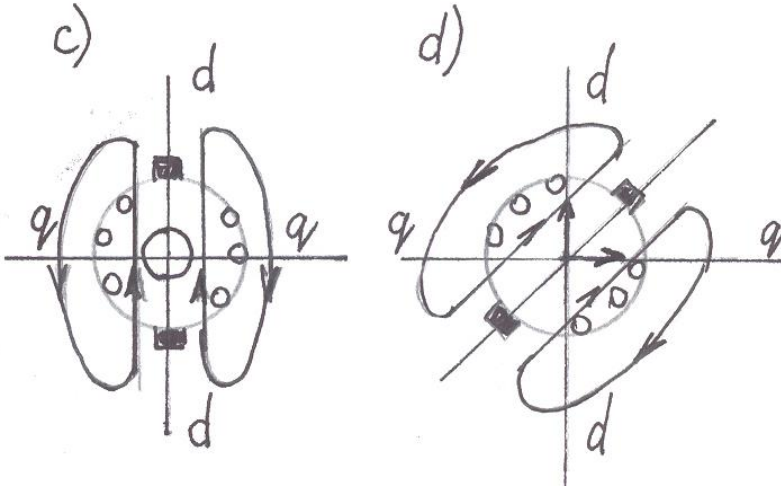
5.3 Lövbər reaksiyası

Yüksüz işləmə rejimində sabit cərəyan generatorunun maqnit selini yalnız təsirlənmə dolağı yaradır. Təsirlənmə maqnit seli N qütbündən S qütbünə tərəf onların oxu istiqamətində qapanır (şəkil 74, a). Uzununa oxa perpendikulyar çəkilməmiş ox isə eninə ox

adlanır ($q-q$) və fırçalar bu ox üzərində yerləşdirilərkən maşının ehq-si ən çox olur.

Fərz edək ki, təsirlənmə cərəyanı yoxdur və yalnız lövbər dolağından cərəyan axır. Onda lövbər cərəyanı öz maqnit selini yaradar (şəkil 74, b). Görünür ki, bu halda lövbərin seli q oxu istiqamətində qapanır.





Şəkil 74. Lövbər reaksiyasına dair.

İndi fərz edək ki, fırçalar döndərilərək uzununa ox istiqamətində yerləşdirilmişdir. Lövbərin maqnit seli bu halda uzununa istiqamətdə olur (şəkil 74 c).

Fırçaların aralıq vəziyyətdə yerləşdirilməsi halında da maqnit seli fırçaların oxu istiqamətində qapanır. Bu halda lövbər sahəsinin həm eninə, həm də uzununa mürəkkəbələri olur.

Maşının nominal iş rejimində həm təsirlənmə dolağından, həm də lövbər dolağından cərəyanlar axdığından iki maqnit sahəsi yaranır. Lövbərin maqnit sahəsinin təsirlənmə maqnit sahəsi ilə qarşılıqlı təsirinə lövbər reaksiyası deyilir. Lövbər reaksiyasının göstərdiyi təsir fırçaların vəziyyətindən asılıdır.

Fırçalar həndəsi neytralda olduqda lövbər reaksiyası aşağıdakılara səbəb olur:

a) əsas maqnit seli və lövbərin maqnit seli həndəsi toplanaraq maşının ümumi selini yaradır. Bu sel həndəsi neytraldan fərqlənən elektriki neytral üzrə səmtlənir.

b) qütbün bir yarısında hava məsafəsində lövbərin maqnit seli əsas seli azaldır, o biri yarısında isə artırır. Qütb altında maqnit selinin müntəzəmliyi pozulduğundan, seli çox olan hissəsindəki seksiyada induksiyanmış ehq-nin qiyməti artıq olur. Maşının maqnit sistemi doymamış olduqda hava məsafəsində ümumi sel dəyişməz qalır, maqnit sistemi doymuş olduqda isə azalır.

c) Lövbərin maqnit qütbləri ilə əsas qütblərin qarşılıqlı təsirindən elektromaqnit qüvvə yaranır. Bu qüvvəyə lövbərə toxunan istiqamətdə təsir edərək elektromaqnit moment yaradır. Generator rejimində bu moment tormozlayıcı, mühərrik rejimində isə fırlandırıcı təsir göstərir.

d) neytral ox boyunca maqnit seli təsir etdiyinə görə, bu oxda yerləşən seksiyalarda ehq induksiyanır və qığılclımlanmaya səbəb olur.

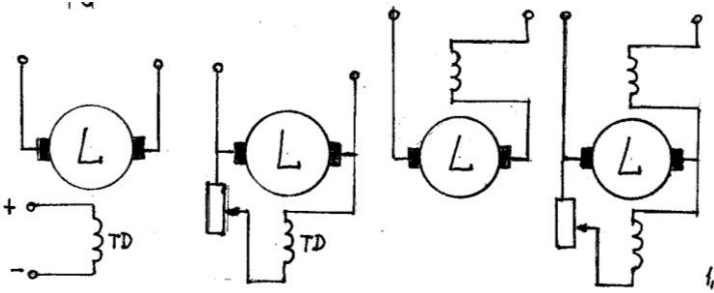
Fırçaların altında qığılclımlanmanı azaltmaq məqsədilə fırçalar həndəsi neytraldan müəyyən bucaq altında sürüşdürülür. Bu sürüşdürülmə generator rejimində lövbərin fırlanma istiqamətində, mühərrik rejimində isə fırlanma istiqamətinin əksinə olmalıdır.

5.4. Sabit cərəyan maşınlarının təsirlənmə üsulları.

Təsirlənmə dolağına sabit cərəyan verilməsi üsullarına görə sabit cərəyan maşınları iki qrupa bölünür. Bu maşınlar həm müstəqil həm də öz-özünə təsirlənən olur.

Müstəqil təsirlənən sabit cərəyan generatorunun dolağına gərginlik xarici mənbədən verilir. Öz-özünə təsirlənən maşınların üç növ təsirlənmə sxemi olur (şəkil 75).

- a) paralel təsirlənən sabit cərəyan maşını;
- b) ardıcıl təsirlənən sabit cərəyan maşını;
- c) qarışıq təsirlənən sabit cərəyan maşını.



Şəkil 75. Sabit cərəyan maşınlarının təsirlənmə sxemləri

Müstəqil təsirlənən maşının təsirlənmə maqnit seli onun yükündən asılı olmur.

Paralel təsirlənən maşının generator rejimində lövbər cərəyanı I_a , təsirlənmə I_t və yük cərəyanının I_y cəminə bərabərdir.

$$I_a = I_t + I_y$$

Mühərrik rejimində isə yük cərəyanı təsirlənmə və lövbər cərəyanlarının cəminə bərabər olur.

$$I_y = I_t + I_a$$

Bu maşınlarda təsirlənmə cərəyanı lövbər cərəyanının təxminən 3-5% -ni təşkil edir.

Qeyd edək ki, öz-özünə təsirlənmə prosesi keçid prosesidir. Generatorun sıxaclarında yaranan gərginlik

$$U_a = r_T I_T + L_T \frac{dI_T}{dt} \quad \text{tənliyinin}$$

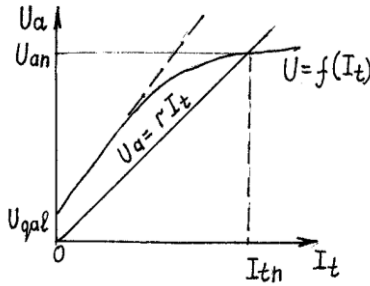
həllindən tapıla bilər. r_T və L_T uyğun olaraq təsirlənmə dolağının aktiv müqaviməti və induktivliyidir.

Tənlikdə iki məchul (U_a və I_T) olduğundan ikinci tənlik olaraq maşının yüksüz işləmə xarakteristikası $U_a = f(I_T)$ götürülür.

$$\text{Beləliklə} \quad \begin{cases} U_a = r_T I_T + L_T \frac{dI_T}{dt} \\ U_a = f(I_T) \end{cases} \quad \text{tənliklər} \quad \text{sis-}$$

teminin həllindən U_a və I_T təyin edilir. Tənliklər sistemi qeyri-xətti olduğundan onların analitik həlli yoxdur və qrafoanalitik üsulla həll edilə bilər (şəkil 76).

Qərarlaşmış rejimdə $I_t = \text{const}$ olduğundan $U_a = r_T I_t$ olur.



Şəkil 76.Paralel təsirlənən generatorun xarakteristikaları

Beləliklə, $U_a = f(I_t)$ və $U_a = r_T I_t$ tənliklərinin həlli onların qrafiklərinin kəsişmə nöqtəsidir və bu nöqtə qərarlaşmış rejimə uyğundur. Ümumiyyətlə generatorun öz-özünə təsirlənməsi üçün aşağıdakı şərtlər ödənilməlidir.

- maşında qalıq maqnit seli olmalıdır;
- təsirlənmə dolağının müqaviməti kritik qiymətdən kiçik olmalıdır. Kritik müqavimət elə müqavimətdir ki, $U_a = f(I_t)$ və $U_a = r_T I_t$ asılılıqları hər hansı bir nöqtədə toxunan olur (qırıq xətt).
- təsirlənmə dolağı lövbər dolağı ilə elə qoşulmalıdır ki, onun maqnit seli, qalıq maqnit seli ilə eyni istiqamətdə olsun.

Ardıcıl təsirlənən maşında təsirlənmə dolağı lövbər dolağı ilə ardıcıl qoşulduğundan yük cərəyanı təsirlənmə cərəyanına bərabər olur.

$$I_a = I_T = I_{yük.}$$

Ardıcıl təsirlənən maşınların təsirlənmə maqnit seli yük cərəyanından asılı olaraq geniş hədlərdə dəyişdiyindən, onlardan generator kimi demək olar ki, istifadə edilmir.

Qarışıq təsirlənən generatorun iki təsirlənmə dolağı olur. Bunlardan biri lövbərə paralel, digəri isə onunla ardıcıl qoşulur. Ardıcıl dolağın en kəsiyi böyük, paralel dolağın en kəsiyi isə kiçik götürülür. Ardıcıl təsirlənmə dolağının qoşulma istiqamətindən asılı olaraq maşının nəticə maqnit selini dəyişmək mümkünlüyü yaranır.

Generatorlara çox zaman qoyulan əsas tələblərdən biri odur ki, bütün yüklər şəraitində onun sıxaclarındakı gərginlik təxminən sabit qalsın. Qarışıq təsirlənən generator bir nöqteyi-nəzərdən daha sərfəlidir.

5.5. Sabit cərəyan generatorlarının xarakteristikaları.

Generatorların iş xüsusiyyətlərini müəyyən edən əsas kəmiyyətlər U_a , I_a , I_t və n -dir. Adətən generator rejimində $n=n_n=const$ götürülür.

Digər kəmiyyətlər arasında asılılıqlar qrafiklər şəklində verilir və generatorun xarakteristikaları adlanır.

Sabit cərəyan generatorunun xarakteristikaları aşağıdakılardır:

1. Lövbərin ucları açıq olduqda, onun sıxaclarındakı gərginliyin təsirlənmə cərəyanından asılılığına yüksüz işləmə xarakteristikası deyilir

$$I_a=0; U_a=f(I_t).$$

2. Lövbərin ucları qısa qapalı olduqda, lövbər cərəyanının təsirlənmə cərəyanından asılılığına qısa qapanma xarakteristikası deyilir.

$$U_a=0; I_a=f(I_t).$$

3. Təsirlənmə cərəyanının və yaxud təsirlənmə dövrəsinin müqavimətinin sabitliyi şəraitində generatorun gərginliyin yük cərəyanından asılılığına xarici xarakteristika deyilir

$$I_t = \text{const} ; U_a = f(I_a).$$

4. Generatorun sıxaclarındakı gərginliyin sabitliyi şəraitində təsirlənmə cərəyanının yük cərəyanından asılılığına tənzim xarakteristikası deyilir

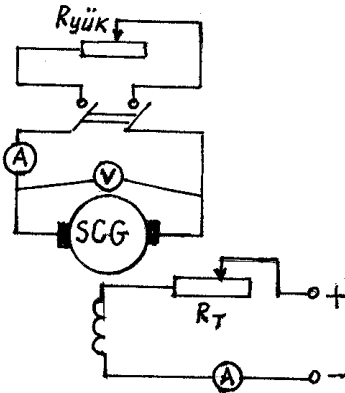
$$U = \text{const} ; I_t = f(I_a).$$

5. Yük cərəyanının sabitliyi şəraitində generatorun gərginliyinin təsirlənmə cərəyanından asılılığına yük xarakteristikası deyilir.

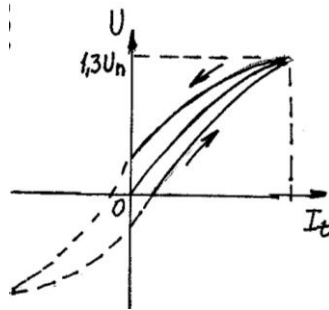
$$I = \text{const} ; U_a = f(I_t).$$

Əvvəlcə müstəqil təsirlənən generatorun xarakteristikalarını nəzərdən keçirək .

Yüksüz işləmə xarakteristikası şəkil 77-də göstərilən sxem üzrə çıxarılır.



Şəkil 77. Kənardan təsirlənən generatorun elektrik

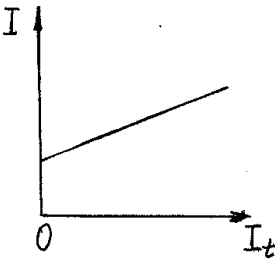


Şəkil 78. Yüksüz işləmə xarakteristikası

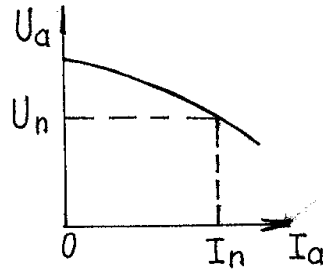
qoşma sxemi

Lövbər nominal sürətlə fırlandırılır. 1 açarının açıq vəziyyətində təsirlənmə cərəyanı tədricən artırılaraq ona uyğun gələn lövbərin gərginlikləri qeyd edilir. I_t -nin artırılması $U_a \approx 1,3U_n$ qiymətinə qədər davam etdirilir. Bundan sonra təsirlənmə cərəyanının azaldılması istiqamətində təcrübə aparılır. Alınmış nəticələrə əsasən şəkil 78-də göstərilmiş xarakteristika qurulur. Yüksüz işləmə xarakteristikasının yuxarı hissəsinin əyilməsinə səbəb maqnit sisteminin doymasıdır. $I_t=0$ halında gərginliyin yaranmasına səbəb qalıq maqnit selinin olmasıdır.

Qısa qapanma xarakteristikası çıxarılan zaman lövbərin uçları qısa qapanır. $I_a \leq I_{an}$ şərtində təsirlənmə cərəyanı artırılaraq uyğun lövbər cərəyanları qeyd edilir və xarakteristika qurulur (şəkil 79).



Şəkil 79. Qısa qapanma xarakteristikası

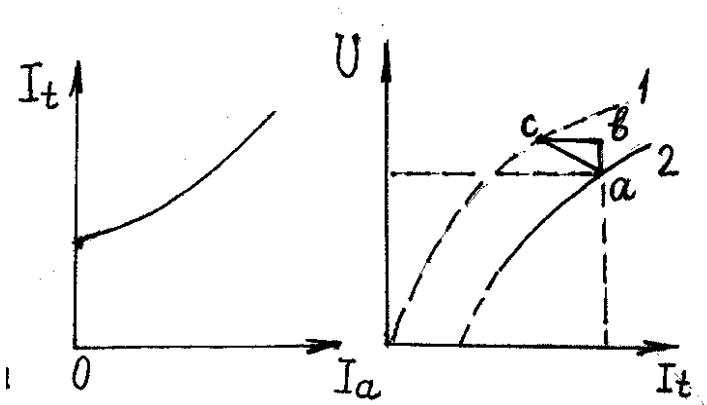


Şəkil 80. Xarici xarakteristika

Təsirlənmə cərəyanının kiçik qiymətlərində maşının maqnit sistemi doymamış olduğundan xarakteristikanın forması düz xətt olur.

Generatorun xarici xarakteristikası şəkil 77-də göstərilən sxem üzrə çıxarılır. 1 açarı vurulur və generator nominal cərəyana qədər yüklənir. Sonra yük müqaviməti dəyişdirilərək uyğun cərəyan və gərginliklər qeyd edilərək xarakteristika qurulur (şəkil 80). Yüklə cərəyanının artması ilə generatorun çıxışındakı gərginliyin azalması lövbər r eaksiyasının maqnitləşdirici təsiri və lövbər dövrəsində gərginlik düşgüsünün artması ilə izah olunur.

Tənzim xarakteristikası da eyni sxem üzrə çıxarılır. Generatorun çıxışlarında gərginliyi sabit saxlamaq üçün, yüklə dəyişməsinə uyğun olaraq təsirlənmə cərəyanını dəyişmək lazım gəlir. Tənzim xarakteristikası şəkil 81-də göstərilmişdir.

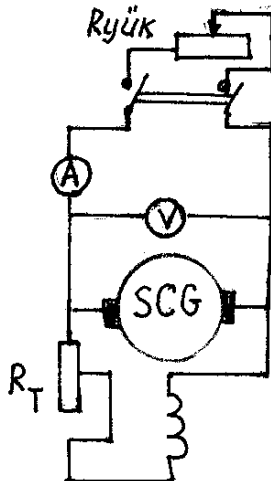


Şəkil 81 Tənzim xarakteristikası

Şəkil 82. Yüklə xarakteristikası

Generatorun yük xarakteristikası şəkil 82-də göstərilmişdir. Yük xarakteristikası (2) yüksüz işləmə xarakteristikasından (1) həmişə aşağıda yerləşir. Çünki generatorun çıxışlarındakı gərginlik ehq-dən kiçik olur. Yük xarakteristikası üzərində nominal gərginliyə uyğun "a" nöqtəsindən $ab=I_a R_a$ parçasını ayıraraq, yüksüz işləmə xarakteristikasını kəsənə qədər bc parçasını çəksək və "c" nöqtəsini "a" ilə birləşdirsək abc reaktiv üçbucağını alarıq. Bu üçbucağın ba kateti lövbər dolağındakı gərginlik düşgüsünü bc kateti isə lövbər reaksiyasının maqnitsizləşdirici təsirini göstərir. Reaktiv üçbucaqdan istifadə edərək generatorun yüklü rejimdə digər xarakteristikalarını qurmaq olur.

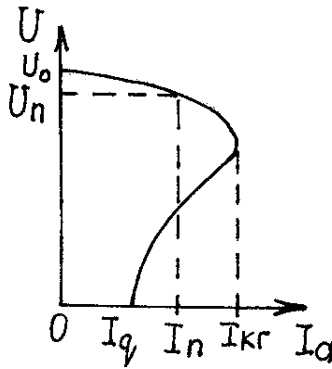
Paralel təsirlənən generatorun yük, tənzim və xarici xarakteristikaları şəkil 83-də göstərilən sxem üzrə çıxarılır.



Şəkil 83. Paralel təsirlənən sabit cərəyan generatorunun qoşulma sxemi

Bu generatorun yük və tənzim xarakteristikaları kənardan təsirlənən generatorun eyni adlı xarakteristikalarından o qədər də fərqlənmir. Xarici xarakteristikanın forması isə fərqlənir (şəkil 84).

Yük müqavimətinin qiyməti azaldıqca yük cərəyanı artır və gərginlik aşağı düşür. Gərginliyin aşağı düşməsinin iki səbəbi kənardan təsirlənən generatorda olduğu kimidir. Başqa bir səbəb isə gərginliyin azalması nəticəsində təsirlənmə dolağının cərəyanının azalması ümumi maqnit selini



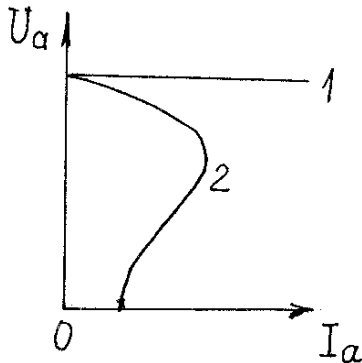
Şəkil 84. Paralel təsirlənən generatorun xarici xarakteristikası

azaldır. Bu səbəbdən E_{hq} -də azalır. Cərəyanın kritik qiymətindən başlayaraq $R_{yük}$ müqavimətinin azalması ilə cərəyan artmayaraq, əksinə azalır. Buna səbəb odur ki,

gərginliyin qiyməti müqavimətin azalmasına nəzərən daha kəskin olur.

Qarışıq təsirlənən generatorun iki təsirlənmə dolağı olur. En kəsik sahəsi kiçik, sarğılar sayı çox olan dolaq lövbərə paralel, en kəsik sahəsi böyük, sarğılar sayı az olan dolaq isə lövbərlə ardıcıl birləşir. Paralel təsirlənmə dolağı elə hesablanır ki, yüksüz iş rejimində bu dolağın maqnit seli nominal gərginlik yaratsın. Ardıcıl təsirlənmə dolağı gərginlik düşgüsünü dəf etmək üçün maqnit seli yaradır.

Ardıcıl təsirlənmə dolağının düz və əks istiqamətində birləşməsindən asılı olaraq ümumi maqnit seli dəyişir. Dolaqların düz birləşməsi halında $F = F_R + F_A$, əks birləşməsi halında isə $F = F_R - F_A$ olur. Uyğun olaraq generatorun xarici xarakteristikasının mailliyi də dəyişir (şəkil 85).



Şəkil 85. Ardıcıl təsirlənən generatorun xarici xarakteristikası

1-düz birləşmə; 2- əks birləşmə.

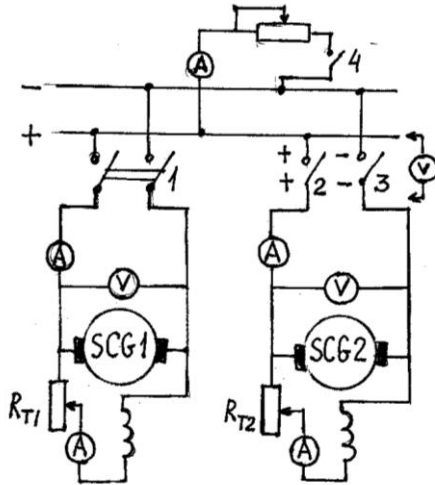
5.6. Sabit cərəyan generatorlarının paralel işləməsi

Təcrübədə çox zaman bir neçə generatoru paralel qoşmaq lazım gəlir ki, onların elektrik gücü cəmlənsin. Generatorların paralel qoşulması şərtləri aşağıdakılardır:

1. Paralel qoşulan generatorların gərginlikləri eyni olmalıdır. Əks halda gərginliyi az olan generatordan bərabərləşdirici cərəyan axır.
2. Qütüblülük (çıxış uclarının işarəsi) eyni olmalıdır.
3. Generatorların nisbi vahiddə xarici xarakteristikaları üst-üstə düşməlidir.

$$\frac{I_1}{I_{n1}} = \frac{I_2}{I_{n2}}$$

Bu şərtlər yerinə yetirildikdə onlar ən əlverişli paralel işləyə bilər. Paralel təsirlənən generatorların paralel qoşulması sxemi şəkil 86-da verilmişdir.



Şəkil 86. Generatorların paralel qoşulması

Birinci generator yük altında işləyərkən, ikinci generatoru onunla paralel qoşmaq üçün lövbər nominal sürətlə fırlandırılır. İkinci generatorun gərginliyi tədricən qaldırılaraq şəbəkə gərginliyinə (1-ci generatorun) bəçrəbər edilir. Sonra iki açarı vurulur və 3 açarında gərginliyin işarəsi yoxlanılır. Açarın uclarına qoşulmuş voltmetr "0" göstərərsə qütblülük eyni, ikiqat gərginlik göstərərsə əks olur. Bu halda ikinci generatorun çıxışlarının yeri dəyişdirilir. Paralel işləyən generatorların riyazi modelini də yazmaq olar.

1-ci və 2-ci generator üçün ehq-nin və cərəyanların müvazinət tənlikləri belədir.

$$\begin{cases} E_1 = U + r_1 I_1 \\ E_2 = U + r_2 I_2 \\ I = I_1 + I_2 \end{cases}$$

Bu tənliklər sistemi birlikdə həll edilərək U , I_1 və I_2 tapıla bilər:

$$I_1 = \frac{E_1 - E_2}{r_1 + r_2} + I \frac{r_2}{r_1 + r_2}$$

$$I_2 = -\frac{E_1 - E_2}{r_1 + r_2} + I \frac{r_1}{r_1 + r_2}$$

$$U = E_1 - r_1 I_1 = E_1 - r_1 \frac{E_1 - E_2}{r_1 + r_2} - I \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$$

burada $C_m = \frac{60C_e}{2\pi}$ qəbul edilmişdir.

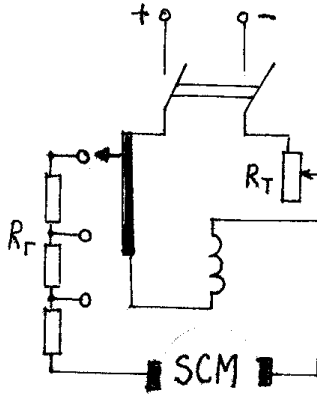
5.8 Sabit cərəyan mühərrikinin işə salınması.

Mühərrik işə salınan anda onun sürəti $n=0$ olduğundan, əks ehq-də sıfır olar. Ona görə də (73) tənliyindən mühərrikin işə salma cərəyanı üçün aşağıdakı ifadəni almaq olar:

$$I_a = \frac{U_a}{R_a}$$

R_a müqaviməti çox kiçik olduğuna görə lövbər cərəyanı nominal cərəyandan 10 - 30 dəfə çox ola bilər. Bu işə qorxuludur. Lövbər cərəyanını azaltmaq məqsədilə onunla ardıcıl işə salma reostatı qoşulur. İşə salma reostatının qiyməti elə seçilir ki, işə salma cərəyanı nominal qiymətindən 1,5-2 dəfədən çox olmasın. Reostatın bir neçə pilləsi olur. İşə salınma zamanı tamamilə dövrəyə daxil edilir. Paralel təsirlənən mühərrikin işə salınması sxemi şəkil 87-də göstərilmişdir.

Fırlanma tezliyi artdıqca əks ehq-də artır və cərəyan azalır. Qeyd edək ki, işə salınma prosesinin əvvəlində təsirlənmə dövrəsindəki R_T müqaviməti tamamilə dövrədən çıxarılır. Beləki, təsirlənmə cərəyanı böyük olduğundan F maqnit seli və uyğun olaraq $M_E = C_m F I_a$ işə salma momenti də çox olur.



Şəkil 87. Mühərrikin işə salınması sxemi.

Mühərrik işə düşdükdən sonra işə salma reostatının pillələri növbə ilə dövrədən çıxarılır. İşə salma prosesinin sonunda $R_r = 0$ olur.

İşə salma reostatında güc itgiləri yarandığından böyük güclü mühərriklərin bu üsulla işə salınması məqsədəuyğun deyil. Güclü mühərriklər gərginliyin azalması üsulu ilə işə salınır.

Kiçik güclü mühərriklərin lövbər dolağının müqaviməti nisbətən böyük olduğundan onları bir başa şəbəkəyə qoşmaqla işə salmaq mümkündür.

Ardıcıl təsirlənən mühərriklərin elektromaqnit momenti ilə fırlanma tezliyi arasında, maqnit sisteminin doymamış halında kəskin asılılıq mövcuddur. Nominal yükün 25 %-dən aşağı qiymətlərində fırlanma tezliyi qorxulu hədlərə çata bilər. Mühərriklərin işə buraxılması zamanı bu amsil nəzərə alınmalıdır.

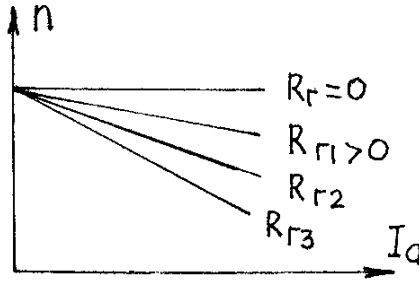
5.9 Sabit cərəyan mühərriklərinin fırlanma tezliyinin tənzimi.

$$n = \frac{U_a - I_a(R_a + R_r)}{c_e \Phi} \quad \text{ifadəsindən görünür ki,}$$

mühərriklərin fırlanma tezliyini aşağıdakı üsullarla tənzim etmək olar:

1. Lövbər dolağına qoşulmuş müqaviməti R_r dəyişməklə . Bu reostat həmişə cərəyan altında olduğundan uzun müddət işləməyə layihə olunur. Reostatın pillələr sayı elə seçilir ki, dövrlər sayının istənilən qiymətlərini almaq mümkün olsun.

$F = \text{const}$; $U_a = \text{const}$ şəraitində mühərrikin dövrlər sayının lövbər cərəyanından asılılığı şəkil 88-də göstərilmişdir.



Şəkil 88.

Görünür ki, eyni yük cərəyanı şəraitində R_r artdıqca n azalır. $R_r = 0$ halında alınmış xarakteristika mühərrikin təbii xarakteristikası adlanır.

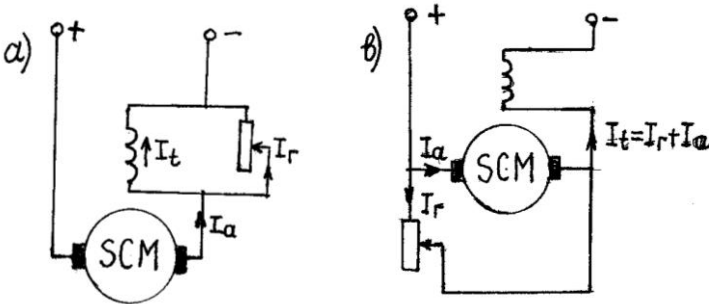
Bu üsulla tənzimin mənfi cəhəti odur ki, reostatda xeyli güc itgiləri $P_r = I_a^2 R_r$ yaranır.

2. Maqnit selini F tənzim etməklə. Paralel təsirlənən mühərrikin maqnit selini dəyişmək üçün R_T reostatı vasitəsilə təsirlənmə cərəyanını dəyişmək lazımdır. Ardıcıl təsirlənən mühərrikdə eyni lövbər cərəyanı şəraitində maqnit selini dəyişmək üçün R_T reostatı təsirlənmə dolağına iki formada qoşula bilər (şəkil 88 a,b).

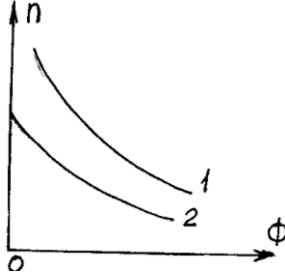
“a” sxemi daha əlverişlidir. Çünki bu halda R_r müqaviməti “b” sxeminə nəzərən az olduğundan itgilər də azalır.

Qarışıq təsirlənən mühərrikdə maqnit selini tənzim etmək üçün adətən paralel dolağın cərəyanı dəyişdirilir. Beləliklə F azaldıqca n çoxalır və əksinə. $U_a = const$; $I_a = const$; $R_r = 0$ olduqda $n = f(F)$ asılılığı şəkil 90-da göstərilmişdir.

Paralel təsirlənən mühərriklərdə I_t -ni lövbər cərəyanından asılı olmayaraq $0 - I_{tmax}$ arasında dəyişdirmək mümkündür.



Şəkil 89. Ardıcıl təsirlənən mühərrikin maqnit selinin tənzimi sxemi.



Şəkil 90. $n=f(F)$ asılılığı. 1- paralel təsirlənən mühərrik,
2- ardıcıl və qarışıq təsirlənən mühərrik

$I_t = 0$ olduqda (təsirlənmə dövrəsi qırılan zaman) fırlanma tezliyi kəskin artır. Bu, mühərrik üçün çox qorxuludur. Ona görə də müəyyən mühafizə nəzərdə tutulmuşdur.

Ardıcıl və qarışıq təsirlənən mühərriklərdə isə ardıcıl dolaqdan həmişə cərəyan keçdiyi üçün maqnit seli olur. Ona görə də dövrlər sayı məhduddur.

3. U_a gərginliyi tənzim etməklə. Bu məqsəd üçün mühərrik gərginliyi tənzim oluna bilən mənbədən doydurulur. Üsulun müsbət cəhəti odur ki, fırlanma tezliyi $0 - n_n$ arasında təxminən əlavə itgilər olmadan tənzim edilə bilər. Böyük güclər şəraitində və dərin tənzimat tələb olunan hallarda bu üsuldən istifadə olunur.

5.10.Sabit cərəyan mühərriklərinin mexaniki xarakteristikaları.

Mühərrikin valındakı momentin qiyməti dəyişdikdə onun fırlanma tezliyi də dəyişir. Fırlanma tezliyinin

momentdən asılılığını müəyyən edən xarakteristikaya $n=f(M)$ mühərrikin mexaniki xarakteristikası deyilir.

Elektromaqnit moment ifadəsindən lövbər cərəyanının qiymətini təyin edərək , onu fırlanma tezliyinin ifadəsində yerinə qoysaq aşağıdakı tənlik alınar:

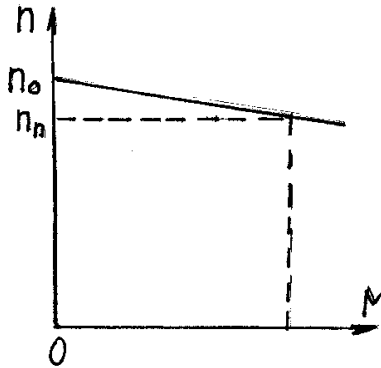
$$M=C_m F I_a; \quad \text{burada} \quad I_a=M / C_m F ;$$

$$n = \frac{U - I_a(R_a + R_r)}{c_e \Phi} = \frac{U}{c_e \Phi} - \frac{(R_a + R_r)}{c_e c_m \Phi^2} M ;$$

Alınmış ifadə düz xəttin tənliyidir. Görünür ki, paralel təsirlənən sabit cərəyan mühərrikləri xətti mexaniki xarakteristikaya malikdir (şəkil 91).

$M=0$ olduqda mühərrikin ideal yüksüz işləmə sürəti

$$n_0 = \frac{U}{c_e \Phi} \text{ alınır.}$$



Şəkil 91. Paralel təsirlənən sabit cərəyan mühərriklərinin mexaniki xarakteristikası.

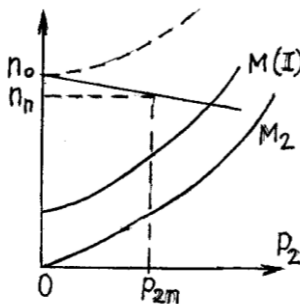
5.12 Sabit cərəyan mühərriklərinin işçi xarakteristikaları.

Şəbəkə gərginliyinin ($U=const$) və təsirlənmə cərəyanının ($I_t=const$) sabitliyi şəraitində lövbər cərəyanının və fırladıcı momentin mühərrikin valındakı gücdən asılılıqlarına mühərrikin işçi xarakteristikaları deyilir (şəkil 92).

Fırlanma tezliyinin valdakı gücdən asılılığı $n=f(P_2)$ mühərrikin sürət xarakteristikası adlanır.

$n = \frac{U - I_a \sum r}{c_e \Phi}$ ifadəsindən görünür ki, lövbər

gərginliyinin sabitliyi şəraitində ($U=const$) sürətin dəyişməsi, $I_a \sum r$ gərginlik düşgüsü və təsirlənmə maqnit selində (F) asılıdır. Yük cərəyanının artması ilə əlaqədar olaraq, maqnit



Şəkil 92. Paralel təsirlənən mühərriklərin işçi xarakteristikaları.

selinin lövbər reaksiyasının maqnitsizləşdirici təsirindən çox azalması baş verdikdə sürət artır və mühərrikin dayanıqlı işi təmin edilmir (şəkildə qırıq xətt). Sürət xarakteristikasının azalan əyri üzrə dəyişməsinə təmin etmək üçün lövbər dolağı ilə ardıcıl olaraq sargılar sayı az olan stabilləşdirici dolaq qoşulur. Dolağın qoşulma istiqaməti paralel təsirlənmə dolağı ilə eyni olarsa, onun m_{HQ}-si lövbər dolağının maqnitləşdirici təsirini kompensasiya edərək, yükün dəyişməsi zamanı F selini bütün diapazonda sabit saxlayır.

Ədəbiyyat

1. Osmanov S.C. Elektrik maşınları: Bakı. ADNA; I və II hissə, 2010.
2. E. Bolte. Elektrische Maschinen, Springer 2011
3. Müller G.: Grundlagen elektrischen Maschinen. VCH. Verlagsgesellschaft, 1994.
4. R. Fischer. Elektrische Maschinen, Springer 2013.