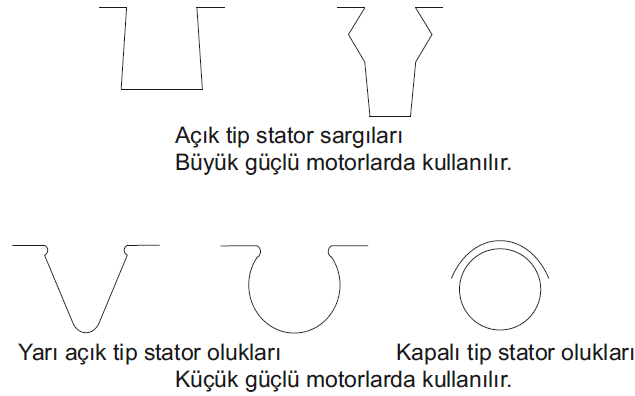


Bölüm 1. Asenkron Motor Deneyleri

Asenkron motor, durağan kısım (stator) ve dönen kısım (rotor) olmak üzere iki temel parçadan oluşur. Statorda, eksenleri arasında 120° elektriksel açı bulunan üç fazlı döner alan sargıları, oyuklara yerleştirilmiştir. Stator olukları motor güç ve yapılarına göre çeşitli şekillerde yapılır. Bazı durumlarda stator manyetik nüvesi gövde olarak da kullanılır. Stator oluk tipleri şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Stator oluk tipleri

Asenkron motorlarda rotorun (manyetik nüvesi) yapılışı stator gibi oluklu sac paketin mil üzerine preslenerek meydana gelir. Bu oluklar içinde alüminyum–bakır iletken çubuktan olup alınları kısa devre halkaları ile birbirine bağlı olup alüminyum dökümdendir. Oluklardaki çubuklar ve kısa devre halkaları birbiriyle kafes oluşturacak şekilde rotor sargılarını meydana getirir. Rotor oluklarındaki çubukların eğimli olarak yapılması dönmenin eşit ölçüde olmasını sağlar. Kısa devre halkaları genellikle havalandırma kanatları ile birlikte motor soğutmada kullanılır. Farklı şekillerde yapılan rotor olukları ve rotor içindeki çubuklar motor momenti–kalkınma momenti ve motor özelliklerini direkt etkiler. Rotorlar; Kısa devre (sincap kafesli) rotor, Sargılı (bilezikli) rotor olarak iki türdedir. Rotor çubuk biçimleri ve kesitleri şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Rotor çubuk biçimi ve kesiti

Rotor oluk yapıları ve özellikleri şunlardır.

Yuvarlak çubuklu rotor: Çekme momenti çok düşük nominal devrinde dönme momenti yüksektir.

Damla biçimli çubuklu rotor: Küçük güçlü motorlarda kullanılır. Çekme momenti normal kalkınma akımı düşüktür.

Düz biçimli çubuklu rotor: Büyük güçlü motorlarda kullanılır. Tam yük altında kalkınma özellikleri iyidir.

Duble çubuklu rotor: Çekme kuvveti çok yüksektir. Kalkınma ve nominal akım oranları iyidir. Ayrıca akı yoğunluğu etkisi neticesinde kalkınma momenti yüksek olup, kalkınma akımı düşüktür.



Şekil 3. Kısa devre çubuklu rotor.

Rotoru sargılı ASM olarak adlandırılan motorlarda genellikle sargı uçları bilezikler ve fırçalar yardımıyla dışarı çıkarılır. Döner alan sargıları, rotor stator arasındaki hava aralığında senkron hızda (n_s) dönen bir alan oluşturur.

Asenkron motorlarda kayma, döner alan devir sayısı ile rotor devri arasındaki farkın, döner alan devir sayısına oranıdır. Kayma;

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \cdot 100$$

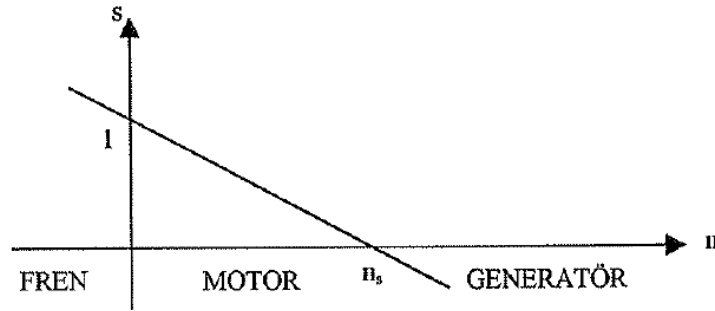
formülü ile ifade edilir. Döner alan devir sayısı ise;

$$n_s = \frac{f \cdot 60}{p} \text{ olarak bulunur.}$$

Bu formülde, S kaymayı; n_s döner alan devir sayısını (senkron devir sayısını), n_r rotor devir sayısını, f asenkron motorun bağlı olduğu şebekenin frekansını ve p ise asenkron motor sargısının kaç kutuplu olduğunu göstermektedir. Motor boşta çalışırken kayma çok küçüktür.

Yük arttıkça kayma da artar. Kaymanın sıfır olması mümkün değildir. Çünkü döndürücü momentin oluşması için rotordan akım geçmesi gerekir. Kaymanın 1 olması, rotorun durması anlamına gelir. Bu durumda motor şebekeden çok büyük akım çeker. Kayma ile rotor dönme hızı arasında bağlantı vardır.

- $n < 0, s > 1$ durumunda, döner rotor döner alana ters yönde döner. Bu durumda motor frenleme modunda çalışır. $f_2 > f_1$ olur.
- $0 < n < n_s, 0 < s < 1$ durumunda, elektriksel güç mekanik enerjiye dönüştürülür. Makine motor olarak çalışır.



Şekil 4. Motor çalışma eğrisi

- $n > n_s, s < 0$, bu durumda rotor senkron hızın üzerine çıkar. Enerji akış yönü rotordan statora olacak şekilde değişir. Makine generatör olarak çalışır.
- $n = 0, s = 1$, bu durumda motor durmaktadır.
- $n = n_s, s = 0$, bu durum rotorun senkron hızda dönmesi anlamına gelir ve döner alana göre durağan olduğundan rotor iletkenlerinde gerilim endüklenmez. Bu durum kuramsal bir durumdur.

Kayma çeşitli metotlarla ölçülür. Bu metotlardan bazıları şunlardır:

1. Turmetre(takometre) ile rotor devrini ölçerek,
2. Stroboskobik disk ve neon lamba yardımı ile,
3. Sargılı rotorlu motorlarda milivoltmetre ile,

- **Turmetre ile kayma ölçmek**

Bunun için turmetre rotora dokundurularak, rotorun devir sayısı ölçülür. Motorun kutup sayısı, rotor devri ve frekansı belli ise kayma hesaplanarak bulunabilir. Motor yüklü iken bir turmetre yardımı ile n devri ölçülerek kayma hesaplanabilir. Ancak motor boşta çalışırken $n_s - n$ farkı çok küçük olduğundan bu yöntem iyi sonuç vermez.

- **Stroboskopik disk ve neon lamba ile kaymanın ölçülmesi**

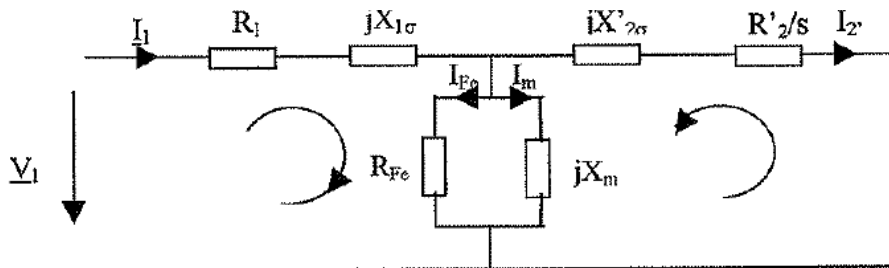
Bu metotla kayma ölçmek için kayması ölçülecek asenkron motorun miline üzerinde Motorun kutup sayısı $2p$ kadar siyah ve yine aynı sayıda beyaz bölmeler bulunan bir disk takılır. Motorun bağlı bulunduğu şebekeden beslenen bir neon lamba yardımı ile bu disk aydınlatılır. Motor döndüğünde kayma pozitif ve disk dönüş yönünün tersi yönünde dönüyormuş gibi görünür. İşte bu durumda sabit bir noktaya göre bir kronometre yardımı ile t saniyede geçen çizgi sayısı m tespit edilir. Neon lambanın bağlı olduğu şebekenin frekansı f ise, lamba bir periyotta iki defa yanacağından yüzde olarak kayma; $\%s = \frac{m}{2 \cdot t \cdot f_1} \cdot 100$ formülü ile hesaplanır. Burada, $\frac{m}{2 \cdot t} = f_2$ 'dir. f_2 rotor ile döner alan arasındaki kaymanın frekansıdır. Buna göre $f_2 = f_1 \cdot s$ olur.

- **Rotoru sargılı asenkron motorlarda milivoltmetre ile kayma ölçmek**

Bu yöntem yalnız rotoru sargılı asenkron motorlarda uygulanabilir. Bilezikli motorun iki bileziği arasına bir d.c. milivoltmetresi bağlanırsa aletin ibresinin sağa ve sola salınımlar yaptığı görülür. Bu salınımın miktarı rotorda indüklenen gerilimin frekansına bağlıdır. t saniyedeki salınım sayısı m ise kayma, $\%s = \frac{m}{2 \cdot t \cdot f_1} \cdot 100$ olur.

Bu metotla kayma ölçümünde dikkat edilecek en önemli nokta milivoltmetrenin motor yol aldıktan sonra bileziklere bağlanmasıdır. Aksi halde alet yanar. Voltmetrenin sıfırı ortada olursa sapmalar daha kolay görülür.

Asenkron motorun işletme karakteristiklerini çıkarabilmek için makinenin kararlı-hal bir faz eşdeğer devresi elde edilmelidir. Eşdeğer devre parametrelerinin elde edilmesi için makine boşa ve kısa devre çalıştırılarak akım, gerilim ve güç değerleri ölçülmelidir. Rotor büyüklükleri statora indirgenmiş asenkron motor bir faz eşdeğer devresi Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Asenkron motor bir faz eşdeğer devresi

V1: Stator bir fazına uygulanan gerilim
I1: Stator bir faz akımı

R1: Stator sargı direnci
X1: Stator sargısı kaçak reaktansı

R_{fe}: Demir kayıpları
X_m: Mıknatıslanma reaktansı
R₂: Statora indirgenmiş rotor sargı direnci

X₂: Statora indirgenmiş rotor kaçak reaktans

1.1. Asenkron Motorun Boşta Çalışması

Deneyin Amacı:

Asenkron motorun eşdeğer devresi elde etmek için gerekli olan asenkron motorda meydana gelen demir, sürtünme ve bakır kayıpları bulunmaktadır.

Teorik Bilgi:

Boşta çalıştırılan asenkron motorlar şebekeden bir güç çekerler. Bu çekilen güç, stator demir kayıpları ile sürtünme ve vantilasyon kayıplarının toplamını verir. Boşta çalışan motorun devir sayısı döner alan devrine yakın olduğundan, rotorun demir ve bakır kayıpları ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Normal şebeke gerilimi altında boşta çalışan asenkron motorun stator sargılarından geçen akımlar bu sargılarda bakır kayıplarına sebep olur. Bu kayıp hesaplanarak bulunur ve motorun şebekeden çektiği güçten çıkarılırsa, geriye kalan güç stator demir kayıpları ile sürtünme ve vantilasyon (rüzgar) kayıplarının toplamını verir. Buna göre; $P_0 = P_{Fe} + P_{Cu} + P_{s+v}$ olarak ifade edilebilir. $P_{Cu} = I_{10}^2 * R_1$ ' dir. Bu değer stator sargılarının direnci üzerinde kaybolan güçtür ve boş çalışmadaki bakır kaybı olarak adlandırılır. $P_0 - P_{Cu} = P_{Fe} + P_{s+v}$ olur. Bu formüllerde;

P₀ : Şebekeden çekilen boş çalışma gücü (watt)

P_{Fe} : Stator demir kaybını (watt)

P_{Cu} : Boş çalışmadaki stator bakır kaybını (watt)

P_{s+v}: Sürtünme ve vantilasyon (rüzgar) kayıplarını gösterir.

I₁₀ : Stator sargılarından geçen bir faz akımını (amper)

R₁ : Stator bir faz sargısının a.a. omik direncini (Ω) göstermektedir.

Bağlantı Türleri

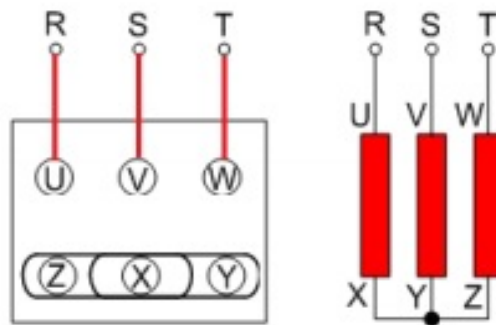
Asenkron motorların bağlantı türleri, motorun stator sargılarının elektriksel olarak nasıl bağlandığını belirleyen yöntemlerdir ve motorun çalışma gerilimi, akımı ve performansını doğrudan etkiler. En yaygın bağlantı türleri yıldız (Y) bağlantı ve üçgen (Δ) bağlantıdır. Yıldız bağlantıda, sargıların uçları ortak bir noktada birleştirilerek her faza hat geriliminin $\sqrt{3}$ katı daha düşük bir gerilim uygulanır, böylece motor daha düşük kalkış akımı çeker ve genellikle hafif yüklerde kullanılır. Üçgen bağlantıda ise sargılar kapalı bir döngü oluşturacak şekilde bağlanır ve her faz tam hat gerilimi ile beslenir, bu da daha yüksek güç ve tork gerektiren uygulamalarda tercih edilir. Büyük güçlü motorlarda yıldız-üçgen yol verme yöntemi kullanılarak motorun düşük akımla çalıştırılması ve tam yükte üçgen bağlantıya geçirilmesi sağlanır. Bağlantı türünün seçimi, motorun çalışma gerilimi ve uygulama gereksinimlerine göre belirlenir.

Yıldız (Star-Y) Bağlantı

- Üç fazlı asenkron motorun stator sargıları, ortak bir noktada birleştirilir (bu noktaya nötr noktası denir). Faz uçları (U1, V1, W1) şebekeden beslenirken, diğer uçlar (U2, V2, W2) birleştirilir.
- Yıldız bağlantıda her bir faz sargısı, şebeke faz-nötr gerilimine ($V_L / \sqrt{3}$) maruz kalır.

Avantajları:

- Düşük kalkış akımı sağlar.
- Küçük güçlü motorlarda yaygın olarak kullanılır.



Şekil 6. Yıldız bağlantı

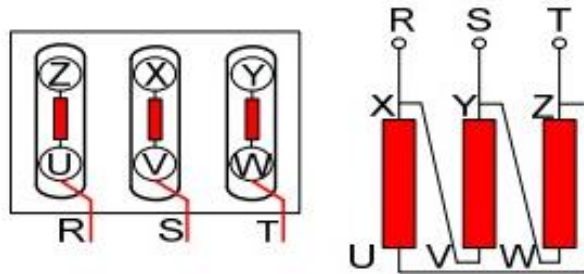
Üçgen (Delta- Δ) Bağlantı

- Her sargının uçları birbirine bağlanarak kapalı bir üçgen oluşturulur.

- Şebeke gerilimi doğrudan her bir faza uygulanır (faz gerilimi = hat gerilimi).

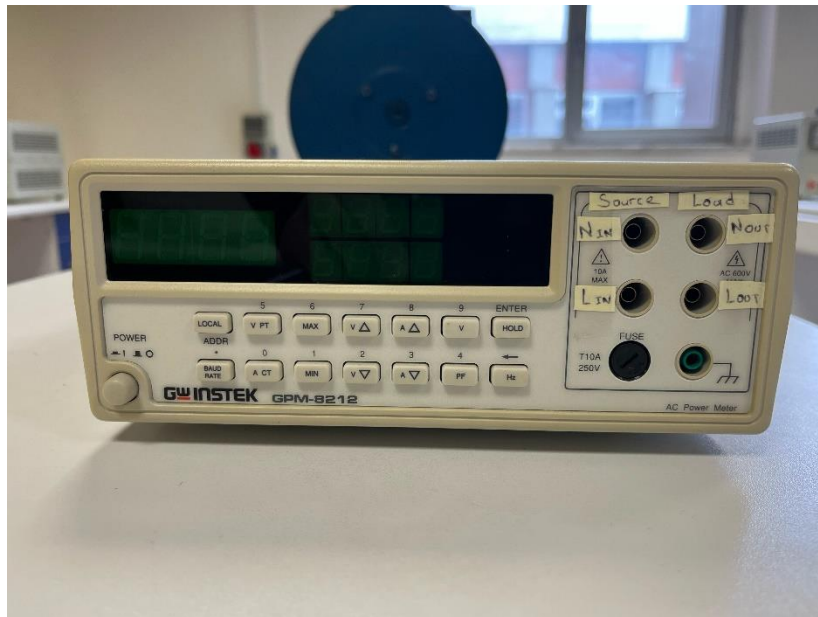
Avantajları:

- Daha yüksek kalkış torku sağlar.
- Büyük güçlü motorlarda ve tam yükte çalışmada kullanılır.



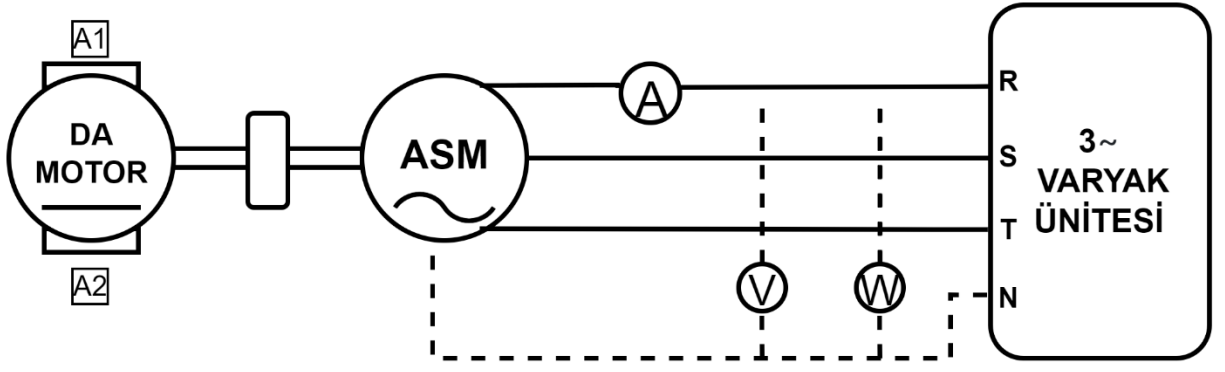
Şekil 7. Üçgen bağlantı

Deney sırasında elde edilecek değerlerin ölçülmesinde kullanılacak güç analizörü Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Güç analizörü

Serbest uyarımlı DA generatör deneyi bağlantı şeması Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9. ASM boşa çalışma deneyi bağlantı şeması

Deneyin Yapılışı:

1. Şekil 9'da gösterilen deney bağlantı şemasına göre bağlantıları yapınız. **Laboratuvar sorumlusuna bağlantıları kontrol ettiriniz.**
2. Asenkron motoru yıldız bağlantı ile güç analizörü üzerinden 3 faz varyak ünitesine bağlayınız.
3. 3 faz varyak ünitesi yardımıyla asenkron motora nominal gerilimi uygulayınız.
4. Nominal gerilimde güç analizörü üzerinde okunan gerilim, akım, güç, ve güç katsayısı değerlerini Tablo 1'e kaydediniz.
5. Takometre yardımıyla asenkron motorun boştaki devir sayısını ölçerek tabloya kaydediniz.
6. Varyak ünitesinden enerjiyi sıfırlayarak deneyi sonlandırınız.

Tablo 1. Asenkron motor boşa çalışma değerleri

V	I	P	Cos ϕ	n

Sorular

- 1) Asenkron motor boş çalışma deneyi hangi amaçla yapılmıştır? açıklayınız.
- 2) Asenkron motorun boşta çalışma durumunda neden güç faktörü düşüktür? Açıklayınız.
- 3) Asenkron motorun boşta çalışma durumunda kayma değerini hesaplayınız.
- 4) Senkron hız ve rotor hızı arasındaki fark nedir? Kayma (slip) kavramını açıklayınız.
- 5) Asenkron motorun boşta çalışma durumunda neden kayma değeri çok küçüktür?

1.2. Asenkron Motor Kilitli Rotor Deneyi

Deneyin Amacı:

Asenkron motorun kilitli rotor (kısa devre) durumundaki elektriksel davranışını incelemek ve eşdeğer devre parametrelerini deneysel olarak belirlemektir.

Teorik Bilgi:

Asenkron motorun kilitli rotor deneyi, transformatörlerin kısa devre deneyine benzer bir yöntemle gerçekleştirilir. Bu benzerlik, kilitli rotor durumundaki asenkron motorun, sekonder sargıları kısa devre edilmiş bir transformatör gibi davranmasından kaynaklanır. Deney sırasında rotorun hareket etmesi engellenerek stator sargılarına başlangıçta düşük seviyeden başlayarak kademeli olarak artan bir gerilim uygulanır.

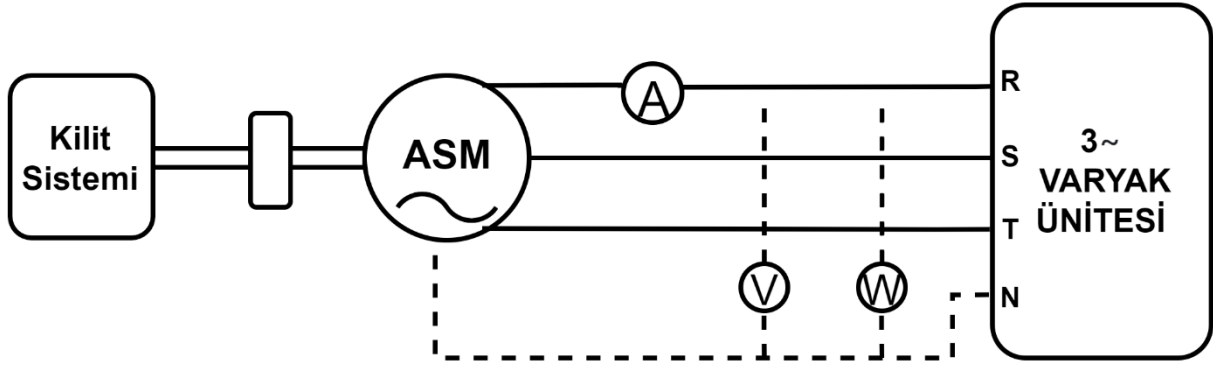
Motorun dönmemesi nedeniyle mekanik kayıplar oluşmaz. Uygulanan gerilim, motorun çektiği akım nominal akım değerinin yaklaşık 1,2 katına ulaşınca kadar artırılmaya devam edilir. Akımın nominal değeri aşması durumunda, sargılarda aşırı ısınma riski ortaya çıkacağı için deney süresi olabildiğince kısa tutulmalıdır. Stator sargılarına uygulanan gerilim düşük olduğundan, demir kayıpları ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Bu kayıplar, gerilim seviyesinin karesiyle orantılı olarak değiştiği için hesaplamalarda göz ardı edilir.

Kısa devre deneyinde, asenkron motorun şebekeden çektiği güç, stator ve rotor bakır kayıplarını verir. $P_k = R_s * I_s + R_r * I_r^2$ olarak hesaplanır. Buradan rotor bakır kayıpları, $R_r * I_r^2 = P_k - R_s * I_s$ olarak hesaplanabilir. Burada I_s : Stator sargısının nominal akımı, R_s : Stator sargısının etkin direnci, R_r : Rotor sargısının etkin direncini göstermektedir.

Motorun eşdeğer faz empedansı; $Z_r = \frac{U_{1k}}{I_{1k}}$ dır. Eşdeğer faz direnci ise: $R_e = \frac{P_k}{I_{1k}^2}$ olarak ifade edilir. Stator faz direnci bilindiğine göre statora indirgenmiş rotor faz direnci; $R'_2 = R_e - R_s$ olarak elde edilir.

Motorun eşdeğer faz reaktansı, $X_e = \sqrt{Z_e^2 - R_e^2}$ dir. Pratikte stator eşdeğer faz reaktansının satatora indirgenmiş rotor faz reaktansına eşit olduğu kabul edilir. Buna göre; $X_s = X'_2 = \frac{X_e}{2}$ olarak da yazılabilir.

Asenkron motorun boş çalışma ve kilitli rotor (kısa devre) deneylerinden alınan değerler ile asenkron makinanın eşdeğer devresi elde edilir.



Şekil 10. ASM kilitli rotor deneyi

Deneyin Yapılışı:

1. Şekil 10'da gösterilen deney bağlantı şemasına göre bağlantıları yapınız. **Laboratuvar sorumlusuna bağlantıları kontrol ettiriniz.**
2. Asenkron motoru yıldız bağlantı ile **güç analizörü üzerinden** 3 faz varyak ünitesine bağlayınız.
3. Asenkron motorun rotorunu mekanizma yardımıyla kilitleyiniz.
4. 3 faz varyak ünitesi yardımıyla asenkron motora nominal akım uygulayınız.
5. Kilitli rotor durumunda güç analizörü üzerinde okunan gerilim, akım, güç, ve güç katsayısı değerlerini Tablo 2'e kaydediniz.
6. Varyak ünitesinden enerjiyi sıfırlayarak deneyi sonlandırınız.

Tablo 2. Serbest uyartımlı DA generatörü dış karakteristik değerleri

V_{kr}	I_{kr}	P_{kr}	$\cos \varphi$

Sorular

- 1) Kilitli rotor deneyi sırasında gerilim neden düşük tutulur?
- 2) Kilitli rotor deneyi ile eşdeğer devre parametrelerinden hangileri elde edilir?
- 3) Denklemden ($P_{kr} = \sqrt{3}UI\cos\varphi_k$) bulunan $\cos\varphi_k$, deneyde ölçülen $\cos\varphi_k$ ile aynı mıdır? Değil ise sebebi nedir?

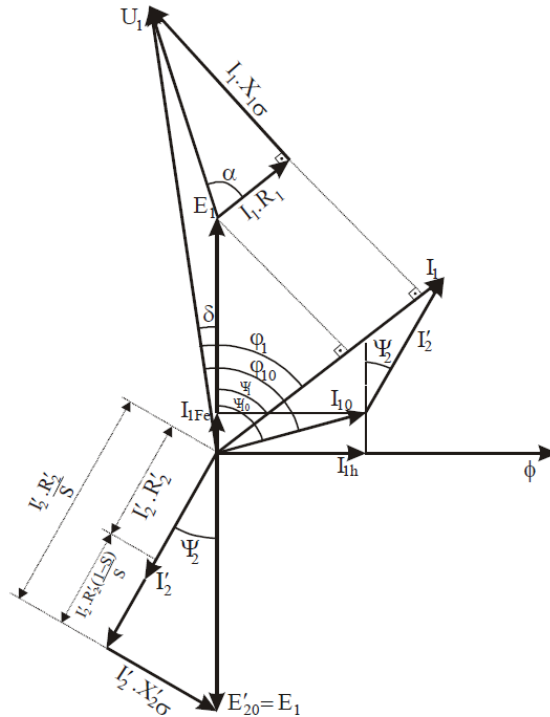
1.3. Asenkron Motor Yüklü Çalışma

Deney Amacı:

Asenkron motorun yüklü çalışma durumundaki performansını incelemek, yük altında motorun akım, gerilim, güç faktörü, kayma, verim ve moment gibi parametrelerini analiz etmek. Ayrıca, motorun yük karakteristiğini belirleyerek, farklı yük koşullarındaki davranışını değerlendirmek.

Teorik Bilgi:

Boşta çalışan asenkron motorun milini bir fren mekanizması ile yükleyebiliriz. Bu durumda çok küçük olan motorun boşta çalışma akımı bu mekanik yüke tekabül eden döndürme momentini karşılamayacaktır. Bütün tahrik makinalarında olduğu gibi yük artması sonucunda motor kendisinden istenen enerji artmasını öncelikle dönen kısımların kinetik enerjisinden karşılayacaktır. Bu motorun devir sayısının düşmesi demektir. Devir sayısının düşmesi kaymanın artmasına neden olur. Buna bağlı olarak rotorda indüklenen S.E₂₀ emk'sı büyür ve bunun sonucu olarak rotor akımı I₂ artacaktır. Rotor kayması, fren momentinin gerektirdiği döndürme momenti verecek I₂ akımına kadar büyür. Yani asenkron motorlarda kaymanın motorun milinden alınan döndürme momentine bağlı olduğu anlaşılır. Motorun yüklü çalışmasına ait vektör diyagramı Şekil 11'de görülmektedir.



Şekil 11. Asenkron motor yüklü çalışma vektör diyagramı

Bu diyagramda ϕ manyetik akısıyla aynı fazda boş çalışma akımının mıknatıslama bileşeni (I_{1h}) vardır. Boş çalışma akımının enerji bileşeni (I_{1Fe}) ise bu akımdan 90^0 ileridedir. Zıt emk'ler ise $E_1=E'_{20}$ olmaktadır. U_1 gerilimi I_1 akımından ϕ_1 açısı kadar ileridedir. E_1 ile I_1 arasında Ψ_1 açısı kadar faz farkı vardır. ϕ_1 motorun dış faz açısı, Ψ_1 ise iç faz açısıdır. Motorun boştaki iç ve dış faz açıları ise ϕ_{10} ve Ψ_{10} ile gösterilmiştir. Statora indirgenmiş rotor akımı (I_2'), E'_{20} emk'sına nazaran Ψ_2 açısı kadar geridedir. Bu akımın genliği ise rotor devresinin empedansı (Z_2') tarafından belirlenir;

$$Z_2' = \frac{R_s'}{s} + jX_{2\sigma}'$$

İdeal boş çalışma akımı I_{10} , I_1 akımı ile statora indirgenmiş rotor akımı (I_2')'nın vektörel toplamına eşittir.

$$I_2' = \frac{E'_{20}}{Z_2'} = \frac{E'_{20}}{\sqrt{\left(R_s'/s\right)^2 + X_{2\sigma}'^2}} = \frac{U'_{20}}{\sqrt{\left(R_s'/s\right)^2 + X_{2\sigma}'^2}}$$

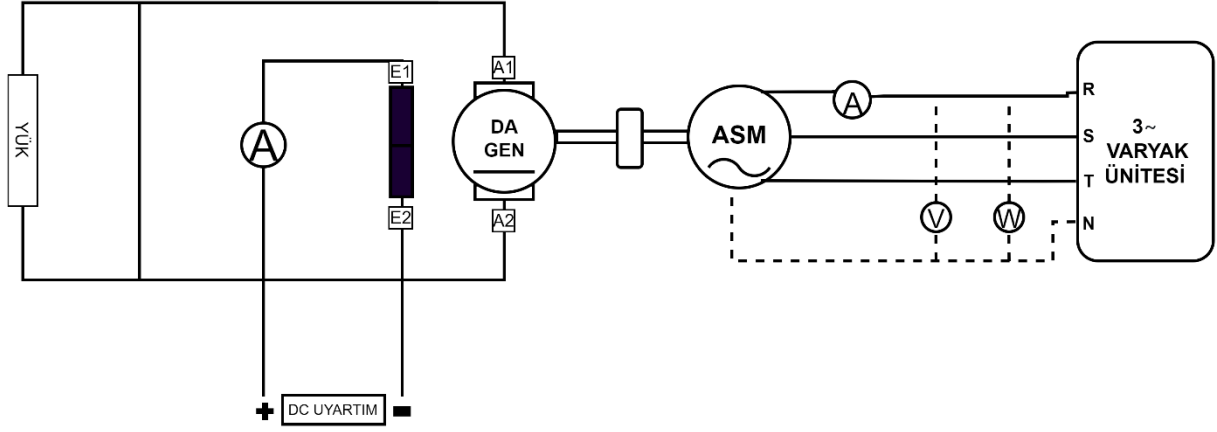
Bu formülde U'_{20} durmakta olan motorun sargı uçlarından ölçülen gerilimin statora indirgenmiş değeridir.

Stator gerilimi U_1 ise, zıt emk E_1 ile ΔU gerilim düşümünün vektörel toplamına eşittir. $\Delta U = I_1 \cdot R_1 + jI_1 \cdot X_{1\sigma}$ olarak yazılabilir. ΔU ile I_1 akımı arasındaki açı ise α ile gösterilmiştir. Zıt emk (E_1) ile şebeke gerilimi (U_1) arasındaki açığa “yük açısı” denir ve “ δ ” ile gösterilir.

$I_1 \cdot R_1$ gerilim düşümü I_1 akımı ile aynı fazdadır. Bu nedenle vektörü I_1 akımı ile paraleldir. $I_1 \cdot jX_{1\sigma}$ gerilim düşümü ise 90^0 faz farklıdır. Bu bilgiler ışığında motorun zıt emk'sı

$$E = \sqrt{(U_1 \cdot \cos\phi_1 - I_1 \cdot R_1)^2 + (U_1 \cdot \sin\phi_1 - I_1 \cdot X_{1\sigma})^2}$$
 şeklinde yazılabilir.

Asenkron motor yüklü çalışma deneyi bağlantı şeması Şekil 12'da gösterilmiştir.



Şekil 12. ASM yüklü çalışma deneyi bağlantı şeması

Deneyin Yapılışı:

1. Şekil 9'da gösterilen deney bağlantı şemasına göre bağlantıları yapınız. **Laboratuvar sorumlusuna bağlantıları kontrol ettiriniz.**
2. Asenkron motoru yıldız bağlantı ile **güç analizörü üzerinden** 3 faz varyak ünitesine bağlayınız.
3. DA generatöre rezistif yük ünitesini bağlayınız.
4. 3 faz varyak ünitesi yardımıyla asenkron motora nominal gerilimi uygulayınız.
5. Asenkron motoru DA gen. yardımıyla tabloda belirtilen DA gen yük kademelerine göre yükleyiniz.
6. Her bir akım kademesinde güç analizörü üzerinde okunan gerilim, akım, güç ve güç katsayısı ile takometre yardımıyla okuduğunuz devir sayısı değerlerini Tablo 3'e kaydediniz.
7. Varyak ünitesinden enerjiyi sıfırlayarak deneyi sonlandırınız.

Tablo 3. Asenkron motor yüklü çalışma deneyi ölçüm tablosu

Gerilim (V)	Akım (A)	P (W)	Cos ϕ	Devir Sayısı(n)	DA Gen. Yük Kademesi
					0
					1
					2
					3
					4
					5

Sorular

- 1) Yük artışına göre güç katsayısı nasıl değişti? Neden?
- 2) Motor yüklendikçe kaymadaki değişimi hesaplayınız. Kaymanın değişimini yorumlayınız.
- 3) Asenkron motorun güç faktörünü nasıl iyileştirebileceğinizi açıklayınız.