

ASENKRON GENERATÖRLER

ITÜ ELEKTRİK FAKÜLTESİ

Diploma Tezi – 1980

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Mustafa Bayram

Ve

**Bana Elektrik Mühendisliği sevdiren diğer tüm
hocalarimin kıymetli anilarina sevgi ve
saygilarimla...**

Sinan ÇÖL - 475.76

İÇİNDEKİLER;

1. Giriş
2. Asenkron makinaların Yapısı
3. Asenkron Makinaların Teorik İncelenmesi
 - 3.1. Esdeğer Devre
 - 3.2. Fazör Diyagramı
 - 3.3. Daire Diyagramı
 - 3.4. Devir Sayısı-Moment Karakteristiği
 - 3.5. Bosta çalışma Karakteristiği
 - 3.6. Asenkron makinenin Generatör olarak Çalıştırılması
4. Asenkron Generatörler
 - 4.1. Uyarma
 - 4.1.1. Rotordan Uyarma
 - 4.1.2. Sebekeden Uyarma
 - 4.1.3. Kendi Kendine Uyarma
 - 4.2. Çalışma Özellikleri
 - 4.2.1. Sebeke ile Paralel Çalışma
 - 4.2.2. Yalnız Basına Çalışma
5. Deneysel Gerçekleme
 - 5.1. Bir Fazlı Asenkron Generatör
 - 5.2. Üç Fazlı Asenkron Generatör
 - 5.2.1. Bir Fazlı Yük
 - 5.2.2. Üç Fazlı Yük
6. Sonuç

1. GIRIS

Motor olarak alisabilen tüm elektrik makinalarının, gerekli kosullar yerine getirildiğinde generatör olarak da alisabileceđi bilinir.

Ucuzluđu, uzun ömrü ve basit yapısı nedeni ile uygulamadaki motorların çok büyük bir kısmını oluşturan ve yine uygulamada karsımıza hemen her zaman motor olarak çıkan kısa devre kafesli rotorlu asenkron makinaların da motor olarak alisabileceđi açıktır.

Elektrik enerjisinin büyük miktarlarda ve alternatif akım olarak üretilmesinde senkron generatörlerin bazı avantajları dolayısı ile çok yaygın bir kullanımı vardır. Buna karsılık bazı özel durumlarda ve özellikle küçük çaplı enerji üretiminde - bazı açılardan- asenkron generatörlerin üstünlükleri vardır.

Bu Diploma Tezi çerçevesinde önce Asenkron makinalar kısaca tanıtılacak, Asenkron Generatörlerin alışma kosulları ve özellikleri ele alınarak, bir model üzerinde gerçeklenerek örneklenecek ve daha sonra Senkron Generatörler ile Asenkron Generatörlerin bir karsılaştırılması yapılacaktır.

2. ASENKRON MAKINALARIN YAPISI

Asenkron makinalar uygulamada kullanılan elektrik makinalarından en az arıza yapan, en ucuz olan, en çok kullanılan ve en basit yapıda olan elektrik makinalarındandır.

Çalışma ilkesi bakımından bu makinalara "endüksiyon makinaları" da denir.

Motor, generatör, transformatör, senkron makina, frekans değiştirici, doğru akım makinası olarak belli durumlarda çalışabilme özellikleri dolayısı ile asenkron makinalar "en genel makina" olarak adlandırılabilir. Şekil 2 a' da değişik çalışma durumları bir tablo halinde verilmiştir.

Bölge veya Noktalar	n	s	f	Güçler	Çalışma şekli ve Kullanma	Komütatörlü makineler.
Ters dönüş	$n < 0$	$s > 1$	$f_2 < f_1$	$N_{S1} = N_{S2} - N_m$ $N_{S2} = N_{S1} + N_m$	Fren, frekans yükseltici	
Duruş noktası	$n = 0$	$s = 1$	$f_1 = f_2$	$N_{S2} = N_{S1}$; $N_m = 0$	Döner trafo	
Senkron altı bölgesi	$0 < n < n_1$	$s > 0$	$f_2 < f_1$	$N_m = N_{S1}(1-s)$ $N_{S2} = N_{S1}s$	Asenkron motor, frekans düşürücü	
Senkron noktası	$n = n_1$	$s = 0$	$f_2 = f_1$ <small>Dışardan doğru akım</small>	$N_m = N_{S1}$ $N_{S2} = 0$	Senkron makina (komütatris) ve doğru akım makinaları	
Senkron üstü bölgesi	$n > n_1$ $n_2 < 0$	$s < 0$	$f_2 < f_1$	$N_m = N_{S2} + N_{S1}$ $N_{S1} = N_m - N_{S2}$	Asenkron generatör	

Asenkron makinaların devir sayısı sabit değildir ve bu hız motor çalışmasında senkron hızdan küçüktür. Bu makinalara asenkron makina dengesinin nedenide budur.

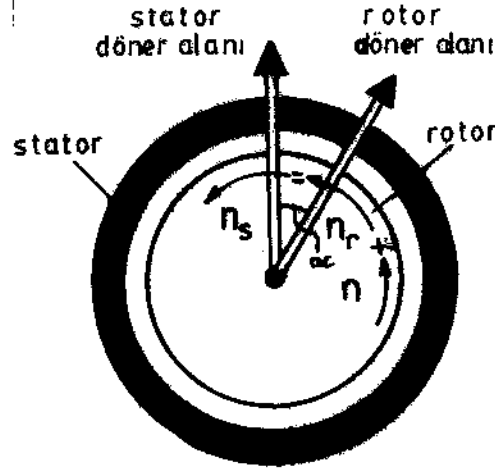
Asenkron makinasının çalışma teorisi ve yapım ilkeleri 1820 - 1831 yılları arasında ortaya atılmıştır. İlk endüstri tipi asenkron makina ise ancak 1890'da Nikola Tesla tarafından Westinghouse firmasında yapılmıştır.

Asenkron makinaların devir sayısı sabit olmamakla birlikte devir sayısı ayar olanağı doğru akım makinalarına göre oldukça sınırlıdır.

Asenkron makinalar rotor sargı tiplerine göre başlıca kısa devre (sincap kafes) ve bilezikli asenkron makina olmak üzere iki kısma ayrılırlar. Fakat çalışma ilkesi her ikisinde de aynıdır.

Sabit kısımda (stator) bulunan sargılara uygulanan alternatif gerilimlerin etkisi ile oluşan döner alan, rotordaki (hareketli kısım) sargılarda bir gerilim endükleyerek kendi üzerine kapalı olan bu sargılardan bir akım geçmesini sağlar. Bilindiği gibi magnetik alan içinde bulunan iletkenlerden akım geçecek olursa bu iletkenlere bir kuvvet etkileyeceğinden, bu kuvvetin oluşturduğu moment ile rotor dönmeye başlar. Döner alan yönünde dönen rotor iletkenlerine etkiyen magnetik alanın frekansı azalacağından, rotor iletkenlerinde endüklenen gerilimde azalır. Limit durumda, senkron hızda rotor iletkenlerindeki gerilim (dolayısı ile akım) sıfır olacağından, moment de sıfır olur. Ama bu teorik bir durumdur; sürtünme, kayıplar vs. gibi nedenler ile makina senkron hıza çıkamaz, senkron hızın biraz altında çalışır. İşte bu senkron hızdan ayrılma oranına kayma denir. Kayma asenkron makinaların önemli bir büyüklüğünü oluşturur. Senkron hız :

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$



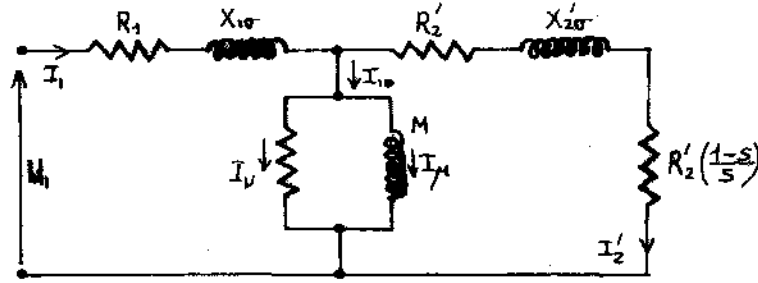
Şekil 2 b: Stator, rotor döner alanları ve rotorun dönme hızları.

Bir fazlı asenkron motorlarda, döner alan yardımcı sargıya fazı kaydırılmış bir gerilim uygulanması sureti ile elde edilir. Bilezikli makinalarında stator yapısı aynı olmakla birlikte, rotorda yalıtılmış çok fazlı bir sargı bulunur ve bu sargının uçları bilezik-fırça sistemi ile dış devreye alınmıştır.

3. ASENKRON MAKİNALARIN TEORİK İNCELENMESİ

3.1. EŞDEĞER DEVRE

Rotor büyüklükleri statora indirgenmiş olarak ve motor çalışması için eşdeğer devre şu şekildedir.



Şekil 3 a: Asenkron motorun eşdeğer devresi

$$X_{1\sigma} = j\omega_1 l_{1\sigma} \quad X_{2\sigma} = j\omega_2 l_{2\sigma}$$

Eşdeğer devrede I_ν ile gösterilen akım demir kayıplarını, I_μ ise mıknatıslanmayı oluşturan akımlar olup, I_ν vatlı, I_μ ise vatsız kayıplara neden olur.

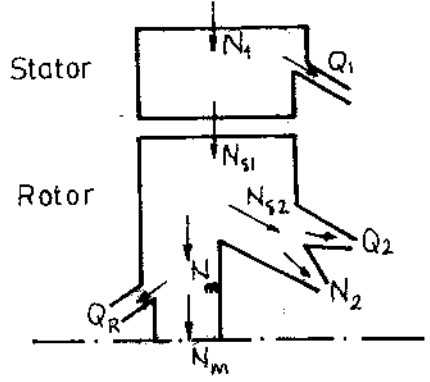
I_ν ihmal edilir ise eşdeğer devreden;

$$U_1 = [R_1 + j\omega_1 l_{1\sigma}] I_1 + j\omega_1 M [I_1 - I_2'] \quad (3.1.1)$$

$$0 = -j\omega_1 M [I_1 - I_2'] + [j\omega_1 l_{2\sigma} + \frac{R_2'}{s}] I_2' \quad (3.1.2)$$

yazılabilir. Rotor devresine etkiyen tüm direnç; $R_2' + R_2'(1-s) / s = R_2'(1/s)$

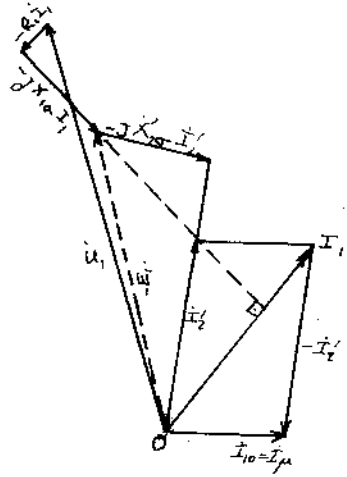
olup, burada $R_2'(1-s)/s$ ile gösterilen direnç motorda fiziksel olarak bulunmayıp, asenkron motorun çalışma özelliğinden ortaya çıkan sanal bir dirençtir. $s = 0$ durumunda rotor devresi açık devre olur. Çünkü, bu durumda $R_2'(1-s)/s$ sonsuz olur. Bu durum teorik bir çalışma noktasıdır. Uygulamada asenkron motor kavramları nedeniyle ile asenkron bir zaman ulaşamaz.



Şekil 3 b: Asenkron motorun güç bilançosu.

3.2. FAZÖR DİYAGRAMI

Eşdeğer devre denklemleri (3.1.1) ve diyagramı şekil 3 c'deki gibi çizilmiştir.



Şekil 3 c: Asenkron motor fazör diyagramı.

$$I_1' - I_2' = I_{10} \cong I_m$$

$$I_1 = I_{10} + I_2'$$

3.3. DAİRE DİYAGRAMI

Daire diyagramı asenkron makinaların en genel diyagramı olup, makina-ya ait bir çok çalışma büyüklüğünü gösterebilmesi bakımından ilginçtir. Burada diyagramın çıkarılması anlatılmayacak, çıkış noktası belirtilerek karakteristik bölgelerin belirtilmesi ile yetinilecektir. Eşdeğer devre bağıntılarından, stator akımı için;

$$I_1 = \frac{(R_2 + j\omega X_2) U_1}{Z_1 R_2 + j\omega X_2 (R_1 + j\omega X_1)} \quad \text{yazılabilir.}$$

Burada $\sigma = 1 - X_{12}^2 / X_1 X_2$ (dağılma katsayısı)

ve $Z_{11} = R_1 + j\omega X_1$ dir.

$$A = R_2 U_1, \quad B = j\omega X_2 U_1, \quad C = Z_1 R_2', \quad D = j\omega X_2 (R_1 + j\omega X_1)$$

olmak üzere; $I_1 = \frac{A + BS}{C + DS}$ bulunur ki; bu eşitliğin bir daire göstereceği bilinir.

Daire diyagramının çizilebilmesi için asenkron makinanın kısa devre ve başda çalışma deneylerinin yapılmış olması gerekir. Bu deneylerden elde edilen 2 karakteristik nokta ve üzerinde olduğu eksen bilinen merkezden yararlanılarak genel daire çizilebilir.

Daire diyagramından yararlanılarak aşağıdaki özellikler bulunabilir:

$$\overline{PT} = N_1$$

$$\overline{PS} = N_m$$

$$\overline{PS}' = N_m'$$

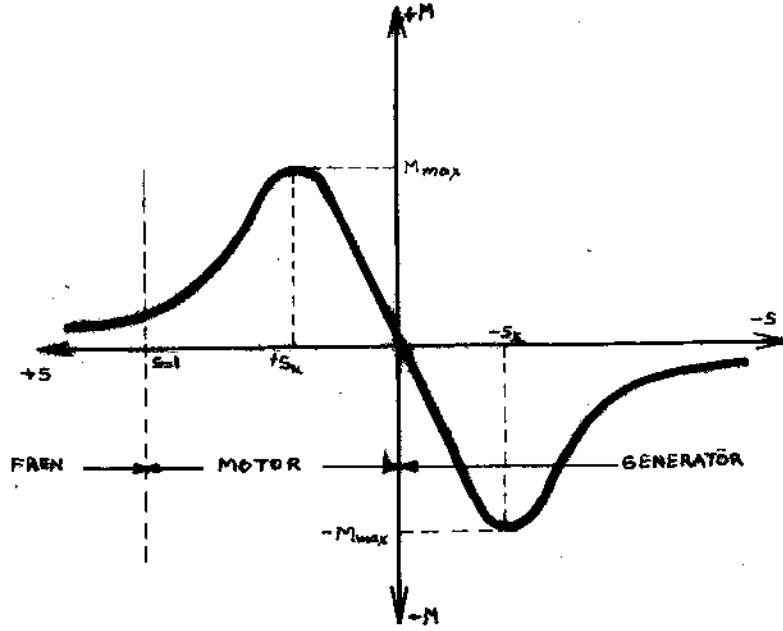
$$\overline{SS}' = V_R$$

$$\overline{TL} = V_{Fe}$$

$$\overline{NL} = Q_1 - V_{Fe} = m_1 I_1^2 R_1$$

$$\overline{NS} = Q_2 = m_1 I_2'^2 R_2'$$

$$\overline{PN} = M$$



Şekil 3 e: Asenkron makinaların kayma-moment karakteristiği.

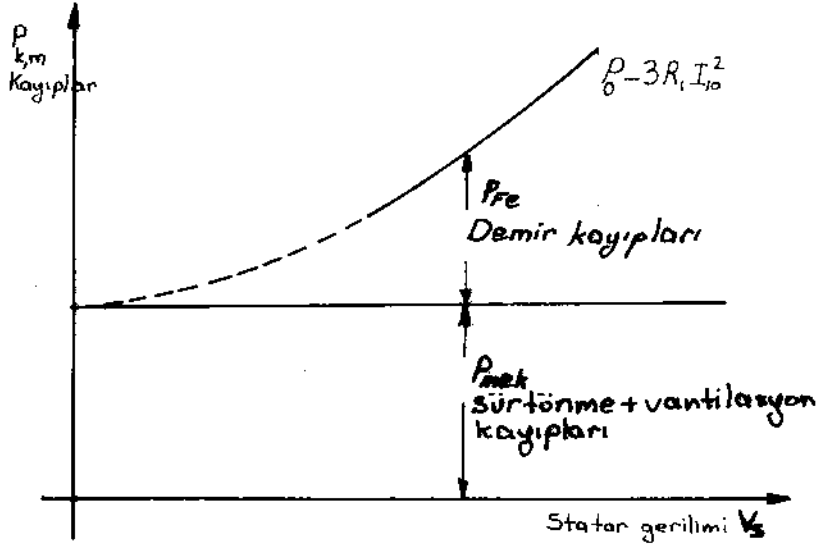
3.5. BOŞDA ÇALIŞMA KARAKTERİSTİĞİ

Asenkron makinaların boşta çalışma karakteristiği bir mıknatıslanma karakteristiğidir ve boşta çalışma deneyinden yararlanılarak bulunur.

Motor boşta, değişik stator sargı gerilimlerinde çalıştırılır. Nominal stator sargı geriliminin 1,3 katından motor çalışmasını sürdürebildiği düşük gerilimlere kadar inilerek, motor akımı ve gücü okunur. Her gerilim için motorun şebekeden aldığı toplam P_t gücü, P_{fe} (stator demir kaybı), P_{cu} (stator bakır kaybı) ve P_{st} (sürtünme ve vantilasyon kayıplarından oluşur. Rotor bakır kayıplarının karakteristiği etkilememesi için, bilezikli asenkron makinalarda rotor devresi açık iken, kısa devre kafesli makinalarda ise motor senkron hız ile dışarıdan tahrik edilirken (döner alan yönünde) ölçmeler yapılabilir.

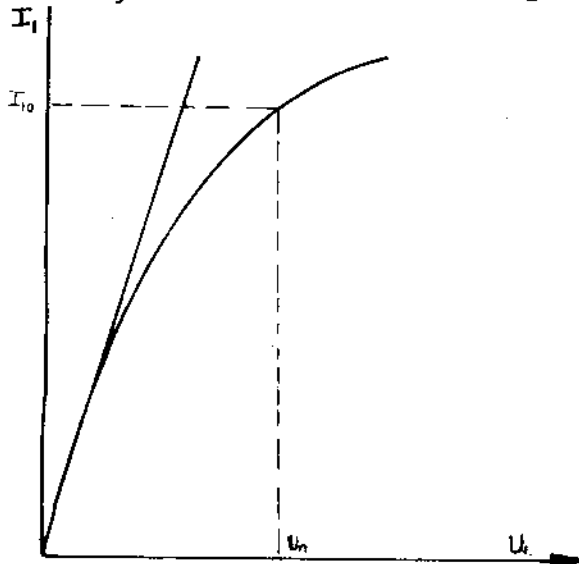
P_{st} (mekanik kayıplar) hıza bağlı olduğundan statora uygulanan gerilim ile değişmez; sabit kalır. P_{fe} (demir kayıpları) ise fuko ve histeresiz kayıplarından oluşur ve bu kayıp gerilimin karesi ile orantılı olarak değişir.

Boşta çalışma karakteristiği frekansa da bağlıdır.



Şekil 3 f: Gerilim ile güçlerin değişimi.

Boşta çalışma karakteristiğinin (Şekil 3 g) doyma özelliği makinada kullanılan saç kalitesine ve hava aralığına yakından bağlıdır.



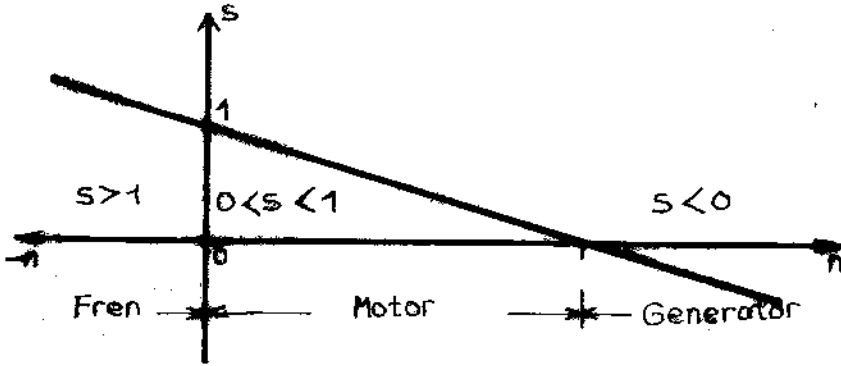
Şekil 3 g: Boşta çalışma karakteristiği.

3.6. ASENKRON MAKİNANIN GENERATÖR OLARAK ÇALIŞMASI

Asenkron makina senkron hızın üzerinde bir hız ile tahrik edildiğinde $s = (n_s - n) / n_s$ ile belirlenen kayma negatif olur ($n > n_s$). (3.4.1) ile verilen moment bağıntısından görüleceği gibi kayma negatif olduğunda, moment de negatif değerler almaktadır.

$P_{mek} = M \cdot W_1$, ($W = 2 \cdot \pi \cdot n$) olan mildeki güç de negatif değerler alacağından makina artık milden, dışarıya mekanik güç vereceği yerde mekanik gücü milden alıyor demektir. Bu durumda makina milden aldığı mekanik gücü, elektrik enerjisine çevirerek generatör olarak çalışır. Generatör çalışmasında $\varphi > 90^\circ$, $\cos \varphi < 0$ olduğundan $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$ olan aktif güçte negatiftir.

Şekil 3 h'da kaymaya bağlı olarak değişik çalışma bölgeleri işaretlenmiştir.



Şekil 3 h: Asenkron makinanın kaymaya göre çalışma durumları. (1)

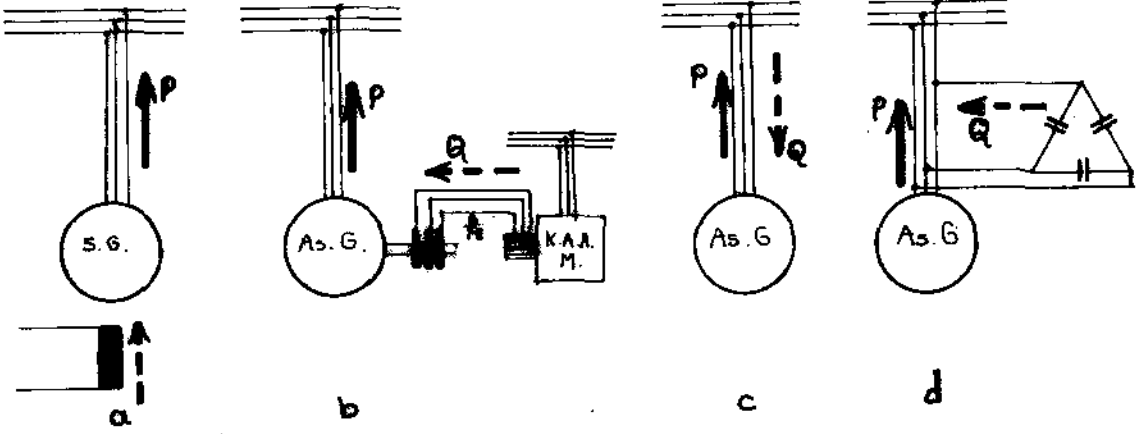
Bu şekilde generatör çalışmasında makinanın uyarma alanı şebekeden çekilen reaktif güç ile sağlanmaktadır. Yani senkron makina gibi dışarıdan beslenen ayrı bir uyarıma sargısı olmadığından, asenkron generatör mıknatıslanma akımını şebekeden çeker.

Motor çalışmasından generatör çalışmasına senkron üstü hıza çıkılarak geçerken, reaktif gücün yönü ve değeri sabit olup aktif güc yön ve değer değiştirir. Aktif güc miktarı, milden verilen tahrik gücü ile ayarlanır.

4. ASENKRON GENERATÖRLER

4.1. UYARMA

Asenkron generatörlerin senkron generatörler gibi ayrı bir uyarma sar-
gısı olmadığını belirtmiştik. Bu nedenle asenkron generatörlerin uyarılmasında
değişik yöntemler kullanılır. Bilindiği gibi senkron generatörlerde rotor,
doğru akım ile beslenerek bir uyarma alanı yaratılıyor idi. (Şekil 4 a.a)
Asenkron generatörlerde başlıca; rotordan uyarma (4 a.b), şebekeden uyarma
(4 a.c), kendi kendine uyarma (4 a.d) olmak üzere üç çeşit uyarma yöntemi
kullanılır. Şekil 4 a'da kesikli çizgiler ile belirtilen enerji akışı uyarma
alanını yaratan enerji akışıdır.



Şekil 4 a: Senkron ve asenkron generatörlerde uyarma.

Aşağıdaki ayrıtlarda asenkron generatörlerin uyarma şekilleri ayrı ayrı
ele alınacaktır.

4.1.1. Rotordan Uyarma

Bu uyarma şeklinde bilezikli asenkron makinanın bileziklerine kaymanın
belirlediği küçük frekanslı gerilim uygulanır. Uyarma gerilimi bir kollektörlü
alternatif akım makinası tarafından sağlanır.

Uyarma için ayrı bir makinanın kullanılması sistemi pahalılaştırmakla birlikte kollektör üzerinde fırçaların kaydırılması ile uyarma gerilimi istenildiği gibi ayarlanabilir. Bu durumda asenkron generatör frekansı, uyarma gerilimi frekansına da bağlıdır. Uyarma makinasının gücü generatöre göre oldukça küçüktür. Asenkron generatörün beslediği şebekenin başka generatörler (senkron) tarafından beslenerek gerilim altında bulundurulması gerekmez.

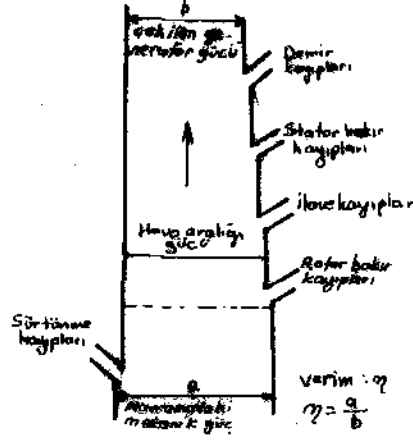
Bu uyarma şekline benzemekle birlikte, sonuç olarak senkron generatörü veren bir uyarma şeklide bileziklere (sadece ikisine) direkt doğru gerilim uygulanarak senkron hızda tahrik etme yöntemidir. Bu şekilde elde edilen generatör senkronlaştırılmış asenkron generatör olarak da adlandırılabilir.

4.1.2. Şebekeden Uyarma

Gerilim altında bulunan bir şebekeye bağlı olan asenkron makina dışarıdan tahrik edilerek döner alan yönünde senkron üstü hıza çıkarılacak olursa şebekeye enerji vermeye başlar. Bu durumda asenkron makina (artık asenkron generatör) uyarılması için gerekli endüktif akımı yine şebekeden çeker. (veya şebekeye kapasitif akım verir). Şebekeye geçirdiği aktif enerjiyi ise milini çeviren tahrik makinasından (su türbini, dizel motor, buhar türbini, vs.) alır. Bu durumda frekansı ve gerilimi şebeke frekansı ve gerilimi belirler.

Makinanın miline ne kadar mekanik enerji verilir ise, verim çarpımı kadar aktif elektrik enerjisi şebekeye geçer. Bunun küçük su santralleri için elverişliliği açıktır.

Büyük güçlü makinalarda devreye girme sırasında çekeceği büyük reaktif akım darbeleri göz önüne alınır ise bunlarda da kompensasyon yapmanın gerekliliği ortaya çıkar. Örneğin 200 kW, $\cos\phi = 0,8$ olan bir makinada devreye giriş anında 150 kVAR'lık bir reaktif güç darbesi olacaktır. Bu reaktif gücün sürekli devrede bulunmasında istenmez. Asenkron generatöre ait güç bilânçosu şekil 4 b'de verilmiştir.



Şekil 4 b: Asenkron generatörün güç bilânçosu.

Hava aralığı gücünün negatif olmasından dolayı rotor bakır kayıpları pozitiftir. Hava aralığı gücü statorda oluşan kayıplar kadar şebeke gücünden büyüktür. Mole gönderilen mekanik güç hava aralığı gücünden rotor bakır kayıpları kadar büyüktür. Aynı makinanın generatör olarak gücü motor durumundakinden daha büyüktür; aralarındaki oran yaklaşık olarak 1/motor verimi kadardır (6) Buna karşın eğer güç faktörü motor işletmesine göre daha küçük ise, bu durumda oranda oldukça bir küçülme oluşur.

Şebekeden uyarılan asenkron generatörün aktif güç verimi yalnız devir sayısına bağlıdır.

Asenkron generatör gücü otomatik olarak -tahrik momenti, generatör devrilme momentini geçmemesi koşulu ile. tahrik gücüne karşı düşen değere ayar olur.

Şebekeden uyarılan asenkron generatörler özellikle küçük su kaynaklarının enerji sistemine katkılandırılmasında ekonomik ve kullanışlı olabilir. Birkaç santral, tek bir bakıcı tarafından çalıştırılabilir. Bu çeşit çalışmada da makinanın reaktif gücünün kapasiteler ile kompanse edilmesinin gereği açıktır.

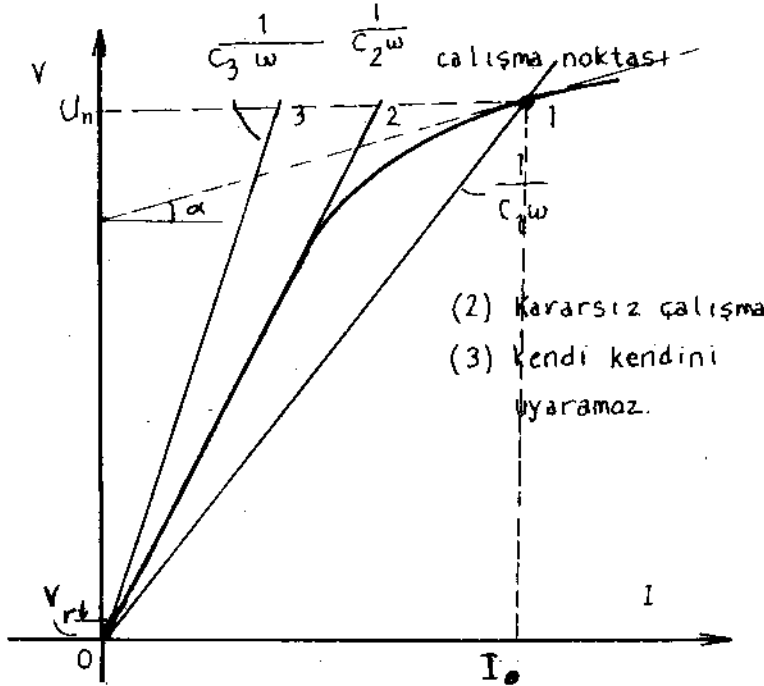
Asenkron generatöründe verebileceği elektrik gücünün (ısınma gözönüne alınmaksızın) bir sınırı vardır ki, bu; devrilme sınırıdır. Asenkron generatörler için devrilme (veya yıkılma) ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

4.1.3. Kendi Kendine Uyarma

Yalnız başına çalışan bir asenkron generatörün, senkron hızın üzerine çıkarılırsa gerilim üretemeyeceğini belirtmiştik. Makinanın mıknatıslanması (uyarılması) için gereken enerjinin dışarıdan verilmesi gerekir. Kendi kendini uyardırma makineye paralel olarak, uyarma akımını verecek olan kapasiteler bağlanır. Makinanın reaktif güç gereksinimi bu kapasiteler tarafından sağlanır.

Bu durumda senkron üstü hız koşuluna bir de makinanın ilk uyarımı için bir artık mıknatıs alanı olması gerekliliği eklenebilir.

Generatöre bağlanacak kapasitenin değeri, başta çalışma deneyinden bulunan boşta çalışma karakteristiği ile elde edilir. Şekil 4.c'de boşta çalışma karakteristiği ile kondansatör doğruları aynı eksen takımında verilmiştir. Makina boşta çalışma karakteristiği ile kondansatör doğrusunun birbiri ni kestiği noktada kendi kendini uyarır.



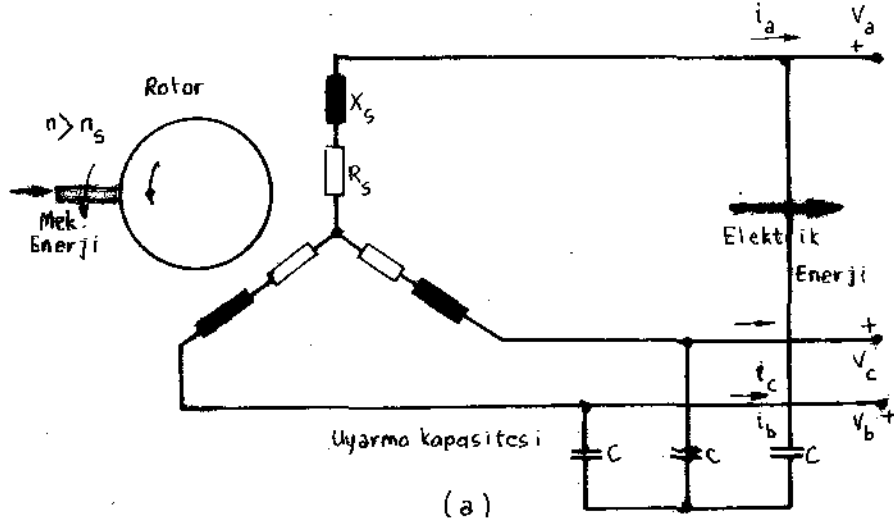
Şekil 4 c: Boşta çalışma karakteristiği ve kapasite doğruları (1).

Şekildeki kapasite doğrularından 1 ile; boşta çalışma karakteristiğinin kesim noktası kararlı bir çalışma noktasıdır. Bu kesim noktasının belirlediği kutup gerilimi boşta çalışmada söz konusudur. C_2 kararsız çalışma, C_3 ise makinanın kendi kendini uyaramadığı kapasite doğrularıdır.

Makina ilk uyarımı U_r ile gösterilen remenans gerilimi ile sağlar. Remenans gerilimi artık mıknatıslanma tarafından oluşturulduğundan saç kalitesi ve son çalışma durumlarına yakından bağlıdır. İlk çalışmada eğer remenans gerilimi yok ise bu durumda ya kondansatörler önce doğru gerilim ile doldurulup bağlanır veya ayrı bir şebekeden bir darbe uygulanarak sönümsüz titreşimler elde edilir ve kendi kendine uyarmanın başlaması sağlanır. Asenkron generatörün kendi kendini uyarmasını daha iyi anlayabilmek için şöyle bir düşünce deneyi yapabiliriz.

Senkron generatörler tarafından beslenen bir şebekeden enerji alan bir asenkron motor düşünelim; bunu milinden tahrik ederek hızını arttıralım. Makina senkron hızına çıkarıldığında artık şebeke ile bir aktif enerji alışverişi kalmaz (Bakır ve demir kayıpları ihmal edilerek). Bu durumda şebekeden çekilen akım sadece makinayı mıknatıslamaya yarar. Şimdi makinanın hızını daha da arttırarak senkron üstü hıza çıkaralım. Artık makina şebekeye aktif güç vermeye başlayacaktır, fakat bu durumda da makinanın mıknatıslama akımı şebekeden çekilecektir. Aktif gücü arttırarak şebekenin tüm aktif güç gereksiniminin bu asenkron makina (artık bir asenkron generatör) tarafından sağlandığını kabul edelim. O halde şebekeyi besleyen senkron generatörler yalnızca asenkron generatörün uyarılması için gereken reaktif enerjiyi verirler. Şimdi asenkron generatöre uyarmasını sağlayabilecek değerde kapasiteler bağlarsak senkron generatörlerin şebeke ile ne aktif ne de reaktif enerji alışverişi kalır. O halde senkron generatörleri devre dışı bırakabiliriz. Bu durumda asenkron generatör kendi kendini uyararak tüm şebekeyi besliyor demektir. Şekil 4.d'de kondansatörlerle uyarılan asenkron generatörün bağlantı şekli ve enerji akışı gösterilmiştir.

İleride ele alınacağı gibi boşta çalışma karakteristiğinden hesaplanan kapasite değeri söz konusu gerilimi ancak yüksüz çalışmada verebilir. Buna



Şekil 4 d: Kondansatörler ile uyarılan asenkron generatör.

karşın bu kapasite değerinin hesabı hesaplamalara temel oluşturur.

Şekil 4 c'de verilen boşta çalışma karakteristiğinin nominal gerilimi veren noktadaki reaktansının, makinanın uçlarına bağlanacak olan kapasitenin reaktansına eşit olması gerekir. Yani:

$$l_{20} \cdot \omega = \frac{l}{c_1 \cdot \omega}$$
 olmalı, bu ise bilindiği gibi ω açısal frekansındaki paralel rezonans koşuludur.

Çalışma noktası değişik çalışma durumlarına göre değişebileceği gibi, kapasite doğrusu ile boşta çalışma karakteristiğide frekans ile değişir; bu nedenle daha iyi bir yaklaşım olmak üzere makinanın reaktansı için boşta çalışma karakteristiği üzerinde çalışma noktasının eğimini almak daha iyi sonuç verir. Teğetin eğimi;

$$t_{q\alpha} = \frac{U_n}{I_0} = X_{s0}$$

olarak reaktansı verecektir.

$$X_{s0} = \frac{l}{c\omega}, \quad C = \frac{l}{X_{s0} \cdot \omega} \quad (F)$$

bu şekilde hesaplanan kapasite değeri ile uyarmada nominal gerilim ancak boşta çalışmada elde edilebilir; generatör yüklendikçe gerilim düşecektir. (Özellikle endüktif karakterli yüklerde), Bu nedenle yukarıda hesaplanan kapasite değeri bir çalışma büyüklüğü olmayıp bir alt sınır değeri olarak kabul edilebilir. Bu konu çalışma karakteristikleri kısmında ayrıca ele alınacaktır.

4.2. ÇALIŞMA ÖZELLİKLERİ

4.2.1. Şebeke İle Paralel Çalışma

Gerilimli bir şebeke ile paralel çalışan asenkron generatörlerin uyarmaları için gereken reaktif akım şebeke tarafından sağlanır ve generatör devrilme sınırına kadar miline verilen mekanik enerjiye karşı düşen elektrik enerjisini (aktif enerjiyi) şebekeye geçirir. Bu çeşit çalışma özellikleri bakımsız, küçük su santralleri ve rüzgâr santralleri için uygundur. Küçük düşümlü akar sularda boru tipi türbinlerle tahrike elverişlidir.

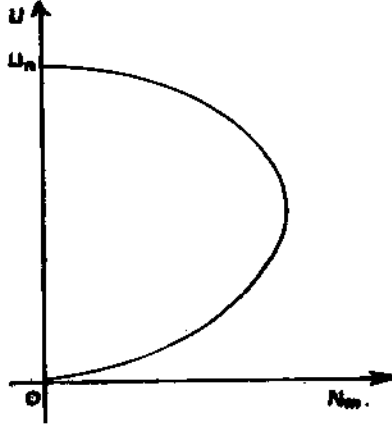
Generatöründe türbine direktakuple ve su içinde yataklanmış olduğu türbin generatör tipi olarak kullanılabilir. Şekil 3.e'de görüldüğü gibi generatör çalışmasında moment bir maksimuma ulaşmakta ve sonra sifıra asimtot olarak gitmektedir. W.M olan aktif gücünde bir maksimumdan sonra azalacağı açıktır. Yani asenkron generatör -uyarmaya da bağlı olmak üzere- belli bir güçden sonra devrilmekte, şebekeye geçirdiği aktif güç azalmakta, iç gerilimi şiddetle düşmekte, tahrik arttırılmaya devam edilecek olursa hızı çok artmaktadır.

Bu durum daire diyagramından da görülebilir. Daire diyagramında generatör işletmesi P_0 noktasının biraz altından başlar ve daire yayının P noktasına kadar uzanır. Görüldüğü gibi devrilme moment sınırına kadar, dönme momenti artmasına karşın, devrilme eksenini sınırından sonra azalmaktadır. O halde normal generatör çalışması ancak generatör devrilme momenti sınırına kadar söz konusudur. Tahrik makinasında (özellikle su ve rüzgâr türbinlerinde) devrilmeye ambale olunmaması için devrilme sınırına yaklaşılmasını önleyecek önlemin alınmış olması gerekir. Tahrik kaldırıldığında asenkron makina

şebekeden enerji çekerek motor olarak çalışmaya devam eder. Şebekeye doğru yönlendirilmiş bir yön rölesi ile bu sakıncalı çalışmanın önüne geçilebilir. Bu şekildeki generatör çalışmasında ekonomik güç sınırı 200 kW dolayındadır.

4.2.2. Yalnız Başına Çalışma

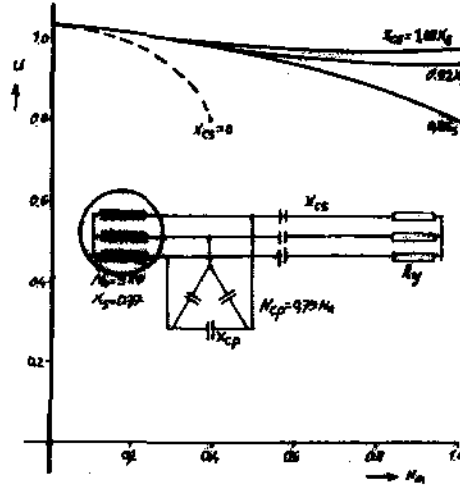
Boşda çalışma karakteristiğini nominal gerilimde kesen kapasite doğrusunun belirttiği kapasite ile yapılan uyarımda, nominal gerilimin ancak boşda çalışmada söz konusu olup, generatör yüklendikçe gerilimin belli bir değere kadar düşüp, daha sonra şiddetle sıfıra gittiğini belirtmiştik. Bu durum şekil 4 e'de gösterilmiştir.



Şekil 4 e: Asenkron generatör dış karakteristiği.

Boşda çalışma karakteristiğinden hesaplanan kapasite ile uyarılan asenkron generatörde bu devrilme olayı nedeni ile nominal güce ulaşmak mümkün olmaz. Makinanın reaktansına ve yükün niteliğine de yakından bağlı olmakla birlikte omik yükler için yıkılmanın yaklaşık olarak yarı güçde olduğu söylenebilir. Bu durum kapasiteler ile uyarılan asenkron generatörün önemli bir sakıncasını oluşturur. Bu sakıncanın önlenmesi için akla ilk gelecek husus kapasitenin değerini arttırmak olabilir. Fakat bu durumda da boşda veya düşük yüklerle çalışmada, gerilim nominal gerilimin üstüne çıkacaktır. Bunun sakıncaları da açıktır. Bilindiği gibi aydınlatma tüketicilerinde ancak \pm % 5 gerilimi değişimine izin verilir. Ekonomik bir çözüm olmamakla birlikte boşda $U_n + \% 5 U_n$ gerilimini verecek kapasite değeri ile uyarı yapılarak devrilme gücüne kadar çalışılabilir. Bu durumda da büyük olasılıkla nominal güce erişmek mümkün olmayacaktır.

Asenkron generatörün dış karakteristiğinin düzeltilmesinde izlenen bir yöntem seri kapasitelerden yararlanmaktır. Bu şekilde elde edilen karakteristikler ve bağlama şekli şekil 4 f'de verilmiştir.



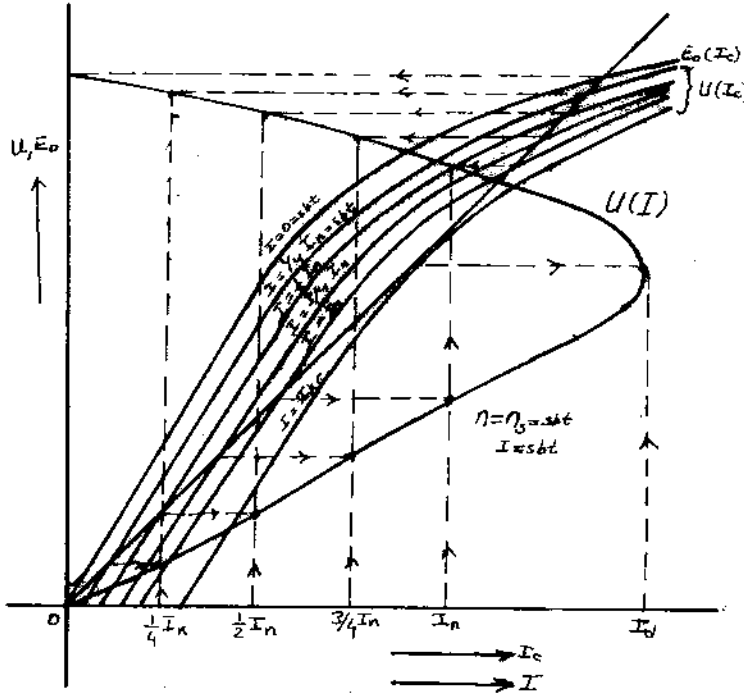
Şekil 4 f: Uyarıda seri kapasitelerin kullanılması (5)

Görüldüğü gibi seri kapasite reaktansının makinanın reaksına eşit olduğu durumda karakteristik oldukça düzelmekte ve normal gerilim düşümleri sınırları içinde nominal güce ulaşmak mümkün olabilmektedir.

Kapasiteler ile uyarılan asenkron generatör karakteristikleri ve çalışma koşulları doğru akım şönt generatör ile benzeşir, şönt generatörde de yıkılma olayı aynen söz konusudur.

Bu nedenle asenkron generatörün dış karakteristiği şönt generatörlerde kullanılan geometrik yöntemden yararlanılarak çıkarılabilir. Yalnız burada direnç doğrusunun yerini kapasite doğrusu alacaktır. Şekil 4 g'de boşda çalışma karakteristiği, yük eğrileri ve kapasite doğrusundan yararlanılarak generatör dış karakteristiğinin çıkarılması gösterilmiştir.

Asenkron generatörlerin dış karakteristiğindeki devrilme özelliği yükün niteliği ile yakından ilişkilidir. Senkron generatörlerde olduğu gibi



Şekil 4 g: Dış karakteristiğin çıkarılması.

endüktif yükler gerilimi şiddetle düşürmekle birlikte, bundan fazla olarak yıkılmanında küçük güçlerde olmasına neden olurlar. Kapasitif yükler ise uyarmanın artması şeklinde etkiyeceğinden doğal olarak gerilimi arttırmaları. Fakat pratikte rastlanan yükler genellikle omik ve endüktif nitelikli olduklarından eğer uyarma ayar olanağı yok ise endüktif yüklerin kompanse edilmeleri gerektiği söylenebilir. Özellikle bir fazlı asenkron generatörler de yıkılma olayından sonra gerilimin sifıra gitmesine izin verilir ve bu durumda yüke bağlı kalınmaya devam edilir ise, bir fazlı makinalardaki ters döner olan bileşenin etkisi ile remenansın kaybedilme olasılığı vardır. Bunun sonucu aynen doğru akım şönt generatördeki intihar montajının sonucuna benzer. Gerilimli bir şebeke bulunmadığından (gerilimli bir şebeke bulursa idi şebeke uyarımlı asenkron generatör tercih edilir idi.) makina bir daha kendi

5. DENEYSEL GERÇEKLEME

5.1. BİR FAZLI ASENKRON GENERATÖR

Deneyleri yapılan asenkron makina anma değerleri;

$$N_n = 736 \text{ W}$$

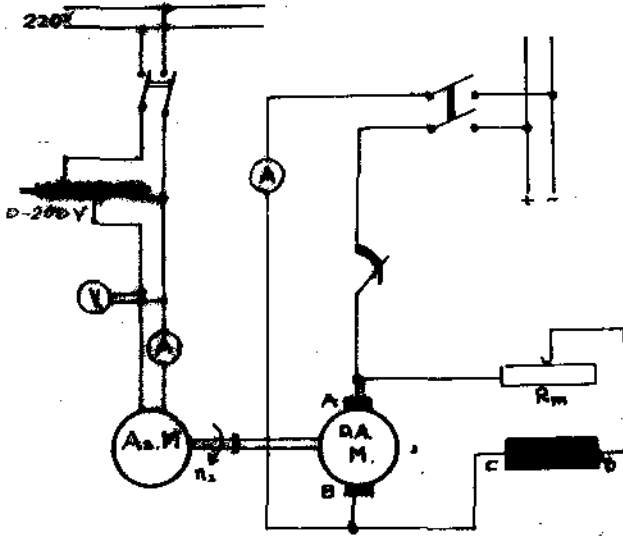
$$U_n = 220 \text{ V}$$

$$I_n = 6,9 \text{ A}$$

$$n_s = 1500 \text{ d/d}$$

$f = 50 \text{ Hz}$ olan bir fazlı makinadır.

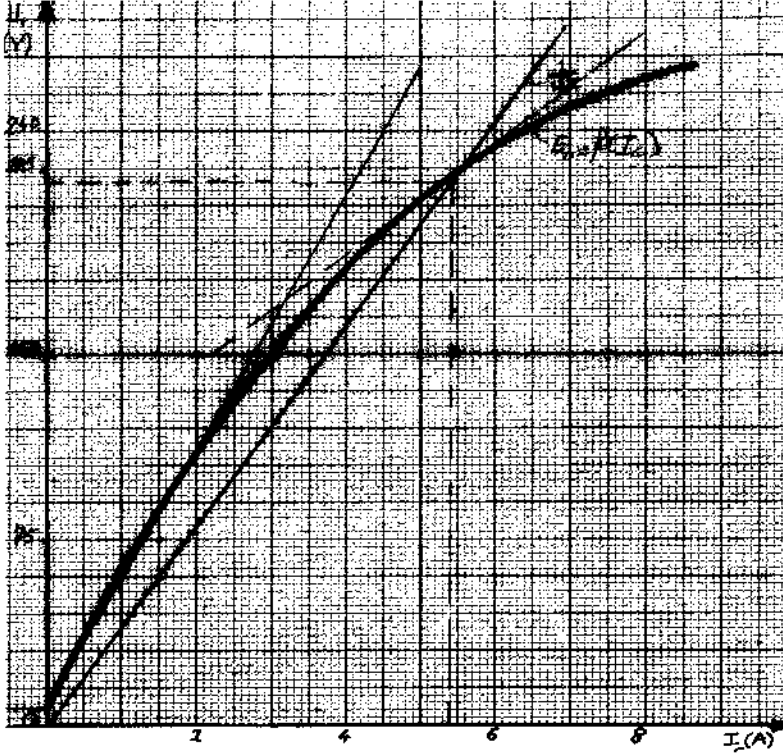
Önce uyarma kapasitesinin değerinin hesaplanabilmesi için boşa çalışma karakteristiğinin çıkarılmasında Şekil 5 a'daki montaj kullanılmıştır.



Şekil 5 a: Boşa çalışma karakteristiği için montaj şeması.

Şekilde görüldüğü gibi tahrik makinası olarak şönt uyarmalı bir doğru akım motoru kullanılmıştır.

Bir takometre ile önce sistemin devir sayısı asenkron makinanın senkron devir sayısı olan 1500 d/d'ya çıkarılmış ve daha sonra ototransformatör yardımı ile gerilim kademeli olarak arttırılarak her gerilim için çekilen akım okunmuştur. Elde edilen veriler ile çizilen boşda çalışma karakteristiği Şekil 5 b'de verilmiştir.



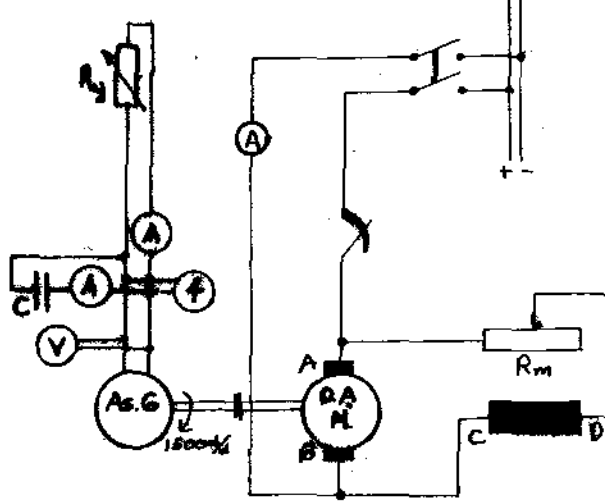
Şekil 5 b: Boşda çalışma karakteristiği.

Nominal gerilim olan 220 V'dan çizilen kapasite doğrusundan yararlanılarak alt sınır kapasite değeri hesaplanmıştır:

$$\frac{1}{\omega C} = \frac{U_n}{I_n} = \frac{220V}{4,75A} \rightarrow C = \frac{4,75}{220 \cdot 2\pi \cdot 50} \quad C \cong 70 \mu F$$

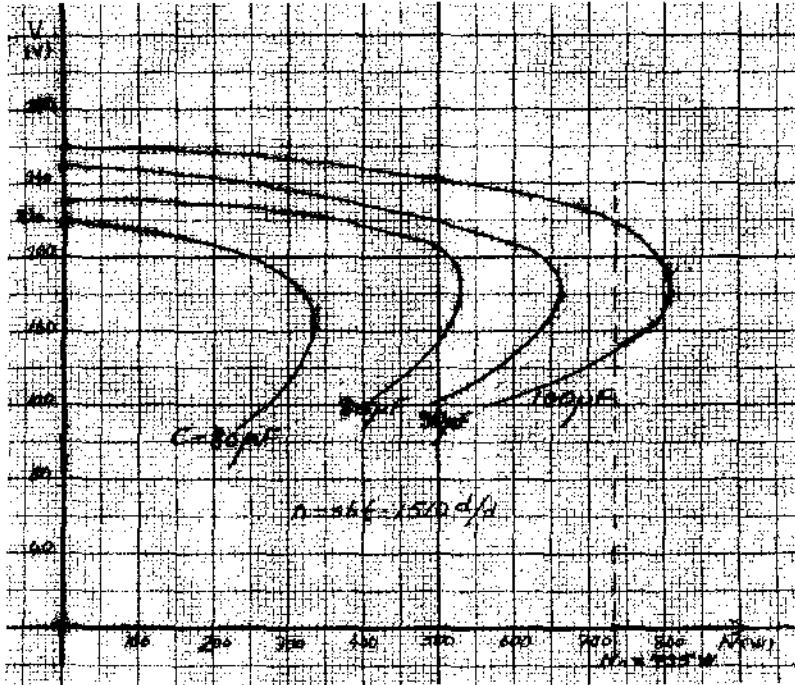
Daha önce belirtildiği gibi yükde gerilim düşümü ve normlar gözönüne alınarak 80 F'lık bir kapasite kullanılmıştır.

Asenkron generatör yük deneylerinde dış karakteristiklerin çıkarılması için kullanılan montaj şeması Şekil 5 c'de verilmiştir.



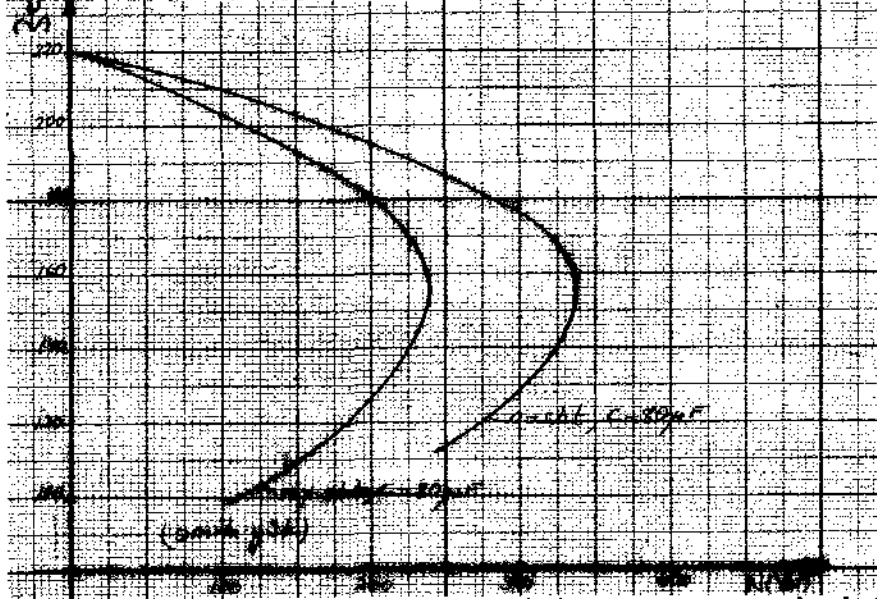
Şekil 5 c: Yük deneyleri için montaj şeması.

Dış karakteristikteki değişim ve devrilmenin yerinin değişiminin gözlenebilmesi açısından 80, 85, 90 ve 100 μ F ile yapılan uyarılardan elde edilen omik yük dış karakteristikleri Şekil 5 d'de verilmiştir.



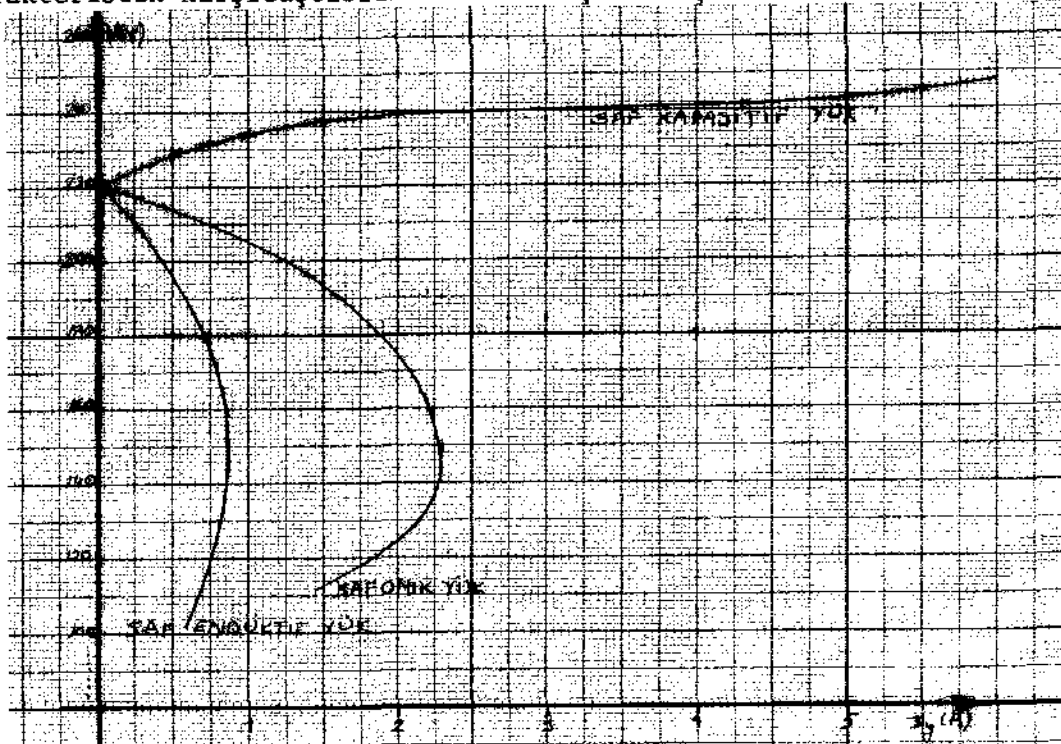
Şekil 5 d: Dış karakteristikler.

Şekil 5 e'de yük ile devir sayısının değiştiği ve devir sayısının sabit bırakıldığı durumlardaki dış karakteristikler karşılaştırılmalı olarak $80 \mu F$ için gösterilmiştir.



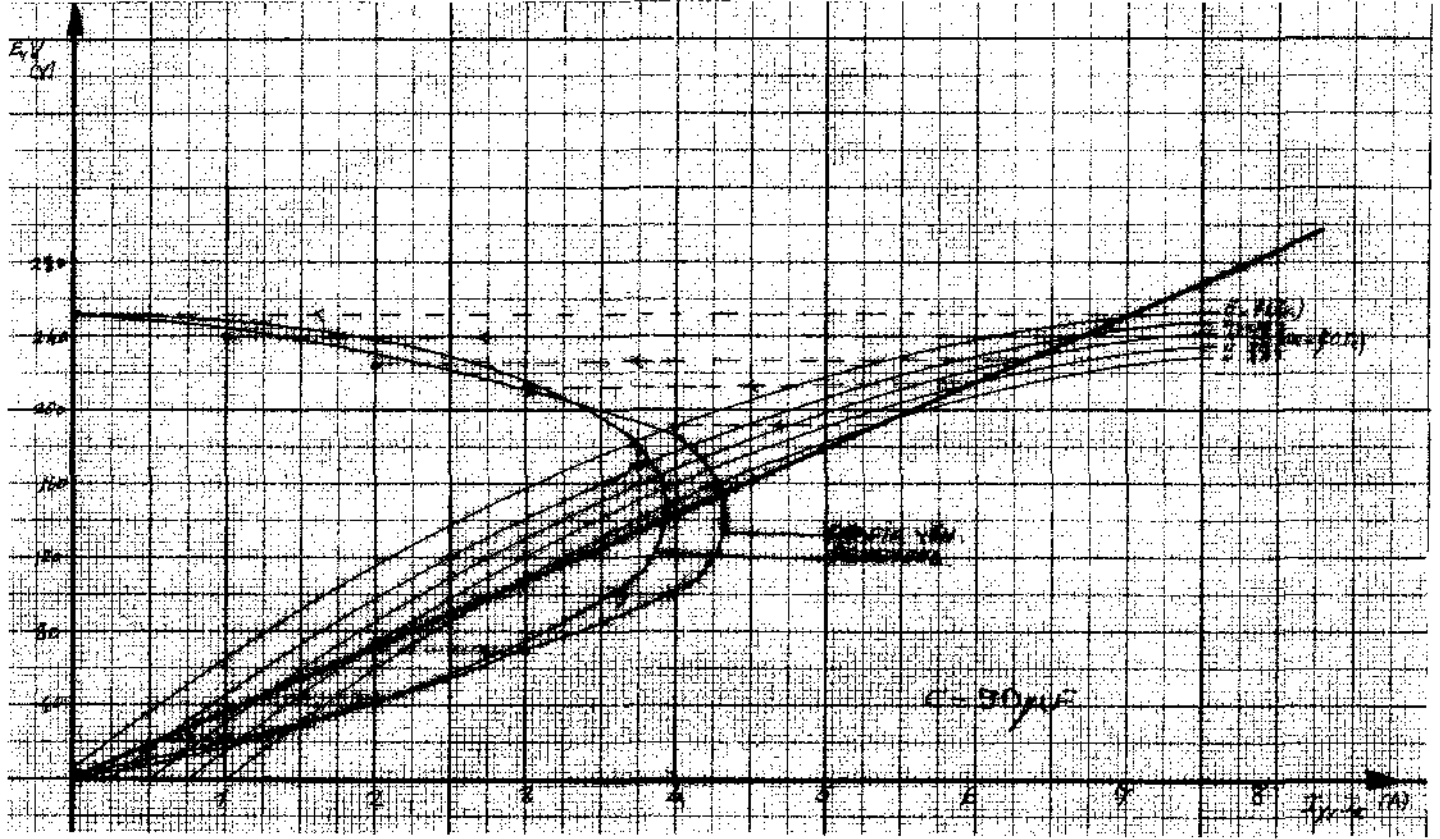
Şekil 5 e: Değişik çalışma durumları için dış karakteristikler.

Şekil 5 f'de saf omik, saf endüktif ve saf kapasitif yükler için dış karakteristik karşılaştırılmalı olarak çizilmiştir.



Şekil 5 f: Değişik yük durumları için dış karakteristikler.

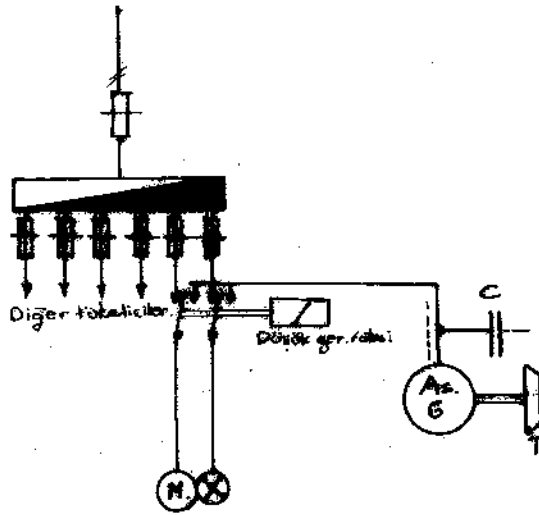
Grafik yöntem ile dış karakteristiğın elde edilmesi ve deneysel ve grafik yollardan bulunan karakteristikler $90\mu F$ için Şekil 5 g'de gösterilmiştir.



Şekil 5 g: Deneysel ve grafik yoldan bulunan dış karakteristikler.

Böyle küçük güçlü asenkron generatörlerin kullanımına bir örnek olmak üzere aydınlatma tüketicilerinde enerji kesilmelerinde iki linyenin beslenmesinde kullanılan bir asenkron generatör montajı Şekil 5 h'da verilmiştir.

Örneğın soğutucu ve aydınlatma linyelerinin beslenmesinde kullanılan asenkron generatör, enerji kesilmelerinde bir düşük gerilim rölesi ile otomatik olarak linyelere bağlanacak ve bu şekilde tüm tüketicilere bağlanıp re-menansın kaybolması önlenmiş olacaktır.



Şekil 5 hâz Aydınlanma tüketicilerinin beslenmesinde asenkron generatör.

5.2. ÜÇ FAZLI ASENKRON GENERATÖR

Deneyleri yapılan asenkron makina, anma değerleri;

$$N_n = 0,8 \text{ kW}$$

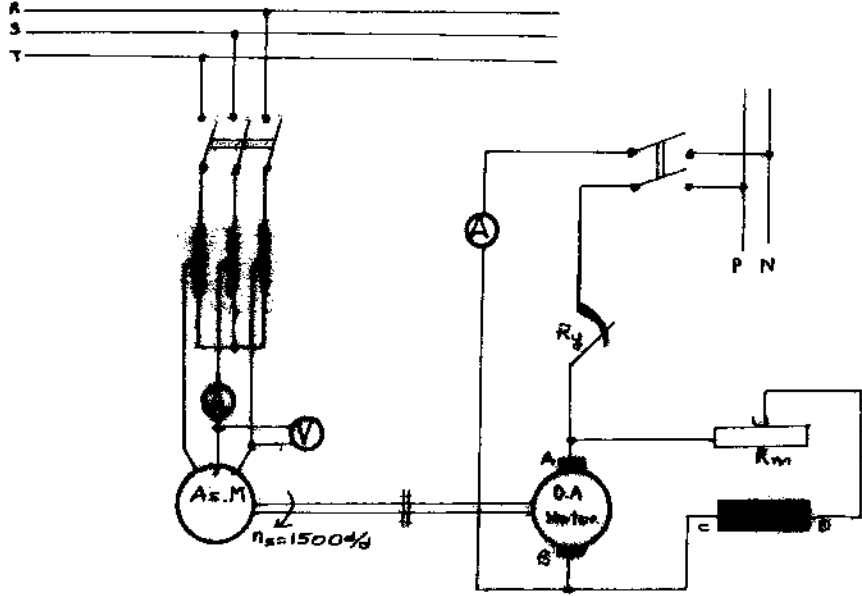
$$U_n = 220/380 \text{ V}$$

$$I_n = 3,5/2 \text{ A}$$

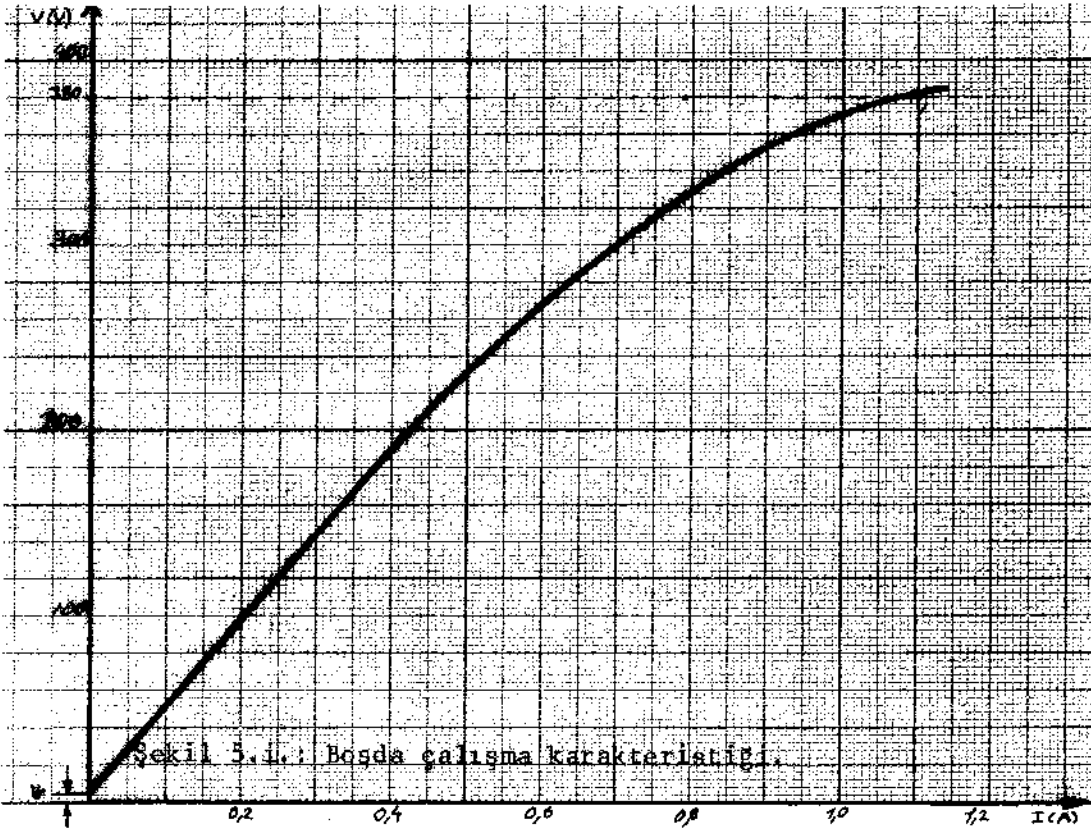
$$\text{Cos} = 0,79$$

$$n_s = 1500 \text{ d/d}$$

$f = 50 \text{ Hz}$ olan üç fazlı bir makinedir. Şekil 5.1'daki montaja göre ve



Şekil 5.1.: Boşta çalışma karakteristiğinin çıkarılmasında kullanılan montaj şeması.



Şekil 5.1.: Boşta çalışma karakteristiği.

Şekil 5.1.'den görüldüğü gibi nominal gerilimde kesişen kapasite doğrusu için 380 V'da 1,1 A akım çekilmektedir. 3 fazlı kapasitenin her biri için

faz gerilimi esas alınarak

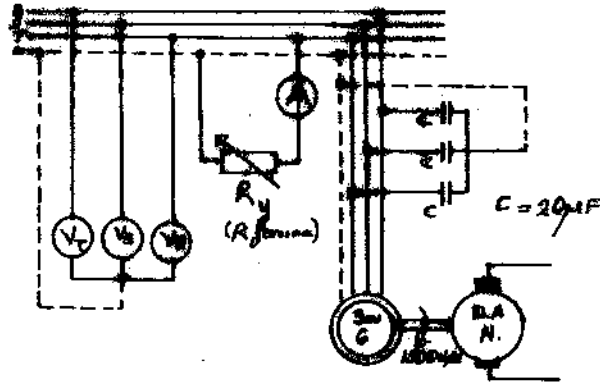
$$\frac{1}{\omega C} = \frac{220}{1,1} \quad \text{ve} \quad C = 16 \mu F \quad \text{bulunur.}$$

Norm değer olarak $20 \mu F$ alınmıştır, yani uyarmada 3 adet $20 \mu F$ 'lık kapasite yıldız bağlanacaktır.

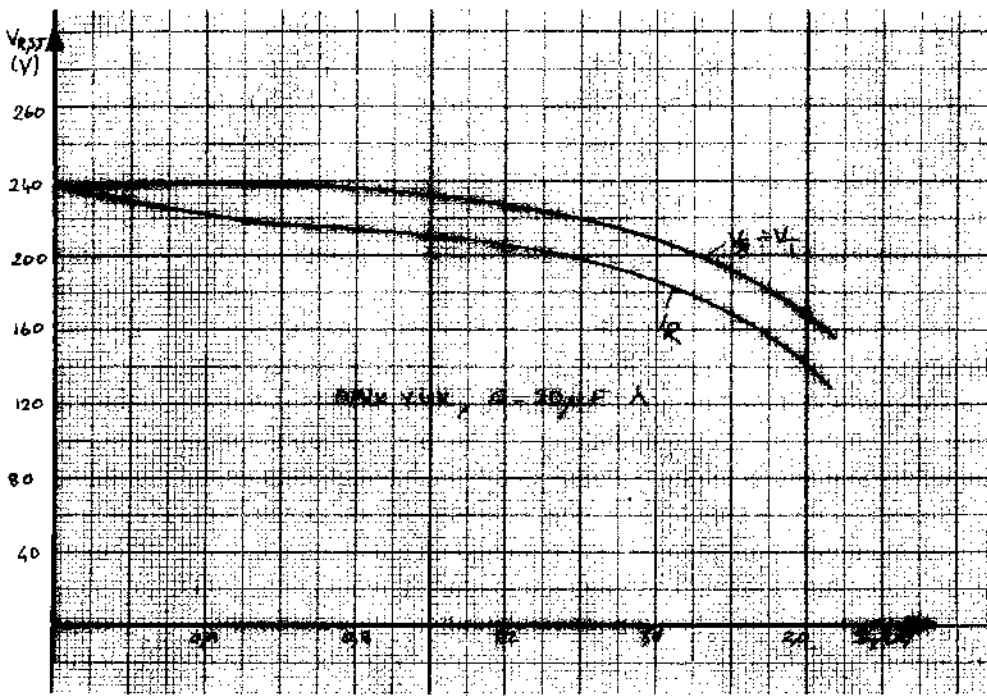
3 fazla asenkron generatörün dengeli ve dengesiz yüklerdeki durumunu gözleyebilmek için söz konusu yük deneyleri ayrı ayrı yapılmıştır.

5.2.1. Dengesiz Yük

3 fazlı asenkron generatörün dengesiz yükler için dış karakteristiği bir fazlı omik yük kullanılarak Şekil 5 j'deki montaja göre çıkarılmıştır.



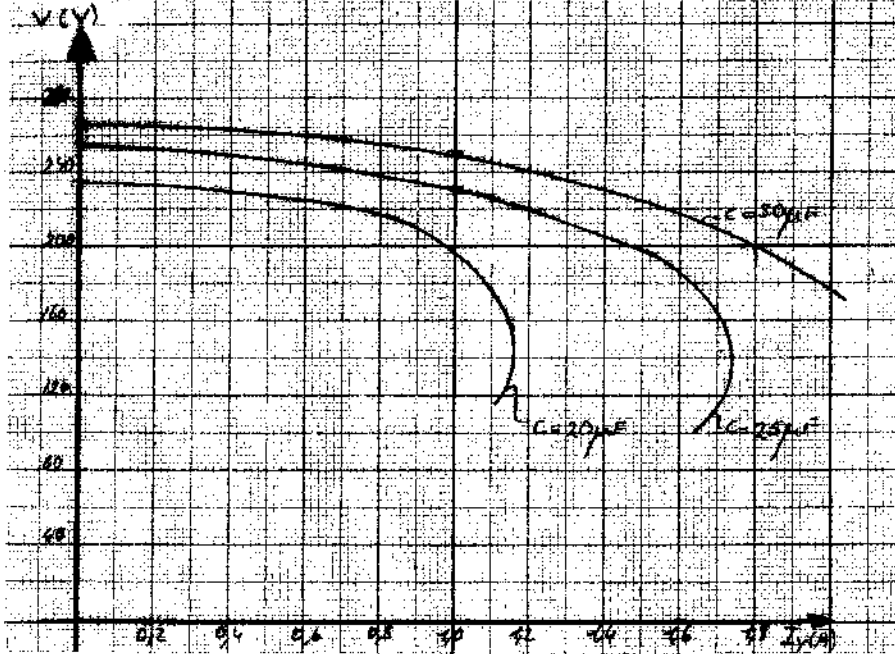
Şekil 5 j: 3 fazlı asenkron generatör 1 fazlı yük deneyleri için montaj şeması.



Şekil 5 k: 3 fazlı generatör dengesiz yük için dış karakteristikleri.

5.2.2. Dengeli Yük

Asenkron generatörün üç fazlı dengeli omik yükteki dış karakteristiği Şekil 5.1'de yük akımı ve yük gücüne göre 20, 25 ve 30 μ F'lık uyarma kapasitesi değerleri için verilmiştir.



Şekil 5 l: 3 fazlı generatör dengeli yükde dış karakteristikler.

6. SONUÇ

Senkron generatörler ile asenkron generatörlerin karşılaştırılması:

- a- Asenkron generatörlerin yapısı senkron generatörlere göre daha sadedir. Üretimi kolay ve ucuzdur. Asenkron makinalar daha az arıza yapma eğilimindedirler.
- b- Bakımı ve işletilmesi kolaydır, fazla bakıcıya gerek göstermez, bir bakıcı birkaç santralin bakımını üstlenebilir.
- c- Senkron generatörler gibi senkronizasyon problemleri yoktur.
- d- Asenkron makinalar, senkron makinalara göre daha yumuşak karakterlidirler. Yük değişimlerinde salınım yapmazlar.
- e- Kısa devrede iç gerilimi şiddetle düşeceğinden, büyük kısa devre akımları vermezler.
- f- Motor olarak yol alabilir ve gerektiğinde motor olarak çalışabilir. Böylece uygun bir düzenele istendiğinde tahrikde de kullanılabilir.
- g- Şebeke uyarımlı asenkron generatörler hiçbir frekans ve gerilim ayar organına gerek göstermez.
- h- Asenkron generatörlerde senkron generatörlerdeki gibi güç faktörü ayarı yapılamaması ve reaktif enerji üretememesi bir eksiği olarak düşünülebilmekle birlikte küçük birincil enerji kaynaklarının sisteme katkısı amaç alındığında, salt aktif enerji üretimi yeterli görülebilir. Bu durumda sistemin reaktif enerji gereksinimi senkron generatörler tarafından sağlanacaktır.

Asenkron generatörlerin bazı sakıncaları ise daha önce sıralandığı gibi endüktif akım gereksinimi, bu nedenle sistemin güç faktörünü düşürmesi,

devrilme, gerilim ayar olanağının sınırlılığı ve hava aralığının küçük olması nedeni ile büyük senkron üstü hızlarda yataklama sorunları çıkarmasıdır.

Yerel birincil enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ile kırsal yerleşim alanlarının enerjilendirilmesinde asenkron generatörler, şebekelerin dağılık olmasının önlenmesinde, şebeke kayıplarının azaltılmasında ve kırsal alanlara enerji götürülmesinin hızlandırılmasında etken olabilirler.

Y.S.E. tarafından ülkemizin doğu, güney.doğu ve güney-batı Anadolu bölgelerinde yapılan bir araştırmada 231 köyde 50-150 kW'lık toplam 27.000 kW güç saptanmıştır.

Küçük su kaynakları etüdü henüz tamamlanmamış olmakla birlikte yaklaşık 20 - 30 milyar kWh/yıl'lık küçük su kaynakları potansiyeli tahmin edilmektedir. Bu birincil enerji potansiyelinin yukarıda anılan türbin - generatör tipi ile enerji sistemine katkıda bulunmasının getireceği yararlar açıktır.

KULLANILAN SEMBOLLER

f_1	Stator frekansı
I_1	Stator akımı
I_2'	Statora indirgenmiş rotor akımı
I_{10}	Boşda çalışma akımı
I_{μ}	Miknatıslama akımı
I_w	Demir kayıpları akımı
$L_{1\sigma}$	Stator kaçak endüktansı
$L_{2\sigma}$	Rotor kaçak endüktansı
M	Moment
m_1	Stator faz sayısı
m_2	Rotor faz sayısı
n_s	Senkron hız
N_{s1}	Stator döner alanının rotora ilettiği güç
N_{s2}	Rotor döner alan gücü
N_1	Statora verilen güç
N_m	Mekanik güç
p	Çift kutup sayısı
P_{Fe}	Demir kayıp gücü
P_{Cu}	Bakır kayıp gücü
Q_1	Stator bakır ve demir kayıpları
Q_2	Rotor bakır ve demir kayıpları
R_1	Stator direnci
R_2	Rotor direnci
R_2'	Statora indirgenmiş rotor direnci
s	Kayma

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- 1) Prof. Dr. Kemal Sarıoğlu: Elektrik makinalarının Temelleri III., 1977.
- 2) Prof.Dr.Mustafa Bayram: Elektrik Tesisleri ders notları, 1979.
- 3) Prof.Osman İvizli: Elektrik makinaları ders notları.
- 4) Prof.Dr.Müh.Turgut Bodurođlu: Elektrik Makinaları dersleri C.IV.
- 5) Von Fritz Kümmel: Siemens - Zeitschrift, s.333, 1955.
- 6) Y.Müh.Werner Nürnberg: Elektrik makinalarının muayenesi. Çev.Prof.Dr.Müh.
T.Bodurođlu.