

TESİSLERDE MEYDANA GELEN PARALEL REZONANS OLAYININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ

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 yük bulunan tesislerde tepkin güç kompanzasyonu incelenmiştir. Tepkin güç kompanzasyonu yapmak için kullanılan sığaç grupları bir taraftan da daha yüksek harmonik seviyelerine ve rezonansa sebep olarak gerçek güç katsayısının daha da bozulmasına sebep olurlar. Bunun için MATLAB/Simpower’da bir tesis modellenerek kompanzasyon sonucunda meydana gelen güç katsayıları ve harmonik bozunumlar incelenmiştir. Paralel rezonans için nadir olarak görülen 11. harmonik seviyesinin tesis üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Kompanzasyon için kullanılan sade ve reaktörlü sığaç gruplarından her ikisi içinde A fazına ait benzetim sonuçları verilmektedir. Benzetim sonuçlarından harmonikli tesislerde tepkin güç kompanzasyonu için uygun reaktörlü sığaç grupları kullanıldığında paralel rezonans olayının ortadan kalktığı ve istenen gerçek güç katsayısına ulaşıldığı sonuçlarına varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Paralel rezonans, tepkin güç kompanzasyonu, harmonik süzgeç

1.GİRİŞ

Günümüzde hızla artan enerji ihtiyacı elektrik enerjisine olan talebi her geçen gün arttırmaktadır. Talepteki bu artış daha güvenilir ve daha kaliteli bir enerji kavramını ortaya çıkarmıştır. Kaliteli bir elektrik enerjisi sağlayabilmek için; enerjinin sürekliliği, gerilim ve frekansın sabitliği, güç faktörünün bire yakınlığı, faz gerilimlerinin dengeli olması ve gerilimdeki harmonik miktarının belirli değerlerde kalması gibi bir takım kriterler göz önüne alınması gereklidir[1].

Enerji sisteminden sağlanabilecek maksimum etkin enerji miktarı, sistemden karşılanan tepkin enerjinin azaltılması ile artırılabilir. Enerji iletim hatlarında tepkin akımın taşınması, bileşke akımın artmasına dolayısıyla hatlardaki etkin kayıpların artmasına neden olur. Tepkin akımının azaltılması tepkin gücün azaltılmasıdır. Buda tüketici sistemlerin şebekeden çektikleri tepkin gücün bir bölümünü başka bir kaynaktan (sığaçlar, senkron makinalar) temin ederek şebekeden çekilen tepkin gücün azaltılması ile olur.

Bu işleme tepkin güç kompanzasyonu denir [2]. Bu konuda enerji sektörünün bazı yaptırımları bulunmakla birlikte ilerleyen yıllarda daha da arttırılmaktadır.

Şu anda uygulanmakta olan yönetmelik gereği şebekeden çekilen tepkin gücün etkin güce oranı %33 (endüktif) ve şebekeye verilen tepkin gücün etkin güce oranı %20 (kapasitif)’dir. Bu değerler Ocak 2007 den itibaren %25 (endüktif) ve %15 (kapasitif), Ocak 2009 dan itibaren de %14 (endüktif) ve %10 (kapasitif) olacaktır[3]. Bu sınırlar dışına çıkan tesislere cezai işlemler yapılmaktadır[4].

Son yıllarda giderek gelişen yarı iletken teknolojisi artık bu elemanların kullanımını yaygınlaştırmıştır. Bu yarı iletken elemanlar doğrusal olmayan yüklere dolayısıyla da sistemden doğrusal olmayan harmonikli akımlar çekilmesine neden olmaktadır. Sistemde oluşan akım ve gerilim harmonikleri enerjinin kalitesini azaltmaktadır. Ayrıca tesislerdeki doğrusal olmayan yüklerin varlığı güç katsayısının istenilen değerlere gelmesini engellemektedir.

Doğrusal olmayan yüklerin şebekedeki bozucu etkilerini sınırlamak amacıyla üretici ve kullanıcıya bir takım sınırlamalar ve standartlara uyma zorunluluğu getirilmiştir. Teknolojik gelişmelerle birlikte, harmoniklerin elektrik enerji sistemlerindeki etkilerinin her geçen gün artması bu etkilerin tarifi, sınırlandırılmaları ve yok edilmeleri için bazı büyüklükler tanımlanmasını zorunlu hale getirmiştir [5].

2. TANIMLAR

Yarı iletken teknoloji kullanılarak yapılan doğrusal olmayan yükler güç sistemlerinde temel akım/gerilim bileşeninin tam katları olan akım/gerilim harmonikleri oluşturmaktadır. Güç sistemlerinde harmonik bileşenleri bulunan, gerilim ve akımın ani değerleri Fourier serileri ile aşağıdaki biçimde ifade edilebilir:

$$v(t) = \sum_{k=1}^{\infty} V_k \sin(k\omega_0 t + \delta_k) \quad (1)$$

$$i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} i_k \sin(k\omega_0 t + \theta_k) \quad (2)$$

Gerilim ve akımın etkin değeri;

$$V_{rms} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{V_k^2}{2}} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} V_{krms}^2} \quad (3)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{I_k^2}{2}} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} I_{krms}^2} \quad (4)$$

Ortalama güç;

$$P_{ort} = \sum_{k=1}^{\infty} V_{krms} I_{krms} \cos(\delta_k - \theta_k) = P_{1ort} + P_{2ort} + \dots \quad (5)$$

burada her harmoniğin artı veya eksi olarak ortalama güce etki yaptığı görülür.

Gerçek güç katsayısı;

$$PF_{gerçek} = \frac{P_{ort}}{S} = \frac{P_{ort}}{V_{rms} I_{rms}} \quad (6)$$

Sinüsoidal durumlarda gerçek ve deplasman güç faktörleri;

$$PF_{gerçek} = PF_{deplasman} = \frac{P_{ort}}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{\frac{V_1}{\sqrt{2}} \frac{I_1}{\sqrt{2}} \cos(\delta_1 - \theta_1)}{\frac{V_1}{\sqrt{2}} \frac{I_1}{\sqrt{2}}} \quad (7)$$

$$PF_{gerçek} = PF_{deplasman} = \cos(\delta_1 - \theta_1) \quad (8)$$

Harmonik seviyelerinin sık kullanılan bir ölçütü olan toplam harmonik bozunum yüzde olarak aşağıdaki gibidir,

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} V_{krms}^2}}{V_{1rms}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} V_k^2}}{V_1} \cdot 100\% \quad (9)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_{krms}^2}}{I_{1rms}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1} \cdot 100\% \quad (10)$$

açıkça hiçbir harmonik yoksa o zaman THD sıfırdır. Eğer (9) ifadeyi (3) de, (10) ifadeyi (4) de yerine yazarsak aşağıdaki ifadeyi buluruz,

$$V_{rms} = V_{1rms} \sqrt{1 + (THD_V / 100)^2} \quad (11)$$

$$I_{rms} = I_{1rms} \sqrt{1 + (THD_I / 100)^2} \quad (12)$$

Hem sinüsoidal hem de sinüsoidal olmayan durumlar için kullanılan gerçek güç faktörü (11) ve (12) ifadelerin (6) da yerine konulmasıyla bulunur.

$$PF_{gerçek} = \frac{P_{ort}}{V_{rms} I_{rms} \sqrt{1 + (THD_V / 100)^2} \sqrt{1 + (THD_I / 100)^2}} \quad (13)$$

aşağıdaki varsayımlar kabul edilerek;

1- Çoğu durumda temelin üzerinde harmoniklerin ortalama güç içindeki dağılımı (5) 'de olduğu gibi küçüktür bu yüzden $P_{ort} \approx P_{1ort}$ olur.

2- Genellikle THD_V değeri %10 'dan küçük olduğu için (11) ifadeden $V_{rms} \approx V_{1rms}$ olduğunu görürüz.

Gerçek güç faktörü yukarıdaki kabullere göre yaklaşık olarak aşağıdaki gibi olur,

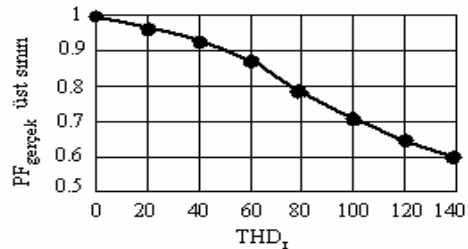
$$PF_{gerçek} \approx \frac{P_{ort1}}{V_{1rms} I_{1rms}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_I / 100)^2}} \quad (14)$$

$$PF_{gerçek} = PF_{deplasman} \cdot PF_{distorsiyon} \quad (15)$$

Çünkü $PF_{deplasman}$ asla birden büyük olamayacağı için bağıntı (15) sinüsoidal olmayan durumlarda gerçek güç faktörünün üst sınırına sahiptir.

$$PF_{gerçek} \leq PF_{distorsiyon} = \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_I / 100)^2}} \quad (16)$$

Şekil.1 'de çizilen (16). eşitlik güç elektroniği yüklerinde özellikle tek fazlı yüklerde gerçek güç faktörünün davranışına sahiptir.



Şekil.1 : THD_I ye bağlı gerçek güç faktörü

Diğer yandan üç fazlı yükler bir fazlıya göre daha düşük THD_I 'ye sahiptirler bu yüzden güç faktörleri daha yüksektir. Bununla birlikte üç fazlı yüklerle faz kontrolü uygulanırsa (yük azaldığında) bunların gerçek güç faktörleri deplasmana göre azalacaktır[6].

3. DOĞRUSAL OLMAYAN YÜK BULUNAN TESİSLERDE TEPKİN GÜÇ KOMPANZASYONU

Günümüzde genel olarak kullanılmakta olan hemen hemen her türlü elektrikli cihaz (klima, mikrodalga fırın, floresan lamba, televizyon, bilgisayar, motor sürücü düzenekleri, çevrim çevirici vb.) doğrusal olmayan bir yüküdür. Doğrusal olmayan yüklerin bulunduğu bu harmonikli tesislerde devreye paralel sade sığaç bağlamakla kompanzasyon yapılması

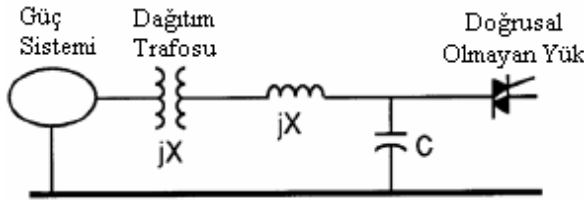
genellikle mümkün değildir. Yalnız deplasman güç faktörü sığaçlarla düzeltilebilir. Devreye bağlanan sığaçlar bir taraftan da daha yüksek harmonik seviyelerine ve rezonansa sebep olarak gerçek güç faktörünün daha da kötüleşmesine yol açar [5].

4. PARALEL REZONANS OLAYI

Rezonans olayları, enerji sistemlerinde enerji kalitesinin azalmasına neden olan, sistemin sürekliliği bakımından risk oluşturan ve meydana gelmemesi için tedbir alınması gereken olaylardandır.

Paralel rezonans olayı en çok karşılaşılan problemlerden biridir. Güç sisteminin empedansı ile güç katsayısını düzeltmek için kullanılan sığaç grupları arasında paralel rezonans meydana gelir. Paralel rezonans frekansı doğrusal olmayan yüklerin ürettiği harmonik frekanslarından birinin yakınında olursa bu durum da yüksek bir empedans gören harmonik akımları, harmonik gerilimlerine neden olurlar. Bu gerilim harmonikleri, sığaç gruplarında ve sistem reaktansında yüksek harmonik akımlarına sebep olur. Böylece, paralel rezonans harmonik akımları daha da büyümüşür.

En önemli paralel rezonans olayları örneğin Şekil 2'de görülen endüstriyel bir tesisin servis trafosu ile güç katsayısını düzeltmek için kullanılan sığaç grupları arasında meydana gelir.



Şekil 2. Basit bir paralel rezonans örneği

Sistem empedansında trafonun empedansı daha baskındır ve sığaç grupları tesisin içinde yer alır. Bu durumda paralel rezonanslar da kullanmak üzere basit bir formül aşağıdaki gibi geliştirilebilir[7].

X_{sis} ; Doğrusal olmayan yük bağlantı noktasından görülen toplam faz başına seri endüktif reaktansdır. Servis trafosunun reaktansı daha baskın olduğundan,

$$L_{sis} = \frac{X_{sis}}{\omega_o} \quad (17)$$

Eğer C_{kap} güç faktörünü düzeltmekte kullanılan sığaçların faz başına kapasitansı ise uygun kapasitif reaktansı

$$X_{kap} = \frac{1}{\omega_o C_{kap}} \quad (18)$$

Paralel rezonans frekansı;

$$f_{rez} = \frac{\omega_{rez}}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{sis}C_{kap}}} \quad (19)$$

ifadeler yerine yazıldığında

$$f_{rez} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\omega_o}{X_{sis}}} \sqrt{\omega_o X_{kap}} = \frac{\omega_o}{2\pi} \sqrt{\frac{X_{kap}}{X_{sis}}} = f_o \sqrt{\frac{X_{kap}}{X_{sis}}} \quad (20)$$

Birim başına sistemlerde kısa devre gücü MVA

$$MVA_{kd} = \frac{1}{X_{sis}} \quad (21)$$

ve kapasitör MVA

$$MVA_{kap} = \frac{1}{X_{kap}} \quad (22)$$

ifadeler yerine yazıldığında

$$f_{rez} = f_o \sqrt{\frac{MVA_{kd}}{MVA_{kap}}} \quad (23)$$

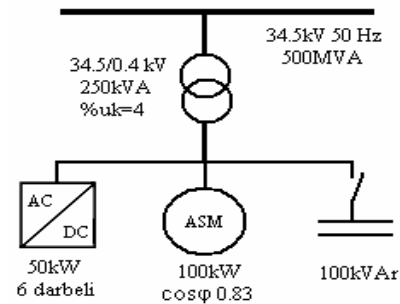
Bu işlemler kendine ait servis trafosu olan tesisler için trafonun $\%u_k$ 'sı bilindiğinde paralel rezonans frekansının değeri

$$f_{rez} = f_o \sqrt{\frac{MVA_{trafo} \cdot 100}{MVA_{kap} \cdot u_k}} \quad (24)$$

denklemden bulunabilir.

Paralel rezonans olaylarında artan harmonik bozunumlar sığaç gruplarında şişmelere, patlamalara ve sigorta atmalarına neden olabilir ayrıca servis trafosunda aşırı ısınmalara neden olmaktadır.

5. BENZETİM ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI



Şekil 3. Örnek bir tesis

Örnek olarak verilen tesiste 250kVA $\%u_k$ 'sı 4 olan servis trafosu 100kW $\cos\phi$ 0.83 olan motorları ve

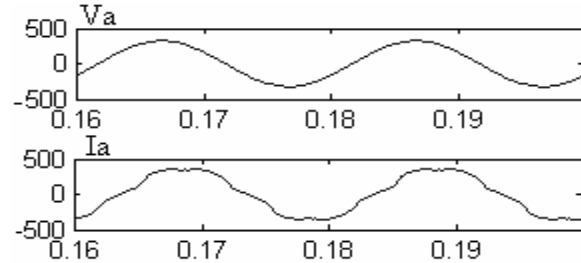
50kW'lık 6 darbeli doğrultucudan oluşan dengeli yükü beslemektedir. Sistemde kompanzasyon devre dışı bırakıldığında yapılan benzetim sonucunda trafonun A fazına ait akım ve gerilim harmonik değerlerinin tepe değerleri, trafodan çekilen güçler ve güç katsayıları ile THD değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 1. Kompanzasyon sistemi devrede yokken trafonun gerilim ve akım harmoniklerinin değeri.

| H | Va | | | Ia | | |
|----|--------|--------|----------|--------|--------|----------|
| | Genlik | % | δ | Genlik | % | θ |
| 1 | 323,00 | 100,00 | -30,70 | 371,00 | 100,00 | -65,21 |
| 3 | 0,11 | 0,03 | 127,50 | 0,11 | 0,03 | -141,70 |
| 5 | 2,01 | 0,62 | 123,80 | 31,20 | 8,41 | -145,80 |
| 7 | 0,85 | 0,26 | -33,30 | 8,92 | 2,40 | 57,01 |
| 9 | 0,06 | 0,02 | -129,00 | 0,02 | 0,00 | -38,67 |
| 11 | 1,21 | 0,37 | -103,00 | 8,49 | 2,29 | -12,93 |
| 13 | 0,80 | 0,25 | 122,80 | 4,74 | 1,28 | -147,00 |
| 15 | 0,01 | 0,00 | -5,90 | 0,02 | 0,01 | 84,31 |
| 17 | 0,72 | 0,22 | 33,85 | 3,11 | 0,84 | 124,10 |
| 19 | 0,67 | 0,21 | -90,80 | 2,75 | 0,74 | -0,63 |

Çizelge 2. Kompanzasyon sistemi devrede yokken trafodan çekilen güçler, güç katsayıları ve THD değerleri.

| | |
|---------------------------|--------|
| Etkin Güç (W) | 148533 |
| Tepkin Güç(VAr) | 102237 |
| Görünür Güç(VA) | 180317 |
| PF _{deplasman} | 0,8240 |
| PF _{gerçek} | 0,8208 |
| PF _{distorsiyon} | 0,9957 |
| THD _v (%) | 0,89 |
| THD _i (%) | 9,21 |



Şekil 4. Trafodaki gerilim ve akımın dalga şekli

Çizelge 3. 100kVar'lık sade sığaç grupları devreye girdikten sonraki trafonun gerilim ve akım harmoniklerinin değeri

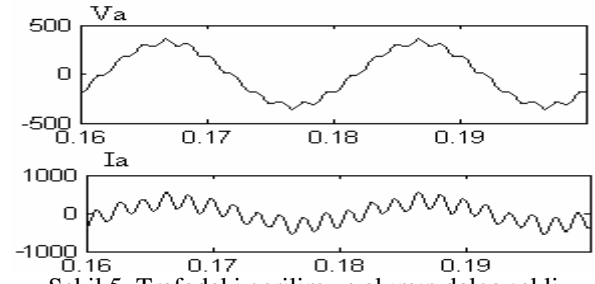
| H | Va | | | Ia | | |
|----|--------|--------|----------|--------|--------|----------|
| | Genlik | % | δ | Genlik | % | θ |
| 1 | 326,00 | 100,00 | -30,71 | 300,00 | 100,00 | -32,61 |
| 3 | 0,15 | 0,05 | 21,13 | 0,31 | 0,10 | 7,78 |
| 5 | 2,55 | 0,78 | 110,50 | 39,00 | 13,00 | -159,10 |
| 7 | 1,10 | 0,34 | -62,25 | 11,80 | 3,95 | 28,09 |
| 9 | 0,14 | 0,04 | 16,91 | 0,81 | 0,27 | 26,68 |
| 11 | 29,30 | 8,99 | -151,80 | 203,00 | 67,50 | -61,51 |
| 13 | 3,41 | 1,04 | -90,62 | 20,10 | 6,68 | 0,39 |
| 15 | 0,05 | 0,01 | 8,39 | 0,36 | 0,12 | 0,26 |
| 17 | 0,56 | 0,17 | 168,60 | 2,53 | 0,84 | -101,20 |
| 19 | 0,38 | 0,12 | 35,63 | 1,47 | 0,49 | 125,83 |

Yapılan benzetim sonucunda servis trafosundan yaklaşık 102kVar olan tepkin güç ihtiyacını karşılamak için devreye 100kVar gücünde 1 adet 20kVar ve 2 adet 40kVar'lık sade sığaç grupları

devreye girdiğinde trafoda yapılan ölçüm sonuçları Çizelge 3 ve 4 'de gösterilmektedir.

Çizelge 4. Trafodan çekilen güçler, güç katsayıları ve THD değerleri

| | |
|---------------------------|--------|
| Etkin Güç (W) | 147177 |
| Tepkin Güç(VAr) | 13848 |
| Görünür Güç(VA) | 147827 |
| PF _{deplasman} | 0,9994 |
| PF _{gerçek} | 0,8673 |
| PF _{distorsiyon} | 0,0144 |
| THD _v (%) | 9,09 |
| THD _i (%) | 69,25 |



Şekil 5. Trafodaki gerilim ve akımın dalga şekli

Çizelge 3 incelendiğinde tesise güç katsayısını düzeltmesi için bağlanan 100kVar gücündeki sade sığaç grupları tesiste 11. harmonikte paralel rezonans olayına neden olarak harmonik bozunumu yükseltmiştir. Bu paralel rezonans frekansı denklem (24) 'den de kolayca bulunabilir. Dolayısıyla Çizelge 1'de Ia'nın 11. harmoniği 8,49A'den 203A'ye yükselmiştir. Paralel rezonans sonucu yükselen 11. harmonik frekansı servis trafosunda 1,21V olan 11. gerilim harmoniği değerinin 29,30V'a yükselmesine sebep olmuştur. Deplasman güç faktörü yükselmiş fakat artan THD değerleri gerçek güç katsayısının istenilen değere gelmesini sağlayamamıştır. Sığaç gruplarından geçen akımlar Çizelge 5'de verilmektedir. Sığaç gruplarından geçen toplam akım temel bileşenin 1,4 katı olup sınır değeri geçmiştir.

Çizelge 5. Tesisin çeşitli baralarında ölçülen A fazının akım değerleri

| H | Trafo Çıkışı | Yük Barası | Kompn. Barası | Kondansatör Grupları | | |
|----|--------------|------------|---------------|----------------------|-------|-------|
| | | | | 20kVA | 40kVA | 40kVA |
| 1 | 300,00 | 369,15 | 204,12 | 40,82 | 81,65 | 81,65 |
| 3 | 0,31 | 0,10 | 0,33 | 0,07 | 0,13 | 0,13 |
| 5 | 39,00 | 31,11 | 7,98 | 1,60 | 3,19 | 3,19 |
| 7 | 11,80 | 7,05 | 4,84 | 0,97 | 1,94 | 1,94 |
| 9 | 0,81 | 0,02 | 0,82 | 0,16 | 0,33 | 0,33 |
| 11 | 203,00 | 1,86 | 201,74 | 40,35 | 80,69 | 80,69 |
| 13 | 20,10 | 7,60 | 27,70 | 5,54 | 11,08 | 11,08 |
| 15 | 0,36 | 0,04 | 0,38 | 0,08 | 0,15 | 0,15 |
| 17 | 2,53 | 3,34 | 5,86 | 1,17 | 2,34 | 2,34 |
| 19 | 1,47 | 3,15 | 4,62 | 0,92 | 1,85 | 1,85 |

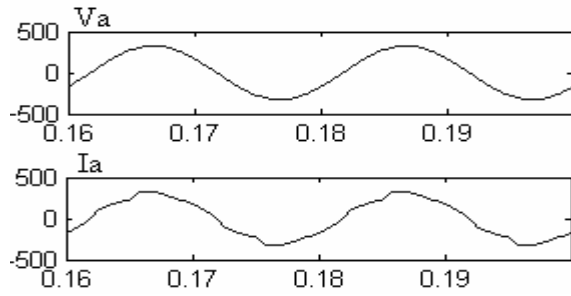
Tesiste 5. harmonik akımın baskın olduğu görülerek eğer güç katsayısını düzeltmek için 100kVar gücünde 215Hz'e ayarlı reaktörlü sığaç grupları kullanılmış olsaydı trafoda yapılan ölçüm sonuçları Çizelge 6 ve 7 de görüldüğü gibi olurdu.

Çizelge 6. 215Hz'e ayarlı reaktörlü sığaç grupları devreye girdikten sonraki trafonun gerilim ve akım harmoniklerinin değerleri.

| H | Va | | | Ia | | |
|----|--------|--------|----------|--------|--------|----------|
| | Genlik | % | δ | Genlik | % | θ |
| 1 | 326,30 | 100,00 | -30,73 | 311,60 | 100,00 | -32,25 |
| 3 | 0,12 | 0,04 | -120,40 | 0,16 | 0,05 | -29,55 |
| 5 | 1,32 | 0,41 | 119,80 | 20,66 | 6,63 | -149,70 |
| 7 | 0,72 | 0,22 | -34,99 | 7,35 | 2,36 | 55,35 |
| 9 | 0,05 | 0,01 | 24,90 | 0,03 | 0,01 | 115,20 |
| 11 | 1,04 | 0,32 | -104,00 | 7,40 | 2,37 | -13,80 |
| 13 | 0,71 | 0,22 | 121,50 | 4,10 | 1,31 | -148,3 |
| 15 | 0,02 | 0,01 | 173,10 | 0,02 | 0,01 | -96,69 |
| 17 | 0,63 | 0,19 | 32,83 | 2,77 | 0,89 | 123,00 |
| 19 | 0,60 | 0,18 | -92,41 | 2,43 | 0,78 | 2,21 |

Çizelge 7. Trafodan çekilen güçler, güç katsayıları ve THD değerleri

| | |
|---------------------------|--------|
| Etkin Güç (W) | 152472 |
| Tepkin Güç(VAr) | 4082 |
| Görünür Güç(VA) | 152526 |
| PF _{deplasman} | 0,9996 |
| PF _{gerçek} | 0,9980 |
| PF _{distorsiyon} | 0,9970 |
| THD _v (%) | 0,69 |
| THD _i (%) | 7,65 |



Şekil 6. Trafodaki gerilim ve akımın dalga şekli

Çizelge 6 ve 7 incelendiğinde 215Hz 'e ayarlanmış reaktörlü sığaç grupları kullanıldığında da paralel rezonans olayı gerçekleşmemiştir. Ayrıca başta 5. harmonik olmak üzere diğer harmonik akımlarını filtreleyerek THD değerlerini azaltmış ve gerçek güç katsayısını yükselttiği görülmüştür.

6. SONUÇLAR

Matlab/Simulink Power System Toolbox 'da benzetimi yapılan harmonikli yük bulduran bir elektrik tesisinin güç katsayısının düzeltilmesi için devreye paralel sığaçlar eklenerek kompanzasyon yapılmasının mümkün olmadığı bir durum gösterilmiştir. 100kVAr 'lik sade sığaç grupları servis trafosunda 11. harmonikte paralel rezonans olayı meydana getirerek harmonik bozunumu arttırmış, deplasman güç katsayısını yükseltirken gerçek güç katsayısı istenilen değere getirilememiştir. Tesislerde kullanılan gücü ölçen dijital sayaçlar aslında gerçek güç katsayısına göre ölçüm yapmaktadırlar. 100kVAr'lik sade sığaç grupları ile yapılan kompanzasyon sonucunda deplasman güç katsayısı (cos ϕ) yaklaşık 1,00 iken gerçek güç katsayısı 0,86 (< 0,95) cezai değerdedir, yani kompanzasyon

amacına ulaşamamıştır. Tesiste gerçek güç katsayısının düzeltilmesi için yükün 5. harmoniği baskın olduğundan 215Hz'e ayarlı reaktörlü sığaç grupları kullanıldığında harmonik bozunumunda düşme meydana gelmiştir. Tesisteki paralel rezonans olayı ortadan kalkmış, gerçek ve deplasman güç faktörü arasındaki fark azalmış gerçek güç faktörü istenilen değere (0,99>0,95) gelmiştir. Bu benzetim çalışmasından kısaca şu sonuçlar çıkarılabilir:

- Sade sığaç grupları paralel rezonans riski taşımaktadır,
- Harmoniklerle gerçek güç katsayısı arasında bir ilişki vardır,
- Paralel rezonans olayı sığaç gruplarından yüksek akımlar geçmesine sebep olur,
- Paralel rezonans sonucu THD_v 'deki artış hassas cihazlarda arızalara neden olur,
- Doğrusal olmayan yük bulunan tesisler de kompanzasyonda sade sığaç grupları yerine reaktörlü sığaç grupları kullanılmalıdır,
- Reaktörlü sığaç grupları THD değerlerini azalttığı gibi paralel rezonans olayını da engellemektedir,
- İlerleyen yıllarda giderek yükseltilecek gerçek güç katsayısı değerlerine sade sığaç grupları ile yapılan kompanzasyon uygulamalarının yetersiz kalacağı gözlenmiştir.
- İlerleyen yıllarda harmonikli yüklerin bulunduğu tesislerde paralel pasif filtreler veya aktif güç filtreleri kullanmak gerekecektir.

TEŞEKKÜR

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

KAYNAKLAR

- [1] Kocatepe, C. , Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birsen Yayınevi, Kasım 2001, İstanbul.
- [2] Bayram, M., Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu, Birsen Yayınevi, 2000, İstanbul.
- [3] Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu; Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği Ve Kalitesi Yönetmeliği ; 10.11.2004 tarihli ve 25639 Sayılı Resmi Gazete
- [4] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı; Elektrik Tarifeleri Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik, 09.03.2000 tarihli ve 23988 sayılı Resmi Gazete.
- [5] Emanuel, A. E., "Powers in Nonsinusoidal Situations a Review Definitions and Physical Meaning", IEEE Trans. on Power Delivery, 5(3), Page:1377-1389, 1990.
- [6] Grady M., "Harmonics and how they relate to power factor", EPRI Power Quality Issues & Opportunities Conference (PQA'93), November 1993, San Diego, CA.
- [7] Grady, M., "Understanding Power System Harmonics, Chapter 5: Effects and Symptoms", University of Texas at Austin, June 2005