

rine motorun hızlanma ve yavaşlama oranları sürücünün elektroniğine konulan özel devreler ile emniyet seviyesine sınırlanır. Bu oranlar hızlanma ve yavaşlama için bağımsız olarak ayarlanabilir.

Motor Koruma

Asenkron motorlu sürücü, sürücüye bağlı motoru korumak üzere tasarlanmış çeşitli özellikler ile oluşturulur. Sürücü, aşırı sürekli durum akımını (bir aşırı yük koşulu), anlık aşırı akımları, aşırı gerilim koşullarını ve düşük gerilim koşullarını sezebilir. Yukarıdaki durumların herhangi birin oluştuğunda motor durdurulacaktır.

Yukarıda tanımlanana benzeyen asenkron motorlu sürücüler, asenkron motorların geniş bir aralıkta hız değişimi gerektiren birçok uygulama için DA motorların yerini aldığı esnek ve güvenilir sistemlerdir.

7.11 DEVRE MODELİ PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Bir asenkron motorun eşdeğer devresi yük değişimlerine karşı motorun cevabının belirlenmesinde çok yararlı bir araçtır. Bununla beraber gerçek makina için bir model kullanılacaksa, modelde hangi eleman değerlerinin kullanılacağını belirlemek gereklidir. R_1 , R_2 , X_1 , X_2 ve X_M değerleri gerçek bir motor için nasıl belirlenebilir?

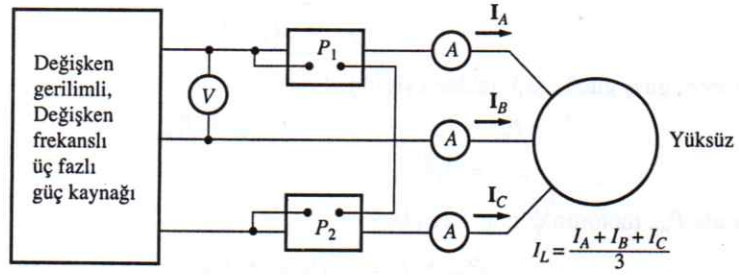
Bu bilgi parçaları, transformatördeki açık ve kısa devre deneylerine benzer şekilde bir asenkron motor için de deneyler yaparak bulunabilir. Deneyler kesin olarak kontrollü koşullarda yapılmalıdır çünkü dirençler sıcaklıkla ve rotor direnci ise rotor frekansı ile değişir. Her bir asenkron motor deneyinin doğru sonucu vermesi için nasıl yapılması gerektiğinin tüm ayrıntıları IEEE standart 112'de tanımlıdır. Deneylerin ayrıntıları çok karmaşık olmasına rağmen arkasındaki kavramlar, göreceli olarak kolaydır ve burada açıklanacaktır.

Boşta Çalışma Deneyi

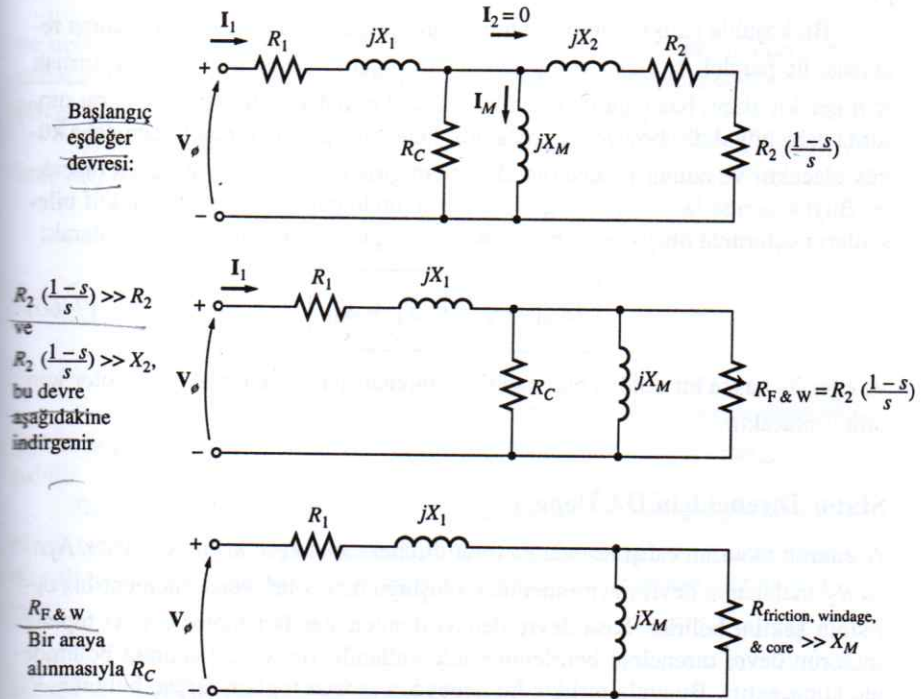
Asenkron motorun boşta çalışma deneyi, motorun dönme kayıplarını ölçer ve mıknatıslanma akımı hakkında bilgi sağlar. Bu deney için deney devresi Şekil 7-52 a'da gösterilmektedir. Wattmetreler, bir voltmetre ve üç ampermetre asenkron motorun serbestçe dönmesine izin verecek şekilde bağlanır. Motor üzerindeki tek yük sürtünme ve rüzgâr kayıplarıdır. Böylece motordaki tüm P_{conv} , mekanik kayıplar tarafından tüketilir ve motorun kayması çok küçüktür (0.001 veya daha küçük). Bu motorun eşdeğer devresi Şekil 7-52 b'deki gibidir. Çok küçük kayma değeri ile dönüştürülen güce karşılık gelen $R_2(I-s)/s$ direnci, rotor bakır kayıplarına karşılık gelen dirençten ve rotor reaktansı X_2 'den de çok çok büyüktür. Bu durumda eşdeğer devre Şekil 7-52b'deki sonuncu devreye indirgenir.

Çıkış direnci, X_M mıknatıslanma reaktansı ve çekirdek kayıpları R_C ile paraleldir.

Boşta çalışmada bu motorun ölçü aletleri tarafından ölçülen giriş gücü mo-



(a)



(b)

ŞEKİL 7-52

Bir asenkron motorun boşta çalışma deneyi (a) Deney devresi (b) Sonuç motor eşdeğer devresi. Boşta çalışan motorun empedansının R_1, jX_1 ve jX_M 'in seri kombinasyonu olduğuna dikkat ediniz.

tordaki kayıplara eşit olmalıdır. I_2 akımı son derece küçük olduğundan rotor bakır kayıpları ihmal edilebilir [$R_2(1-s)/s$ büyük yük direncinden dolayı]. Stator bakır kayıpları aşağıdaki gibi verilir:

$$P_{SCL} = 3I_1^2 R_1 \quad (7-25)$$

Böylece, giriş gücü aşağıdakine eşit olmalıdır:

$$\begin{aligned} P_{in} &= P_{SCL} + P_{core} + P_{F\&W} + P_{misc} \\ &= 3I_1^2 R_1 + P_{rot} \end{aligned} \quad (7-58)$$

Burada P_{rot} motorun dönme kayıplarıdır:

$$P_{rot} = P_{core} + P_{F\&W} + P_{misc} \quad (7-59)$$

Böylece motora verilen giriş gücü makinanın dönme kayıpları olarak belirlenebilir.

Bu koşulda çalışan motoru tanımlayan eşdeğer devre X_M mıknatıslanma reaktansı ile paralel $R_2(I-s)/s$ ve R_C dirençlerini içerir. Manyetik alanı oluşturmak için gerekli akım, hava aralığının yüksek relüktansından dolayı bir asenkron motorda daha büyüktür; böylece X_M reaktansı kendisine paralel dirençlerden daha küçük olacaktır ve bunun sonucu olarak toplam giriş güç faktörü çok küçük olacaktır. Büyük geride fazlı akım ile gerilim düşümünün çoğu, devredeki indüktif bileşenlerin uçlarında oluşacaktır. Böylece eşdeğer giriş empedansı yaklaşık olarak;

$$|Z_{eq}| = \frac{V_\phi}{I_{1,nl}} \approx X_1 + X_M \quad (7-60)$$

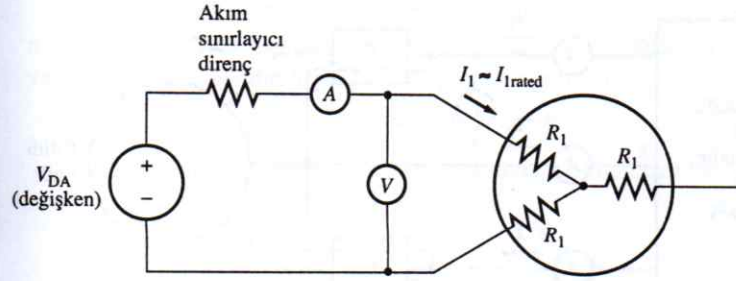
ve eğer X_1 başka bir yoldan bulunabilirse, mıknatıslanma reaktansı X_M motor için bilinir olacaktır.

Stator Direnci için DA Deneyi

Asenkron motorun çalışmasında R_2 rotor direnci son derece kritik rol oynar. Ayrıca R_2 , makinanın devrilme momentinin oluştuğu hızı belirleyerek moment-hız eğrisinin şeklini belirler. Kısa devre deneyi denilen standart motor deneyi toplam motorun devre direncinin belirlenmesinde kullanılır (bu deney sonraki bölümde ele alınacaktır). Bununla birlikte bu deneyden sadece toplam direnç bulunur. R_2 rotor direncini doğru olarak bulmak için toplamdan çıkartılmak üzere, R_1 'in bilinmesi gereklidir.

R_1 için yapılacak deney R_2 , X_1 ve X_2 'nin kinden bağımsızdır. Bu deney DA deneyi olarak adlandırılır. Temel olarak asenkron motorun stator sargılarına bir DA gerilimi uygulanır. Akım DA olduğundan rotor devresinde gerilim indüklenmez ve rotordan akım akmaz. Keza DA akımda motorun reaktansı sıfır olacaktır. Dolayısıyla motorda akan akımı sınırlayan tek büyüklük stator direncidir ve bu direnç belirlenebilir.

DA deneyi için temel devre Şekil 7-53'de gösterilmektedir. Bu şekil yıldız bağlı asenkron motorun üç ucundan ikisine bağlanan bir DA güç kaynağını göstermektedir. Deneyi yapmak için stator sargısındaki akım nominal değerine ayarlanır



ŞEKİL 7-53

DA direnç deneyi için deney devresi

ve uçlar arasındaki gerilim ölçülür. Stator sargılarındaki akım, normal çalışma sırasında sahip olacağı sıcaklığa sargıların getirilmesiyle, nominal değerine ayarlanır (sargı direncinin sıcaklığın bir fonksiyonu olduğunu hatırlayınız).

Şekil 7-53'teki akım iki sargıdan akar böylece bu akım yolundaki toplam direnç $2R_1$ dir. Dolayısıyla,

$$2R_1 = \frac{V_{DA}}{I_{DA}}$$

$$R_1 = \frac{V_{DA}}{2I_{DA}}$$

(7-61)

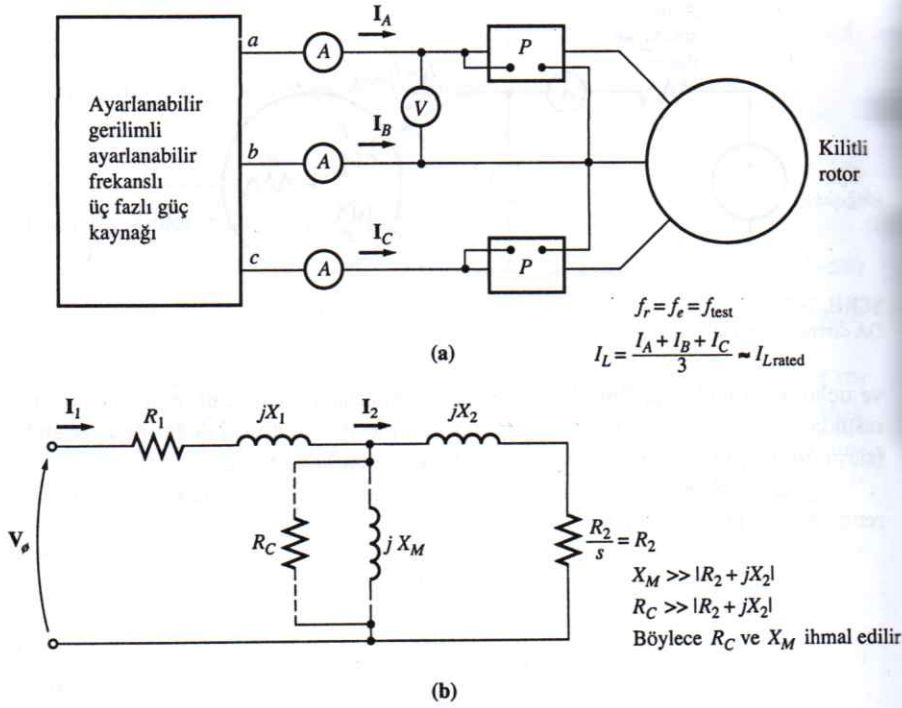
R_1 'in bu değeri ile boştaki stator bakır kayıpları belirlenebilir ve dönme kayıpları boştaki giriş gücü ve stator bakır kayıpları arasındaki fark cinsinden bulunabilir.

Bu tarzda hesaplanan R_1 değeri tam olarak doğru değildir çünkü bir AA gerilimi sargılara uygulandığı zaman oluşan deri olayını ihmal etmiştir. Sıcaklık ve deri etkisi için düzeltmeler ile ilgili daha çok ayrıntı IEEE standart 112'de bulunabilir.

Kısa Devre (Tutulu – kilitli rotor) Deneyi

Bir asenkron motordaki devre parametrelerinin belirlenmesinde kullanılabilen üçüncü deneye, kilitli rotor deneyi veya bazen tutulu rotor deneyi denilir. Bu deney transformatördeki kısa devre deneyine karşılık gelir. Bu deneyde rotor hareket etmemesi için tutulur veya bloke edilir. Motora bir gerilim uygulanır ve ortaya çıkan akım, gerilim ve güç ölçülür.

Şekil 7-54a tutulu rotor deneyi için bağlantıları göstermektedir. Tutulu rotor deneyini yapmak için statora bir AA gerilimi uygulanır ve akan akım yaklaşık olarak tam yük değerine ayarlanır. Akım tam yük değerinde olduğu zaman motorda akan akım, gerilim ve güç ölçülür. Bu deney için eşdeğer devre Şekil 7-54b'de gösterilmektedir. Rotorun hareket etmediğine dikkat ediniz, kayma $s=1$ 'dir ve böylece rotor direnci R_2/s , R_2 ye eşittir (oldukça küçük bir değer).



ŞEKİL 7-54

Bir asenkron motor için tutulu rotor deneyi (a) deney devresi (b) motor eşdeğer devresi

R_2 ve X_2 böyle küçük olduklarından dolayı daha büyük olan mıknatıslama reaktansından akmak yerine giriş akımının hemen tamamı onların üzerinden akacaktır. Dolayısıyla bu koşullar altındaki devre X_1 , R_1 , X_2 ve R_2 'nin seri kombinasyonu olacaktır.

Bununla birlikte bu deneyde bir problem vardır. Normal çalışmada stator frekansı şebeke frekansıdır (50 veya 60 Hz). Yol verme koşullarında rotor da şebeke frekansındadır. Bununla birlikte normal çalışma koşullarında çoğu motorun kayması sadece yüzde 2-4'e eşittir ve ortaya çıkan rotor frekansı 1-3 Hz aralığındadır. Bu hat frekansının motorun normal işletme koşullarında oluşmadığını göstermektedir. Etkin rotor direnci, B tasarım sınıfı ve C sınıfı motorlar için frekansın kuvvetli bir fonksiyonu olduğundan yanlış rotor frekansı bu deneyde yanlış sonuçlara yol açabilir. Deney yaparken uzlaşılan tipik değer nominal frekansın yüzde 25'i veya daha az bir frekans kullanmaktır. Bu yaklaşım, temel sabit dirençli rotorlar için kabul edilebilir (A sınıfı ve D sınıfı tasarım), birisi değişken dirençli bir rotorun normal rotor direncini bulmak için uğraştığı zaman istenilen birçok şeyi göz ardı eder. Bu ve benzeri problemlerden dolayı büyük dikkatle bu deneylerden alınacak ölçüler üzerinde çalışılmalıdır.

Deney gerilimi ve frekansı ayarlandıktan sonra motorda akan akım hemen nominal akımı civarına ayarlanır ve rotor fazlasıyla ısınmadan giriş gücü, gerilimi ve akımı ölçülür. Motorun giriş gücü aşağıdaki gibi verilir:

$$P = \sqrt{3} V_T I_L \cos \theta$$

Böylece tutulu rotor güç faktörü aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$\text{PF} = \cos \theta = \frac{P_{\text{in}}}{\sqrt{3} V_T I_L} \quad (7-62)$$

Ve empedans açısı θ dir. Dolayısıyla $\cos^{-1}\text{PF}$ 'ye eşittir.

Bu anda motor devresindeki toplam empedansın büyüklüğü

$$|Z_{LR}| = \frac{V_{\phi}}{I_1} = \frac{V_T}{\sqrt{3} I_L} \quad (7-63)$$

Ve toplam empedans açısı θ dir. Buradan,

$$\begin{aligned} Z_{LR} &= R_{LR} + jX'_{LR} \\ &= |Z_{LR}| \cos \theta + j |Z_{LR}| \sin \theta \end{aligned} \quad (7-64)$$

Tutulu rotor reaktansı R_{LR} aşağıdaki ifadeye eşit olacaktır.

$$R_{LR} = R_1 + R_2 \quad (7-65)$$

$$X'_{LR} = X'_1 + X'_2 \quad (7-66)$$

Burada X'_1 ve X'_2 deney frekansındaki stator ve rotor reaktanslarıdır.

R_2 rotor direnci aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$R_2 = R_{LR} - R_1 \quad (7-67)$$

Buradaki R_1 DA deneyinden belirlenmiştir. Statora indirgenmiş toplam rotor reaktansı da bulunabilir. Reaktans frekansa doğru orantılı olduğundan normal çalışma frekansında toplam eşdeğer reaktans aşağıdaki gibi bulunur.

$$X_{LR} = \frac{f_{\text{rated}}}{f_{\text{test}}} X'_{LR} = X_1 + X_2 \quad (7-68)$$

Ne yazık ki stator ve rotor reaktanslarını birbirlerinden ayırmanın kolay bir yolu yoktur. Uzun yılların deneyimi; belirli tasarım tiplerindeki motorların rotor ve stator reaktansları arasında belirli oranların olduğunu göstermiştir. Şekil 7-55 bu deneyimi özetlemektedir. Normal pratikte reaktans tüm moment denklemlerinde $X_1 + X_2$ toplamı olarak görüldüğünden X_{LR} 'nin nasıl bulunduğuna konu edilmez.

Örnek 7-8. Aşağıdaki veriler 7.5-hp, dört kutuplu, 208-V, 60-Hz, A tasarım sınıfı, yıldız bağlı 28 A lik bir akıma sahip bir asenkron motordan alınmıştır.

	X_{LR} 'nin fonksiyonu olarak X_1 ve X_2	
Rotor Tasarımı	X_1	X_2
Bilezikli rotor	$0.5 X_{LR}$	$0.5 X_{LR}$
Tasarım A	$0.5 X_{LR}$	$0.5 X_{LR}$
Tasarım B	$0.4 X_{LR}$	$0.6 X_{LR}$
Tasarım C	$0.3 X_{LR}$	$0.7 X_{LR}$
Tasarım D	$0.5 X_{LR}$	$0.5 X_{LR}$

Şekil 7-55

Stator ve rotor reaktanslarını bölmek için yaklaşık hesap

DA deneyi

$$V_{DA} = 13.6 \text{ V}$$

$$I_{DA} = 28.0 \text{ A}$$

Boşta çalışma deneyi

$$V_T = 208 \text{ V}$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$I_A = 8.12 \text{ A}$$

$$P_{in} = 420 \text{ W}$$

$$I_B = 8.20 \text{ A}$$

$$I_C = 8.18 \text{ A}$$

Tutulu rotor deneyi:

$$V_T = 25 \text{ V}$$

$$f = 15 \text{ Hz}$$

$$I_A = 28.1 \text{ A}$$

$$P_{in} = 920 \text{ W}$$

$$I_B = 28.0 \text{ A}$$

$$I_C = 27.6 \text{ A}$$

(a) Bu motor için faz başına eşdeğer devreyi tasarlayınız

(b) Devrilme momentindeki kaymayı bulunuz ve devrilme momentinin kendisini bulunuz.

Çözüm

(a) DA deneyinden

$$R_1 = \frac{V_{DA}}{2I_{DA}} = \frac{13.6 \text{ V}}{2(28.0 \text{ A})} = 0.243 \Omega$$

bulunur. Boşta çalışma deneyinden

$$I_{L,av} = \frac{8.12 \text{ A} + 8.20 \text{ A} + 8.18 \text{ A}}{3} = 8.17 \text{ A}$$

$$V_{\phi,nl} = \frac{208 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 120 \text{ V}$$

elde edilir. Dolayısıyla,

$$|Z_{nl}| = \frac{120 \text{ V}}{8.17 \text{ A}} = 14.7 \Omega = X_1 + X_M$$

X_I bilindiği zaman X_M bulunabilir. Stator bakır kayıpları

$$P_{SCL} = 3I_1^2 R_1 = 3(8.17 \text{ A})^2(0.243 \Omega) = 48.7 \text{ W}$$

gibidir. Dolayısıyla boştaki dönme kayıpları

$$\begin{aligned} P_{\text{rot}} &= P_{\text{in,nl}} - P_{\text{SCL,nl}} \\ &= 420 \text{ W} - 48.7 \text{ W} = 371.3 \text{ W} \end{aligned}$$

bulunur. Tutulu rotor deneyinden

$$I_{L,\text{av}} = \frac{28.1 \text{ A} + 28.0 \text{ A} + 27.6 \text{ A}}{3} = 27.9 \text{ A}$$

yazılır. Tutulu rotor empedansı

$$|Z_{LR}| = \frac{V_\phi}{I_A} = \frac{V_T}{\sqrt{3}I_A} = \frac{25 \text{ V}}{\sqrt{3}(27.9 \text{ A})} = 0.517 \Omega$$

ve empedans açısı θ aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \theta &= \cos^{-1} \frac{P_{\text{in}}}{\sqrt{3}V_T I_L} \\ &= \cos^{-1} \frac{920 \text{ W}}{\sqrt{3}(25 \text{ V})(27.9 \text{ A})} \\ &= \cos^{-1} 0.762 = 40.4^\circ \end{aligned}$$

Dolayısıyla, $R_{LR} = 0.517 \cos 40.4^\circ = 0.394 \Omega = R_I + R_2$. $R_I = 0.243 \Omega$ olduğundan $R_2 = 0.151 \Omega$ olmalıdır. 15 Hz'deki reaktans

$$X'_{LR} = 0.517 \sin 40.4^\circ = 0.335 \Omega$$

şeklinde. 60 Hz'deki eşdeğer reaktans

$$X_{LR} = \frac{f_{\text{rated}}}{f_{\text{test}}} X'_{LR} = \left(\frac{60 \text{ Hz}}{15 \text{ Hz}} \right) 0.335 \Omega = 1.34 \Omega$$

olur. A tasarım sınıfı asenkron motorlar için bu reaktansın rotor ve stator arasında eşit olarak bölündüğü kabul edilir, böylece

$$X_1 = X_2 = 0.67 \Omega$$

$$X_M = |Z_{nl}| - X_1 = 14.7 \Omega - 0.67 \Omega = 14.03 \Omega$$

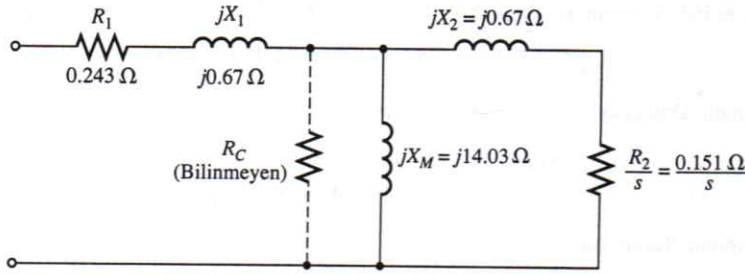
Faz başına sonuç eşdeğer devre şekil 7-56 da gösterilmektedir.

(b) Bu eşdeğer devre için Thevenin eşdeğerleri Denklem (7-41b), (7-44) ve (7-45)'den bulunabilir.

$$V_{TH} = 114.6 \text{ V} \quad R_{TH} = 0.221 \Omega \quad X_{TH} = 0.67 \Omega$$

Dolayısıyla devrilme momentindeki kayma aşağıdaki gibi verilir.

$$s_{\text{max}} = \frac{R_2}{\sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X_2)^2}} \quad (7-53)$$



ŞEKİL 7-56

Örnek 7-8 için motorun bir faz eşdeğer devresi

$$= \frac{0.151 \Omega}{\sqrt{(0.243 \Omega)^2 + (0.67 \Omega + 0.67 \Omega)^2}} = 0.111 = 11.1\%$$

Bu motorun maksimum momenti aşağıdaki gibi verilir.

$$\begin{aligned} \tau_{\max} &= \frac{3V_{TH}^2}{2\omega_{\text{sync}}[R_{TH} + \sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X)^2}]} \\ &= \frac{3(114.6 \text{ V})^2}{2(188.5 \text{ rad/s})[0.221 \Omega + \sqrt{(0.221 \Omega)^2 + (0.67 \Omega + 0.67 \Omega)^2}]} \\ &= 66.2 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned} \quad (7-54)$$

7.12 ASENKRON GENERATÖR

Şekil 7-20'deki moment-hız karakteristik eğrisine göre, asenkron motor harici bir hareket kaynağı ile n_{sync} hızından *daha yüksek* bir hızda sürülürse, indüklenen momentinin yönü ters olacak ve makina generatör olarak davranacaktır. Birincil hareket ettirici ile miline uygulanan moment arttıkça asenkron generatör tarafından üretilen güç miktarı artar. Şekil 7-57'de gösterildiği gibi generatör çalışma modunda indüklenmesi olası maksimum bir moment vardır. Bu moment generatörün *pushover momenti* olarak bilinir. Eğer birincil hareket ettirici, asenkron generatörün miline pushover momentten daha büyük bir moment uygularsa generatör aşırı hızlanacaktır.

Bir generatör olarak bir asenkron makina birçok sınırlamalara sahiptir. Aynı bir uyarma devresi olmadığından bir asenkron generatör reaktif güç üretemez. Aslında reaktif güç tüketir ve harici bir reaktif güç kaynağı stator manyetik alanı sağlamak üzere tüm zamanlarda bağlı olmalıdır. Bu harici reaktif güç kaynağı generatörün uç gerilimini de kontrol etmelidir-uyarma akımsız bir asenkron generatör kendi çıkış gerilimini kontrol edemez. Normal olarak generatörün gerilimi bağlı olduğu harici güç sistemiyle sürdürülür.

Bir asenkron generatörün en büyük avantajı basitliğidir. Bir asenkron generatör ayrı bir uyarma devresi gerektirmez ve belirli bir hızda sürekli olarak sürülme ihtiyacı yoktur. Makinanın hızı bağlandığı güç sisteminin n_{sync} sinden daha büyük