



PLC İle Farklı Algoritmalar Kullanılarak Statik Reaktif Güç Kompanzasyonu

The Static Reactive Power Compensation With Different Algorithms By Using PLC

Yalçın DOĞRUL¹, Yılmaz ASLAN²

¹ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Müh. Anabilim dalı
Dumlupınar Üniversitesi
yalcindogrul@gmail.com

² Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü
Dumlupınar Üniversitesi
yaslan@dpu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada statik reaktif güç kompanzatörü (SVK) denetimi, sabit kapasite-tristör kontrollü reaktör (SK-TKR) metodu ile gerçekleştirilmiştir. Uygulama enerji analizörü ile gerçek zamanlı olarak incelenmiş, algoritmalar programlanabilir mantık denetleyicisinde (PLC) tasarlanmıştır. Bulanık mantık (BM) ve PID (Proportional-Integral-Derivate/Oransal-İntegral-Türevsel) denetim algoritmaları ile gerçekleştirilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. SVK uygulamaları bir fazlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Abstract

In this study the static reactive power compensator (SVC) was realized by using fixed capacity-thyristor controlled reactor (FC-TCR). The algorithms of SVC have been implemented using a programmable logic controller (PLC) and applications are examined in real time by using energy analyzer. In the study the performance of fuzzy logic (FL) and PID (Proportional-Integral-Derivate) algorithms are compared. The SVC algorithms have been implemented as a single phase system.

1. Giriş

Günümüzde enerjiye olan talebin giderek artması ve artan çevresel faktörlerden dolayı, daha kaliteli ve güvenli enerji kaynaklarına olan gereksinimi çok fazla önem kazanmıştır. Buna bağlı olarak enerjideki güç kalitesi de önemli hale gelmiştir. Üretilen enerjinin daha kaliteli ve verimli kullanılması, iletim kayıplarının azalması, gerilim düşümlerinin önlenmesi, tüketicilerin maddi yük getiren reaktif bedeli ödemekle karşı karşıya kalmamaları için reaktif güç kompanzasyonu zorunlu hale gelmiş ve önemi de gün geçtikçe artmaya başlamıştır [1].

Bu gelişmelere paralel olarak, ülkemizde geleneksel reaktif güç kompanzasyon metodlarının dışında, yarı iletken tabanlı uygulamaların hızla arttığı gözlenmektedir. Bu çalışmada da,

alçak gerilimde reaktif güç kompanzasyonu özellikle hızlı değişen ve dengesiz yüklerin bulunduğu tesislerin kompanzasyonu için tristör kontrollü reaktör tabanlı bir fazlı SVK, PLC kullanılarak gerçekleştirilecektir.

SVK'ler günümüzde birçok uygulamada kullanılmaktadır. Örneğin güç sistemlerinde kompanzasyon ve gerilim regülasyonu SVK'nün kullanılmasında asıl amaçtır. Yapılan çalışmalarda SVK'lerin güç sistemi üzerinde birçok olumlu etkisinin olduğu görülmektedir. SVK, reaktör ve kapasitör anahtarlamalı sistemleriyle bağlı olduğu sistemin reaktif güç kontrolünü sağlayan en iyi ve en ucuz yöntemlerden biridir [2].

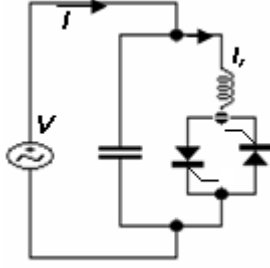
2. SVK ve Kontrolü

SVK, elektriksel güç sisteminin parametrelerini kontrol edecek şekilde ayarlanabilir kapasitif veya endüktif akım çıkışlı paralel bağlı bir reaktif enerji üreticisidir. SVK, gerilim kontrol çevrimlerinde, güç sistemi dalgalanmalarını etkili bir şekilde söndürebilir ve güç sistemlerinin kararlılığını geliştirebilir. İdeal bir SVK aktif ve reaktif güç kaybı olmayan, gerilimi referans gerilime eşit değişmeyen ve çok hızlı cevap verebilen kontrolör olarak tanımlanmaktadır [3].

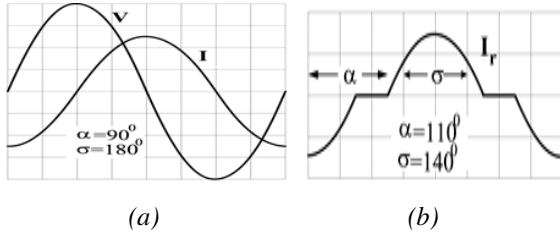
Özellikle hızlı değişen yüklerin bulunduğu ark ocağı, haddehaneler gibi demir-çelik tesislerinde SVK sistemleri günümüzde oldukça yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. SVK kullanımı, iletim hattının geçici durum kararlılığını önemli ölçüde iyileştirir. SVK sistemleri rüzgar santrallerinde de geniş kullanım alanına sahiptirler. Rüzgar santrallerinde kullanılan SVK sistemleri gerilim kararlılığını iyileştirmekle beraber, iletim hatlarından kaynaklanan gerilim düşmelerinde de rüzgar santralının devre dışı kalmasını önlemektedir [4].

SVK sistemleri dengesiz yüklerin kompanzasyonunda da etkin bir sonuç verir. Bu sistemler, statik anahtarlama yöntemi ile yüksek bir emniyete sahiptir [5].

2.1. SK-TKR Modeli



Şekil 1: SK-TKR temel yapısı.



Şekil 2: SVK sisteminde gerilim ve akımın değişimi
a) Gerilim ve akımın dalga şekli
b) Reaktörden geçen akım, tetikleme ve iletim açısı

Şekil 1.'den görüldüğü gibi SK-TKR tipi kompanzasyon, sabit bir kapasitöre paralel bağlı ve tristör ile kontrol edilebilen bir reaktörden oluşur. Tristörlerin ateşleme açılarının değiştirilmesi reaktör akımının temel bileşenini (I_r), dolayısıyla endüktif reaktif güç büyüklüğünü denetleyecektir. Şekil 2a.'da sisteme uygulanan gerilim ve çekilen akım görülmektedir. SK-TKR' de, σ iletim açısı ve α tetikleme açısı sayesinde reaktif gücü istenilen sınırlar içerisinde tutmak mümkün olacaktır. Şekil 2a.'da akım ve gerilim değişimi, Şekil 2b.'de ise tetikleme açısı, α , iletim açısı, σ , görülmektedir.

Şekil 1.'de reaktör devresine uygulanan gerilimin efektif değeri (V) ve buna bağlı olarak reaktör akımı (I_r) ihtiyaca göre sürekli olarak ayarlanarak değişken endüktif reaktif güç elde edilebilir. Her yarım periyotta (50 Hz, 10 ms), endüktans anahtarlayan tristörün kapama gecikmesi kontrol edilerek, suseptans değeri değiştirilebilir. Bu gecikme süresine ateşleme açısı, α , denir. Bu şekilde elde edilen reaktif güç kademeli olarak çalışan bir otomatik reaktif güç kontrol rölesinden çok daha hassas olacaktır [5].

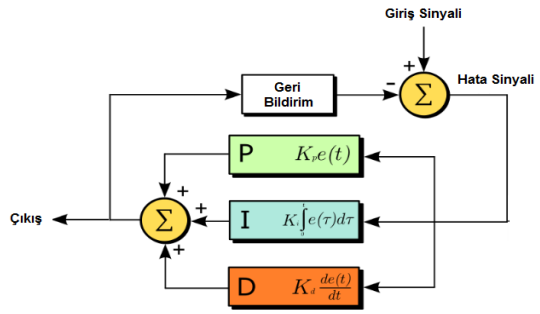
Sabit kapasitörler kapasitif reaktif güç üretirken, tristör kontrollü reaktör değişken endüktif reaktif güç tüketecektir. Kapasitör sürekli sabit kapasitif akım çekeceğinden, sistemin reaktif güç üretimi ateşleme açılarının değişimi ile sağlanmaktadır.

2.2. PID Denetim

PID denetleyici döngüsü yöntemi, yaygın endüstriyel denetim sistemlerinde kullanılan genel bir denetim döngüsü geribildirim mekanizmasıdır [6].

Bir PID denetleyici ölçülü bir süreç içinde değişen ve istenilen ayar noktası ile arasındaki farkı alarak bir "hata" değerini hesaplar. Denetleyici proses kontrol girişini ayarlayarak hatayı en aza indirerek istenilen ayar değerine ulaşmak için çalışır [6].

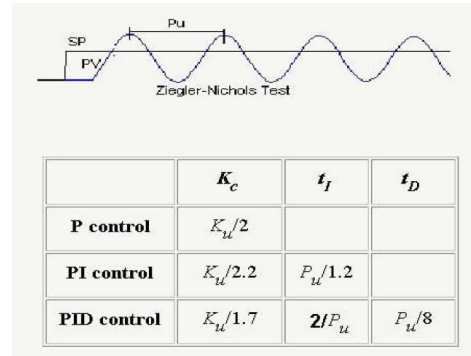
Şekil 3.'den görüleceği gibi, PID algoritması üç aşamalı kontrol olarak adlandırılmakta ve oransal P, integral I, türev D, ile gösterilmektedir [6].



Şekil 3: PID denetim blok diyagramı

Sezgisel olarak, P, I ve D mevcut değişim göz önüne alınarak zaman açısından sırasıyla; P mevcut hataya bağlı, I geçmiş hataların toplamı ve D gelecekteki hataların bir tahmini olarak yorumlanabilir [6].

Bu çalışmada PID denetim için PLC yazılımdaki PID kontrol bloğu kullanılmıştır. PID girişi reaktif güç, PID çıkışı ateşleme açısı sinyali ve PID set değeri ise "0 VAR" olarak belirlenmiştir. Parametreler Ziegler-Nichols metodu uygulanarak belirlenmiştir. Bu süreçte PID denetleyicinin I ve D parametreleri 0 yapılır. P parametresi sistem salınımına gidene kadar artırılır. Sistemin salınımına gittiği andaki P değeri " K_u ", salınım frekansı ise " P_u " olarak isimlendirilir. Şekil 4.'te metodun hesaplama tablosu görülmektedir [7].

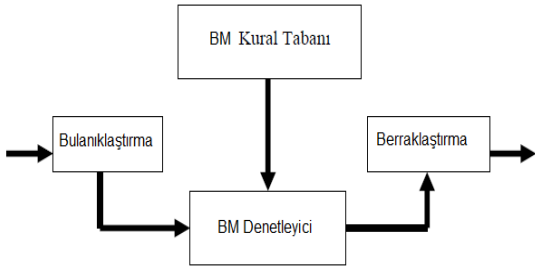


Şekil 4: Ziegler-Nichols metodu PID parametreleri hesaplama tablosu

2.3. BM Denetim

Günümüzde BM uzman sistemlerin doğrusal ve doğrusal olmayan denetim, örnek tanıma, finansal sistemler, işletme araştırmaları ve veri analizleri gibi birçok alanda yaygınlaştığı görülmektedir. Birçok sistemin, BM sistemler yardımı ile modellenilebilmesi ve hatta kopyalanabilmesi, gerek bilimsel alanda gerekse hayatımızda oldukça önemli gelişmelerin kapısını aralamıştır. BM, hem bulanık mantık yürütme algoritmaları hem de değişen girdi koşullarını ölçen algılayıcılar kullanmaktadır [8].

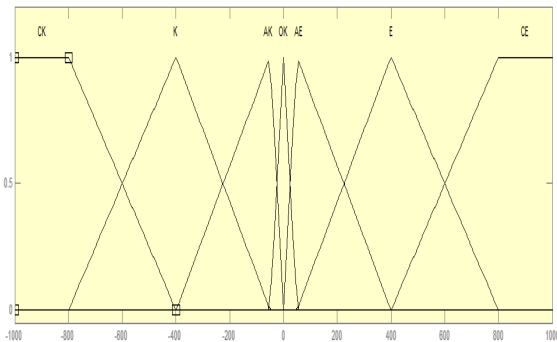
Şekil 5.'te BM sisteminin akış şeması görülmektedir. BM bir sistemin kuralları ile girdilerin tümünü, çıktıların tümüyle ilişkilendiren ve örtüşen alanlardan oluşan bir küme tanımlar. Bu anlamda BM sistem matematiksel bir neden-sonuç fonksiyonu ya da denklemine yaklaşır. Bu fonksiyonlar bir mikroişlemciye bir klima cihazının gücünü ya da çamaşır makinesinin hızını, yapılan en son ölçüme uygun olarak nasıl ayarlaması gerektiğini söyleyen kurallar olabilir [8].



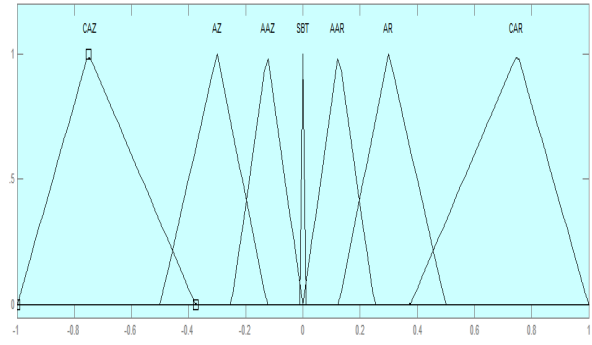
Şekil 5: Temel bir bulanık sistemin blok diyagramı

Bu çalışmada reaktif güç bulanık giriş olarak kullanılmış ve enerji analizörü aracılığı ile 0-10 V sinyale dönüştürülerek PLC' ye aktarılmıştır. Tristörlerin ateşleme kontrol sinyali bulanık çıkış olarak yine PLC yardımı ile 0-10 V sinyale dönüştürülerek kontrol edilmiştir.

Şekil 6.'da bulanık giriş yedi üyeli üçgen üyelik fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Şekil 7.'de bulanık çıkış ile ateşleme açılarının artım ve azaltım miktarı yine yedi üyeli üçgen üyelik fonksiyonu ile tanımlanmıştır [9].



Şekil 6: Reaktif güç-BM giriş üyelik fonksiyonu



Şekil 7: Ateşleme açısı artım ve azaltım miktarı BM çıkış kümesi üyelik fonksiyonu

Kural cümleleri ise;

If REAKTIF GUC is CK (Çok kapasitif) then SURUCU CIKISI is CAR (Çok artır)

If REAKTIF GUC is K (Kapasitif) then SURUCU CIKISI is AR (Artır)

If REAKTIF GUC is AK (Az kapasitif) then SURUCU CIKISI is AAR (Az artır)

If REAKTIF GUC is O (Omik) then SURUCU CIKISI is SBT (Sabit kal)

If REAKTIF GUC is AE (Az endüktif) then SURUCU CIKISI is AAZ (Az azalt)

If REAKTIF GUC is E (Endüktif) then SURUCU CIKISI is AZ (Azalt)

If REAKTIF GUC is CE (Cok endüktif) then SURUCU CIKISI is CAZ (Çok azalt)

şeklinde. Kurallar çerçevesinde oluşan, üyelik fonksiyonları ağırlık merkezinin sayısal karşılığı, denetleyici çıkışını oluşturmaktadır [10].

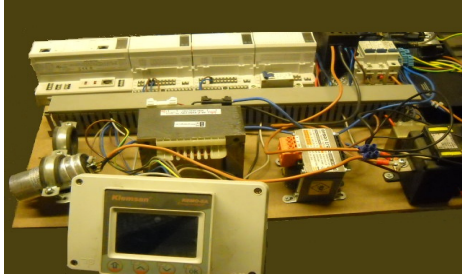
BM ile ateşleme açısına artırılması yada azaltılması yönünde, ayrıca ne kadar artırılacağı yada azaltılacağı yönünde -1 ve +1 arasında 0-10 V gerilim sinyali ile reaktif güç kontrol altında tutulmaya çalışılmıştır [10].

3. Materyal ve Metot

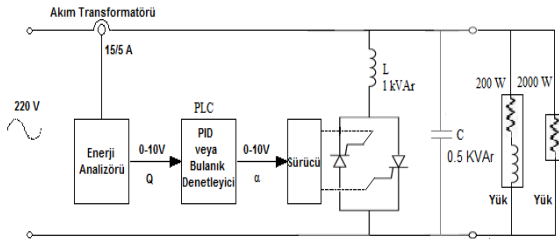
3.1. Materyal

Tasarlanan bir fazlı SVK sisteminin görünüşü Şekil 8.'de, prensip şeması ise Şekil 9.'da görülmektedir. Çalışma, Honeywell XL-800 PLC, 8 analog girişli, 6 analog çıkışlı ve 12 dijital girişli modül, 1 kVAr reaktör, 0,5 kVAr kapasitör, sistemin elektriksel parametrelerini ve 51. harmoniğe kadar ölçüm yapabilen enerji analizörü, 15/5 A akım transformatörü ve 40 A reaktör sürücüsü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elektriksel yük olarak ise bir fazlı, 200 W gücünde 0,6 geri

güç katsayılı asenkron motor ve 2000 W gücünde ısıtıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8: Gerçeklenen SVK sisteminin görünüşü

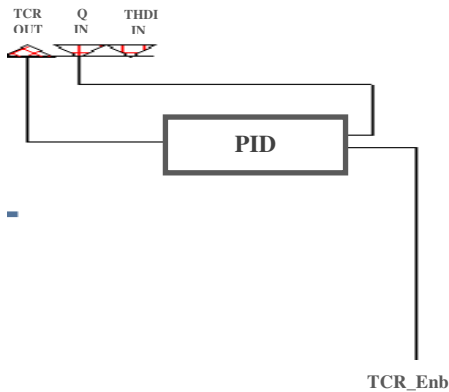


Şekil 9: SVK sisteminin prensip şeması

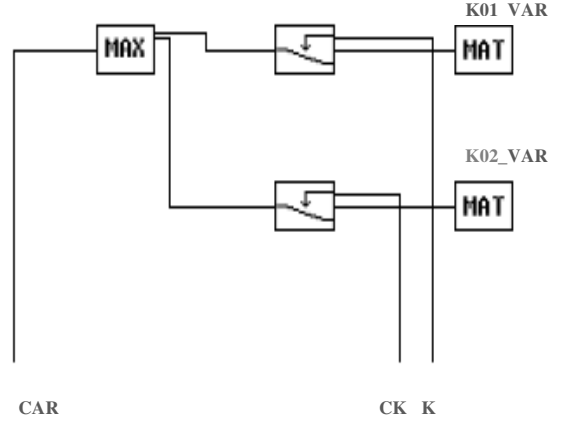
Şekil 9.'da prensip şeması verilen SK-TKR devresinde kapasitör anahtarlama yapılmamıştır. Kapasitör anahtarlama yapılmayarak sistemin kullanım ömrünün uzatılması sağlanmıştır [11].

3.2. Metot

SK-TKR devresinde reaktif gücü sürekli izleyen ve denetleyen bir sistem kurgulanmıştır. PLC üzerinde PID ve BM algoritma çalıştırılarak iki farklı kontrol metodu karşılaştırılmıştır. PLC programlarının yazılması için CARE 7.03.00 programlama editörü kullanılmıştır. Şekil.10 ve 11'de programdan kesitler görülmektedir. Yazılım grafik formatında kullanılmaktadır. Matematik operatörler sayesinde BM denetim üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır.



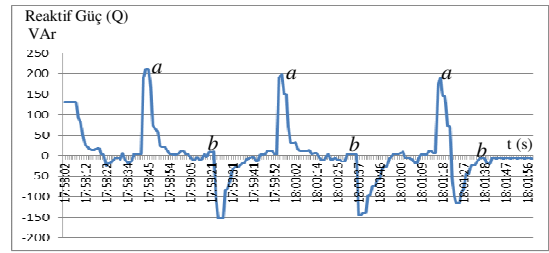
Şekil 10: PID denetim yazılımından bir kesit



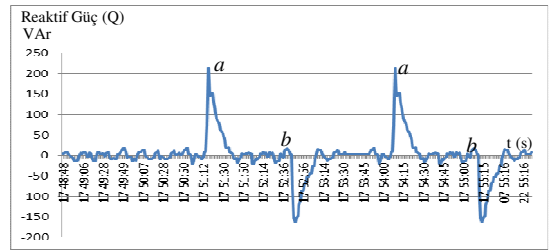
Şekil 11: BM denetim yazılımından bir kesit

4. Deneysel Sonuçlar

Tasarlanan SK-TKR SVK sistemi bir fazlı asenkron motor ve ısıtıcı ile yüklenerek test edilmiştir. PID ve BM denetim algoritmaları uygulanarak 1sn lik örnekleme, Honeywell XW Online programı yardımıyla alınmış olup, gerçek zamanlı olarak reaktif gücün (Q), zamana bağlı değişimleri ve harmonik spektrum grafikleri aşağıdaki grafiklerde görülmektedir.



Şekil 12: SVK sisteminin PID denetim reaktif güç grafiği

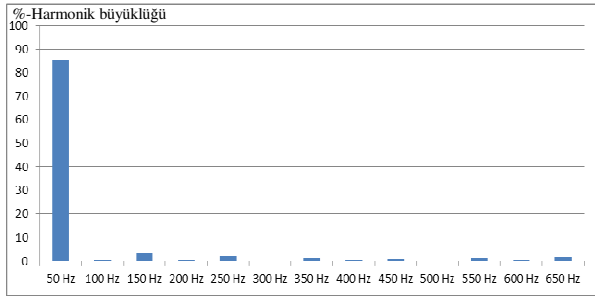


Şekil 13: SVK sisteminin BM denetim reaktif güç grafiği

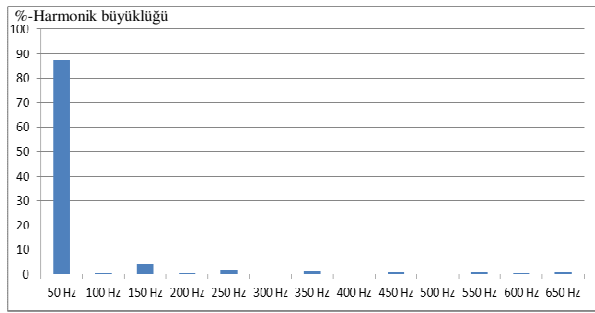
Şekil 12. ve 13.'da reaktif gücün zamana bağlı değişimi görülmektedir. Grafiklerde yükün devreye girdiği "a" ve yükün devreden çıktığı "b" noktaları görülmektedir. PID ve BM algoritmaları ile denetimle reaktif gücün sıfıra yakın olduğu grafiklerde görülmektedir. Her iki denetimde de reaktif güç kararlılığı sağlanmıştır.

Çizelge 1: SVK sisteminin PID ve BM denetim anlık ölçüm parametreleri

| PARAMETRE | PID DENETİM | BM DENETİM |
|----------------------|-------------|------------|
| Gerilim <V> | 213.9 | 215.8 |
| Akim <A> | 10.73 | 10.83 |
| Aktif güç <W> | 2282.96 | 2325.66 |
| Reaktif güç <VAR> | -22.93 | -12.55 |
| Görünür güç <VA> | 2283.10 | 2325.70 |
| Cos Ø | -0.99 | -0.99 |
| PF | -0.99 | -0.99 |
| Toplam Vhbozulma <%> | 1.39 | 1.38 |
| Toplam lhbozulma <%> | 4.80 | 4.37 |



Şekil 14: SVK sisteminin BM denetim THDI spektrum grafiği



Şekil 15: SVK sisteminin PID denetim THDI spektrum grafiği

Çizelge 1 ile Şekil 14. ve 15. te' de enerji analizöründen anlık olarak ConfigEA V1.0.1.2 programı yardımıyla alınan PID ve BM denetim algoritmalarına ait elektriksel ölçüm parametreleri ve 13. harmoniğe (650 Hz) kadar olan harmonik spektrum grafikleri görülmektedir. PID denetimde THDI ortalaması % 4.8, BM denetimde % 4.37 dir. PID denetimde 3. akım harmoniği (150 Hz) % 2.91, BM denetimde ise % 2.67 dir. Her iki denetim sonucunda güç faktörü (PF) 0.99 dur ve reaktif güç kararlılığı sağlanmıştır.

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, SVK sistemi, SK-TKR metodu ile alçak gerilim tesislerinde uygulanabilecek bir fazlı kompanzator PID ve BM denetim metodu ile sistem güç faktörünü istenilen seviyede tutacak bir kontrol sistemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada programlama, veri kaydetme kolaylığı ve endüstriyel ortamlarda kullanılma üstünlüğü bakımından denetleyici olarak PLC tercih edilmiştir.

Yapılan çalışmada PID ve BM denetim olmak üzere iki farklı denetim metodu karşılaştırılmış, BM ile denetimde meydana

gelen akım harmoniklerinde, PID denetime göre % 8.9 daha az olduğu görülmüştür.

İki farklı denetim metodunda da reaktif güç denetiminde benzer kararlılık elde edilmiştir.

PID parametrelerinin ayarlama zorluğu dikkate alındığında BM ile denetimde bu şekilde bir sorun olmadığı ve dilsel ifadelerden faydalandığı için daha kolay bir algoritma geliştirilmiştir.

Şebeke de meydana gelen gerilim değişimleri kapasitörün reaktif gücünün artmasına yada azalmasına sebep olmaktadır. SVK sistemi ile sürekli bir denetleme olduğu için bu değişimler anında hissedilip sistemin reaktif güç kompanze kararlılığı sürekli hale getirilmiştir.

6. Kaynaklar

- [1] Vardar T., Yıldırım F. ve Çam E., “Yeni Nesil Kompanzasyon Sistemi SVC”, *TMMOB Ankara EMO Haber Bülteni*, 14-17, (2011).
- [2] Arnold R., “Solution to the Power Quality Problem”, *Power Engineering Journal*, 15:65-73, (2001)
- [3] Akgün Ö., “Statik VAR Kompanzator ve Tristör Kontrollü Reaktör Tasarımı”, *Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 18, (2006).
- [4] Amenedo R., Alves J.L., Arnaltes R. ve Ríos S., “Improving Voltage Stability in a Wind Farm by using SVC”, *Proceeding of the European Wind Energy Conference*, 3, (2004)
- [5] Kıyan M., “Tristör Denetimli Reaktörlü Alçak Gerilim Tepkin Güç Kompanzasyonunun Gerçekleştirilmesi”, *Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 20, (2010)
- [6] İnternet: <http://tr.wikipedia.org/wiki/PID> (2012).
- [7] Kuşçu H., “Otomatik Kontrol Ders Notları”, *Trakya Üniversitesi*, http://hilmi.trakya.edu.tr/ders_notlari/Otomatik_kontrol/Otomatik_Kontrol_6_PID.pdf, 3, 2009
- [8] Alcı M. ve Karatepe E., “ Bulanık Mantık ve Matlab Uygulamaları “, *Ege Üniversitesi Yayınları*, 118-(2010)
- [9] Kurt H. ve Aslan Y., “Kayaboğazı Hidroelektrik Santralinin Elektrik Enerji Üretim Kapasitesinin İncelenmesi”, *ELECO Makalesi*, (2013)
- [10] Mumyılmaz B. ve Vardar K., “Ark fırınları için fuzzy kontrole dayalı reaktif güç kompanzatorü tasarımı”, *ELECO Sempozyum Bildirisi*, (2002)
- [11] Kocatepe C. “Endüstriyel Tesislerde Reaktif Güç Kompanzasyonu İçin Statik VAR Kompanzasyon Sisteminin Gerçekleştirilmesi”, *EMO Yayınları , Proje Çalışması*, (2005)