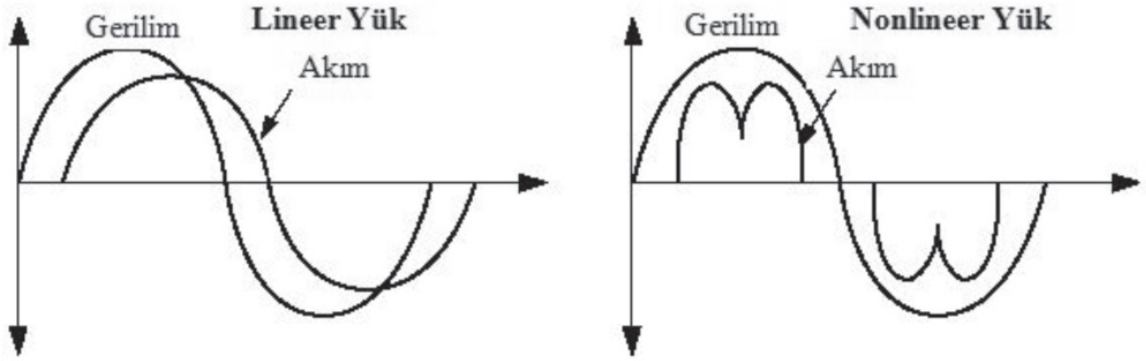


GÜÇ SİSTEMLERİNDE HARMONİKLER VE HARMONİKLERİN ENGELLENMESİ

Serhat Berat EFE (beratefe@dicle.edu.tr)

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi - Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Elektrik enerji sistemlerinde akım, gerilim gibi büyüklüklerin dalga şekli temel frekanslı sinüzoidal bir değişime sahip olmalıdır. Bu değişim için sistemin sinüzoidal kaynakla beslenmesi ve lineer yüklerle yüklenmesi gereklidir. Bir sistemdeki lineer elemanda akım, gerilimle uyumludur. Ancak güç sistemlerine bağlı olan dönüştürücüler, ark fırınları, güç elektroniği elemanları gibi nonlineer yükler, sistemdeki akım ve gerilim büyüklüklerinin nonsinüzoidal olmasına, yani harmonik distorsiyonuna neden olabilirler. Nonlineer yüklerin güçleri düşük değerde olsa bile yine de gerilimin dalga şeklini bozarlar. Lineer ve nonlineer yüklerin akım-gerilim dalga şekilleri Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Lineer ve nonlineer yük akım-gerilim dalga şekilleri.

Harmonik bozunum elektriksel kirliliğin bir ifadesidir. Harmonik bozunumların toplamının (THD) belirli sınırların üzerinde olması bazı elektriksel problemlere neden olmaktadır. Örnek olarak akım harmoniklerinin yüksek olması kabloların aşırı ısınmasına ve zarar görmesine neden olabilir. Elektrik motorlarında da aşırı ısınmaya, gürültülü çalışmaya ve tork salınımlarına neden olmaktadır. Kapasitörlerde de aşırı ısınmaya, bunun sonucu dielektrik denem birbirinden yalıtılmış plakaların delinmesine neden olabilmektedir. Ayrıca işlemciler, elektronik göstergeler, LED’ler harmonik bozunumlardan etkilenmektedir [1,2].

Bir işaretin harmonik bozunumunun matematiksel ifadesi

$$I_H = \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}$$

I_n = n. harmoniğin RMS değeri, I_F = işaretin temel bileşeninin RMS değeri olmak üzere

$$THD = \frac{I_H}{I_F}$$

şeklinde hesaplanabilir. Toplam harmonik bozunumun yüzde olarak ifadesi



$$THD(\%) = \frac{I_H}{I_F} \cdot 100 \text{ olur.}$$

Arızasız bir işletmede harmonikler çeşitli nedenlerle ortaya çıkarlar. Bunların başında lineer olmayan manyetik ve elektrik devreleri gelir. Generatör, transformatör ve bobin gibi demir çekirdek içeren cihazlarda aşırı akı yoğunluğundan dolayı doymanın meydana gelmesi, demir çekirdeğin lineer olmayan manyetik devreye dönüşmesi anlamına gelir. Ark fırınlarında olduğu gibi normal işletme gereği bir arkın oluşması veya yarıiletken kullanılarak sinüzoidal gerilimin şeklinin değiştirilmesi ise elektrik devrelerinin nonlineer çalışmasına örnek verilebilir.

Harmoniklerin Güç Sistemi Elemanları Üzerindeki Etkileri

1. Transformatörler üzerindeki etkileri

Harmonikler, transformatörlerdeki ısınmayı ve kayıpları arttıran önemli bir etkidir. Akım harmonikleri kaçak akı kayıplarında ve bakır kayıplarında artışa neden olmaktadır. Gerilim harmonikleri, demir kayıplarında artışlara ve yalıtım zorlanmalarına neden olmaktadır. Bu kayıp artışları sonucunda transformatörde ek ısınma meydana gelecektir. Harmonik gerilim ve akımlarının neden olduğu transformatör kayıpları frekansla ilişkilidir. Frekansın artmasıyla kayıplar da artmaktadır. Harmonik bileşenlerin seviyesi arttıkça frekans değeri büyüdüğünden yüksek seviyeli harmonik bileşenler, düşük seviyeli harmonik bileşenlerden daha etkili olmaktadır.

2. Motorlar ve generatörler üzerindeki etkileri

Harmonik gerilim ve akımlarının en büyük etkisi, harmonik frekansındaki demir ve bakır kayıplarının artışı ile döner makinelerin ısısının artmasıdır. Bu yüzden harmonik bileşenler, döner makinelerin verimi ile momentinin düşmesine ve sinüzoidal beslemeli bir motora göre daha gürültülü çalışmalarına neden olur. Motor ve generatör gibi elektrik makinelerinde rotorun aşırı ısınması, harmoniklerden kaynaklanan gerilim distorsiyonlarının neden olduğu başlıca sorunlardan biridir. Her bir harmonik gerilimi (5., 7., 11., ...) makinenin statorunda bir harmonik akım indükleyecek ve stator sargılarında ilave ısı meydana getireceklerdir. Böylece temel akım bileşeninin neden olduğu ısı seviyesine gelecek ilavelerle makinenin ısı yükselecektir. Harmonikler sebebiyle motor sıcaklığının artması motor ömrünü kısaltmakta, bu durumdan en fazla bir fazlı motorlar etkilenmektedir.

3. Elektronik elemanlar üzerindeki etkileri

Harmonik gerilim ve akımlarının en büyük etkisi, harmonik frekansındaki demir ve bakır kayıplarının artışı ile döner makinelerin ısısının artmasıdır. Bu yüzden harmonik bileşenler, döner makinelerin verimi ile momentinin düşmesine ve sinüzoidal beslemeli bir motora göre daha gürültülü çalışmalarına neden olur. Motor ve generatör gibi elektrik makinelerinde rotorun aşırı ısınması, harmoniklerden kaynaklanan gerilim distorsiyonlarının neden olduğu başlıca sorunlardan biridir. Her bir harmonik gerilimi (5., 7., 11., ...) makinenin statorunda bir harmonik akım indükleyecek ve stator sargılarında ilave ısı meydana getireceklerdir. Böylece temel akım bileşeninin neden olduğu ısı seviyesine gelecek ilavelerle makinenin ısı yükselecektir. Harmonikler sebebiyle motor sıcaklığının artması motor ömrünü kısaltmakta, bu durumdan en fazla bir fazlı motorlar etkilenmektedir.

4. Aydınlatma elemanları üzerindeki etkileri

Harmonik bileşenli gerilimler, floresant lambalarda duyulabilecek gürültülere ve demir kayıplarına neden olmaktadır. Akkor telli lambaların kullanım ömürleri ise oldukça kısalmaktadır. Örneğin normal gerilimin %5 üstünde bir gerilimde kullanılan bir akkor lambanın ömrü %50 oranında azalmaktadır.



Sistemlerde Harmoniklerin Engellenmesi

Harmonikler nedeniyle oluşacak zararlı etkilerin engellenmesi sadece tasarımda alınacak tedbirlerle mümkün olmamaktadır. Harmonik akımların şebekeye geçmesini önlemek için ek devrelere ihtiyaç vardır. Devreye yerleştirilen ve istenen harmonik akımının süzülmesini sağlayan bu devrelere "harmonik filtresi" adı verilir. Harmonik filtrelerin amacı bir yada daha fazla frekanstaki akım veya gerilimlerin yani harmoniklerin etkisini azaltmaktır. Harmonik filtrelerin görevleri harmonik üreten bir cihazdan beslenen yükün gerilim dalgasını düzeltmek, AC sisteme katılan istenmeyen harmonik bileşenleri önlemek şeklinde özetlenebilir [3,4,5].

İşlev bakımından filtreler ikiye ayrılır;

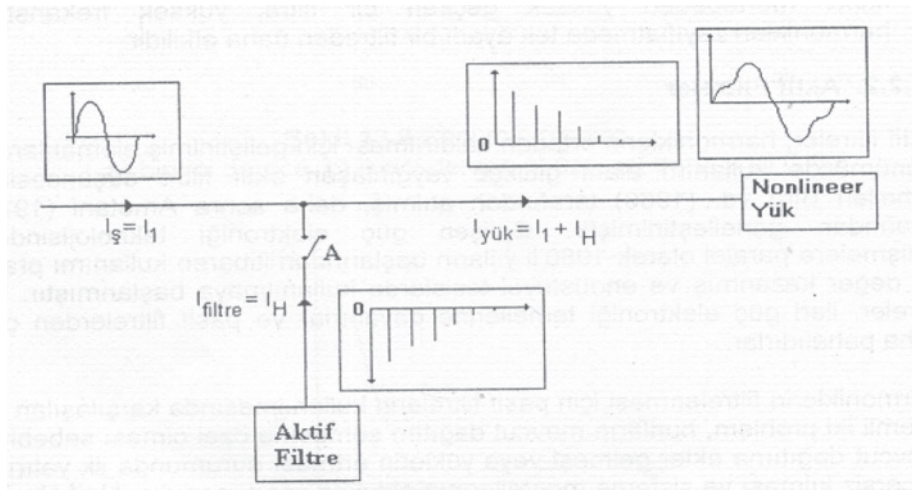
- Filtrelerin kontrollü akım ya da gerilim kaynağına sahip olduğu "aktif" filtreler
- Filtre bileşenlerinin direnç endüktans ve kondansatör gibi pasif elemanlardan oluşturulduğu "pasif" filtreler

Aktif Filtreler

Harmoniklerin ortadan kaldırılması için geliştirilmiş elemanlardır. Bu filtreler ileri güç elektroniği temellerine dayanır ve pasif filtrelerden çok daha pahalıdır. Aktif filtreler birden fazla harmonik frekansı için adreslenebilir ve enerji kalitesini etkileyen problemleri ortadan kaldırabilir. Aynı zamanda en önemli üstünlükleri mevcut dağıtımda değişiklikler yapıldığında bile etkili harmonik kompanzasyonuna devam edebilmeleridir.

Aktif filtrenin çalışma prensibi, nonlineer yükün çekeceği temel bileşen dışındaki akımı karşılamaktır. Buna göre aktif filtreler yük tarafından çekilen harmonikleri analiz ederek harmonik bileşenleri uygun bir fazda yüke uygularlar.

Şekil 2'de aktif filtre ile harmoniklerin giderilmesi gösterilmiştir.



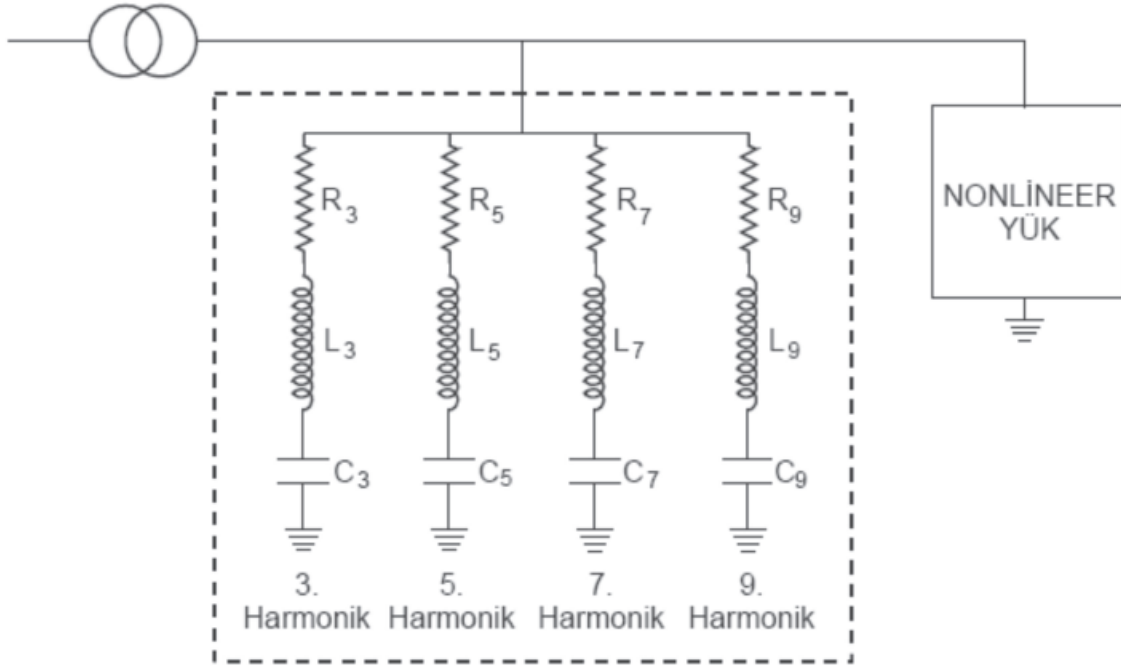
Şekil 2. Aktif filtre ile harmoniklerin giderilmesi.(5)

Pasif Filtreler

Pasif filtreler, kaynak ile alıcı arasına konulan ve temel frekans dışındaki bileşenleri yok eden seri bağlı kondansatör ve endüktans bileşimidir. Bazı durumlarda omik direnç de ilave edilebilir. Pasif filtrelerde amaç, yok edilmek istenen harmonik bileşen frekansında rezonansa gelecek L ve C değerlerini belirlemektir. Her bir harmonik bileşen için onu rezonansa getirecek ayrı bir filtre kolu gereklidir.



Seri filtreler, harmonik kaynağıyla şebeke arasına seri olarak bağlanır ve harmonik akışına yüksek empedans gösterirler. Bu yüzden seri filtrelerin ayarlanmış olduğu frekansta yüksek empedans vardır. Paralel filtreler harmonik kaynağıyla şebeke arasına paralel olarak bağlanırlar. Bu tip filtrelerde amaç, düşük bir şönt empedans yoluyla istenmeyen harmonik akımlarının filtre üzerinden geçmesinin sağlanmasıdır. Paralel pasif filtrenin bir devreye bağlantısı şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Bir devrede paralel pasif filtrenin kullanımı.

Tablo 1. Aktif ve pasif filtrelerin karşılaştırılması.

KONU	PASİF FİLTRE	KONU
Harmonikli akımların kontrolü.	Her harmonik frekansı için bir filtre ister.	Aynı anda birçok harmonik akımı kontrol edilebilir.
Harmonik frekanslarının değişiminin etkisi.	Filtrenin etkinliği azalır.	Etkilenmez.
Empedans modifikasyonu etkisi.	Rezonans riski vardır.	Etkilenmez.
Akım yükselmesi riski.	Aşırı yüklenme ve bozulma riski vardır.	Aşırı yüklenme riski yoktur.
Sisteme yeni yük ilave edilmesi.	Filtrenin değiştirilmesi gerekebilir.	Herhangi bir probleme yol açmaz.
Sistemdeki temel dalganın frekans değişimi.	Değiştirilmesi gerekir.	Ayar ile uyum mümkündür.
Boyutlar ve ağırlık.	Harmonik genliği ve derecesine göre değişken.	Küçüktür.
Maliyet.	İlk maliyet çok düşük ama bakım yüksek.	İlk maliyet çok yüksek ama bakım düşük.



Sonuç ve Öneriler

Harmonik ve etkilerini en aza indirmeye yönelik olarak şu önerilere yer verilebilir:

- Sistem üzerindeki nonlineer yüklerin olabildiğince dar bir alanda ve günlük yükleme periyodunun olabildiğince küçük bir diliminde kullanılmasına çalışılmalıdır.
- Harmonikli yük çekecek (veya çekmekte olan) tüketicilerin THD oranlarına sınırlamalar getirilmelidir. Bu sınırlamanın güç kompanzasyonuna benzer şekilde elektriği üretme ve dağıtmadan sorumlu olan kurum tarafından bir yaptırım halinde yönetmeliklere veya projelendirme esaslarına alınması düşünülebilir.
- Sanayi tesislerinin harmonik konusunda ortaya çıkabilecek teknik sorunlarına teknik danışmanlık ve çözüm getirmek üzere, (Güç kompanzasyonu örneğinde olduğu gibi) özel kuruluş ve birimlerin oluşturulması özendirilmelidir. Güç kompanzasyonu tasarım ve montajında gelinen noktaya harmonik filtre tasarımı ve donanımı konusunda da gelinmesi, gelecekte daha yaygın olarak gözlenecek harmonik probleminin çözümüne katkı sağlayacak nitelikte olacaktır.
- Ülkemizde harmonikler konusunun fazla gecikmeden ele alınmasında ve bazı önleyici tedbirlerin getirilmesinde büyük yarar vardır. Sanayi tesislerinde filtre kullanılmasının teşvik edilmesi ve tüketicilerin sebep olduğu THD ölçüsünde yeni bir fiyat tarifi uygulanması gibi tedbirler düşünülebilir.

Kaynaklar:

- [1] U.Arifoğlu, Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi
- [2] J.Arrillaga and R.N.Watson, "Power System Harmonics"
- [3] A.Karakaş, C.Kocatepe, M.Baysal ve H.Çakır, Harmonikli sistemlerde filtre uygulamasının karşılaştırılması, Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli, 17-18 Mayıs 2005.
- [4] A.Demirören ve L.Zeynelgil, Elektrik Enerji Sistemlerinin Kararlılığı, Kontrolü ve Çalışması
- [5] C.Kocatepe, M.Uzunoğlu, R.Yumurtacı, A.Karakaş, ve O.Arıkan, Elektrik Tesislerinde Harmonikler,

