

ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE ENERJİ KALİTESİ

Mehmet BAYRAK

Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
bayrak@sakarya.edu.tr

ÖZET

Güç sistemlerinde geçici aşırı gerilimler genellikle, yıldırım gibi dış atmosferik olaylar ile açma-kapama olaylarından meydana gelmektedir. Bunun gibi aşırı gerilimler büyük çoğunlukla parafudr tarafından engellenerek şebeke gerilimi belirli bir seviyenin altında tutulmaktadır. Elektronik devrelerin aşırı gerilime karşı dayanma sınırları genellikle düşük olduğundan, bu tür devrelere bağlanan seri bobin ile paralel kondansatör aşırı gerilimlere karşı uygun bir koruma sağlar. Geçici oluşan aşırı gerilimlerin yanında, şebekede sürekli olarak devrede kalan güç kondansatörleri de aşırı gerilimlere neden olmaktadır.

Bu çalışmada, elektrik güç sistemlerinde meydana gelen kısa devre, açma-kapama olayları ve büyük yük değişimlerinin şebeke gerilimine etkisi ile özellikle son yıllarda sayıları ve kullanım alanları gittikçe artan güç elektroniği devrelerinin şebeke akım ve geriliminde meydana getirdiği dalga şekli bozuklukları bilgisayar yardımı ile incelenerek şebekede diğer tüketicilere olan etkisi açıklanmıştır. Bununla birlikte, bu bozucu etkilerin enerji kalitesine olan etkisi ile standartlara uygunluğu araştırılarak, bu etkilerin azaltılması için bazı çözüm yöntemleri verilmiştir.

1. GİRİŞ

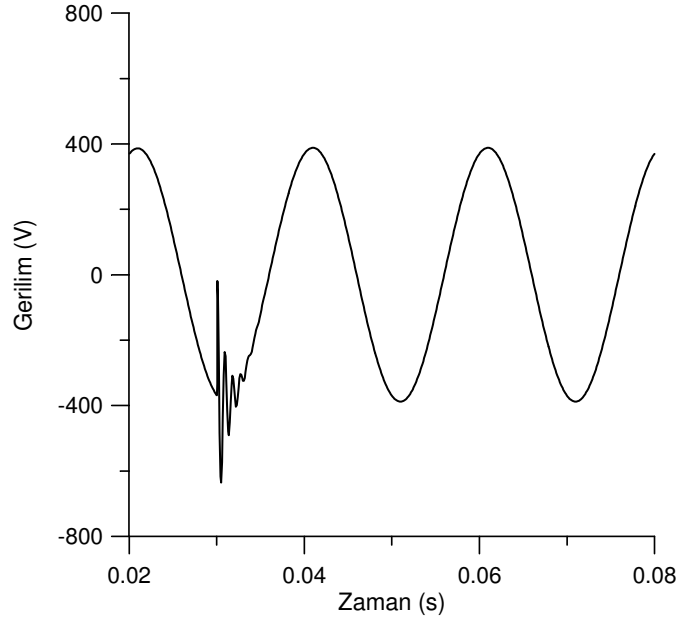
Elektrik güç sistemlerinde enerji kalitesi tanımı, şebekenin gerilim ve frekansındaki değişimler ile şebekeden çekilen akımdaki dalga şekli bozukluklarının belirtilmesi amacıyla kullanılır. Elektrikli cihazların birçoğu şebekedeki gerilim ve frekans değişmelerine karşı hassas değildir. Bununla birlikte, son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlayan elektronik devreler tarafından kontrol edilen cihazlar enerji kalitesine karşı son derece duyarlıdır. Bu kontrol devrelerinden bazıları, alternatif akım ve doğru akım motor sürücüleri ve anahtarlamalı modda çalışan güç kaynakları gibi enerji dönüştürmede kullanılan devreler ile yardımcı kontrol devreleri olarak kullanılan bilgisayarlar ile programlanabilir lojik kontrolörlerdir (PLC). Böyle karmaşık devreler şebekedeki bozucu etkilerden önemli ölçüde etkilenmektedirler [1]. Bu etkilenme sonucu elektronik devreler ile kontrol edilen cihazlar veya endüstriyel tesisler hatalı çalışabilir ve hatta devre dışı kalabilir. Bu nedenle hızlı bir şekilde gelişen sanayi tesisleri ile elektrikli cihazların düzenli olarak çalışabilmesi için gerek tüketiciler gerekse şebeke açısından enerji kalitesi konusunda bazı sınırlandırmaların yapılması gerekir. Elektrostatik boşalma olayları, elektromagnetik dalgalar ve işletme sırasında oluşan hatalar sonucu oluşan bozucu etkiler büyük çoğunlukla tüketici tarafından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, aşırı sıcaklık yükselmesi, istenmeyen titreşimler ve iletken bağlantılarındaki gevşeklikler gibi mekanik veya elektriksel hatalar sonucu da bozucu etkiler oluşmaktadır.

2. ŞEBEKED E OLUŞAN BOZUCU ETKİLER

Bu bozucu etkiler genellikle şebeke gerilimindeki geçici dalgalanmalardan kaynaklanmakta ve cihazların yanlış çalışması veya tüketicilerin devre dışı kalmasına neden olmaktadır. Frekanstaki değişimler, enerji kesilmesi sonucu devreye alınan generatörler ile şebekeden bağımsız çalışan tesisin aşırı yüklenmesinden kaynaklanır. Şebekenin gücü çok büyük olduğundan, şebekeyle paralel çalışan tüketicilerde frekans değişimi ihmal edilecek kadar küçük olur. Bu nedenle burada yalnızca akım ve gerilimden kaynaklanan bozucu etkiler incelenecektir.

2.1. Geçici Aşırı Gerilimler

Geçici aşırı gerilimler, anahtarlama olayları ve atmosferik olaylar sonucu gerilimin yarı periyodunda görülen gerilim yükselmeleridir. Şekil 1'de görüldüğü gibi bu tür bozucu etkiler genellikle şebeke veya tüketicideki kondansatörlerin devreye girmesi veya devreden çıkması sonucu oluşmaktadır.



Şekil 1. Şebeke geriliminde görülen geçici gerilim yükselmesi

Yaygın olarak kullanılan ve eski teknoloji ile üretilen elektrikli cihazlar, parafudr veya besleme girişindeki paralel kondansatörler ile şebeke geriliminin birkaç katına kadar varabilen aşırı gerilimlere karşı iyi biçimde korunabilir.

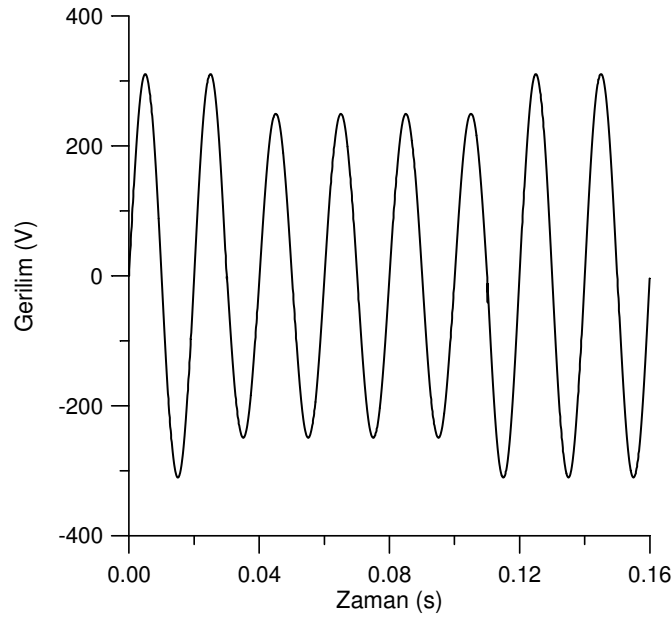
Elektronik cihazlar aşırı gerilimlere karşı yukarıda belirtilen cihazlar kadar dayanıklı değildir. Besleme girişine bağlanan seri bobin ile paralel kondansatör ve lineer olmayan direnç aşırı gerilimlere karşı uygun koruma sağlar. Bunların yapılmaması durumunda cihaz yanlış çalışabilir ve hatta zarar görebilir.

Şebekedeki veya bir tesisteki herhangi bir kondansatörün devreye alınması veya devre dışı bırakılması sonucu akımda ve gerilimde oluşan yüksek frekanslı bileşenler bazı cihazların hatalı çalışmalarına neden olabilmektedir. Özellikle son yıllarda küçük güçteki alternatif akım motor sürücülerinin açıklanamayan nedenlerle devre dışı kaldığı görülmektedir. Bu tür sürücülerin birçoğu % 10-20 arasında bir periyot boyunca süren gerilim yükselmeleri sonucu devre dışı kalacak şekilde tasarlanırlar. Kondansatörlerdeki anahtarlama olayları bir gün içinde çok sık tekrarlandığından, bu bozucu etkiler şebekede sürekli olarak oluşmaktadır.

Yanlış açmalar, cihaza seri bobin bağlanarak ve cihazın koruma fonksiyonunda bazı düzenlemeler yapılarak engellenebilir. Diğer bir çözüm, kondansatörlerin sayılarını arttırıp güçlerini azaltmaktır.

2.2. Kısa Süreli Gerilim Düşmeleri

Kısa süreli gerilim düşmeleri, çok sayıdaki küçük tüketiciler ile büyük güçlü endüstriyel tüketiciler açısından önemli sorunlar oluşturmaktadır. Böyle arızalar genellikle tüketicilere elektriksel olarak uzak bir noktadaki kısa devre olaylarından kaynaklanmaktadır. Şekil 2'de görüldüğü gibi 4-5 periyot boyunca süren bu bozucu etki hassas tüketicilerin devreden çıkmasına neden olmaktadır [2].



Şekil 2. Kısa süreli gerilim düşmesi

Doğru akım motorları, boya baskı tesisleri plastik malzeme imalat sanayi dahil birçok endüstriyel tesislerde kullanılmaktadır. Şebeke gerilimindeki düşmeler baskı kalitesinin çok kötü olmasına ve plastik hammaddesinin cihaz içerisinde katılaşmasına neden olabilmektedir. Maddi zararın yanında sistemi yeniden çalışır duruma getirmek için büyük zaman harcanmaktadır. Bu tür sorunların şebeke geriliminin nominal değerinin % 88'ine düştüğünde meydana gelebildiği bazı araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. Endüstriyel tesislerde yaygın olarak kullanılan PLC'ler gerilim nominal değerinin % 80-85'ine düştüğünde devre dışı kalmaktadır [1]. Bu yanlış açma olayını engellemek için PLC'ler kesintisiz güç kaynağı üzerinden beslenir. Alternatif akım ve doğru akım motor sürücülerinde kabul edilebilir gerilim değişimleri +%10 ile -%15 arasındadır. Bu sınırlardan daha büyük gerilim değişmelerinde motor hızı parametre değişmelerinden dolayı sabit tutulamaz veya istenilen değere çıkartılamaz. Bunun sonucu olarak, motor ve buna bağlı olan sistem devre dışı kalır. Gerilim düşmeleri her cihazda aynı etkiyi yapmadığından bazı cihazlar gerilim düşmelerinden fazla etkilenmez.

Güç sistemlerinde kullanılan kontaktörler gerilimin nominal değerinin %50-75 kadar bir değerde 1-5 periyot boyunca sürmesi bobinlerin mekanik çekme kuvvetini azalttığından sistemin elektriksel bağlantısını keser. Bu durum kontaktör bobinlerinin gerilim düşmelerinde de çalışacak şekilde tasarlanması ile ortadan kaldırılabılır.

Şebekedeki bozucu etkiler bilgisayar kontrollü sistemlerin tasarımında önemli rol oynar. Özellikle son on yıl içerisinde bilgisayar kontrollü sistemler elektrik güç sistemlerinin her alanında kullanılmaya başlanmıştır. Kısa süreli gerilim düşmeleri ile ilgili standartlar çok az olmasına rağmen, bu konuda yeni standartlar konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Bu konu ile ilgili belli başlı standartlar şöyle özetlenebilir:

1. Sürekli durumdaki gerilim değişimleri ANSI Standard C84.1'de belirtilmiştir [3]. Bu standarda göre 600 V'a kadar olan şebeke gerilimleri için değişme nominal değerinin $\pm\%5$ 'i kadar olmalıdır. Kısa süreli değişmelerde ise en fazla $\%5.8$ kadar gerilim artmasına ve $\%8.3$ kadar gerilim azalmasına izin verilebilir.
2. Generatör ve motorlar için çıkartılmış MG-1-1087 sayılı NEMA standardına [4] göre; nominal yüklü çok fazlı bir motor için motor uçlarındaki gerilim dengesizliğinin $\%1$ 'i aşmaması gerekir. Aynı standarda göre, $\%90$ yüklü bir motor için $\%3$ ve $\%75$ yüklü motor için $\%5$ kadar kabul edilebilir bir dengesizlik sınırı vardır. $\%5$ 'i aşan gerilim dengesizliğine izin verilmez. Elektrik enerjisi üreten sistemlerdeki gerilim dengesizliği yüksüz durum için en fazla $\%3$ olmalıdır.
3. Özellikle ark fırınları gibi hızlı değişen yükler şebeke geriliminde dalgalanmalar oluşturmakta ve bu durum diğer tüketicilere olumsuz etki yapmaktadır. Bu gerilim değişimi $\%0.5-6$ arasında olmakta ve yaklaşık 10sn-1saat kadar sürmektedir. IEEE'nin 519-1992 sayılı standardında [5] bu durum ile ilgili bazı sınırlamalar getirilmiştir.
4. Alçak gerilim cihazlarının geçici aşırı gerilimlere karşı korunması ANSI/IEEE C62'de belirtilmiştir [6].

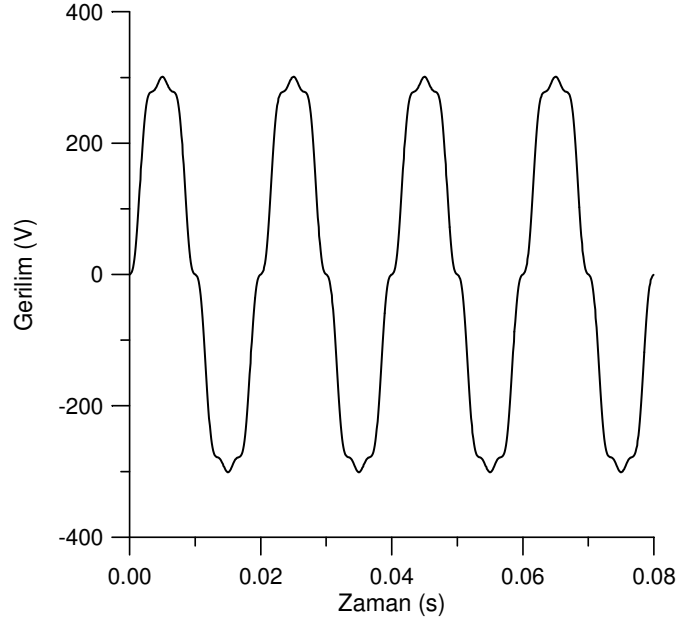
Şebekede oluşan kısa süreli gerilim düşmeleri, şebeke yöneticileri tarafından alınan bazı önlemler ile büyük oranda azaltılabilir. Şebekede oluşan arızaların kısa sürede temizlenmesi, tüketiciler açısından kaliteli enerji sağlanmasının yanında şebekede olabilecek hasarları engellemektedir. Şebeke gerilim düşmeleri açısından enerji kalitesinin artırılması iki şekilde olmaktadır:

- Kısa devre arızalarının engellenmesi,
- Arızaları tesbit eden rölelerin iyi seçilmesi, gerekli yerlere konulması ve uygun ayarlanması.

Kısa devre arızalarının engellenmesi, havai hatlara temas eden ağaç dallarının budanması, izolatörlerin temizlenmesi ve havai hatlara uygun parafudrların bağlanması ile mümkün olmaktadır. Bu önlemler yalnızca arıza olma olasılığını azaltmakta, fakat arızayı tamamen ortadan kaldıramamaktadır.

2.3. Harmonik Distorsiyonu

Harmonik distorsiyonu, gerilim veya akımın sürekli durumda şebeke frekansının katları şeklinde şebeke frekansından daha büyük frekansta bileşenler içermesidir. Şekil 3'de 5. ve 7.harmonik içeren şebeke geriliminin dalga şekli görülmektedir. Harmoniklerin neden olduğu problemlerin başlıcaları, güç kesicilerinin açıklanamayan nedenlerle açması, transformatör ve motorların aşırı ısınması, kontrol devrelerinin, bilgisayarların ve koruma rölelerinin hatalı çalışmasıdır.



Şekil 3. 5. ve 7. harmonik içeren şebeke gerilimi

Konutlar ve bürolar bir fazlı olduğundan, burada kullanılan yükler de tek fazlıdır. Doğası gereği lineer olmayan bu yükler büyük oranda harmonik üretirler. Anahtarlama güç kaynakları, bilgisayarlar ve ayarlı ışık kaynakları genellikle 3,5,7,9,11,13 ve daha yüksek derecede harmonik üretirler. Üç fazlı yıldız bağlı dengeli yüklerde nötr iletkeninden akım akmaz. Fakat harmonik üreten yük dengeli dahi olsa herbir fazdan çekilen üçüncü harmonik akımı nötr iletkeninde toplanır ve nötr iletkeninden daha fazla harmonik akımı akar. Bu nedenle özellikle 3. harmonik üreten yüklerin kullanılacağı tesisatta nötr iletken kesitinin harmonik akımlarına dayanabilecek şekilde seçilmesi gerekir. Üçgen/yıldız bağlı ve nötr noktası topraklı dağıtım transformatörlerinde alçak gerilim tarafındaki üçüncü harmonik akımı yüksek gerilim tarafına geçemez. Bu tür bağlama grubu bu amaçla kullanılır. Transformatörlerin dayanabileceği harmonik akımları K faktörü ile belirlenir [7].

Endüstriyel tesisler, çoğunluğunu motor, doğrultucu devreleri ve kontrollü ısıtıcı devrelerinin oluşturduğu üç fazlı yükler içerirler. Bu yüklerin oluşturduğu akım harmonikleri genellikle 5, 7, 11, 13 v.s. şeklindedir. Endüstriyel tesislerde üçüncü harmonik pek görülmez. Genellikle küçük güçlü üç darbeli doğrultucular kullanıldığından, bunlar tek harmoniklerin yanında çift harmonikler de (2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, v.s.) üretir. Bu tür yüklerin son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanması sonucu transformatörlerde aşırı ısınmalar oluşmaktadır [1].

Eğer harmonik üreten yüklerin toplam gücü bu yükleri besleyen transformatörün gücünün % 30'undan daha küçük ise paralel kondansatörlerin olmaması durumunda transformatörün sekonder tarafındaki gerilim distorsiyonu %5'den daha küçük olur. Harmonik distorsiyonunu aşağıdaki önlemlerin alınması ve bazı teknik bilgilerin bilinmesi ile azaltılabilir.

- Tristör ile diyotların birbirine seri bağlanması ile oluşan üç darbeli yarı kontrollü doğrultucuların kullanılması sonucu tek harmoniklerin yanında çift harmonikler de ortaya çıkar.
- Darbe genişlik modülasyonlu (PWM) motor sürücülerinin kullanılması durumunda düşük derecedeki harmonikleri (5 ve 7) azaltmak için doğru ve alternatif gerilim taraflarına ayrı ayrı seri olarak bobin bağlanmalıdır. Eğer altı darbeli motor sürücü devresi kullanılacaksa toplam akım harmonik distorsiyonunun (I_{THD}) % 40'dan daha küçük olması gerekir.

Alternatif gerilim tarafına reaktör bağlanıp bağlanmaması durumuna göre PWM'lu motor sürücü devrelerinin şebekeden çektiği harmonik akımı yüzdeleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. PWM motor sürücüsünün oluşturduğu akım harmonikleri

| Harmonikler | Harmonik Distorsiyonu (%) (Seri Bobinsiz) | Harmonik Distorsiyonu (%) (Seri Bobinli) |
|-------------|--|---|
| 1 | 100.0 | 100.0 |
| 3 | 5.2 | 1.9 |
| 5 | 71.9 | 25.0 |
| 7 | 43.1 | 11.0 |
| 11 | 9.3 | 7.5 |
| 13 | 5.7 | 5.0 |
| 17 | 6.5 | 4.4 |
| 19 | 2.0 | 3.2 |
| 23 | 3.2 | 2.6 |
| 25 | 1.8 | 2.0 |
| THD | 85.2 | 29.6 |

c) Eğer bir endüstriyel tesisi beslemek için birden fazla gerilim kademesi, dolayısıyla transformatör kullanılacaksa, transformatörlerin üçgen/üçgen ve üçgen/yıldız bağlanması 5, 7, 17, 19. v.s. harmonikleri azaltır.

d) Büyük güçler için 12 darbeli motor sürücü ve doğrultucu devreleri kullanılır.

Harmonikler kondansatörlerin aşırı ısınmasına ve dielektrik malzemelerinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle ANSI/IEEE 18-1980 nolu standard izin verilen maksimum harmonik seviyesinde kondansatörlerin akım, gerilim ve reaktif gücünde bazı sınırlamalar getirmiştir. Kondansatör akım, gerilim, ve gücündeki üst sınırlar şöyledir:

- Nominal efektif geriliminin % 110'u,
- Nominal tepe geriliminin % 120'si,
- Nominal akımının % 180'i,
- Nominal reaktif gücünün % 135'i.

Yukarıdaki sınırlamalara ilave olarak, alçak gerilimlerde güç faktörünü düzeltmek amacıyla kullanılan kompanzasyon tesislerinin kurulmasında bazı öneriler tavsiye edilir.

a) Eğer harmonik üreten yük transformatör gücünün % 10'undan daha küçük ise kondansatörlerin şebekeye doğrudan bağlanması ilave bir distorsiyon ve seri rezonans tehlikesi oluşturmaz.

b) Harmonik üreten yük transformatör nominal gücünün % 30'undan daha küçük ve kondansatörlerin toplam gücü transformatör gücünün % 20'sinden daha küçük ise, bu durumda da kondansatörler şebekeye doğrudan bağlanabilir.

c) Harmonik üreten yük transformatörün nominal gücünün % 30'undan daha büyük ise, bu durumda kondansatörler kesinlikle filtre şeklinde bağlanması gerekir.

Orta ve alçak gerilim tesislerinde harmonik distorsiyonu çok büyük ise uygun filtre bağlanması ile bu sorun giderilebilir. Yaygın olarak kullanılan filtreler şöyledir:

- 5. Harmonik filtresi,
- 5. ve 7. Harmonik filtresi,
- 5., 7., ve 11. Harmonik filtresi
- 5., 7., 11. ve yüksek geçiren harmonik filtresi.

Yukarıdakilerden en yaygın kullanılanı 5. harmonik filtresidir. Daha düşük dereceden harmoniklerin bulunduğu sistemlerde bu filtre 3. ve 4. harmonik frekansına yakın bir frekansa ayarlanır. Filtreler, yok ettiği harmonik sayısı arttıkça daha pahalıya mal edilir ve daha karmaşık bir durum alırlar. Bu nedenle filtrelerin optimum biçimde tasarlanması gerekir.

3. SONUÇ

Elektrik güç sistemlerinde enerji kalitesini etkileyen birçok faktör olmasına karşın, burada geçici aşırı gerilimler, kısa süreli gerilim düşmeleri ve harmonikler incelenmiştir. Endüstriyel tesisler açısından en büyük problemi kısa süreli gerilim düşmeleri oluşturmaktadır. Buralarda kullanılan cihazlar veya tesisi kontrol eden elektronik donanımlar gerilim düşmelerine karşı çok hassas olduklarından, gerilimde düşme olduğunda bütün sistem devre dışı kalabilir. Bunun sonucu olarak üretimin aksamasının yanında maddi zararlar oluşmaktadır. Bu tür yanlış açmaları önlemek için kontrol devreleri kesintisiz güç kaynakları üzerinden beslenmeli ve sistem gerilim düşmelerinden çok fazla etkilenmeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca şebekenin kısa süreli gerilim düşmelerine neden olan arızaları kısa sürede ortadan kaldıracak koruma röleleri ile donatılması gerekir.

Reaktif güç kompanzasyonu amacıyla kullanılan kondansatörlerin açma-kapama işlemleri sırasında şebeke frekansından daha büyük frekansta aşırı gerilim dalgalanmaları olmaktadır. Bu olumsuz etkileri en aza indirmek için kondansatör güçlerinin küçültülüp sayılarının artırılması ve sisteme bağlandığı yerin iyi seçilmesi bir çözüm olabilir. Bunun yanında gerek seri rezonans etkisini gerekse aşırı gerilimleri azaltmak için kondansatörler bobin veya direnç üzerinden bağlanabilir. Bobin bağlanması durumunda kondansatör gücünün %3'ü değerinde bir bobin yeterli olur.

Harmonik distorsiyonu genellikle tüketicilerde şebekeden daha fazladır. Bu nedenle harmonik ile ilgili problemler tüketici sistemlerinde meydana gelmektedir. Binalarda ve bürolarda kullanılan cihazlar bir fazlı olduklarından, bunların ürettiği harmoniklerden üçüncü harmonik şebekede sorun oluşturmaktadır. Transformator ve nötr iletkenleri yüksek değerinde 3. harmonik akımlarında dolayı aşırı ısınmaktadır. Bu nedenle aşırı ısınmanın söz konusu olduğu durumlarda nötr iletken kesitinin ve transformator gücünün bu harmonik akımlarına dayanacak şekilde seçilmesi gerekir. Endüstriyel tesislerdeki yükler büyük çoğunlukla üç fazlı olduğundan, bu yüklerin oluşturduğu harmonikler karakteristik olup uygun filtrelerle giderilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] REID, E. W., ' Power Quality Issues-Standards and Guidelines', IEEE Trans on IA, Vol 32 No 1, May/June 1996.
- [2] LAMORE, J, et all, ' Voltage Sag Analysis Case Studies ', IEEE Trans on IA, Vol 30 No 4, July/Aug 1994.
- [3] ANSI Standard for Electrical Power Systems and Equipment-Voltage Ratings, ANSI Standard C84.1-1989.
- [4] Motors and Generators, NEMA Publication MG-1 1987.

- [5] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, ANSI/IEEE Standard 519, 1992.
- [6] Guides and Standards for Surge Protection, IEEE Standard C62.
- [7] MASSEY, G. W., ' Estimation Methods for Power System Harmonic on Power Distribution Transformer ',IEEE Trans on IA, Vol 30 No 2, Marc/April 1994.