

Elektrik Motorları ile Tahrik Edilen Pistonlu Kompresörlerde Çalışma Karakteristikleri

Hüsamettin ATEŞ
Y. Müh.
Üler Bankası

I — GİRİŞ :

Kimyevî madde istihsal eden fabrikalarda pistonlu kompresörler, gerek muhtelif gazların, gerek fabrikasyon için lüzumlu havanın kompresyonunda mühim bir yer işgal etmektedirler. Hatta bu kabil cihazlar son zamanlarda birkaç bin beygir gibi yüksek güçlerde imal edilmektedirler.

Bu cihazlar ekseriya direkt olarak düşük hızlı senkron veya asenkron motorlarla tahrik edilmektedirler. Değişken olan kompresyon momenti bir devir esnasında ortalama bir hız civarında periyodik titreşimler yapar. Kompresyon momentinin doğurduğu bu titreşimler muharrik makine kanalı ile aynen şebekeye geçer.

Mekanikte bu gibi periyodik titreşimleri sıralamak için volan kullanıldığı bilinmektedir.

Kâfi büyüklükte bir kütleyle sahip olan volan haiz olduğu atalet sebebi ile bahis konusu salınımların muayyen iki sınır arasında kalmasını sağlar.

Ancak elektrikte bu vazifeyi muharrik motorun rotoru ifa etmektedir. Rotor miline tesir eden mekanik titreşimler rotor ile kutuplar arasındaki manyetik bağa intikal eder. Bu bağ mekanikteki yay bağının karakterini haizdir.

İş makinasından mil vasıtası ile muharrik makinaya intikal eden mekanik salınımlar şebekede elektrikli salımlara (Akım ve gerilim değişmelerine) dönüşür.

Burada rotor atalet momentinin de mühim rolü olduğu unutulmamalıdır."

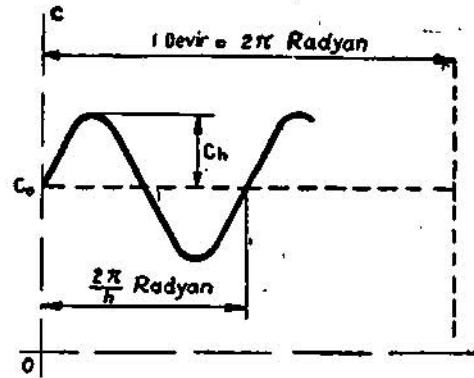
Bu etüdün gayesi bahis konusu mekanik salınımların elektrik şebekesi üzerinde ne gibi etkileri olduğunu göstermektir.

II — DEĞİŞKEN KOMPRESYON MOMENTİNİN MUHARRİK MAKİNA ÜZERİNDE HASIL ETTİĞİ TESİRLER HAKKINDA :

Muharrik makinanın hasıl ettiği ortalama moment kompresör tarafından absorbe edilir. Fark momentler rotor atalet kuvvetleri tarafından karşılanmakla beraber tamamen dengelenemezler.

Kompresör tarafından absorbe edilen ortalama moment C_0 olsun, ortalama moment etrafında

sinüzoidal olarak değiştiğini kabul ettiğimiz momentin tepe değerini C_h ve bu değer bir devir zarfında pozitif ve negatif olmak üzere (h) defa tekrerrür etsin.



Şekil . 1 — Sinüsoidal olduğu kabul edilen kompresyon moment eğrisi

Ortalama dönme hızını a , dönen kısımların atalet momentini I ile gösterelim.

Rotorun ortalama konumu etrafındaki genel salınım denklemi :

$$I \frac{d\omega}{dt} = C_h \cdot \sin h \cdot n \cdot t$$

şeklinde olur. Buradan

$$I (\omega_{\max} - \omega_{\min}) = \frac{2 C_h}{h \Omega} \text{ bulunur.}$$

Bu ifadeye göre düzensizlik katsayısı olarak :

$$1) \delta_k = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega} = \frac{2 C_h}{I h \Omega^2}$$

bulunur.

Ortalama devir etrafındaki salınımların genliği de

$$2) \theta_h = \int \omega dt = \frac{C_h}{I h^2 \Omega^2} \text{ olur.}$$

Buradaki düzensizlik katsayısı ve titreşim genliği kompresör volanının düzensizlik katsayısına ve titreşim genliğine tekabül eder.

Ancak burada kompresör momentinin ortalama bir C_0 momentine üzerine bindirilmiş, genliği

Ch ve bazı n/h olarak sinüzoidal değişen bir momentten ibaret olduğu kabul edilmiştir.

Sinüzoidal moment eğrisi ile ortalama moment doğrusu arasındaki alan kayıp işe tekabül eder.

Kayıp işin değeri :

$$W_{\text{kayıp}} = \frac{2 C_h}{h} \int_0^{2\pi} \sin^2 \theta d\theta = \frac{2 C_h}{h} \cdot \pi$$

Buradan düzensizlik katsayısı olarak :

$$S_1 = \frac{A}{I a^2} \text{ ve titreşim genliği olarak :}$$

$$\delta_1 = \frac{A}{2 I h \omega^2} = \frac{8}{2 h} \text{ bulunur.}$$

Burada düzensizlik katsayısının toplam kayıp işe bağlı, fakat momentin değişme şekline tâbi olmadığı ancak açılmal sapma değerinin moment değişim frekansı ile ters orantılı olduğu görülmektedir.

Umumiyetle rotor atalet momentinin değeri düzensizlik katsayısına göre tayin edilir. Bu sayı umumiyetle 1/100 civarında tutulur.

III — BİR PİSTONLU KOMPRESÖRÜN SENKRON MOTOR TARAFINDAN TAHRİK EDİLMESİ :

a) Genel Denklem :

Kompresör miline tatbik edilen muhtelif momentler :

Kompresör tarafından husule getirilen titreşimlerin tek harmonikten ibaret olduğu kabul edildiğine göre kayıp moment

$$C_h \cdot \sin h \Omega t.$$

$$\text{Atalet momenti } I \frac{d^2 \theta}{dt^2},$$

Senkronize edici moment $C_3 \cdot \sin e$, δ çok küçük olduğundan $C_3 \cdot e$ asenkron moment $C_a \frac{d\theta}{dt}$

olduğuna göre genel denklem :

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} + h C_a \frac{d\theta}{dt} + C_3 \theta = 0 \text{ Sine } h \Omega t \text{ olur.}$$

Bu denklem seri direnç, şelf ve kapasite bulunan bir elektriki devre denkleminin aynı karakteri haizdir.



Şekil : 2 — Senkron motora eşdeğer elektriki devre

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} - \frac{q}{C} = E \sin \omega t;$$

Buradaki bütün kabul ve faraziyeler yukarıdaki mekanik denkleme aynen tatbik edilebilir.

Pratikte, rotorda titreşim dolayısı ile indüklenen akımın frekansı kâfi miktarda yüksek olduğundan rotor direnci kaçak reaktansı karşısında ihmal edilebilir.

Binaenaleyh hareket denklemleri asenkron moment ihmal edilmek sureti ile

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} - C_3 \theta = C_h \sin h \Omega t.$$

şekline girer ve buradan kolaylıkla;

$$\theta = \frac{C_h}{I h^2 \Omega^2 - C_3} \cdot \sin h \Omega t.$$

$$O \text{ ra } \ll \frac{C_h}{I h^2 \Omega^2 - C_3} \text{ bulunur.}$$

$$\frac{C_3}{I} = O \text{ ra koymak sureti ile}$$

$$\theta_{\text{max}} = \frac{C_h}{I h^2 \Omega^2} \times \frac{1}{1 - \left(\frac{h \Omega}{\omega}\right)^2}$$

bulunur.

Rotorun belirli konumu etrafındaki hızı.

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = \frac{C_h}{I h^2 \Omega^2} \times \frac{1}{1 - \left(\frac{h \Omega}{\omega}\right)^2} h \Omega \cos h \Omega t$$

Buradan intizamsızlık katsayısı olarak :

$$S = \frac{\theta_{\text{max}} - \theta_{\text{min}}}{\theta_{\text{min}}} = \frac{2 C_h}{I h \Omega^2} \times \frac{1}{1 - \left(\frac{h \Omega}{\omega}\right)^2}$$

bulunur.

Görüldüğü ki senkron motorun gerek düzensizlik katsayısında, gerek titreşim genliğini veren ifadesinde $1 - \left(\frac{h \Omega}{\omega}\right)^2$

çarpanı bulunmaktadır.

Bu katsayı motorun spesifik açılmal hızına ve kayıp moment h armoniklerine bağlıdır.

$$f_{i0} = \sqrt{C_r / I} \text{ dir.}$$

Şayet $f_{i0} = h \Omega$ ise düzensizlik katsayısı ve titreşim genliği sonsuz olur. Bu durumda motor rezistansı sıfır kabul edilmiştir.

Bu taktirde motor öz titreşim frekansı ile muharrik moment frekansı rezonans haline gelir.

Rezonans frekansı :

$$f_0 = \frac{\Omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_r}{I}} = \frac{240}{\pi} \text{ r } \sim \text{P7}$$

olur. Burada,:

C, = Bir mekanik radyanlık deplâsmanı tekabül eden senkronize edici moment.

I = Rotor atalet momenti

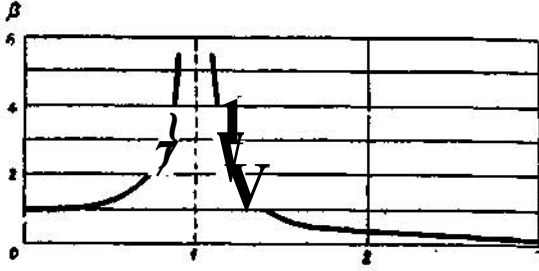
n = d/d. olarak rotor dönme hızı

f = Besleyici devrenin frekansı

P₃ = Bir elektriki radyana tekabül eden senkronize edici güç (KVA)

Bu motor zahiri gücünün 1,8 ilâ 2 katıdır.

PD² = Rotor savurma momenti kgm²



Şekil 3 - p titreşim amplifikasyon katsayısının fi/h çı ya göre değişimi

Şekil 3 teki eğri
$$p = \frac{1}{1 - \left(\frac{\Omega_0}{h}\right)^2}$$

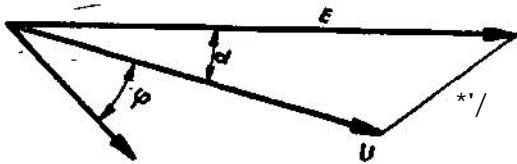
amplifikasyon katsayısının, n₀/h fi nin fonksiyonu olarak değişimini göstermektedir.

Ω₀ = Rotor öz pulzasyonu = 2 π I₀

h = Kayıp moment eğrisi iarmonik sırası.

fi = Rotor dönme hızı = $\frac{2 \pi n}{60}$

"Şayet düzensizlik katsayısı ve titreşim genliği çok büyükse mekanik titreşim frekansı ile öz titreşim frekansının tamamen farklı olması gerekir.



Şekil 4 - Bir senkron motorun genel işletme diyagramı

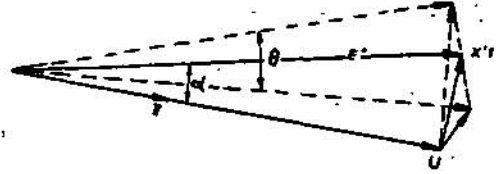
b) Âzami Açıl Sapma :

"Mekanik darbelere maruz bir senkron, motor kuvvetli bir şebekeye bağlandığı zaman rotorun muayyen konumu etrafındaki salınımlarına mukabil şebekeden aynı-titreşim karakterini haiz bir akım çeker. Statordaki akım osilasyonları bütün, kâpali rotor devrelerinde bir akım endükler ve dolayısı ile bir akı (fluks) değişimine sebep olur.

Motor yüklü olduğu zaman rotor akısı, boşta ki uç gerilimini hasil etmek için gerekli akı ile rotor ve stator kaçaklarına tekabül eden kaçak akının geometrik toplamına eşit olup bir elektromotor kuvvete tekabül eder. (Şekil - 4)

$$\vec{E} = \vec{U} + x\vec{I}$$

X = Makinanın transituvar reaktansı. Elektromotor kuvvete tekabül eden E¹ vektörü büyüklük itibarı ile sabit kalmakla beraber husule gelen açılal pulzasyonlar akım değişimleri hasil eder. Şayet akım ve gerilim değişimleri belirli sınırları aşarsa aynı şebekeye bağlı diğer cihazların çalışmasında bazı mahzurlar doğar.



Şekil 5 - Bir senkron motorun cos (p = 1 halinde) salınımlı çalışma diyagramı

Şebekelerde ancak belirli bir sınıra kadar akım ve gerilim değişimlerine müsaade edilir. Umumiyetle kuvvetli şebekelerde periyodik akım değişimleri sınırı % 66 yi geçmez. Ancak şebeke zayıfsa bu sınır % 40 ve bazı hallerde % 20 ye kadar düşer.

Bu değerlere tekabül eden açılal sapma değerleri :

Pratikte nominal yükte (XI) gerilim düşümü kıymeti Cos 0 = 1 civarında uç geriliminin % 25 ile 30 u kadar olur.

Aşağıda yüzde akım değişimlerine göre takribî açılal sapma sınır değerleri verilmiştir. Bu şartlar altında a açısı 15 - 18" arasında değişir.

$$\begin{aligned} I = \% 60 \text{ için } \alpha &= 10 - 12^\circ \\ &= \% 40 \text{ için } \alpha = 6 - 7^\circ \\ &= \% 20 \text{ için } \alpha = 3 - 3,5^\circ \end{aligned}$$

kabul edilen akım değişimleri için hesaplanan açılal sapmalar umumiyetle yukarıda verilen değerler civarında olur.

c) Sayısal örnekler :

I - Dik, altı katlı üç manivelâli bir gaz kompresörüne ait muharrik senkron motorda :

Takat N = 2730 PS.

Devir adedi n = J87. d/d.

Savurma momenti = PD² = DQlte²ⁿ²

Muharrik moment diyagramından hesaplanan muhtelif harmonik değerleri.

$$\begin{aligned} C_1 &= 0,415 & C_n &= 4400 \text{ Kgm.} \\ C_2 &= 0,19 & C_n &= 2000 \text{ Kgm.} \\ C_3 &= 0,19 & C_n &= 2000 \text{ Kgm.} \end{aligned}$$

olduğuna göre düzensizlik katsayısının ve açılma . yürümünün hesabı :

$$f_i = \frac{n}{60} = \frac{187}{60} = 3,12 \text{ P/sec.}$$

$$O1 = 2 T f_i = 2 \cdot 7 \times 3,12 = 19,6 \text{ rad/sec.}$$

Bir iki ve üçüncü harmoniklere tekabül eden düzensizlik katsayıları :

$$S_1 = \frac{2 d}{m^2} = \frac{2 \times 4400}{\frac{90000}{4 \times 9,81} \times (19,6)^2} = 0,01$$

$$\delta_2 = \frac{2C_2}{2 \times m^2} = \frac{2 \times 2000}{\frac{90000}{4 \times 9,81} \times 2 \times (19,6)^2} = 0,00227$$

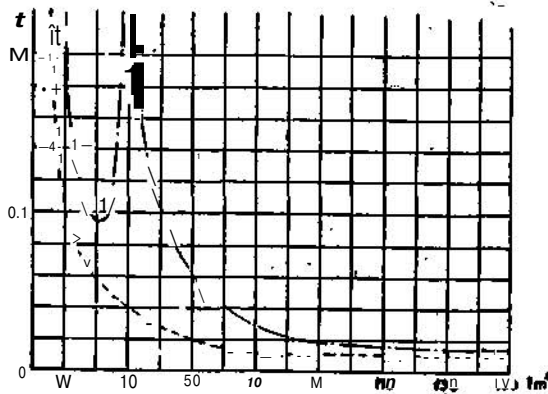
$$\delta_3 = \frac{2C_3}{3 \times I \Omega^2} = \frac{2 \times 2000}{\frac{90000}{4 \times 9,81} \times 3 \times (19,6)^2} = 0,00151$$

$$O1 = \frac{\delta_1}{2h} \cdot p \times 57,3 = \frac{0,01}{2} \times 16 \times 57,3 = 4,58^\circ \text{ (elektrik)}$$

$$V = \frac{S^*}{2h} \cdot p \times 57,3 = \frac{0,00227}{2 \times 2} \times 16 \times 57,3 = 0,52^\circ \text{ (elektrik)}$$

$$O3 = \frac{S_3}{2h} \cdot p \cdot 57,3 = \frac{0,00151}{2 \times 3} \times 16 \times 57,3 = 0,23^\circ \text{ (elektrik)}$$

görülmüyor ki ancak birinci harmonige tekabül eden değerlerin önemi vardır. İkinci harmonik toplam değerleri aslında sıfırdır.



Şekil : 6 — Senkron motora ait düzensizlik katsayısının rotor savurma momentine göre değişimi :
N = 2730 PS
n = 187 d/d.

Kesik çizgi : Sabit momentli haiz motor tarafından tahrik.

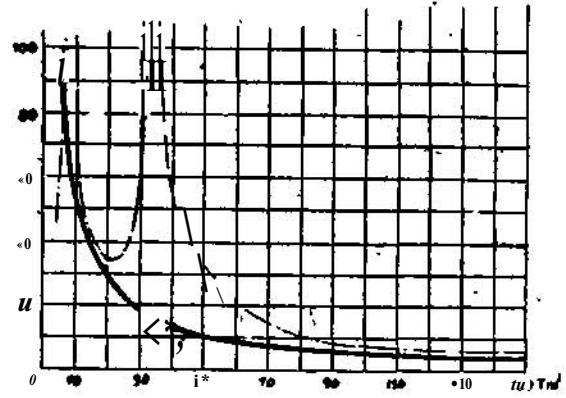
Noktalı kesik çizgi : Senkron motor tarafından tahrik.

Binaenaleyh,

$$\delta = S_1 + 8s = 0,011 + 0,00151 = 0,01151$$

$$\frac{1}{87''}$$

$$\theta = O1 + OI = 4,58 + 0,23 = 4,81^\circ \text{ (elektrik)}$$



Şekil : 7 — Senkron motora ait açılma ayrılma değerinin rotor savurma momentine göre değişimi
N = 2730 PS.
n = 187 d/d.

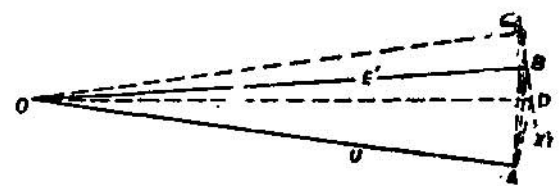
Dolu çizgi : Sabit momentli haiz motor tarafından tahrik.

Kesik çizgi : Senkron motor tarafından tahrik

Amplifikasyon katsayısı

$$\beta_1 = \frac{1}{1 - \left(\frac{Oo}{hfl}\right)^2} = \frac{1}{1 - \left(\frac{1,9}{3 \times 3,12}\right)^2} = 1,59$$

$$\beta_3 = \frac{1}{1 - \left(\frac{1,9}{3 \times 3,12}\right)^2} = 1,045$$



Şekil : 8 — Senkron motor çalışma diyagramı.
N = 2730 PS.
n = 188 d/d.

Buna göre düzensizlik katsayısı ve açılma ayrılma •

$$\delta = S_1 / \beta_1 + S_3 / \beta_3 = 0,01 \times 1,59 + 0,00151 \times 1,045 = 0,0159 + 0,00158 = 0,01748 \approx 1/57$$

$$\theta = O1 P_1 + O3 f_1 = 4,58 \times 1,59 + 0,23 \times 1,045 = 7,3 + 0,24 = 7,54^\circ \text{ bulunur.}$$

Nominal yükte ve Cos $\phi = 1$ iken X'1; % 28,8 olduğuna göre,

Şekil 8 den yüzde akım değişimi,

$$\frac{i_n}{I} = \frac{AO - AD}{AB} = \frac{29;0 - 15,5}{22,0} = 6,1,5 \% \text{ bulunur.}$$

IV — PİSTONLU BİR KOMPRESÖRÜN, ASENKRON MOTORLA TAHRİKİ :

Normal çalışmada motor momenti kayma ile orantılıdır. Bu durumda rotorun hareket denklemini

$$I \times \frac{d^2 \theta}{dt^2} + C \frac{d\theta}{dt} = C \sin h n t$$

Buradan klâsik diferansiyel denklem çözme metotları ile açısıl ayrılma değeri,

$$0 h = -\frac{C_h}{h^2 O^2 I} \times \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{C_a}{h \Omega I}\right)^2 + 1}} \text{ ve}$$

Düzensizlik katsayısı değeri de

$$\beta = \frac{2 C_h}{h^2 O^2 I} \times \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{C_a}{h \Omega I}\right)^2 + 1}} \text{ bulunur.}$$

Görülüyor ki bir kompresörün asenkron motorla tahrikinde düzensizlik katsayısı ve ayrılma açısı değeri daima küçülür.

Redüksiyon katsayısı :

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{C_a}{h \Omega I}\right)^2 + 1}} \text{ dir.}$$

Buradan düzensizlik ve açısıl ayrılmanın küçük olması için nominal yükte kaymanın küçük (C_a büyük), osilasyon frekansının ve rotor atalet momentinin küçük olması gerektiği görülür.

Düzensizlik:

Bir asenkron motorun senkron hız civarında çekeceği akım kaymaya tabidir.

$$i = k g = k \frac{1}{\Omega_s}, \text{ burada}$$

O_s = Senkron hız.

i_l = Rotor dönme hızı.

Düzensizlik katsayısı :

$$S = \frac{w_{max} - w_{min}}{\Omega}$$

$$w_{max} = O \left(1 + \frac{\delta}{2} \right)$$

$$w_{min} = O \left(1 - \frac{\delta}{2} \right)$$

kaymanın ekstrem değerleri :

$$q_{min} = \frac{n - n_s (1 - \delta)}{\Omega_s} = q_{ort} - \frac{\delta \Omega}{2 O_s}$$

$$= q_{ort} - \frac{\delta}{2}$$

$$q_{max} = \frac{n_s - n (1 - \delta)}{O_s} = q_{ort} + \frac{\delta}{2}$$

$$i_{max} = k (q_{ort} + \frac{\delta}{2})$$

$$i_{min} = k (q_{ort} - \frac{\delta}{2})$$

buna göre :

$$\frac{i_{max} - i_{min}}{i_{ort}} = \frac{\delta}{q_{ort}} \text{ Buradan}$$

düzensizlik katsayısı olarak,

$$\delta = q_{ort} \frac{i_{max} - i_{min}}{i_{ort}} \text{ bulunur.}$$

Pratikte düşük hızlarda çalışan asenkron motorlarda normal yükte kayma % 3 civarındadır.

Buna göre akım değişimi $\frac{i_{max} - i_{min}}{i_{ort}} = \% 6,6$

% 40 ve % 20 kabul edildiği takdirde düzensizlik katsayıları sırası ile;

$$0,02 = \frac{1}{50}$$

$$0,012 = \frac{1}{83}$$

$$0,006 = \frac{1}{166} \text{ bulunur.}$$

İntizamsızlık nispetleri bu değerler civarında verildiği takdirde hakiki akım osilasyonları daire diyagramından bulunur.

Örnek:

Bir asenkron motorla tahrik edilen pistonlu kompresörde motor takatı :

$$N = 650 \text{ PS, devir adedi } n = 187 \text{ d/d.}$$

Rotor savurma momenti : 20 Mm² ve moment eğrisi armonikleri :

$$C_1 = 0$$

$$C_2 = \% 46 C_o = 925 \text{ kgm.}$$

$$C_3 = \% 15 C_n = 300 \text{ Kgm. veriliyor.}$$

$$O = 2 \text{ ir. } \frac{n}{60} = 2 \text{ H} \times \frac{187}{60} = 19,6 \text{ rad/sac.}$$

ve deney neticesinde 381 Kw. için % 2,5 kayma bulunuyor.

Buna tekabül eden moment :

$C_n = 2000$ kgm. olduğuna göre

$t_o, - o, = 0,025 \times 19,6 = 0,49$

$$C_n = \frac{2000}{0,49} = 4080 \text{ Kgm.}$$

Kompresörün sabit momentle tahrik edildiği kabul edildiğine göre,

$$\theta_2 = \frac{925}{4 \times 19,6^2 \times 5,10} \times 16 \times 57,3 = 1,08^\circ \quad ((\text{elektrik}))$$

$$\theta = \frac{925}{2 \times 19,6^2 \times 510} = 0,0047$$

Redüksiyon katsayısı :

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{4080}{2 \times 19,6 \times 510}\right)^2 + 1}} = 0,98$$

$$AI = \frac{i_{\max} - i_{\min}}{i_{\text{ort}}} = \frac{0,0047 \times 0,98}{0,025} = 0,185$$

Burada asenkron momentin düzensizliği ve açılmalara etkisinin çok küçük olduğu kolaylıkla görülür.

Buna mukabil şebekeden çekilen akımın değişme nispetinin normal yükte kaymanın küçük olduğu nispette büyüdüğü görülür.

Yeni Yayınlarımız:

Kuvvetli Akım Elektrik
Dağıtım Tesisatının Bakım,
İşletme ve Tesisine Dair
T a l i m a t n a m e

Elektrik İç Tesisat
Yönetmeliği
ve
Fennî Şartnamesi

BUNLARI ODAMIZDAN TEMİN EDEBİLİRSİNİZ.