



TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

ELEKTRİK MAKİNALARI LABORATUARI II

Öğretim Üyesi : Prof. Dr. Güngör BAL

Deneyin Adı : Senkron Makina Deneyleri

Öğrencinin

Adı Soyadı :

Numarası :

Tarih:

ÜÇ-FAZ SENKRON GENERATÖR DENEYLERİ

Giriş

Bir senkron generatör (alternatör olarak da adlandırılır) genellikle üç-faz sargıları ile sarılır. Üç-faz sargıları statorun iç yüzeyindeki oluklara yerleştirilir. Herhangi iki faza ait sargılar arasındaki konumsal (uzay) yerleştirme açısı 120 elektrik derecesidir. Rotor üzerine sarılan sargı alan sargısıdır ve sabit frekansta bir gerilim üretimini sağlamak için rotor sabit bir hızda döner (bu hız senkron hız olarak adlandırılır).

Bir doğru akım makinasında da manyetik akı stator üzerindeki kutupların etrafına sarılı alan (uyartım) sargısı tarafından sağlanır. Endüvi içinde yer alan sargılarda ise gerilim endüklenir. Bu benzerliklerden dolayı bir senkron makina bir doğru akım makinası ile kıyaslandığında yapısal farklılığın “iç-dış” yer değişikliğinden kaynaklandığı görülür. Faz sargıları stator içerisine yerleştirildiğinden senkron makinanın statoru endüvi olarak adlandırılır.

Alan-sargısı akımını kontrol etmek için genellikle harici bir ayarlı direnç alan sargısı devresine seri olarak bağlanır. Alan sargısı akımı kontrol edilerek esasında alan sargısına uygulanan mmk kontrol edilir ve böylece mmk’i üreten akı da kontrol edilir. Rotor tarafından üretilen sabit (DA) manyetik akı statordaki faz sargılarını keser ve statordaki üç faz sargılarının her birisinde bir emk oluşturulur. Endüklenen emk’in frekansının 50Hz olabilmesi için kutup sayısına bağlı olarak rotorun sabit bir hızda döndürülmesi gerekir. 2-kutuplu makina için hız 3000d/d, 4-kutuplu makina için hız 1500d/d olmalıdır. Senkron makinayı döndürmek için uygun güç ve hızda bir DA motoru veya bir asenkron motor kullanılabilir.

Endüvi (stator) sargılarının her bir fazının kendi iç direnci vardır ve faz direnci R_a ile gösterilir. Generatör yüke akım sağladığında sargı direncinde düşen gerilim çıkış geriliminin düşmesine de neden olur

Her bir faz sargısından geçen akım aynı zamanda kendi manyetik akısını da üretir. Bu akının bir kısmı sadece kendisini üreten sargıyı keser ve kaçak akı olarak adlandırılır. Kaçak akının etkisi bir-faz eşdeğer devrede kaçak reaktans olarak temsil edilir ve (sargı direnci R_a ile seri olarak) X_a

ile gösterilir. Faz sargılarından geçen akımlar tarafından üretilen manyetik akının büyük bir kısmı ise alan sargısı tarafından üretilen sabit manyetik akı ile etkileşir ve endüvi reaksiyonu olarak adlandırılan olayın oluşmasına neden olur. Endüvi reaksiyonu da çıkış gerilimini etkiler. Endüvi reaksiyonunun çıkış gerilimi üzerindeki etkisini dikkate almak için sargı direnci R_a ile sargı kaçak reaktansı X_a 'ya seri olarak bir X_m mıknatıslama reaktansı ilave edilir. Kaçak ve mıknatıslama reaktansları sadece endüvi sargısından akım geçtiğinde oluştuğundan dolayı bu reaktanslar birleştirilerek senkron reaktans olarak adlandırılan bir reaktans ile temsil edilirler ve devrede X_s ile gösterilirler.

Bu deneyin ilk kısmı faz- sargısının direnci ve kaçak reaktansının bulunması üzerine olacaktır. Bunun için izleyen deneyler gerçekleştirilecektir.

Çizelge: Kullanılan senkron makinanın etiket verileri:

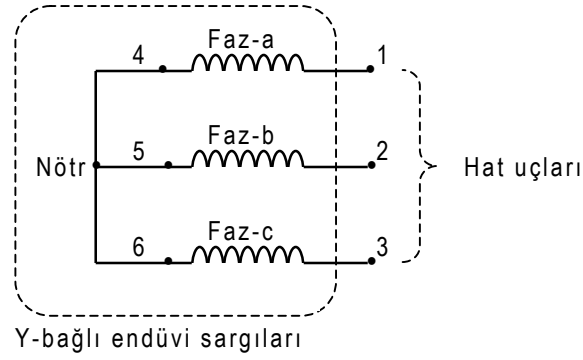
Kutup sayısı	4
Tam yük gücü	15 kVA
Anma stator gerilimi	380V
Anma güç faktörü	0.8
Frekans	50 Hz
Anma hızı	1500d/d
Stator sargı bağlantısı	Yıldız

1. Endüvi direnci deneyi

- Ortak bir terminal (nötr) oluşturmak için senkron generatörün faz sargılarının uçlarını (4, 5 ve 6) Şekil-1'de gösterildiği gibi bağlayınız. Üç-fazlı Y-bağlı senkron generatörün kalan üç ucu (1, 2 ve 3) hat uçlarıdır (terminalleridir).
- Hat terminal çiftleri arasındaki direnci ölçünüz ve Çizelge-1'e kaydediniz. Bu üç ölçmenin ortalaması alınarak faz direnci R_a belirlenecektir.

Çizelge-1: Sargı-direnç verileri (Y-bağlantıya göre)

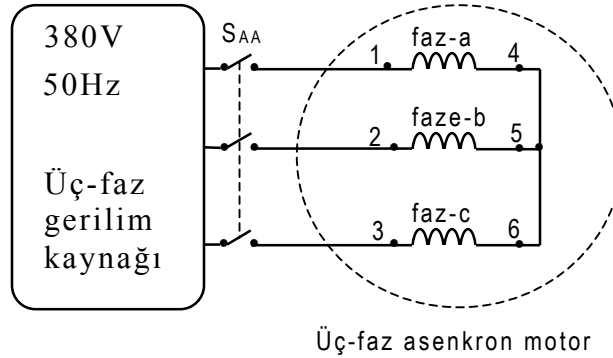
R_{12}	R_{23}	R_{31}	R_{ort}	$R_a = 0.5 R_{ort}$



Şekil-1: Y-bağlı bir senkron generatörün üç-faz sargıları

2. Açık-devre deneyi

- Üç-faz asenkron motorun bağlantı uçlarını Y-bağlantıya göre hazırlayınız. 4, 5 ve 6 nolu uçları birleştirerek nötr noktası oluşturunuz.
- DA güç kaynağı anahtarının S_f açık (enerjisiz) ve ayar düğmesinin sıfır konumunda olduğundan emin olunuz.
- Ana güç kaynağı anahtarı SAA açık (enerjisiz) iken Y-bağlı motorun 1, 2 ve 3 nolu uçlarını 380V, 50Hz güç kaynağına Şekil-2'deki gibi bağlayınız. Y-bağlı motorun nötr noktasının kaynağın nötr noktasına bağlanmasına gerek yoktur.

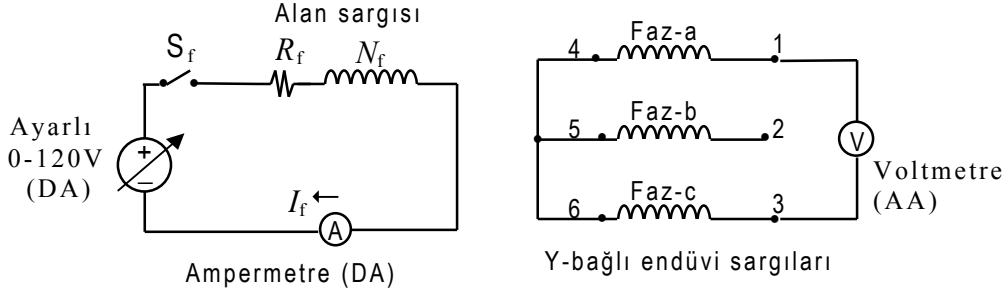


Şekil-2: Y-bağlı üç-fazlı asenkron motorun üç-fazlı kaynağa bağlantı şeması

- Üç-faz asenkron motor ile üç-faz senkron generatörün millerini akuple (birbirine mekanik olarak bağlayınız) ediniz. Asenkron motor artık senkron generatörü sürmek (tahrik etmek) için hazırdır.
- Üç-faz senkron makine senkron generatör olarak kullanıldığında etiket değerlerini Çizelge-2'de yerlerine kaydediniz.
- Senkron generatörün alan-sargısı devresinin anahtarının S_f açık olduğundan emin olunuz.

Çizelge-2: Etiket verileri (senkron generatör için)

Anma gerilimi	Anma akımı	Anma gücü	Anma hızı



Şekil-3: Açık-devre deneyi için bağlantı şeması

- Alan sargısını Şekil-3'de gösterildiği gibi 0-120V ayarlı DA kaynağına bağlayınız. Açık-devre hat gerilimini ölçmek için bir AA voltmetresini Y-bağlı endüvi sargılarının ikisinin ucuna bağlayınız.
- Alan sargısı akımı sıfır olduğunda bile kalıcı akılardan dolayı endüvi sargıları uçlarında gerilim endüklenebilir. Bu gerilimi ilk okuma olarak Çizelge-3'e kaydediniz.
- Ayarlı DA kaynağından alan sargısını uyarmak için alan sargısı anahtarını S_f kapatınız. Alan akımını yavaş yavaş artırınız ve alan akımı ile karşılık gelen hat gerilimin kaydediniz. Mümkünse, hat gerilimi anma değerinin %150'sine ulaşınca kadar okumaya devam ediniz.
- Faz başına endüklenen emk'i hesaplayınız. Bu gerilim, generatörün yüksüz durumdaki faz gerilimidir. Yüksüz durum faz gerilimini alan akımının bir fonksiyonu olarak çiziniz (Grafik-1). Elde edilen eğri üç-faz senkron makinanın mıknatıslama (veya açık-devre doyumu) karakteristiği olarak adlandırılır.

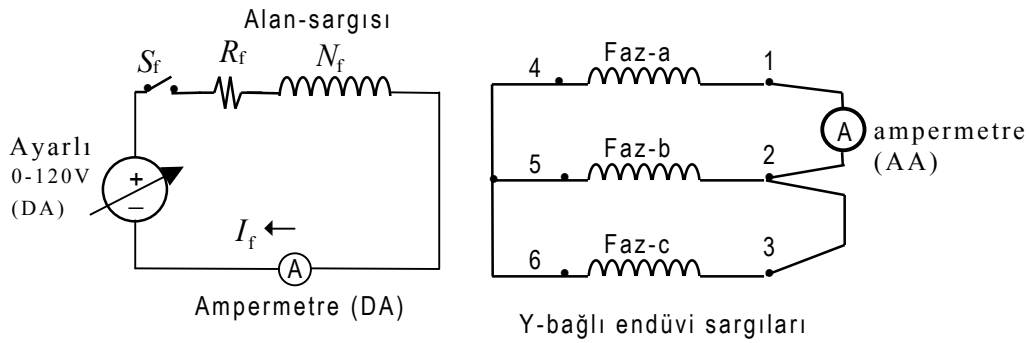
Çizelge-3: Açık-devre verileri (senkron generatör için)

Ölçülen alan-akımı, A									
Ölçülen hat gerilimi, V									
Hesaplanan faz gerilimi, V									

Grafik-1: Mıknatıslama eğrisi (çiziniz)

3. Kısa-devre deneyi

- Bu deney büyük bir dikkatle gerçekleştirilmelidir. Ayarlanabilir DA alan sargısı gerilimini sıfıra ayarlayarak alan sargısı akımını sıfır yapınız.
- Endüvi sargısı uçlarını Şekil-4’de gösterildiği gibi kısa devre yapınız. Hat akımının birini ölçmek için bir AA ampermetresini devreye bağlayınız.



Şekil-4: Kısa-devre deneyi için bağlantı şeması

- Üç-faz asenkron motor hala döner durumdadır.
- Simdi alan sargısı akımını küçük kademeler halinde artırınız ve her bir alan sargısı akımı için endüvi sargısı kısa devre akımını Çizelge-4’de kaydediniz. Endüvi sargı akımının anma değerini aşacak birkaç ölçme daha alabilirsiniz. Ancak Çizelge-1’de verilen anma

değerini en fazla %150'ye kadar geçebilirsiniz. Bu okumaları kısa sürede yapmaya dikkat ediniz.

- Alan sargısı akımının bir fonksiyonu olarak faz akımını çiziniz (Grafik-2). Y-bağlı makinada faz akımı ile hat akımının aynı olduğuna dikkat ediniz. Alan sargısı akımı X-ekseninde olmalıdır. Bu eğri senkron makinanın kısa-devre karakteristiği olarak adlandırılır.

Çizelge-4: Kısa-devre verileri (senkron generatör için)

Ölçülen alan akımı, A										
Ölçülen kısa-devre akımı, A										

Grafik-2: Kısa-devre karakteristiği (çiziniz)

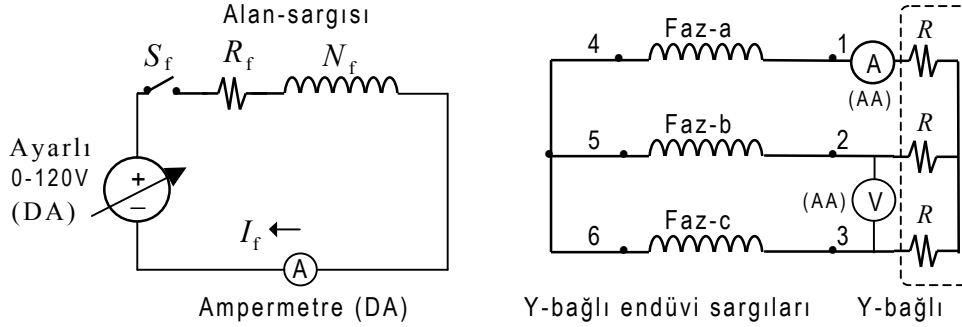
4. Gerilim regülasyonu deneyi

- Senkron generatör üç-fazlı bir yükü beslediğinde, çıkış gerilimi yüksüz gerilimden yüksek veya düşük olabilir. Fazör diyagramları çizilirse, güç-katsayısı geri veya birim değerinde olduğunda (herhangi bir yükte) çıkış geriliminin yüksüz çıkış geriliminden daha düşük olduğu doğrulanabilir. Sadece ileri güç-katsayısında, çıkış gerilimi yüksüz çıkış geriliminden daha yüksek olabilir.
- Generatör uçlarına yük bağlamadan önce, alan akımını sıfıra ayarlayınız. Şekil-5'deki gibi Y-bağlı yükü oluşturmak için üç adet ayarlı direnci (R) kullanınız.

Çizelge-5: Gerilim regülasyonu için veriler

Tam yük gerilimi,V	Yüksüz gerilim,V	Yüzde gerilim regülasyonu

- Alan akımı ve dengeli üç-faz yükünü (direncini) ayarlayarak generatörün anma çıkış geriliminde anma akımını çekmesini sağlayınız. Tam-yük akımını Çizelge-5'e kaydediniz.
- Yüksüz gerilimi ölçmek için şimdi yükü devreden çıkarınız. Yüksüz çıkış gerilimini Çizelge-5'e kaydediniz. Bu verilerden yüzde gerilim regülasyonunu hesaplayınız.



Şekil-5: Yük ve gerilim regülasyonu deneyi için devre şeması

5. Yük deneyi

- Yük akımını yüksüz değerinden anma (tam-yük) değerine kadar küçük kademelerle artırırsınız. Her bir kademe için ölçmeleri Çizelge-6'ya kaydediniz. Her bir okumayı almadan önce yükün dengeli (her bir fazın yük dirençlerinin aynı) olduğundan emin olunuz.

Çizelge-6: Yüklü deney verileri (senkron generatör için)

Ölçülen endüvi akımı, A(rms)								
Ölçülen hat gerilimi, V(rms)								
Hesaplanan faz gerilimi, V(rms)								

- Bir faz için yük gerilimini hesaplayarak Çizelge-6'ya kaydediniz ve yük akımının bir fonksiyonu olarak (yük akımı X-ekseninde olacak şekilde) çiziniz (Grafik-3). Yük akımı ile bir-faz çıkış gerilimi düşümü doğrusal mıdır? Açıklayınız.

Grafik-3: Yük eğrisi (çiziniz)

6. Faz empedansı

- Açık-devre ve kısa-devre deneyleri verilerinden senkron generatörün bir-faz senkron empedansını Z_s bulunuz. Verilen bir uyartım akımı için bir-faz empedansının genliği basit olarak yüksüz faz geriliminin E_a kısa-devre faz akımına I_{sc} oranıdır.
- Bir-faz endüvi direncinin R_a değeri bilindiği için generatörün faz başına senkron reaktansı bulunabilir.

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_a^2}$$

- Açık-devre ve kısa-devre deneyleri verilerini kullanarak alan sargısı akımının bir fonksiyonu olarak X_s eğrisini çiziniz. Alan akımı x-ekseninde olacaktır.
- Yüksüz durumdan tam-yüklü duruma senkron reaktanstaki maksimum değişim nedir? Herhangi bir değişiklik varsa, sebebi nedir? Bir değişiklik olmalı mıdır? Cevabınızı savununuz (doğrulayınız).

Grafik-4: X_s eğrisi (çiziniz)

7. Generatörlerin paralel bağlanması

Paralel bağlama şartları:

Bir generatörü şebekeye veya başka bir generatöre paralel bağlamadan önce, generatör senkronize edilmelidir. Bir generatörün senkronize olduğunu söyleyebilmek için izleyen bütün şartların yerine getirilmesi gereklidir. Paralel bağlanacağı şebeke veya diğer generatör gerilimi ile generatörün hat gerilimleri aynı;

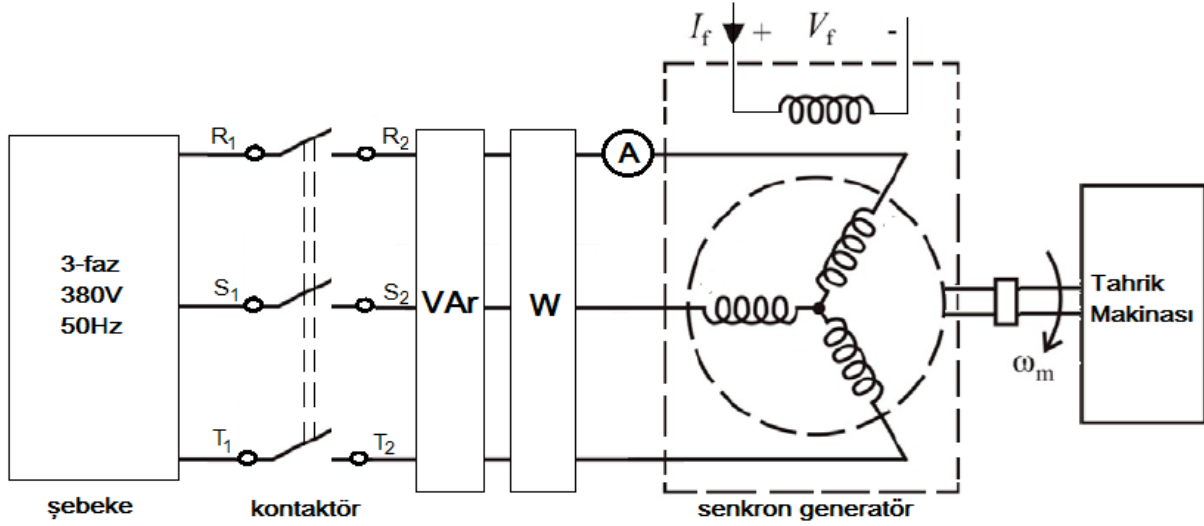
- genlikte,
 - frekansta,
 - faz sırasında,
 - faz açısında
- olmalıdır.

(a) Senkron generatörün şebekeye paralel bağlanması

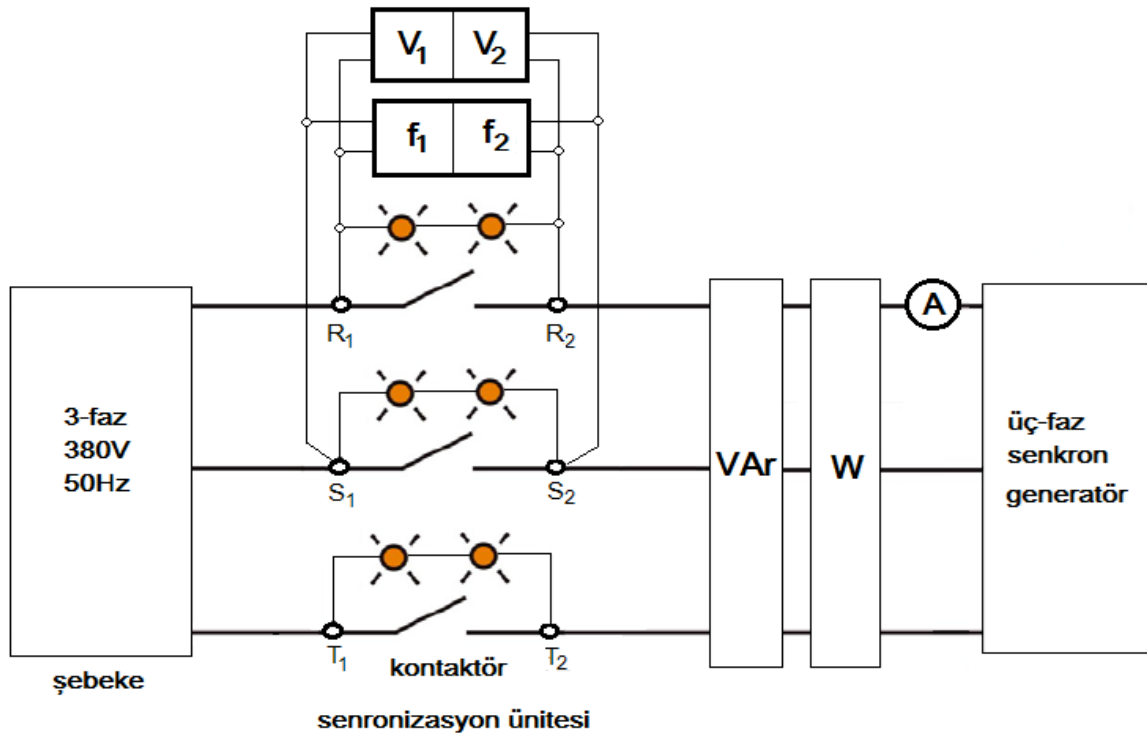
Senkron generatörler şebekeye enerji beslemek amacıyla paralel bağlanırlar.

Deneyin yapılışı:

Senkron generatörün şebekeye paralel bağlanması için Şekil-6'daki güç devresi bağlantısını gerçekleştiriniz.



Şekil-6. Senkron generatörün şebekeye paralel bağlantısını gösteren basit güç devresi



Şekil-7. Senkron generatörün şebeke ile senkronizasyonu için kontrol ve izleme devresi

Senkronizasyon şartlarını sağlamak ve izlemek için Şekil-7'ye göre kontrol devresi bağlantısını yapınız.

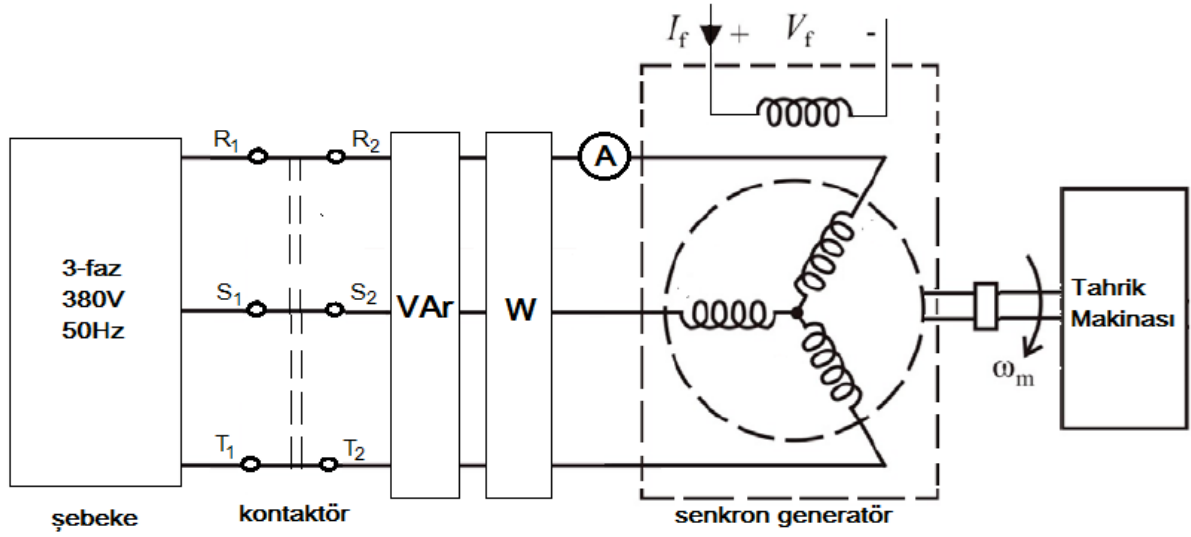
- Şebeke gerilimini R_1 - S_1 arasında bir voltmetre ile ölçünüz.

- Şebeke frekansını R_1-S_1 arasında bir frekansmetre ile ölçünüz.
- Generatörü tahrik makinası ile döndürünüz
- **Gerilim ayarı-2:** R_2-S_2 arasındaki gerilimi ölçünüz ve uyarım akımını ayarlayarak şebeke gerilimi ile aynı yapınız
- **Frekans ayarı-2:** R_2-S_2 arasındaki frekansı ölçünüz ve devir sayısını ayarlayarak şebeke frekansı ile aynı yapınız
- Generatör gerilimi genliğini tekrar kontrol ediniz, şebeke gerilim değerinden farklı ise uyarım akımı ile gerilimleri eşitleyiniz.
- **Faz sırası kontrolü:** Bunun için burada iki yöntem kullanılacaktır.
 - (i) Senkronizasyon lambaları paralel bağlanacak hatlar arasına bağlanırlar. Senkronizasyon lambalarının çalışma gerilimi paralel bağlantının gerçekleştirileceği gerilimin iki katına dayanacak şekilde seçilmesi veya ona göre birden fazla lamba seri bağlanarak bu şartın sağlanması gerekir. Lambaların yanması ve sönmesi hep birlikte gerçekleşiyor ise paralel bağlantı için faz sıraları doğrudur. Lambaların yanması ve sönmesi hep birlikte gerçekleşmiyor ise paralel bağlantı için faz sıraları yanlıştır ve generatör çıkış uçlarından ikisini yer değiştiriniz. Böylece dönüş yönleri aynı olacaktır.
 - (ii) Faz sırası göstericiyi (senkronoskop) önce $R_1-S_1-T_1$ uçlarına bağlayınız ve dönüş yönünü kontrol ediniz. Sonra senkronoskobu $R_2-S_2-T_2$ uçlarına bağlayınız ve dönüş yönünü kontrol ediniz. Her iki bağlantıda da dönüş yönleri aynı olmalıdır. Farklı ise generatör çıkış uçlarından ikisini yer değiştiriniz. Böylece dönüş yönleri aynı olacaktır.
- Bütün senkronizasyon şartları sağlandıktan sonra senkronizasyon lambaları söndüğü anda paralel bağlama kontaktörünü kapatarak generatörün şebekeye paralel bağlama işlemini gerçekleştiriniz.

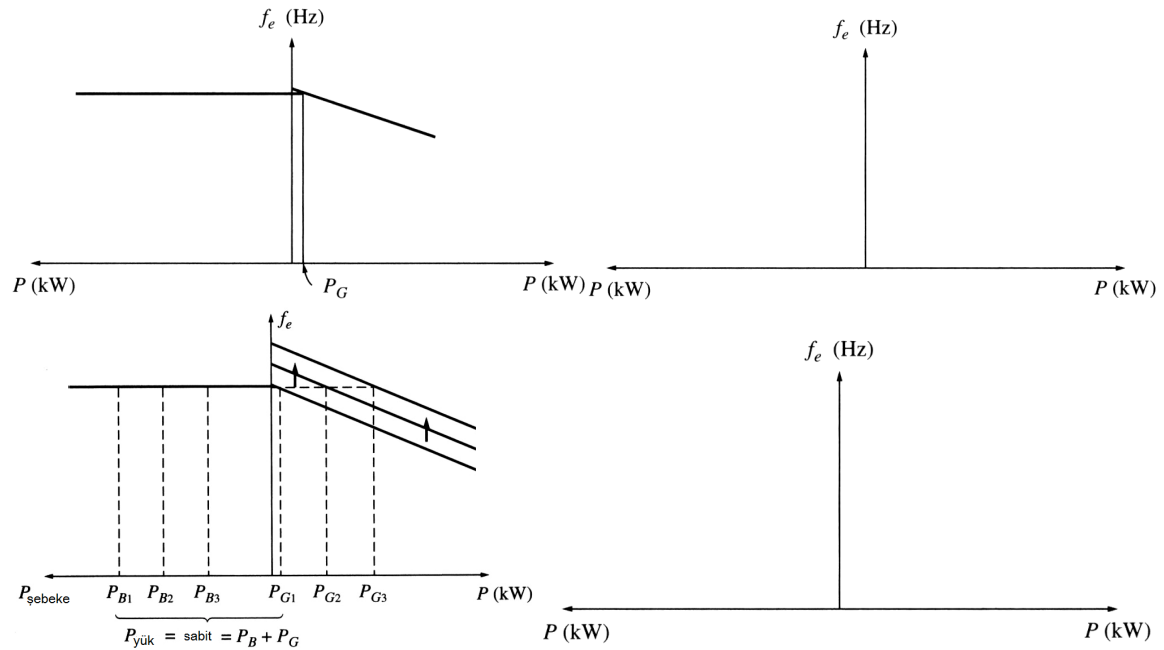
Aktif güç yüklemesi: Generatörün hızını kademeli olarak artırınız. Aktif gücün generatörden şebekeye doğru olduğunu aktif güç metresinden (W) izleyiniz.

Reaktif güç yüklemesi: Generatörün uyarım akımını kademeli olarak artırınız. Reaktif gücün değişimini reaktif güç metresinden (VAr) izleyiniz.

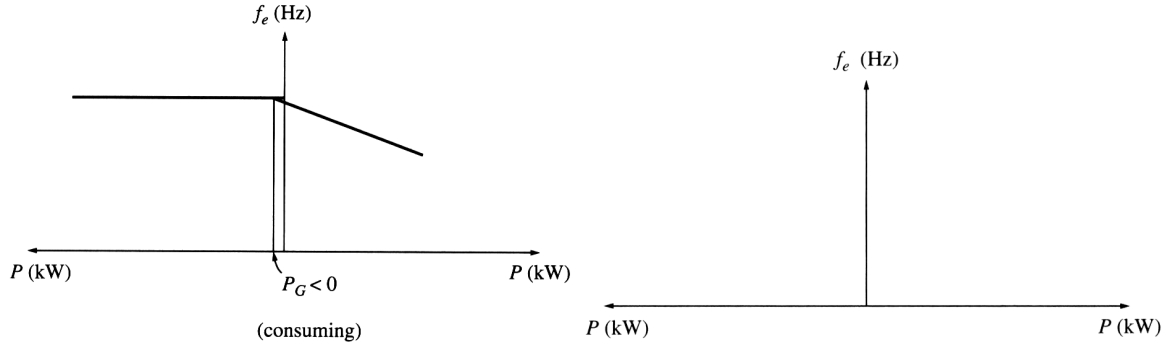
Senkronizasyon kontaktörünü açınız (devreden çıkarınız). Generatör frekansını şebeke frekansından biraz yüksek yapınız (örneğin 51Hz). Sonra senkronizasyon şartlarını yerine getirdikten sonra paralel bağlama kontaktörünü kapatınız.



Çizelge 'de gösterilen büyüklüklerin değerlerini okuyarak çizelgeye kaydediniz. Şekil 'de örnek olarak gösterildiği biçimde yüksüz ve yüklü frekans veya hız değerlerini dikey eksende göstererek frekans-aktif güç eğrisini çiziniz.

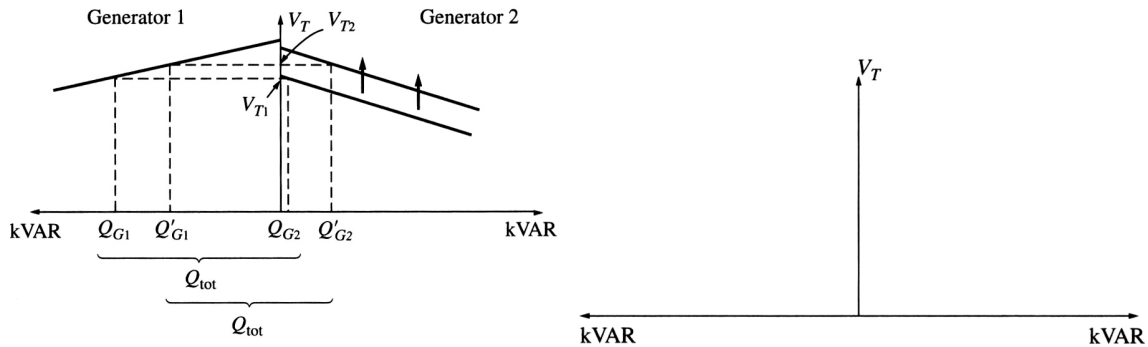


Şekil-7. Senkron generatörün frekans-aktif güç eğrisi, generatör boş çalışma frekansı şebeke frekansından biraz yüksek.



Şekil-7. Senkron generatörün frekans-aktif güç eğrisi, generatör boş çalışma frekansı şebeke frekansından biraz düşük

Senkronizasyon kontaktörünü açınız (devreden çıkarınız). Generatör frekansını şebeke frekansına eşitleyiniz. Sonra senkronizasyon şartlarını yerine getirdikten sonra paralel bağlama kontaktörünü kapatınız. Generatör uyarım akımını değiştirerek reaktif gücün değişimini izleyiniz. Çizelge 'de gösterilen büyüklüklerin değerlerini okuyarak çizelgeye kaydediniz. Şekil 'de örnek olarak gösterildiği biçimde generatör uyarım akımını dikey ekseninde göstererek uyarım akımı-reaktif güç eğrisini çiziniz.



Şekil-7. Senkron generatörün uyarım akımı-reaktif güç eğrisi.

(b) Senkron generatörlerin paralel bağlanması

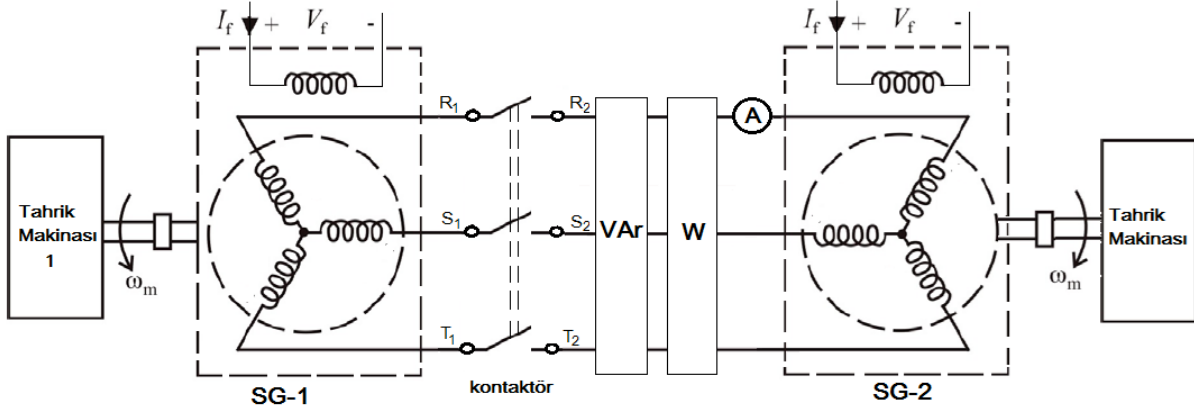
Generatörleri paralel çalıştırmanın önemli faydaları vardır:

- Çok sayıdaki generatör bir generatörden daha fazla yükü besleyebilirler.
- Çok sayıda generatöre sahip bir güç sisteminin güvenilirliği daha da artırılmış olur.

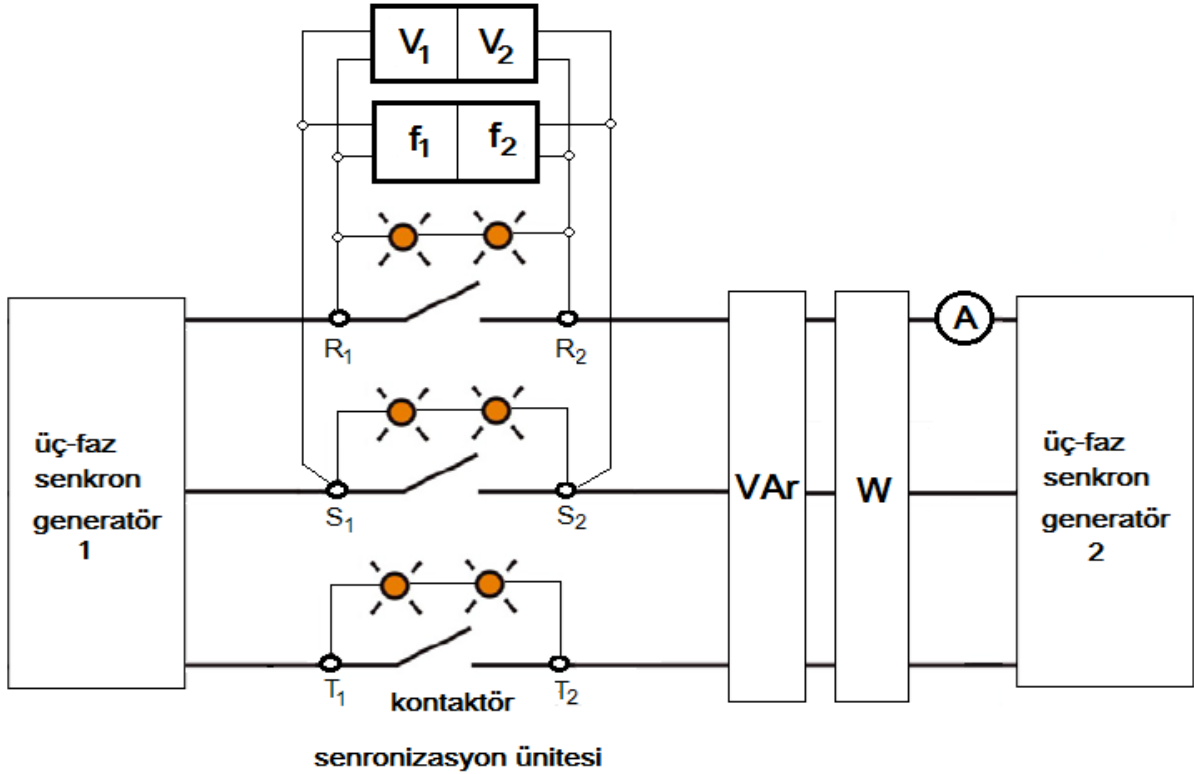
- Bir veya daha fazla generatörün devreden çıkarılmasına veya bakıma alınmasına fırsat verir.

Deneyin yapılışı:

Senkron generatörleri birbirine paralel bağlamak için Şekil-8'deki güç devresi bağlantısını gerçekleştiriniz.



Şekil-8. Senkron generatörlerin paralel bağlantısını gösteren basit güç devresi



Şekil-9. Senkron generatörlerin senkronizasyonu için kontrol ve izleme devresi

Senkronizasyon şartlarını sağlamak ve izlemek için Şekil-9'a göre kontrol devresi bağlantısını yapınız.

- Birinci generatörü tahrik makinası-1 ile döndürünüz
- **Gerilim ayarı-1:** İstenen gerilimi üretecek kadar uyartım akımını ayarlayınız.
- **Frekans ayarı-1:** İstenen frekansı üretecek kadar devir sayısını ayarlayınız.
- Gerilim genliğini tekrar kontrol ediniz, istenen değerden farklı ise uyartım akımı ile ayarlayınız.
- İkinci generatörü tahrik makinası-2 ile döndürünüz.
- **Gerilim ayarı-2:** Uyartım akımını ayarlayarak gerilimi birinci generatör ile aynı yapınız.
- **Frekans ayarı-2:** Devir sayısını ayarlayarak frekansı birinci generatör ile aynı yapınız.
- Gerilim genliğini tekrar kontrol ediniz, birinci generatörün gerilim değerinden farklı ise uyartım akımı ile gerilimlerin eşit olmasını sağlayınız.
- **Faz sırası kontrolü:** Bunun için burada iki yöntem kullanılacaktır.
 - (i) Senkronizasyon lambaları paralel bağlanacak hatlar arasına bağlanırlar. Senkronizasyon lambalarının çalışma gerilimi paralel bağlantının gerçekleştirileceği gerilimin iki katına dayanacak şekilde seçilmesi veya ona göre birden fazla lamba seri bağlanarak bu şartın sağlanması gerekir. Lambaların yanması ve sönmesi aynı anda hep birlikte gerçekleşiyor ise paralel bağlantı için faz sıraları doğrudur. Lambaların yanması ve sönmesi hep birlikte gerçekleşmiyor ise paralel bağlantı için faz sıraları yanlıştır ve generatörlerden birisinin çıkış uçlarından ikisini yer değiştiriniz. Böylece dönüş yönleri aynı olacaktır.
 - (ii) Faz sırası göstericiyi (senkronoskop) önce $R_1-S_1-T_1$ uçlarına bağlayınız ve dönüş yönünü kontrol ediniz. Sonra senkronoskobu $R_2-S_2-T_2$ uçlarına bağlayınız ve dönüş yönünü kontrol ediniz. Her iki bağlantıda da dönüş yönleri aynı olmalıdır. Farklı ise generatörlerden birisinin çıkış uçlarından ikisini yer değiştiriniz. Böylece dönüş yönleri aynı olacaktır.
- Bütün senkronizasyon şartları sağlandıktan sonra senkronizasyon lambaları söndüğü anda paralel bağlama kontaktörünü kapatarak generatörün şebekeye paralel bağlama işlemini gerçekleştiriniz.

Başarılı bir paralel bağlantı gerçekleştirildiğinde şebeke ve alternatörün gerilim ve frekanslarının aynı olduğuna, (varsa, sıfır voltmetresinin sıfırı gösterdiğine) dikkat ediniz.

DEĞERLENDİRME