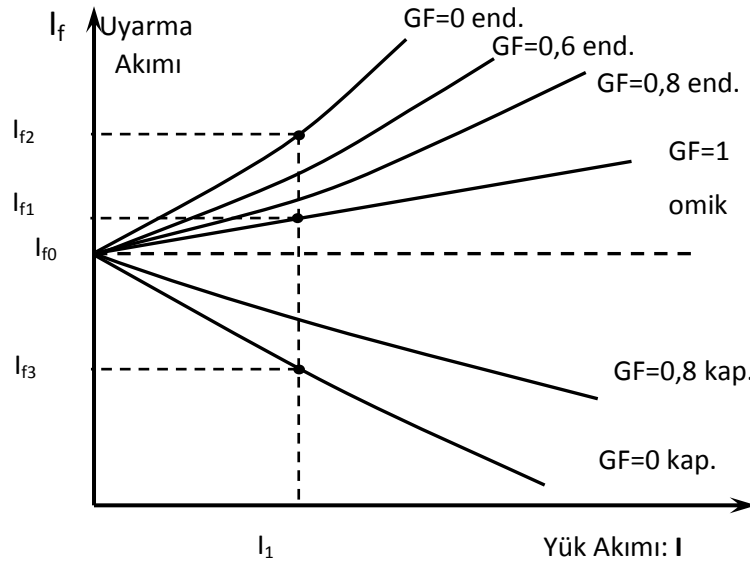


12.5. Senkron Jeneratörün Ayar Karakteristiği

Jeneratörlerde terminal gerilimi yükün değişimine bağlı olarak değişmektedir. Ancak tüketiciler tarafından devamlı değişen ve yükün karakteristiğine bağlı olan terminal gerilimi yerine yük ne olursa olsun değişmeyen sabit bir gerilim arzulanır.



Şekil 13.5 Ayar Karakteristiği

Bu nedenle senkron jeneratörün çıkış gerilimini yük akımına bağlı olarak sabit tutmak gerekir. Bu amaçla *Uyarma Akımı* değiştirilerek *Yük Akımına* bağlı olarak değişen terminal gerilimi sabit tutularak çizilen eğriye **Ayar Karakteristiği** denir.

Omik yüklerde endüvi reaksiyonunun gerilimi azaltıcı etkisi az olduğundan uyarma akımının az miktarda artırılması gerilimi sabit kalmasını sağlar. Endüktif yüklerde ise endüvi reaksiyonunun gerilimi azaltıcı etkisi kuvvetli olduğundan gerilimin sabit kalabilmesi için uyarma akımının omik yüklenmeye oranla daha fazla miktarda artırılması gerekir. Kapasitif yüklerde ise durum tersinedir. Çünkü Kapasitif yüklerde endüvi reaksiyonunun gerilimi kuvvetle arttırıcı etkisi vardır. Bu nedenle gerilimi sabit tutmak için uyarma akımının çok fazla miktarda azaltılması gerekir.

Jeneratörün uyarma akımının ayarlanması amacıyla kullanılan regülatörün karakteristiğinin jeneratörün ayar karakteristiğine uygun olması gerektiğinden, ayar karakteristiğinin bilinmesi önem taşımaktadır. Eğer regülâtör ayar karakteristiğine

uygun yapılmaz ise jeneratörün çıkış gerilim genliğinde değişmelere ve zamansal gecikmelerine sebep olur ki bu da jeneratörde istenmeyen elektromanyetik salınımların oluşmasına neden olur.

13. SENKRON JENERATÖRÜN ŞEBEKEYE PARALEL BAĞLANMASI -SENKRONİZASYONU

Senkron jeneratörler aynı şebekede birbirlerine paralel olarak çalışırlar. Senkronizasyon: Üç fazlı bir senkron jeneratörün şebekeye veya iki jeneratörün birbirine paralel bağlanmasıdır.

- Şebeke gerilimi ile paralel bağlanacak jeneratörün gerilimi birbirlerine eşit olmalıdır. $V_1 = V_s$. **Gerilim eşitliği** çift voltmetre ile gözlenir. Jeneratörün gerilimi *uyarma akımı* ayarlanarak şebeke gerilimine eşit yapılır.
- Paralel bağlantı için ikinci koşul frekans eşitliğinin sağlanmasıdır. Şebeke frekansı ile, paralel bağlanacak jeneratörün frekansı birbirlerine eşit olmalıdır. $f_1=f_2$. Frekans eşitliği çift frekans metre ile gözlenir. Bu aletler de çift voltmetreler gibi özel olarak alternatörlerin paralel bağlanmalarında kullanılırlar. Frekans $f_1 = p.n_s/60$ kutup sayısı ve devir sayısına bağlı olduğuna ve jeneratör çift kutup sayısı (p) değiştirilemeyeceğine göre, **Frekans eşitliği** jeneratörün *devir sayısı* değiştirilerek sağlanır.

Jeneratörün devir sayısı da; su türbini, gaz türbini ve dizel motor gibi jeneratörü tahrik eden mekanik gücün kaynağının yakıt miktarı ile ayarlanır.

Paralel bağlantı için özel yapılmış çift voltmetreler ve çift frekans metreler yardımı ile ($V_1=V_s$) gerilim eşitliği ve ($f_1=f_s$) frekans eşitliğinin gözlemlendiğini öğrendik. Bu ölçü aletleri yerine normal voltmetreler ve frekans metreler ile de aynı ölçümler yapılabilir. Ölçü aletlerinin çift kadran ve çift skalalı olması sadece rahat bir ölçüm kolaylığı sağlar.

- Paralel bağlantı için diğer bir koşul ise faz sıralarının (bir anlamda jeneratör döner alanı ile şebeke döner alanı) aynı olması koşuludur. Bu aynı zamanda aynı adlı

uçların kendi aralarında (R_1, R_s ile - S_1, S_s ile - T_1, T_s ile) bağlanması anlamına da gelir. **Faz sıralarının aynı olma** kontrolü *faz sırası göstercisi* denilen aletle yapılır.

Aynı amaçla küçük güçlü bir asenkron motor da kullanılır. Motor önce jeneratör uçlarına bağlanır ve motorun dönüş yönü gözlemlenir. Sonra motor uçları aynı sıra uçları ile şebeke tarafına bağlanır. Dönüş yönü aynı ise jeneratör ve şebeke karşılıklı uçları aynı isimli fazlardır.

- Paralel bağlantı için gerekli olan son koşul, jeneratör faz gerilimi ile şebeke faz gerilimi eşit ve üst üste gelmeli yani faz farkı olmamalıdır.

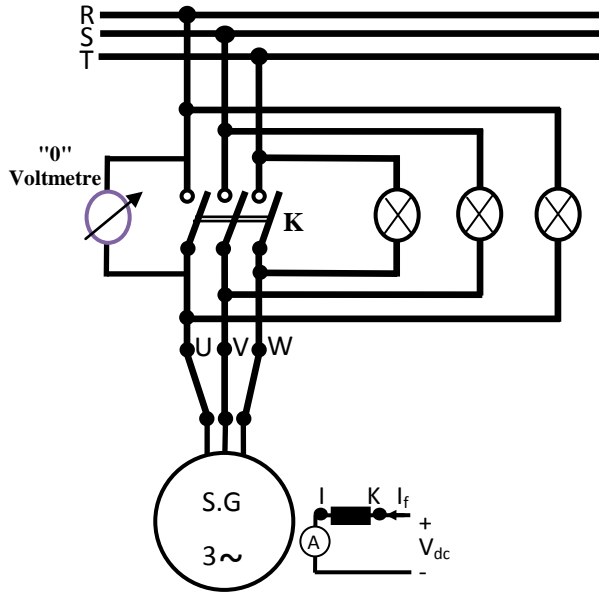
Paralel bağlantı için gerekli olan son derece dikkat gerektiren bu koşul da senkronizma anının saptanmasıdır. Senkronizma anında jeneratör gerilimleri ile şebeke gerilimleri aynı anda, aynı ani değerleri alırlar.



Senkronizma anı senkronoskop, sıfır voltmetresi veya lamba bağlantıları ile ayrı ayrı saptanır. Senkronoskop devreye bağlandığında ibre jeneratör ve şebekenin frekans farkına bağlı olarak belirli bir yöne döner. Jeneratörün frekansı şebeke frekansından fazla ise senkronoskop bir yöne dönecek, şebeke frekansı jeneratörün frekansından fazla ise ibre ters yöne dönecektir. Frekans farkı azaldıkça ibrenin dönüşü yavaşlar. İbre işaretlenen yerde durunca alternatör fazları üst üste gelmiş ve gerilimler arasındaki faz farkı sıfır olmuş demektir.

Senkronoskop yerine; Sönen Işık (Lamba) Montajı, Yanan Işık (Lamba) Montajı ya da Dönen Işık (Lamba) Montajı bağlantıları ile de senkronizasyon anı tespit edilir.

13.1. Sönen Işık Montajı



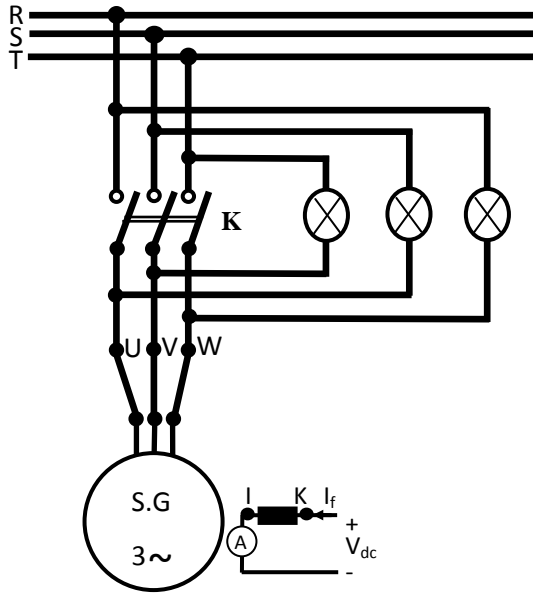
Şekil 13.1 Sönen Işık Montajı



Şekil 13.2 Senkronoskop

Sönen ışık montajı, $V_1=V_s$ ve $f_1=f_s$ eşitlikleri sağlanıp K anahtarının karşılıklı uçlarına aynı isimli fazlar gelecek şekilde bağlantı yapılır. Jeneratör ve şebeke faz gerilimleri toplamı dikkate alınarak uygun sayıda lamba, kendi aralarında bağlanır. Lamba grupları şekilde görüldüğü gibi aynı isimli fazlara bağlanır. Montajdan sonra lambalar yanıp sönerler. Lambaların yanıp sönmeye hızı jeneratör ve şebeke frekansları arasındaki farka bağlıdır. Lambaların yanıp sönmeye hızı paralel bağlanacak jeneratörün devir sayısı (frekans) ile yavaşlatılır. Lambaların söndüğü an senkronizma anıdır. Ancak lambaların söndüğü anda, uçları arasında azda olsa bir gerilim bulunabilir. Bu küçük gerilim lambaları yakmaya yetmeyeceğinden senkronizma anı diye şalteri kapatmak sakıncalı olabilir. Bu yüzden lambalarla beraber bir **< "0" Voltmetre >** kullanılır. Voltmetrenin göstereceği değer 0 ile 2V değerleri arasındadır. Voltmetrenin sıfırı gösterdiği an senkronizma anıdır. Aynı faza ait eğriler arasındaki 180° açı farkında lambalar $V_1+V_s=2V$ gerilimi ile yanar. Bu durum senkronizma anından çok uzaktır. Faz eğrileri arasındaki açı farkı azaldıkça lambaların ışık miktarı da azalacak ve nihayet üç faz eğrileri arasındaki faz farkı sıfır olduğunda lambalar sönecektir. Bu nedenle bu bağlantıya Sönen Işık Montajı denir.

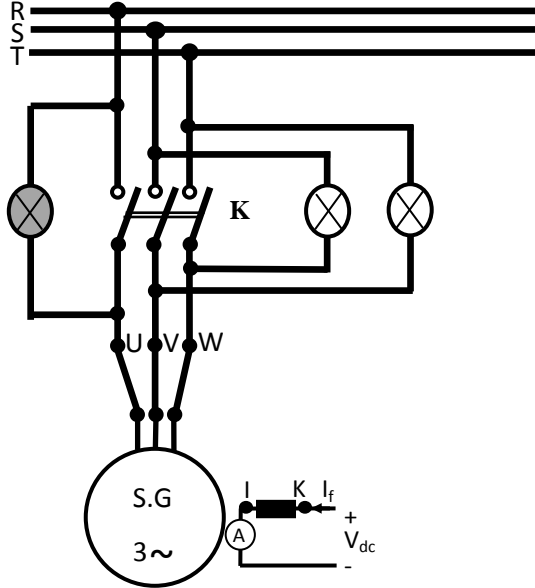
13.2. Yanan Işık Montajı



Şekil 13.3 Yanan Işık Montajı

Yanan ışık montajı, $V_1=V_\phi$ ve $f_1=f_\phi$ eşitlikleri sağlanıp K anahtarının karşılıklı uçlarına farklı isimli fazlar gelecek şekilde bağlantı yapılır. Jeneratör ve şebeke faz gerilimleri toplamı dikkate alınarak uygun sayıda lamba, kendi aralarında bağlanır. Bu bağlantıda lambaların en parlak ne zaman yandığının tam olarak bilinmemesi nedeniyle pratikte kullanımına pek rastlanmaz.

13.3. Dönen Işık Montajı



Şekil 13.3 Dönen Işık Montajı

Dönen ışık montajı, $V_1=V_\phi$ ve $f_1=f_\phi$ eşitlikleri sağlanıp K anahtarının uçlarına iki lamba yanan ışık ve bir lamba sönen ışık montajına göre bağlantı yapılır. Jeneratör ve şebeke faz gerilimleri toplamı dikkate alınarak uygun sayıda lamba, kendi aralarında bağlanır. Bu bağlantıda lambaların yanıp sönmeye sıraları jeneratör ve şebeke frekansına göre sağa veya sola doğru olacaktır. Bu nedenle Dönen Işık Montajı denir.

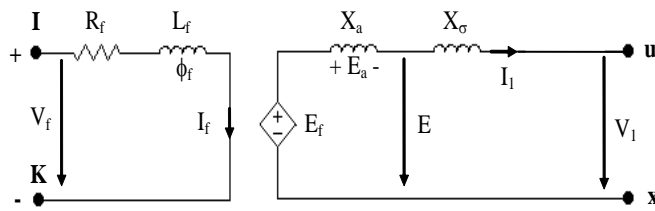
Bir lamba Söndüğü ve iki lamba parlak tam yandığında "0 voltmetresi" de kontrol edilerek K anahtarı kapatılır.

14. SENKRON MAKİNEDE AKTİF-REAKTİF GÜÇ AYARI

14.1. Aktif Güç Ayarı

Senkron makineler bağlı bulundukları şebekede motor ya da jeneratör olarak çalışabilirler. Jeneratör çalışmada Kutup Tekerleği (KT) döner alanı Stator (Endüvi) döner alanının önünde olduğundan yük açısı $\delta > 0$, motor çalışmada ise Stator (Endüvi) döner alanı önde Kutup Tekerleği (KT) döner alanı arkada olduğundan yük açısı $\delta < 0$ 'dır. Dolayısıyla jeneratör çalışmada E_f, V_1 'in önünde, Motor çalışmada V_1 ise E_f 'nin önündedir.

Yuvarlak rotorlu senkron motorun ($R_a=0$ iken) endüktif yük durumu için eşdeğer devresi ve fazör diyagramı çizilerek yüklenmesi durumu incelenirse;

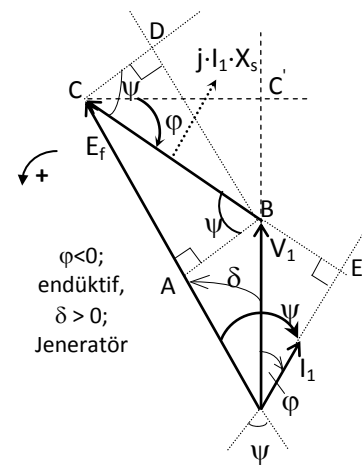


Şekil 14.1 Senkron jeneratör eşdeğer devresi

Eşdeğer devreden;

$$\dot{E}_f = \dot{V}_1 + \dot{I}_1 \cdot j \cdot X_a + \dot{I}_1 \cdot j \cdot X_\sigma$$

$$\dot{E}_f = \dot{V}_1 + \dot{I}_1 \cdot j \cdot X_s$$



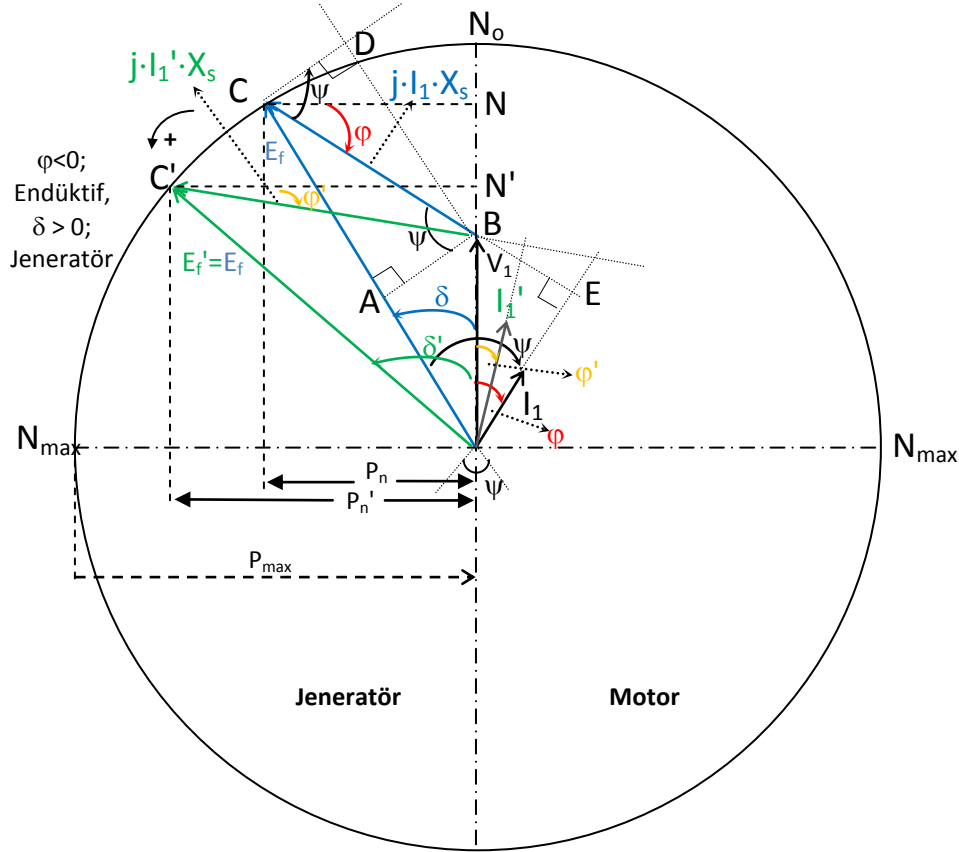
Şekil 14.2 Senkron jeneratör endüktif fazör diyagramı

Şebeke gerilimi V_1 ve jeneratörün uyarma akımı sabit tutulurken yani E_f 'nin genliği sabit iken jeneratör yüklenirse, bu durumda I_1 akımının artırılması gerekecektir yani jI_1X_s büyümesi anlamına gelecektir. Bu da ancak fazör diyagrama bakıldığında δ 'ın büyümesi ile mümkündür. Bu durum tahrik makinesinin yakıtını arttırmakla mümkün olacaktır. Tahrik makinesi bir dizel motor ise daha fazla yakıt harcanarak, Şayet bir su türbini ise su miktarı artırılarak yapılır. Kısacası V_1 ise E_f 'nin arasındaki yük açısı δ 'ın büyümesi I_1 akımının artmasını sağlar. Bu da yüke aktarılacak aktif

gücün artması anlamına gelecektir. $R_a = 0$ iken $P_d = P_1$ olduğu hatırlanırsa, jeneratörün yüklenmesi durumunda;

$$\frac{3V_1 \cdot E_f \cdot \sin \delta}{X_s} = 3V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi \quad \text{eşitliğin sol tarafındaki ifade de } \sin \delta \text{ büyümesi}$$

eşitliğin sağ tarafındaki $I_1 \cdot \cos \varphi$ 'nin büyümesi anlamına gelecektir. Bu durum senkron jeneratörün daire diyagramı üzerinde incelenirse;



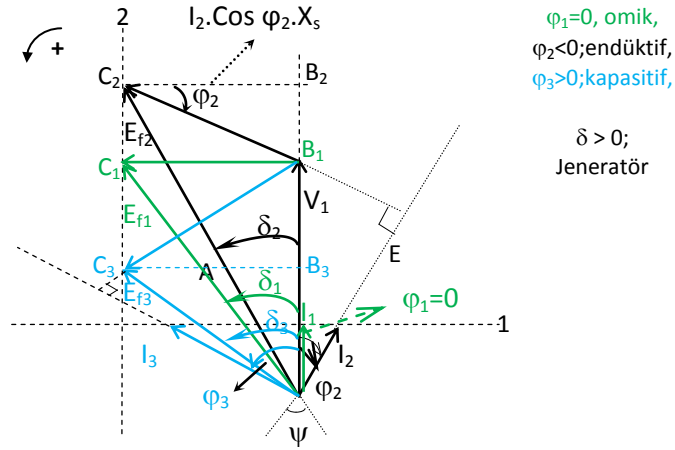
Şekil 14.3 Senkron makinenin daire diyagramı

$|V_1| = \text{sbt}$ ve $|E_f| = \text{sbt}$ iken \vec{E}_f fazörünün δ açısı ile değiştirilmesi sonucunda senkron makinenin daire diyagramı elde edilir. Makinenin Yük açısı $\delta > 0$ olduğunda Jeneratör çalışma, yük açısı $\delta < 0$ motor çalışma durumunu göstermektedir. \vec{E}_f , C noktasından C' noktasına geldiğinde yük açısı δ, δ' olmaktadır. $|CN|$ ise $|C'N'|$ olmaktadır.

$|C'N'| = I_1' \cdot X_s \cdot \cos \varphi'$ ifadesinde $X_s = \text{sbt}$ olduğuna göre $I_1 \cdot \cos \varphi$ büyüyerek $I_1' \cdot \cos \varphi'$ olmuştur. Jeneratörün ürettiği güç $3V_1 I_1 \cdot \cos \varphi$ iken $3V_1 I_1' \cdot \cos \varphi'$ olduğundan ürettiği güç artmıştır. Burada görüleceği üzere $|V_1| = \text{sbt}$ ve $|E_f| = \text{sbt}$ iken jeneratörün ürettiği aktif güç, girişteki mekanik güç ile orantılıdır. Hız sabit olduğu için üretilen güç tahrik

momenti ile değiştirilir. Sonucunda jeneratörün δ açısı yani $\sin \delta$ ile değişmektedir. Bu durum Tahrik makinesi bir dizel motor ise moment (yakıt miktarı) değiştirilerek (azaltılarak-arttırılarak); şayet bir su türbini ise su miktarı değiştirilerek (azaltılarak-arttırılarak) sağlanmaktadır.

14.2. Reaktif Güç Ayarı



Şekil 14.4 Senkron jeneratör reaktif güç ayarı

X_s =sabit parametre, 1 ekseninde akımın I ucu sabit kalacak şekilde yani $I \cos \varphi = \text{sbt}$ olacak şekilde, yani $|C_k B_k|_{k=1,2,3} = I_1 \cos \varphi_1 = I_2 \cos \varphi_2 = I_3 \cos \varphi_3 = \text{sbt}$ olacak şekilde (ki bu durumda şebekeye verilen aktif güç $P = \sqrt{3} V I \cos \varphi = \text{sbt}$ dir.) uyarma akımı değiştirilirse endüvi gerilimi E_f 'nin değişimi 2 eksen üzerinde olacaktır. Bu durumda $I \sin \varphi$ 'nin değiştiği görülmektedir. Şu halde $Q = \sqrt{3} V I \sin \varphi$ olduğu hatırlanırsa reaktif güç değişecektir.

Gücü çok büyük olan bir şebeke ile paralel çalışan bir senkron jeneratörde $V = \text{sbt}$ olacağından 1 ekseninde akımın I ucu sabit tutulurken yani aktif güç sabit iken uyarma akımı değiştirilirse endüvi gerilimi E_f 'nin 2 eksen üzerindeki değişimi reaktif gücün değiştiğini gösterir.

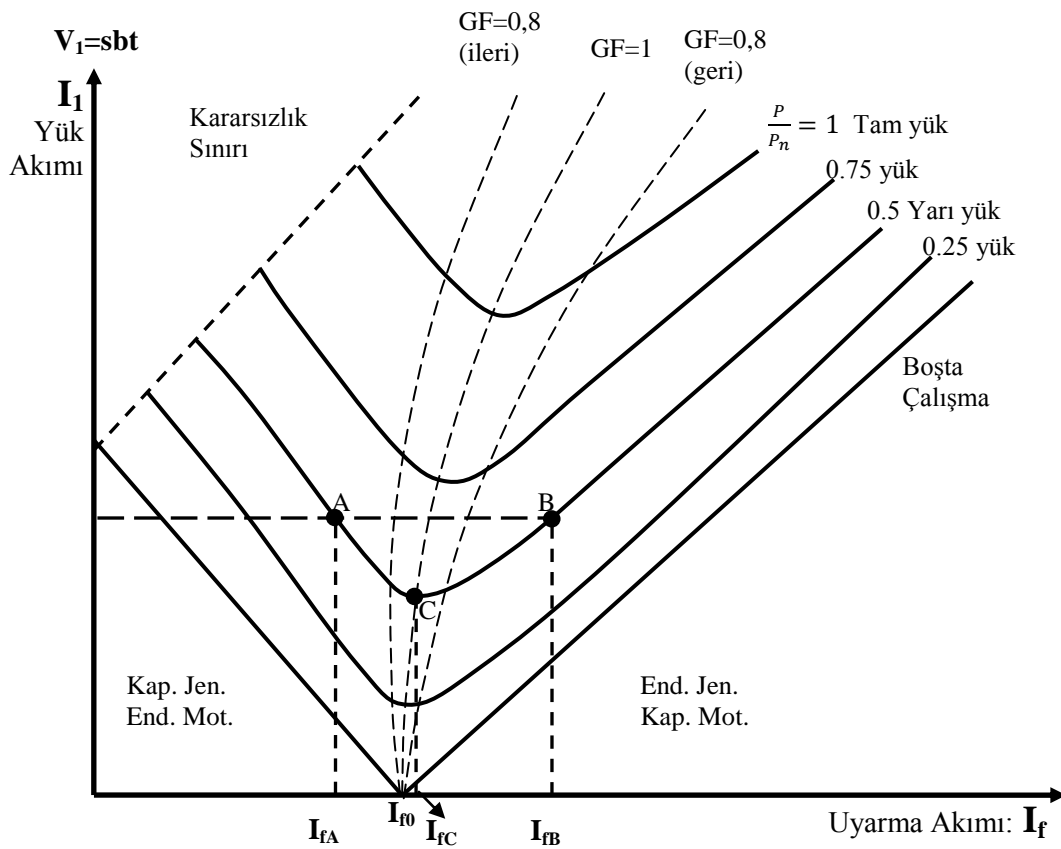
Jeneratörlerde;

Uyarma akımı, $\cos \varphi_1 = 1$ yapan değer üstünde ayarlanması durumunda indüklenen gerilim E_{f2} olur ve şebekeye endüktif güç verir.

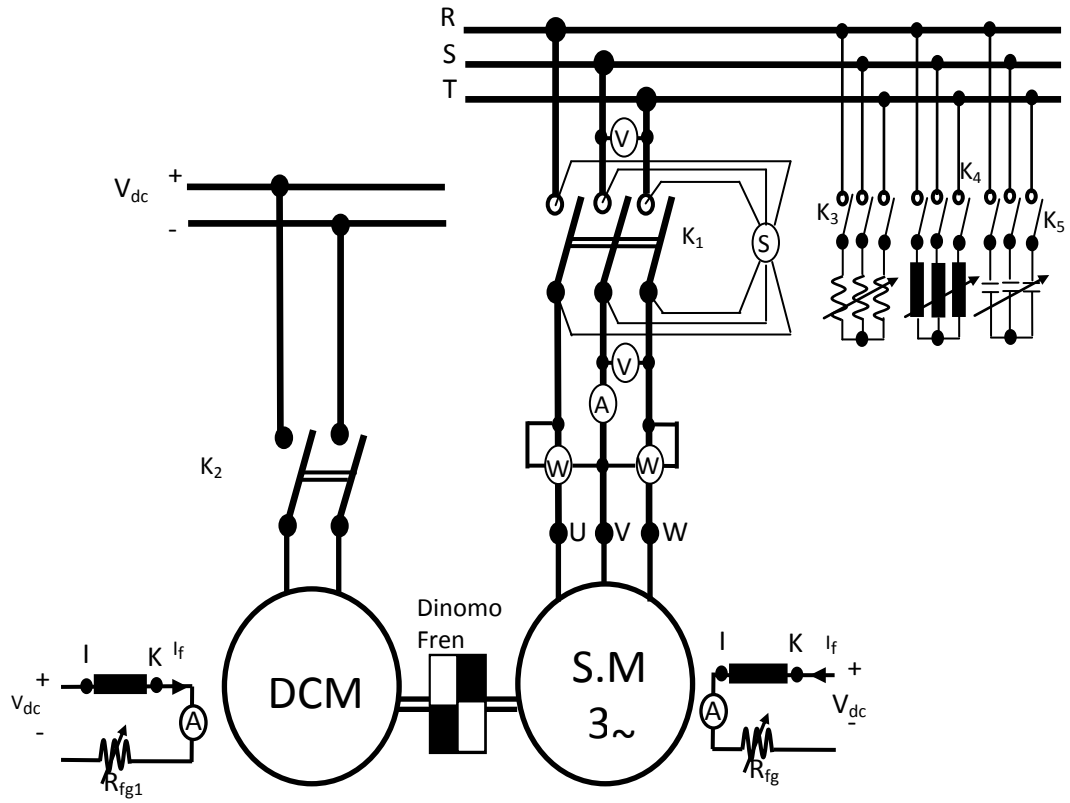
Uyarma akımı, $\cos \phi_1 = 1$ yapan değerin altında ayarlanması durumunda indüklenen gerilim E_{f3} olur ve şebekeye kapasitif güç verir.

14.3. Senkron Makine V Eğrileri

Aktif güç çeşitli değerlerde sabit tutularak, yük akımı I_1 , uyama akımı I_f 'nin fonksiyonu olarak çizilirse senkron makinenin V eğrileri elde edilir. Şekil 14.6 yardımıyla senkron makine V eğrileri elde edilir.



Şekil 14.5 Senkron Makinenin V Eğrileri

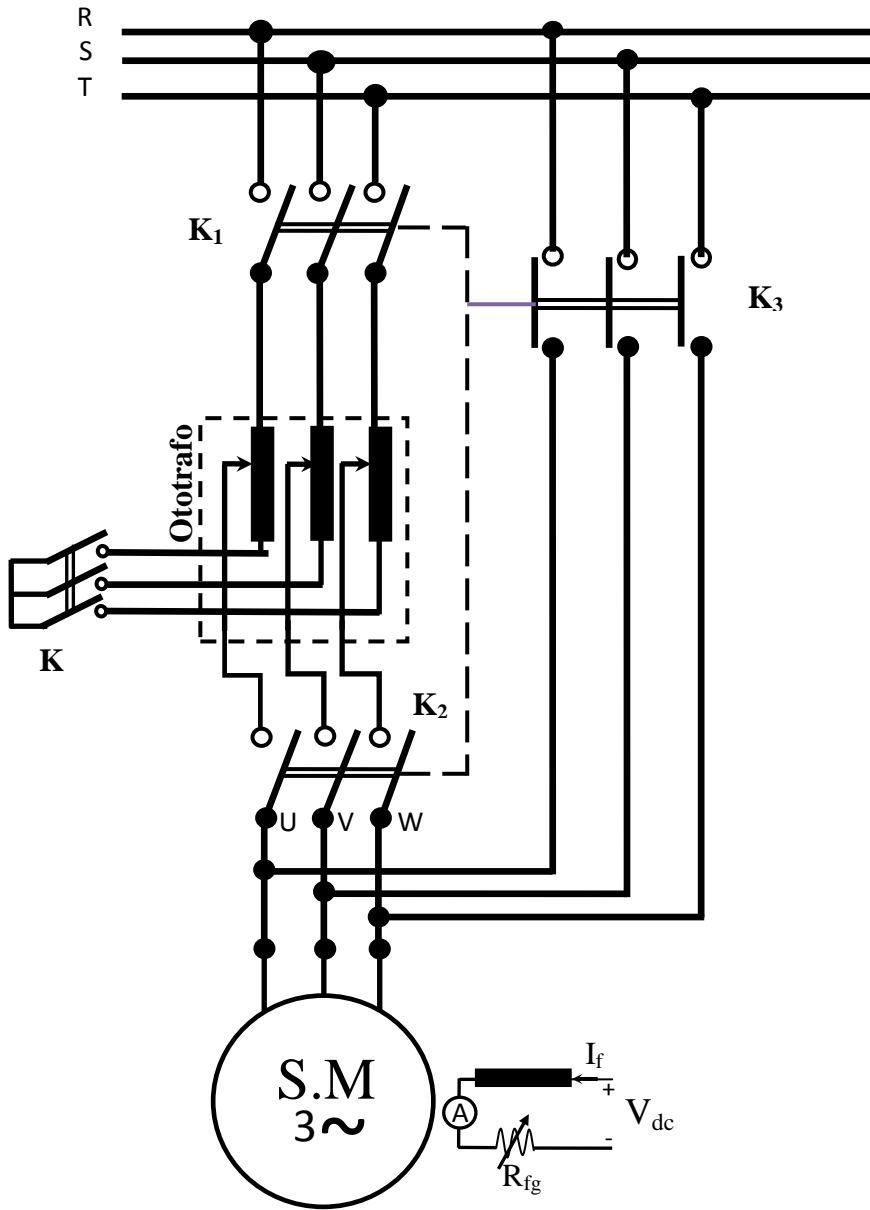


Şekil 14.6 Senkron Makinenin V Eğrileri

15. SENKRON MOTORLARA YOL VERME

Senkron Motorların Kutup tekerleği doğrudan kendi başına yol alamaz. Bu nedenle senkron motorlara yol verme gereksinimi doğmaktadır.

15.1. Senkron Motora Söndürüm Sargılarıyla Asenkron Yol Verme



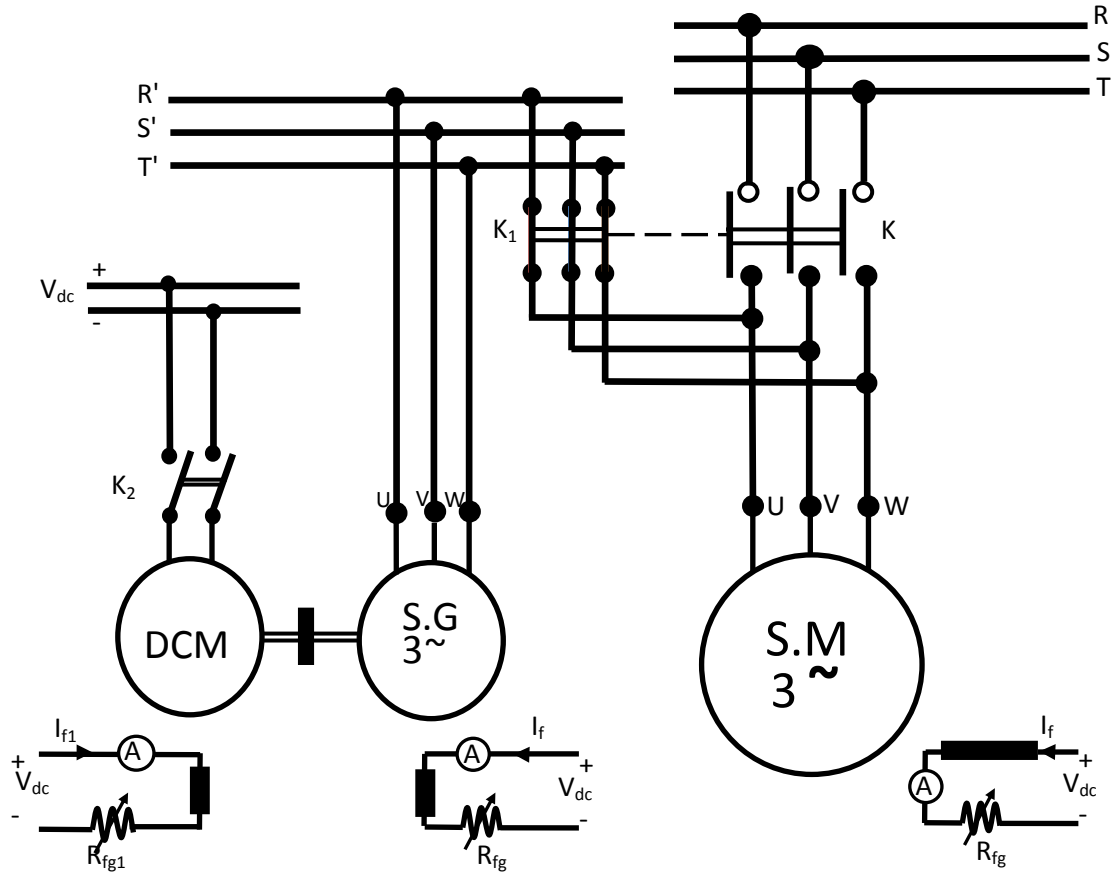
Şekil 15.1 Senkron Motora Söndürüm sargıları kullanarak yol verme

Bu yöntem, senkron motora yol vermede uygulanan birkaç yöntem içerisindeki en önemli yöntemdir. Senkron motora bu yöntem ile yol verilebilmesi için motorun söndürüm (amortisör) sargılarının olması gerekir. Endüviye uygulanan üç fazlı alternatif alanın hava aralığında meydana getirdiği döner alan söndürüm (amortisör) sargılarını keser ve söndürüm (amortisör) sargılarında gerilim indükler. Söndürüm sargıları her iki baştan kısa devre halkaları ile kısa devre edilmiş olduklarından, indüklenen gerilimle akım akmasını sağlarlar. Endüvi döner alanın etkisiyle kutup tekerleğine bir döndürme momenti etki eder ve kutup tekerleği senkron hızı yakın bir hıza kadar hızlanır. Bu şekilde yol verme aynı sincap kafesli asenkron motordaki gibi olduğundan, bu yönteme "asenkron yol verme" denir. Bu yol verme esnasında uyarma sargısı kendi direncinin (5-10) katı büyüklüğünde bir direnç üzerinden kısa devre edilir. Bundaki amaç, uyarma sargısı üzerinde tehlikeli gerilimlerin indüklenmesinin önüne geçmektir. Senkron hıza yaklaşan kutup tekerleği üzerindeki uyarma sargısı, bağlanan dirençler üzerinden ayrılarak uyarma gerilimi veren kaynağa bağlanır ve sargılar uyarılır. Bu şekilde yol verme işlemi sonlandırılır.

Şekil 15.1'de verilen bağlantı şemasında senkron motor, endüvisine uygulanacak gerilim ayarlanabilmesi için oto-trafo üzerinden sürülmektedir. Öncelikle K3 sonrasında K1 kesicisi kapatılır. Trafoda düşürülen şebeke gerilimi K2 kesicisi kapatılarak senkron motorun endüvisine verilir. Bu esnada ana kesici K4 elektrik kilidi kullanılarak mutlak açık alması sağlanmıştır. Motor hızlanmaya başlamış ancak yeterince hızlanıp senkron hızda dönmeye başlamamıştır. Oto-Trafoyu yıldızlayan K3 anahtarı açılarak şebeke gerilimine yakın bir gerilimin motor endüvisine gelmesi sağlanır. Gerilim artışı ile kutup tekerleği hızlanır ve senkron hıza yaklaşır. Daha sonrada ana kesici K4 kapatılarak kutup tekerleğinin senkron hıza daha yaklaşması sağlanır. Son olarak uyarma sargısı kısa devre edildiği dirençler üzerinden ayrılarak uyarma kaynağına bağlanır ve uyarma sargısına DA verilir. Bu işlem ile kutup tekerleği senkron hıza ulaşır ve senkronlama tamamlanır. Kutup tekerleğinin senkron hıza erişmesiyle artık endüvi alanı ve kutup tekerleği aynı hızda döndüğünden söndürüm sargılarında akan akımlar sıfır olur.

Tartışma Konusu: Oto-trafo dışında başka hangi yöntemler ile senkron motora asenkron olarak yol verilebilir?

15.2. Senkron Motora Frekansla Yol Verme



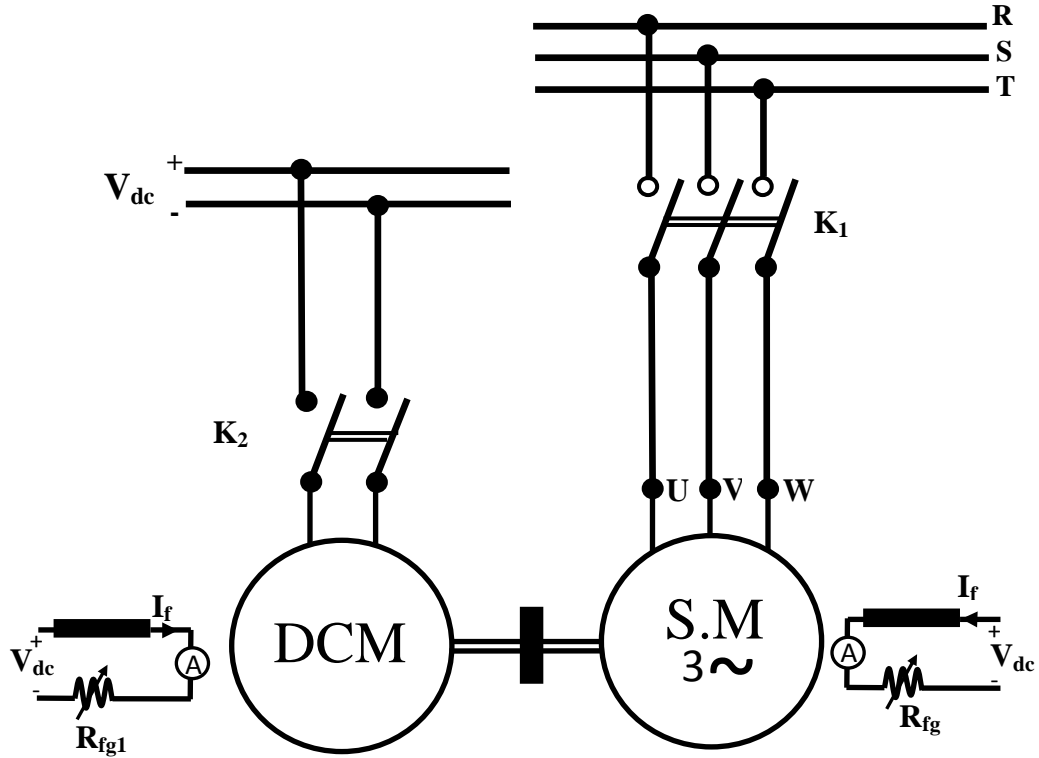
Şekil 15.2 Senkron Motora Frekans ile yol verme

Senkron Motora yol vermede kullanılan bir diğer yöntemse frekans ile yol vermedir. Senkron motoru sürmek için yardımcı bir şebekeden faydalanılır. Yardımcı Şebekede (**R'S'T'**) frekans değişimi sağlamak için bir Senkron Jeneratör ve Senkron Jeneratörün tahrikinde ise bir DA motoru kullanılır. DA motorun hız ayarı yapılarak Senkron Jeneratörün ürettiği gerilim frekansı değiştirilir.

Şekil 15.2'deki bağlantı kullanılarak yol verme işlemi yapılır. Bunun için öncelikle K_1 kesicisi kapatılarak yardımcı şebeke ile Senkron motorun düşük frekansta beslenmesi sağlanır. Senkron motorun yanırlıkla ana şebekeden (**RST**) beslenmemesi için K_1 kesicisi ile K kesicisi arasında elektrik kilidi kullanılır. Bu kilit ile bir kesici kapalıyken diğerinin açık konumda olması sağlanır. K_1 kapatıldığında yardımcı şebekeyi besleyen senkron jeneratörün uyarması kuvvetli, Senkron motorun uyarmasının ise yarı kademedede olması sağlanarak gerekli olan reaktif gücü yardımcı

şebekeden çekmesi sağlanır. Jeneratör frekansı şebeke frekansına getirilince senkron motor senkron hıza erişmiş olur ve senkronizasyon koşulları sağlandığında K kesicisi kapatılarak Senkron motor şebekeye bağlanarak yol verme işlemi bitirilir.

15.3. Senkron Motora Yardımcı Motorla Yol Verme



Şekil 15.3 Senkron Motora Yardımcı Motor ile yor verme

Senkron motora yol vermek için kullanılan bu yöntemde kutup tekerleğini (rotor) senkron hızda veya senkron hıza yakın bir hızda sürmek için bir elektrik motoru kullanılmaktadır.

Şekil 15.3' deki bağlantı kullanılarak yol verme işlemi gerçekleştirilir. Senkron motor senkron hızda yada ona yakın bir hızda DA motoru tarafından sürülürken iken K_1 kesicisi kapatılarak şebekeye ile bağlanır. Şebekeye bağlanan senkron motorun statoruna üç faz geldiğinden döner manyetik alan oluşur ve bu esnada senkron hızda döndürülen kutup tekerleği üzerindeki kutup sargılarına uyarma verilir. Kutup tekerleğinde meydana gelen döner alanın hızı yarım periyot içinde endüvi döner alan

hızına erişir, yani senkron devire ulaşır. Senkron makine şebekeden enerji çekerek senkron motor olarak çalışır ve yol verme işlemi tamamlanır.

Burada yol verme işleminde senkron motoru sürmek için Serbest Uyarımlı DA Motoru kullanılmıştır.

Tartışma Konusu: Senkron motoru bir yardımcı motorla sürerek yol vermek için bir asenkron motor kullanılabilir mi? Eğer bu iş için bir asenkron motor kullanılacaksa gerekli asgari şartlar ne olmalıdır? Açıklayınız...

15.4. Küçük Güçlü Senkron Motorlara yol Verme

Çıkık kutuplu senkron motor kutup tekerleği uyarılmadan şebekeye bağlanır. Kutup tekerleğindeki uyarma sargısında indüklenen büyük e.m.k'ların sargıya zarar vermemesi için sargılar dirençler üzerinden kısa devre edilerek topraklanır. Bu koşullar altında motor asenkron motor olarak boşta yol alır. Sonrasında kutup tekerleğinde yer alan uyarma sargıları, kısa devre edildiği direnç üzerinden ayrılarak doğru gerilimle uyarılır. Bu esnada uyarma alanı (kutuplar) endüvi döner alanına ters kapılmışsa yani endüvi N kutbu karşısına kutup tekerleğinin N kutbu gelmişse motor şebekeden çok büyük endüktif akım çeker. Kutupların doğru kutuplanabilmesi için uyarma akımı arttırılarak senkron motorun kapasitif akım çekmesi sağlanır. Senkron motor salınımlara başlar ve bu salınımlar büyüyerek kutup tekerleğinin endüvi döner alanından kurtulmasına neden olur. Ancak kutup tekerleği bir kutup adımı sonrasında endüvi döner alanına tekrar kapılır. Bu kez doğru kutuplama olduğundan şebekeden çekilen akım düşer.