

ELEKTRİK MAKİNALARI LABORATUVARI

1

DENEY FÖYÜ



2011

KONYA

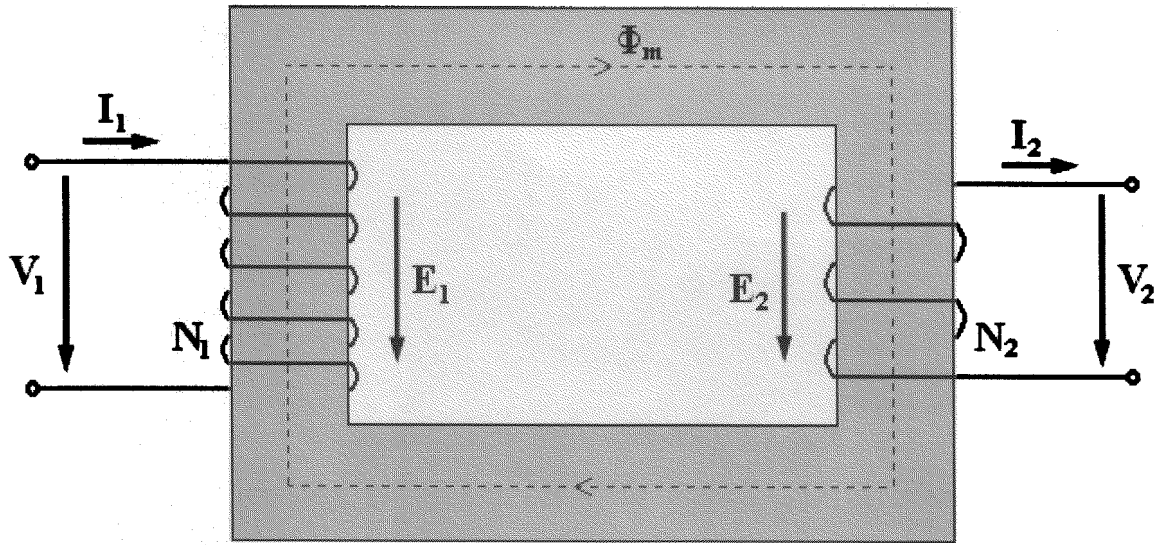
İÇİNDEKİLER

1. Deney : Bir Fazlı Transformatör Deneyleri	1
2. Deney : Üç Fazlı Transformatör Deneyleri	13
3. Deney : D.A. Motor Deneyleri	19
4. Deney : D.A. Jeneratör Deneyleri.....	37
5. Deney : Asenkron Motor Deneyleri.....	57
6. Deney : Senkron Makine Deneyleri.....	67

1. BİR FAZLI TRANSFORMATÖR DENEYLERİ

1.1. Deney Hakkında Genel Bilgiler

Transformatörler genellikle manyetik saç paketleri üzerine sarılmış iki sargıdan oluşur. Transformatör birinci (primer) sargısına uygulanan alternatif gerilimi, manyetik akı yolu ile ikinci (sekonder) bir sargıya ileten elektrik makinesidir. İletim esnasında gerilimin frekansı aynı kalır. İkinci sargıdaki gerilimin değeri birinci ve ikinci sargının sarım sayılarına bağlı olarak değişir. Gerilimin büyük olduğu sargıya üst gerilim sargısı, gerilimin düşük olduğu sargıya da alt gerilim sargısı denir. Çıkıştaki gerilimi ayar edebilmek için primer ve sekonder sargılarına ek olarak yardımcı sargılar eklenilmektedir. Bazı transformatörlerde ise sekonder sargısının uçları sarım sayısını değiştirmek için aynı sargının farklı sayıdaki sarımlardan çıkartılmaktadır. Şekil1.1'de transformatörün basit yapısı, uygulanan gerilimin yönü, oluşan manyetik akı, indüklenen gerilimin yönü ve akımların yönleri gösterilmiştir.



Şekil1.1. İki sargılı transformatörün basit yapısı.

Deneylerde kullanılacak semboller ve açıklamaları aşağıda verilmiştir:

V_1, V_2 : Üst ve alt sargılarının uçlarındaki gerilimler,

E_1, E_2 : Üst ve alt sargılarda indüklenen gerilimler,

I_1, I_2 : Üst ve alt sargılarından geçen akımlar,

N_1, N_2 : Üst ve alt sargılarının sarım sayıları,

Φ_m : Uygulanan alternatif gerilim sonucu oluşan manyetik akı,

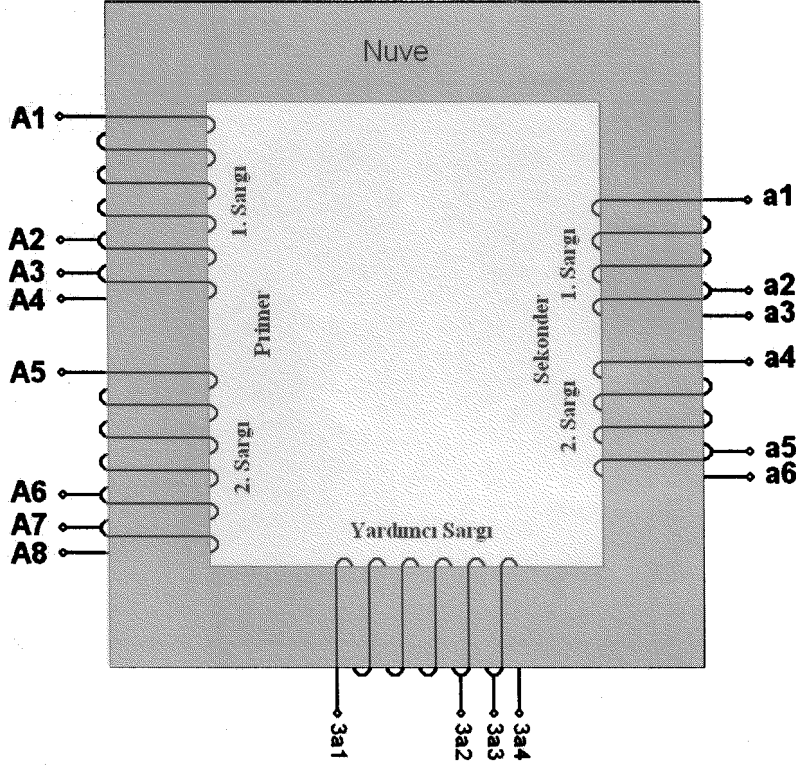
I_m, I_{Fe} : Manyetizasyon akımı, Demir kaybı akımı,

I_0, I_k : Boşata ve Kısa devre akımı,

P_1, P_2 : Üst ve alt sargılarına ait aktif güçler,

P_{Fe}, P_{Cu} : Demir ve Bakır kayıpları.

Bölümümüzde kullanılan deney setlerindeki transformatörlerde primer ve sekonder sargılarının yanı sıra üçüncü bir sargı olarak yardımcı sargı mevcuttur. Ayrıca hem primer hem de sekonder sargıları iki parça bobinden oluşmaktadır. Sargının son kısımlarında da farklı sayım sayılarında uçlar çıkartılmıştır. Setlerdeki transformatörlerin sargıları Şekil1.2’de verilmiştir. Deneylerde primer ve sekonderin iki bobininin beraber kullanılabilmesi için primerde A4 ile A5, sekonderde a3 ile a4 kısa devre edilerek bobinler seri bağlanacaktır. Buna göre deneyler primer için A1-A8, sekonder için a1-a6 uçları kullanılarak yapılacaktır.



Şekil1.2. Bölümümüzdeki deney setlerinde kullanılan transformatörün yapısı.

Transformatörün etiket değerleri:

$V_{Nominal}$: 220 V, $I_{Nominal}$: 4.2 A, $S_{Nominal}$: 1000VA, f: 50Hz.

1.2. Boşta Çalışma Deneyi

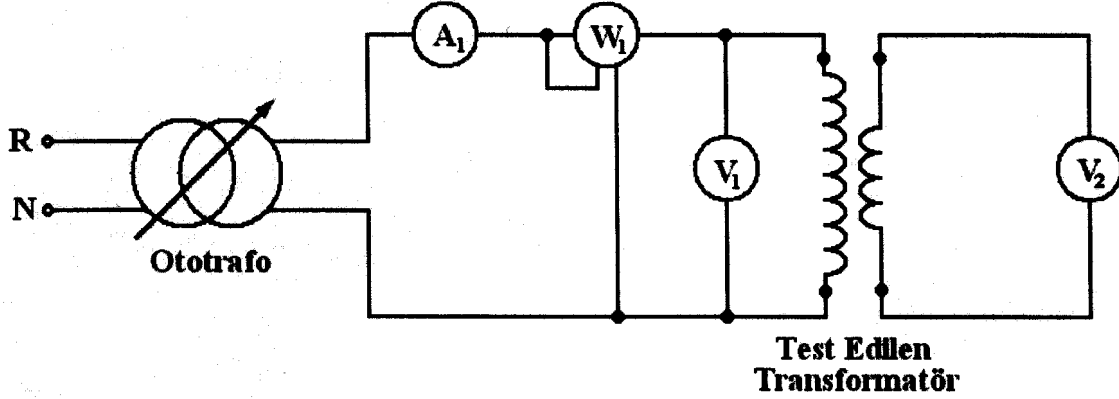
1.2.1. Amaç

Boşta çalışma deneyinde amaç boşta çalışma kayıpları, mıknatıslama akımı, demir kaybı akımı, demir açısı ve transformatörün boştaki değiştirme oranını tayin etmektir.

1.2.2. Deneyin yapılışı

Boşta çalışma deneyi, primer ya da sekonder tarafından yapılabilir. Primer tarafından yapılan deney; primer sargısına primerin nominal gerilimi uygulanarak ve sekonderi boşta bırakılarak, sekonder tarafından yapılan deney ise; sekonder sargısına sekonder nominal gerilimi

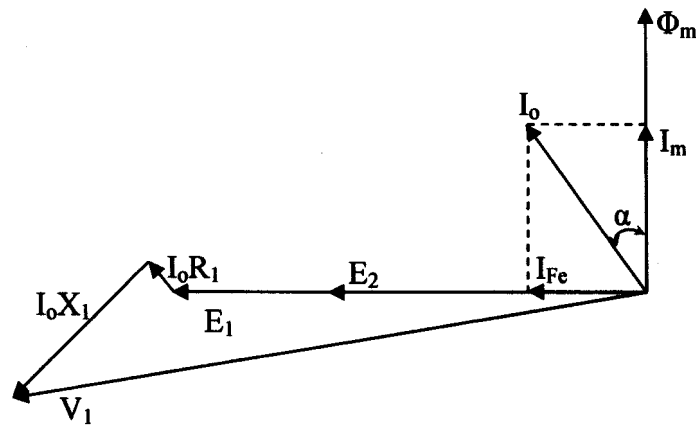
uygulanarak ve primeri boşa bırakılarak yapılır. Bu durumda okunan değerler boşa çalışma değerleridir. Bu derste deneyler primer tarafından yapılacaktır. Transformatorün primer tarafından yapılan deney bağlantı şeması Şekil1.3’de verilmiştir.



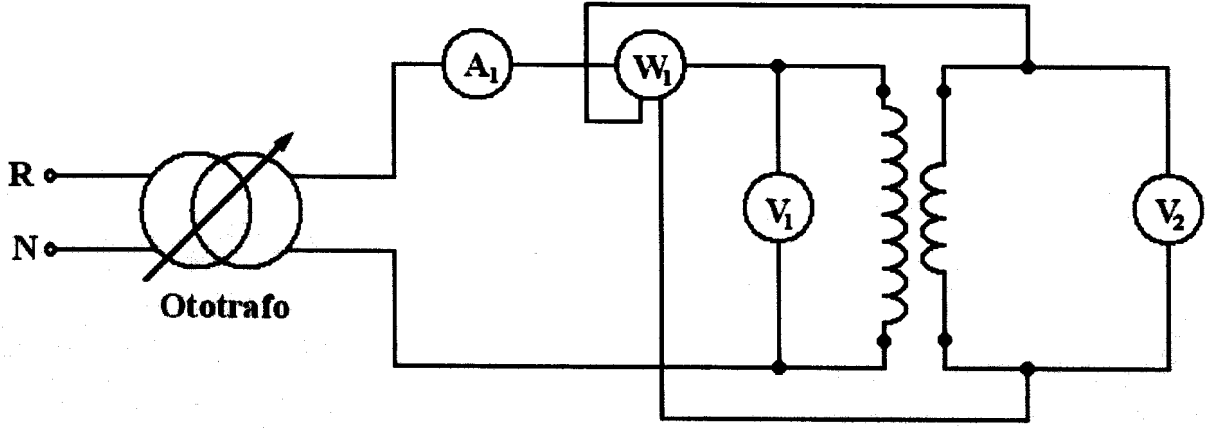
Şekil1.3. Boşa çalışma deneyi bağlantı şeması.

Transformatorün boşa çektiği I_o akımı çok küçük olduğundan primer sargılarında oluşan bakır kayıpları ($P_{Cu} = I_o^2 \cdot R_1$) ihmal edilir. Dolayısıyla wattmetreden okunan P_o gücü demir kayıpları olarak alınır. Demir kayıpları, histerezis ve fukoult kayıplarından oluşur ve bu kayıplar boşa çekilen I_o akımının aktif bileşeni olan I_e tarafından karşılanır. I_o 'ın reaktif bileşeni I_m ise mıknatıslanmayı sağlar. I_o ile reaktif bileşeni I_m arasındaki açıya demir açısı denir. Bu açı transformatorde kullanılan saçların kalitesi ve dolayısıyla demir kayıplarının büyüklüğünü gösterir. Bu açının tam olarak bulunabilmesi için wattmetrenin gerilim bobinleri sekonder gerilimine bağlanır. Bu bağlantı Şekil1.5’de verilmiştir. Bu bağlantıda okunan değerlerden demir açısı Denklem1.1 kullanılarak hesaplanır. Demir açısı Şekil 1.4’deki boşa çalışma vektör diyagramından görülebilir.

$$\sin\alpha = \frac{P_1}{I_1 \cdot V_2} \quad (1.1)$$



Şekil1.4. Boşa çalışmada vektör diyagramı.



Şekil1.5. Boşta çalışmada demir açısı hesabı için gerekli bağlantı şeması.

Adım adım deneyin yapılışı:

- 1- Bağlantıyı Şekil1.3'e göre uygun ölçü aletleri seçerek kurunuz.
- 2- Ototrafonun ayar kolu 0'da iken panoyu ve setin ana şalterini açınız.
- 3- Primere uygulanan gerilimi sıfırdan başlayıp Tablo1.1'deki gerilim değerlerine göre artırarak ölçü aletlerindeki değerleri okuyunuz ve tabloya yazınız.
- 4- Deney setinin şalterini kapatınız. Ototrafonun ayar kolunu 0'a getiriniz.
- 5- Demir açısının hesabı için Şekil1.5'deki bağlantıyı kurunuz.
- 6- Deney setinin şalterini açınız.
- 7- Primer gerilimi 220V için değerleri tabloya kaydediniz.
- 8- Deney setinin şalterini kapatınız. Ototrafonun ayar kolunu 0'a getiriniz.
- 9- Primer ve sekonderin sargı dirençlerini ölçünüz.

R1 (primer sargı direnci) =

R2 (sekonder sargı direnci) =

Tablo1.1. Boşata çalışma deneyi için değer ve hesaplama tablosu.

V_1 [V]	0	50	100	150	200	220	Demir Açısı için (220V)
A_1 [A]							
P_1 [W]							
V_2 [V]							
$\cos\phi_0$							
P_{Cu}							
P_{Fe}							

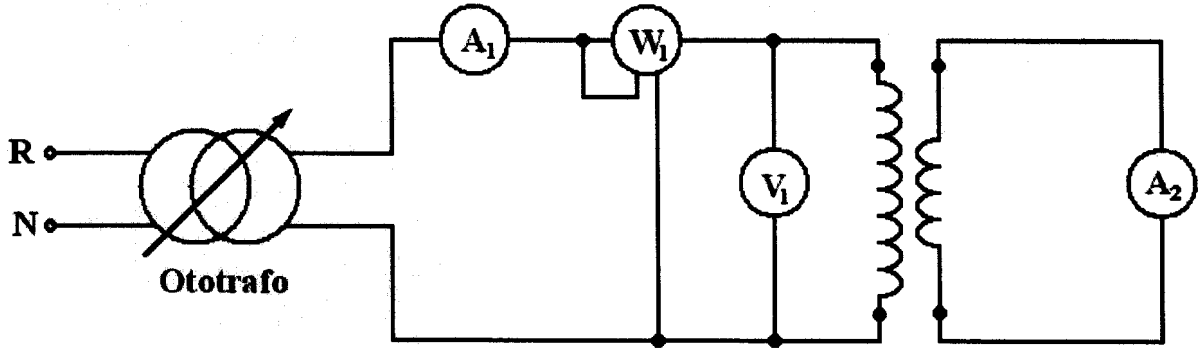
1.3. Kısa Devre Deneyi

1.3.1. Amaç

Kısa devre deneyinde amaç transformatörün bakır kayıplarını, eşdeğer direnç ve eşdeğer reaktans değerlerinin hesaplanmasıdır.

1.3.2. Deneyin yapılışı

Kısa devre deneyi; transformatörün bir tarafı kısa devre edilerek, diğer tarafına sıfırdan başlayarak kısa devre edilen koldaki ampermetrelerden nominal akım geçinceye kadar gerilim uygulanmasıyla yapılır. Kısa devre edilen koldaki ampermetrelerden nominal akım geçtiği andaki değerler kısa devre değerleridir. Bu derste deneyler primer tarafından yapılacaktır. Transformatörün primer tarafından yapılan deney bağlantı şeması Şekil1.6'da verilmiştir.



Şekil1.6. Boşta çalışma deneyi bağlantı şeması.

Adım adım deneyin yapılışı:

- 1- Bağlantıyı Şekil1.6'ya göre uygun ölçü aletleri seçerek kurunuz.
- 2- Ototrafonun ayar kolu 0'da iken setin ana şalterini açınız.
- 3- İkinci ampermetreyi gözleyerek primere uygulanan gerilimi çok küçük aralıklarla artırınız. Tablo1.2'deki akım değerlerine göre ölçü aletlerindeki değerleri tabloya yazınız.
- 4- Deney setinin şalterini kapatınız. Ototrafonun ayar kolunu 0'a getiriniz.

Tablo1.2. Kısa devre deneyi için değer ve hesaplama tablosu.

V_1 [V]						
A_1 [A]	0	1	2	3	4	4.2
P_1 [W]						
A_2 [A]						
$\cos\phi_k$						

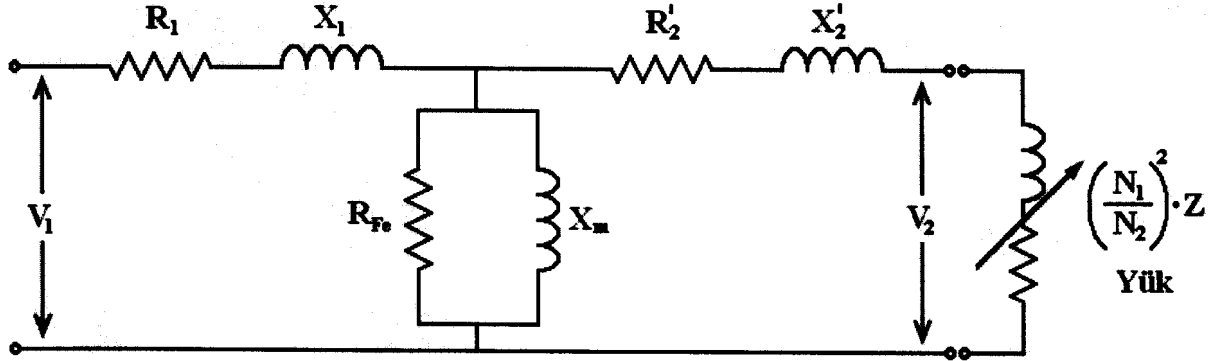
1.4. Transformatörün Eşdeğer Devre Parametrelerinin Bulunması

1.4.1. Amaç

Bu deneyin amacı; transformatörün boşa çalışma ve kısa devre deneylerinden alınan değerlerden yararlanarak, transformatörün eşdeğer devre parametrelerini hesaplamaktır.

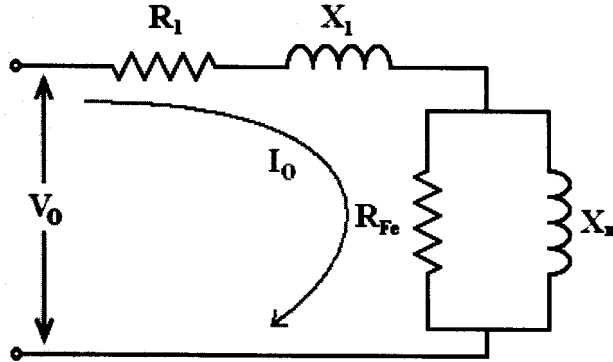
1.4.2. Deney hakkında teorik bilgi

Transformatörün primere indirgenmiş eşdeğer devresi Şekil1.7’de görülmektedir.



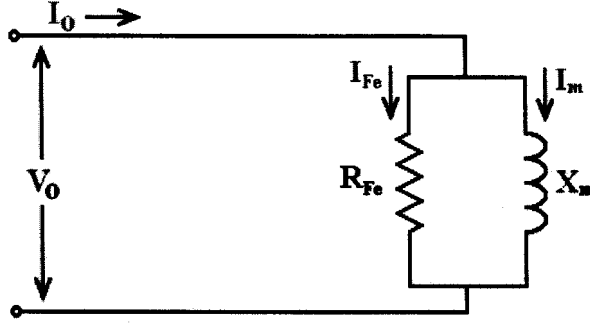
Şekil1.7. Transformatörün primere indirgenmiş eşdeğer devresi.

Boşa çalışma deneyinden demir kayıplarını temsil eden direnci R_{Fe} ve mıknatıslanma indüktansı X_m hesaplanır. Boşa çalışmada sekonderden akım geçmediği için akım yolu Şekil1.8’deki gibi olacaktır.



Şekil1.8. Transformatörün boşa çalışma deneyindeki akım yolu.

Boşa çalışmada akım çok küçük olacağından dolayı R_1 ve X_1 ihmal edilebilir. Bu durumda devre Şekil1.9’daki hale gelecektir.



Şekil1.9. Transformatörün boшта çalışmada R_1 ve X_1 'in ihmal edilmiş hali.

Bu durumda boшта çalışma deneyinde okunan güç R_{Fe} üzerindeki kayıp gücü verecektir. Çünkü wattmetre aktif gücü okumaktadır. Aktif güç de ohmik yük üstünde harcanan güçtür. Bu ifadeden R_{Fe} Denklem 1.2'deki gibi hesaplanır.

$$R_{Fe} = \frac{V_o^2}{P_o} \quad (1.2)$$

R_{Fe} değerinin bulunması ile I_{Fe} değeri Denklem 1.3'deki gibi hesaplanır.

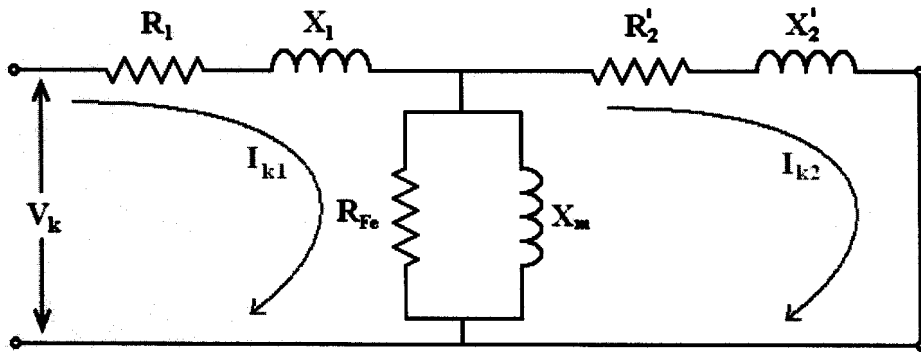
$$I_{Fe} = \frac{V_o}{R_{Fe}} \quad (1.3)$$

I_{Fe} değerinin bulunması ile I_m değeri Denklem 1.4'deki gibi ve sonrasında X_m değeri de Denklem 1.5'den hesaplanır.

$$I_m = \sqrt{I_o^2 - I_{Fe}^2} \quad (1.4)$$

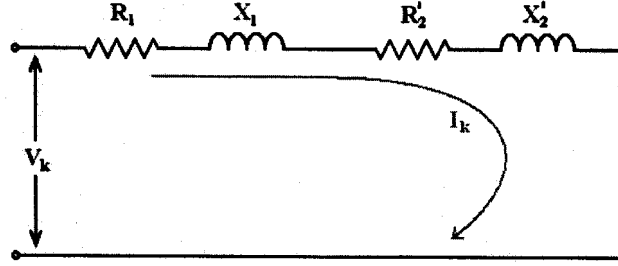
$$X_m = \frac{V_o}{I_m} \quad (1.5)$$

Kısa devre deneyinden primer sargı direnci R_1 , sekonder sargı direnci R_2 , primer indüktansı X_1 ve sekonder indüktansı X_2 elde edilir. Kısa devre deneyinde eşdeğer devredeki her iki gözde akım geçeceğinden akım yolları Şekil1.10'daki gibi olacaktır.



Şekil1.10. Transformatörün kısa devre deneyindeki akım yolları.

Burada primere indirgeme yapıldığı için $R'_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot R_2$ ve $X'_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot X_2$ şeklinde ifade edilir. Kısa devre deneyinde V_k gerilimi çok küçük olduğundan R_{Fe} ve X_m ihmal edilir. Bu durumda devre Şekil.11'deki hale gelecektir.



Şekil.11. Transformatörün kısa devre deneyi hesaplamaları için R_{Fe} ve X_m 'nin ihmal edilmiş hali.

Bu durumda kısa devre deneyinde okunan güç primer ve sekonder dirençleri R_1 ve R'_2 üzerindeki kayıp gücü verecektir. Primer ve sekonderin dirençlerinin toplamı Denklem 1.6'daki gibi hesaplanır.

$$R_1 + R'_2 = \frac{P_k}{I_k^2} \quad (1.6)$$

Primer sargı direnci R_1 ile sekonder sargı direnci R'_2 'nin yaklaşık olarak eşit olduğu kabul edilirse R_1 ve R'_2 Denklem 1.7'den hesaplanır.

$$R_1 \cong R'_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_k}{I_k^2} \quad (1.7)$$

Denklem 1.8'den kısa devredeki empedans değeri Z_k bulunur.

$$Z_k = \frac{V_k}{I_k} \quad (1.8)$$

Benzer şekilde primer sargı indüktansı X_1 ile sekonder sargı indüktansı X'_2 'nin yaklaşık olarak eşit olduğu kabul edilirse X_1 ve X'_2 Denklem 1.9'dan hesaplanır.

$$X_1 \cong X'_2 = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{Z_k^2 - (R_1 + R_2)^2} \quad (1.9)$$

1.5. Yüklü Çalışma Deneyi

1.5.1. Amaç

Yüklü çalışma deneyinde amaç; transformatörün sabit primer gerilimde transformatöre bağlanan ohmik yükteki değişmelere göre transformatör veriminin incelenmesi ve regülasyonunun hesaplanmasıdır.

1.5.2. Deney hakkında teorik bilgi

Transformatörlerde verim, çıkış gücünün giriş gücüne oranlanmasıyla bulunur. Transformatörlerin verimi genellikle çok yüksek olduğu için deneylerde her iki tarafa bağlanan wattmetrelerin gösterdiği değerler birbirine çok yakın olacaktır. Ölçü aletlerinin hataları ve ölçme hatası göz önünde bulundurulduğunda verimin yanlış çıkması söz konusudur. Bu sebepten transformatörlerin yüklenerek ölçü aletlerinden verimlerinin bulunması pek geçerli değildir. Verimin daha düzgün bulunabilmesi için kayıplardan faydalanılır. Kayıplar kullanılarak verim, Denklem 1.10'daki gibi hesaplanır.

$$\eta = \frac{P_1 - (P_{Cu} + P_{Fe})}{P_1} \cdot 100 \quad (1.10)$$

Transformatörlerde regülasyon, yükün değerine değişiklik gösterir ve belirli bir güç faktörü değerine göre hesabı; sekonderin boştaki ve tam yükteki gerilim değerleri farkının tam yükteki gerilim değerine oranlanmasıyla bulunur (yüzde olarak, Denklem 1.11).

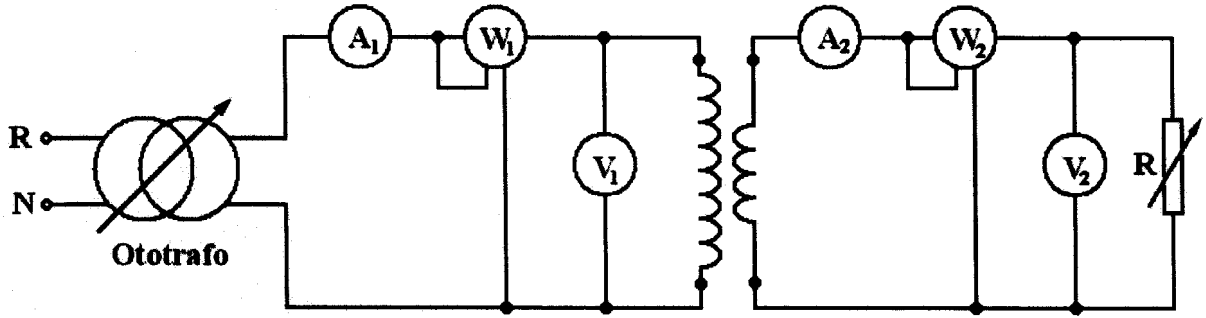
$$\text{Re } g = \frac{U_{20} - U_2}{U_2} \cdot 100 \quad (1.11)$$

U_{20} gerilimi boşta çok az bir hata ile primer geriliminin dönüştürme oranı ile çarpımına $\left(U_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} \right)$ eşittir. Bu durumda regülasyon yüzde olarak Denklem 1.12'deki gibi bulunur.

$$\text{Re } g = \frac{U_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} - U_2}{U_2} \cdot 100 \quad (1.12)$$

1.5.3. Deneyin yapılışı

Yüklü çalışma deneyi için ohmik yük kullanılacaktır. Deney boyunca primere etiketinde yazan nominal gerilim değeri uygulanarak, nominal akım değerinin 1.2 katına kadar çeşitli kademelerde yüklemeler yapılacaktır. Her bir kademe için değerler kaydedilecek ve bu değerler ile hem kayıplar hem de direk primer ve sekonder wattmetrelerinden okunan değerler ile verim hesabı yapılacaktır. Ayrıca her bir kademe için regülasyon hesapları yapılacaktır. Yüklü çalışma için deney bağlantı şeması Şekil 1.12'de verilmiştir.



Şekil1.12. Yüklü çalışma deneyi bağlantı şeması.

Adım adım deneyin yapılışı:

- 1- Bağlantı Şekil1.12'ye göre uygun ölçü aletleri seçerek kurunuz.
- 2- Ototrafonun ayar kolu 0'da iken setin ana şalterini açınız.
- 3- Ölçü aletlerini kontrol ederek ototrafo ayar kolu ile primer gerilimini nominal seviyesine gelinceye artırmınız.
- 4- Tablo1.3'deki direnç kademelerine göre akım nominal akımın 1.2 katı olana kadar transformatöre yük olarak bağlanan direnç kutusundaki dirençleri sırasıyla devreye alınız. Her bir kademe için ölçü aletlerindeki değerleri Tablo1.3'e kaydediniz.
- 5- Deney setinin şalterini kapatınız. Ototrafonun ayar kolunu 0'a getiriniz.

Tablo1.3. Yüklü çalışma deneyi için değer ve hesaplama tablosu.

Yük	∞	3//	6//	9//	12//	
V ₁ [V]						
A ₁ [A]						
P ₁ [W]						
V ₂ [V]						
A ₂ [A]						
P ₂ [W]						
Cosφ						
η (P ₂ /P ₁)						
η (kayıpla)						

1.6. Raporda İstenilenler

1.6.1. Çizilecek grafikler

1. Boşta çalışma deneyinde boşta çekilen gücün gerilime göre değişimini çiziniz $P_o = f(V_o)$.
2. Kısa devre deneyinde çekilen gücün gerilime göre değişimini çiziniz $P_k = f(V_k)$.
3. Kısa devre deneyinde kısa devre akımının gerilime göre değişimini çiziniz $I_k = f(V_k)$.
4. Yüklü çalışma deneyi değerleri ile verimin transformatörden çekilen güce göre değişimini çiziniz $\eta = f(P_1)$.
5. Yüklü çalışma deneyi değerleri ile çıkış geriliminin transformatörden çekilen güce göre değişimini çiziniz $V_2 = f(P_1)$.

1.6.2. Cevaplandırılacak sorular

1. Transformatörün demir açısını hesaplayınız.
2. Boştaki bakır kayıplarını hesaplayınız. Boştaki kayıplardan bakır kayıplarını çıkarıp hakiki nüve kayıplarını bulunuz ve tabloya yazınız.
3. Boşta çalışma ve kısa devre deneylerinden elde edilen sonuçlara göre transformatörün primere indirgenmiş eşdeğer devre parametrelerini hesaplayıp eşdeğer devre üzerinde gösteriniz.
4. Transformatörün kısa devre deneyi değerlerinden hesaplanan sargı direnci değerleri ile direk olarak ölçülen sargı direnci değerlerini oranlayınız. Ölçülen dirençlerle hesaplanan değerler arasındaki farkın nereden kaynaklandığını yazınız.
5. Tam yükün üzerinde bir yüklenme söz konusu olursa verim nasıl değişir? Açıklayınız.
6. Tam ohmik yük için nominal yükteki regülasyonu hesaplayınız.

Deney Sorumlusuna Teslim Edilecek Tablolar

Deney grubu:

Tarih:

Deney sorumlusu:

Onay:

Tablo1.1. Boşata çalışma deneyi için değer ve hesaplama tablosu

V_1 [V]	0	50	100	150	200	220	Demir Açısı için (220V)
A_1 [A]							
P_1 [W]							
V_2 [V]							
$\text{Cos}\phi_0$							
P_{Cu}							
P_{Fe}							

Tablo1.2. Kısa devre deneyi için değer ve hesaplama tablosu

V_1 [V]							
A_1 [A]	0	1	2	3	4	4.2	
P_1 [W]							
A_2 [A]							
$\text{Cos}\phi_k$							

Tablo1.3. Yüklü çalışma deneyi için değer ve hesaplama tablosu

Yük							
V_1 [V]							
A_1 [A]							
P_1 [W]							
V_2 [V]							
A_2 [A]							
P_2 [W]							
$\text{Cos}\phi$							
$\eta (P_2/P_1)$							
η (kayıpla)							

2. ÜÇ FAZLI TRANSFORMATÖR DENEYLERİ

2.1. Deney Hakkında Genel Bilgiler

2.1.1. Tek Fazlı Transformatörlerde Çeşitli Bağlantılar

Transformatörlerin primer ve sekonder sargıları genellikle iki veya daha fazla sargıdan oluşmaktadır. Bu sayede, transformatörlerin primer ve sekonder sargıları seri ve paralel bağlanarak transformatörlerin akım ve gerilim değerlerinin değiştirilmesi sağlanmaktadır. Fakat transformatörlerin primer ve sekonder sargılarının uygun olarak farklı şekillerde bağlanması bazı metotlarla mümkündür. Bu metotlardan en pratik olanı ise transformatörün sargı uçlarının her bağlantısında açıkta kalan sargı uçlarının gerilimlerinin bir voltmetre ile ölçülmesidir. Bununla birlikte polaritesi belli olan transformatörlerin çeşitli bağlantıları doğrudan doğruya da yapılabilir. Transformatörlerin çeşitli bağlantılarında yukarıda bahsedilen metotlara dikkat edilmediğinde transformatör sargılarının kısa devre olması ihtimal dahilindedir.

2.1.2. Üç Fazlı Transformatörlerin Yüklü Çalışması

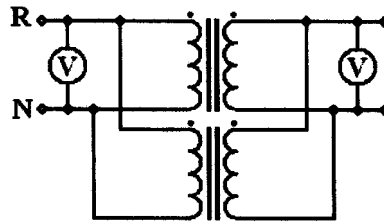
Üç fazlı transformatörlerde verim, çıkış gücünün giriş gücüne oranlanmasıyla bulunur. Transformatörlerin verimlerinin genellikle çok yüksek olmasından ve dolayısıyla her iki tarafa bağlanan wattmetrelerin gösterdiği değerlerin birbirine çok yakın olacağından dolayı transformatörlerde verimin daha düzgün bulunabilmesi için kayıplardan faydalanılır.

2.2. Transformatörlerde Çeşitli Bağlantılar Deneyi

2.2.1. Amaç

Tek fazlı transformatörlerin kendi aralarında paralel ve üç fazlı devrelerde çeşitli şekillerde bağlanmalarının öğrenilmesini sağlamaktır.

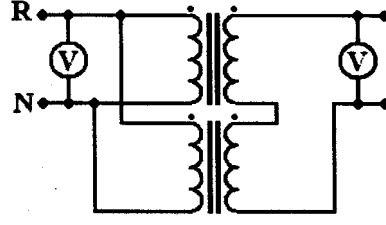
2.2.2. Deneyin Yapılışı



Şekil2.1 Bağlantı 1 için deney bağlantı şeması.

Bağlantı 1 :

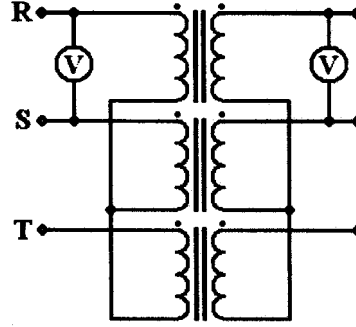
- 1- İki benzer bir fazlı transformatörün primerlerini ve sekonderlerini paralel bağlayınız.
- 2- Oto trafonun ayar kolu 0'da iken setin ana şalterini açınız.
- 3- Ölçü aletlerini kontrol ederek oto trafo ayar kolu ile primer gerilimini nominal seviyesine gelinceye artırınız.
- 4- Primer ve sekonder tarafının arası gerilimlerini Tablo2.1'e kaydediniz.
- 5- Deney setinin şalterini kapatınız. Oto trafonun ayar kolunu 0'a getiriniz.



Şekil2.2 Bağlantı 2 için deney bağlantı şeması.

Bağlantı 2 :

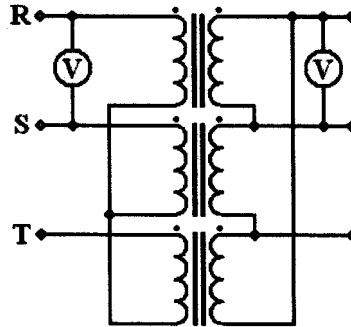
- 1- İki benzer bir fazlı transformatörün primerlerini paralel, sekonderlerini seri bağlayınız.
- 2- Oto trafonun ayar kolu 0'da iken setin ana şalterini açınız.
- 3- Ölçü aletlerini kontrol ederek oto trafo ayar kolu ile primer gerilimini nominal seviyesine gelinceye artırınız.
- 4- Primer ve sekonder tarafının arası gerilimlerini Tablo2.1'e kaydediniz.
- 5- Deney setinin şalterini kapatınız. Oto trafonun ayar kolunu 0'a getiriniz.



Şekil2.3 Bağlantı 3 için deney bağlantı şeması.

Bağlantı 3 :

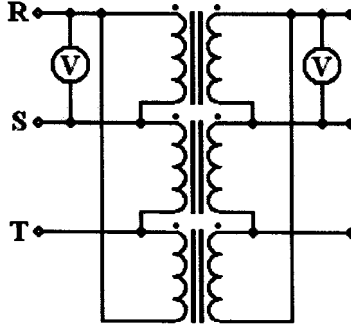
- 1- Üç benzer bir fazlı transformatörün primerlerini ve sekonderlerini yıldız bağlayınız.
- 2- Oto trafonun ayar kolu 0'da iken setin ana şalterini açınız.
- 3- Ölçü aletlerini kontrol ederek oto trafo ayar kolu ile primer gerilimini nominal seviyesine gelinceye artırınız.
- 4- Primer ve sekonder tarafından bir faz için faz-faz arası gerilimleri Tablo2.1'e kaydediniz.
- 5- Deney setinin şalterini kapatınız. Oto trafonun ayar kolunu 0'a getiriniz.



Şekil2.4 Bağlantı 4 için deney bağlantı şeması.

Bağlantı 4 :

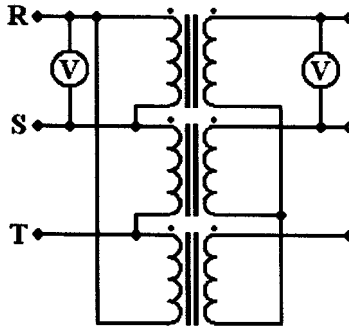
- 1- Üç benzer bir fazlı transformatörün primerlerini yıldız ve sekonderlerini üçgen bağlayınız.
- 2- Oto trafonun ayar kolu 0'da iken setin ana şalterini açınız.
- 3- Ölçü aletlerini kontrol ederek oto trafo ayar kolu ile primer gerilimini nominal seviyesine gelinceye artırınız.
- 4- Primer ve sekonder tarafından bir faz için faz-faz arası gerilimleri Tablo2.1'e kaydediniz.
- 5- Deney setinin şalterini kapatınız. Oto trafonun ayar kolunu 0'a getiriniz.



Şekil2.5 Bağlantı 5 için deney bağlantı şeması.

Bağlantı 5 :

- 1- Üç benzer bir fazlı transformatörün primerlerini ve sekonderlerini üçgen bağlayınız.
- 2- Oto trafonun ayar kolu 0'da iken setin ana şalterini açınız.
- 3- Ölçü aletlerini kontrol ederek oto trafo ayar kolu ile primer gerilimini nominal seviyesine gelinceye artırınız.
- 4- Primer ve sekonder tarafından bir faz için faz-faz arası gerilimleri Tablo2.1'e kaydediniz.
- 5- Deney setinin şalterini kapatınız. Oto trafonun ayar kolunu 0'a getiriniz.

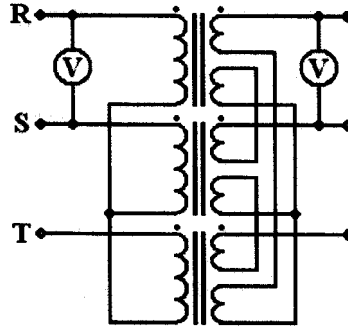


Şekil2.6 Bağlantı 6 için deney bağlantı şeması.

Bağlantı 6 :

- 1- Üç benzer bir fazlı transformatörün primerlerini üçgen ve sekonderlerini yıldız bağlayınız.
- 2- Oto trafonun ayar kolu 0'da iken setin ana şalterini açınız.
- 3- Ölçü aletlerini kontrol ederek oto trafo ayar kolu ile primer gerilimini nominal seviyesine gelinceye artırınız.

- 4- Primer ve sekonder tarafından bir faz için faz-faz arası gerilimleri Tablo2.1'e kaydediniz.
- 5- Deney setinin şalterini kapatınız. Oto trafonun ayar kolunu 0'a getiriniz.



Şekil2.7 Bağlantı 7 için deney bağlantı şeması.

Bağlantı 7 :

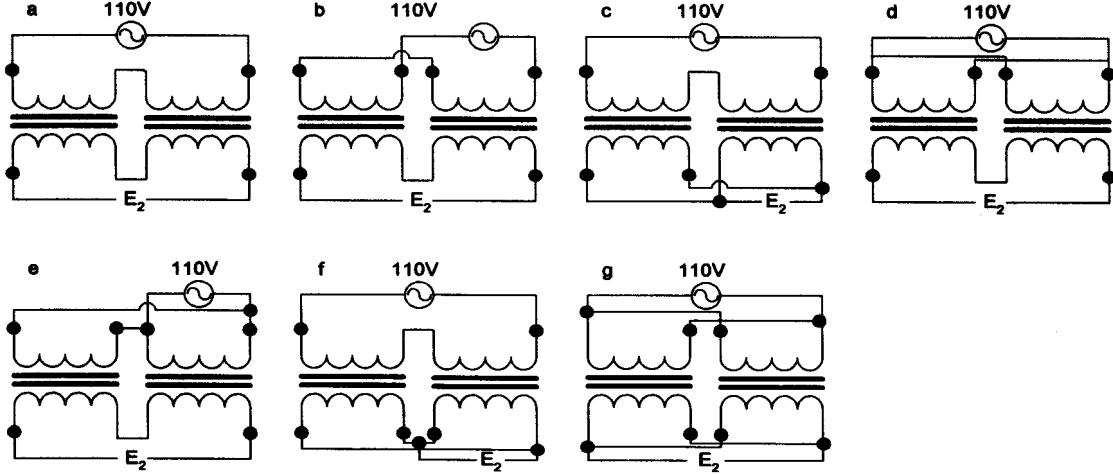
- 1- Sekonderi eş 6 bobinli üç fazlı transformatörün primerlerini yıldız ve sekonderini zikzak bağlayınız.
- 2- Oto trafonun ayar kolu 0'da iken setin ana şalterini açınız.
- 3- Ölçü aletlerini kontrol ederek oto trafo ayar kolu ile primer gerilimini nominal seviyesine gelinceye artırınız.
- 4- Primer ve sekonder tarafından bir faz için faz-faz arası gerilimleri Tablo2.1'e kaydediniz.
- 5- Deney setinin şalterini kapatınız. Oto trafonun ayar kolunu 0'a getiriniz.

Tablo2.1. Üç fazlı transformatör deneyi için değer tablosu

Bağlantı Şekli	Faz-Faz Arası Gerilim [Volt]	
	Primer	Sekonder
Bağlantı 1 (P-P)		
Bağlantı 2 (P-S)		
Bağlantı 3 (Y-Y)		
Bağlantı 4 (Y-Δ)		
Bağlantı 5 (Δ-Δ)		
Bağlantı 6 (Δ-Y)		
Bağlantı 7 (Y-Z)		

2.2.3. Raporda İstenenler

- 1 - Deneyde yapılan her bağlantı için elde edilen gerilimleri vektör diyagramlarını çizerek açıklayınız.
- 2 - Aşağıda verilen bağlantılarda hangileri doğrudur? Sekonder gerilimleri kaç voltur? Her bağlantı hakkında kısaca açıklama yapınız.



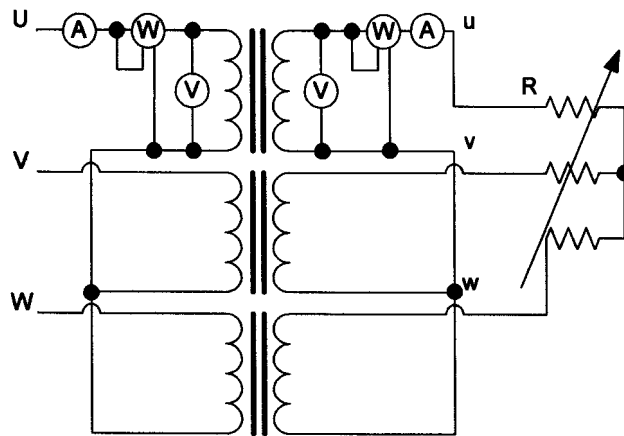
2.3. Üç Fazlı Transformatörlerde Yüklü Çalışma Deneyi

2.3.1. Amaç

Sabit primer geriliminde yıldız-yıldız bağlı üç fazlı transformatörde omik yükteki değişimlere göre transformatörün verimi incelenecektir.

2.3.2. Deneyin yapılışı

Tek fazlı transformatörlerden oluşturulan üç fazlı transformatör yüklü çalışma deneyi için omik yük kullanılacaktır. Deney boyunca tek fazlı transformatörlere primere etiketinde yazan nominal gerilim değeri uygulanarak, nominal akım değerinin 1.2 katına kadar çeşitli kademelerde yüklemeler yapılacaktır. Her bir kademe için değerler kaydedilecek ve bu değerler ile kayıplar hesaplanacaktır. Ayrıca doğrudan primer ve sekonder wattmetrelerden okunan değerler ile verim hesabı yapılacaktır. Yüklü çalışma için deney bağlantı şeması Şekil2.5'te verilmiştir.



Şekil2.2 Üç fazlı transformatör yüklü çalışma deney bağlantı şeması.

Adım adım deneyin yapılışı:

- 1- Bağlantı Şekil2.5'e göre uygun ölçü aletleri seçerek devreyi kurunuz.
- 2- Oto trafonun ayar kolu 0'da iken setin ana şalterini açınız.
- 3- Ölçü aletlerini kontrol ederek oto trafo ayar kolu ile primer gerilimini nominal seviyesine gelinceye artırmaz.
- 4- Tablo2.2'deki direnç kademelerine göre akım nominal akımın 1.2 katı olana kadar transformatöre yük olarak bağlanan direnç kutusundaki dirençleri sırasıyla devreye alınız. Her bir kademe için ölçü aletlerindeki değerleri Tablo1.3'e kaydediniz.
- 5- Deney setinin şalterini kapatınız. Oto trafonun ayar kolunu 0'a getiriniz.

Tablo2.2. Üç fazlı transformatör yüklü çalışma deneyi için değer ve hesaplama tablosu.

Yük	R	2R	3R	4R
V ₁ [V]				
A ₁ [A]				
P ₁ [W]				
V ₂ [V]				
A ₂ [A]				
P ₂ [W]				
cosφ				
η (P ₂ /P ₁)				
η (kayıplar)				

2.3.3. Raporda İstenenler

- 1 - Yüklü çalışma deneyi değerlerini kullanarak verim ile transformatörden çekilen aktif gücün değişim grafiğini çiziniz $\eta = f(P)$.
- 2 - Yüklü çalışma deneyi değerlerini kullanarak çıkış gerilimi ile transformatörden çekilen aktif gücün değişim grafiğini çiziniz $V_2 = f(P)$.

Deney Sorumlusuna Teslim Edilecek Tablolar

Deney grubu:

Tarih:

Deney sorumlusu:

Onay:

Deney No **3**

Deneyin Adı : DA Motorları (Seri, Şönt, Kompund)

Deneyin Amacı : DA Motorlarının İşletme Karakteristiklerinin İncelenmesi

1. GENEL BİLGİLER

DOĞRU AKIM MOTORLARI

Doğru akım motoru, doğru akım elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren elektrik makinasıdır.

Bir doğru akım motorunda uyartım mağnetik alanı içinde bulunan endüvisinden akım geçtiğinde meydana gelen döndürme momentinden dolayı endüvi dönmeye başlar. Mağnetik alan içinde dönen endüvi iletkenleri, bu alanın kuvvet çizgileri tarafından kesilmektedir. Bu durumda endüvi iletkenleri üzerinde e.m.k. endüklenir. Bu e.m.k.'nın yönü endüviye uygulanan U gerilimine zıttır. Bu e.m.k.'ya zıt e.m.k. denir.

1.1. Gerilim Denklemi

Zıt e.m.k. U geriliminin endüviden geçirmek istediği akımı azaltmak ister. Böylece endüviden U ve E geriliminin farkından dolayı I_A endüvi akımı geçer. R_i endüvi iç direnci olduğuna göre;

$$I_A = \frac{U - E - 2\Delta U_B}{R_i} \quad (1.1)$$

olur. Buradan zıt e.m.k.

$$E = U - I_A R_i - 2\Delta U_B \quad (1.2)$$

bulunur.

Zıt e.m.k. formülünde I_A akımı, motorun yalnız endüvi devresinden geçen akımdır. Şönt ve kompund motorlarda şönt kutup sargısından geçen I_m uyartım akımı I_A 'ya dahil değildir. Bu motorlarda dış devre akımı $I = I_A + I_m$ 'dir. Endüklenen gerilim E ayrıca motor özelliklerine bağlı olarak

$$E = \Phi \cdot 2p \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{Z}{2a} \quad [V] \quad (1.3)$$

Formülde;

E [Volt] : Motor endüvisinde endüklenen zıt e.m.k.

Φ [Wb] : Kutuplardaki mağnetik akı (Maxwell için 10^8 ile denklem çarpılır.)

n [d/d] : Motorun devir sayısı

Z : Endüvi toplam iletken sayısı

2a : Endüvi paralel kol sayısı

2p : Kutup sayısı

Sabit değerler k_a ile gösterilirse;

$$E = k_a \cdot n \cdot \Phi \quad [V] \quad (1.4)$$

olur.

1.2. Döndürme Momenti

Endüvi çevresinde indüklenen döndürme momenti

$$M_{di} = k_m \cdot \Phi \cdot I_A \quad (1.5)$$

$$k_m = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{2p}{2a} \cdot N \quad [\text{Nm}]$$

N : Endüvi toplam sarım sayısı

Milden alınan döndürme momenti mekanik güç ve devir sayısı cinsinden yazılırsa

$$P_{mek} = M_d \cdot \omega \quad (1.6)$$

$$\omega = 2\pi \cdot \frac{n}{60}$$

$$M_d = \frac{974 \cdot P_{mek}}{n} \quad [\text{kgm}] \quad (1.7)$$

P_{mek} [kW] : Motorun verdiği güç

n [d/d] : Motor milinin devir sayısı

1.3. DA Motorlarına Yol Verme

Gerilim denkleminde DA motorunun devir sayısı için

$$n = \frac{U - E - 2\Delta U_B}{k_u \cdot \Phi} \quad (1.8)$$

elde edilir. Buradan yol verme sırasındaki endüvi akımı yol verme öndirenci ile birlikte;

$$I_A = \frac{U - E - 2\Delta U_B}{(R_i + R_\delta)} \quad \text{olur. Burada } n = 0 \text{ için } E = 0 \text{ olduğundan}$$

$$I_A = \frac{U - 2\Delta U_B}{(R_i + R_\delta)} \quad (1.9)$$

yazılabilir. Yol verme direncinin değeri ise

$$R_\delta = \frac{U - 2\Delta U_B}{I_A} - R_i \quad (1.10)$$

olur. Yol verme direnci ilk kalkınma akımının sınırlandırılması için kullanılır. Yol verme reostaları genel olarak ayarlanabilen basamaklı dirençler olarak yapılırlar.

Doğru akım motorları üçe ayrılır:

a) Şönt motor b) Seri motor c) Kompund motor

Aşağıda bu motorlar ayrı ayrı ele alınacaktır.

2. ŞÖNT MOTOR

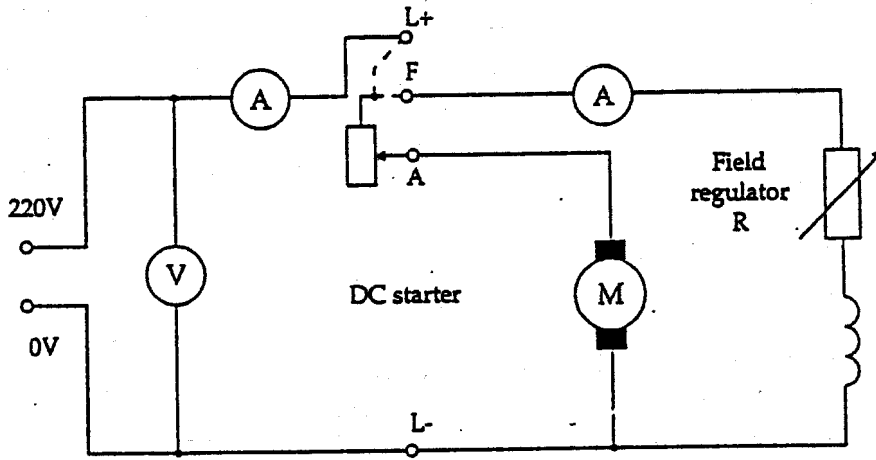
Şönt motorda uyarım sargısı endüviye paralel bağlanmıştır. Şönt motorun kutup sargıları çok sarımlı ve ince kesitli telden yapılır (Şekil-1.1).

2.1. Şönt Motora Yol Verme

Genel olarak bir motor devreye girerken kısa zamanda normal devrine ulaşmak ister.

$M = k_m \cdot \Phi \cdot I_A$ formülüne göre momentin büyük olması Φ ve I_A 'nın büyük olmasına bağlıdır.

Küçük güçlü DC motorlar direkt devreye bağlanarak çalıştırılırlar. Bu motorlar yol alırken devreden fazla akım çektiklerinden endüvi akımları büyük ve dolayısıyla momentleri de büyüktür.



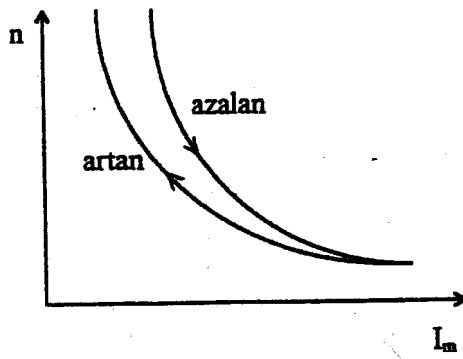
Şekil-1.1 Şönt Motor Devre Şeması

Güçleri 1 kW'tan büyük olan DC motorlarda doğrudan doğruya yol vermek, gerek motor gerekse şebeke için sakıncalıdır. Çünkü motor, Denklem-1.9'a göre $E = 0$ olduğundan aşırı akım çekecektir. Motor devir sayısı arttıkça E de artacak ve I_A 'da normal değerine ulaşacaktır. Motorun yol alma akımını sınırlandırmak için motor uçlarındaki U gerilimi düşürülür veya R_f direnci artırılır. Uygulamada R_f devresine seri bir R_o bağlanarak motorun sınırlı akım çekmesi sağlanır.

Yol verme direncinin tamamı yol alma süresince devrede bırakılmaz. Çünkü motor hızlandıkça endüvi sargılarında oluşan zıt e.m.k. artacağından endüvi akımının düşmesine sebep olur. Dolayısıyla motor yol verme direnci motor yol aldıça devreden yavaş yavaş çıkartılmalıdır. Yol verme işlemi sonunda yol verme direnci tamamen devreden çıkar ve devre direnci sadece R_f olarak motor çalışmasına devam eder.

2.2. Şönt Motor Devir Karakteristiği $n = f(I_m)$

Motor uçlarındaki gerilim U ve yük akımı I sabit tutularak motor devir sayısının (n) uyarım akımı I_m 'ye göre değişimine şönt motor devir karakteristiği denir. Yük akımı sabit tutulduğundan gerek endüvi reaksiyonu gerekse motorun içinde meydana gelen gerilim düşümü sabit kalacaktır.

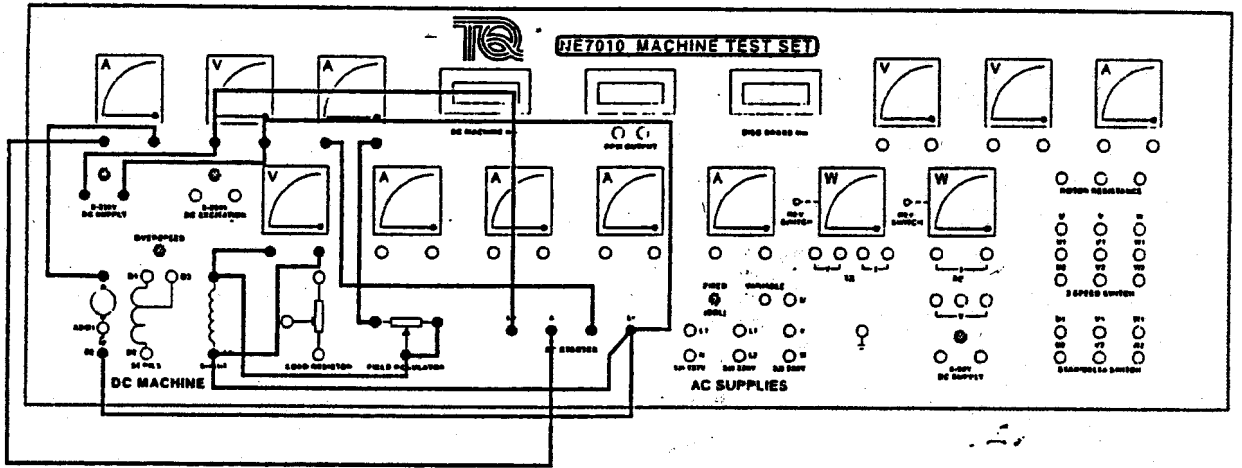


Şekil-1.2 Şönt motor devir karakteristiği

2.2.1. Devir karakteristiği deneyinin yapılışı

- 1- Şekil-1.3.'de verilen bağlantı şemasına göre motorun bağlantı şemasını yapınız.
- 2- SUPPLIES RESET butonuna basın. Uyarım direnci (Field regülatör) reostası %0 olması gerekir. Böyle olup olmadığını kontrol ediniz.

- 3- Endüvi gerilimini 220 V'a ayar ediniz.
- 4- DC STARTER' i saat ibresi yönünde yavaş yavaş çevirerek ve motorun devreden çıktığı akıma dikkat ederek motora yol veriniz.
- 5- Uyarım direnci reostasını yavaş yavaş artırarak devir sayısını 1800 d/d yapınız. Endüvi gerilimini tekrar 220 V'a ayarlayınız.
- 6- Uyarım direnci reostasını saat ibresinin tersi yönünde çevirerek her kademe için devir sayılarını Tablo-1.1'ye kaydediniz.
- 7- Tekrar uyarım reostasını saat ibresi yönünde çevirerek her kademe için devir sayılarını (n) kaydediniz. İşleme $n = 1800$ d/d oluncaya kadar devam ediniz.
- 8- $n = f(I_m)$ grafiğini verilmiş eksenler üzerine çiziniz.
- 9- Grafiklerin doğru olup olmadığını kontrol ediniz.



Şekil-1.3 Şönt Motor Bağlantı Şeması

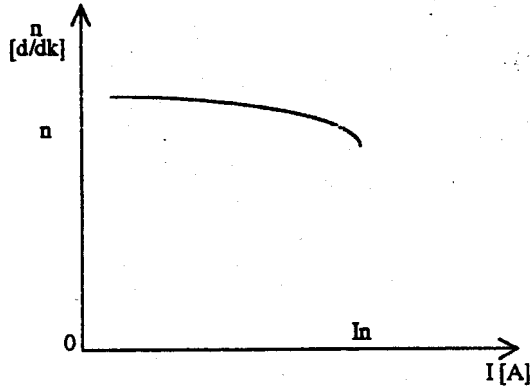
Artan	
I_m [A]	n [d/d]

Azalan	
I_m [A]	n [d/d]

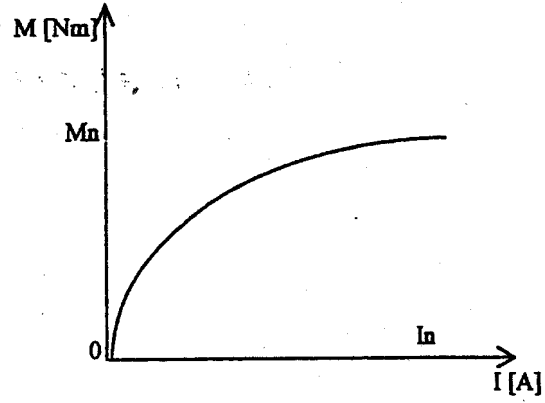
Tablo-1.1

2.3. Şönt Motor Dış Karakteristiği $n = f(I)$, $U = \text{sabit}$, $I_m = \text{sabit}$

Motor uçlarındaki gerilim U ve uyarım akımı I_m sabit iken yük akımına (I) bağlı olarak devir sayısının (n) değişimidir.



Şekil-1.4 Şönt Motor Dış Karakt.



Şekil-1.5 Şönt Motor Moment Karakt.

Dış karakteristik eğrisinde (Şekil-1.4) görüleceği gibi yük akımı arttıkça devir sayısı düşmektedir. Bunun sebebi motorun endüvi devresindeki omik direnci dolayısıyla motor üzerindeki gerilim düşümüdür. Bu gerilim düşümünün büyük oluşu motorun endüvisinde endüklenen zıt e.m.k.'nin küçülmesine sebep olur. Bunun sonucunda devir sayısının, endüvi reaksiyonunun etkisiyle Φ 'nin nisbeten az küçülmesi halinde, azalması gerekmektedir.

2.4. Şönt Motor Moment Karakteristiği $M = f(I)$

Sabit uyarım akımı ve sabit kutup geriliminde yük akımıyla endüvide meydana gelen döndürme momenti arasındaki bağıntıdır.

Şekil-1.5'de görüldüğü gibi endüvi reaksiyonundan dolayı Φ 'nin biraz küçülmesi, önceleri Denklem-1.5'e göre doğrusal artan döndürme momentinin lineerliğini etkileyerek, yük akımıyla daha az büyümesine sebep olacaktır.

2.5. Şönt Motor Ayar Karakteristiği $I_m = f(I)$, $U = \text{sabit}$, $n = \text{sabit}$

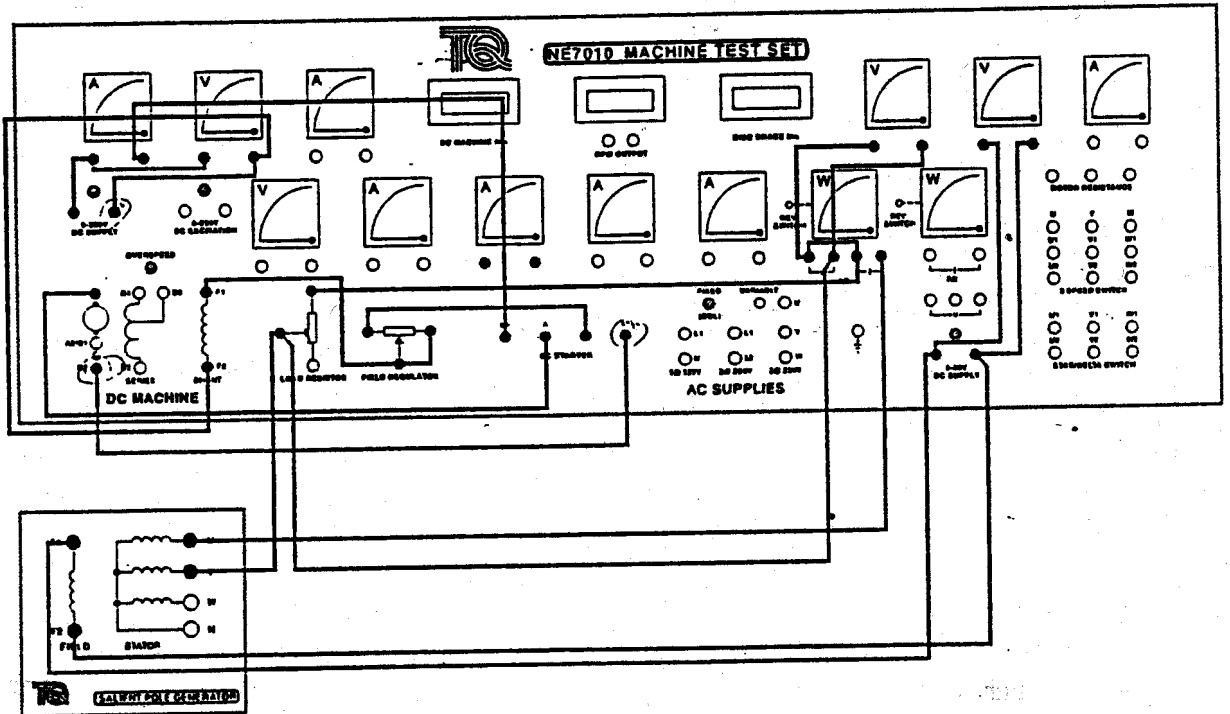
Sabit kutup geriliminde ve sabit devir sayısında yük akımı ile uyarım akımı arasındaki bağıntıya denir. Bu deneyde motorun devir sayısı nominal değerde bulunmalıdır. AC generatör vasıtasıyla şönt motor kademe kademe yüklenir ve her seferinde uyarım akımı değiştirilerek devir sayısı nominal değerine getirilir.

2.6. Deneyin Yapılışı

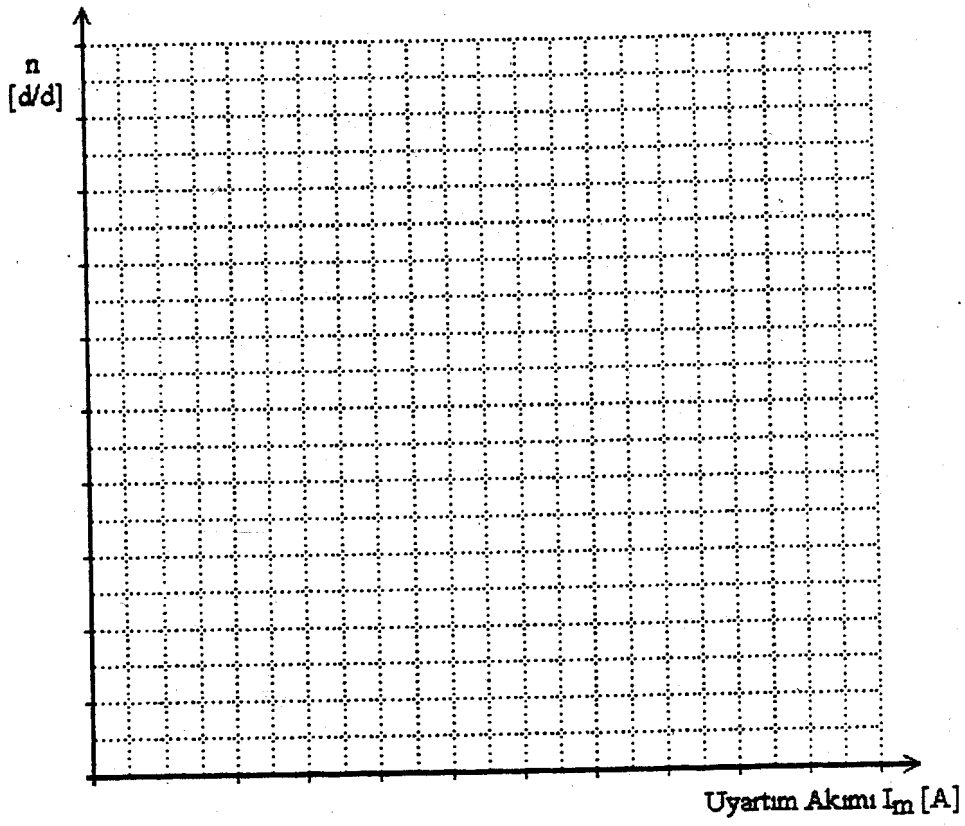
- 1- Şekil-1.6'daki bağlantı şemasını gerçekleştiriniz.
- 2- SUPPLIES RESET butonuna basınız. Endüvi gerilimini 220 V yapınız.
- 3- AC generatörün uyarım gerilimini 0 V'a ayar ediniz. Şönt makinayı 220 V'ta 1500 d/d olacak şekilde DC STARTER ile yol vererek çalıştırınız.
- 4- Şönt motorun yük akımı 9 A oluncaya kadar AC generatörü kademe kademe yükleyiniz. Ölçü aletlerinden okuduğunuz devir sayısı, akım, güç, moment değerlerini Tablo-1.2'ye kaydediniz. Deney boyunca endüvi gerilimini 220 V'ta sabit tutunuz.
- 5- Endüvi gerilimini 110 V'a ayarlayarak yukardaki adımları tekrar ediniz.
- 6- Her iki gerilim değeri için $M = f(P)$, $n = f(P)$, $I = f(P)$, $\eta = f(P)$, $n = f(M)$ grafiklerini verilmiş eksenler üzerinde çiziniz.
- 7- Grafiklerinin doğruluğunu kontrol ediniz ve yorumlayınız.
- 8- Ayar karakteristiğinin çıkartılmasında devir sayısının sabit tutulmasını, uyarım akımını değiştirerek önceki alınan değerlerden bağımsız olarak yapınız.

Moment [Nm]		Verim, η		Akm [A]		n [d/d]		Power [W]	
V	V/2	V	V/2	V	V/2	V	V/2	V	V/2

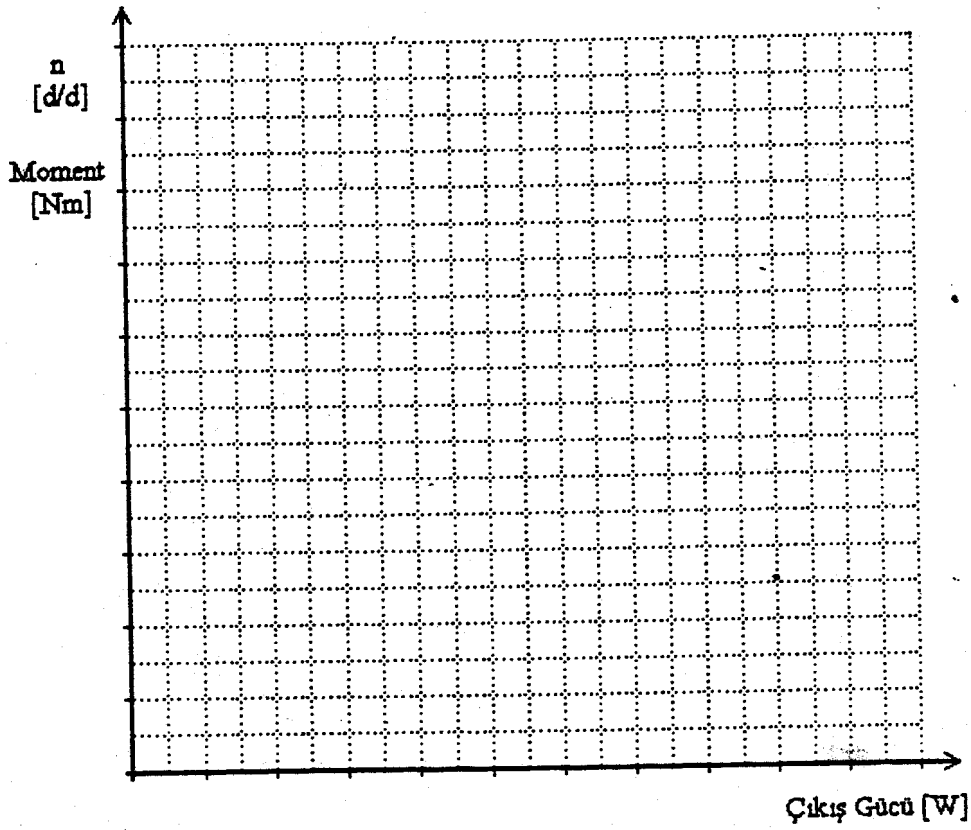
Tablo-1.2



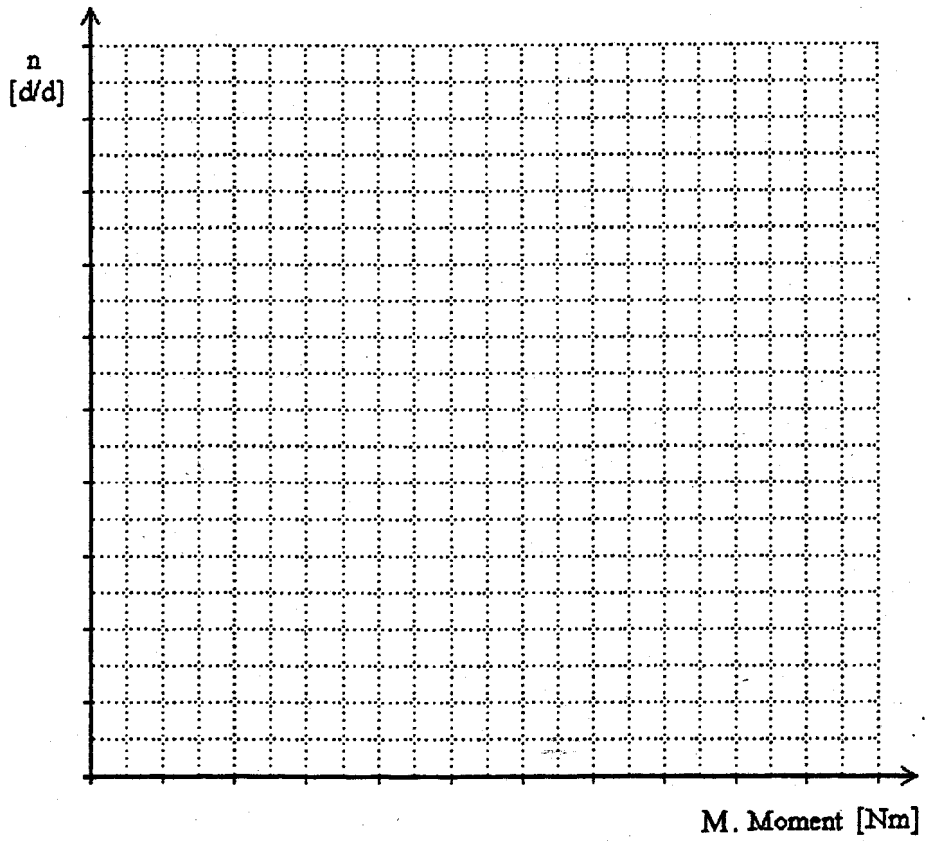
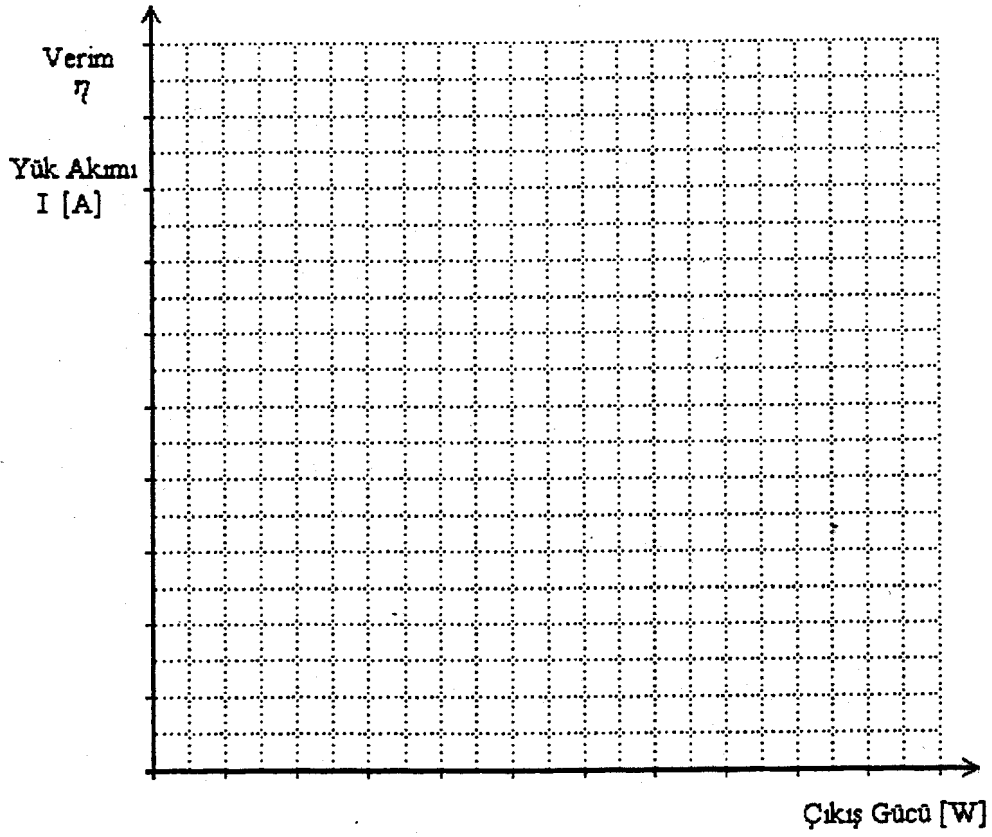
Şekil-1.6 Şönt Motor Bağlantı Şeması



Şönt Motor Devir Karakteristiği



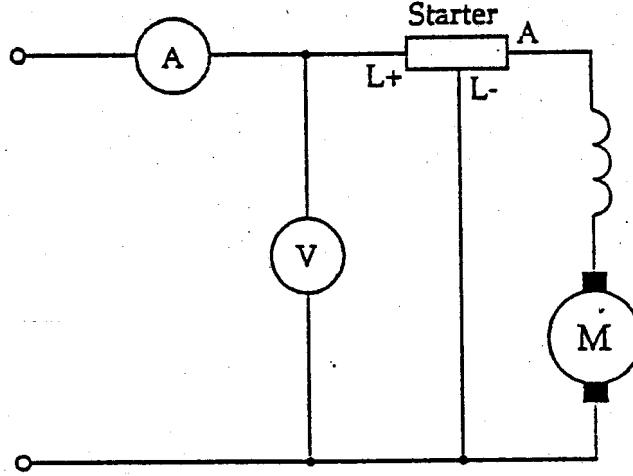
Şönt Motor Dış ve Moment Karakteristikleri



Şönt Motor Karakteristikleri

3. SERİ MOTOR

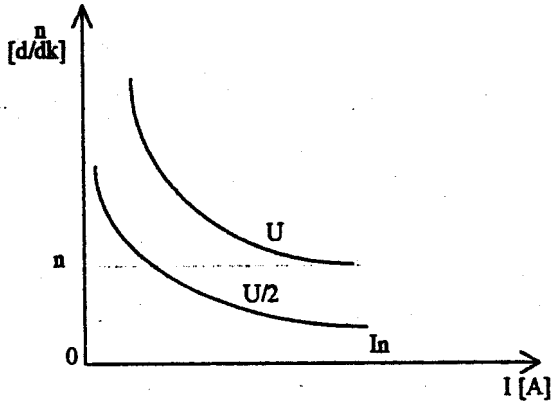
Seri motorlarda kutup sargıları endüviye seri bağlanmıştır. Bu durumda uyarım sargısı kalın kesitli ve az sarımlı olmalıdır (Şekil-1.7).



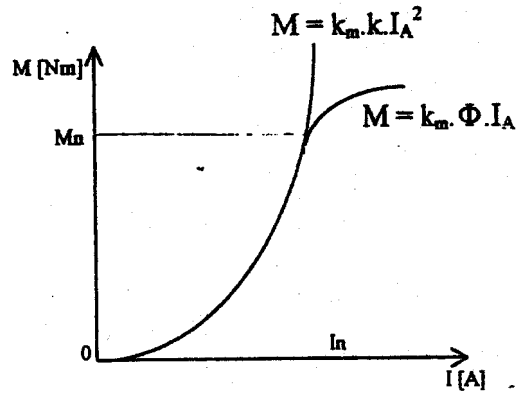
Şekil-1.7 Seri Motor Devre Şeması

3.1. Seri Motorun Dış Karakteristiği $n = f(I)$, $U = \text{sabit}$

Sabit kutup geriliminde yük akımı ile devir sayısı arasındaki bağıntıya denir. seri motorda uyarım akımı endüvi sargısından geçen yük akımına eşittir. Bu durumda Φ yük akımına bağlı olarak değişecektir. Seri motorun devir sayısı denklemini gözönüne alırsak, yük akımı ile devir sayısının fazla değişeceği açıkça görülür (Şekil-1.8).



Şekil-1.8 Seri Motor Dış Karakt.



Şekil-1.9 Seri Motor Moment Karakt.

Denklem-1.8'de endüvi akımı I'nin büyümesi ile payın küçülüp paydanın büyümesine sebep olur. Bu ise devir sayısının düşmesi demektir.

Seri motor deneyinde dikkat edilecek en önemli husus *seri motorun yüksüz çalıştırılmamasıdır*. Denklem-1.8'den görüldüğü gibi yükün kalkmasıyla yük akımı küçüleceğinden, akımla birlikte toplam iç gerilim düşümü de küçülecektir. Böylece sabit kutup gerilimine yaklaşan zat e.m.k. belirli değerini koruyabilmesi için küçülen Φ , devir sayısı n'nin büyümesiyle karşılanacaktır. Devir sayısının büyümesi tehlikeli sonuçlar meydana getirebilir. Bu sakıncalı durumun olmaması için motor yüksüz çalıştırılmamalıdır.

Yük akımı düştükçe devir sayısının hızla düşmesi ağır yüklerin tahriki için çok elverişlidir. Çünkü yük akımı ile devir sayısı düşen motorun döndürme momenti, yük akımının yaklaşık olarak karesiyle orantılı artmaktadır.

3.2. Seri Motor Moment Karakteristiği $M = f(I)$, $U = \text{sabit}$

Sabit kutup geriliminde yük akımı ile endüvide meydana gelen döndürme momenti arasındaki bağıntıya denir.

Bu deney dış karakteristikle beraber yapılır. Şekil-1.9'a göre yük akımının küçük değerleri için eğri yatıktır. Artan yük akımı ile birlikte eğri dikleşmeye başlar ve moment yüksek değerler alır.

DC motorlarda moment Denklem-1.5'e göre $M = k_m \cdot \Phi \cdot I_A$ 'dır. Seri motorda endüvi akımı ile uyarım akımı aynı olduğundan I_A ile birlikte Φ 'de artmaktadır. $\Phi = k \cdot I_A$ 'dır ve $M = k_m \cdot k \cdot I_A^2$ olur.

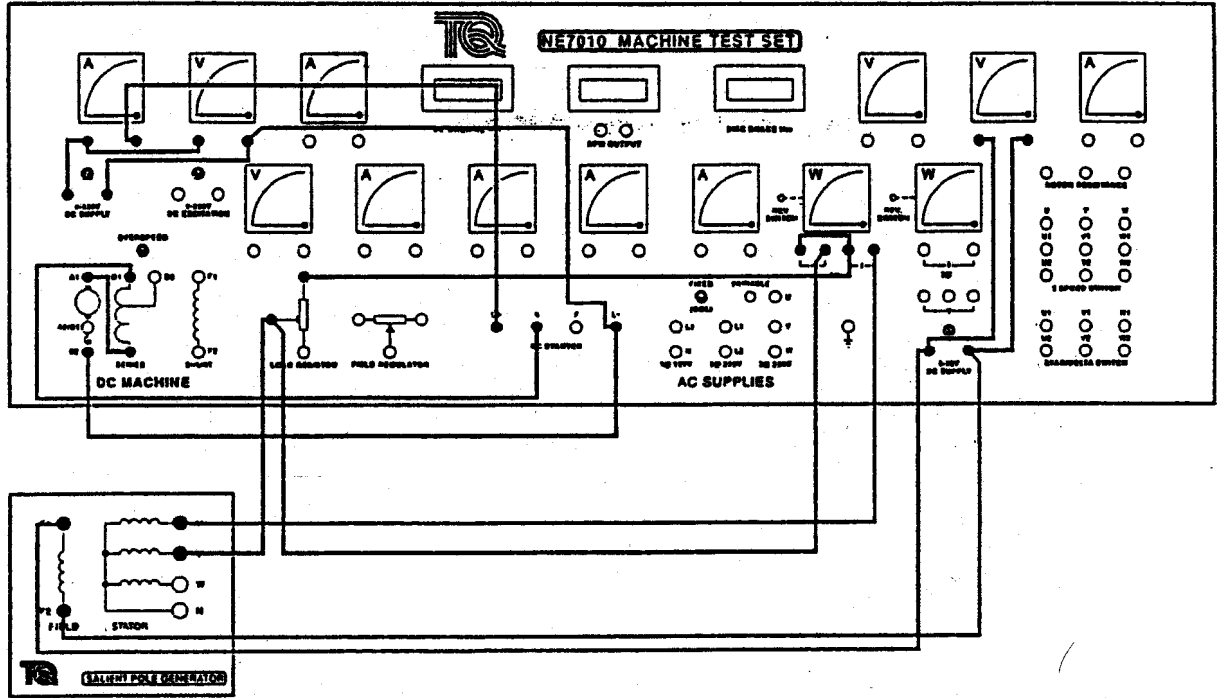
Yük akımının büyük değerleri için eğride yine yatıklaşma başlar. Bunun nedeni kutuplarda doymanın başlamasıdır.

Yukarıdaki karakteristikler kutup gerilimi düşürülüp tekrarlanırsa eğrilerin daha aşağıya kaydığı görülür. Seri motorda kutup gerilimi değiştirilirse devir sayısı ayarı yapılabilir. Kutup gerilimi değiştirilemiyorsa ön dirençler kullanılarak devir sayısı ayarı yapılır.

Seri motorun devir yönünün değiştirilmesi için ya endüvi akımının yönü ya da endüktör sargılarından geçen akımın yönü değiştirilir.

3.3. Deneyin Yapılışı

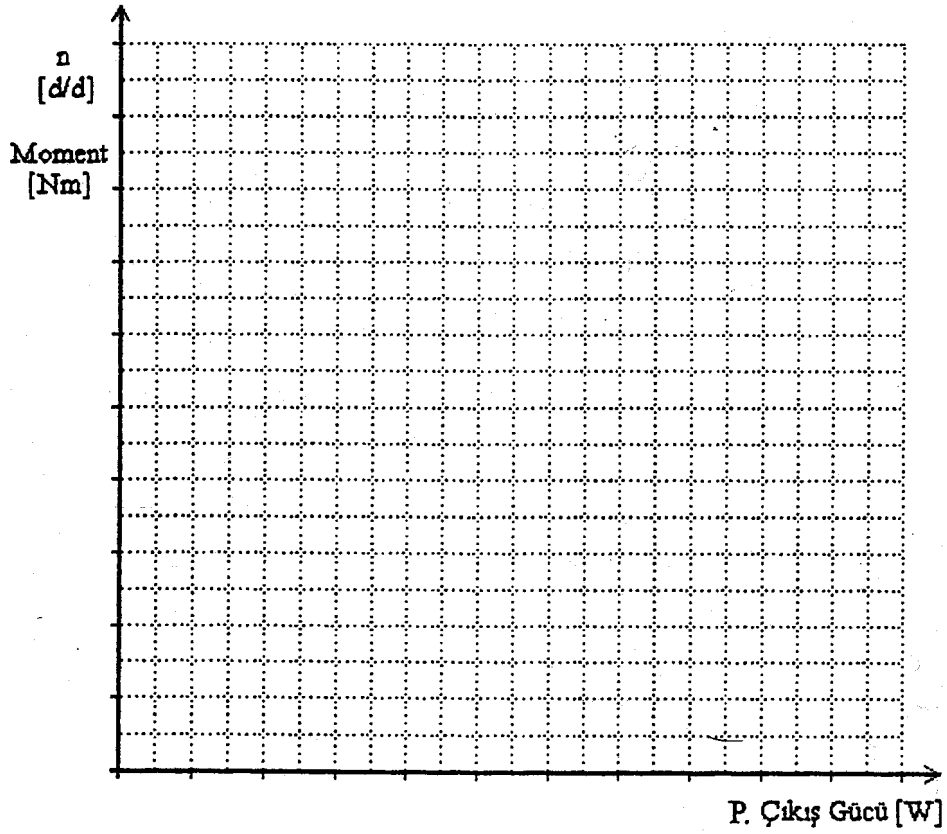
- 1- Şekil-1.10'deki bağlantı şemasını kurunuz.
- 2- Motorun ilk başta yüklü yol alabilmesi için AC yük generatörünün uyarım gerilimini 15 V'a ayarlayınız.
- 3- Bağlantı tamamlandıktan sonra ana şalteri açınız. Start butonuna basınız ve SUPPLIES RESET butonuna basınız.
- 4- DC SUPPLY'den gerilimi (reostadan %80 konumuna) artırarak 220 V yapınız.
- 5- DC STARTER'le motora yol vererek motorun çektiği akımı kontrol ediniz.
- 6- Daha sonra AC generatörün uyarımını artırarak DC motoru kademe kademe nominal akımının 1.2 katına kadar yükleyiniz.
- 7- Okuduğunuz moment, akım, devir sayısı ve güç değerlerini Tablo-1.3'e kaydediniz.
- 8- Endüvi gerilimini 110 V ($U/2$) yaparak yukarıdaki adımları tekrar ediniz.
- 9- Motoru durdurmak için DC SUPPLY'yi "0" konumuna alınız.
- 10- Aldığınız değerlerle verimi hesaplayıp kaydediniz.
- 11- $M = f(P)$, $n = f(P)$, $I = f(P)$, $\eta = f(P)$, $n = f(M)$ grafiklerini hazır verilmiş eksenler üzerinde çiziniz.
- 12- Grafiklerin doğruluğunu kontrol ediniz.



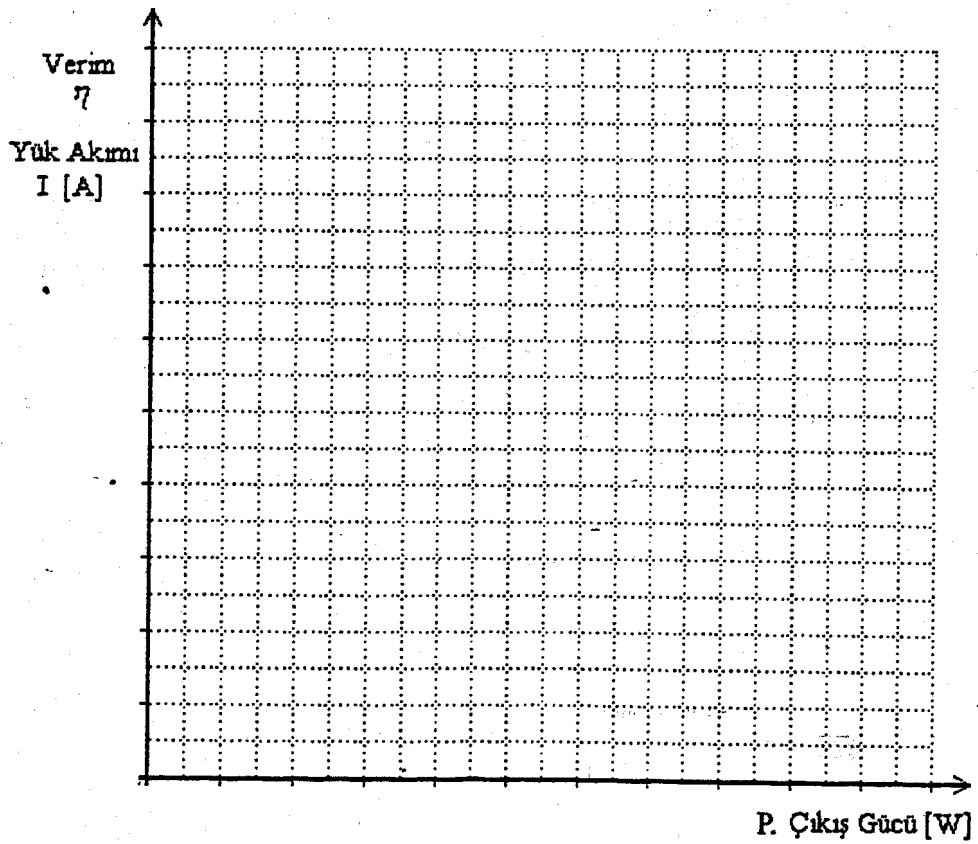
Şekil-1.10 Seri Motor Bağlantı Şeması

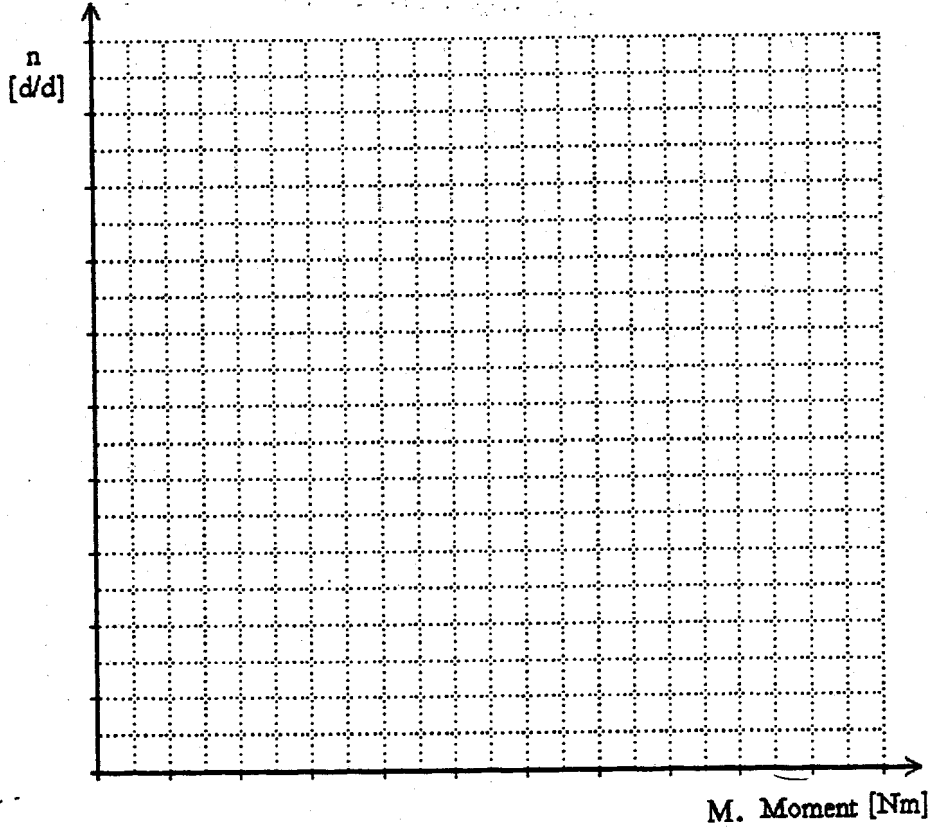
Moment		Verim		Akım [A]		n [d/d]		Power [W]	
V	V/2	V	V/2	V	V/2	V	V/2	V	V/2

Tablo-1.3



Seri Motor Dış ve Moment Karakteristikleri



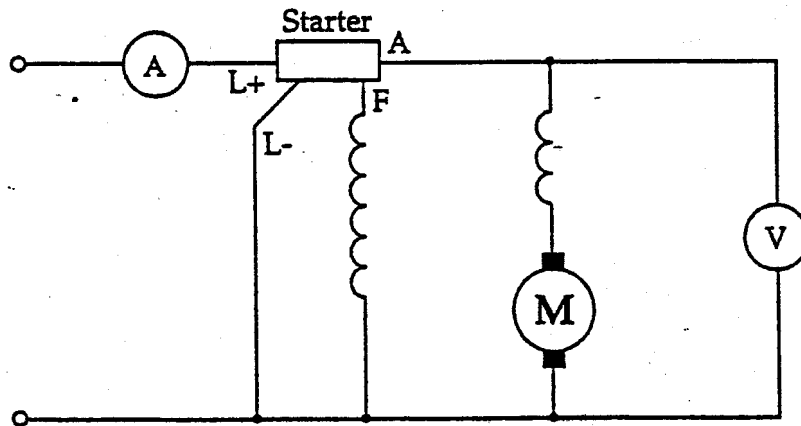


Seri Motor Karakteristikleri

4. KOMPUND MOTOR

Kompund motorlarda hem seri sargı hem de paralel sargı vardır (Şekil-1.11). Burada seri sargı şönt sargının manyetik akısını destekleyecek veya zayıflatacak yönde bağlanabilir. Motorun karakteristiği seri sargının oluşturduğu alanın kuvvetine ve bağlantı durumuna göre değişir.

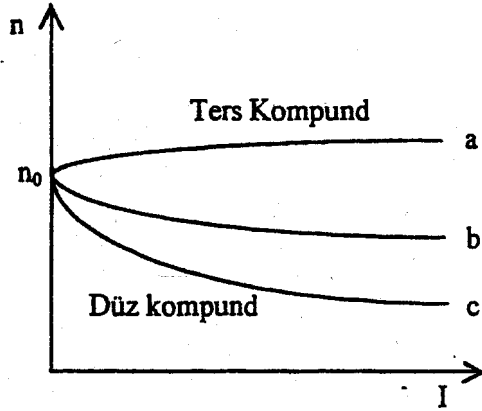
Seri sargı alanı şönt sargı alanını kuvvetlendirecek şekilde bağlanırsa bu tipe düz (eklemeli veya cumulative) kompund motor denir. Seri sargı ters bağlı olup şönt sargı alanını zayıflatacak şekilde bir alan oluşturuyorsa bu tipe ters veya diferansiyel (differential) kompund motor denir.



Şekil-1.11 Kompund Motor Devre Şeması

4.1. Kompund Motor Dış Karakteristiği $n = f(I)$, $U = \text{sabit}$, $I_{m1} = \text{sabit}$

Sabit kutup gerilimi ve sabit şönt uyarım sargısı akımında, yük akımı ile devir sayısı arasındaki bağıntıya denir. (b ve c şekilleri iki farklı sarım sayısına sahip seri sargılı düz kompund motorlara aittir.)



Şekil-1.12 Kompund Motor Dış Karakteristiği

Eğrilerden görüleceği gibi her üç kompund motor boşta n_0 gibi bir devir sayısına sahiptir. Çünkü motorda bulunan şönt sargı yük akımı çok küçükte olsa belirli bir Φ_s alanı oluşturur. Dolayısıyla motor devir sayısı tehlikeli artış göstermez. Şekil-1.12'deki b ve c eğrileri iki farklı sarım sayısına sahip seri sargılı düz kompund motorlara aittir.

Düz kompund motorlarda toplam manyetik alan seri ve şönt sargı alanlarının toplamına eşittir.

$$\Phi = \Phi_s + \Phi_{se}$$

Şönt sargı alanı sabit, seri sargı alanı yük akımı arttıkça artar. Devir sayısı formülüne göre;

$$n = \frac{U - I_A(R_A + R_{se}) - 2\Delta U_B}{K \cdot (\Phi_{s0} + \Phi_{se})} \text{ olur.}$$

Seri sargı alanı arttıkça payda büyüyeceği için devir sayısında düşme görülür. Formüle göre $I_A(R_A + R_{se})$ 'den dolayı her ne kadar pay küçülüyorsa da bu azalma çok küçüktür.

Düz kompund motorlarda ana alan hemen hemen daima şönt sargı alanıdır. Seri sargı alanı ise yardımcı olmak üzere şönt sargıya eklenmiştir. Bu sargının görevi seri motorun boşta da çalışabilmesini sağlamaktır. Bunlara şöntlenmiş seri motor denir.

Ters kompund motorlarda ise seri sargı alanı şönt sargı alanını zayıflatacak yönde olduğundan;

$$n = \frac{U - I_A(R_A + R_{se}) - 2\Delta U_B}{K \cdot (\Phi_{s0} - \Phi_{se})}$$

Yük akımı arttıkça toplam alan azalacağından şönt motora göre devir sayısında yükselme olur.

Ters kompund motorlarda seri sargı alanı motorun devir sayısını sabit tutacak değerde ve çok zayıf yapılır. Böylece yük ile devir sayısı değişmeyen motor elde edilir.

Ters kompund motorlarda özellikle yol verilirken çok hızlı bir şekilde yol verme yapılmamalıdır. Çok büyük yol verme akımı geçerse seri sargı alanı, şönt sargı alanından fazla olursa motorun ters dönme tehlikesi olabilir.

4.2. Kompund Motor Moment Karakteristiği $M = f(I)$, $U = \text{sabit}$, $I_{\text{m}} = \text{sabit}$

Sabit kutup gerilimi ve sabit Őont sargı uyarım akımında y¼k akımı ile moment arasındaki bağıntıdır.

Dış karakteristik deneyinde moment değerleri alınarak moment karakteristiği elde edilebilir.

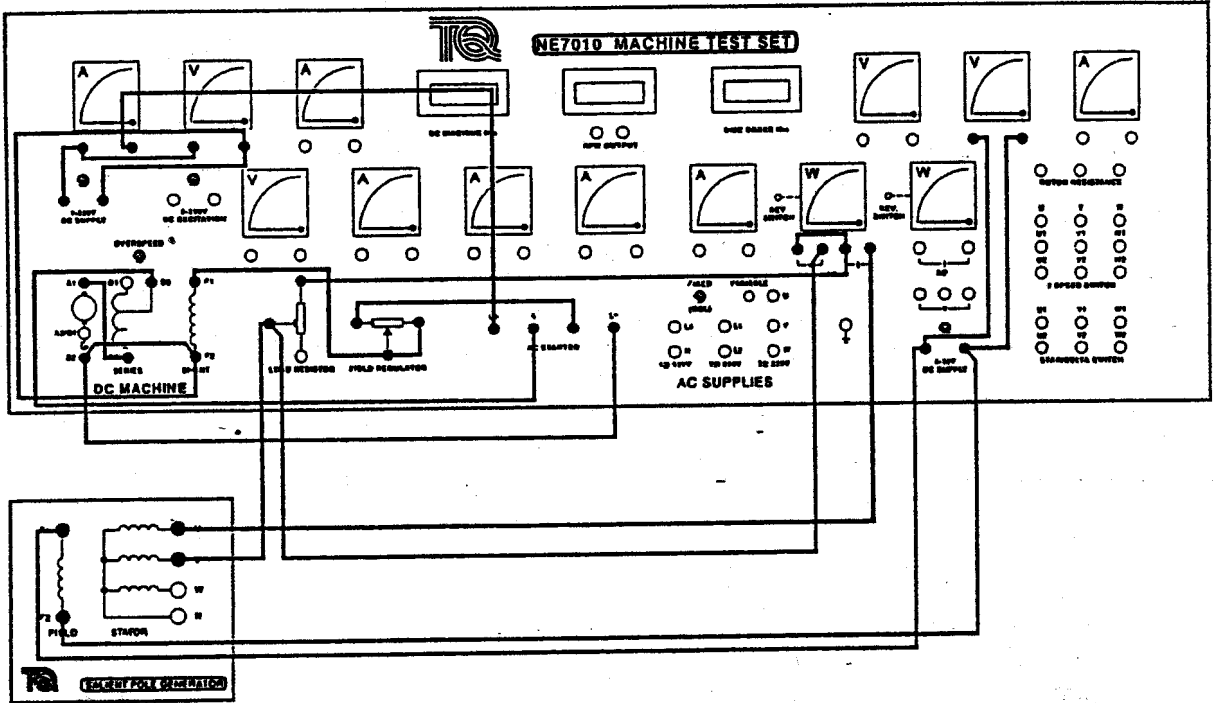
D¼z kompund motorda: $M = K_m(\Phi_{\text{p}} + \Phi_{\text{se}})I_A$ 'dır.

Bu durumda y¼k akımı arttıka Φ_{se} 'den dolayı moment bir değişim gösterir. Ancak yüksek akım değerlerinde doyum meydana geleceği için d¼zelme başlar.

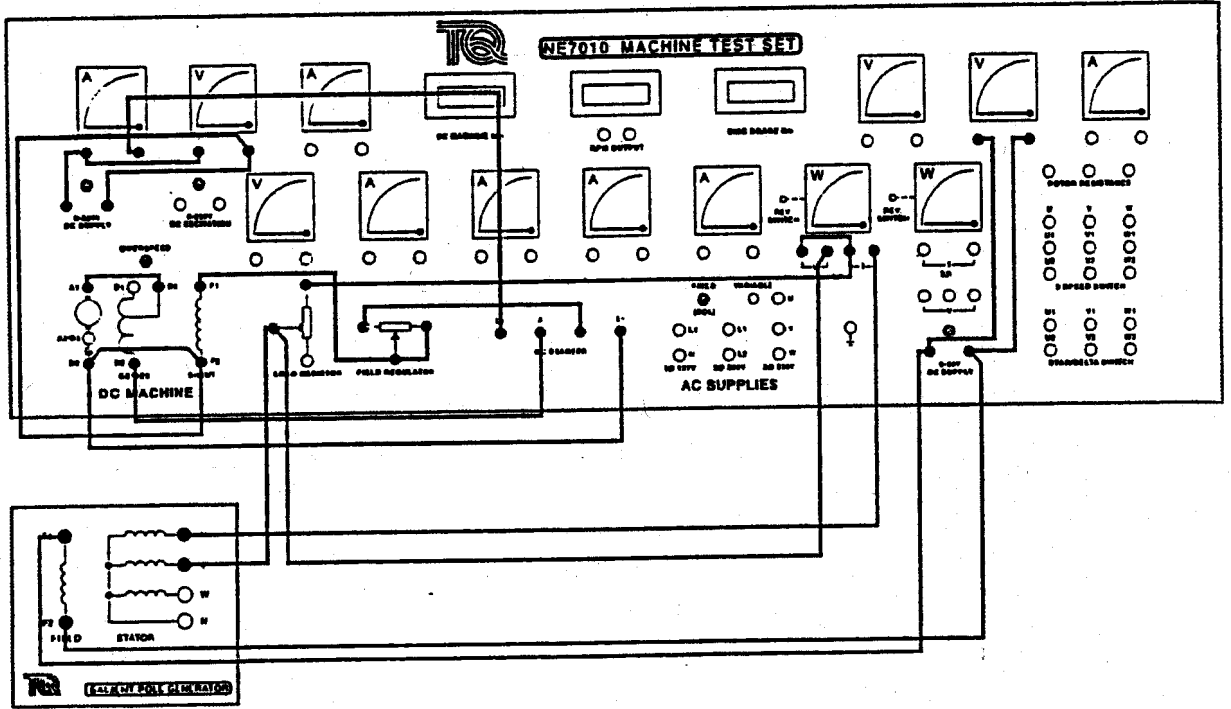
Ters kompund motorda: $M = K_m(\Phi_{\text{p}} - \Phi_{\text{se}})I_A$ 'dır. Form¼lden de g¼r¼leceđi gibi karakteristik d¼z kompunda g¼re tamamen deđiŐiktir. Φ_{se} 'nin artması momenti azaltacaktır.

4.3. Deneyin Yapılışı

- 1- Şekil-1.13 'deki bağlantı Şemasına g¼re devreyi kurunuz.
- 2- SUPPLIES RESET tuŐuna basınız. End¼vi gerilimini 220 V'a ayar ediniz.
- 3- AC generat¼r¼n¼n uyarım gerilimini "0" V'a ayarlayınız.
- 4- DC STARTER'i saat ibresi y¼n¼nde d¼nd¼rerek motora yavaş yavaş yol veriniz.
- 5- Sabit end¼vi geriliminde kompund motoru AC generat¼r ile nominal akımının 1.2 katına kadar kademe kademe y¼kleyiniz.
- 6- Okunan akım, gerilim, g¼c, moment değerlerini Tablo-1.4'e kaydediniz.
- 7- Ters kompund deneyinde dikkatli olunuz. Seri sargının alan y¼n¼n¼ değiştirerek yukardaki adımları tekrar ediniz. Değerleri Tablo-1.5'e kaydediniz.
- 8- $M = f(P)$, $n = f(P)$, $I = f(P)$, $\eta = f(P)$, $n = f(M)$ grafiklerini ciziniz.



Şekil-1.13 D¼z Kompund Motor Bağlantı Şeması



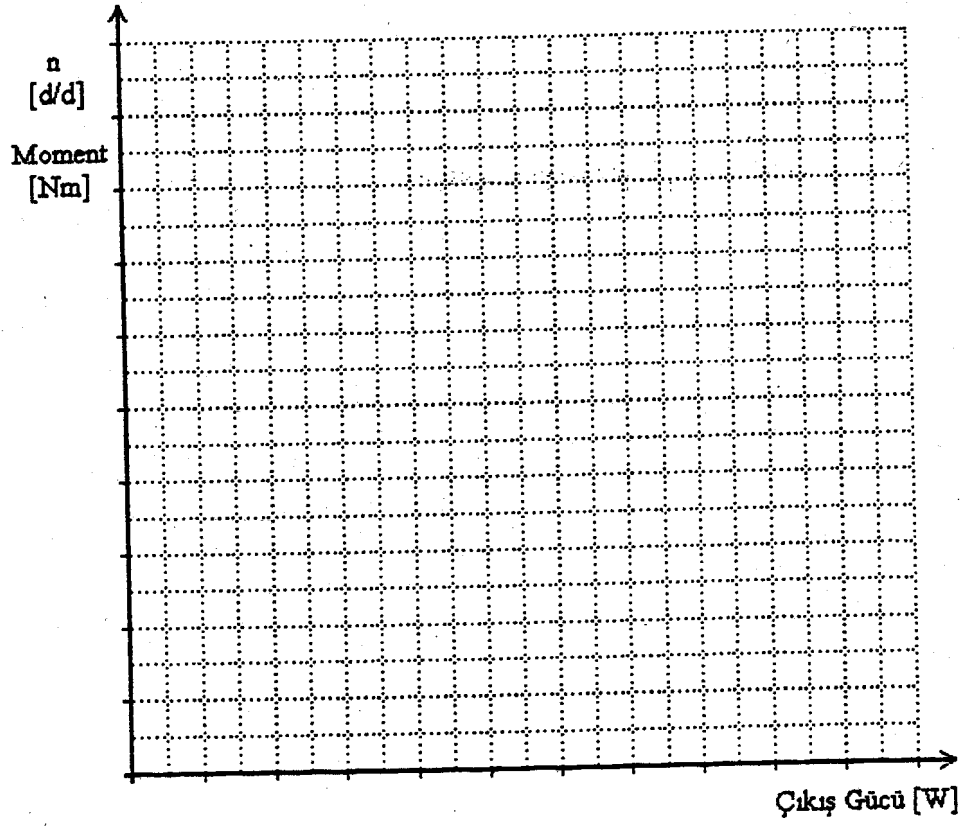
Şekil-1.13 Ters Kompund Motor Bağlantı Şeması

n [d/d]	Moment	Güç [W]	Akım [A]	Verim

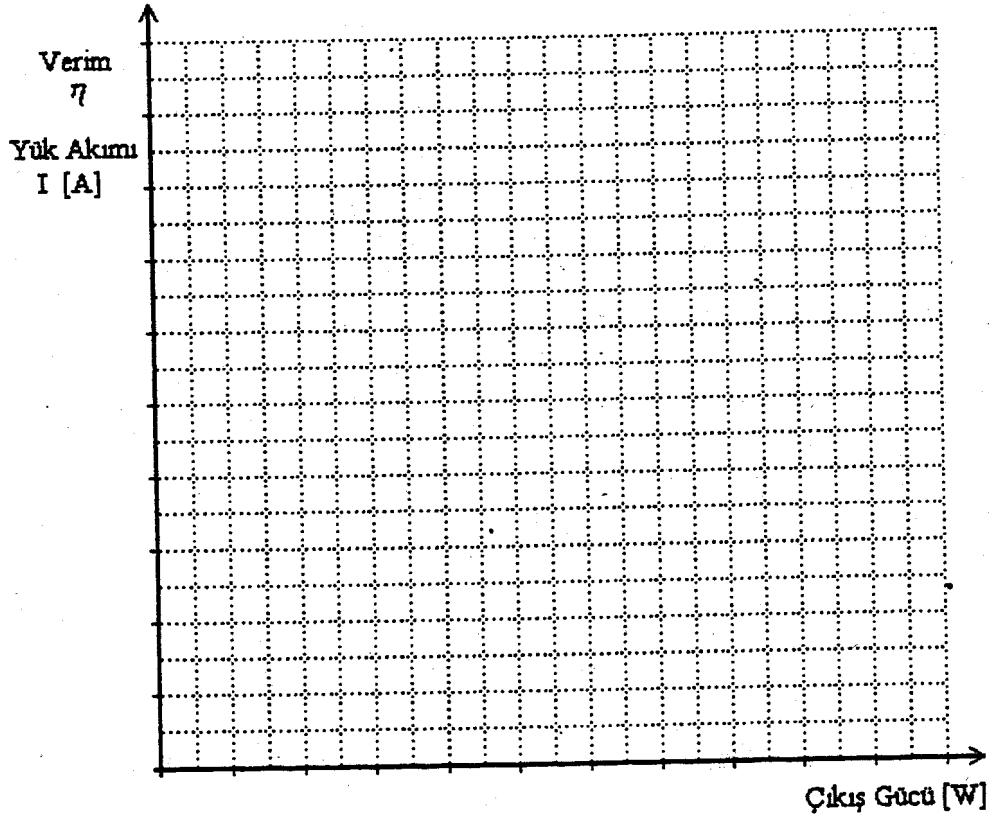
Tablo-1.4 Düz Kompund (Cumulative):

n [d/d]	Moment	Güç [W]	Akım [A]	Verim.

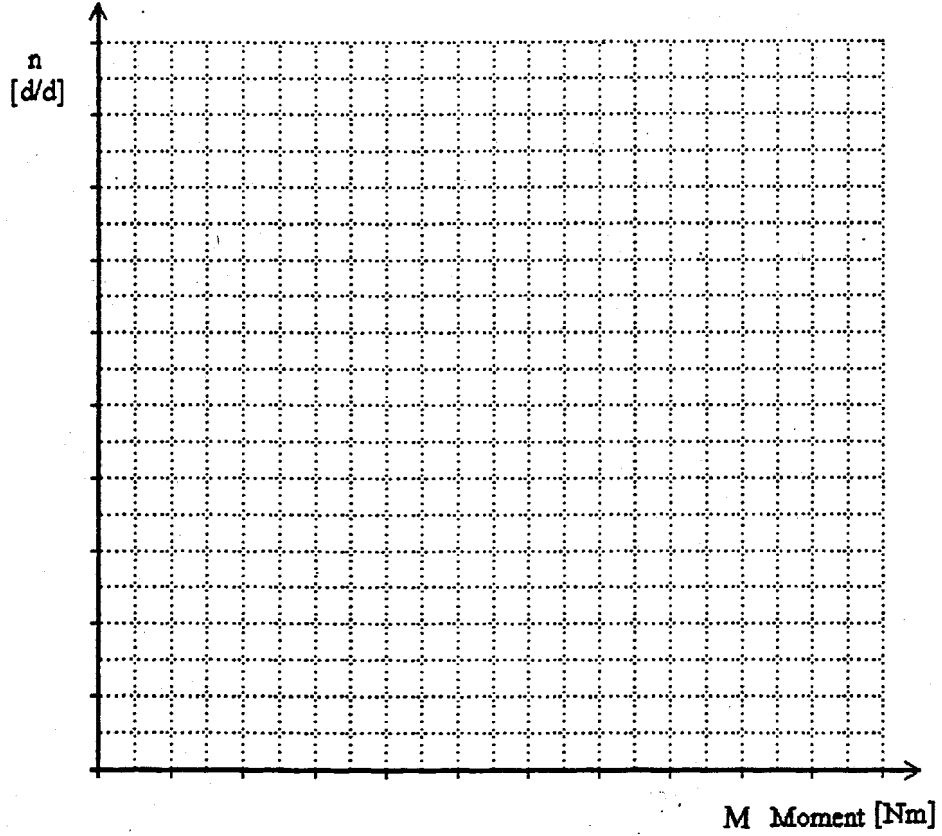
Tablo-1.5 Ters Kompund (Differential)



Kompund Motor Dış ve Moment Karakteristikleri



Kompund Motor Karakteristikleri



Kompund Motor Karakteristikleri

5. SORULAR

- 1- Aynı büyüklükteki şönt ve seri motorlarda uyarım manyetik gerilimleri θ_m , uyarım sargılarının siper sayıları N_m ve uyarım akımları arasındaki farklılıklar nelerdir?
- 2- Demir nüvenin doyuma gitmesi, döndürme momenti - devir sayısı karakteristiğini seri motor ve şönt motorda nasıl etkiler?
- 3- Seri motor boşta çalıştırılabilir mi? Neden?
- 4- Seri motorun yol verme reostası basamak dirençleri ayarlanarak motorun sabit momentle yol alması sağlanabilir mi?
- 5- Doğru akım makinasının endüktör manyetik devresinde kutupların ve boyunduruğun ne zaman saclardan yapılması gerektiğini açıklayınız.
- 6- Kompund motorlarda yük akımı ile devir sayısı artar mı? Eksilir mi? Neden?
- 7- Her üç motora ait çizdiğiniz grafikleri yorumlayınız.

Deney No : **L**

Denevin Adı : **DA Generatörleri (Serbest, Şönt, Seri, Kompund Uyarımlı)**

Denevin Amacı : **DA Generatörlerinin İşletme Karakteristiklerinin İncelenmesi**

1. GENEL BİLGİLER

DOĞRU AKIM GENERATÖRLERİ

Mekanik enerjiyi, doğru akım şeklinde elektrik enerjisine çeviren makinalara "Doğru Akım Generatörü" veya "Dinamo" denir.

Generatörler esas olarak, kuvvetli bir manyetik alan içerisinde hareket eden çok sayıda iletkenin meydana gelmektedir. İletkenler manyetik alan içinde hareket ederken, kuvvet çizgilerini kesmekte ve iletkenler üzerinde bir e.m.k. oluşmaktadır. Bu oluşan e.m.k.'lar birbirini destekleyecek şekilde, iletkenler endüvi üzerine sarılmıştır. Endüvi uçlarına bir yük direnci bağlandığında devreden bir akım geçer ve böylece elektrik enerjisi dış devreye aktarılmış olur.

1.1. Elektromotor-kuvvet İfadesinin Çıkartılması

Bir DA generatörünün endüvisindeki q çift oluğa N adet sarımın yerleştirilmiş olduğu gözönüne alındığında, bir çift olukta N/q kadar sarım bulunacaktır. Bir çift olukta endüklenen gerilimin max. değeri E_q ile gösterilecek olursa bunun değeri;

$$E_q = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \Phi_{max} \cdot N/q$$

olacaktır. Burada $2 \cdot \pi \cdot f = \omega$ ve Φ_{max} kutup ayağından çıkıp endüviye giren toplam manyetik akı Φ 'ye eşittir.

Fırçalar arasındaki e.m.k. q sayıda sargı elemanında endüklenen E_q (e.m.k.)'larının geometrik toplamına eşittir. Fırçalar arasındaki bileşke e.m.k., sargı faktörünün hesaba katılmasıyla aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$E_R = q \cdot E_q \cdot \xi$$

$$E_R = q \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \Phi \cdot (N/q) \cdot \xi \cdot 10^{-8} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \xi \cdot \Phi \cdot 10^{-8} \quad [V]$$

olur. Bu denklemde f yerine $(p \cdot n)/60$ ve ξ yerine de doğru akım makineleri için $2/\pi$ yazılacak olursa,

$$E = 2 \cdot \pi \cdot p \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot N \cdot \Phi \cdot 10^{-8} = \frac{4 \cdot p \cdot N}{60} \cdot n \cdot \Phi \cdot 10^{-8} \quad [V]$$

e.m.k. ifadesi elde olunur. Bir sarımda iki iletkenin bulunduğu düşünülecek olursa makinadaki toplam iletken sayısı toplam sarım sayısının iki katına eşittir. Makinada 2a kadar paralel kol olduğu da düşünülecek olursa, yukarıdaki ifadelerde yazılı olan ve birbirini izleyen iki fırça arasındaki N yerine $N = (Z/4a)$ yazılacak olursa e.m.k. ifadesi aşağıdaki şekli alır;

$$E = \frac{Z}{a} \cdot \frac{p \cdot n}{60} \cdot \Phi \cdot 10^{-8} \quad [V]$$

Bu denklemde Φ Maxwell olarak, n d/dk olarak yerine konacaklardır. $\frac{Z}{a} \cdot \frac{p}{60}$ değeri sabit bir değer olduğu için bunu k_a gibi bir sabitle göstermek mümkündür. Bu durumda;

$$E = k_a \cdot n \cdot \Phi \cdot 10^{-8} \quad [V]$$

olur. Bu denklemdeki E, generatör boşta çalışırken fırçalar arasında okunan gerilime eşittir. Denklemden de görüldüğü gibi bir makinada endüklenen gerilimin değeri yalnız devir sayısı ile kutuplardan endüviye giren toplam manyetik akıya bağlıdır.

1.2. Kutup Gerilimi

Yukarıdaki denklemlerde belirtilmiş olan e.m.k.'i, doğru akım generatörü boşa çalışırken endüvi uçlarından ölçmek mümkündür. Sargılardan bir akım geçtiği takdirde, kutuplarda okunacak gerilim, e.m.k.'dan endüvi devresinde meydana gelecek omik gerilim düşümü kadar daha küçük olacaktır. Generatörlerde şebekeye akım verildiğinden, endüvide endüklenen gerilim şebeke geriliminden daha büyüktür. E.m.k. ile kutup gerilimi arasındaki fark, makinanın içindeki omik dirençlerde düşen gerilimlerin toplamına eşittir.

Bir fırça ile kollektör arasındaki geçiş direncinden dolayı meydana gelen gerilim düşümü ΔU_b ile gösterilecek olursa, I_a endüvi akımını, R_a endüvi direncini gösterdiğinde, kutup gerilimi ile e.m.k. arasındaki bağıntı aşağıdaki ifade ile gösterilir,

$$U = E - (I_a R_a + 2 \cdot \Delta U_b)$$

ΔU_b , (+) ve (-) fırçalardaki gerilim düşümlerinin toplamına eşit olup saf karbon fırçalarda 1,5 - 2 V ve madeni fırçalarda da 0,6 - 1 V civarındadır.

Eğer endüvi sargısına seri bağlanmış başka sargılar da varsa (yardımcı kutup, seri uyarma ve kompanzasyon sargıları gibi) bu sargılar üzerinde düşen gerilimler de dikkate alınmalıdır. Bu durumda R_a yerine ΣR_i yazmak daha doğru olacaktır. Buna göre formül yeniden yazılacak olursa;

$$U = E - (I_a \Sigma R_i + 2 \cdot \Delta U_b)$$

Kompund makinalarda endüvi sargısından geçen akım ile makinanın dış devresinden geçen akım arasında, şönt sargıdan geçen akım kadar bir fark olduğundan, seri sargı üzerinde meydana gelen omik gerilim düşümünün hesabında dış devreden geçen akım değil kendi üzerinden geçen akım hesaba katılmalıdır. Endüvi akımı I_a , şönt sargıdan geçen uyarma akımı I_m ve dış devreden geçen akım I ise akımlar arasında aşağıdaki gibi bir bağıntı vardır;

$$I_a = I + I_m$$

1.3. Generatörlerde Endüvi Reaksiyonu

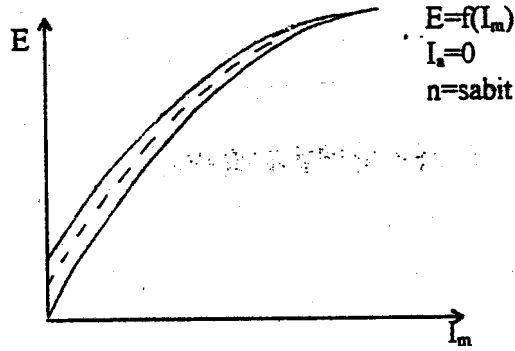
Generatörlerde üretilen e.m.k. (E), generatörün boşa çalıştırıldığı durum gözönüne alınarak çıkartılmıştır. Generatörün kutupları arasına bir yük bağlandığında, endüvi iletkenlerinden geçen $I/2a$ akımı endüvi çevresinde bir manyetik alan doğurur ve bu alan hava aralığındaki indüksiyonu değiştirerek Φ manyetik akısının biraz azalmasına sebep olur. Sonuçta boşa endüklenen gerilimin değeri (E) de düşecektir. Endüvinin bu etkisine "Endüvi Reaksiyonu" denir. Bir dinamoda endüvi reaksiyonunun tesirini ortadan kaldıracak bir takım tedbirler alınabilir. Pratikte, problem çözümlerinde endüvi reaksiyonu ihmal edilerek, dinamo ister boşa çalıştırılsın, ister yükte çalıştırılsın $E = k_c \cdot n \cdot \Phi$ formülündeki Φ bir kutbun doğurduğu manyetik akı olarak anılır.

2. SERBEST UYARTIMLI GENERATÖRLER

Bu tip generatörlerde uyartım sargıları özel bir doğru akım kaynağından beslenir. Besleme gerilimi, kutup gerilimine eşit veya farklı olabilir. Bu kaynak, bir akümülatör grubu, redresör sistemi, özel doğru akım dinamosu veya makinanın mili üzerine bağlanmış uyartım dinamosu olabilir.

2.1. Serbest Uyartımlı Generatörün Boşa Çalışma Karakteristiği

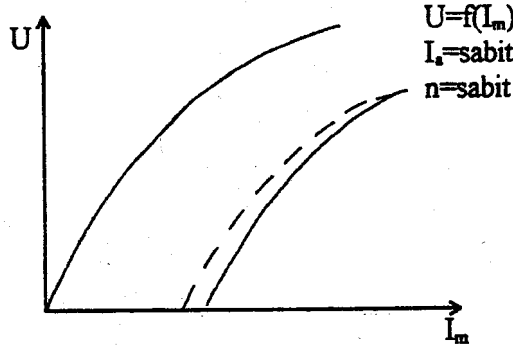
Sabit bir devir sayısında çalıştırılan generatörün yüksüz durumda iken, endüvisinde endüklenen e.m.k. ile uyartım sargılarından geçen I_m akımı arasındaki bağıntıyı veren eğridir. Yani $I_a = 0$ ve $n = \text{sabit}$ iken $E = f(I_m)$ fonksiyonunu verir. Burada E'nin $E = k_c \cdot n \cdot \Phi \cdot 10^{-8}$ olduğu daha önce belirtilmiştir. n devir sayısı sabit olduğuna göre bu eğri aynı zamanda bir ölçek farkı ile $\Phi = f(I_m)$ fonksiyonunu da verecektir. Bu nedenle bu eğriye mıknatıslanma eğrisi de denir.



Şekil-2.1. Serbest Uyartımlı Generatörün Boşta Çalışma Karakteristiği

2.2. Serbest Uyartımlı Generatörün Yük Karakteristiği

Sabit devir sayısı ve sabit yük akımında, kutup gerilimi U ile uyartım akımı I_m arasındaki ilişkiyi veren eğriye yük karakteristiği denir. Yani $n = \text{sabit}$, $I_a = \text{sabit}$, $U = f(I_m)$

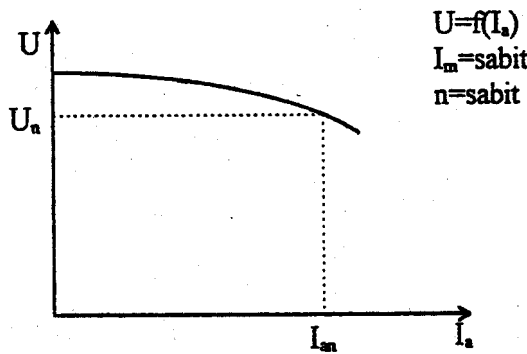


Şekil-2.2. Serbest Uyartımlı Generatörün Yük Karakteristiği

2.3. Serbest Uyartımlı Generatörün Dış Karakteristiği

Sabit devir sayısı altında bir tahrik motoru ile döndürülen generatörün uyartım akımı nominal yük akımında nominal kutup gerilimini verecek şekilde ayar edilip bu değerde sabit tutulduğu takdirde, kutup geriliminin yük akımına göre değişimini veren eğriye denir.

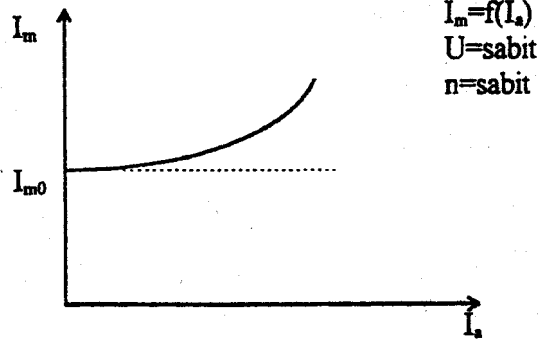
Uyarma sargısının sabit gerilimli bir doğru akım şebekesine bağlı olması nedeniyle sabit R_m uyartım direncinde I_m uyartım akımı da sabit olacaktır. Bu durumda $n = \text{sabit}$, $I_m = \text{sabit}$ iken $U = f(I_a)$ eğrisi çıkartılacaktır.



Şekil-2.3. Serbest Uyartımlı Generatörün Dış Karakteristiği

2.4. Serbest Uyarımlı Generatörün Ayar Karakteristiği

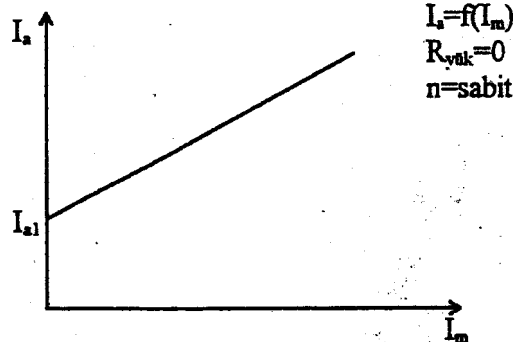
Nominal devir sayısı ile tahrik olunan generatörün kutup gerilimini U_n nominal değerinde sabit tutmak üzere, yük akımı ile uyarım akımının değişimini veren eğriye ayar karakteristiği denir.



Şekil-2.4. Serbest Uyarımlı Generatörün Ayar Karakteristiği

2.5. Serbest Uyarımlı Generatörün Kısa Devre Karakteristiği

Nominal devir sayısında tahrik olunan ve (+) ile (-) fırçalarının arası dışarıdan kısa devre edilmiş ($R_{yük} = 0$) bir DA generatörünün uyarım akımına bağlı olarak, endüvi akımının değişimini veren eğriye denir. Yani $n = \text{sabit}$, $R_{yük} = 0$ iken $I_a = f(I_m)$. Generatörün kutuplarında bir artık mıknasliyetin olduğu gözönüne alınmıştır.



Şekil-2.2. Serbest Uyarımlı Generatörün Kısa Devre Karakteristiği

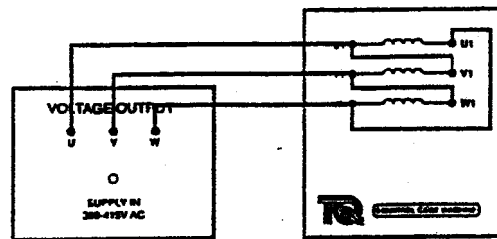
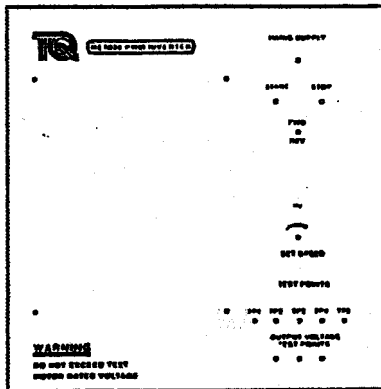
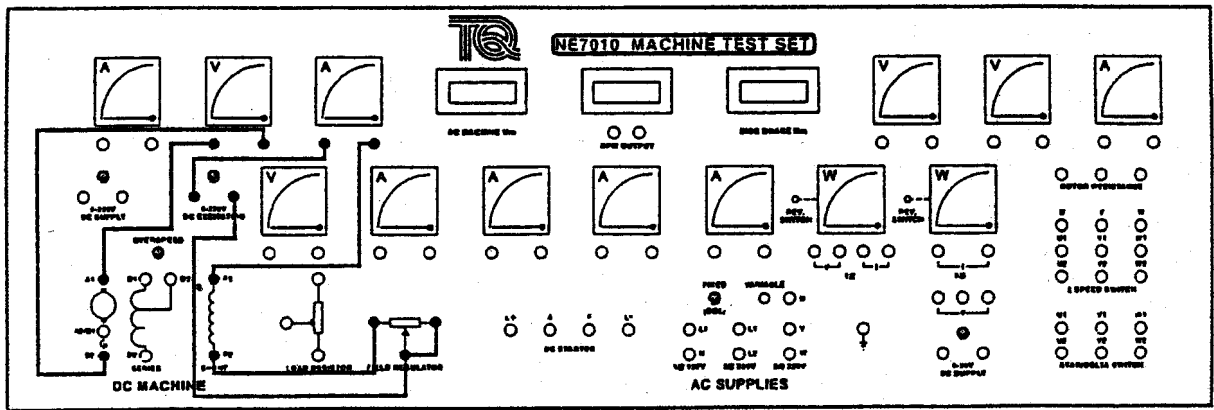
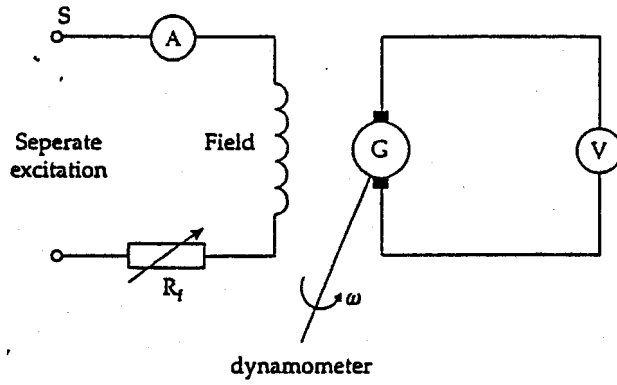
2.6. Serbest Uyarımlı Generatör Karakteristiklerinin Çıkartılması İçin Yapılacak Deneyler

Deneyler sırasında DA generatörüne tahrik motoru olarak üç fazlı sincap kafesli asenkron motor kullanılmıştır. Bu motor set üzerindeki yerine yerleştirildikten sonra DC generatörü ile akuple edilmiştir. Bu motora ait mimik diyagram setin ön paneline yerleştirilir ve ona ait bağlantılarda verilen bağlantı şemalarına bakılarak yapılır. Ayrıca motorun devir sayısının deneyler esnasında sabit tutulabilmesi için bir PWM inverter cihazı da kullanılacaktır. Bu cihazla ilgili ayrıntılı bilgiye burada değinilmeyecektir.

2.6.1. Boşta Çalışma Deneyinin Yapılışı

- 1- Şekil-2.6'daki bağlantı şemasına göre deneyi kurunuz.
- 2- Alan kaynağına ait CBE anahtarı açık konumda iken ($I_m = 0$) generatörü normal devir sayısında döndürünüz ve bu andaki kutup gerilimini kaydediniz (Remenans gerilimi - E_R)
- 3- R_f alan regülatörü max. durumda iken alan anahtarını kapatınız ve uyarım kaynağını 130 V verecek şekilde ayar ediniz.
- 4- I_m uyarım akımını, R_f 'yi kullanarak en küçük değerinden başlamak suretiyle kademe kademe arttırınız. Bu anda hızın sabit kalmasına dikkat ediniz.

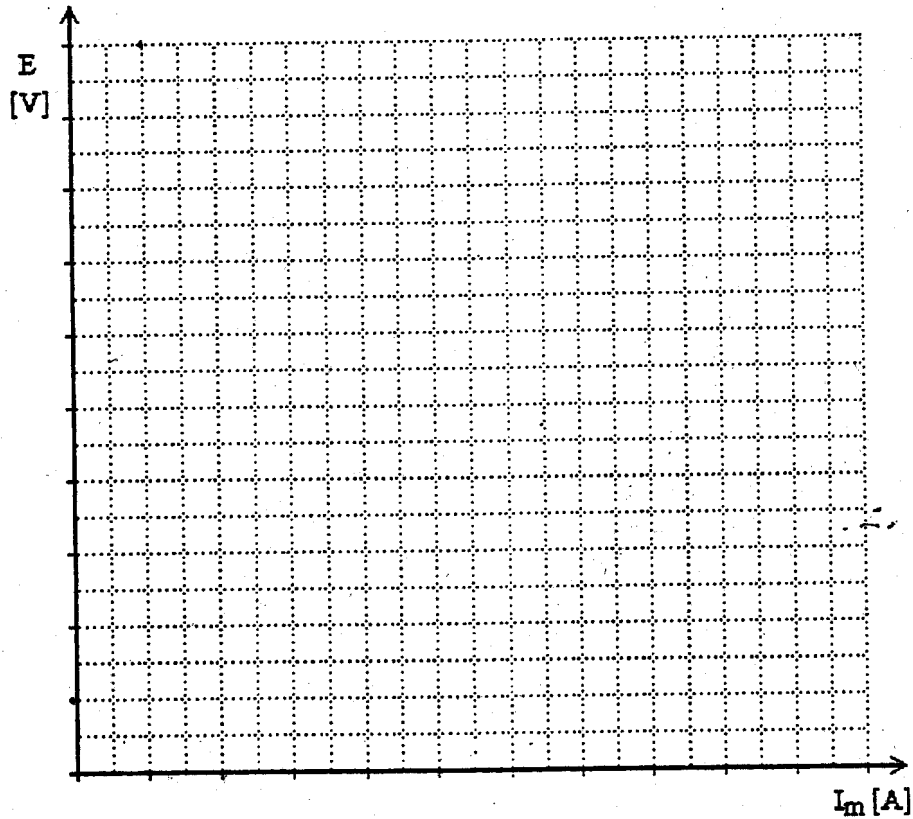
- 5- Voltmetreden okunan değer fazla değişmeyecek hale gelinceye kadar I_m uyarım akımını arttırınız ve her kademe için akım ve gerilim değerlerini kaydediniz.
- 6- I_m akımının azalan değerleri için deneyi tekrar ediniz. Bunun için I_m akımını aynı kademelerde R_f kullanarak azaltınız ve gerilimi tekrar voltmetreden okuyarak kaydediniz.
- 7- Aldığınız değerleri kullanarak I_m 'nin artması ve azalması durumu için $E = f(I_m)$ eğrilerini aynı eksen üzerine çiziniz.



şekil-2.6. Boşta Çalışma Deneyinin Bağlantı şeması

Azalan		Artan	
Endüvi gerilimi E [V]	Uyarım akımı I _m [A]	Endüvi gerilimi E [V]	Uyarım akımı I _m [A]

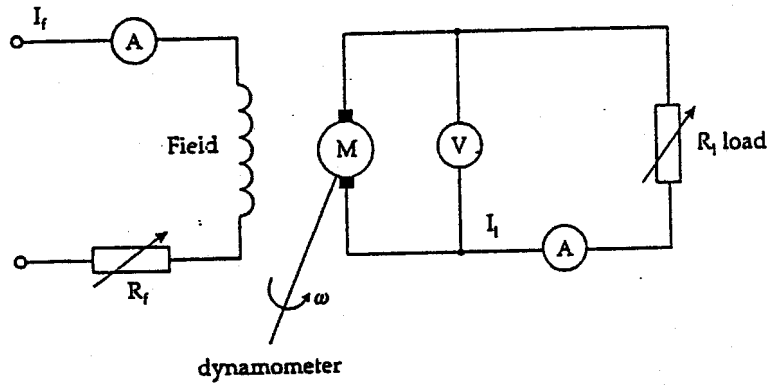
Tablo-2.1. Boşta çalışma Deneyinde Alınan Değerler



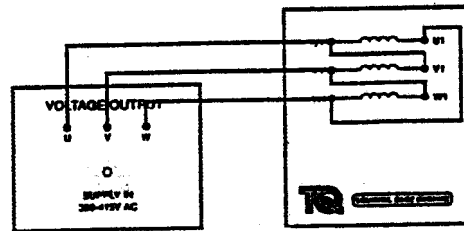
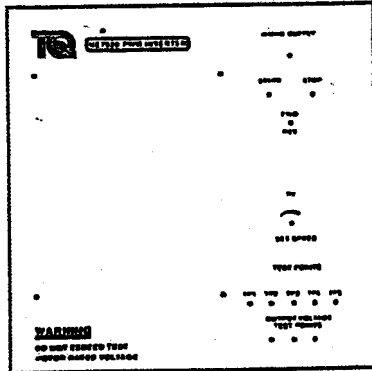
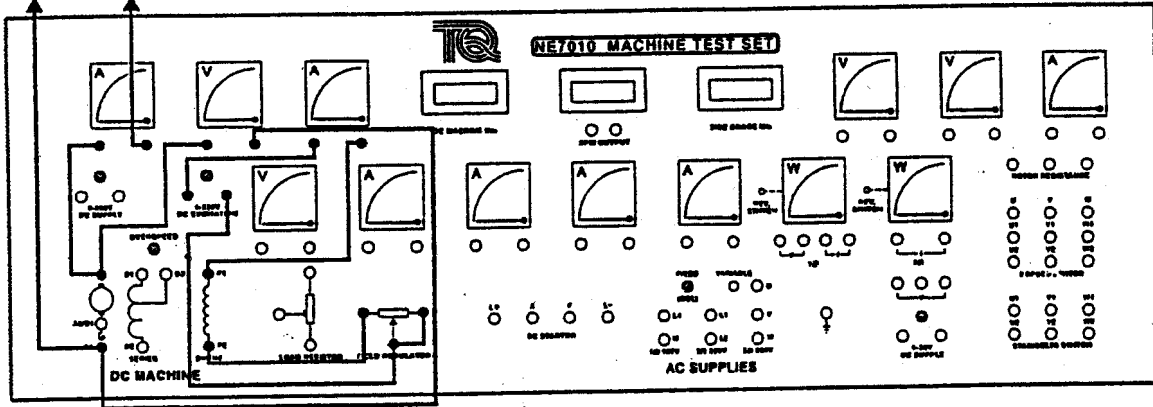
2.6.2. Yükte Çalışma Deneyinin Yapılışı

- 1- Şekil-2.7'deki bağlantı şemasına göre deneyi kurunuz.
- 2- R₁ yük direncini (NE7026) başlangıçta devre dışı bırakarak generatörü normal devir sayısında çalıştırınız.
- 3- R_f alan regülatörü max. durumda iken uyarım kaynağını devreye sokunuz ve R_f'yi ayarlamak suretiyle uyarım akımı I_f'yi nominal değerine getiriniz. Bu durumda voltmetreden okuduğunuz değeri (U) kaydediniz.
- 4- R₂ yük direnci, max. değere ayarlanarak devreden küçük bir akımın geçmesini sağlayınız. Bu anda yük ampermetresinden okunan I₁ akımı ve voltmetreden okunan U değerini kaydediniz.

- 5- R_f direncini değiştirmek suretiyle yük akımını normal değerinin %25 fazlasına kadar kademe kademe arttırınız ve her kademe de okuduğunuz değerleri kaydediniz.
- 6- Makinayı kapattıktan sonra endüvi sargılarının i direncini lnz. Ölüm, endüvi sargıları sıcakken yapılmalıdır.
- 7- Aldığınız değerleri kullanarak I_1 yük akımının artmasına karşı U kutup geriliminin değişimini gösteren eğriyi çiziniz.
- 8- Aynı eksen üzerinde endüvi gerilim düşümünü gösteren; $I_1 R_a = f(I_1)$ eğrisini de çiziniz.
- 9- Bu iki eğriyi kullanarak, makinanın i karakteristik ve dış karakteristik eğrilerini aynı eksen üzerinde gösteren ikinci bir grafik çiziniz.



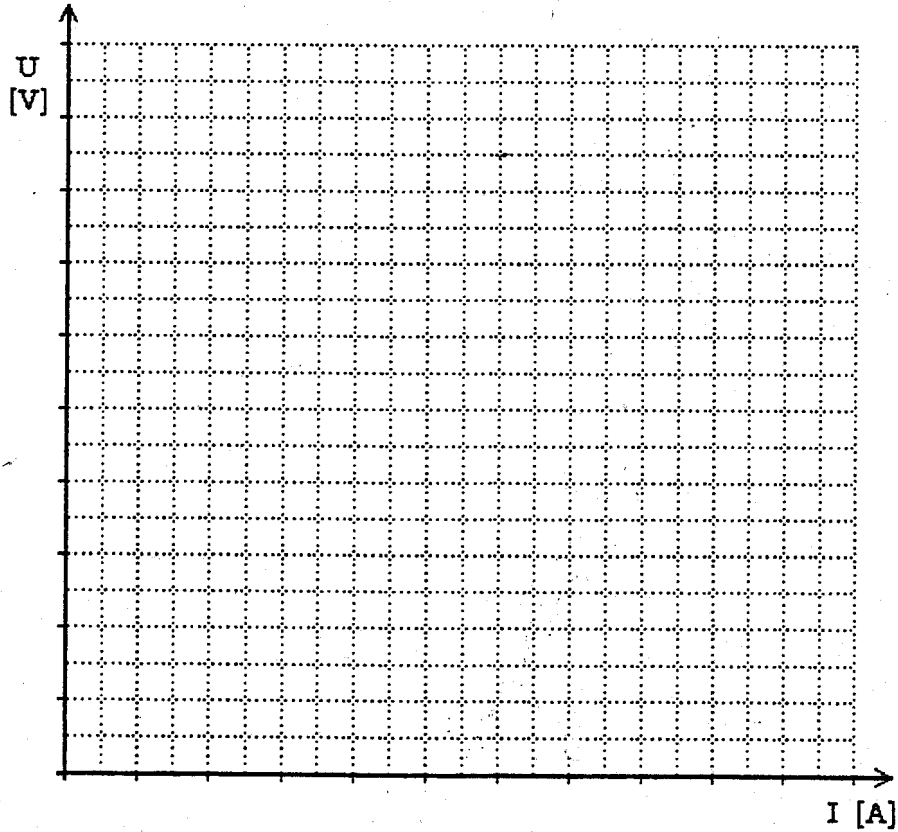
To NE7026 Resistive Load Bank



şekil-2.7. Deneyin Bağlantı şeması

Kutup gerilimi U [V]	Yük akımı I [A]

Tablo-2.2. Yükte Çalışma Deneyde Alınan Değerler



İç Karakteristik ve Dış Karakteristik Eğrileri

2.6.3. Serbest Uyarımlı Generatörün Devir Sayısı İle Endüklenen Gerilim Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Bu deneyde kutup gerilimi ile devir sayısı arasındaki ilişki,

i) Generatör boşta çalışırken ($R_{yük} = \infty$)

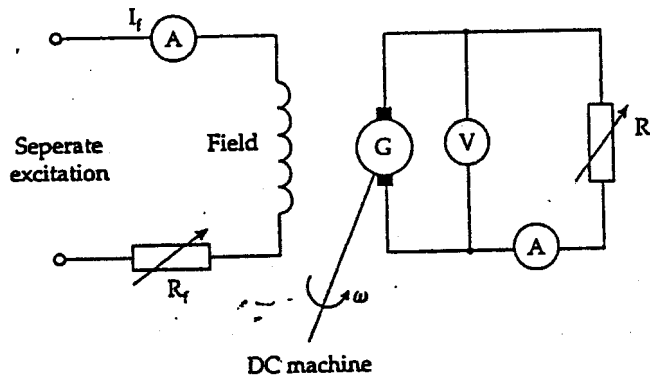
ii) Generatör tam yükte çalışırken

olmak üzere iki kısımda incelencektir.

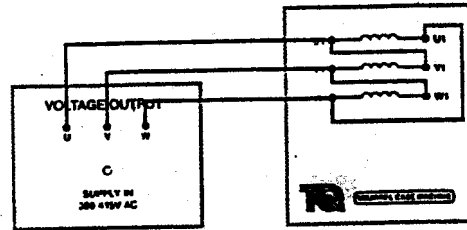
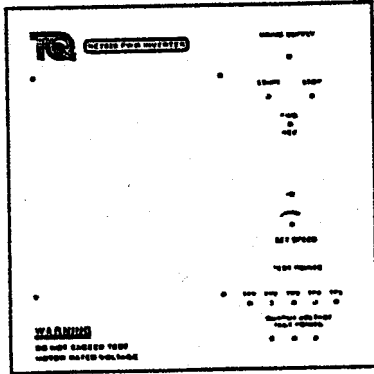
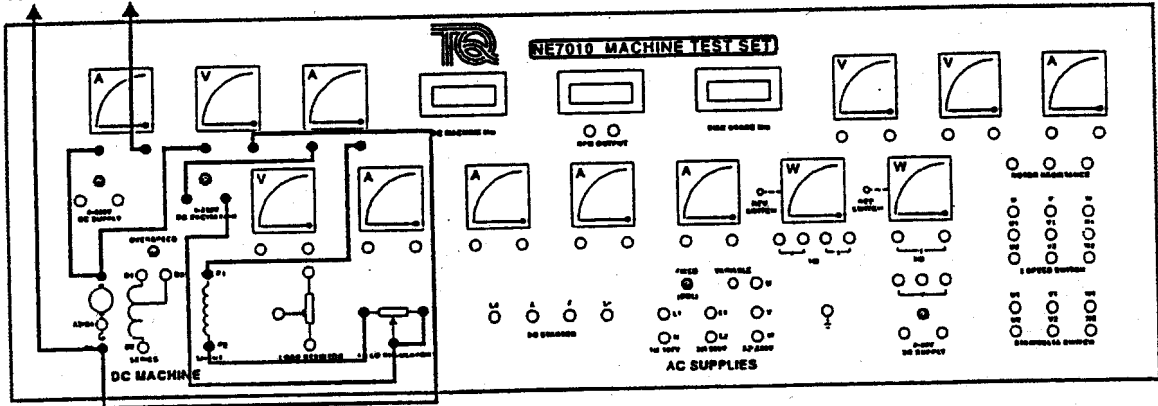
Deneyin Yapılışı

- 1- Şekil-2.8' de verilen bağlantı şemasına göre devreyi kurunuz.
- 2- R_1 yük direncini (NE7026) devre dışı bırakarak, generatörü boşta en düşük hızda çalıştırınız.
- 3- Set üzerindeki R_f uyarım regülatörünü max. değere getirerek uyarım kaynağını devreye sokunuz.
- 4- Uyarım gerilimini 130 V'a getirmek suretiyle, R_f 'yi değiştirerek I_m uyarım akımını normal değerine ayarlayınız. deney boyunca uyarım akımını değiştirmeyiniz.

- 5- Bu arada voltmetreden generatörün bir gerilim üretip üretmediğini gözleyerek, devir sayısı ile gerilim değerini kaydediniz.
- 6- Devir sayısını uygun aralıklarla normal değerine kadar arttırınız ve her kademedede devir sayısı ile gerilim değerini okuyarak kaydediniz (Generatör için tahrik motoru olarak kullanılan üç fazlı sincap kafesli asenkron motorun (NE7050) beslenmesine bir PWM inverter (NE7020) bağlayarak motorun devir sayısını değiştiriniz).
- 7- R_1 yük direncini, generatörü tam yük akımında yükleyecek şekilde devreye sokunuz. Yük akımını sabit tutmak suretiyle yukardaki deneyi tekrarlayınız ve aldığınız değerleri tabloya kaydediniz.
- 8- Aldığınız değerleri kullanarak, aynı eksenler üzerinde generatör boşta ve tam yükte çalışırken devir sayısına göre kutup geriliminin değişimini veren eğrileri çiziniz.



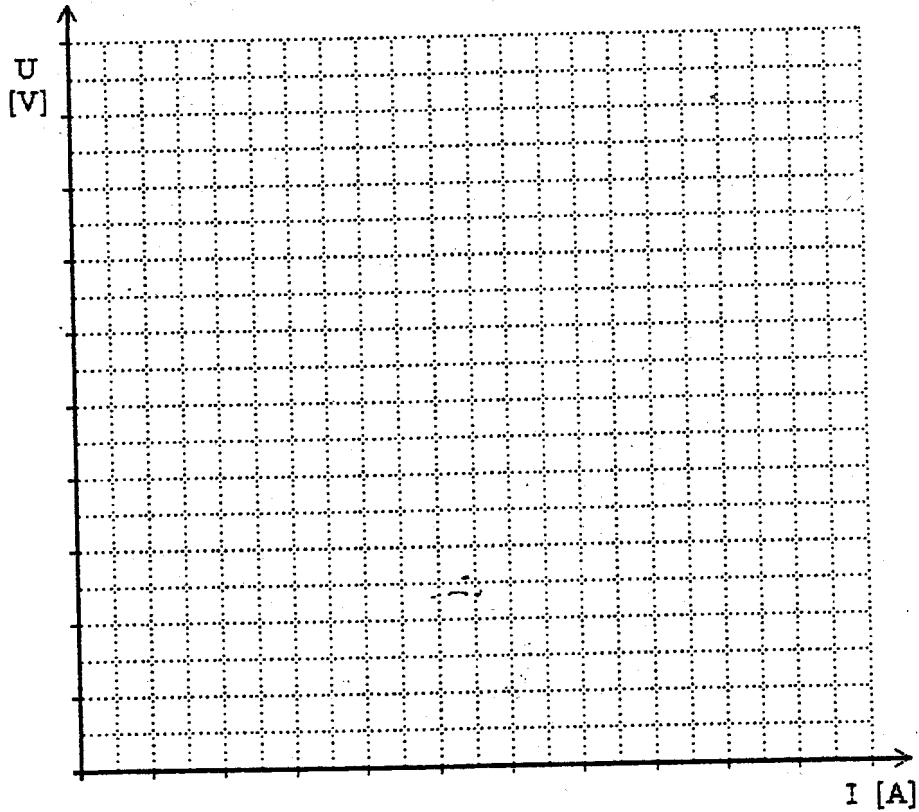
To NE7026 Resistive Load Bank



Şekil-2.8. Deneyin Bağlantı Şeması

Yüksüz		Tam yükte	
Devir sayısı n [d/dk]	Gerilim U [V]	Devir sayısı n [d/dk]	Gerilim U [V]

Tablo-2.3. Deneyde Alınan Değerler



3.ŞÖNT GENERATÖRLER

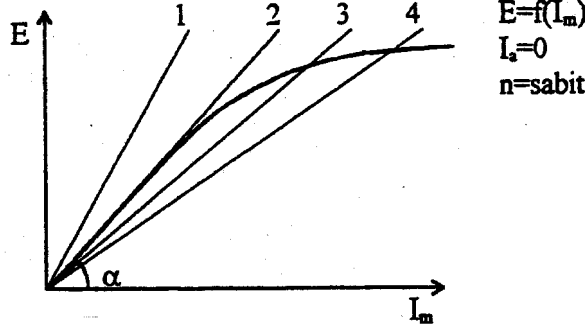
Şönt generatörlerde uyarım sargısı, endüviye paralel bağlanmaktadır. uyarım sargıları dışardan herhangi bir DA kaynağı ile beslenmediği için endüvi üzerinden endüklenen gerilim tarafından beslenirler. Buna dinamonun kendi kendine uyarılması denir.

3.1. Kendi Kendine Uyarım

Bir şönt generatörün kendi kendini uyartabilmesi için kutuplarında bir artık mıknatısiyetin bulunması gerekir. Bunu sağlamak için kendinden uyarımlı dinamolar ilk defa çalıştırıldıklarında dışardan yabancı bir üreteç tarafından uyartılırlar.

Dinamo normal devir sayısında döndüğü zaman kutuplarındaki artık mıknatısiyetten dolayı, endüvisinde bir gerilim endüklenir. Endüklenen bu gerilimden dolayı endüviye paralel bağlı olan uyarım sargılarından çok küçük bir akım geçer. Uyarım sargılarından geçen bu akım, kutuplardaki manyetik alanın artmasına neden olur. Artan manyetik alan içindeki endüvi sargılarında daha büyük bir gerilim endüklenir. Böylece sürekli olarak gerilim ve uyarım akımı artarak dinamo kendi kendini uyartmış olur.

Uyartım devresine U gerilimi uygulandığında $U/R_m = I_m$ akımı geçer. Bu akım U geriliminin veya R_m direncinin değiştirilmesiyle değişir. Burada $U = f(I_m)$ değişimi bir doğru olup **DİRENÇ DOĞRUSU** adını alır. Bu doğru ile boşa çalışma karakteristik eğrisinin kesiştiği nokta dinamonun işletme noktasını gösterir. Yani bu noktada dinamo kendi kendini uyartacaktır. Aksi halde kesişme olmuyorsa kendi kendini uyardırmayacaktır. Direnç doğrusunun boşa çalışma karakteristik eğrisine teğet olduğu duruma "**Kritik Direnç Doğrusu**" denir.

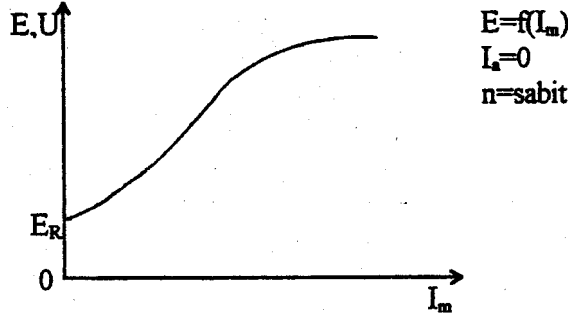


Şekil-3.1. Şönt Dinamomun Kendi Kendini Uyartabilmesi İçin **DİRENÇ DOĞRULARI'nın Alabileceği Çeşitli Durumlar**

3.2. Şönt Generatörün Boşa Çalışma Karakteristiği

Boşa çalışma karakteristiği diye; dinamonun devir sayısı n sabit, dış devre akımı I sıfırken, Uyartım akımı I_m ile kutup gerilimi E arasındaki bağıntıya denir.

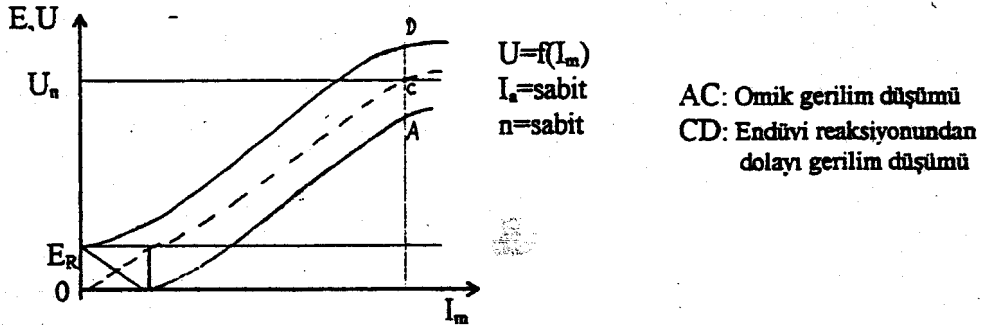
Boşa çalışma durumunda dış devre akımı I sıfırdır. fakat endüvi devresinden uyartım devresinin çektiği akım I_m geçer. Normal gerilimde bu akım tam yük akımının %5'i kadar olur. Uyartım akımı nedeniyle endüvi devresinde küçük bir gerilim düşümü olursa da önemsizdir. Bu nedenle voltmetrenin gösterdiği değer, dinamonun ürettiği e.m.k. olarak alınabilir.



Şekil-3.2. Şönt Generatörün Boşa Çalışma Karakteristiği

3.3. Şönt Generatörün Yük Karakteristiği

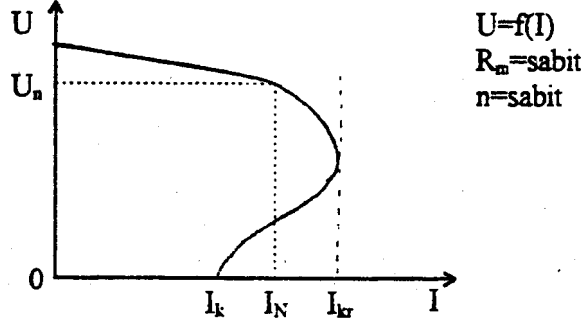
Sabit devir sayısı (n) ve sabit yük akımında (I), uyartım devresi akımı I_m ile kutup gerilimi U arasındaki ilişkiyi veren eğriye denir. Yani $n = \text{sabit}$, $I = \text{sabit}$ iken $U = f(I_m)$ 'dir.



Şekil-3.3. Şönt Generatörün Yükte Çalışma Karakteristiği

3.4. Şönt Generatörün Dış Karakteristiği

Nominal devir sayısı ile tahrik edilen generatörün nominal yük akımında, kutup gerilimini nominal değere ayar eden uyarma devresi direnci R_m sabit tutulmak suretiyle, kutup geriliminin yük akımına bağlı olarak değişimini veren eğriye denir. Yani $n = \text{sabit}$, $R_m = \text{sabit}$ iken $U = f(I)$ 'dir.



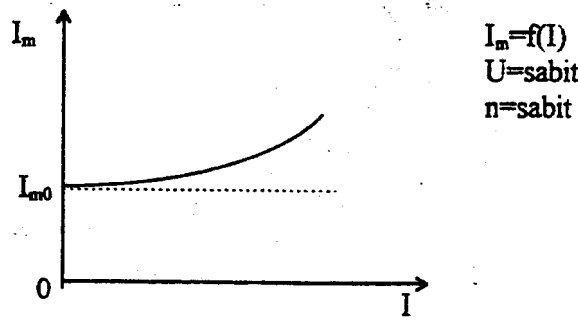
Şekil-3.4. Şönt Generatörün Dış Karakteristiği

Çizilen eğriye göre dinamo yüklendikçe kutuplardaki gerilim düşmektedir. Yabancı uyarımlı dinamolarda gerilim, endüvi reaksiyonu ve endüvi iç direncinden dolayı düşüyordu. Şönt dinamolarda da aynı nedenlerden dolayı gerilim düşümü olur. Ayrıca endüvi reaksiyonu ve iç direnci, kutup geriliminin azalmasına, bundan dolayı uyarım devresinden geçen akımın da azalmasına neden olur. I_m uyarım akımındaki azalma dinamoda endüklenen e.m.k.'nin daha fazla düşmesine yol açar. O halde şönt generatörlerde gerilim düşümünün üç nedeni vardır:

1. Endüvi reaksiyonu
2. Endüvi iç direnci
3. I_m uyarım akımının azalması

3.5. Şönt Generatörün Ayar Karakteristiği

Nominal devir sayısı ile tahrik olunan generatörün kutup gerilimini U_n nominal değerinde sabit tutmak üzere, yük akımı (I) ile uyarım akımının (I_m) değişimini veren eğriye ayar karakteristiği denir. Yani $n = \text{sabit}$, $U = \text{sabit}$ iken $I_m = f(I)$ 'dir.

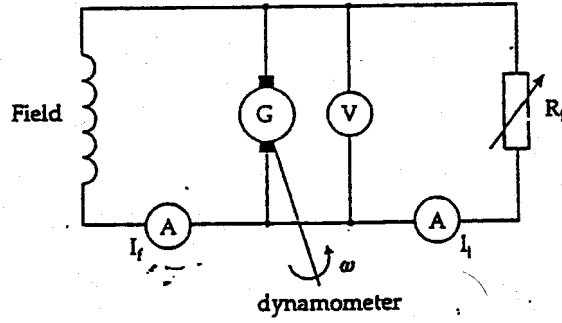


Şekil-3.5. Şönt Generatörün Ayar Karakteristiği

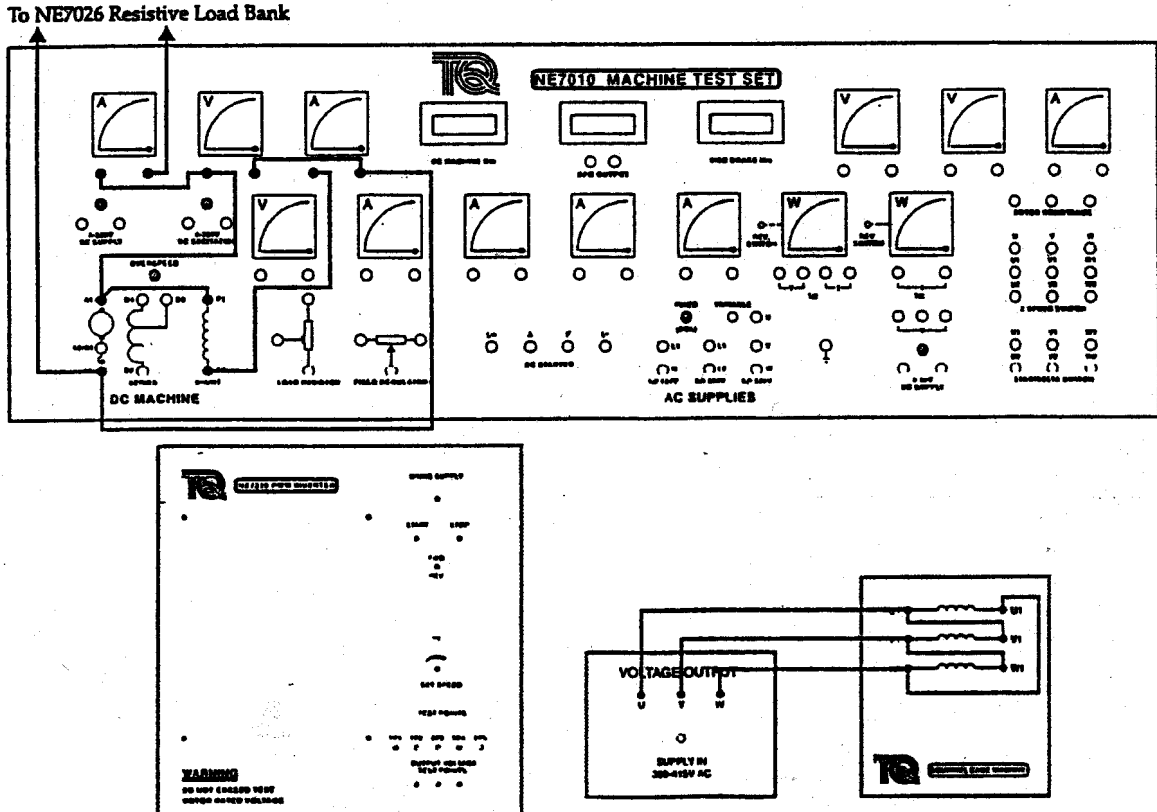
3.6. Şönt Generatörün Yükte Çalışma Deneyinin Yapılışı

- 1- Şekil-3.6.'daki bağlantı şemasına göre devreyi kurunuz.
- 2- Asenkron motoru çalıştırmak suretiyle şönt generatörü normal devir sayısında döndürünüz. Devir sayısı deney boyunca sabit tutulmalıdır.
- 3- R_1 yük direnci devre dışı iken voltmetreden okuduğunuz kutup gerilimini U ve I_m uyarım akımını okuyarak kaydediniz.
- 4- R_1 yük direncini max. konuma alınız ve bu halde yük anahtarını kapatınız.

- 5- Bu durumda yük akımı I , uyarım akımı I_m ve gerilim değerlerini kaydediniz.
- 6- R_1 yük direncini makina kısa devre durumuna gelinceye kadar kademe kademe azaltınız ve her kademe için I , I_m , U değerlerini tabloya yazınız.
- 7- Makinayı kapattıktan sonra endüvi sargısı direncini ölçünüz. Ayrıca uyarım sargısı direncini U ve I_m değerlerinden hesaplayınız.
 $R_a = \dots$ $R_m = \dots$
- 8- Deneyde aldığınız değerleri kullanarak aynı eksenler üzerinde iç ve dış karakteristik eğrilerini çiziniz $E = f(I)$, $U = f(I)$.
- 9- Yük akımına karşılık uyarım akımının değişimini gösteren eğriyi de aynı eksenler üzerinde gösteriniz.



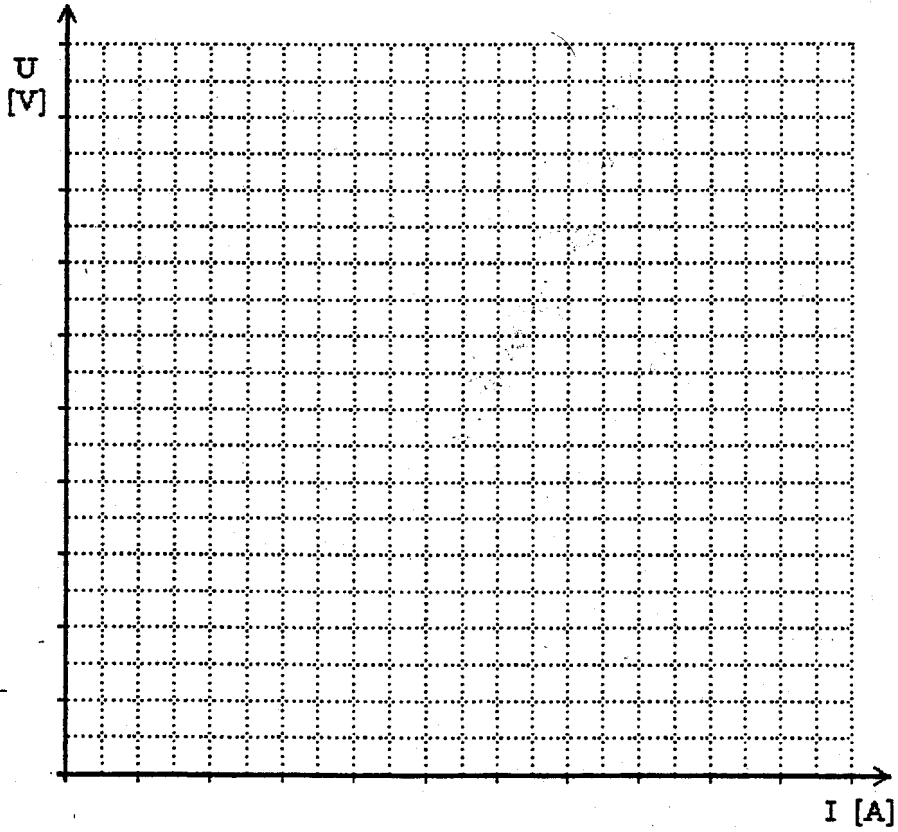
Şekil-3.6.a. Şönt Generatör Deneyinin Devre Şeması



Şekil-3.6.b. Şönt Generatör Deneyinin Bağlantı Şeması

U [V]	Yük akımı I [A]	Uyarım akımı I_m [A]

Tablo-3.1. Şönt Generatör Deneyinde Alınan Değerler



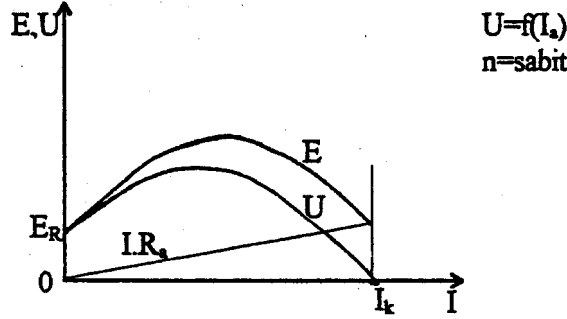
Şönt Generatör Karakteristikleri

4. SERİ GENERATÖRLER

Seri generatörlerde, uyarım sargıları endüviye seri bağlanmıştır.

4.1. Seri Generatörün Dış Karakteristiği

Sabit devir sayısı ile tahrik olunan seri generatörün (+) ve (-) fırçalarına bağlanan yük direncini değiştirmek suretiyle değişen endüvi akımı ile kutup gerilimi arasındaki bağıntıyı veren eğriye seri generatörün dış karakteristiği denir. Yani $n = \text{sabit}$ iken $U = f(I_a)$ 'dır.



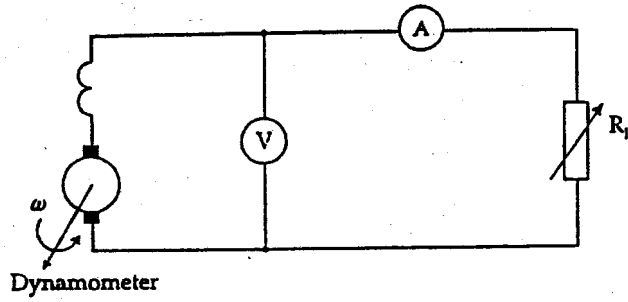
Şekil-4.1. Seri Generatörün Dış Karakteristik Eğrisi

Seri dinamolarda dış devre akımı ile uyarım devresinden geçen akım eşittir ($I_m = I$). Dolayısıyla yük akımı değiştikçe uyarım akımı da değişecektir.

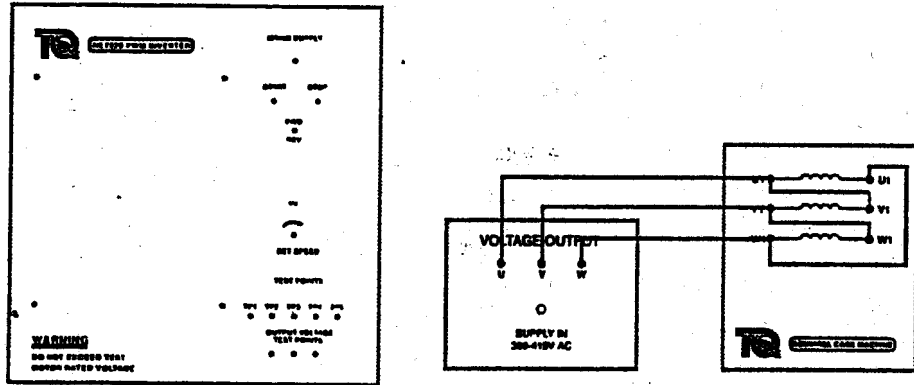
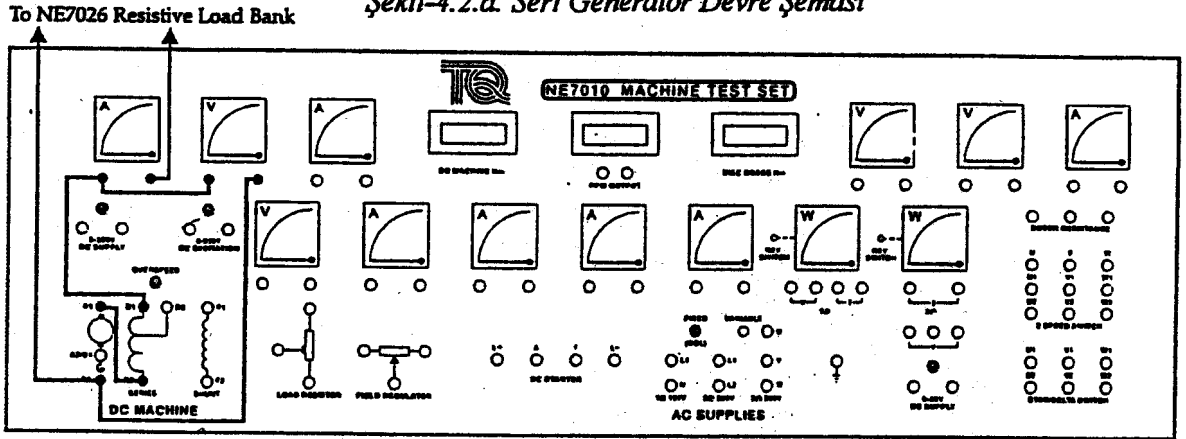
Yük akımı arttıkça, aynı akım uyarım sargısından geçtiği için magnetik alanın artmasına ve dolayısıyla endüvide endüklenen e.m.k.'nin artmasına sebep olacaktır. Yukarıdaki grafikte bu durum görülmektedir. Ancak yük akımının belli bir değerden sonra artması, kutupların doyuma ulaşması nedeniyle, kutup geriliminin düşmesine neden olur. Bunun nedeni, kutupların doyuma ulaşmasından sonra yük akımındaki artışın ana alanın değerinde bir değişiklik meydana getirmemesi ve yük akımı arttıkça endüvi devresi direncinden ve endüvi reaksiyonundan dolayı meydana gelen gerilim düşümlerinin artmasıdır. Yük akımının I_k değerinde kutup gerilimi sıfır olur. Bu anda generatör kutupları kısa devre olmuştur.

4.2. Seri Generatörün Yükte Çalışma Deneyinin Yapılışı

- 1- Şekil-4.2.'de verilen bağlantı şemalarına göre devreyi kurunuz.
- 2- R_1 yük direncini başlangıçta devre dışı bırakarak generatörü normal devir sayısında çalıştırınız. Bu durumda voltmetreden gerilim değerini okuyarak kaydediniz.
- 3- R_1 direnci max. durumda iken yük anahtarlarını kapatarak generatör tamamen uyarılana kadar R_1 'i kademe kademe azaltınız ve bu andaki akım (I) ve gerilim (U) değerlerini kaydediniz.
- 4- Devir sayısını sabit tutmak koşuluyla, yük akımını nominal akımın %25'ine kadar uygun aralıklarla arttırınız ve her kademe U ve I değerlerini tabloya kaydediniz.
- 5- R_1 direncini tekrar kademe kademe arttırarak bir önceki basamakta alınan I değerleri için deneyi-tekrarlayınız. Azalan yük akımları için kutup geriliminin değişip değişmediğini kaydediniz.
- 6- Makinayı kapattıktan sonra endüvi ve seri alan sargılarını sıcakken ölçünüz.
 $R_a = \dots$ $R_s = \dots$
- 7- Aldığınız değerlere göre aynı eksenler üzerinde iç ve dış karakteristik eğrilerini çiziniz.
 $E = f(I)$ $U = f(I)$



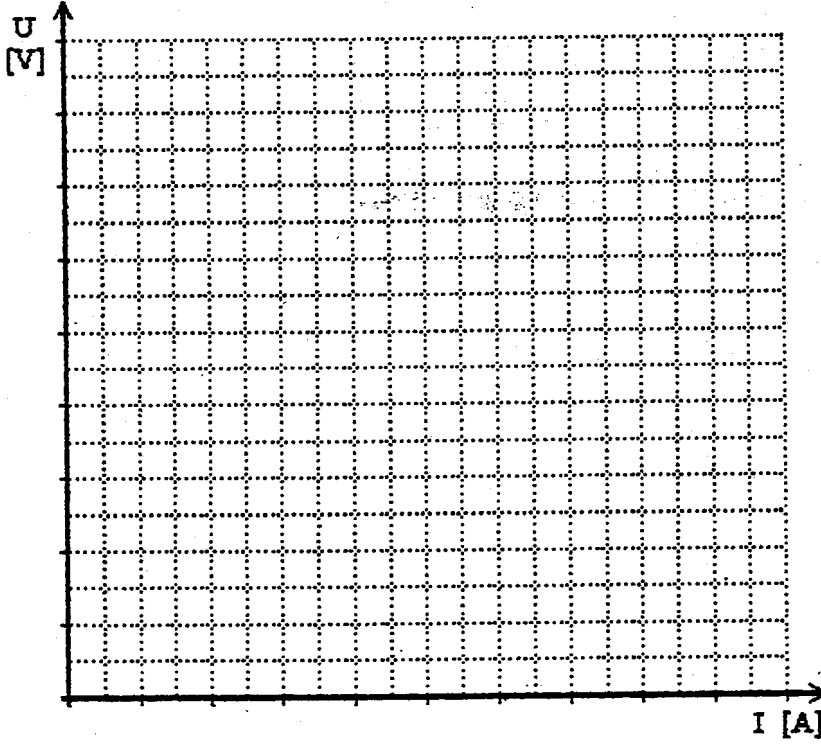
Şekil-4.2.a. Seri Generatör Devre Şeması



Şekil-4.2.b. Seri Generatör Bağlantı Şeması

Azalan		Artan	
Kutup gerilimi U [V]	Yük akımı I [A]	Kutup gerilimi U [V]	Yük akımı I [A]

Tablo-4.1. Deneyde Alınan Değerler



Seri Generatör Karakteristikleri

5. KOMPUND GENERATÖRLER

Kompund generatörlerde hem seri hem de şönt sargı vardır. Seri ve şönt uyarım sargılarının yapısı ve bağlantısı aynen şönt ve seri generatörlerde olduğu gibidir.

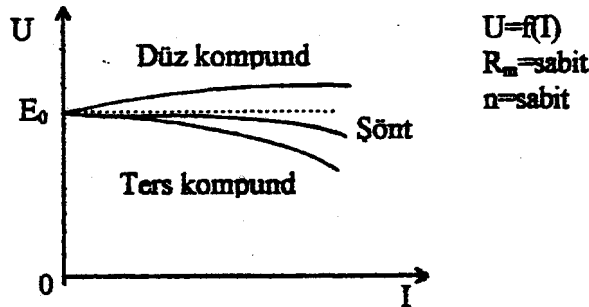
Kompund generatörlerde seri ve şönt sargının oluşturduğu magnetik alan bağlantı şekillerine göre birbirini destekleyecek veya birbirini yok edecek şekilde olabilir. Buna göre kompund generatörler kutup bağlantılarının durumuna göre iki kısımda incelenir.

- a) Eklemeli veya düz kompund, b) Ters veya diferansiyel kompund.

Kompund generatörlerin boş çalışma karakteristiğinin çıkarılışı ve eğrisi aynen şönt generatörlerde olduğu gibidir. Çünkü makina boşta çalışıldığı için endüviden akım geçmez ve seri sargının magnetik alana hiçbir etkisi olmaz. Bu bakımdan boş çalışma karakteristiğinin tekrar incelenmesine gerek yoktur. Burada kompund generatörün özelliklerini ortaya çıkardığı için sadece dış karakteristik eğrisi incelenecektir.

5.1. Kompund Generatörün Dış Karakteristiği

Sabit devir sayısı ile tahrik olunan generatörün, nominal yük akımında kutup gerilimini nominal değerine ayar eden şönt uyarma devresi direnci R_m sabit tutularak tesbit edilen $U = f(I)$ eğrisine kompund generatörün dış karakteristiği denir.



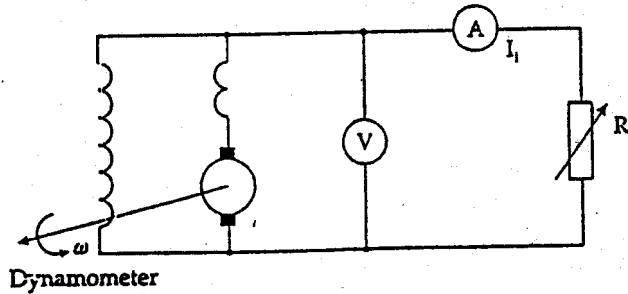
Şekil-5.1. Kompund Generatörün Dış Karakteristiği

5.2. Kompund Generatörün Yükte Çalışma Deneyinin Yapılışı

- 1- Şekil-5.2.'de verilen bağlantı şemasına göre devreyi kurunuz.
- 2- Seri sargı alanı, şönt sargı alanını destekleyecek şekilde makinayı düz kompund olacak şekilde bağlayınız.
- 3- R_1 yük direnci anahtarı tamamen açık konumda iken makinayı normal devir sayısında çalıştırınız ve gerilim değerini okuyarak kaydediniz.
- 4- R_1 yük direncini tamamen devreye soktukten sonra ayarlamak suretiyle yük akımını tam yükün %25 fazlasına kadar kademe kademe arttırınız ve her kademedeki akım ve gerilim değerlerini okuyarak kaydediniz.
- 5- Seri sargı uçlarının yerini değiştirmek suretiyle yukardaki işlemleri ters kompund generatör için tekrarlayınız.
- 6- Seri sargı alanının büyüklüğünü değiştirmek suretiyle değer almadan deneyi tekrarlayınız. Gözlemlerinizi kaydediniz.
- 7- Deneyde aldığınız değerleri kullanarak ters ve düz kompund generatör için dış karakteristik eğrilerini aynı eksenler üzerine çiziniz.

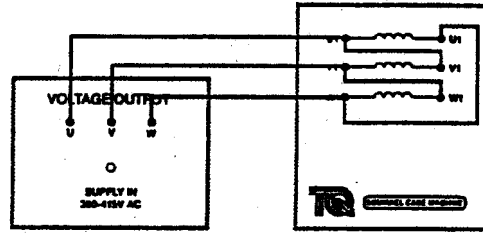
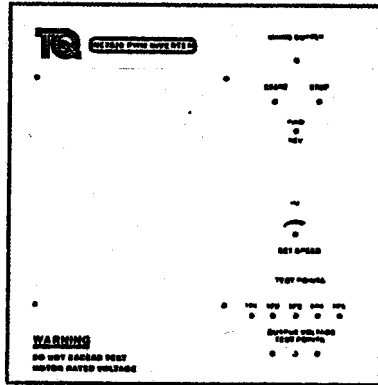
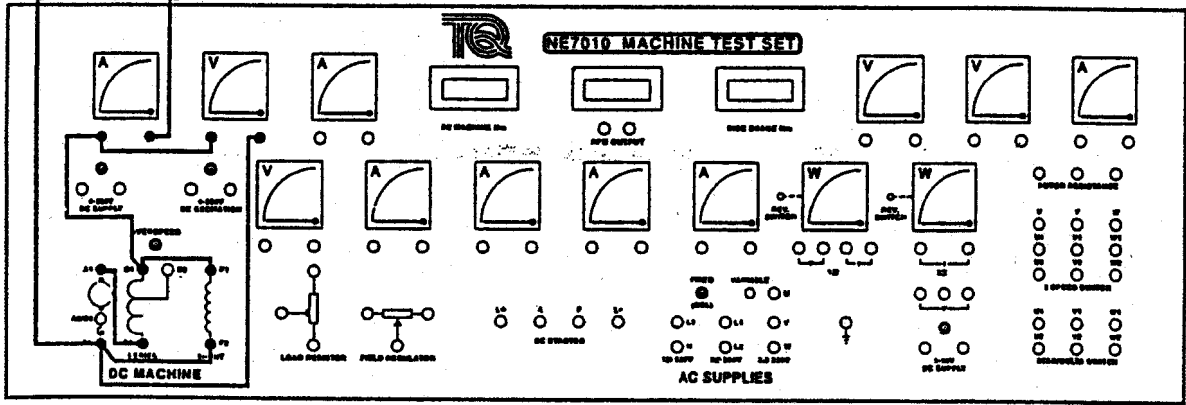
Düz kompund		Ters kompund	
U [V]	I [A]	U [V]	I [A]

Tablo-5.1. Deneyde Alınan Değerler



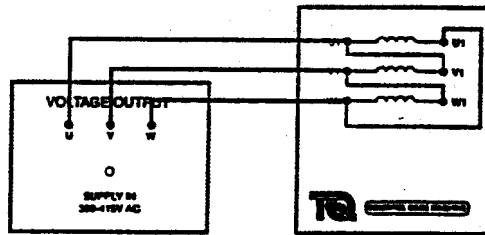
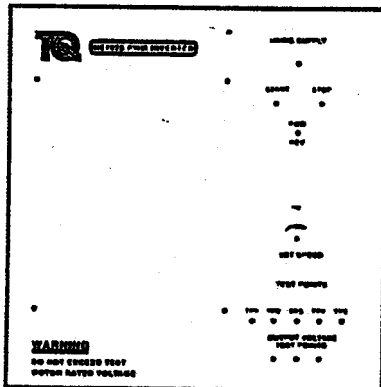
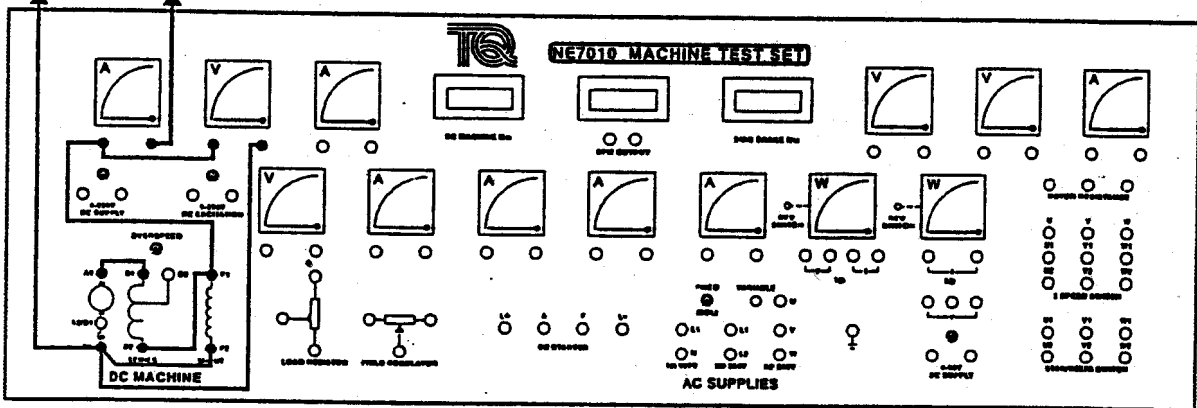
Şekil-5.2. Kompund Generatör Devre Şeması

To NE7026 Resistive Load Bank

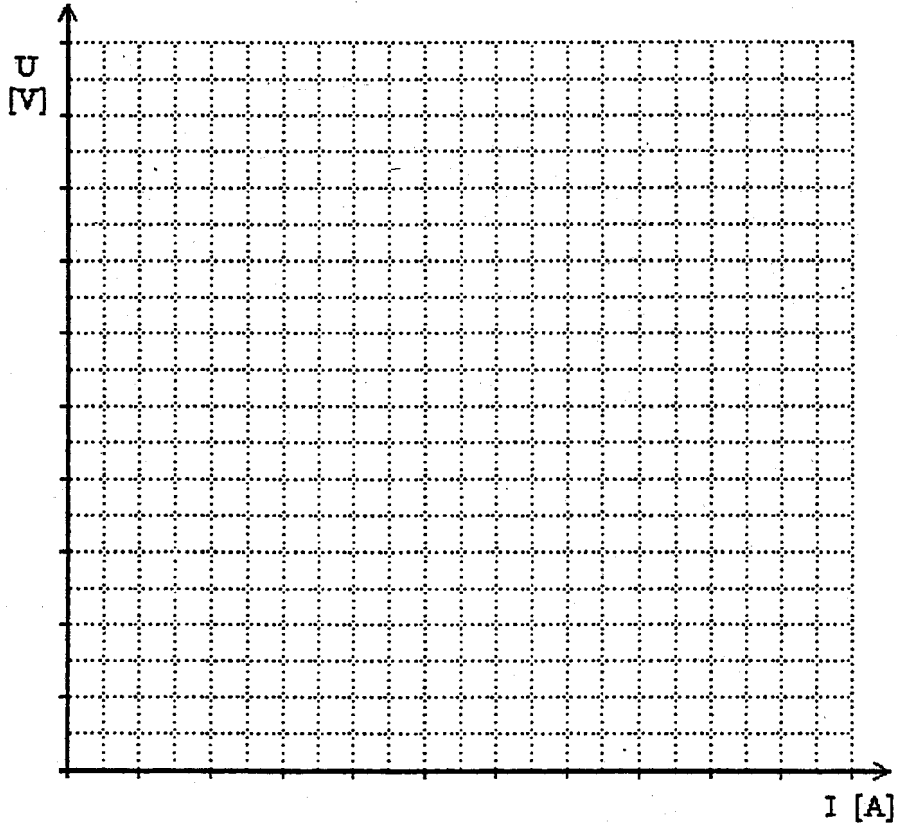


Şekil-5.2.a. Düz Kompund Generator Bağlantı Şeması

To NE7026 Resistive Load Bank



Şekil-5.2.b. Ters Kompund Generator Bağlantı Şeması



Kompund Generatörün Dış Karakteristik Eğrileri
a) *Düz Kompund Generatör* b) *Ters Kompund Generatör*

6. SORULAR

- 1- Dinamoların boş çalışma karakteristiklerinde çıkış ve iniş eğrisi diye iki eğri elde edilmesinin nedenini açıklayınız.
- 2- Serbest uyarımlı generatör ile şönt generatörün boşa çalışma karakteristikleri arasında ne gibi farklar vardır?
- 3- Şönt generatörün kısa devre karakteristiği çıkartılabilir mi? Nedenini izah ediniz.
- 4- Şönt dinamonun kendi kendini uyarabilmesi için hangi koşulların yerine getirilmesi gerekir?
- 5- Seri dinamolar nelerde kullanılabilir?
- 6- Kaç çeşit kompund makina vardır? Bunlar arasında ne gibi farklar vardır? İzah ediniz.
- 7- Normal gerilim veren bir şönt generatörün devir yönü değiştirilirse ne olur?

Deney No : 5

Deneyin Adı : 3 Fazlı Asenkron Motorların Karakteristikleri ve Y/Δ Yol verme

Deneyin Amacı : Asenkron motorun karakteristiklerinin çıkartılması ve asenkron motora Y/Δ yolvermenin incelenmesi

1. GENEL BİLGİLER

ASENKRON MOTORLAR

1.1. Asenkron Motorun Yapısı ve Çalışma İlkesi

Asenkron motor, birisi duran (stator), öteki dönen (rotor) iki ana kısımdan oluşur. Statorda, eksenleri arasında 120° elektriksel açı bulunan üç fazlı döner alan sargıları oluklara yerleştirilmiştir. Rotorda, genellikle kısa devre çubuklar bulunur (Sincap kafesli ASM.). Ancak rotorda da üç fazlı sargılar bulunabilir. Rotoru sargılı olan motorlarda çoğu zaman sargı uçları bilezikler ve fırçalar yardımıyla dışarıya çıkarılır (Bilezikli ASM.). Döner alan sargıları, rotorla stator arasındaki hava aralığında senkron hızda (n_s) dönen bir alan oluşturur.

$$n_s = \frac{f_1}{p} \quad [\text{devir/saniye}] \quad (3.1.)$$

f_1 : Stator sargıları besleme frekansı

p : Çift kutup sayısı

Rotorun dönme hızı n ise, döner alanın rotora göre bağıl hızı $n_s - n$ olacaktır. Bu durumda döner alan rotor sargılarında;

$$f_2 = (n_s - n) \cdot p \quad (3.2.)$$

frekanslı bir gerilim endüklür. Rotor ve stator frekansları oranı,

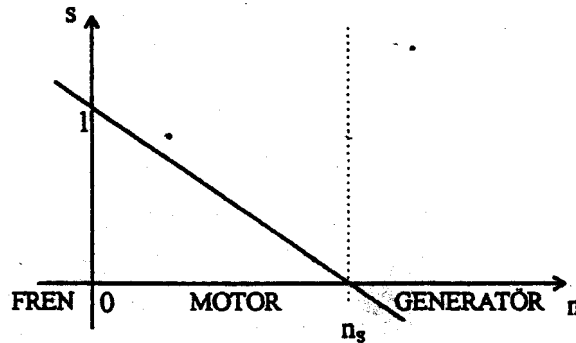
$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{(n_s - n) \cdot p}{n_s \cdot p} = \frac{(n_s - n)}{n_s} = 1 - \frac{n}{n_s} = s \quad (\text{Kayma}) \quad (3.3.)$$

kayma olarak tanımlanır. Rotor iletkenlerinde endüklenen f_2 frekanslı gerilimler, rotor iletkenlerinden I_2 akımlarının akmasına neden olur. Manyetik alan içinde, içinden I_2 akımı akan rotor iletkenlerine etkileyen kuvvet rotorun dönmesi sonucunu doğurur.

Kayma ile rotor hızı arasındaki bağıntıyı biraz daha irdeleyelim:

$$n < 0, \quad s > 1$$

Rotor döner alana ters yönde döner. Bu çalışma biçimi FRENLEME olarak adlandırılır. $f_2 > f_1$ olur.



Şekil-3.1. $s = f(n)$ eğrisi

$$0 < n < n_s, \quad 0 < s < 1$$

Şebekeden alınan elektriki güç, motor milinde mekaniki güce dönüştürülür. Makina, MOTOR olarak çalışmaktadır.

$$n > n_s, \quad s < 0$$

Rotorun senkron hızın üstünde bir hızla dönmesi gerekir. Bu durumda enerji akış yönü rotordan statora doğru olmaktadır. Bu koşullarda makina GENERATÖR olarak çalışmaktadır.

$$n = 0, \quad s = 1$$

Hızın sıfır oluşundan da anlaşılacağı gibi motor durmaktadır.

$$n = n_s, \quad s = 0$$

Rotorun senkron hızda dönmesi anlamına gelir ki bu durumda rotor iletkenleri döner alan tarafından kesilmediğinden rotor iletkenlerinde bir gerilim endüklenmez. Bu nedenle rotorun dönmesini sağlayan kuvvet ortadan kalkar ve motor yavaşlar. Açıklanan nedenlerle bu çalışma noktası, asenkron makina için kuramsal bir noktadır.

1.2. Asenkron Motor Karakteristikleri

- **Verim Karakteristiği** : Nominal stator geriliminde, motorun milinden alınan aktif gücün şebekeden alınan aktif güce oranıdır; η ile gösterilir. Stator geriliminin efektif değeri nominal değerde ve sabit iken, verimin milinden alınan mekanik güçle değişimini gösteren $\eta = f(P_m)$ karakteristiğine *Verim Karakteristiği* denir.

- **Akım Karakteristiği** : Stator gerilimi efektif değeri nominal değerde ve sabit iken; stator akımı I_s ile P_m mekanik gücün değişimini gösteren $I_s = f(P_m)$ karakteristiğine *Akım Karakteristiği* denir.

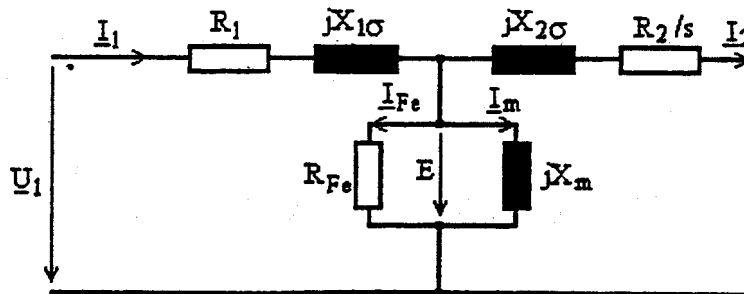
- **Güç Faktörü Karakteristiği** : Stator gerilimi efektif değeri nominal değerde ve sabit iken, stator akımı güç faktörü $\cos\phi$ ile P_m mekanik gücün değişimini gösteren $\cos\phi = f(P_m)$ karakteristiğine *Güç Faktörü Karakteristiği* denir.

- **Kayıp Karakteristiği** : Stator gerilimi efektif değeri nominal değerde ve sabit iken, motorun toplam kayıp gücü ile P_m arasındaki değişimi gösteren $P_k = f(P_m)$ karakteristiğine *Kayıp Karakteristiği* denir.

- **Kayma Karakteristiği** : Stator gerilimi efektif değeri nominal değerde ve sabit iken, motorun kaymasının (s), P_m mekanik gücü ile değişimini gösteren $s = f(P_m)$ karakteristiğine *Kayma Karakteristiği* denir.

1.3. Eşdeğer Devre ve Genel Denklemler :

Üç fazlı, simetrik sargılı bir asenkron motorun, sinüs biçimli gerilimlerle beslenmesi durumunda, bir faz için çizilen eşdeğer devresi Şekil-3.2.'de gösterilmiştir. Bu eşdeğer devredeki rotor büyüklükleri statora indirgenmiş büyüklüklerdir.



Şekil-3.2. Asenkron Motorun Bir Faz Eşdeğer Devresi

\underline{U}_1 : Stator bir fazına uygulanan gerilim
 \underline{I}_1 : Stator bir faz akımı
 R_1 : Stator sargı direnci
 $X_{1\sigma}$: Stator sargısı kaçak reaktansı
 R_{FE} : Demir kayıpları direnci
 X_m : Miknatıslama reaktansı
 R_2 : Statora indirgenmiş rotor sargı direnci
 $X_{2\sigma}$: Statora indirgenmiş rotor kaçak reaktansı
 s : kayma

$$X_1 = X_{1\sigma} + X_m \text{ ve}$$

$X_2 = X_{2\sigma} + X_m$ kısaltmaları kullanılarak $R_{FE} \gg X_m$ kabul edilerek

$$\underline{U}_1 = (R_1 + jX_1) \cdot \underline{I}_1 - jX_m \cdot \underline{I}_2 \quad (3.4)$$

$$0 = jX_m \cdot \underline{I}_1 - \left(\frac{R_2}{s} + jX_m \right) \cdot \underline{I}_2 \quad (3.5)$$

genel çevre denklemleri yazılabilir. Bu denklemler yardımıyla asenkron motorun simetrik üç fazlı şebekede sürekli çalışması yaklaşık olarak hesaplanabilir.

1.4. Moment ve Güç Bağlılıkları

Denklem-3.5.'de \underline{I}_2 , \underline{I}_1 cinsinden yazılarak Denklem-3.4.'de kullanılırsa,

$$\underline{I}_2 = \frac{jX_m \cdot s}{R_2 + jX_2 \cdot s} \cdot \underline{I}_1 \quad (3.6)$$

$$\underline{U}_1 = (R_1 + jX_1) \cdot \underline{I}_1 + \frac{jX_m \cdot s}{R_2 + jX_2 \cdot s} \cdot \underline{I}_1 \quad (3.7)$$

elde edilir. Bu denklemde çok küçük olan $R_1 \approx 0$ kabul edilirse ve

$$\sigma = 1 - \frac{X_m^2}{X_1 \cdot X_2} \quad (3.8)$$

kısaltması (σ : kaçak katsayısı) kullanılırsa, stator akımı;

$$\underline{I}_1 = \frac{R_2 + jX_2 \cdot s}{-\sigma \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot s + jR_2 \cdot X_1} \cdot \underline{U}_1 \quad (3.9)$$

biçiminde hesaplanır.

Elektriksel güç = Stator bakır kaybı + Döner alan gücü

$$P_e = P_1 + P_d$$

$$P_e = R_e(3\underline{U}_1 \cdot \underline{I}_1^*) \quad (3.10)$$

Denklem-3.9.'dan yararlanarak \underline{I}_1^* hesaplanabilir.

$$\underline{I}_1^* = \frac{R_2 - jX_2 \cdot s}{-\sigma \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot s - jR_2 \cdot X_1} \cdot \underline{U}_1 \quad (3.11)$$

$\underline{I}_1 \cdot \underline{I}_1^* = I_1^2 \cdot e^{j\phi} = I_1^2$ ve $\underline{U}_1 = U_1 \cdot e^{j\theta}$ yazılarak, stator gerilimi gerçel eksen üzerinde seçilirse,

$$\underline{I}_1 = I_1 \cdot e^{-j\phi}, \quad \underline{I}_1^* = I_1 \cdot e^{j\phi}, \quad \underline{I}_1 \cdot \underline{I}_1^* = I_1^2 \cdot e^{j\phi} = I_1^2 \text{ bulunur.}$$

Burada I_1 , stator akımının etkin değeridir. Denklem-3.4. ve Denklem-3.11., Denklem-3.10.'da kullanılırsa;

$$P_e = R_e[3(R_1 + jX_1) \cdot \underline{I}_1 \cdot \underline{I}_1^*] + R_e[-j3X_m \cdot \underline{I}_2 \cdot \underline{I}_1^*] \quad (3.12)$$

$$P_c = 3.R_1.I_1^2 + R_c[-j3X_m.I_2.I_1^*] \quad (3.13.)$$

Stator bakır kayıpları :

$$P_1 = 3.R_1.I_1^2 \quad (3.14.)$$

elde edilir.

$$P_d = R_c[-j3X_m \cdot \frac{jX_m \cdot s}{R_2 + jX_2 \cdot s} \cdot \frac{R_2 + jX_2 \cdot s}{-\sigma \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot s + jR_2 \cdot X_1} \cdot U_1 \cdot \frac{R_2 - jX_2 \cdot s}{-\sigma \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot s - jR_2 \cdot X_1} \cdot U_1] \quad (3.15.)$$

denklemi düzenlenerek döner alan gücü bulunur.

Döner alan gücü :

$$P_d = 3 \cdot \frac{X_m^2}{X_1^2} \cdot \frac{R_2 \cdot s}{(\sigma \cdot X_2 \cdot s)^2 + R_2^2} \cdot U_1^2 \quad (3.16.)$$

sürtünme kayıpları ihmal edilirse,

Mekanik güç = Döner alan gücü - Rotor bakır kayıpları

$$P_m = P_d - P_2 \quad (3.17.)$$

Rotor bakır kayıpları için, stator bakır kayıplarına benzer biçimde

$$P_2 = 3.R.I_2 \cdot I_2^* = 3.R_2'.I_2'^2 \quad (3.18.)$$

yazılabilir. Denklem-3.6. ve Denklem-3.9.'dan yararlanılarak I_2 hesaplanır. Daha sonra da eşleniği yazılır ve Denklem-3.18.'de kullanılırsa,

Rotor bakır kayıpları :

$$P_2 = 3 \cdot \frac{X_m^2}{X_1^2} \cdot \frac{R_2' \cdot s^2}{(\sigma \cdot X_2 \cdot s)^2 + R_2'^2} \cdot U_1^2 \quad (3.19.)$$

elde edilir. Mekanik güç için Denklem-3.16, Denklem-3.19 ve Denklem-3.17.'den

Mekanik güç :

$$P_m = 3 \cdot \frac{X_m^2}{X_1^2} \cdot \frac{R_2 \cdot s}{(\sigma \cdot X_2 \cdot s)^2 + R_2^2} \cdot U_1^2 \cdot (1-s) \quad (3.20.)$$

ya da

$$P_m = (1-s) \cdot P_d \quad (3.21.)$$

Motorun hızı n ise, rotorun açısal hızı

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{p} \quad (3.22.)$$

ve senkron açısal hız,

$$\omega_s = \frac{2\pi \cdot n_s}{p} \quad (3.23.)$$

dir. (p, çift kutup sayısı). Bu durumda moment,

Mekanik güç = Moment x Açısal hız

$$P_m = M \cdot 2\pi n \quad (3.24.)$$

$$M = \frac{P_m}{2\pi \cdot n} = \frac{P_m}{2\pi \cdot n_s \cdot (1-s)} = \frac{1}{\omega_s} \cdot \frac{P_m}{(1-s)} = \frac{1}{\omega_s} \cdot P_d \quad (3.25.)$$

Moment :

$$M = 3 \cdot \frac{1}{\omega_s} \cdot \frac{X_m^2}{X_1^2} \cdot \frac{R_2 \cdot s}{(\sigma \cdot X_2 \cdot s)^2 + R_2^2} \cdot U_1^2 \quad (3.26.)$$

elde edilir. Denklem-3.26'da s' 'ye göre türev alınıp, sıfıra eşitlenirse momentin en büyük ve en küçük olduğu kayma değerleri hesaplanabilir.

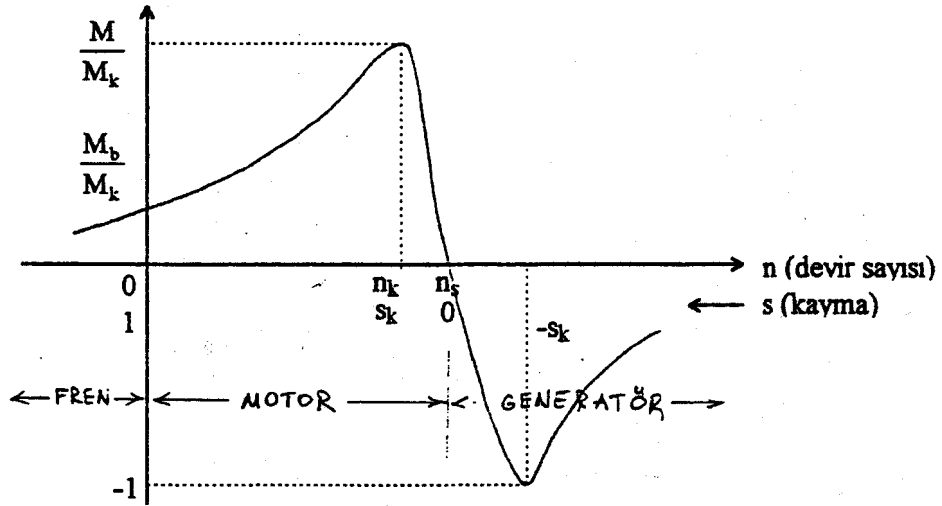
$$\text{Devrilme kayması} : s_{k1,2} = \pm \frac{R_2'}{\sigma \cdot X_2'} \quad (3.27.)$$

$$\text{Devrilme momenti} : M_k = \pm \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{\omega_s} \cdot \frac{X_m^2}{X_1^2} \cdot \frac{U_1^2}{\sigma \cdot X_2'} \quad (3.28.)$$

Denklem-3.27. ve Denklem-3.28. eşitlikleri Denklem-3.26'da kullanılırsa, Kloss Bağıntısı :

$$\frac{M}{M_k} = \frac{2}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} \quad (3.29.)$$

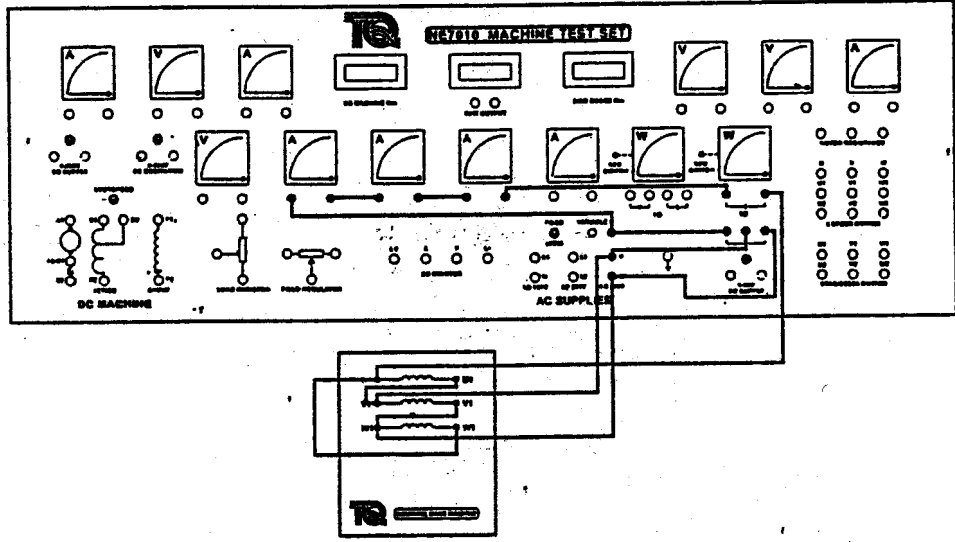
elde edilir. Görüldüğü gibi, M_k hızdan ve kayma değerinden bağımsız, makina parametrelerine ve besleme gerilimine bağlıdır.



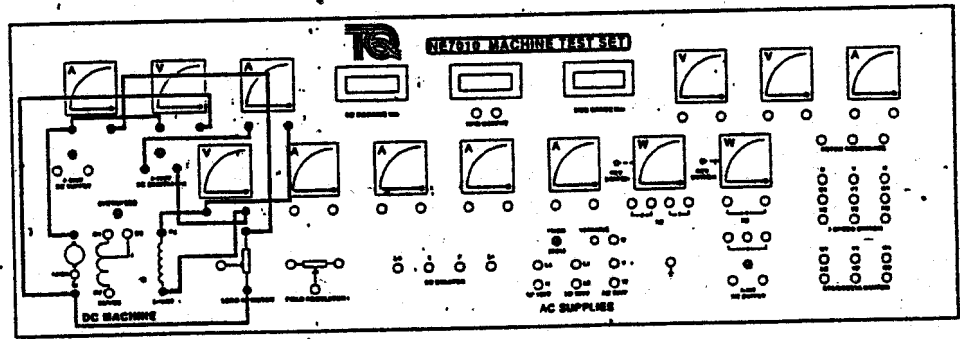
Şekil-3.3. Asenkron Motorun Moment-Devir Sayısı Diyagramı

1.5. Asenkron Motor Deneyinin Yapılışı

- 1- Şekil-3.4'deki bağlantıyı yapınız.
- 2- Load selector'dan yükü "3φ" ve "low" konumuna getiriniz.
- 3- SUPPLIES RESET'e basınız ve motoru ilk başta yüklemeyen boşta çalıştırmak için START butonuna basınız ve motoru normal devrinde çalıştırınız.
- 4- Bu durumda okunan değerleri Tablo-3.1'e kaydediniz.
- 5- Şekil-3.5'deki şönt generatör bağlantısını yapınız.
- 6- Yüksüz durumdan itibaren nominal akımın 1.2 katına kadar asenkron motoru, yabancı uyarımlı DC şönt generatörün uyarımını artırarak yükleyin.
- 7- Aldığınız değerlere göre gerekli hesaplamaları yaparak verilmiş eksenler üzerinde grafikleri çiziniz.



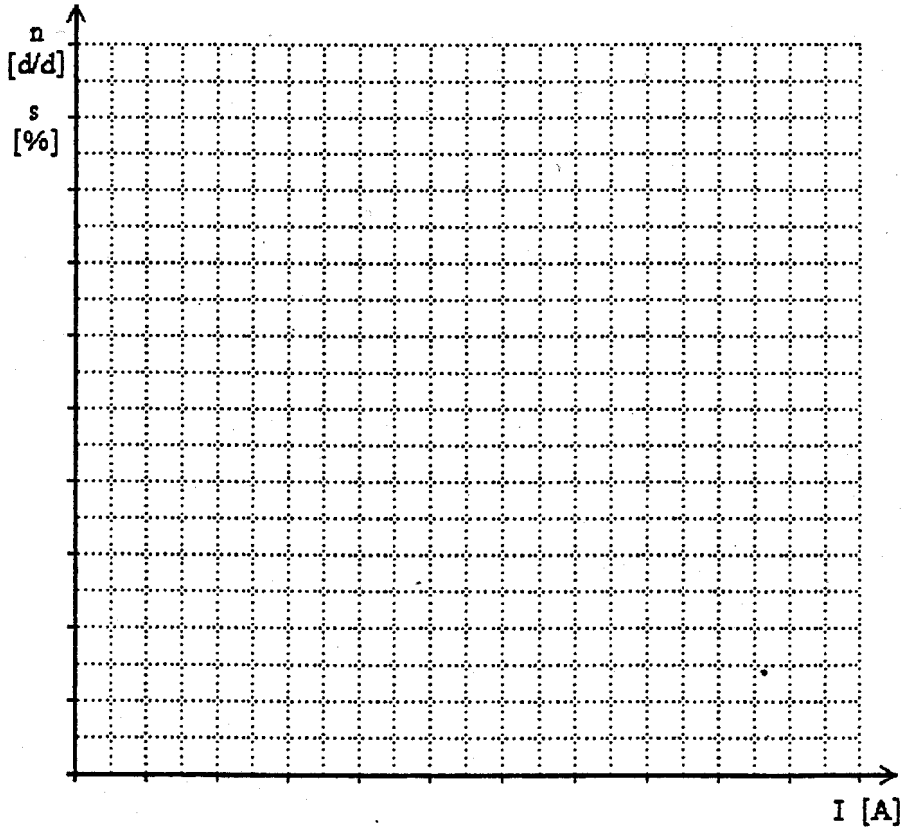
Şekil-3.4. Asenkron Motor Bağlantı Şeması



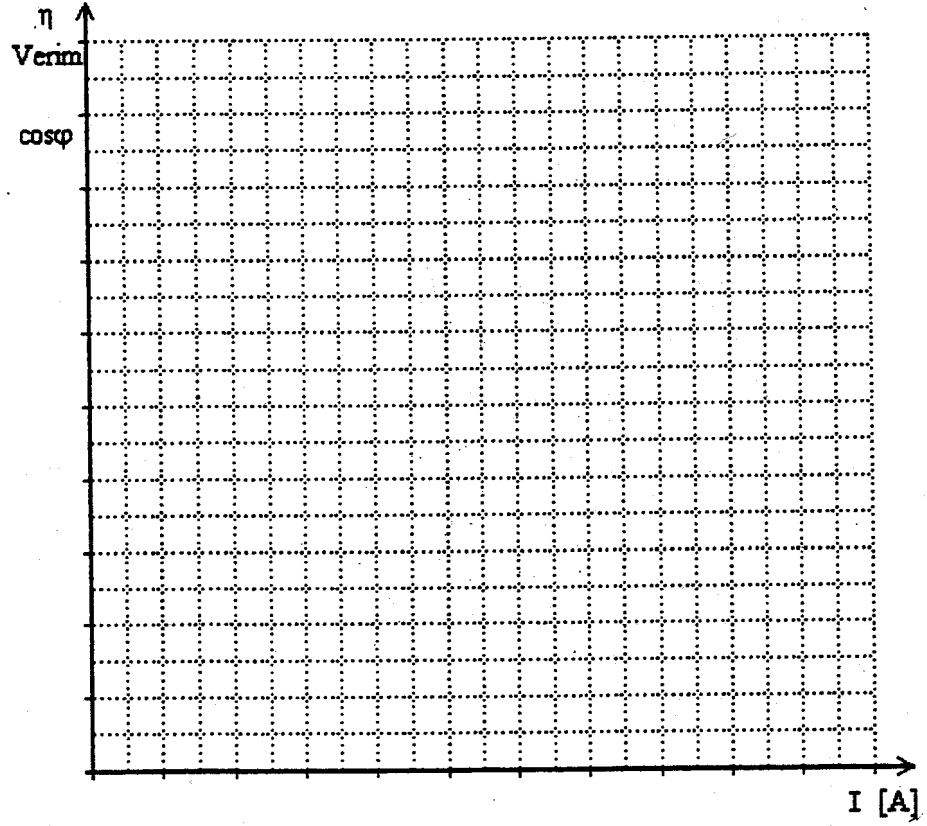
Şekil-3.5. Şönt Generatör Bağlantı Şeması

T [Nm]	Hız (N_r) [d/d]	I [A]	V [V]	Güç P [W]	Verim η [%]	Kayma [%]	Güç faktörü $\cos\phi$

Tablo-3.1. Deneyde Alınan Değerler



Asenkron Motorun Kayma ve Hız Karakteristiği



Asenkron Motorun Verim ve Güç Faktörü Karakteristiği

2. Asenkron Motorlara Yıldız-Üçgen Yolverme

Üç fazlı asenkron motorun stator sargılarının normal gerilimi şebekenin fazlararası gerilimine eşitse bu motor üçgen bağlı olarak çalışır. Motorun stator sargılarına uygulanan gerilim $380/\sqrt{3} = 220$ V ise motor yıldız bağlı olarak çalışıyor demektir. Bu 220 V'luk gerilim normal 380 V'luk gerilimin %58'i kadardır. İlk kalkınmada asenkron motorların çekecekleri aşırı akımları önlemek için düşük gerilimle çalıştırmak gerekli olduğuna göre, motoru ilk kalkınmada yıldız bağlayarak yol verirsek, 380 V normal gerilim yerine 220 V'luk düşük gerilimle motoru çalıştırmış oluruz.

Motor üçgen bağlı iken yol verilseydi, ilk kalkınmada çekeceği faz akımının I_f olduğunu kabul edelim. Üçgen bağlantıda motorun şebekeden çekeceği hat akımı $I = \sqrt{3} \cdot I_f$ olur. Motor yıldız olarak yol verildiğinde çekeceği kalkınma akımı, stator sargılarına uygulanan gerilim $380/\sqrt{3}$ olduğu için, $I_y = I_f/\sqrt{3}$ olur.

Motorun üçgende çekeceği kalkınma akımını ($I_A = \sqrt{3} \cdot I_f$), yıldız bağlantıda çektiği akıma bölersek;

$$\frac{I_A}{I_y} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_f}{I_f/\sqrt{3}} = 3$$

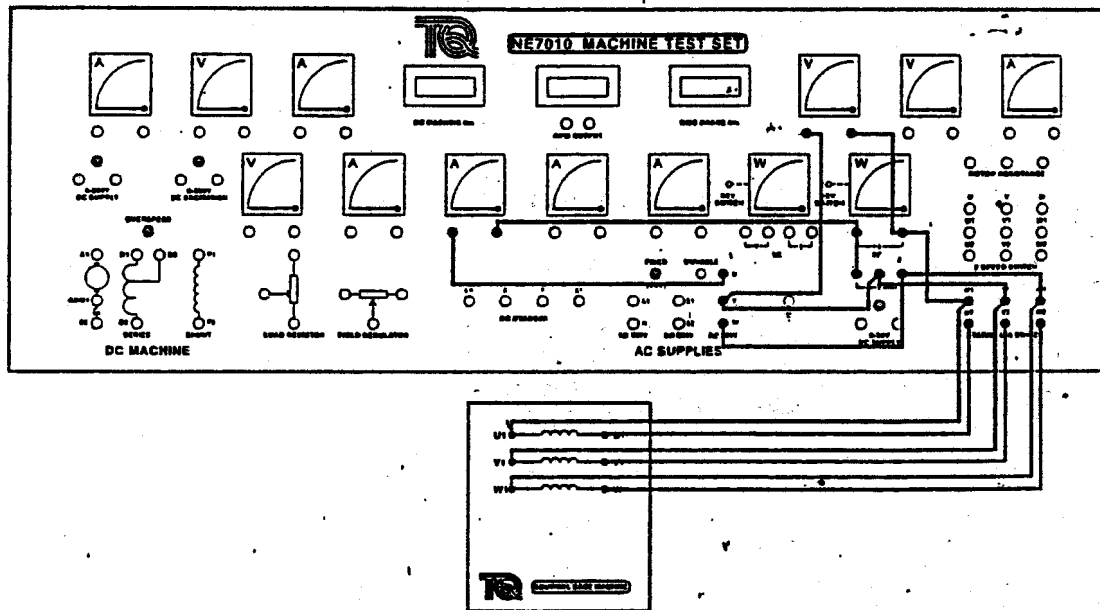
$$I_A = 3 \cdot I_y$$

(3.30.)

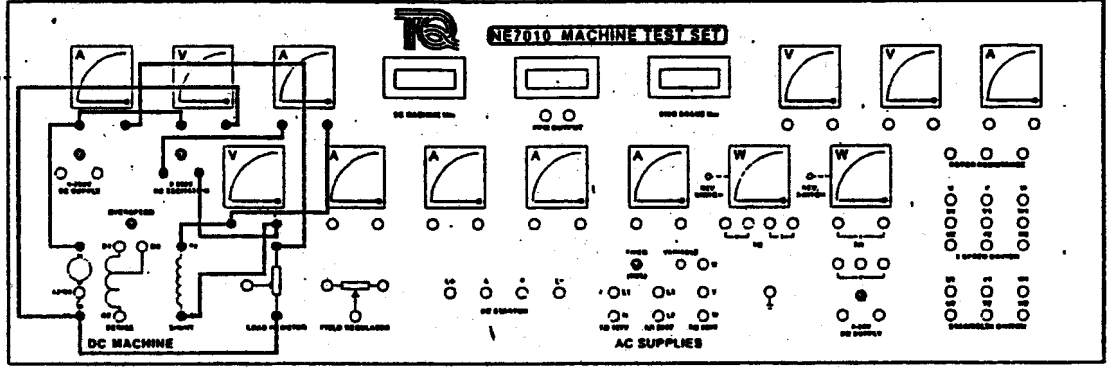
Şu halde bir asenkron motor, yıldız çalıştırıldığında, üçgen çalıştırıldığında çekeceği ilk kalkınma akımının 1/3 katı kadar akım çeker.

2.1. Deneyin Yapılışı :

- 1- Şekil-3.6. ve Şekil-3.7.'deki bağlantıları yapınız.
- 2- Overload Selector'dan "3 ϕ " ve "low" konumuna getiriniz.
- 3- Motoru ilk önce yıldız çalıştırmak için star/delta anahtarını star'a ayarlayınız.
- 4- DC şönt generatörün uyarıtımı 0 V iken AC butonuna basarak ve ototransformatörden gerilimi yavaş yavaş artırarak asenkron motoru normal devir sayısında çalıştırınız.
- 5- Yük direnci en büyük değerde iken DC generatörün endüvi gerilimi nominal değere ulaşacak şekilde uyarıtım gerilimini ayarlayınız.
- 6- Yük dirençlerini devreye sokarak şönt generatör tam yükleninceye kadar devam ediniz. Bu esnada her kademe için hız, moment, güç değerlerini Tablo-3.2.'ye kaydediniz.
- 7- Yarım yük için aynı adımları tekrar ediniz.
- 8- Üçgen çalıştırmak için star/delta butonunu delta konumuna getiriniz.
- 9- Yukardaki adımları tekrar ediniz.



Şekil-3.6. Y/ Δ Yol verme Deneyi İçin Asenkron Motor Bağlantı Şeması



Şekil-3.7. Şönt Generatör Bağlantı Şeması

Bağlantı Şekli $[\Delta/Y]$	Devir sayısı [d/d]	Moment [Nm]	Güç [W]	Akım [A]

Tablo-3.2. Asenkron motora yol verme deneyinde alınan değerler

SORULAR

- 1- Asenkron motorlarda rotor demir kayıplarının ihmal edilebilecek kadar küçük olmasının sebepleri nedir? Açıklayınız.
- 2- Asenkron motorda max. güç ne zaman çekilir?
- 3- Asenkron motorların ilk kalkınma momenti ve max. döndürme momenti formüllerini yazınız ve açıklayınız.
- 4- Asenkron motorlar ilk kalkınmada neden aşırı akım çekerler? Bu aşırı akımın sakıncaları nelerdir? Açıklayınız.
- 5- Asenkron motorlara yol verme yöntemlerinin adlarını yazınız.
- 6- Asenkron motorun rotor devir sayısını veren formülü yazarak, devir sayısını değiştirmek için neler yapmak gerektiğini açıklayınız.
- 7- Yol verme deneyinde aldığınız sonuçlara göre Y/ Δ yolvermenin akım ve gerilim açısından avantajlarını ve dezavantajlarını karşılaştırınız.

Deney No : 6

Denevin Adı : AC Generatörler (Alternatörler)

Denevin Amacı : Üç Fazlı Senkron Generatörlerin İşletme Karakteristiklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

1. GENEL BİLGİLER

Senkron makina motor veya generatör olarak çalışabilen bir alternatif akım makinasıdır. Senkron makinada iki türlü sargı bulunur. Bunların birincisi AC akımı taşıyan faz sargıları, ikincisi DC akımı taşıyan uyarım sargılarıdır.

Senkron makinanın faz sargılarına üç fazlı AC gerilim ve uyarım sargılarına DC gerilim uygulandığında motor olarak çalışarak aldığı elektriki enerjiyi milinden verdiği mekaniki enerjiye dönüştürür.

Senkron makina mili başka bir döner makina (dizel motor, gaz türbini, su türbini, DC Motor, vb.) tarafından tahrik edilir ve aynı zamanda uyarım sargıları DC gerilimle beslenirse, faz sargılarında AC gerilim endüklenir. Makina böylece milinden aldığı mekanik enerjiyi elektriki enerjiye çevirerek *GENERATÖR* olarak çalışır. Üretilen gerilim AC olduğundan senkron generatörlere "Alternatör" adı verilir.

Yaklaşık 50 kW anma gücünün altındaki küçük güçlü makinalarda, uyarım sargısı statorda (genelde çıkık kutuplar üzerinde) bulunur ve üç fazın sargıları da yuvarlak rotor üzerindeki oluklara dağılmış olarak sarılırlar. Bu tip senkron makinalar "stator uyarımlı" olarak adlandırılırlar.

Büyük güçlü senkron makinalarda uyarım sargıları rotor üzerine yerleştirilirler ve üç fazın sargılarında stator üzerindeki oluklar içerisine sarılırlar. Bundan dolayı bu makinalar rotor uyarımlı olarak adlandırılırlar.

Senkron generatörlerde rotor üzerinde yer alan sargıların dış devre ile bağlantıları fırça-bilezik düzenekleri ile gerçekleştirilir. AC generatörlerde üretilen gerilim doğrultulmayacağı için DC generatörlerde olduğu gibi kollektöre ihtiyaç yoktur.

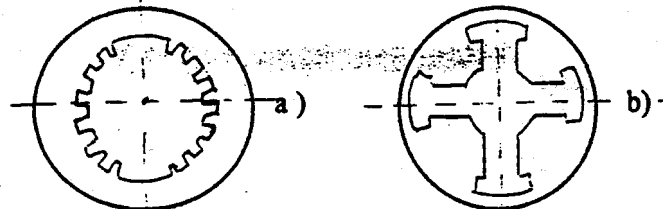
Rotor uyarımlı senkron generatörler de rotor yapısı ve sarılış biçimine göre iki gruba ayrılırlar.

1.1. Silindirik Rotolu Senkron Makinalar(Turbo-generatörler)

Elektrik enerjisinin üretiminde kullanılan senkron generatörler çoğu zaman buhar türbinleri tarafından döndürülür. Ekonomi ve verim açısından bu türbinlerin hızı oldukça yüksektir. Senkron generatörlerin rotor yapıları yuvarlak rotorlu olmasına karşın sargılar fazlı biçimde sarılmazlar ve tipik olarak rotorun 2/3 çevresine sarılırlar. Bu durumda rotor mmk'i hava aralığı çevresince çok düzgün bir sinüs dağılımı göstermez. Bu tür rotorların yançapları küçük eksenel boyları uzun olmaktadır. (Şekil-5-1)

1.2. Çıkık Kutuplu Rotorlu Makinalar

Düşük hızda döndürülen senkron generatörlerde, örneğin hidroelektrik santrallerdeki generatörlerde çıkık kutuplu rotorlar kullanılır. Belli bir frekansta gerilim üretebilmek için düşük devirlerde çıkık kutuplu rotorlar çok kutuplu yapırlar. Hidro-generatörlerin aynı büyüklükteki güçler için turbo-generatörlere nazaran rotor yançapları büyük eksenel boyları ise kısadır. (Şekil-5.1.)



Şekil-5.1.a. Turbo generatör rotoru Şekil-5.1.b. Çıkık kutuplu rotor

1.3. Boşta Çalışma Gerilimi ve Frekansı

Senkron generatörün boşta çalışma gerilimi, generatör fazlarında endüklenen gerilime eşittir. Statorun bir fazında endüklenen gerilim ise,

$$E = 4,44 \cdot f \cdot N_s \cdot K_w \cdot \Phi_1$$

bağıntısı ile verilir. Burada:

E : Faz başına endüklenen gerilimin etkin değeri [V]

N_s : Faz başına stator sarım sayısı

K_w : Sargı dağılımına ve sargı kutup adımına bağlı sarım katsayısı

f : Stator da endüklenen gerilimin frekansı [Hz]

Φ_1 : Kutup başına düşen magnetik akı [Wb]

Bu bağıntıdaki frekans f ile senkron generatörün döndürüldüğü hız n [d/dk] arasındaki bağıntı da aşağıdaki gibidir:

$$f = p \cdot n / 60$$

Burada p , makina kutup çifti sayısıdır.

Kutup başına düşen magnetik akının değeri ise, boşta çalışmada, alan sargısı (uyartım sargısı) içinden akan doğru akımla (I_m) orantılıdır. Bu oran magnetik doyma olgusu nedeniyle doğrusal bir biçimde değişmez.

Bu denklemler, üç fazlı bir senkron generatörün ürettiği e.m.k.nun genliği ve frekansının hız ve uyartım akımı denetimi ile ayarlanabileceğini göstermektedir.

2.1. Boşta Çalışma Deneyi

Boşta çalışma deneyi ile boşta çalışma öz eğrisi (mıknatıslama eğrisi) elde edilir. Makinanın stator sargı uçları açık devre iken rotor tahrik motoru yardımıyla senkron hızda döndürülür ve uyartım akımı uygun adımlarla artırılarak stator sargısı uç gerilimi U ($I_y = 0$ olduğundan $E = U$) ölçülür. Bu ölçüm sonucunda [$E = f(I_m)$] değişimi çizilir. Bulunan bu eğride gerilim eksenini kutup başına düşen akı ile, uyartım eksenini ise uyartım mmk'sı ile orantılıdır.

2.2. Kısa Devre Deneyi

Kısa devre deneyinde stator sargısı uçları ampermetreler üzerinden kısa devre edilirken rotor senkron hızda döndürülür ve uyartım akımı uygun kademelerle artırılarak stator kısa devre akımları ölçülür. Bundan sonra kısa devre akımının uyartım akımı ile [$I_{kd} = f(I_m)$] değişimi çizilir. Elde edilen bu kısa devre eğrisinde elde edilen stator akımı tümüyle iç empedansa (direnç ve kaçak reaktans) ve endüvi reaksiyonuna bağlıdır. Burada kısa devre akımı ile onu oluşturan e.m.k. arasındaki açı yaklaşık 90° 'dir. Endüvi reaksiyonu mmk'sı hemen hemen tümüyle ters mıknatıslama yönündedir. Bu nedenle bu eğri yaklaşık bir doğru görünümüne sahiptir.

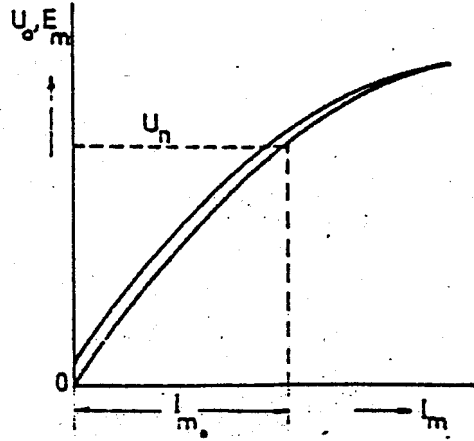
2.3. Yükte Çalışma Deneyi

Senkron generatörler yüklendikleri zaman uç gerilimleri yükün cinsi ve miktarına bağlı olarak değişir. Kullanılmakta olan senkron generatörlerin yükleri çoğu zaman endüktiftir. Kurallara göre saf endüktif yükte regülasyonu %50'den büyük senkron generatörler işletmeye alınmazlar. Bu tür bir senkron generatör yapılmaz. Senkron generatör omik endüktif ve kapasitif yüklerde çalıştırılarak değişik yükler için *dış karakteristik* eğrisi elde edilmiş olur.

3. SENKRON GENERATÖR KARAKTERİSTİKLERİ

3.1 Senkron Generatörün Boşta Çalışma Karakteristiği

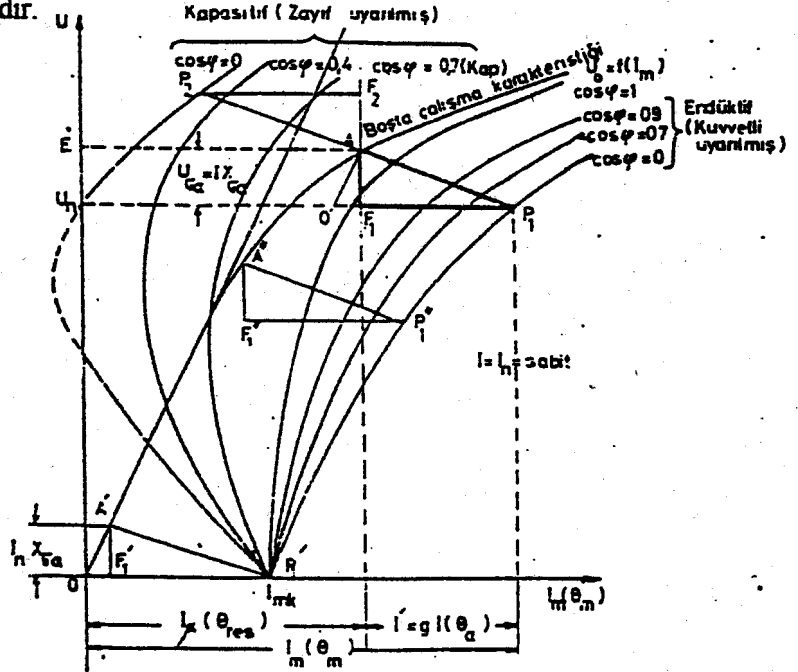
Sabit devir sayısında uyartım akımı (I_m) ile kutup uçlarındaki gerilimin (E) değişimidir. Şekil-5.2.'den de görüleceği gibi, karakteristiğin çıkış ve dönüş kolları arasındaki fark rotor magnetik devresinin histeresisinden ileri gelmektedir.



Şekil-5.2. Senkron Generatörün Boşta Çalışma Karakteristiği

3.2. Senkron Generatörün Yükte Çalışma Karakteristiği

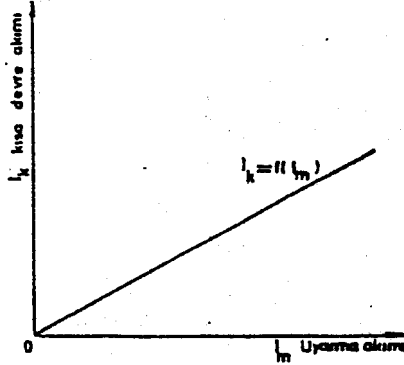
Generatörün sabit yük akımında, uç veya faz geriliminin uyarım akımına bağlı olarak değişimini veren eğriye denir. Senkron generatörün sabit yük akımında değişik güç faktörleri için çok sayıda yük eğrileri vardır. Bu nedenle yük karakteristiği deneyinde yük akımından başka güç faktörü de sabit tutulmalıdır. Şekil-5.3.'den de görüleceği gibi, aynı yük akımı için güç faktörü ne olursa olsun, bütün yük eğrileri hep aynı noktada yatay ekseni keserler. Kısa devre durumuna ait olan bu noktada normal olarak saf endüktif ($\cos\phi = 0$) durumundaki yük eğrisine ait bir noktadır.



Şekil-5.3. Senkron Generatörün Yükte Çalışma Karakteristiği

3.3. Senkron Generatörün Dış Karakteristiği

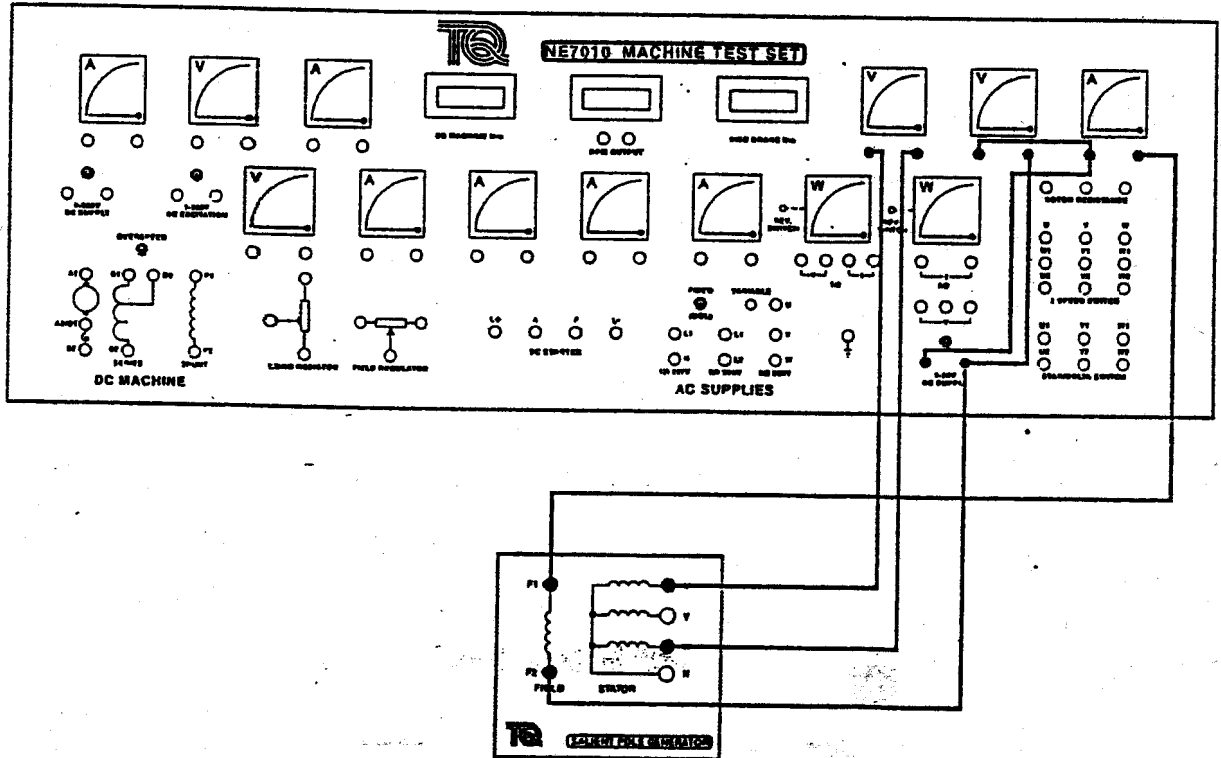
Senkron generatörün yükte çalışma deneyinden dış karakteristik eğrisinde elde edilecektir. Şekil-5.4.'de görüleceği gibi yük akımının uç veya faz gerilimi ile değişimidir. Sabit devir sayısında çalışan senkron generatörün omik, endüktif ve kapasitif yük durumları için dış karakteristik elde edilebilir.



Şekil-5.6. Senkron Generatörün Sürekli Kısa Devre Karakteristiği

4.1. Boşta Çalışma Deneyinin Yapılışı

- 1- Şekil-5.7. 'deki bağlantı şemasına göre devreyi kurunuz.
- 2- AC generatörün uyarımını "0" volta ayarlayınız.
- 3- DC motoru 1500 d/dk da nominal devrinde çalıştırınız.
- 4- AC generatörün uyarım akımını kademe kademe %0'dan %100'e kadar arttırarak her kademe için alınan değerleri Tablo-5.1 'ya kaydediniz.
- 5- AC generatörün uyarım akımını kademe kademe %100'den %0'a kadar azaltarak her bir kademe için alınan değerleri Tablo-5.1 'ya kaydediniz.
- 6- Devir sayısını 1350 d/dk ya ayarlayıp 4. ve 5. adımları tekrarlayınız.
- 7- Alınan değerlerle eksenler üzerinde istenilen eğrileri çiziniz.



Şekil-5.7. Senkron Generatörün Boşta Çalışma Deneyi Bağlantı Şeması

n = [d/dk]

Uyartımı artırırken

U [V]									
I _m [A]									

Uyartımı azaltırken

U [V]									
I _m [A]									

n = [d/dk]

Uyartımı artırırken

U [V]									
I _m [A]									

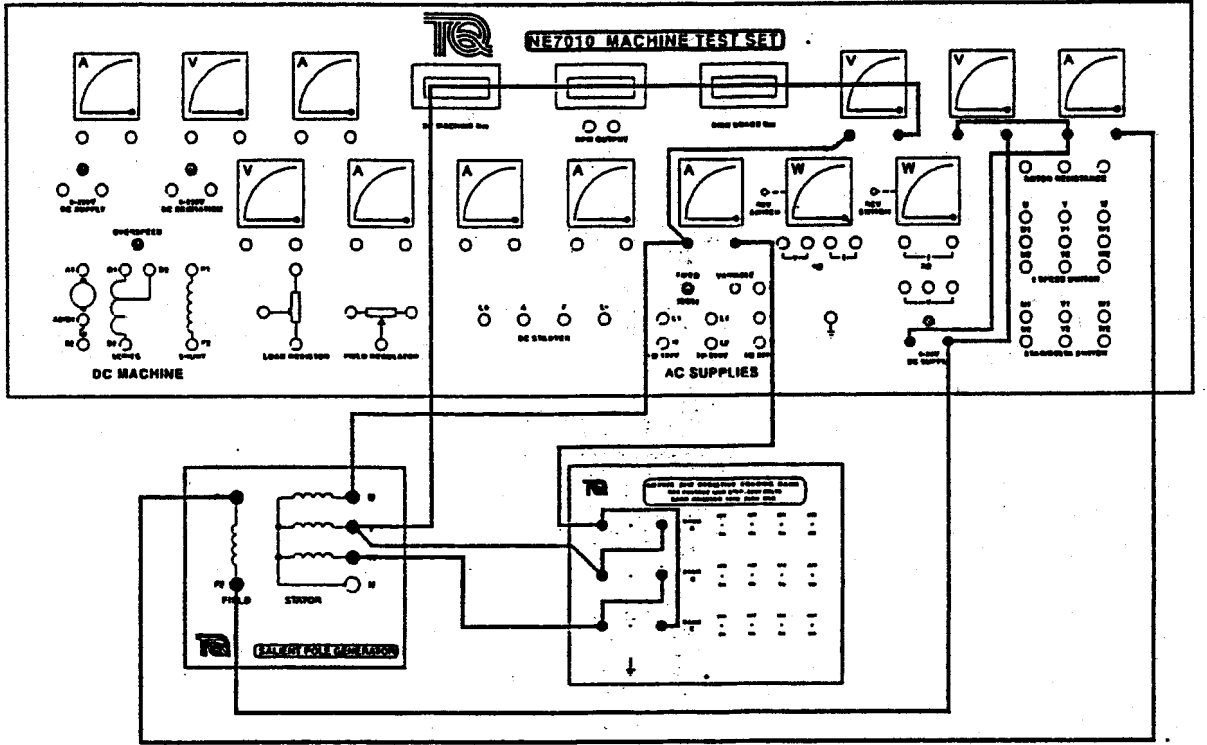
Uyartımı azaltırken

U [V]									
I _m [A]									

Tablo-5.1. Boşta Çalışma Deneyinden Alınan Değerler

3.2. Yükte Çalışma Deneyinin Yapılışı

- 1- Şekil-5.8.'deki bağlantı şemasına göre devreyi kurunuz.
- 2- Uyartım gerilimi "0" V ve devrede rezistif yükler OFF konumunda iken, AC generatörü 1500 d/dk da çalıştırınız.
- 3- Yük max. değerde iken okunan değerleri Tablo-5.2.'ye kaydediniz. Yük dirençlerini kademe kademe devreye alarak okunan değerleri Tablo-5.2.'ye kaydediniz.
- 4- Yükü saf endüktif ve/veya saf kapasitif yaparak 2. ve 3. adımları tekrar ediniz.
- 5- Yük akımını (I_y) yatay eksenle alarak dış karakteristik eğrisini verilmiş eksenler üzerine çiziniz.
- 6- %Reg. hesaplayarak Tablo-5.2.'ye yazınız.



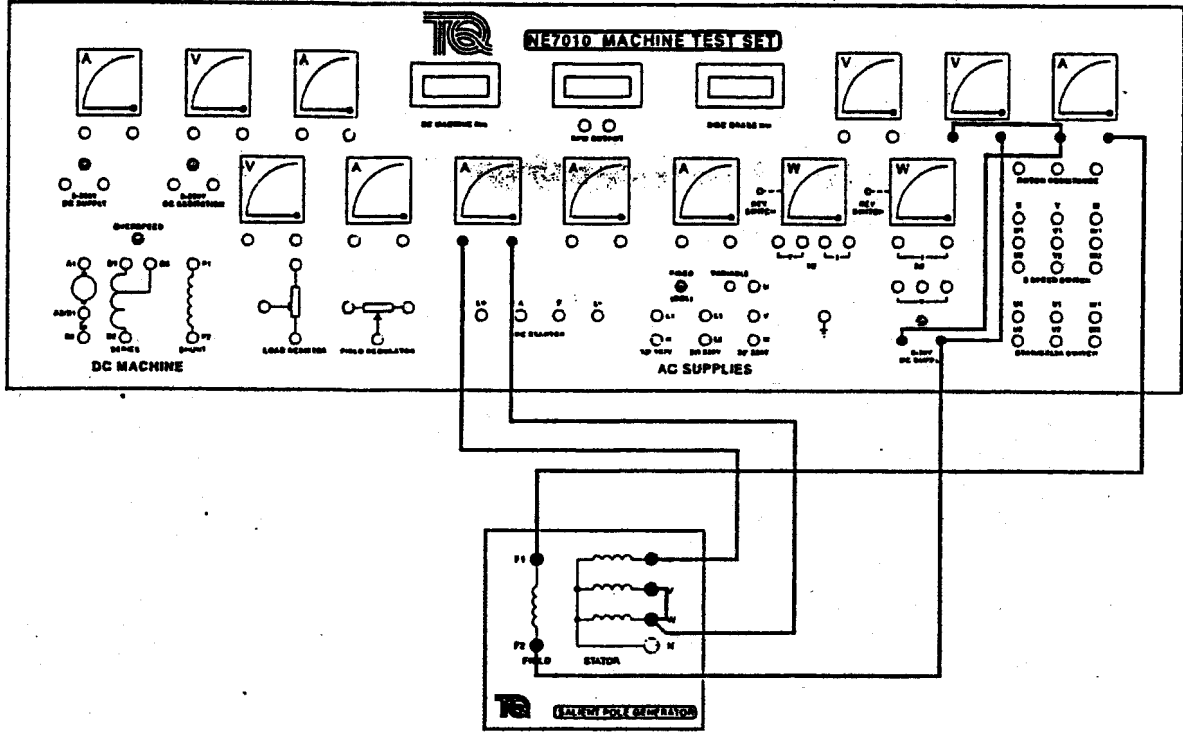
Şekil-5.8. Senkron Generatörün Yükte Çalışma Deneyi Bağlantı Şeması

E [V] Boştaki uç gerilimi	I_y [A] Yük akımı	U [V] Yük gerilimi	% Regülasyon	Yük Cinsi (omik, endüktif, kapasitif)

Tablo-5.2. Yükte Çalışma Deneyinden Alınan Değerler

3.3. Kısa Devre Deneyinin Yapılışı

- 1- Bu deney yapılırken kısa devre akımının AC generatörün nominal akım değerini aşmamasına dikkat ediniz.
- 2- Şekil-5.9.'deki bağlantı şemasına göre devreyi kurunuz.
- 3- AC generatörün uyarımını "0" ayarlayıp devir sayısı 1500 d/dk olacak şekilde çalıştırınız.
- 4- Uyarım gerilimini kademe kademe artırarak okunan değerleri Tablo-5.3.'e kaydediniz. AC generatörün nominal akım değerinin 1.2 katını aşmayınız.
- 5- Alınan değerlere göre istenilen grafikleri verilmiş eksenler üzerine çiziniz.



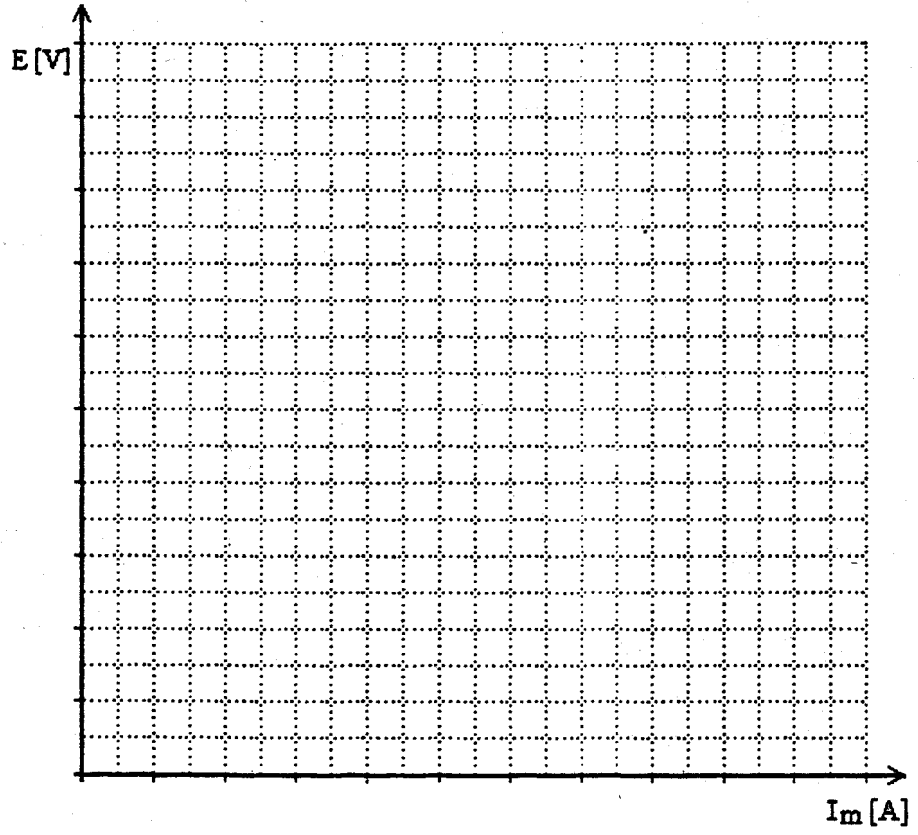
Şekil-5.9. Senkron Generatörün Kısa Devre Deneyi Bağlantı Şeması

I_k [V] Stator akımı								
I_m [A] Uyarım akımı								

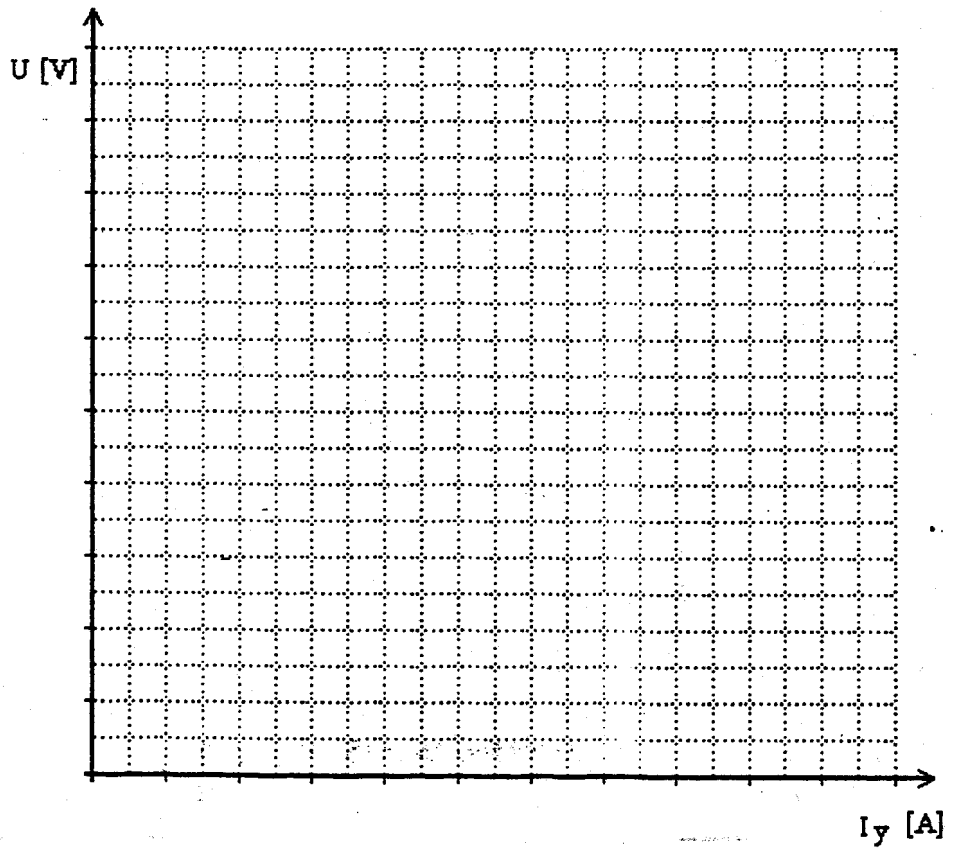
Tablo-5.3. Kısa Devre Deneyinden Alınan Değerler

SORULAR

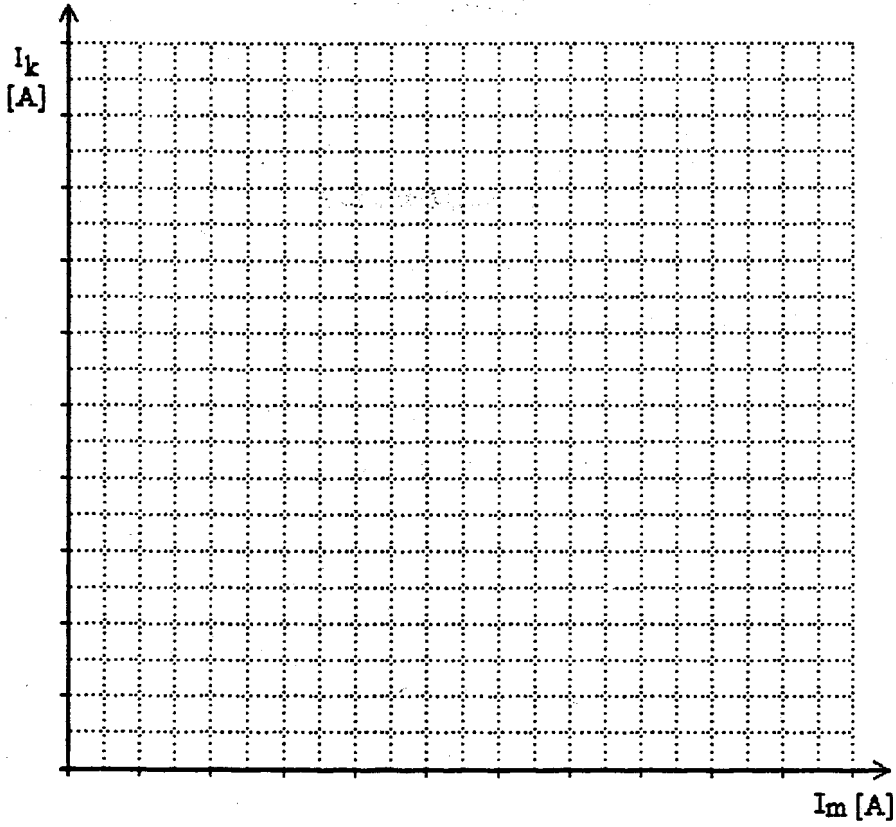
- 1- Silindirik rötörlü generatör ile çıkık kutuplu generatör arasında ne gibi farklar vardır? Araştırınız.
- 2- Çıkık kutuplu generatörün boşa, endüktif, omik ve kapasitif vektör diyagramlarını çiziniz. Özelliklerini belirtiniz.
- 3- Senkron generatör eşdeğer devresini ve fazör diyagramını gözönüne alarak; uç gerilimi ile endüklenen e.m.k. arasındaki açının generatör için ne önemi vardır? Generatörün kararlı durumda verebileceği en büyük etkin güç ne olabilir? Yukarıda anlatılan açının, yük akımı arttıkça değeri ne olmaktadır?
- 4- Senkron makinalarda "kısa devre oranı" neyi ifade eder? Açıklayınız.



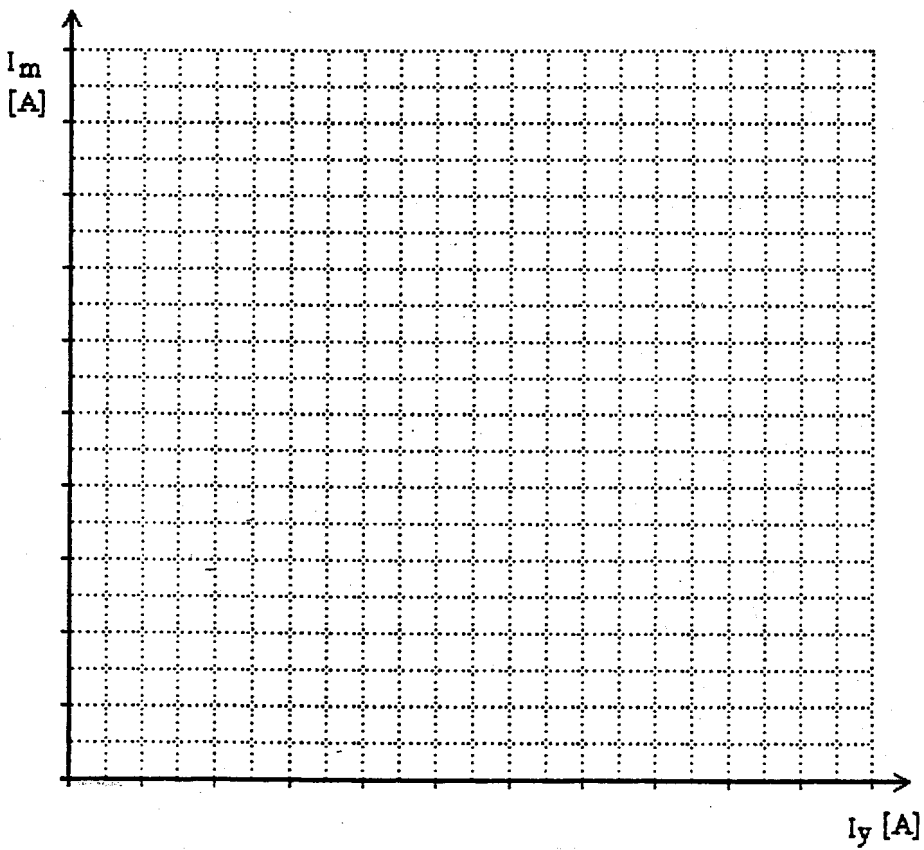
Senkron Generatörün Boşta Çalışma Karakteristikleri



Senkron Generatörün Dış Karakteristiği



Senkron Generatörün Sürekli Kısa Devre Karakteristiği



Senkron Generatörün Ayar Karakteristiği