

HARMONİKLERİN GÜÇ FAKTÖRÜ ÜZERİNE ETKİLERİ

Ö. Özgür GENCER¹ Bora ALBOYACI² Semra ÖZTÜRK³ Hasan B. ÇETİNKAYA⁴

^{1,2,3}Elektrik Mühendisliği Bölümü Mühendislik Fakültesi
Kocaeli Üniversitesi, 41100, Kocaeli

¹e-posta: ogencer@kou.edu.tr
³e-posta: semra@kou.edu.tr

²e-posta: alboyaci@kou.edu.tr
⁴e-posta: cetinkaya@kou.edu.tr

Anahtar sözcükler: Güç Ölçümü, Aktif Güç, Güç Faktörü, Harmonik Bozulma

ÖZET

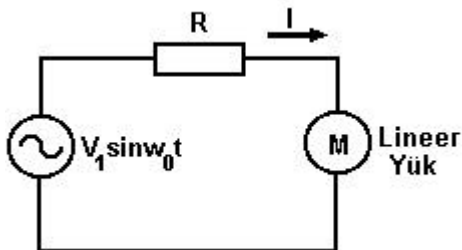
Lineer olmayan yüklerin neden olduğu gerilim ve akım harmonikleri güç kayıplarının artmasına ve güç ölçümünde bazı hatalara neden olmaktadır. Harmoniklerin neden olduğu kayıpların tam olarak belirlenmesi için karmaşık hesapların yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, güç sistemlerinde doğru güç faktöründe çalışmanın önemi ve hesaplama yöntemleri ele alınacaktır. Ele alınan yöntemler örnek bir sistem üzerinde incelenerek açıklanacaktır.

1. SİNÜSOİDAL ÇALIŞMADA GÜÇ FAKTÖRÜ

Lineer olmayan yüklerden dolayı güç faktörünün nasıl etkilendiğini belirlemek için öncelikle saf sinüs sinyali ile çalışan lineer bir yükün davranışının incelenmesi gereklidir. Bunun için Sekil-1'deki, lineer yükü temsil eden bir motor, kayıpları belirlemek için kullanılan bir ön direnç üzerinden tam sinüs kaynağı ile beslendiginde, sebeke gerilim ve akım denklemleri:

$$\begin{aligned} v(t) &= V_{1m} \sin(\omega_0 t + \delta_1) \\ i(t) &= I_{1m} \sin(\omega_0 t + \theta_1) \end{aligned} \quad (1)$$

biçiminde yazılabilir. Burada V_{1m} ve I_{1m} gerilim ve akımın tepe değeri, δ_1 ve θ_1 faz açılarıdır [1-2].



Sekil-1. Saf Sinüs İle Beslenen Lineer Yük

Sekil-1'deki sistem için çekilen aktif gücün, görünür güce oranı temel güç faktörünü (PF_{temel}) verecektir.

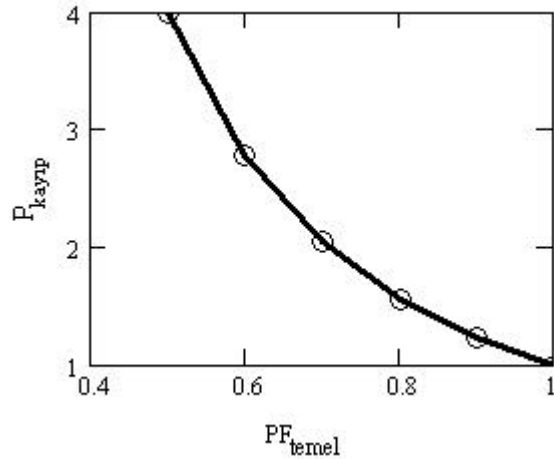
$$PF_{temel} = \frac{P}{S} \quad (2)$$

Saf sinüs sinyali olan kaynak için:

$$PF_{temel} = \frac{V_1 I_1 \cos(\delta_1 - \theta_1)}{V_1 I_1} = \cos(\delta_1 - \theta_1) = PF_{gercek} \quad (3)$$

elde edilir. Burada PF_{temel} saf sinüs sinyali ile çalışan sistemin güç faktörü, $(\delta_1 - \theta_1)$ güç faktörünün açısı, PF_{gercek} gerçek güç faktörüdür. Saf sinüs sinyali olan bir kaynak için temel güç faktörü ile gerçek güç faktörü birbirine esittir [3].

Sekil-1'deki devrede motorun çektiği aktif güç ve V_1 gerilimi sabit iken, $(\delta_1 - \theta_1)$ açısının değişimine bağlı olarak, ön dirençte oluşan $I^2 R$ kaybının değişimi Sekil-2'deki gibi çizilebilir.



Sekil-2. Dirençteki Kayıpların Güç Faktörüne Bağlı Değişimi

2. NONSİNÜSOİDAL ÇALIŞMADA GÜÇ FAKTÖRÜ

Sebekede transformatörlerin doyumunda çalışması veya güç elektronigi devreleri gibi lineer olmayan elemanlardan gerilim ve akım harmonik bileşenleri oluştururlar. En baskın harmonikler 50 Hz frekanslı temel harmonigin 3., 5., ve 7. katları olan

harmoniklerdir. Bu tür harmonikler içeren akım ve gerilim dalgası Fourier Yöntemi ile[4] :

$$v(t) = \sum_{k=1}^{\infty} V_{km} \sin(k\omega_0 t + \delta_k) \quad (4)$$

$$i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} i_{km} \sin(k\omega_0 t + \theta_k)$$

şeklinde yazılabilir. Bunların efektif değerleri ise;

$$V = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{V_{km}}{\sqrt{2}} \right)^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} V_k^2}$$

$$I = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{I_{km}}{\sqrt{2}} \right)^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} I_k^2} \quad (5)$$

olarak bulunur. Buna göre çekilen aktif güç;

$$P = \sum_{k=1}^{\infty} V_{kms} I_{kms} \cos(\delta_k - \theta_k) = P_1 + P_2 + \dots + P_k \quad (6)$$

olduğundan, harmonik bileşenlerin neden olduğu aktif güç, toplam çekilen aktif gücü arttırabilmekte veya azaltabilmektedir.

Gerilim ve akımdaki bozulma miktarının bir ölçüt olarak kullanılan “Toplam Harmonik Bozulma-THB” katsayısı;

$$THB_{(V)} = 100 \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{\infty} V_k^2}{V_1^2}} \quad THB_{(I)} = 100 \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}{I_1^2}} \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir. (7) formüllü (5)’de yerine konulduğunda, harmonikli gerilim ve akımın ortalama değerleri THB miktarına bağlı bulunabilir.

$$V = V_{(1)} \sqrt{1 + \left(\frac{THB_{(V)}}{100} \right)^2} \quad (8)$$

$$I = I_{(1)} \sqrt{1 + \left(\frac{THB_{(I)}}{100} \right)^2}$$

(8) formülüne göre (2) tekrar düzenlenirse;

$$PF_{gerçek} = \frac{P}{V_1 I_1} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THB_{(V)}}{100} \right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{THB_{(I)}}{100} \right)^2}} \quad (9)$$

elde edilir. Buna göre:

- Temel harmonik frekans dışında diğer harmonik frekansların oluşturdıkları güçler küçük olduğundan ihmal edilerek, $P \approx P_1$,
- Gerilimde harmoniklerden dolayı meydana gelen bozulma genellikle %10’dan düşük olduğundan (12)’ye göre $V \approx V_1$,

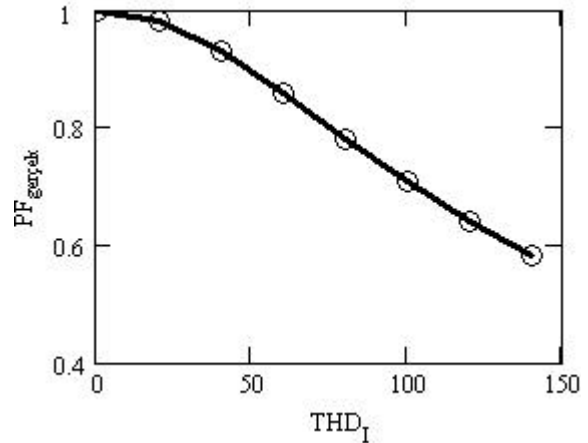
olarak kabul edilebilir [3-4].

Bu kabullere göre gerçek güç faktörü şu şekilde düzeltilebilir:

$$PF_{gerçek} = \frac{P_1}{V_1 I_1} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THB_{(I)}}{100} \right)^2}} = PF_{temel} F_b \quad (10)$$

Bu eşitlik incelendiğinde, PF_{temel} ’in en büyük değeri 1 olacaktır. Akım harmoniklerinin güç katsayısındaki bozulmaya etkisini belirleyen F_b katsayısı da akım harmoniklerinin sisteme bozucu etkisi oldukça 1’den küçük olacağı için $PF_{gerçek} < PF_{temel}$ olur. Ancak sistemde harmonik bozulma yoksa $F_b = 1$ ve $PF_{gerçek} = PF_{temel}$ olacaktır.

Sistemin gerçek güç faktörü $PF_{gerçek}$ ’in, akımdaki harmonik bozulmaya bağlı olarak değişimi Şekil 3’deki gibi çizilebilir.



Şekil-3. Gerçek Güç Faktörünün Akımdaki Bozulmaya Bağlı Değişimi

Şekil-3’deki eğriye göre, günlük hayatta yoğunlukla kullanılan elektronik devreli cihazların yüksek akım harmonik bozulmalarda çalışmaktadırlar. Gerçek güç faktörleri 0,707’den düşük iken, temel güç faktörleri 1 civarındadır. 3 fazlı tüketicilerde ise tek fazlı tüketicilere göre daha düşük akım bozulmasında; dolayısıyla daha yüksek bozulma güç faktöründe çalışırlar. Faz kontrolüne göre çalışan 3 fazlı tüketiciler de ise düşük bozulma faktörlerine neden

olan düşük yüklenmelerde, gerçek güç faktörü de düşük olabilmektedir.

Harmoniklerin neden olduğu düşük bozulma faktörü, sönt kapasitörler eklenerek kompanze edilemez. Sadece temel güç faktörü kapasitörlerle kompanze edilebilir. Buna yüksek temel güç faktörü ve düşük bozulma faktörlerinde çalışan tek fazlı cihazların fazla olduğu sistemlerde dikkat edilmelidir. Bu koşullarda eklenecek kapasitörler güç faktörünü düzeltmek yerine sistemde rezonanslara ve harmoniklerin genliklerinde yükselmelere neden olacaktır. Bunun yerine pasif veya aktif filtre yöntemleri ile güç faktörünün düzeltilmesi tercih edilmelidir.

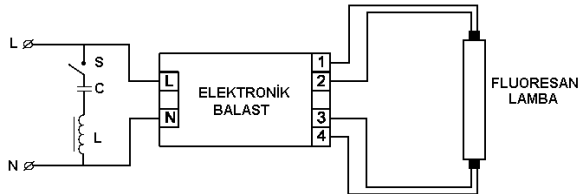
Bazı tek fazlı tüketiciler için ölçülen gerçek ve temel güç faktörleri ile bozulma faktörleri Tablo 1’de verilmistir. Buna göre harmonik bozulmaları göz önüne alındığında %20’nin altındakiler düşük, %20<THB_I<%50 arasındakiler orta, %50’nin üzerindeki ise yüksek harmonik bozulmaya sahiptir denilebilir [4].

Tablo-1. Bazı Tek Fazlı Yüklerde Temel, Bozuk, Gerçek Güç Faktörleri ve Akım Toplam Harmonik Bozulması.

Yük	PF _{gerçek}	THB _I	F _b	PF _{gerçek}
ACS600 Motor Sürücü Devresi	0,93	138,24	0,586	0,54
Elektronik Balastlı Fluoresan Lamba	0,9743	123,1	0,63	0,6143
Klima	0,97	37	0,938	0,9
Bilgisayar	0,88	101,7	0,701	0,61
Mikrodalga Fırın	1	30,3	0,957	0,95
Fotokopi Makinesi	0,58	69,1	0,823	0,48
Redresör	0,44	54	0,88	0,38
Monitör	0,89	86,7	0,756	0,66

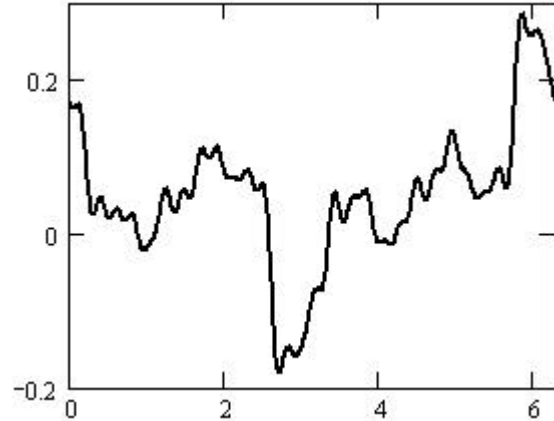
2. UYGULAMA

Tek fazlı bir sistemde, filtreli ve filtresiz durumda güç faktörünü incelemek için Sekil-4’deki gücü 20W olan bir elektronik balastlı flüoresan lamba tesisati kurulmuştur.



Sekil-4. Elektronik Balastlı Flüoresan Lamba Deney Montaj Seması

Sistemde oluşan harmonikli akimin dalga şekli Sekil-5’deki gibidir.



Sekil-5. Akım Dalga Şekli

Harmonik ölçüm cihazıyla devrenden çekilen aktif güç 17 W, reaktif güç 3 VAR, görünür güç 30 VA olarak ölçülmüştür. Buna göre sistemin harmoniklerden kaynaklanan kayıp gücü;

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \rightarrow D = \sqrt{S^2 - P^2 + Q^2} = 24 \text{ VAD}$$

olarak hesaplanabilir.

Sistemin 1. harmonikdeki faz açısı 13°’dir. Buna göre temel güç faktörü:

$$PF_{\text{temel}} = \cos(13^\circ) = 0,9743$$

olacaktır. Bu değer için bir kompanzasyon yapılmasına gerek yoktur.

Harmonik akımlarına göre akımdaki bozulum %123,1 ve bu harmonikler nedeniyle oluşan bozuk güç faktörü:

$$F_b = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THB_I}{100}\right)^2}} = 0,63$$

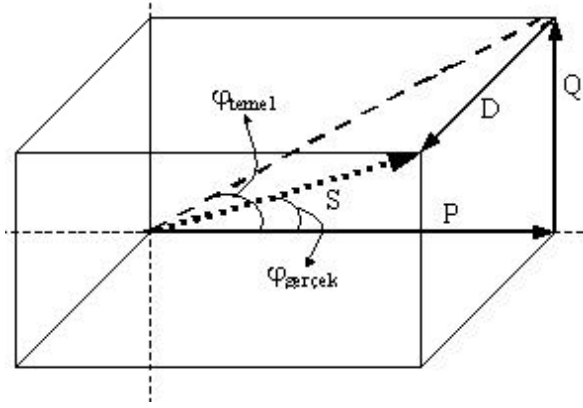
olarak bulunur.

Elde edilen değerlere göre sistemin gerçek güç faktörü:

$$PF_{\text{gerçek}} = PF_{\text{temel}} F_b = 0,9743 \times 0,63 = 0,6143$$

biçiminde elde edilir.

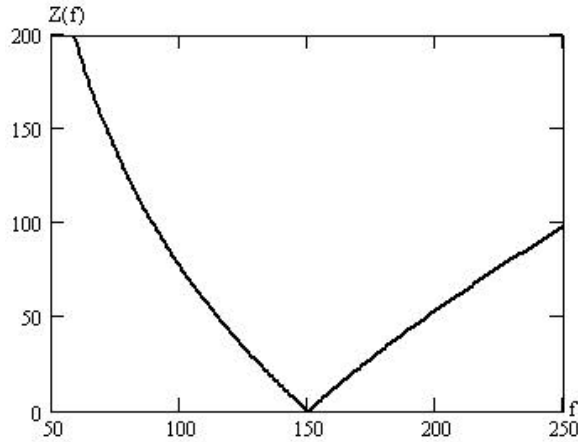
Sekil-6’da harmonikli bir sistemde çekilen gücün bileşenleri görülmektedir. Sekilden harmonikli sistemlerde güç açısını düzeltmek için yapılacak işlemler daha kolay incelenebilmektedir.



Sekil-6 Güç Bileşenleri

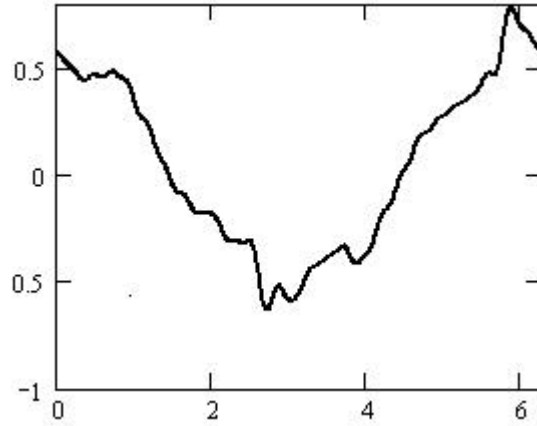
Bazı güç açısı ölçüm cihazları sistemin gerçek güç faktörünü, bazıları ise temel güç faktörünü referans alarak kompanzasyon yapmaktadır. Bu tür sistemlerde harmonikleri yok etmek için kullanılacak filtre devreleri, temel harmonik frekansındaki güç faktörü düşükse bunu yükseltecek şekilde, yüksekse değerini düşürmeyecek şekilde seçilmelidir [5].

Uygulamada alınan sistemde, oluşan harmoniklerden en baskın olan 3. harmonigi yok etmek için oluşturulacak filtre devresinde $L=98\text{mH}$, $C=11,4\mu\text{F}$ olarak alındığında, filtre devresinin frekansa bağlı değişimi Sekil-7'deki gibi olacaktır.



Sekil-7. Pasif Filtre Devresi Empedansinin Frekansa Bağlı Değişimi

Sekil-4'deki devrede S anahtarı kapatılıp filtre devreye alındığında akım dalga şekli Sekil-8'deki gibidir. Bu şekil incelendiğinde, akım dalgasının sinüs formuna yaklaştığı görülmektedir. Sebekten çekilen aktif güç 119W, reaktif güç 13VAR, görünür güç 122VA, harmoniklerden kaynaklanan kayıp güç 23,53WAD, akımdaki bozulum miktarı %16,28'e düşmüştür. Devrenin gerçek güç faktörü 0,98'e, temel güç faktörü 0,99'a çıkmıştır.



Sekil-8. Filtreli Durumda Akım Dalga Sekli

3. SONUÇ

Bu çalışmada harmonikli güç sistemlerinde güç faktörünün doğru olarak nasıl tespit edileceği açıklanmıştır. Harmonikleri önlemek için bağlanacak olan filtre devrelerinin elemanlarının seçiminin, güç faktörü üzerindeki etkileri örnek bir uygulama ile gösterilmiştir.

Uygulamada harmonik kaynak olarak kullanılan elektronik balastlı flüoresan lambanın filtre bağlandığında çektiği güçler, fildresiz çalışmaya göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bu olumsuz etki, daha büyük güçlü yüklerde de filtre aynı harmonik akımlarını çekeceği, temel ve gerçek güç faktörlerini arttıracığı, harmoniklerden dolayı çekilen gücü azaltacağı, göz önüne alındığında ihmal edilebilecek düzeydedir.

4. KAYNAKLAR

- [1] W. M. Grady, R. J. Gilleskie, Harmonics And How They Relative to Power Factor, PROC. OF THE EPRI POWER QUALITY ISSUES & OPPORTUNITIES CONFERENCE (PQA'93), San Diego, CA, Kasım 1993.
- [2] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE, NY, USA, Nisan 1993
- [3] A. McEachern, "How Utilities Can Charge for Harmonics," Minutes of the IEEE Working Group on Power System Harmonics, IEEE-PES WINTER MEETING, Columbus, Ohio, Subat, 1993.
- [4] R C. Dugan, M.F. McGranaghan, H.W. Beaty, ELECTRICAL POWER SYSTEM QUALITY, McGraw-Hill New York, 1996
- [5] Herbert L. Ginn III Improvement Of Resonant Harmonic Filter Effectiveness In The Presence Of Distribution Voltage Distortion, LOUISIANA STATE UNIVERSITY, May. 2002