

PARALEL PASİF/PARALEL AKTİF HİBRİT GÜÇ SÜZGEÇLERİ

Cenk GEZEGİN¹

Muammer ÖZDEMİR²

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, 55129, Samsun

¹e-posta: cenkgezegin@gmail.com

²e-posta:ozdemirm@omu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, doğrusal olmayan yüklerde harmoniklerin yok edilmesi ve tepkin güç kompanzasyonu için kullanılan paralel pasif süzgeçler (PPS) ile paralel aktif güç süzgeçlerinin (PAGS) birleşmesinden oluşan hibrit bir güç süzgeç sistemi incelenmektedir. PAGS'i, bir DA sığacı, denetim ve üç fazlı köprü evirici devresinden oluşur. Bu çalışmada denetim tekniği olarak anlık güç teorisi yöntemi kullanılmıştır. Pasif süzgeçler ise direnç, sığaç ve endüktans elemanlarından oluşmaktadır. Doğrusal olmayan yük olarak omik-endüktif yüklü üç fazlı bir tristörlü köprü doğrultucu kullanılmaktadır. Bu makalede tepkin güç kompanzasyonu ve harmonik süzmede, pasif süzgeç, sade ve hibrit PAGS' i simülasyon sonuçları verilmektedir. Sade PAGS' nin PPS ile birleştirilmesi sonucunda oluşan hibrit PAGS' lerin kVA oranının düşürülerek maliyetinin azaltıldığı, tepkin güç kompanzasyonu ve harmoniklerin süzülmesindeki başarımları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Paralel pasif süzgeç, hibrit aktif güç süzgeçleri

1. GİRİŞ

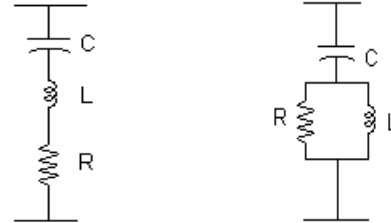
Endüstride giderek artan güç dönüştürücüleri ve diğer doğrusal olmayan yükler güç sistemlerinde gerilim ve akım dalga şeklinde bozulmalara neden olur. Güç hatlarındaki harmonikler, dağıtım sistemlerinde artan güç kayıplarına, haberleşme sistemlerinde girişim problemlerine neden olmaktadır. Alternatif akım sistemlerinde kayıpların en aza indirilmesi ve sistemin enerji kapasitesinin artırılması için tepkin gücün kontrolü gereklidir. Bir güç sisteminin tepkin güç dengesi; şebeke aktif kayıplarını, elemanların ısınmasını ve bazı durumlarda güç sisteminin kararlılığını etkilemektedir[1].

Geleneksel olarak harmoniklerin yok edilmesinde kullanılan PPS' ler ayrıca tepkin güç de ürettiklerinden kullanımı oldukça yaygındır. Böylece güç sisteminde istenmeyen akım harmonikleri süzmede ve gerilim harmoniklerinin oluşması engellenmektedir.

2. PASİF SÜZGEÇLER

Pasif süzgeçler, kaynak ile alıcı arasına konulan ve temel frekans dışındaki bileşenleri yok eden seri bağlı sığaç (C) ve endüktansın (L) bileşimidir. Bazı durumlarda omik direnç (R) de ilave edilebilir.

Pasif süzgeçlerde amaç, yok edilmek istenen harmonik bileşen frekansında rezonansa gelecek L ve C değerlerini belirlemektir. Her bir harmonik bileşeni için onu rezonansa getirecek ayrı bir süzgeç kolu konulması gereklidir. Pasif süzgeçler endüktif ve kapasitif reaktansları birbirine eşit yapan frekansa ayarlanabilir. Kalite faktörü Q, ayar keskinliğini belirlemektedir. Yüksek Q süzgeci, düşük harmonik frekanslardan birine ayarlanır. Düşük Q süzgeci ise, geniş bir frekans aralığında düşük bir empedansa sahiptir ve yüksek mertebeli harmonikleri süzme için kullanıldığında yüksek geçiren süzgeç olarak da düşünülür [2].



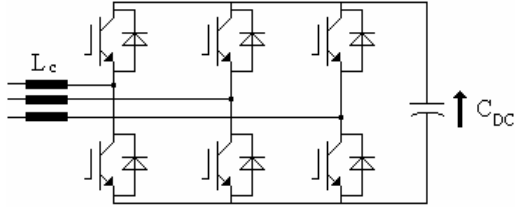
Şekil 1. a) Tek ayarlı süzgeç devresi b) İkinci mertebeli yüksek geçiren süzgeç devresi

Pasif süzgeçlerin büyük ölçüde kullanılmasına rağmen süzgeç karakteristiğinin kaynak empedansından çok fazla etkilenmesi, temel frekansta ürettiği tepkin gücün baradaki güç faktörünü istenilen değer dışına çıkarabilmesi, kaynak ve güç sistemi ile aralarında paralel ve seri rezonanslar meydana gelmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır[3]. Bu problemleri yok etmek için aktif güç süzgeçleri geliştirilmiştir.

3. PARALEL AKTİF GÜÇ SÜZGEÇİ

Son yıllarda aktif güç süzgeçlerinin güç sistemlerinde var olan harmoniklerin süzülmesi ve güç faktörünün düzeltilmesi konusunda verimlilikleri ve başarımları açısından bir çözüm olarak önerilmektedirler[4]. Aktif güç süzgeci (AGS) temel olarak Şekil 1.'de görülen gerilim kaynaklı eviriciden oluşmaktadır. Eviricinin

DA taraftaki C_{DC} sığacı bir DA enerji depolama elamanı olarak çalışmaktadır. Bu sığaç uçlarında sabit bir doğru gerilim sağlamak ve AGS'inin kayıplarını karşılamak için şebekeden yalnızca küçük bir akım çekilir. Güç sistemi ve evirici arasında bağlı hat endüktansları (L_c) ise AGS'inin akımlarının denetlenebilmesini sağlamaktadır.



Şekil 2. AGS' inin temel yapısı

Paralel aktif güç süzgeçleri yüke paralel bağlanarak yük akımının harmoniklerini yok etmek ve tepkin güç kompanzasyonu yapmak için sisteme ters fazda ve eşit büyüklükte akımlar verir. Böylece kaynaktan çekilen akımların dalga şekli sinüsoidal yapılmış olur [5].

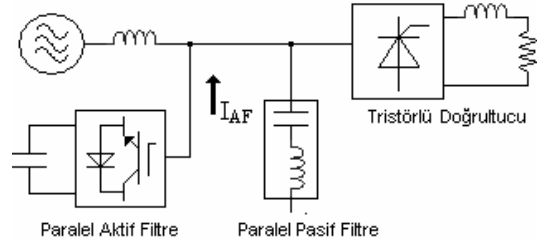
Bu çalışmada benzetimi yapılan PAGS' i denetim tekniği olarak anlık güç teorisi veya $p-q$ teorisi de denen teori kullanılmıştır. Bu teori, nötr hatlı veya hatsız üç fazlı güç sistemindeki anlık değerlere bağlıdır. Akım ve gerilim dalga şekillerinde olduğu kadar kararlı durum veya geçici durum işletiminde de geçerlidir. $p-q$ teorisi, anlık güç bileşenleri hesaplamasının ardından, $a-b-c$ koordinatlarındaki üç fazlı akım ve gerilimlerin, $\alpha-\beta$ koordinatlarına cebirsel dönüşümünden(Clarke Transformation) oluşmaktadır.

4. HİBRİT AKTİF GÜÇ SÜZGEÇLERİ

Pasif elemanlar olan sığaçlar ve reaktörler ile son yıllarda aktif güç süzgeçleri birlikte kullanılmaktadır. Aktif ve pasif güç süzgeçlerinin beraber kullanılmasındaki amaç aktif güç süzgeçlerinin akım ve gerilim değerlerini düşürüp başlangıç maliyetini azaltmak ve verimini yükseltmektir. Yani eskiden var olan pasif süzgeç sistemlerine aktif süzgeçler eklenebilir. Hibrit süzgeçlerde hem aktif süzgeçlerin hem de pasif süzgeçlerin avantajları birleştirilmiştir. Pasif süzgeçler temel harmonikleri süzme ve tepkin güç kompanzasyonu yaparken, aktif süzgeç hassas ve dinamik yapısı sayesinde arta kalan harmonikleri süzme ve kompanzasyon görevlerini yerine getirir.

Hibrit süzgeçler sadece harmonik kompanzasyonu için değil aynı zamanda kaynakla yük arasında harmonik izolasyon, gerilim regülasyonu ve dengesizlikler için de kullanılır [4]. Çeşitli hibrit AGS konfigürasyonları ve yapıları [6] da ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Bu çalışmada aşağıda temel bağlantı şekli gösterilen paralel pasif süzgece paralel aktif güç süzgeci eklenerek oluşturulmuş bir konfigürasyon incelenecektir.



Şekil 3. Paralel pasif ve paralel aktif güç süzgeci konfigürasyonu

5. BENZETİM ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

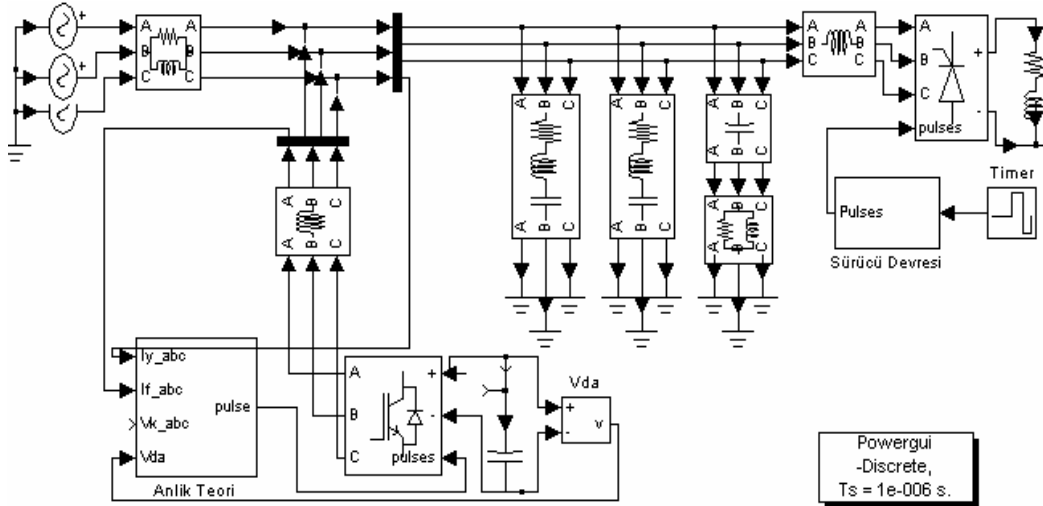
Bu konfigürasyonu tam olarak anlayabilmek için öncelikle sistemde yalnızca paralel pasif süzgeç bağlandığında, ve daha sonra sadece aktif güç süzgeci olması durumlarında elde edilen benzetim sonuçları, her ikisinin birlikte kullanıldığı hibrit sistemden elde edilen benzetim sonuçlarıyla karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırma için aynı yük ve sistem geriliminde Matlab/Simulink Power System Toolbox' da benzetimler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Sistem parametre değerleri

V_s (Vrms/faz)	302
F (Hz)	50
R_s (ohm)	1
L_s (mH)	1
L_f (mH)	0,3
C_{DC} (μ F)	1000
L_{AC} (mH)	1
R_L (ohm)	5
L_L (mH)	8

Benzetimi yapılan sistemde kullanılan tristör kontrollü omik-endüktif yükten geçen akım tetikleme açısı bir zamanlayıcı (Timer) kullanarak ayarlanmış ve değerler bütün benzetimlerde aynı tutulmuştur. Tetikleme açısı sırayla 30° ile başlayarak 0,1. saniyede 60° 'ye çıkarılmış 0,16. saniyede 10° 'ye düşürülmüş ve 0,20. saniyede tekrar 30° ye yükseltilmiştir. Böylece sistemde geçici ve kalıcı durumlar gözlemlenmiştir.

Başlangıçta yükün harmoniklerini süzme ve tepkin güç kompanzasyonu için gerekli tepkin enerjisi sağlamak amacıyla sisteme paralel pasif süzgeç bağlanmıştır. Kullanılan pasif paralel süzgeçler, sırasıyla 5. ve 7. harmonikler için tek ayarlı ve 11' in üzerindeki harmonikler için ikinci tip sönümlüdür.



Şekil 4. Anlık güç teorisi yöntemiyle PAGF ve PPF'nin Matlab/Simulink blok diyagramı.

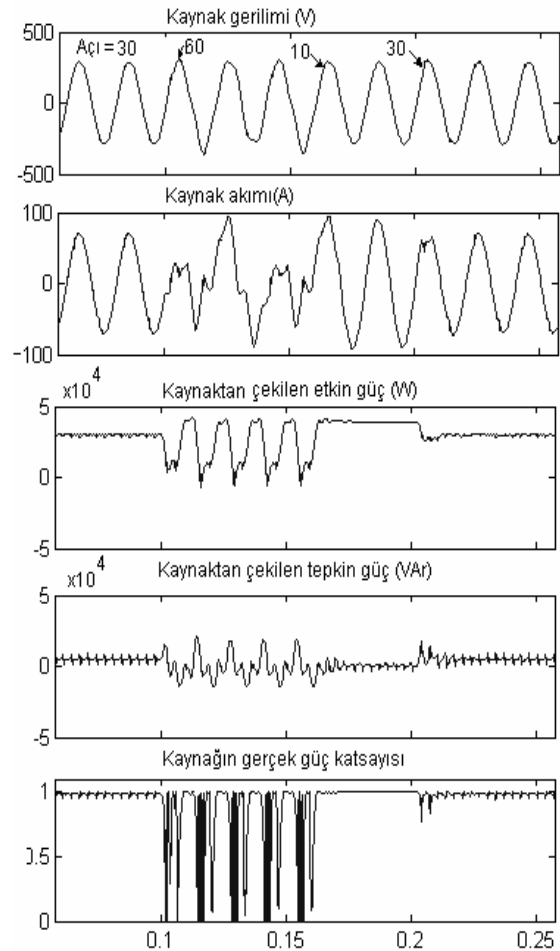
Çizelge 2. Pasif paralel süzgeç parametre değerleri

R ₅ (ohm)	0,122
L ₅ (mH)	2.7
C ₅ (µF)	150
R ₇ (ohm)	0,087
L ₇ (mH)	1,4
C ₇ (µF)	150
R ₁₁ (ohm)	9,69
L ₁₁ (mH)	0,56
C ₁₁ (µF)	150

Şekil 5.'deki benzetim sonuçları incelendiğinde tetikleme açısının sistemde neleri etkilediği açıkça görülmektedir. Tristörün tetikleme açısı değiştikçe kaynaktan çekilen akımda aniden değişmektedir. Ani değişen akımın geçiş süresi boyunca dalga şeklindeki bozulmalar kaynak geriliminin de bozulmasına neden olmaktadır.

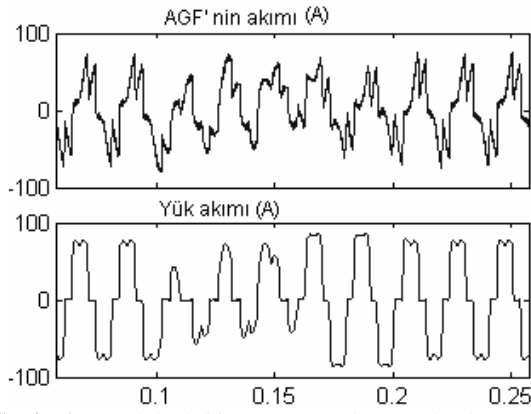
Açının 0,1. saniyede 30°'den 60°'ye çıkması yükün THD_i' sini %26'dan %60'e yükseltmiştir. Dolayısıyla kaynaktan çekilen akımın da THD_i' si %6,50'den %115'e çıkmış ve gerilimin THD_v' si %1,50 den %6,80'e yükselmiştir. Temel frekandaki gerilim 302 V (tepe)' den 310 V a çıkmıştır. Açının her değişmesinde kaynak akımı ve geriliminde bozulmalar devam etmiştir.

Kalıcı durum olan tetikleme açısı 30° olduğu bölgede THD_v %1,53 ve THD_i %6,48 dir. Yükün harmoniklerini süzmek için kullanılan paralel pasif süzgeçler toplam 15kVAR değerinde olup yükün kaynaktan çektiği tepkin güçteki değişmelere karşın değeri sabit kalmaktadır. Görüldüğü gibi yük kaynaktan tepkin güç çekmektedir. Pasif süzgeçler her zaman sabit tepkin güç ürettiklerinden gerçek güç katsayısını düzeltmede fazla başarılı olamadığı görülmüştür.

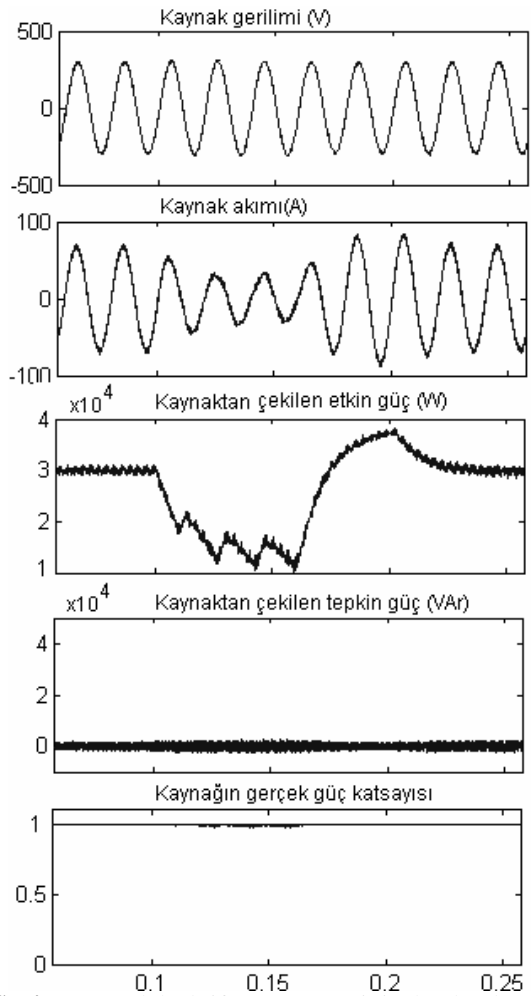


Şekil 5. Paralel pasif süzgeç benzetim sonuçları.

Şekil 6.'da tetikleme açısının değişimi sırasındaki yük akımı ve PAGS'nin yükün harmoniklerini süzmek ve tepkin güç kompanzasyonu için gerekli ürettiği akımlar görülmektedir. Şekil 7.'den PAGS tristörün tetikleme açısının değişmesi sonucundaki geçici ve kalıcı durumlarda oldukça iyi başarı göstermektedir. 0,1. saniyede geçici durumlarda gerilimin THD' sini %1,14 de akımın THD' sinide %10.67' de tutmuştur.



Şekil 6. Paralel aktif güç süzgeci ve yük akımının tristörün tetikleme açısına bağlı değişiminin benzetim sonuçları.

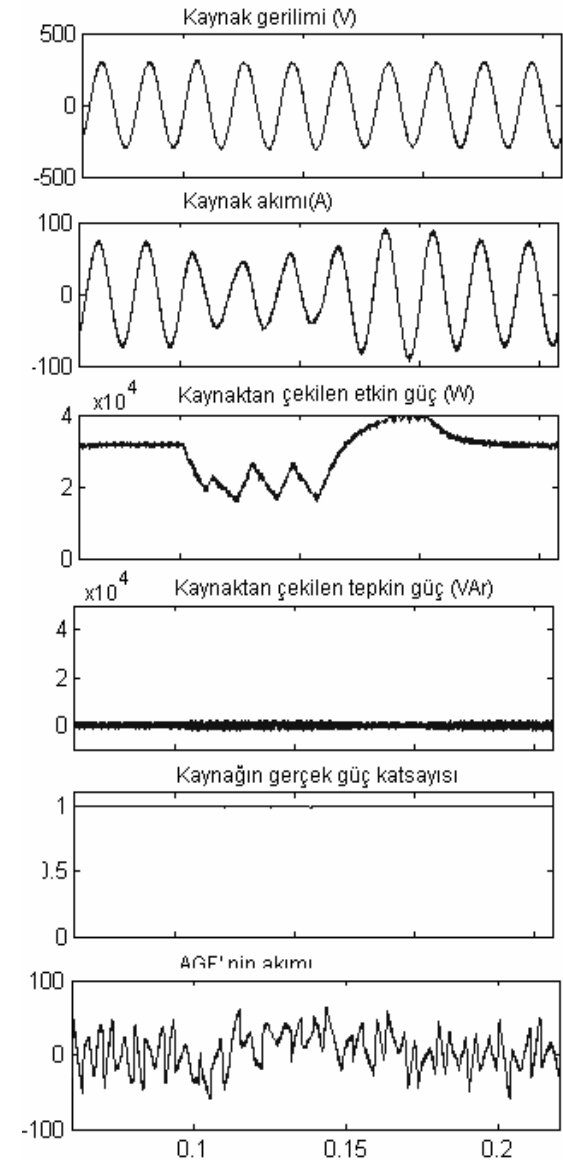


Şekil 7. Paralel aktif güç süzgecinin bağlı olması durumundaki benzetim sonuçları.

Kalıcı durum olan tetikleme açısı 30° olduğu bölge THD_V %0,47 ve THD_I %1,64 dir. PAGES mükemmel bir tepkin güç kompanzasyonu yaparak kaynaktan kalıcı ve geçici durumlarda tepkin enerji çekilmesine izin vermemiştir. Dolayısıyla kaynağın gerçek güç katsayısı da her zaman bir değerindedir. Sade PAGES' den sistemin harmoniklerini süzmek

ve tepkin gücü karşılamak için geçen en yüksek akımın tepe değeri geçici durumda 86 amperdir. Kalıcı durum olan tetikleme açısı 30° olduğu bölgede ise akımın tepe değeri en yüksek 78 amperdir.

Şekil 8.'da paralel aktif güç süzgeci ile paralel pasif süzgeç birlikte kullanılmıştır. Aktif süzgecin dinamik yapısı sayesinde geçici ve kalıcı durumlarda pasif süzgeçten arta kalan harmoniklerin kaynaktan çekilmesini önlemektedir. Tristörün tetikleme açısı değiştiği durumlarda kaynak geriliminin THD' si %1,08 yi akımın THD' si % 10,45 yükselmiş fakat kısa sürede gerekli süzmeyi yapmıştır. Kalıcı durumdaki THD_V %0,34 ve THD_I %1,25' dir. Hibrit AGS' den geçen en yüksek akımın tepe değeri geçici durumda 65 amper ve kalıcı durum da 40 amperdir.



Şekil 8. Paralel pasif süzgeç ile paralel aktif güç süzgecin birlikte kullanıldığı hibrit sistemin benzetim sonuçları.

Bu benzetim sonuçlarından yararlanarak kalıcı durumlar için PAGES 'lerinin VA oranları aşağıdaki denklemden hesaplanabilir[7].

$$P_{AGF} = \sqrt{3} \times \frac{V_{DC}}{\sqrt{2}} \times \frac{I_{Fmax}}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

Her iki durumda da PAGES 'nin sığacının uçlarındaki gerilim V_{DC} 800V olduğuna göre sade PAGES' inin VA oranı denklem (1)' den 54kVA ve hibrit PAGES' inin VA oranı 28,2kVA olarak bulunur.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada doğrusal olmayan bir yük olan tristör denetimli omik-endüktif yükün geçici ve kalıcı durumlarında harmonik yok etme ve tepkin güç kompanzasyonu durumları incelenmiştir.

Paralel pasif süzgecin geçici durumlarda hızlı süzme yapamaması ve sabit tepkin güç üretmesi nedeniyle, kaynağın gerçek güç katsayısı istenildiği gibi düzeltilememektedir. Sade PAGES'i geçici ve kalıcı durumlarda harmonik süzme ve tepkin güç kompanzasyonunda çok başarılıdır. Dinamik yapısı ile geçici ve kalıcı durumlarda kaynaktan çekilen akımın sinüsoidal olmasını sağlamaktadır.

Paralel pasif süzgeç ile paralel aktif güç süzgecinden oluşan hibrit AGS' inde PAGES ve PPS özelliklerinden bir arada faydalanılmıştır. PAGES'i daha çok düşük harmonikleri(5. ve 7.) yok ederken yüksek harmonikler (11. ve üstü) PPS tarafından süzülmemektedir yani aralarında harmonik paylaşımı vardır.

Hibrit sistemde PAGES'i, PPS'in kaynakla arasındaki oluşabilecek rezonanstan kurtarır. PAGES dinamik tepkin güç kompanzasyonu görevini görmüştür. PAGES kaynakla yük arasındaki harmonik izolasyonu tam sağlamış ve PPS' den arta kalan harmonikleri süzmüştür.

PAGES' inin ve hibrit sistemin kalıcı durum THD' leri karşılaştırıldığında hibrit daha iyi sonuçlar vermiştir. Bunun sebebi yüksek geçirgen pasif süzgeç PAGES 'inin yüksek frekanslı anahtarlama harmoniklerini süzmüş ve kaynaktan görülmesini engellemiştir. PPS yüksek harmonikleri yok ettiğinden hibrit sistemde PAGES ' inin anahtarlama frekansı azalmıştır.

PAGES' i geçici durumlardaki gerilim regülasyonu ve dengesizliğini önlemekte de başarılıdır. Böylece kaynaktan beslenen diğer hassas cihazların çalışmasını engelleyecek durumlar ortadan kaldırılmıştır.

Aynı koşullardaki sade PAGES 54kVA iken hibrit PAGES 28,2kVA' dir. Bu VA oranı önemli ölçüde PAGES fiyatına yansıtacağından hibrit AGS'i kullanımı giderek önem kazanmaktadır. PPS sistemleri zaten tesislerde bulunuyor olması bu hibrit sistemin ilk kurulum maliyetini düşürecektir.

Güç sistemlerinde harmoniklerin yok edilmesi ve tepkin güç kompanzasyonu yapmak için kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Burada önemli olan yüksek performans/düşük maliyet durumunu sağlamaktır. Dolayısıyla bu iki özelliği PPS ve PAGES 'sinden oluşan bu hibrit aktif güç süzgeci sağlamaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi Araştırma Fonu "Sayısal Kompanzasyon Sistemi Tasarımı" MF 100 nolu projesi kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Özdemir Ş., Kuşdoğan Ş., Doğrusal Olmayan Yüklerde Aktif Güç Filtresi ile Harmoniklerin Filtrelenmesi ve Reaktif Güç Kompanzasyonu, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 20, No 2, 225-232, 2005.
- [2] Kocatepe, C., Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2001.
- [3] Moran, L. A., Dixon, J. W., Wallace, R. G., A Three-Phase Active Power Filter Operating with Transactions on Industrial Electronics, Vol 42, No 4, 1995.
- [4] Akagi, H., New Trends in Active Filters For Power Conditioning , IEEE Trans. Ind. Appl., Vol 32, Page 1312-1322, 1996.
- [5] Sing, B., Al-Haddad, K., Chandra, A., A Review of Active Filters for Power Quality Improvement, IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol 46, No 5, Page 133-138, 1999.
- [6] Peng, F. Z., Harmonic Sources And Filtering Approaches, Industry Applications Magazine IEEE, Vol 7, Page 18-25, 2001.
- [7] Akagi, H., Active Harmonic Filters, Proceedings of the IEEE, Vol 93, No 12, 2005.