

## SENKRON MAKİNELER

Senkron makineler, sabit bir hızda çalışan ve senkron hız olarak adlandırılan belirli bir devir sayısında dönen elektrik makineleridir. Alternatif akım (AC) sistemlerinde hem jeneratör (alternatör) hem de motor olarak kullanılabilirler. Günümüzde büyük ölçekli elektrik üretiminde, özellikle hidroelektrik, termik ve nükleer santrallerde senkron jeneratörler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, reaktif güç kontrolü ve güç faktörü düzeltme amaçlı senkron kompensatörler olarak da görev yapabilirler.

Senkron makinelerin temel özelliği, rotor hızının şebeke frekansına bağlı olmasıdır. Yani, senkron hız aşağıdaki formülle belirlenir:

$$N_s = \frac{120 \times f}{P}$$

Burada:

- $N_s$  : Senkron hız (devir/dakika, rpm)
- $f$  : Şebeke frekansı (Hz)
- $P$  : Kutup çifti sayısı

### 1. Senkron Makinenin Yapısı

Bir senkron makine temel olarak iki ana bileşenden oluşur:

#### I. Stator:

- Üç fazlı sargılardan oluşur ve sabit bir manyetik alan oluşturur.
- AC gerilim uygulanarak döner bir manyetik alan oluşturur.
- Endüstride genellikle lamine edilmiş demir çekirdek üzerine sarılmış bakır iletkenlerden yapılır.

#### II. Rotor:

- Makinenin dönen kısmıdır.
- Çeşitli yapıları bulunur, en yaygın olanları kutup çıkıntılı (salient pole) ve silindirik rotorlu (non-salient pole) tipleridir.
- Genellikle DC kaynakla beslenerek manyetik alan oluşturulur.

Senkron makineler döner alan hızı ( $N_s$ ) ile dönen makineler olup kayma sıfırdır. Senkron makinenin rotoruna, endüktör veya uyarım devresi denir. Uyarım sargıları DC gerilim uygulanır. Stator ise endüvi adını taşır, bu sargılar AC devresini oluşturur. Bu nedenle senkron makinelerde hem DC hem de AC devresi bulunur. Senkron makinelerin devir sayısı yükte değişmez. Sabit devirli sayılırlar. Alternatör olarak kullanımda elektrik AC enerji elde edilir. Senkron motor olarak kullanımda mekanik enerji elde etmek ve şebekelerin güç katsayısı düzeltmek amacıyla kullanılır.



**Şekil 1.** Sargılı Rotorlu senkron Makine

## 2. Senkron Makinelerde Uyarım

Senkron makineler, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren motorlar veya mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren generatörler olarak çalışabilir. Bu makinelerin doğru şekilde çalışabilmesi için uyarım sargılarına uygulanan doğru akım ve bunun oluşturduğu manyetik alan gereklidir. Uyarım gücü genellikle makinenin %0,2 ile %5'i arasında olup, makinenin çalışma verimini ve üretilen gerilimi doğrudan etkiler. Senkron generatörler için birden fazla uyarım yöntemi vardır. Bunlar;

### I. Kendinden Uyarım:

- Senkron generatörler tarafından üretilen elektrik enerjisi, doğrultucu devre yardımıyla uyarım sargılarında kullanılabilir. Bu yöntem, kendinden uyarımlı DC generatör sistemine benzer şekilde çalışır.
- Ancak başlangıçta bir artık manyetik alanın olması gerekir. Eğer artık manyetik alan kaybolursa, generatör çalışmaya başlamaz.

### II. Uyarım Dinamosu (Özel Kendinden Uyarım):

- Generatörün miline kuplaj yapılmış küçük bir DC generatör ile uyarım sağlanır.
- Genellikle şönt DC generatör kullanılır.

### III. Yabancı Uyartım (Serbest Uyartım):

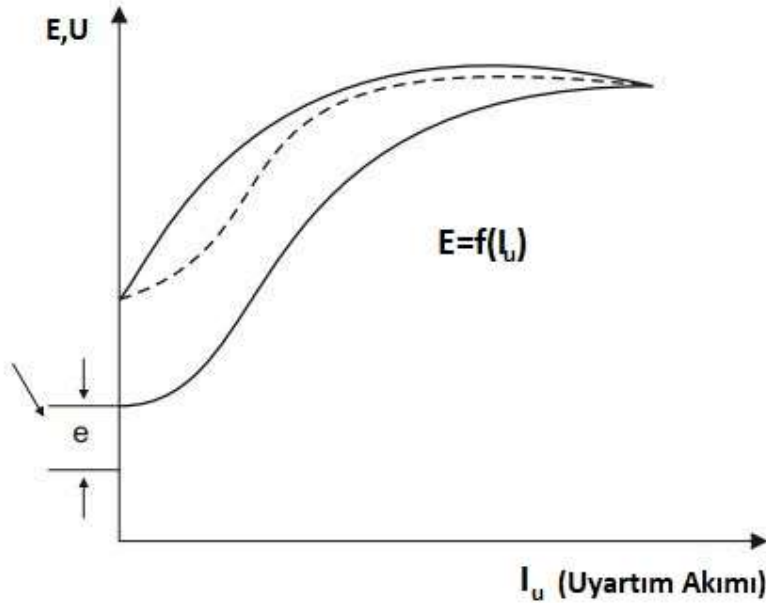
- Uyartım için gerekli DC enerji, tamamen harici bir kaynaktan sağlanır ve uyartım sargılarına uygulanır.
- Bu yöntem, sistemin kontrolünü kolaylaştırır ve genellikle büyük güç santrallerinde sabit ve güvenilir bir besleme gerektiğinde kullanılır.

### 3. Senkron Makinenin Generatör Olarak Çalışması

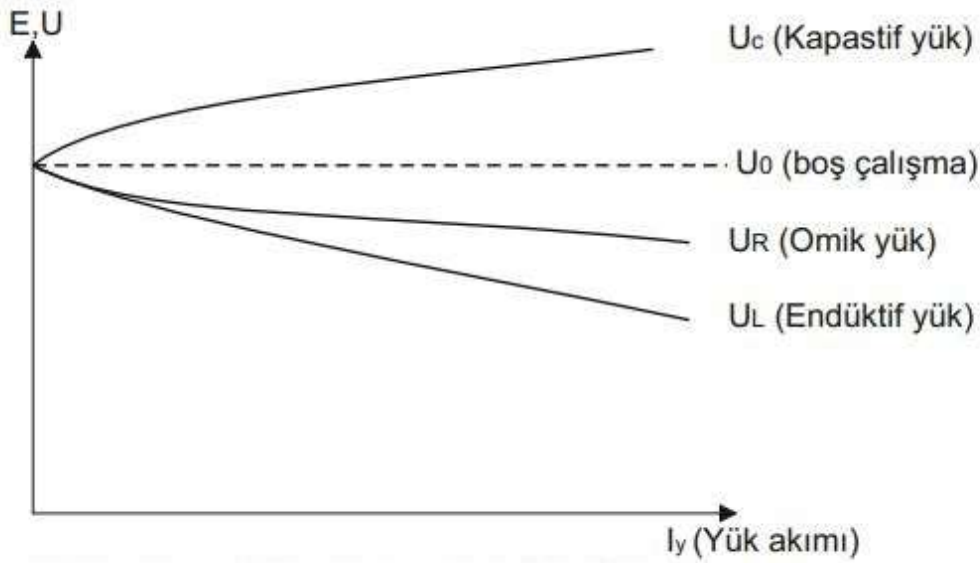
Senkron jeneratörlerde, rotor sargılarına uygulanan uyartım akımı sayesinde manyetik alan oluşur. Dönen manyetik alan, stator sargılarında sinüs dalga formunda bir gerilim indüklenmesini sağlar. Jeneratörün ürettiği gerilim, uyartım akımı ile doğrudan ilişkilidir; uyartım akımı artırıldığında jeneratörün çıkış gerilimi de artar. Ancak bu artış, kutup sargılarının doyuma ulaşmasına kadar devam eder. Jeneratörlerde gerilim üretimi sıfırdan başlamaz. Bunun nedeni, rotor demirinde kalan artık mıknatıslanma etkisidir. Bu artık mıknatıslanma, başlangıçta küçük bir gerilim üretilmesini sağlar. Jeneratörün çıkış gerilimi, bağlı olduğu yükün türüne göre değişiklik gösterir. Bu durum;

- Omik ve endüktif yükler bağlandığında, jeneratörün uç geriliminde düşüş meydana gelir.
- Kapasitif yüklerde ise, uç gerilim artabilir.

Jeneratörlerin beslediği şebeke veya yüke sabit gerilim sağlamak için gerilim regülatörleri kullanılır. Bu regülatörler, uyartım akımını otomatik olarak ayarlayarak gerilimdeki dalgalanmaları önler ve jeneratörün sabit bir gerilim seviyesinde çalışmasını sağlar.



Şekil 2. Senkron Generatörün Uyartım Akımına Göre Çıkış Gerilimi



**Şekil 3.** Farklı Yük Türlerinin Senkron Generatörün Çıkışına Etkisi

#### 4. Senkron Generatörlerin Şebekeye veya Birbirine Paralel Bağlanması

Elektrik işletim sistemlerinde çeşitli etkenlerden dolayı şebekeleri besleyen santrallerde birden fazla generatör bulunur. Bunun başlıca nedenleri şunlardır:

- Şebeke yükü zaman içinde değişiklik gösterdiğinden, talep edilen güce bağlı olarak generatörler paralel bağlanarak çalıştırılır.
- Santrallerde bulunan generatörlerin periyodik bakımları ve olası arızaları nedeniyle devre dışı kalması gerekebilir. Bu durumda sistemin enerjisiz kalmaması için alternatif generatörler devreye alınır.
- Şebekenin gelişmesi ve kurulu gücün artırılması gerektiğinde yeni generatörler ilave edilerek paralel bağlanabilir.

Bu nedenlerden dolayı generatörler, birbirleriyle veya doğrudan şebekeye paralel bağlanarak çalıştırılır. Ülkemizde elektrik şebekesi "enterkonnekte" sistemle birbirine bağlanmıştır, böylece santraller arasında enerji alışverişi yapılır ve herhangi bir santralin devre dışı kalması durumunda beslediği bölge enerjisiz kalmaz.

##### A. Generatörlerin Paralel Bağlanma Koşulları

Paralel bağlanacak generatörlerin aşağıdaki şartları sağlaması gerekmektedir:

- Gerilimleri eşit olmalıdır.
- Frekansları eşit olmalıdır.
- Faz sıraları aynı olmalıdır.

- Gerilimleri arasında faz farkı olmamalıdır.

Paralel bağlama işlemi, generatörlerin yukarıdaki şartları sağladığı "senkronizasyon" gerçekleştirilmelidir. Senkronizasyon, paralel bağlanacak generatörlerin gerilim eğrilerinin aynı anda aynı değerlere ulaştığı andır.

## B. Senkronizasyon Tespiti Yöntemleri

Senkronizm anını tespit etmek için farklı yöntemler uygulanmaktadır:

- Sıfır Voltmetresi Yöntemi: Voltmetre, her iki generatörün aynı adlı fazlarına bağlanır. Gerilimler arasında faz farkı yoksa voltmetre sıfır değerini gösterir ve bu an senkronizm anıdır. Bu anda ikinci generatör birinci generatöre veya şebekeye paralel bağlanır.
- Lamba Metodu: Senkronizm anı, farklı lamba bağlantı yöntemleriyle belirlenebilir:
  - *Sönen Işık (Karanlık Bağlama) Metodu:* Lambalar, her iki generatörün aynı adlı uçlarına bağlanır. Başlangıçta generatör gerilimleri arasında faz farkı olduğundan lambalar yanıp söner. Faz farkı sıfır olduğunda lambalar tamamen söner ve bu anda paralel bağlantı gerçekleştirilir.
  - *Yanan Işık (Aydınlık Bağlama) Metodu:* Lambalar, her iki generatörün farklı faz uçlarına bağlanır. Senkronizm anında lambalar en parlak şekilde yanar. Ancak bu yöntem üç fazlı sistemlerde net olarak ayırt edilemediği için yaygın olarak kullanılmaz.
  - *Dönen Işık (Karışık Bağlama) Metodu:* Bu yöntemde, bir fazın lambaları aynı adlı uçlara, diğer fazların lambaları ise farklı uçlara bağlanır. Senkronizm anında, aynı adlı fazlara bağlı lamba sönerken diğer fazlardaki lambalar eşit parlaklıkta yanar.
- Senkronoskop Kullanımı: Senkronoskop, paralel bağlama şartlarının sağlandığını tespit eden bir cihazdır. Günümüz teknolojisinde paralel bağlama işlemi, elektronik-elektrik devreleri aracılığıyla otomatik senkronizasyon sistemleriyle gerçekleştirilmektedir.

## C. Senkronizasyonun Kontrolü ve Dikkat Edilmesi Gerekenler

Paralel bağlama sırasında aşağıdaki kontrollerin yapılması gereklidir:

- *Eşit Gerilim:* Generatör gerilimleri eşit olmalı ve sıfır voltmetresi sıfırını göstermelidir. Eğer gerilimler eşit değilse, uyarım devresi ile gerilimler ayarlanarak senkronizasyon sağlanabilir.
- *Eşit Frekans:* Lambalar tamamen sönmüşse senkronizasyon sağlanmıştır. Lambalar ritmik olarak yanıp sönyorsa frekans farkı vardır ve paralel bağlanacak generatörün devir ayarı değiştirilerek senkronizasyon sağlanmalıdır.

- *Faz Sıralarının Aynı Olması:* Lambalar düzenli şekilde yanıp sönüyorsa senkronizasyon vardır. Eğer lambalar sırayla yanıyor, generatörün herhangi iki fazının yeri değiştirilerek faz sırası düzeltilmelidir.
- *Faz Farkının Sıfır Olması:* Lambalar tamamen sönükse senkronizasyon sağlanmıştır. Eğer lambalar yanıyor, paralel bağlanacak generatörün devir sayısı ayarlanarak senkronizasyon oluşturulmalıdır.

## 5. Senkron Makinenin Motor Olarak Kullanılması

Sabit devir sayısının gerektiği yerlerde senkron makineler motor olarak kullanılır. Senkron motor, yapısal olarak senkron alternatörden farklı değildir. Nasıl ki doğru akım generatörü doğru akım motoru olarak çalışabiliyorsa, senkron generatör de senkron motor olarak çalışabilir. Senkron motorlarda uyartım akımı ayarlanarak omik, endüktif ve kapasitif çalışma durumları elde edilebilir.

Senkron motorların yol alması için bazı düzenekler gereklidir ve uyartım için doğru akım kaynağına ihtiyaç duyulur. Ayrıca, asenkron motorlara göre daha pahalı olmaları nedeniyle kullanım alanları sınırlıdır. Ancak, sabit devir sayısının korunmasının istendiği uygulamalarda tercih edilir. Ayrıca, senkron motorlar fabrika ve iş yerlerinde güç katsayısını düzeltme amacıyla da kullanılır.

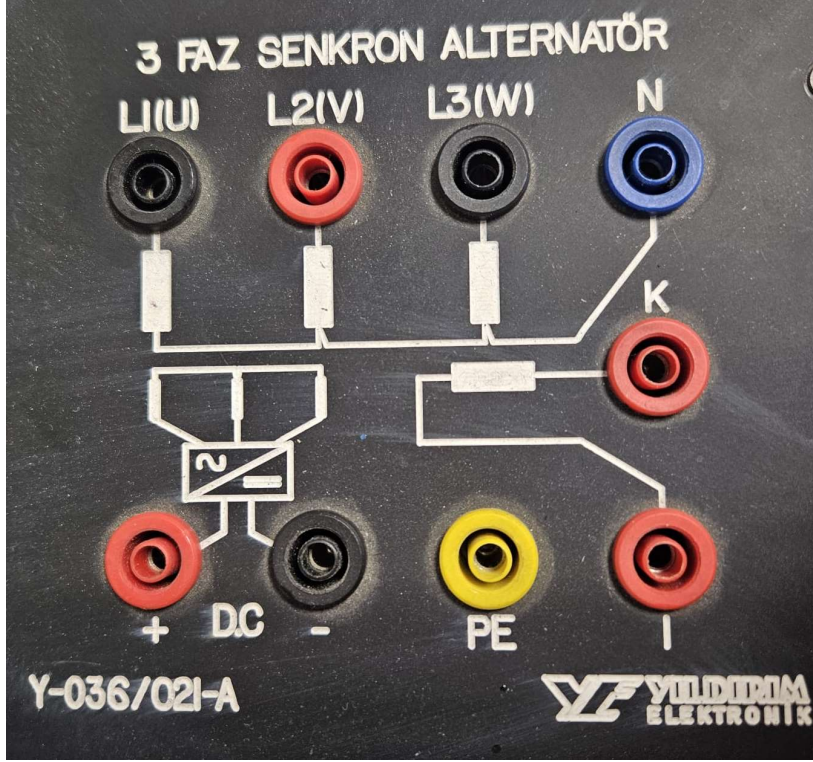
Senkron motorların çalışması için rotor kutupları ile stator dönen alan kutuplarının birbirini çekerek kilitlenmesi gerekir. Bunun sağlanabilmesi için rotorun devir sayısının senkron hıza veya ona yakın bir değere yükseltilmesi gereklidir. Böylece rotorun sabit kutupları, statorun döner alan kutuplarıyla kilitlenerek aynı hızda döner. Senkron motorların kendi kendine yol almasını sağlamak ve düzgün bir moment elde etmek amacıyla rotor kutuplarına sincap kafes çubukları yerleştirilir. Sincap kafes çubukları, generatör olarak çalışmada gerilim değişimlerini, motor olarak çalışmada ise moment değişimlerini önler.

## 6. Senkron Generatörün (Alternatör) Bağlantısı

Senkron makinelerde stator sargılarına alternatif akım (AC) uygulanır veya alınır. Stator sargıları şu şekilde adlandırılır:

1. Faz sargısı: **U-X**
2. Faz sargısı: **V-Y**
3. Faz sargısı: **W-Z**

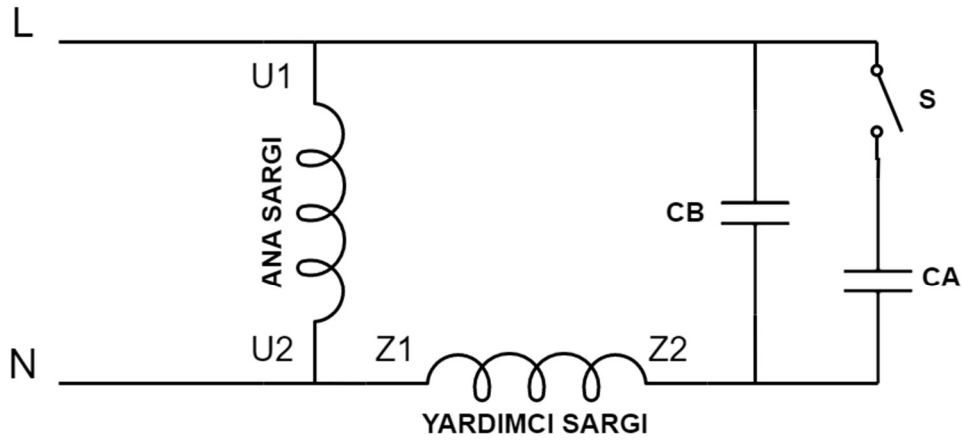
Rotor kısmında, uyartım sargılarına doğru akım (DC) uygulanır ve uçları **I-K** olarak adlandırılır.



Şekil 4. Senkron Makinenin Bağlantı Kutusu

**Not:** Laboratuvarda kullanılacak senkron makinenin bağlantı kutusunda x-y-z noktalarını göremeyeceksiniz. Çünkü bu noktalar bağlantı kutusu içerisinde yıldız bağlantı olacak şekilde birbirine bağlanmıştır. Bağlantı kutusu üzerinde U-V-W ve I-K bağlantı noktaları kullanılacaktır. Kendinden uyarım özelliği bulunan bir makinede doğrultulmuş DC gerilim uçları + ve – ifadeleri ile gösterilir.

#### Deneyde Mekanik Enerjinin Sağlandığı Asenkron Motorun (ASM) Bağlantı Şeması



CB: DAİMİ KONDANSATÖR      CA: KALKINMA KONDANSATÖRÜ

S: SANTRİFÜJ ANAHTAR

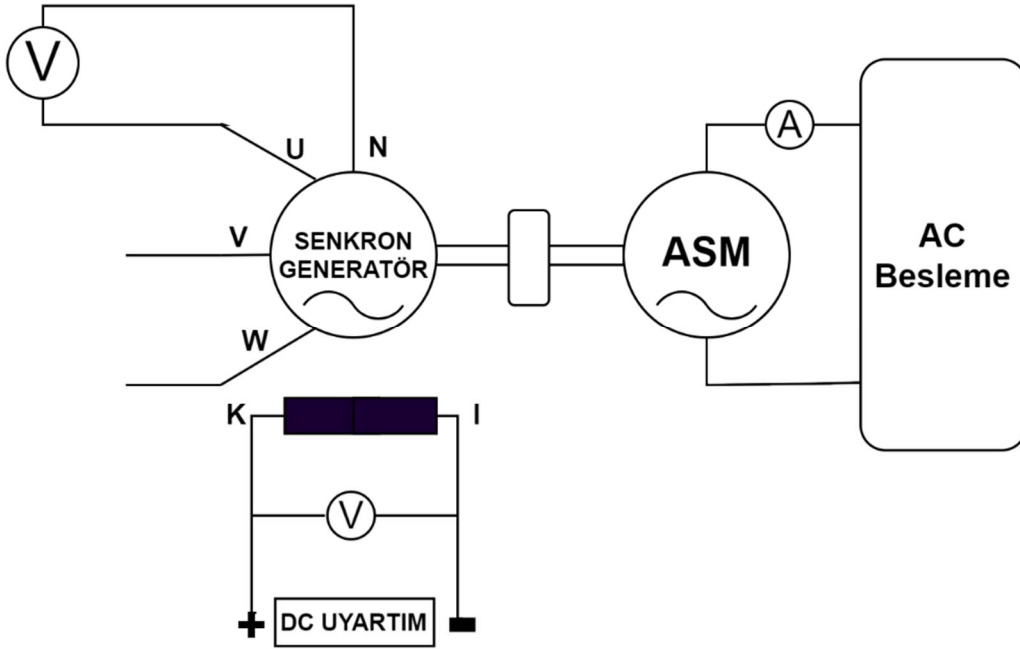
## DENEY 1

### DENEY ADI: Senkron Generatörün Boş Çalışma Karakteristiği

#### DENEYİN AMACI

Bu deneyin amacı, bir senkron generatörün boş çalışma koşullarını incelemek ve generatörün uyarım akımı ile üretilen gerilim arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Ayrıca, generatör devir sayısı ile çıkış gerilimi ve frekans arasındaki bağlantı gözlemlenecektir. Elde edilen veriler kullanılarak gerilim-frekans ve uyarım akımı-gerilim grafikleri çıkarılacaktır.

#### DENEYİN BAĞLANTI ŞEMASI



#### DENEYİN YAPILIŞI

1. Senkron generatör ve asenkron motorun gerekli bağlantıları yapılır.
2. Bağlantısı yapılan deney düzeneği ilgili öğretim elemanına kontrol ettirilir.
3. Asenkron motorun çektiği akım 4.5 A olacak şekilde beslenir.
4. DC güç kaynağı kullanılarak uyarım gerilimi 10 V'a kadar kademe kademe (+2V) arttırılır. Her kademede senkron generatörün çıkış gerilimi ölçülür ve Tablo 1 doldurulur.
5. Deneyi tamamladıktan sonra enerjiyi keserek deney düzeneğini kapatınız.
6. Sonuçlar değerlendirilerek senkron generatörün boş çalışma karakteristiği yorumlanır.

**Tablo 1.** Senkron Generatörün Boşta Çalışması

Uyartım Gerilimi (V)	Çıkış Gerilimi (V)	Hız (rpm)
0		
2		Sabit
4		Sabit
6		Sabit
8		Sabit
10		Sabit

### **SORULAR**

1. Senkron generatörün boş çalışma karakteristiğini belirlerken uyartım gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki ilişki nasıl değişir? Grafikte bu ilişkinin genel formu nasıldır?
2. Deney sırasında generatörün çıkış frekansının devir sayısı ile ilişkisini nasıl tanımlarsınız? Frekansın hesaplanması için kullanılan formülü yazınız.
3. Deneyde elde edilen boş çalışma eğrisinin eğimi ve doygunluk noktası hakkında ne yorum yapabilirsiniz?

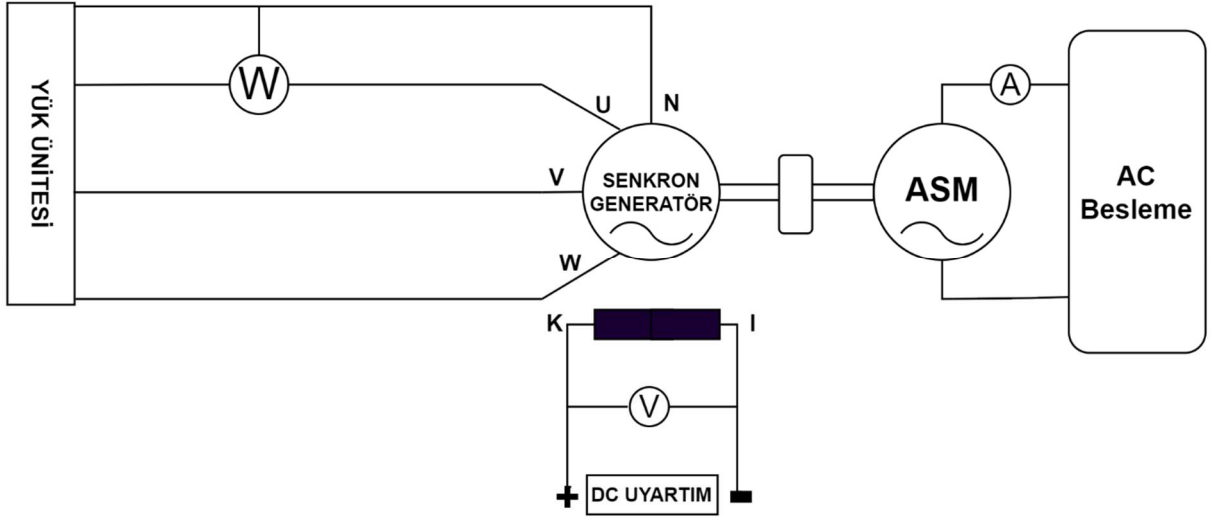
## DENEY 2

### DENEY ADI: Senkron Generatörün Yükte Çalışma Karakteristiği

#### DENEYİN AMACI

Senkron generatörün yükte çalışma karakteristiğini incelemek ve farklı yük tiplerine (omik, endüktif, kapasitif) bağlı olarak generatör çıkış gerilimindeki değişimleri gözlemlemek.

#### DENEYİN BAĞLANTI ŞEMASI



#### DENEYİN YAPILIŞI

1. Senkron generatör ve asenkron motorun gerekli bağlantıları yapılır.
2. Bağlantısı yapılan deney düzeneği ilgili öğretim elemanına kontrol ettirilir.
3. Asenkron motorun çektiği akım 4.5 A olacak şekilde beslenir.
4. DC güç kaynağı kullanılarak, uyartım gerilimi sabit 10 V olacak şekilde ayarlanır.
5. Senkron generatör çıkışına bağlanan yük ünitesi (omik) kademe kademe yüklenir.
6. Her bir kademede senkron generatör çıkışına bağlı enerji analizatörü yardımıyla gerilim, akım, güç ve güç faktörü; takometre yardımıyla hız değeri gözlemlenir ve Tablo 2'ye kaydedilir.
7. Sırasıyla endüktif ve kapasitif yük üniteleri için de 5. ve 6. aşama tekrarlanır.
8. Deneyi tamamladıktan sonra enerjiyi keserek deney düzeneğini kapatınız.
9. Sonuçlar değerlendirilerek senkron generatörün yüklü çalışma karakteristiği yorumlanır.

**Tablo 2.** Senkron Generatörün Yüklü Çalışması

<b>Omik Yükle Çalışma Durumu</b>						
<b>Uyartım Gerilimi (V)</b>	<b>Yük Kademesi</b>	<b>Gerilim (V)</b>	<b>Hız (rpm)</b>	<b>Akım (A)</b>	<b>Güç (W)</b>	<b>Güç Faktörü</b>
10	0					
Sabit	1					
Sabit	2					
Sabit	3					
Sabit	4					
Sabit	5					
<b>Endüktif Yükle Çalışma Durumu</b>						
<b>Uyartım Gerilimi (V)</b>	<b>Yük Kademesi</b>	<b>Gerilim (V)</b>	<b>Hız (rpm)</b>	<b>Akım (A)</b>	<b>Güç (W)</b>	<b>Güç Faktörü</b>
10	0					
Sabit	1					
Sabit	2					
Sabit	3					
Sabit	4					
Sabit	5					
<b>Kapasitif Yükle Çalışma Durumu</b>						
<b>Uyartım Gerilimi (V)</b>	<b>Yük Kademesi</b>	<b>Gerilim (V)</b>	<b>Hız (rpm)</b>	<b>Akım (A)</b>	<b>Güç (W)</b>	<b>Güç Faktörü</b>
10	0					
Sabit	1					
Sabit	2					
Sabit	3					
Sabit	4					
Sabit	5					

## **SORULAR**

1. Generatörün terminal gerilimi, omik, endüktif ve kapasitif yüklerde nasıl değişir? Bu değişimlerin sebeplerini açıklayın.
2. Uyartım akımının artırılması veya azaltılması, generatörün çıkış gerilimini nasıl etkiler? Bunun reaktif güce etkisini tartışın.
3. Yükte çalışan bir senkron generatörde gerilim regülasyonu kavramının önemi nedir ve gerilim regülasyonu nasıl hesaplanır?