

Senkron Motor ile Reaktif Güç Kompanzasyonu Benzetimi

BATUHAN GÜZELOĞLU-220106203027, ALİ AYDIN-220106203010, SAVAŞCAN LAVAS-221106203007,
OĞUZHAN KURT-221106203004

Department of Electrical and Electronics Engineering, Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey

b.guzeloglu@mf.karaelmas.edu.tr
a.aydin@mf.karaelmas.edu.tr
s.lavas@mf.karaelmas.edu.tr
o.kurt@mf.karaelmas.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, senkron motor kullanılarak reaktif güç kompanzasyonu gerçekleştirilmiştir. Matlab/Simulink ortamında hazırlanan sistem modeli ile dört farklı durum için benzetim yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Toplam reaktif gücün sıfırlanması ve sistem güç faktörünün iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Senkron motor, reaktif güç, kompanzasyon, Matlab, Simulink

ABSTRACT

In this study, reactive power compensation using a synchronous motor is simulated. A power system model was prepared in Matlab/Simulink, and simulations were conducted for four different scenarios. The aim was to eliminate total reactive power and improve the power factor of the system.

Keywords: Synchronous motor, reactive power, compensation, Matlab, Simulink

1.GİRİŞ

Elektrik güç sistemlerinde reaktif gücün doğru ve etkin yönetimi, sistem performansının sürdürülebilirliği açısından hayati öneme sahiptir. Reaktif güç akışı, iletim hatlarında gerilim düşümlerine ve ek güç kayıplarına neden olarak, hem enerji iletim verimliliğini azaltmakta hem de sistem kararlılığını tehdit etmektedir. Bu durum, özellikle yüksek güçlü sanayi tesislerinde ve geniş alanlara yayılan şebeke altyapılarında, ciddi ekonomik kayıplar ve performans düşüşleriyle sonuçlanabilmektedir.

Bu bağlamda, reaktif gücün dengelenmesine yönelik geliştirilen kompanzasyon teknikleri, enerji

Sistemlerinin güvenilirliği ve verimliliği açısından kritik bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu teknikler yalnızca enerji kayıplarını azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda şebeke kararlılığını artırmakta, gerilim profilini iyileştirmekte ve güç kalitesini yükseltmektedir. Modern enerji sistemlerinde kompanzasyonun sadece pasif elemanlarla değil, aktif kontrol edilebilir bileşenlerle gerçekleştirilmesi ise, bu sürecin daha esnek ve etkili olmasına olanak tanımaktadır.

Bu çalışma kapsamında, reaktif güç kompanzasyonuna yönelik alternatif bir yaklaşım olarak, senkron motorların reaktif güç üretme kapasitelerinden faydalanılması hedeflenmiştir. Senkron motorlar, doğru şekilde uyarıldıklarında sistemde ihtiyaç duyulan reaktif gücü üreterek endüktif yüklerin neden olduğu dengesizlikleri ortadan kaldırabilir. Bu yönüyle senkron motorlar, klasik mekanik görevlerinin ötesine geçerek, aktif birer reaktif güç dengeleme elemanına dönüşebilmektedir.

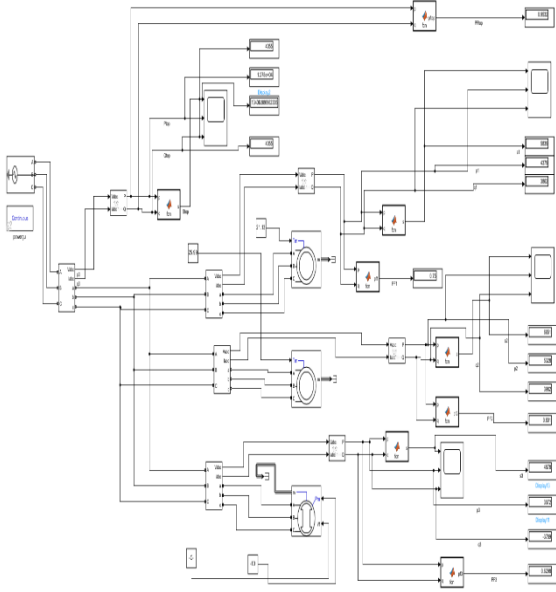
Yürütülen analizler, Matlab/Simulink platformu üzerinde geliştirilen detaylı bir benzetim modeli aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Modelde, senkron motorun farklı işletme koşulları altındaki performansı değerlendirilmiş; özellikle sistemin dört ayrı senaryoda gösterdiği güç parametreleri titizlikle analiz edilmiştir. Her bir senaryo, farklı yük profilleri ve uyarım koşulları ile ele alınarak, senkron motorun reaktif güç kompanzasyonundaki etkinliği sayısal veriler ışığında karşılaştırmalı olarak ortaya konmuştur.

Bu çalışma, senkron motorun yalnızca bir tahrik elemanı değil, aynı zamanda akıllı bir kompanzasyon cihazı olarak da değerlendirilebileceğini göstermesi

açısından literatüre katkı sunmaktadır. Elde edilen bulgular, güç sistemlerinde daha akıllı, daha esnek ve daha verimli çözümlere duyulan ihtiyacı karşılamaya yönelik önemli ipuçları içermektedir.

2.MODEL VE METOD

Bu çalışmada geliştirilen sistem modeli, sonsuz güçlü bir şebekeye bağlanmış üç ayrı yükten oluşmaktadır. Yüklerin ikisi asenkron motor, biri ise senkron motordur. Model, Matlab/Simulink platformu kullanılarak oluşturulmuş ve güç sistemi dinamiklerini incelemeye uygun bir yapıdadır. Modelin genel blok diyagramı Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Matlab/Simulink ortamında geliştirilen güç sistemi modeline ait genel şema

Yük Özellikleri:

Yük 1 ve Yük 2: Her biri 10 HP (14.74 kW) gücünde, 460 V anma geriliminde, 60 Hz frekansta çalışan ve 1760 dev/dak (rpm) nominal hıza sahip, üç fazlı kafes rotorlu asenkron motorlardır.

Yük 3: 20 kVA gücünde, 460 V anma geriliminde, 60 Hz frekansta ve 1800 dev/dak (rpm) senkron hızda çalışan, üç fazlı senkron motordur.

Yük	Seçilen Güç Değerleri (S ₁ , S ₂ ve P ₃)	Uygulanan Güç Değerleri (HP/VA)	f	N
Yük ₁	460v	10hp	60hz	1760rpm
Yük ₂	460v	10hp	60hz	1760rpm
Yük ₃	460v	20kva	60hz	1800rpm

	I	II	III	IV
P ₁	4379	4379	5304	2042
P ₂	5328	5328	5328	-
P ₃	29700	3072	29720	114500
P _{tot}	39400	12780	40350	22611.30

	I	II	III	IV
S ₁	5834	5834	6330	4216
S ₂	6651	6651	6654	-
S ₃	307200	4878	30765	114597
S _{tot}	39404	13406	40350.2	116580.1

	I	II	III	IV
Q ₁	3862	50825	36960	7615.48
Q ₂	3982	3982	3982	-
Q ₃	-7842	-3789	-7958	-3678
Q _{tot}	2.307	4055	1.78	10.71

	I	II	III	IV
PF ₁	0.75	0.75	0.8	0.8
PF ₂	0.801	0.801	0.801	0.801
PF ₃	0.9669	0.6298	0.966	0.966
PF	1.00	0.9532	1.00	1.00
Uyartım Gerilimi /Akımı	204.53999 5176792/ -10	204.5399 95176792 2/-10	200.00 1/-10	41/18

Her bir yük için simülasyon dört farklı durum altında gerçekleştirilmiştir. Bu durumlar şunlardır:

I. Durum: $Q_{tot}=0$ olması için PF3 ne olmalıdır?

II. Durum: İletim hattı güç faktörü $PF \geq 0.95$ kapasitif olması için PF3 ne olmalıdır?

III. Durum: $PF1=0.8$ olduğu durumda $Q_{tot}=0$ olması için PF3 ne olmalıdır?

IV. Durum: III. Durumda Yük2 devreden çıkarsa $Q_{tot}=0$ olması için PF3 ne olmalıdır?

Bu dört farklı durum için yüklerin aktif, reaktif ve görünür güç değerleri ile senkron motorun uyarım gerilimi ve sistem güç faktörleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler yukarıdaki Tablo II, III, IV ve V'te detaylı olarak sunulmuştur.

Sonuçlara göre, senkron motorun uygun şekilde uyarılması ile sistemin toplam reaktif gücü sıfırlanabilmiş ve istenen güç faktörleri sağlanabilmiştir. Özellikle Durum II'de, sistemin kapasitif güç faktörü istenen ≥ 0.95 seviyesine ulaşmıştır. Durum IV'te ise yalnızca senkron motorun kompanzasyon gücü ile Yük2 devreden çıkmasına rağmen toplam reaktif güç tekrar sıfırlanabilmiştir. Bu durum, senkron motorun sistemde reaktif güç dengesine ne kadar önemli katkı sağladığını göstermektedir.

Simülasyon, Matlab/Simulink ortamında sürekli zaman çözümlemesi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve ölçüm noktalarından alınan değerler üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Güç faktörü (PF), aktif (P), reaktif (Q) ve görünür güç (S) değerleri "Display" blokları ile gösterilmiştir.

3.SONUÇ VE YORUM

Yürütülen kapsamlı sayısal benzetim çalışmaları sonucunda, senkron motorun uygun uyarım (excitation) koşulları altında çalıştırılması durumunda, güç sisteminin reaktif güç talebini etkili bir şekilde karşılayabildiği ve toplam güç faktörünü hedeflenen değerlere yükselttiği net bir biçimde gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular, uyarım akısının artırılmasıyla senkron motorun kapasitif bir karakter kazandığını ortaya koymakta; bu özelliği sayesinde, sistemdeki endüktif yüklerin neden olduğu reaktif gücü başarıyla kompanze edebildiği anlaşılmaktadır.

Özellikle ikinci senaryo kapsamında gerçekleştirilen simülasyon sonuçları, sistemin güç faktörünün kapasitif karakterde ve ≥ 0.95 değerine ulaştığını göstermektedir. Bu bulgu, senkron motorun sistemin reaktif güç dengesine önemli bir katkı sunduğunu ve enerji iletim hatlarındaki reaktif akım bileşenlerini azaltarak daha verimli bir güç iletimine zemin hazırladığını ortaya koymaktadır. Böylece sistemdeki gerilim düşümleri minimize edilmekte, iletim kayıpları azaltılmakta ve şebeke elemanlarının ömrü uzatılmaktadır.

Dördüncü ve son senaryo analizinde ise, yalnızca senkron motorun kompanzasyon kapasitesinden yararlanılarak sistemin toplam reaktif gücünün sıfırlanabildiği ve güç faktörünün birim değere (1.0) oldukça yakın bir seviyeye çıkarılabildiği tespit

edilmiştir. Bu durum, senkron motorların yalnızca mekanik güç üretimi amacıyla değil, aynı zamanda reaktif güç kontrolü ve sistem optimizasyonu amacıyla da aktif ve etkili biçimde kullanılabileceğini göstermektedir.

Bu kapsamda elde edilen bulgular, senkron motorların uygun kontrol stratejileriyle entegre edilmesi halinde, güç sistemlerinde hem gerilim profilinin düzenlenmesinde hem de güç faktörünün iyileştirilmesinde son derece kritik bir rol üstlenebileceğini göstermektedir. Bu tür bir uygulama; enerji verimliliğinin artırılması, sistem kayıplarının azaltılması ve şebeke kararlılığının güçlendirilmesi açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma senkron motorların modern güç sistemlerinde yalnızca klasik görevleriyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda akıllı enerji yönetimi çözümleri içinde etkin bir bileşen olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Doğru bir uyarım kontrolü ile senkron motorlar, enerji altyapısının daha güvenilir, verimli ve sürdürülebilir hale getirilmesine katkı sağlayabilecek potansiyele sahiptir.

4.KAYNAKLAR

1. MathWorks, "Simulink Documentation", <https://www.mathworks.com/help/simulink/>, Eriřim: Mayıs 2025.
2. Zengin, A., ve Demirtař, M., "Senkron Motorların Reaktif Güç Kompanzasyonundaki Rolü", Elektrik Mühendislięi Dergisi, Cilt 55, Sayı 4, ss. 203–210, 2021.
3. Kundur, P., *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill Education, 1994.
4. Nasar, S. A., *Electric Machines and Power Systems*, Tata McGraw-Hill, 2000.
5. Gonen, T., *Electrical Power Transmission System Engineering*, CRC Press, 2015.
6. IEEE Std 141-1993, "IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants (Red Book)", IEEE, 1994.
7. El-Hawary, M. E., *Electrical Power Systems: Design and Analysis*, IEEE Press, 1995.
8. IEEE Power & Energy Society, "Reactive Power Compensation Techniques in Modern Grids", 2022 White Paper.
9. Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., & Umans, S. D. *Electric Machinery*. 7th Edition, McGraw-Hill, 2013.
→ [Asenkron makinelerin temel teorisi ve uygulamaları üzerine kapsamlı ders kitabı.]
10. Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., & Umans, S. D. *Electric Machinery*. 7th Edition, McGraw-Hill, 2013.
→ [Asenkron makinelerin temel teorisi ve uygulamaları üzerine kapsamlı ders kitabı.]
11. A. Boglietti, A. Cavagnino, D. Staton, M. Shanel, C. Micale, & M. Popescu, "Evolution and Modern Approaches for Thermal Analysis of Electrical Machines,"