

GÜÇ FAKTÖRÜNÜN DÜZELTİLMESİ VE HARMONİK FİLTRELERİ

Belgin Türkay

Alper Serçe

İstanbul Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü

Abstract

This paper presents two different harmonic filter designs either to minimise harmonic distortion or to correct the power factor of the system. Using previously recorded data a single-tuned and a high-pass filter have been designed for a 110kW AC motor driven by a VFC (Variable Frequency Converter) which injects harmonics into network.

1. GİRİŞ

Günümüzde vazgeçilmez bir enerji türü olan elektrik enerjisi beraberinde bir çok problemleri beraberinde getirmiştir. Gerilimi ve frekansı sabit olan iyi kaliteli elektrik enerjisi ile tüketicilerin beslenmesi elektrik enerji kesintilerinin önlenmesi açısından oldukça önemlidir. Bununla birlikte bazı olumsuzluklar nedeni ile bu şartlar uygulamada tam olarak sağlanamaz. Bu olumsuzluklar güç kalitesi kavramını ortaya çıkarmıştır. Güç kalitesi kavramı iletim sistemi arıza çalışmamlarından bilgisayar bilgi hatlarındaki geçici gerilim dalgalanmalarının bastırılmasına kadar geniş bir alanı kapsar.

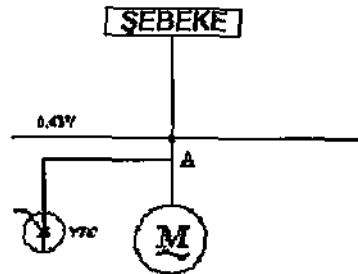
Son yıllarda doğrusal olmayan yüklerin kullanımının giderek yaygınlaşması sebebi ile güç kalitesi probleminde artış gözlemlenmiştir. Bu yükler şebekede harmoniklerin oluşmasına yol açmıştır. Yüksek harmonik bileşenleri elektrikli ekipmanlara zarar vermekte, verimi düşürmekte ve ayrıca ek kayıplara yol açmaktadır [1].

Çimento sektörü enerji tüketimi bakımından demir çelik sektöründen sonra gelen ikinci enerji yoğun sektördür. Bu nedenle çimento sektöründe yapılacak olan enerji tasarrufu ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır. Bu amaçla bu çalışmada çimento sanayi örneği ele alınmış ve yapılan gerçek

ölçümler kullanılarak harmonik bileşenleri azaltıcı sabit ayarlı çentik ve yüksek geçiren filtre tasarımları yapılmış ve aynı zamanda güç katsayısı 0.95 değerine yükseltilmiştir.

2. UYGULAMA

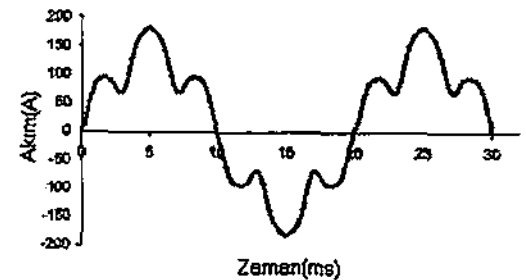
Harmonik ölçümleri enerji tüketimi oldukça fazla olan bir çimento fabrikasından alınmıştır. Harmonik ölçümlerinin yapıldığı sistemin A ölçüm noktası olmak üzere Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Örnek Sistem

1) Harmonikler

Filtrenin tasarlandığı örnek sistemdeki harmonik bozulmalar yarı iletken bir sürücü tarafından meydana getirilmektedir. Örnek sisteme ilişkin bozulmuş sinisoidal dalga şekli, Şekil 2'de gösterilmiştir [2].



Şekil 2. Örnek sisteme ait akım değişimi

Tablo 1'de yapılan ölçümlere ait THD (Toplam Harmonik Bozulma), faktörü ve harmonik bileşenlerin değerleri verilmiştir. Ölçüm değerlerine bakıldığında zaman özellikle 5. Harmonik bileşeninin IEEE-519 standartına göre yüksek değerli olduğu görülmektedir. Örnek sistemdeki yüksek bileşenli harmonikleri süzmek amacıyla çalışmada band geçiren ve 2. Dereceden yüksek geçiren filtre tasarımları yapılmıştır.

Tablo 1. Harmonik Ölçüm Sonuçları

Harmonik	Akım(A)	%
1	107.2	95.9
2	1	0.9
3	1	0.9
4	0.8	0.7
5	29.2	26.2
6	0.1	0.1
7	3.3	2.9
8	0.2	0.2
9	0.8	0.7
10	0.3	0.3
11	8.9	7.9
12	0.2	0.2
13	2.8	2.5
14	0.1	0.1
15	1.1	1
16	0.2	0.2
17	5.3	4.7
18	0.1	0.1
19	2.1	1.8
20	0.1	0.1
21	0.6	0.5
22	0.2	0.2
23	3.5	3.1
24	0.1	0.1
25	1.7	1.5
3 fazlı Yük	P : 97kW	190A
THD _A :%40.3	f = 50Hz	PF = 0.69

i) Güç Faktörünün Düzeltilmesi

Sistemin güç faktörü 0.83'ten 0.95'e çıkartabilmek için 41.49kVAR'lık kapasitif reaktif güce ihtiyaç vardır. Bu güç 10.05kVAR

gücündeki reaktif güç rölesi tarafından 4 grup halinde sağlanacaktır. Her bir gruptaki kondansatörün değeri 200µF'tır.

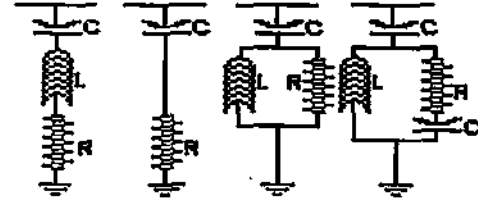
iii) Filtre Tasarımı

Şebekeler istenmeyen harmonik bozulmalardan korunmak için tercih edilen yöntemler:

- Harmonikleri bloke etmek için seri bağlı bir empedans kullanmak
- Paralel bağlı bir empedans yardımıyla harmonikler toprağa akıtmaktır.

Seri bağlı düzenegin tüm hat akımını taşıması ve yalıtılmış olması gerekmektedir. Seri bağlı filtrenin maliyetinin yüksek olması ve paralel bağlı filtrenin aynı zamanda temel bileşende kompanzasyon için kullanılıyor olması uygulamada genellikle paralel bağlı filtrenin tercih edilmesine sebep olmaktadır.

En yaygın olarak kullanılan filtreler band geçiren filtre ve yüksek geçiren filtrelerdir. Bu iki tip filtre basit tasarımları ve düşük maliyetleri sebebiyle tercih edilmektedir. Bu filtrelerin tipik devre şemaları şekil 3'te gösterilmiştir. Çalışmada şekil 1'de verilen örnek sistem için band geçiren filtre ve 2. dereceden yüksek geçiren filtre tasarlanmıştır.



Şekil 3 Filtre devre şemaları

- Band geçiren Filtre
1. Dereceden Yüksek Geçiren Filtre
2. Dereceden Yüksek Geçiren Filtre
3. Dereceden Yüksek Geçiren Filtre

Band Geçiren Filtre

En yaygın olarak kullanılan band geçiren filtrenin her faz için aynı olan devre şeması şekil 3'de verilmiştir.

Band geçiren filtrenin çalışma prensibi, ayarlandığı frekans dışındaki tüm frekanslarda yüksek empedans karakteri göstermesi olarak

özetlenebilir. Ayarlı olduğu frekans filtrenin rezonans frekansıdır.

Direnç, endüktans ve kapasitenin aynı anda bulunduğu sistemlerde empedansın sanal kısmının sıfıra eşit olduğu frekansa rezonans frekansı denir ve frekans denklem 1 yardımıyla hesaplanır.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

Tablo 1'de görüldüğü gibi sistemin 5. harmoniği IEEE tarafından belirlenen sınırın üstünde olup %26.2'dir. Filtrenin şebeke ile rezonansa girmesini önlemek için rezonans frekansı 235Hz olarak seçilir

Filtrede kullanılacak olan kondansatör değeri, sistemin güç faktörünü 0.95'e çıkartmak için gerekli olan 41.49 kVAR'lık reaktif gücü sağlayabilmek için 200µF olarak bulunmuştur. Endüktans rezonans frekansı yardımıyla, direnç ise frekansın ayar noktasındaki keskinliğini belirleyen kalite faktörü kullanılarak hesaplanmaktadır. Kalite faktörü 10 ile 25 arasında seçilebilen bir değer olup matematiksel ifadesi denklem 2'de verilmiştir

$$Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R} = \frac{X_{Lr}}{R} = \frac{X_{Cr}}{R} \quad (2)$$

Yukarıda belirtilen kriterler yardımıyla hesaplanan filtre elemanlarının değerleri tablo 2'de verilmiştir

Tablo 2.Band geçiren filtreye ait eleman değerleri

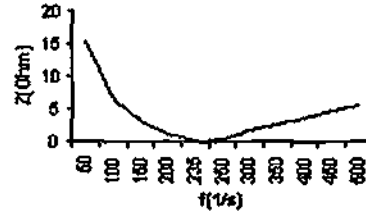
Q(Kalite Faktörü)	15
C(Kondansatör)	200µF
L(Endüktans)	2.29mH
R(Direnç)	0.226Ω

Filtre tasarlanırken sadece 5. Harmoniği süzmesi amaçlanmış ve sistemde başka kondansatör olmadığı varsayılmıştır.

Filtre empedansının matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (3)$$

Sabit ayarlı çentik filtrenin empedans grafiği Şekil 4'te verilmiştir



Şekil 4. Band geçiren filtrenin empedans grafiği

Yüksek Geçiren Filtre Tasarımı

Çalışmada Şekil 1'de verilen örnek sistem için 2. dereceden yüksek geçiren filtre tasarımı da yapılmıştır. Bu filtrenin faz başına tipik devre şeması Şekil 3'te verilmiştir.

Yüksek geçiren filtreler ayarlandığı frekansın altındaki frekanslarda yüksek, altındaki frekanslarda düşük empedans gösteren filtrelerdir.

Birinci dereceden yüksek geçiren filtre iyi bir filtreleme karakterine sahip olmasına karşın temel bileşende oldukça büyük güç kayıplarına yol açar. Üçüncü dereceden yüksek geçiren filtrede tam tersi bir durum söz konusudur. Yani temel bileşende düşük kayıplar meydana gelirken filtreleme özelliği oldukça azdır. İkinci dereceden yüksek geçiren filtre bu iki tip filtrenin arasında yer alır. Yani kabul edilebilir temel bileşende kabul edilebilir bir güç kaybı ve bu güç kaybına göre oldukça başarılı bir filtreleme yeteneğine sahiptir.

İkinci dereceden yüksek geçiren filtrenin kondansatör değeri kompanzasyon için gerekli reaktif güce göre endüktans değeri rezonans frekansına göre ve direnç değeri de kalite faktörü ile hesaplanmaktadır.

İkinci dereceden yüksek geçiren filtrenin kalite faktörü sabit ayarlı çentik filtreden farklı olup matematiksel ifadesi denklem 4'te verilmiştir.

$$Q = \frac{R}{\sqrt{L/C}} = \frac{R}{X_{Lr}} = \frac{R}{X_{Cr}} \quad (4)$$

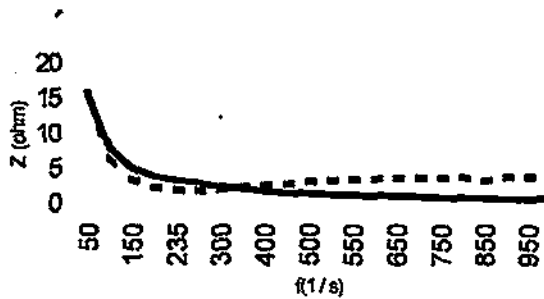
İkinci dereceden yüksek geçiren filtrenin kalite faktörü 0.5 ile 2.5 arasında bir değer seçilebilir. Kalite faktörünün düşük değerleri için ayarlandığı frekans belirgin değildir. Büyük değerlerinde ise yüksek frekanslarda empedans çok fazla büyür. Bu tip filtrelerde sabit ayarlı çentik filtrede olduğu gibi sistemle rezonansa girilmesi riski olduğu

için frekans tam bir harmonik katı seçilmez, bunu yerine istenilen frekansa yakın tam kat olmayan bir harmonik mertebesi seçilir.

Tasarlanan yüksek geçiren filtrenin empedansının matematiksel ifadesi denklem (5)'te verilmiştir.

$$Z = \frac{\omega^3 L^2 C R}{\omega^3 L^2 C + \omega C R^2} + j \frac{\omega^2 L R^2 C - \omega^2 L^2 - R^2}{\omega^3 L^2 C + \omega C R^2} \quad (5)$$

İkinci dereceden yüksek geçiren filtrenin empedans değişimi Şekil 5'te verilmiştir.



— 235 Hz için tasarlanmış filtre
 535 Hz için tasarlanmış filtre

Şekil 5. Yüksek geçiren filtrenin empedans grafiği.

Örnekteki sisteme uygun filtrenin seçilebilmesi için 2. dereceden yüksek filtre iki farklı frekans (235Hz, 535 Hz.) için tasarlanmıştır.

Bu kriterlerin ışığı altında tasarlanan filtrelerin devre elemanlarının büyüklükleri tablo 3'deki verilmiştir..

Tablo 3. İkinci dereceden yüksek geçiren filtreye ait eleman değerleri

f (Frekans)	235Hz	535Hz
Q(Kalite Faktörü)	2	2
C(Kapasite)	200µF	200µF
L(Endüktans)	2.29mH	2.02mH

Sonuç:

Çimento fabrikasında yapılan ölçümler sonucunda harmonik bileşenleri yüksek olan akımlar belirlenmiştir. Yüksek harmonikli akımlar cihazlara zarar vermekte, verimi düşürmekte ve ilave kayıplara sebep olmaktadır. Çalışmada harmoniklerin zararlı etkisini gidermek amacıyla yüksek mertebeli harmonikleri süzen band geçiren ve yüksek geçiren filtre tasarımları yapılmıştır.

Band geçiren filtre sadece 5. Harmoniği süzmekte, ikinci dereceden yüksek geçiren filtre ise temel bileşeni etkilemeden ayarlandığı frekansın altındaki bileşenleri süzmektedir. Çalışmadaki örnek sistem incelendiği zaman sadece 5. Harmoniğin yüksek değerli olduğu diğer bileşenlerin ise kabul edilebilir mertebede olduğu görülmektedir. Bu amaçla aralarında çok fazla bir fark olmamasına karşın band geçiren filtre uygulaması daha kolay olduğundan bu sistem için daha uygun görülmektedir. Ancak birden fazla yüksek değerli harmonik varsa yüksek geçiren filtrenin seçilmesi daha uygundur.

References

- [1] Dugan, R.C., McGranahan, M.F. and Beaty H.W., "Electrical Power System Quality", McGraw-Hill Company, 1996
- [2] T.C. Kaypmaz "Power Quality in Electrical Energy System and cement Industries Sample" İstanbul Technical University, M. Sc. Thesis, 1999 (in Turkish)
- [3] Gonzales, D.A. and McCall, J.C., "Design of Harmonic Filtersto Reduce Harmonic Distortion in Industrial Power Systems" IEEE Trans. on Industry App., Vol., 1A-23, No:3, 1987
- [3] Elham B., Adly, G., "Harmonic Filter Design Using Actual Recorded Data", IEEE Trans. on Industry App., Vol: 29 No:6, pp.1176-1182, November/December 1993.
- [4] G.T. Heydyt, W.M. Grady "Distributed Rectifier Loads in Electrical Power System" PAS 103, No:9 Sept., pp 2452-2459, 1984
- [5] Petr. W. Hammond "a Harmonic Filter Installation to Reduce Voltage Distortion from Static Power Converters", IEEE Transaction on Industry Applications, Vol:24, No1, January/February 1988.
- [6] Maura Loggini, Gian Carlo Montanari, Enrico Tironi Dario Zaninelli "Non Linear Resistance for Filter Design" 3rd International Conference on Harmonics in Power Systems, pp. 170-176, 1988.

- [7] Andrews D., Bishop M., "Harmonic Measurements, Analysis, and Power Factor Correction in a Modern Steel Manufacturing Facility", *IEEE Trans. on Industry App.* Vol.3 No:3, 1996
- [8] T.C. Kaypmaz "Power Quality in Electrical Energy System and cement Industries Sample" istanbul technical University, M. Sc. Thesis, 1999 (in Turkish)
- [9] IEEE Working Group on Power System Harmonics, "Power System Harmonics: An Overview" , *IEEE Trans. on Power Appar. and Systems*, 102,pp.2455-2460,1983.
- [10] Arillaga, J.Bradleu,D.A., and Bodger, P.S. "Power System Harmonics", John Willey and Sons, 1985
- [11] Thomas, A.S., "Harmonics and IEEE 519" Power Technologies, Inc. for Electrical Council of New England, September 1992,