

AC Makinaların armatüründe endüklenen gerilim hesabı:

$E_{rms} = \sqrt{2} \pi f N \hat{\Phi}$ temel formülünü bir iletken için uygularken $N = 1/2$ olarak düşünülür ve her harmonik için ayrı ayrı hesaplanır:

$E_{rms}/iletken = \frac{\pi}{\sqrt{2}} f_n \hat{\Phi}_n$ olup, buradaki n . harmonik frekansı $f_n = n \cdot f$ olarak da yazılabilir. f ana frekanstır. $\hat{\Phi}_n$ ise sargının tam uzanımlı varsayımına göre n . harmonik akı genliğidir.

Döngü (2 iletken) ya da sargı (2N iletken) başına gerilimler bulunurken ise uzanım katsayısıyla da çarpmak gerekir. Çünkü uzanımın etkisi tek iletkende değil döngüde ortaya çıkar:

Baştan hesaplanıyorsa $E_{rms}/sargı = \sqrt{2} \pi f_n N \hat{\Phi}_n k_{un}$, iletken geriliminden hesaplanıyorsa $E_{rms}/sargı = 2N k_{un} \cdot (E_{rms}/iletken)$

Faz gerilimini hesaplamak için hem faz başına sargı sayısı (N_{faz}) hem de dağılım katsayısıyla da çarpmak gerekir. Çünkü dağılım katsayısı, bir sargıda değil bir fazın tüm sargıları dikkate alındığında ortaya çıkar:

$$E_{rms}/faz = N_{faz} k_{dn} \cdot (E_{rms}/sargı)$$

Burada faz başına sargı sayısı $N_{faz} = \frac{(\text{Toplam oluk sayısı})}{(\text{faz sayısı})} \times (1 \text{ sargı}/2 \text{ oluk}) \times (\text{her olukta kaç kat sargı olduğu})$

şeklinde bulunabileceği gibi oluklara her bir faz sargıları için yazılan **en büyük indis numarası** da alınabilir.

Bütün harmoniklerin bileşke rms faz gerilimi ise harmoniklerin rms gerilimlerin kareleri toplamının kareköküdür:

$$E_{rms}/faz = \sqrt{\sum_n (E_{rms}/faz)^2}$$

Bağlantı üçgen olsaydı fazlararası gerilim tek faz gerilimine eşit olurdu. Ancak yıldız bağlantıda fazlararası gerilim, tek faz geriliminin doğrudan $\sqrt{3}$ katı olmayıp, 3'ün tam katı numaralı harmoniklerin atılmasından sonra $\sqrt{3}$ ile çarpılmışıdır:

$$E_{fazlararası}^{rms} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{\sum_{n \neq 3k} (E_{rms}/faz)^2} \quad (k \text{ tamsayı})$$

Çünkü ωt 'ye göre 120° faz farkı, 3'ün tam katı harmoniklerde 360°'nin tam katlarına karşılık gelir ki bu faz farkı olmadığı anlamına gelir. Bu yüzden dengeli Y bağlantılı *üreticinin* fazlararası geriliminde 3'ün tam katı numaralı harmonik bulunmaz. (Konumuzun dışındadır ama benzer mantıkla dengeli Δ bağlantılı *tüketicinin* hat akımı 3'ün tam katı numaralı harmonikler içermez. Y bağlantılı tüketicinin nötr hattında ise fazlardaki 3'ün tam katı numaralı harmonik akımlarının skaler toplamı geçer. Bu yüzden harmonik üreten yüklerin yaygınlaştığı günümüzde nötr hattının kesiti faz hattınınkinden az olmamalıdır.)

c) Stator yıldız bağlı ve her sargıda N = 10 sarım vardır. Stator sargıları üzerindeki akı genlikleri sırasıyla 1., 3. ve 5. harmonikler için tam uzanımlı sargı varsayımına göre $\hat{\Phi}_1=0.0125\text{ Wb}$, $\hat{\Phi}_3=0.0025\text{ Wb}$, $\hat{\Phi}_5=0.0010\text{ Wb}$ olduğuna göre statorda endüklenen fazlararası ve tek faz gerilimlerini hesaplayınız.

	A ₁	A ₂	A ₃	-C ₁	-C ₂	-C ₃	B ₁	B ₂	B ₃	-A ₄																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
--	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

mmk dalgası bir turda 2 tam periyot içerdiği için 2 çift yani $P = 4$ kutupludur. Oluk açısı $360^\circ/36 = 10^\circ$ mek ya da elektriksel olarak: $10^\circ \times P/2 = 20^\circ = \gamma$
 Mesela A_1 sargısının bir kenarı 1., diğer kenarı 8. olukta olduğu için sargı uzanımı = $8-1 = 7$ oluk yani $\rho = 7\gamma = 140^\circ$ (elk). Faz kutup başına ise $36/(3\text{faz} \times 4\text{kutup}) = q$
 $= 3$ oluk bulunur (A_1, A_2, A_3 gibi).

$E_{rms}/iletken = \frac{\pi}{\sqrt{2}} f_n \hat{\Phi}_n$ olup, buradaki n . harmonik frekansı $f_n = n \cdot f$ olarak da yazılabilir. $f = 50 \text{ Hz}$ ana frekanstır.

$$E_{1rms}/iletken = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \times 1 \times 50\text{Hz} \times 0,0125\text{Wb} = 1,388\text{ V} , \quad E_{3rms}/iletken = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \times 3 \times 50\text{Hz} \times 0,0025\text{Wb} = 0,833\text{ V} , \quad E_{5rms}/iletken = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \times 5 \times 50\text{Hz} \times 0,0010\text{Wb} = 0,555\text{ V}$$

$$E_{n\text{rms}}/sargı = 2N k_{un} \cdot (E_{n\text{rms}}/iletken)$$

$$E_{1rms}/sargı = 2 \cdot 10 \cdot 0,9397 \cdot 1,388\text{ V} = 26,1\text{ V} , \quad E_{3rms}/sargı = 2 \cdot 10 \cdot 0,5000 \cdot 0,833\text{ V} = 8,33\text{ V} , \quad E_{5rms}/sargı = 2 \cdot 10 \cdot 0,1736 \cdot 0,555\text{ V} = 1,93\text{ V}$$

Faz gerilimini hesaplamak için hem faz başına sargı sayısı (N_{faz}) hem de dağılım katsayısıyla da çarpmak gerekir.

$$E_{n\text{rms}}/faz = N_{faz} k_{dn} \cdot (E_{n\text{rms}}/sargı) \quad \text{Burada} \quad N_{faz} = \frac{(\text{Toplam oluk sayısı})}{(\text{faz sayısı})} \times (1\text{ sargı} / 2\text{ oluk}) \times (\text{her olukta kaç kat sargı olduğu})$$

Faz başına sargı sayısı $N_{faz} = (36\text{ oluk} / 3\text{ faz}) \cdot (1\text{ sargı} / 2\text{ oluk}) \cdot 2\text{ kat} = 12\text{ sargı} / \text{faz}$

şeklinde bulunabileceği gibi oluklara her bir faz sargıları için yazılan en büyük indis numarası da aynıdır. Buna göre:

$$E_{1rms}/faz = 12 \cdot 0,9598 \cdot 26,1\text{ V} = 300,5\text{ V} , \quad E_{3rms}/faz = 12 \cdot 0,6667 \cdot 8,33\text{ V} = 66,6\text{ V} , \quad E_{5rms}/faz = 12 \cdot 0,2176 \cdot 1,93\text{ V} = 5,0\text{ V}$$

Bütün harmoniklerin bileşke rms faz gerilimi ise harmoniklerin rms gerilimlerin kareleri toplamının kareköküdür:

$$E_{rms}/faz = \sqrt{\sum_n (E_{n\text{rms}}/faz)^2} \quad E_{rms}/faz = \sqrt{300,5^2 + 66,6^2 + 5,0^2} \text{ V} = 308\text{ V}$$

Bağlantı üçgen olsaydı fazlararası gerilim tek faz gerilimine eşit olurdu.

Ancak yıldız bağlantıda fazlararası gerilim, tek faz geriliminin doğrudan $\sqrt{3}$ katı olmayıp, 3'ün tam katı numaralı harmoniklerin atılmasından sonra $\sqrt{3}$ ile çarpılmışıdır:

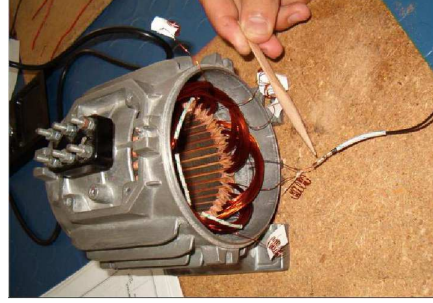
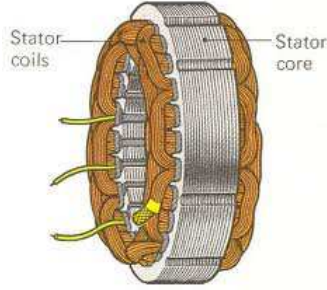
$$E_{fazlararası}^{rms} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{\sum_{n \neq 3k} (E_{n\text{rms}}/faz)^2} \quad (k \text{ tamsayı})$$

$$E_{fazlararası}^{rms} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{300,5^2 + 5,0^2} \text{ V} = 521\text{ V}$$

ASENKRON MAKİNALAR (Endüksiyon Makinaları)

Sanayide en çok kullanılan elektrik motoru türüdür. Stator yapıları AC motorların ortak stator yapısındadır.

Stator manyetik çekirdeği ve sargıları

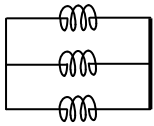
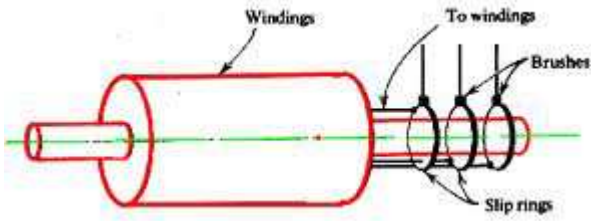


Dış gövdesi ile birlikte stator

Rotorlarına göre ise iki çeşidi vardır:

- Sargılı rotorlu (bilezikli)
- Sincap kafesli rotorlu

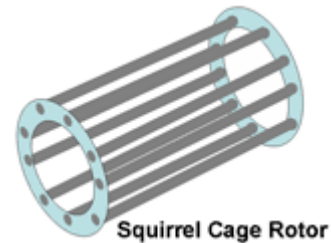
Sargılı rotorun manyetik çekirdeği, üzerinde oluk yerleri bulunan (dişli çark görünümünde) saclardan kat kat bir paket şeklindedir. Böylece oluşan oluklara sargılar yerleştirilir. Statorun ve rotorun faz ve kutup sayıları aynı olmalıdır. 3 fazlı rotor sargıları kendi aralarında genellikle Y bağlanarak üç hat ucu bilezikler ve fırçalar yardımıyla dışarı çıkarılır.



Normal çalışmada rotor sargılarının dışarı çıkarılmış uçları kısa devre edilerek kullanılır. Böylece Y bağlı sargılar aynı zamanda paralel bağlanmış gibi olur. Böylece rotor sargıları üzerinde statorun uyguladığı akı değişiminden dolayı endüklenen gerilim, sargılardan indüksiyon akımları geçirebilir. Bu akımlar, döner manyetik alan vektörüne dik yönde geçtiği için, sargı iletkenleri üzerinde rotörü döndürecek yönde kuvvet, yani tork oluşur.

Sincap kafesli rotorlarda ise sargı kenarı görevi gören kalın iletken çubuklar, iki tarafından iki iletken halkayla şekildeki gibi kısa devre edilirler. Bunlar kısa devre edilmiş sargılar gibi davranır. İndüksiyon akımları bu çubuklar ve halkalar üzerinden dolaşır ve tork oluşur. Aslında rotor, dolu bir iletken kütle olsaydı da yine indüksiyon akımları geçer ve tork oluşurdu; ama kayıplar çok olurdu. Gerçekte ise bu yapı kat kat yuvarlak saclardan silindirik bir paket üzerindedir.

Sacların birer yüzü, girdap akımlarını azaltmak için yalıtılmıştır. Ayrıca genellikle iletken çubuklar biraz kavisli olarak rotor yüzeyine yerleştirilirler. Bunun sonucunda bir iletken çubuğun her santimetresinde endüklenen gerilim, biraz ötesindekinden biraz faz farklı olur.



Bu da her bir iletken çubuğun, dağılımlı sargılar gibi davranması anlamına gelir. Yani rotorun üreteceği mmk dalgasının sinüzoidale daha çok benzemesini sağlar, ki bu da harmoniklerin daha az olmasını sağlar ve sonuçta daha az titreşimli bir dönüş elde edilir. Benzer sebeple sargılı rotor oluklarına da kavis verilebilmektedir.

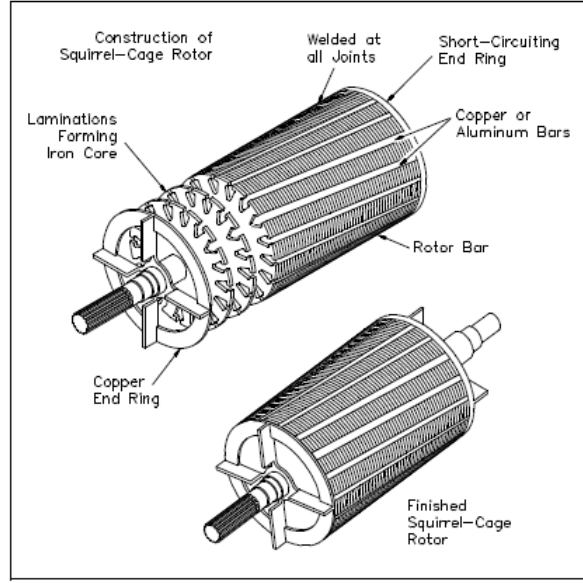


Figure 5 Squirrel-Cage Induction Rotor

Asenkron dönüş ve kayma:

P kutuplu bir ac makinanın stator sargılarının f frekansında ürettiği döner manyetik alanın devir/dakika (rpm) cinsinden dönüş hızı:

$$n_s = \frac{120f}{P}$$

Rotor akımlarının da oluşturduğu bir döner manyetik alan vektörü vardır. Rotor akımı frekansına f_r dersek, rotorun ürettiği manyetik alan vektörünün rotorun kendisine göre dönüş hızı devir/dakika (rpm) cinsinden:

$$n_{rm} = \frac{120f_r}{P}$$

Rotorun mekanik dönüş hızına da n_r dersek, rotorun ürettiği manyetik alan vektörünün durgun gözlemciye (statora) göre dönüş hızı $n_r + n_{rm}$ olur. Dengeli çalışmada bu hız, statorun ürettiği manyetik alan vektörünün dönüş hızına (n_s) eşit olmak zorundadır. Çünkü manyetik dipol moment konusundaki gibi döndürme momenti, statorun ve rotorun ürettiği manyetik alan vektörleri (aynı zamanda mmk fazörleri) arasındaki açının sinüsüyle doğru orantılıdır. Bunların hızları farklıysa bu açı sürekli aynı yönde değişeceğinden, sinüsünün ortalaması, dolayısıyla ortalama moment sıfır olur ve düzgün bir dönüş elde edilemezdi. Buna göre:

$$n_s = n_r + n_{rm} \rightarrow \frac{120f}{P} = n_r + \frac{120f_r}{P} \rightarrow \boxed{n_r = \frac{120(f - f_r)}{P}}$$

bulunur.

Rotor hızının, döner manyetik alan vektörlerinin dönüş hızından geri kalma oranı, kayma (s) adıyla şöyle tanımlanır:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

Normal çalışmalarda sıfıra yakın olup % olarak da ifade edilebilir. Mesela anma frekansı 50Hz, anma hızı 950rpm olan bir asenkron motorun senkron hızı çok muhtemelen 1000rpm'dir (yani 6 kutuplu) ve anma değerlerinde çalışırkenki kayması:

$$s = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05 = \%5$$

Eğer makinanın kutup sayısı ve dolayısıyla senkron hızı başka olsaydı, anma hızındaki kayma çok daha büyük bulunurdu ki böyle bir şey söz konusu olsaydı mutlaka belirtilirdi (Aksi belirtilmemişse motorun anma hızındaki kaymasını en küçük pozitif yapan kutup sayısında olduğuna kanaat getirilir).

Rotorda endüklenen gerilimin frekansı ve genliği s ile doğru orantılıdır; çünkü rotor sargıları üzerindeki akı değişim frekansı $n_s - n_r = sn_s$ ile orantılıdır.

$$n_s - n_r = \frac{120f_r}{P} = sn_s = s \frac{120f}{P}$$

olduğu için rotor akımı frekansı:

$$f_r = sf$$

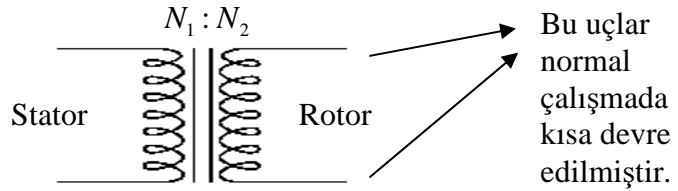
Buna göre rotor hızı n_s 'e yaklaşırken rotor gerilimi azalacağından, indüksiyon akımları ve tork da azalır. Bir an için $n_r = n_s$ 'e ulaşıldığını düşünersek, $s = 0$ olur ve rotor gerilimi, akımı ve üretilen tork sıfır olur. Yük veya sürtünme nedeniyle de rotor yavaşlamak zorunda kalır. $n_s - n_r$ farkının açılmasıyla artan tork, yükü ve sürtünmeyi karşılayacak bir değere ulaşınca rotor hızı dengeye gelir. Yani dışarıdan mekanik bir destek alınmadıkça asenkron motorun dönüş hızı (n_r), senkron hızdan (n_s) hep küçük kalır. Rotorun, manyetik alan vektörleri ile bu eşzamanlı olmayan (asenkron) dönüşünden dolayı bu makinalara “asenkron” adı verilmiştir. Döndürme torku indüksiyon akımları üzerinde oluştuğu için “endüksiyon makinası” adı da kullanılır.

Asenkron makina eşdeğer devresi

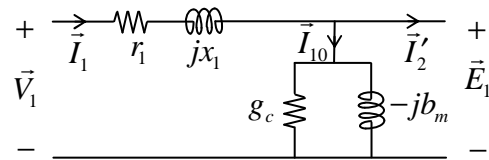
Asenkron makina hareketli bir trafodur. Primeri stator, sekonderi ise rotordur. Eşdeğer devresi de trafonunkine benzer. Yalnız yük (sekonder) uçlarına karşılık gelen rotor uçları normal çalışmalarda kısa devre edilerek kullanılır.

Durgun ($n_r = 0$) halde ise asenkron makine tam bir trafodur.

$n_r = 0$ için asenkron makina (tek faza indirgenmiş)



Trafolarla olduğu gibi asenkron makinaların da eşdeğer devreleri tek faza indirgenmiş olarak çizilir. Statorun tek faz eşdeğer devresi trafo primerinininki ile tamamen aynıdır:



r_1 : Stator sargısı direnci

x_1 : Stator sargısı kaçak reaktansı

g_c : Demir kayıplarına karşılık gelen iletkenlik

b_m : Mıknatıslanma akımına karşılık gelen süseptans

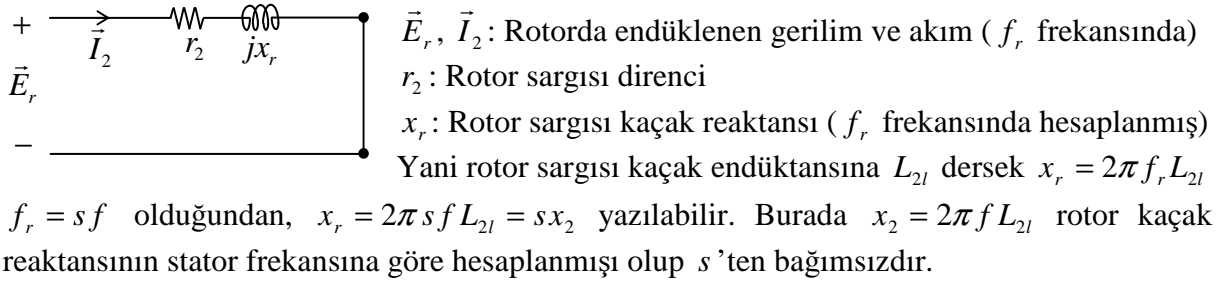
\vec{V}_1, \vec{I}_1 : Statora uygulanan gerilim ve akım

\vec{E}_1, \vec{I}_2' : İdeal trafo kısmının stator (primer) tarafındaki gerilim ve akım

\vec{I}_{10} : Paralel koldan geçen akım (boşta çalışmada stator akımıyla aynı olur)

(Tüm bunlar tek faza indirgenmiş büyüklüklerdir.)

Rotor tarafının tek faz eşdeğer devresi ise kısa devre edilmiş trafo sekonderininki gibidir:



Rotorda endüklenen gerilimin \vec{E}_r kayma ile orantılı olduğunu söylemiştik. Bunu kaymadan bağımsız ifade edilen \vec{k} gibi bir orantı sabiti (vektörel) ile

$$\vec{E}_r = \vec{k} s$$

biçiminde ifade edersek, $s = 1$ durumundaki \vec{E}_r değerinin \vec{k} olduğunu söyleyebiliriz.

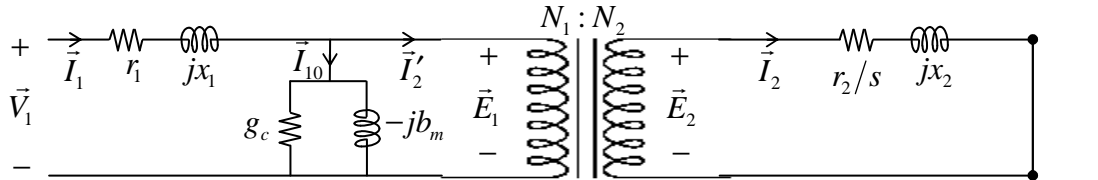
$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = 1 \Rightarrow n_r = 0 \Rightarrow \vec{E}_r = \vec{E}_2 = \vec{k}$$

olduğu anlaşılır. Çünkü durgun haldeki asenkron makina tam olarak, aynı sarım oranındaki normal bir trafo gibi davranır. Yani $\vec{E}_2 = \frac{N_2}{N_1} \vec{E}_1$.

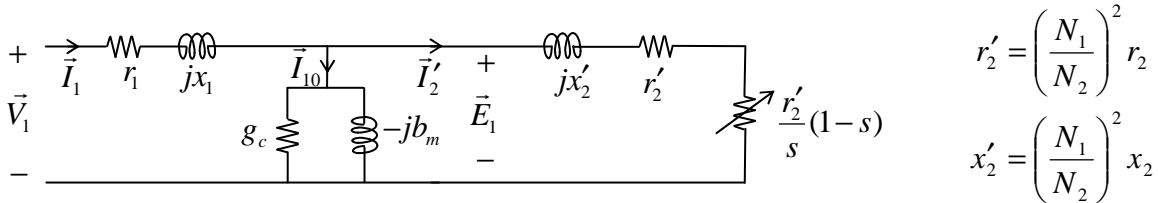
Rotor devresindeki gerilim kaynağını ve bütün empedansları s 'e bölersek rotor akımı \vec{I}_2 değişmez.

$\vec{E}_r = s\vec{E}_2$ yerine \vec{E}_2 , $x_r = sx_2$ yerine de x_2 gelir.

Artık bu rotor eşdeğer devresini, ideal trafo üzerinden stator eşdeğer devresine bağlayabiliriz:



Daha yaygın olarak, tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış şu tam eşdeğer devre kullanılır:



Dikkat edilirse r'_2 ve $\frac{r'_2}{s}(1-s)$ dirençleri toplamı $\frac{r'_2}{s}$ 'tir. Bu direncin iki kısım halinde yazılmasının amacı, üç faz toplam rotor bakır kayıplarının

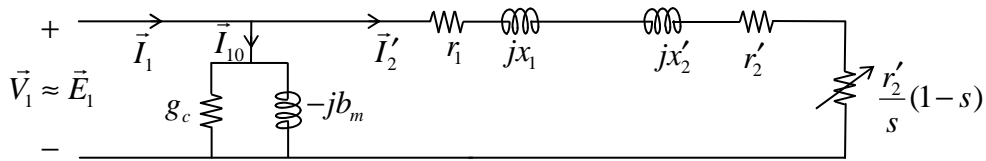
$$P_{\text{CuRot}} = 3r_2 I_2^2 = 3r'_2 I_2'^2$$

biçiminde r_2' üzerindeki güç (üç fazın toplamı) olarak hesaplanması ve $\frac{r_2'}{s}(1-s)$ üzerinden hesaplanan üç faz toplam gücünün ise elektromekanik güce (P_m) karşılık gelmesidir. Çünkü hava aralığından rotora aktarılan toplam güç $P_{ha} = 3\frac{r_2'}{s}I_2'^2$ olup, bundan rotor bakır kaybı çıkarıldığında bulunan, elektrikselden mekaniğe dönüşen (elektromekanik) güçtür:

$$P_m = 3\frac{r_2'}{s}(1-s)I_2'^2$$

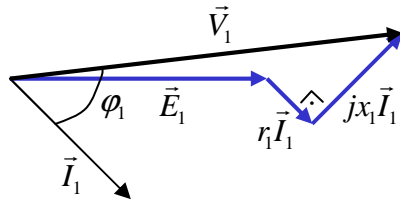
Bu aynı zamanda asenkron motorun brüt (sürtünme dahil) çıkış gücüdür.

Trafoalarda olduğu gibi, asenkron makina eşdeğer devresinin de paralel kolu kaydırılarak tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış yaklaşık eşdeğer devre elde edilir:



Asenkron motorun vektör şemaları:

Stator için:

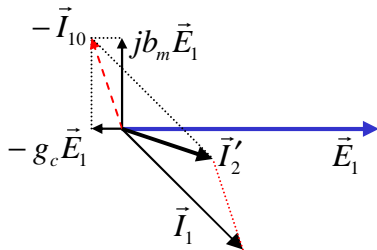


$$\vec{V}_1 = \vec{E}_1 + r_1\vec{I}_1 + jx_1\vec{I}_1$$

$r_1\vec{I}_1$ ile \vec{I}_1 aynı fazdadır.

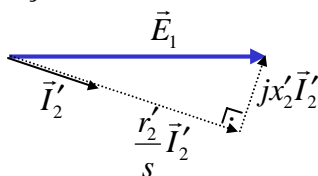
$jx_1\vec{I}_1$ ise \vec{I}_1 'den 90° ilerdedir.

Statordan rotora geçiş:



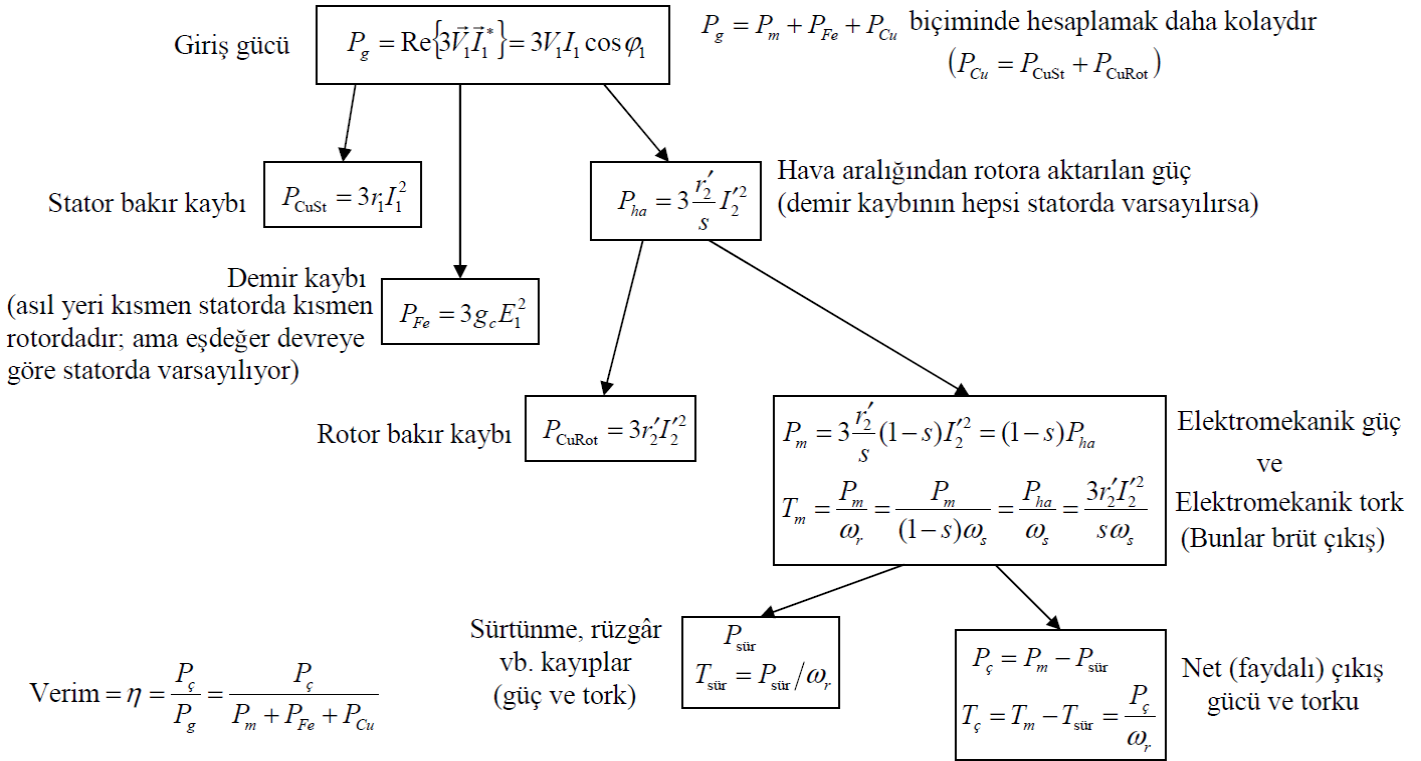
$$\vec{I}_2' = \vec{I}_1 - \vec{I}_{10} = \vec{I}_1 - g_c\vec{E}_1 - (-jb_m)\vec{E}_1$$

Rotor için:



$$\vec{E}_2' = \frac{r_2'}{s}\vec{I}_2' + jx_2'\vec{I}_2'$$

Asenkron motorda güç akışı



Aksi söylenmedikçe giriş gücü denilince brüt giriş, çıkış gücü denilince net çıkış gücü anlaşılır.

Yaklaşık eşdeğer devreyle hesaplamalar:

Yaklaşık eşdeğer devre kullanıldığında bazı hesaplamalar basitleşir:

$$I_1 \text{ ve } \cos \varphi_1 \text{ gerekmiyorsa } I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{(r_1 + \frac{r_2'}{s})^2 + (x_1 + x_2')^2}}, \text{ gerekiyorsa } \vec{I}_2' = \frac{\vec{V}_1}{(r_1 + \frac{r_2'}{s}) + j(x_1 + x_2')}$$

$$P_{Fe} = 3g_c V_1^2 \quad P_{Cu} = 3(r_1 + r_2')I_2'^2 \quad P_m = 3\frac{r_2'}{s}(1-s)I_2'^2$$

$$P_g = P_m + P_{Fe} + P_{Cu} \quad P_\xi = P_m - P_{sür} \quad \text{Verim} = \eta = \frac{P_\xi}{P_g}$$

Eğer I_1 ve $\cos \varphi_1$ gerekiyorsa \vec{I}_2' vektörel bulunmalı ve şunlar da hesaplanmalıdır:

$$\vec{I}_{10} = (g_c - jb_m)\vec{V}_1 \quad \vec{I}_1 = \vec{I}_2' + \vec{I}_{10}$$

$$\varphi_1 = \angle \vec{V}_1 - \angle \vec{I}_1 \quad \text{Giriş güç faktörü} = \cos \varphi_1$$

Ölçülen giriş hat akımı da soruluyorsa:

$$\text{Stator Y bağlı ise } I_h^Y = I_1 = |\vec{I}_1|$$

$$\text{Stator } \Delta \text{ bağlı ise } I_h^\Delta = \sqrt{3} \cdot I_1 = \sqrt{3} \cdot |\vec{I}_1|$$

Örnek:

3 fazlı, 50 Hz'lik, 855 devir/dakika'lık, statoru Δ bağlı bir asenkron motorun tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri şöyledir:

$$r_1 = 0,62 \Omega, \quad r'_2 = 0,58 \Omega, \quad x_1 = 3,0 \Omega, \quad x'_2 = 3,0 \Omega, \quad g_c = 0,005 S, \quad b_m = 0,008 S$$

Motorun girişine fazlar arası 220 V uygulanırken anma hızında dönüyor ve sürtünme kaybı 500 W oluyor. Bu çalışma için motorun verimini ve çıkış torkunu, yaklaşık eşdeğer devre kullanarak bulunuz.

Çözüm:

$n_r = 855$ devir/dakika'ya en yakın ve ondan biraz büyük 50 Hz senkron hızı $n_s = 1000$ devir/dakika olup $P = 6$ kutuplu motor olduğu anlaşılır. Veya $P \approx \frac{120 \times 50}{855} = 7,02 > P$ ve P çift sayı olduğundan $P = 6$ kutuplu ve $n_s = 120 \times 50 / 6$ dev/dak = 1000 dev/dak bulunur. Buna göre:

$$s = \frac{1000 - 855}{1000} = 0,145 = \%14,5 \quad r_y = \frac{r'_2}{s}(1 - s) = \frac{0,58 \Omega}{0,145}(1 - 0,145) = 3,42 \Omega$$

$$\Delta \text{ olduğu için } V_1 = 220 V. \quad I'_2 = \frac{220}{\sqrt{\left(0,62 + \frac{0,58}{0,145}\right)^2 + (3,0 + 3,0)^2}} A = 29,05 A$$

$$P_{Cu} = 3 \times (0,62 + 0,58) \times 29,05^2 W = 3,04 kW$$

$$P_{Fe} = 3 \times 0,005 \times 220^2 W = 0,73 kW$$

$$P_m = 3 \times 3,42 \times 29,05^2 W = 8,66 kW$$

$$P_g = (8,66 + 0,73 + 3,04) kW = 12,42 kW$$

$$P_{\varsigma} = 8,66 kW - 500 W = 8,16 kW$$

$$\text{Verim} = \eta = \frac{8,16}{12,42} = \%65,7$$

$$\omega_r = 2\pi \frac{855}{60} \text{ rad/s} = 89,54 \text{ rad/s}$$

$$T_{\varsigma} = \frac{8160}{89,54} Nm = 91,1 Nm$$

Eğer soruda stator hat akımının ölçülen değeri veya giriş güç faktörü de sorulsaydı

İlk açı keyfi alınabilir: $\vec{V}_1 = 220 V \angle 0^\circ$ olsun.

$$\vec{I}'_2 = \frac{220 + j0}{\left(0,62 + \frac{0,58}{0,145}\right) + j(3,0 + 3,0)} A = \frac{220}{4,62 + j6} A = \frac{220}{7,573 \angle 52,40^\circ} A = 29,05 A \angle -52,40^\circ$$

$$\vec{I}_{10} = (0,005 - j0,008) S \times 220 V \angle 0^\circ = (1,10 - j1,76) A$$

$$\vec{I}'_2 = 29,05 A \angle -52,40^\circ = (17,72 - j23,02) A$$

$$\vec{I}_1 = (17,72 - j23,02) A + (1,10 - j1,76) A = (18,82 - j24,78) A = 31,12 A \angle -52,78^\circ$$

$$\phi_1 = 0^\circ - (-52,78^\circ) = 52,78^\circ \rightarrow \text{Güç faktörü} = \cos(52,78^\circ) = 0,605 \text{ geri (akım geri = endüktif)}$$

$$\Delta \text{ bağlı olduğu için stator hat akımının ölçülen değeri} = I_h = \sqrt{3} \times 31,12 A = 53,9 A$$

Örnek:

3 fazlı, 50 Hz'lik, 1450 devir/dakikalık, statoru Y bağlı bir asenkron motorun tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri şöyledir:

$$r_1 = 0,03\Omega, \quad r_2' = 0,04\Omega, \quad x_1 = 0,2\Omega, \quad x_2' = 0,15\Omega, \quad g_c = 0,01S, \quad b_m = 0,01S$$

Motorun girişine fazlar arası 400 V uygulanırken anma hızında dönüyor ve sürtünme kaybı 3500 W oluyor. Bu çalışma için motorun verimini, çıkış torkunu, stator hat akımının ölçülen değerini ve güç faktörünü, yaklaşık eşdeğer devre kullanarak bulunuz.

Çözüm:

$n_r = 1450$ devir/dakika'ya en yakın ve ondan biraz büyük 50 Hz senkron hızı $n_s = 1500$ devir/dakika olup $P = 4$ kutuplu motor olduğu anlaşılır. Veya $P \approx \frac{120 \times 50}{1450} = 4,14 > P$ ve P çift sayı olduğundan $P = 4$ kutuplu ve $n_s = 120 \times 50 / 4 = 1500$ dev/dak bulunur. Buna göre

$$s = \frac{1500 - 1450}{1500} = \frac{1}{30} = \%3,33 \quad r_y = \frac{r_2'}{s}(1-s) = \frac{0,04\Omega}{1/30} \left(1 - \frac{1}{30}\right) = 1,16\Omega$$

$$V_1 = \frac{400V}{\sqrt{3}} = 230,94V \quad \text{İlk açı keyfi alınabilir: } \vec{V}_1 = 230,94V \angle 0^\circ \text{ olsun.}$$

$$\vec{I}_2' = \frac{230,94 + j0}{\left(0,03 + \frac{0,04}{1/30}\right) + j(0,2 + 0,15)} A = \frac{230,94 + j0}{1,23 + j0,35} A = \frac{230,94}{1,279 \angle 15,88^\circ} A = 180,6A \angle -15,88^\circ$$

$$P_{Cu} = 3 \times (0,03 + 0,04) \times 180,6^2 W = 6,85 kW \quad P_{Fe} = 3 \times 0,01 \times 230,94^2 W = 1,60 kW$$

$$P_m = 3 \times 1,16 \times 180,6^2 W = 113,49 kW \quad P_g = (113,49 + 1,60 + 6,85) kW = 121,94 kW$$

$$P_\varsigma = (113,49 - 3,50) kW = 109,99 kW \quad \text{Verim} = \eta = \frac{109,99}{121,94} = \%90,2$$

$$\omega_r = 2\pi \frac{1450}{60} \text{ rad/s} = 151,84 \text{ rad/s} \quad T_\varsigma = \frac{109990}{151,84} Nm = 724 Nm$$

$$\vec{I}_{10} = (0,01 - j0,01) S \times 230,94V \angle 0^\circ = (2,31 - j2,31) A$$

$$\vec{I}_2' = 180,6A \angle -15,88^\circ = (173,69 - j49,43) A$$

$$\vec{I}_1 = (173,69 - j49,43) A + (2,31 - j2,31) A = (176,0 - j51,7) A = 183,45A \angle -16,38^\circ$$

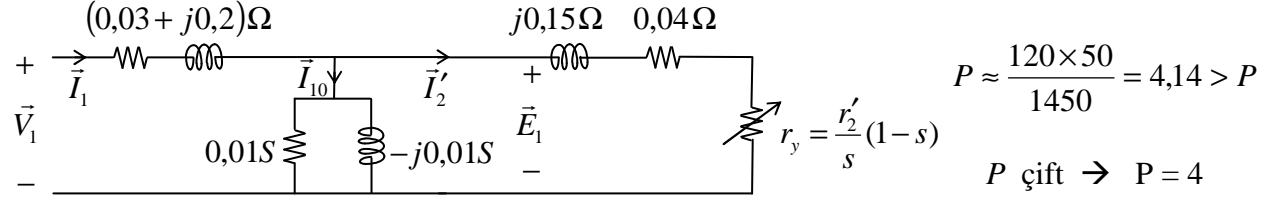
$$\varphi_1 = 0^\circ - (-16,38^\circ) = 16,38^\circ \quad \text{Güç faktörü} = \cos(16,38^\circ) = 0,959 \text{ geri}$$

(akım geri = endüktif)

Y bağlı olduğu için stator hat akımının ölçülen değeri $I_h = I_1 = 183,45 A$

Örnek:

Bir önceki soruyu tam eşdeğer devre ile çözelim:



$$n_s = 120 \times 50 / 4 = 1500 \text{ dev/dak} \quad s = (1500 - 1450) / 1500 = 1/30 \quad r_y = \frac{0,04 \Omega}{1/30} (1 - 1/30) = 1,16 \Omega$$

\vec{I}_{10} ve \vec{I}_2' akımlarının geçtiği kolların paralel eşdeğer empedansına \vec{z}_p dersek:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\vec{z}_p} &= 0,01S - j0,01S + \frac{1}{(0,04 + 1,16)\Omega + j0,15\Omega} = 0,01S - j0,01S + \frac{1}{1,209\Omega \angle 7,13^\circ} \\ &= 0,01S - j0,01S + 0,8269S \angle -7,13^\circ = (0,01 - j0,01 + 0,821 - j0,103)S = (0,831 - j0,113)S \\ \vec{z}_p &= \frac{1}{0,831 - j0,113} \Omega = \frac{1}{0,838 \angle -7,72^\circ} \Omega = 1,193\Omega \angle 7,72^\circ = (1,18 + j0,16)\Omega \end{aligned}$$

$$\vec{I}_1 = \frac{230,94 \angle 0^\circ}{0,03 + j0,2 + 1,18 + j0,16} A = \frac{230,94}{1,265 \angle 16,55^\circ} A = 182,6 A \angle -16,55^\circ$$

$(0,03 + j0,2)\Omega = 0,2022\Omega \angle 81,47^\circ$ üzerindeki gerilim düşümü \vec{V}_1 'den çıkarılırsa:

$$\begin{aligned} \vec{E}_1 &= 230,94V + j0V - (0,2022\Omega \angle 81,47^\circ) \times 182,60A \angle -16,55^\circ = 230,94V - 36,93V \angle 64,92^\circ \\ &= (230,94 - 15,65 - j33,45)V = (215,3 - j33,45)V = \vec{E}_1 = 217,9V \angle -8,83^\circ \end{aligned}$$

$$\vec{I}_2' = \frac{217,9V \angle -8,83^\circ}{(0,04 + 1,16)\Omega + j0,15\Omega} = \frac{217,9V \angle -8,83^\circ}{1,209\Omega \angle 7,13^\circ} = 180,2A \angle -15,96^\circ$$

$$P_{Cu} = (3 \times 0,03 \times 182,6^2 + 3 \times 0,04 \times 180,2^2) W = 6,90 kW$$

$$P_{Fe} = 3 \times 0,01 \times 217,9^2 W = 1,42 kW$$

$$P_m = 3 \times 1,16 \times 180,2^2 W = 112,95 kW$$

$$P_g = (112,95 + 1,42 + 6,90) kW = 121,27 kW$$

$$P_\varsigma = (112,95 - 3,50) kW = 109,45 kW$$

$$\text{Verim} = \eta = \frac{109,45}{121,27} = \%90,3$$

$$\omega_r = 2\pi \frac{1450}{60} \text{ rad/s} = 151,84 \text{ rad/s}$$

$$T_\varsigma = \frac{109450}{151,84} Nm = 721 Nm$$

$$\varphi_1 = 0^\circ - (-16,55^\circ) = 16,55^\circ$$

$$\text{Güç faktörü} = \cos(16,55^\circ) = 0,959 \text{ geri} \\ (\text{akım geri} = \text{endüktif})$$

Y bağlı olduğu için stator hat akımının ölçülen değeri $I_h = I_1 = 182,6 A$