

## INVESTIGATION OF POWER DEFINITIONS AND POWER FACTOR UNDER NON-SINUSOIDAL CONDITIONS

Celal KOCATEPE, Selim KÖROĞLU\*, Oktay ARIKAN

*Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Yıldız- İSTANBUL*

**Geliş/Received: 01.11.2004 Kabul/Accepted: 20.04.2005**

### ABSTRACT

As the number of non-linear elements that are connected to the power systems increase, undesired effects due to these non-linear components also increase. The power factor, power definitions, power and energy measurement for non-sinusoidal voltage and current are getting importance. In this study, power terms change with respect to power factor for various networks with harmonics have been analysed. Furthermore, the changes in power due to connection as only resistive, inductive or capacitive elements to non-sinusoidal power sources have been represented. These changes have been represented by using equation (13) and Matlab program for the analysis.

**Keywords:** Harmonic, Apparent power, Distortion power, Power factor.

**EESL number/numarası:** 709.

### NONSİNÜSOİDAL ŞARTLAR ALTINDA GÜÇ FAKTÖRÜNÜN VE GÜÇ TANIMLARININ İNCELENMESİ

#### ÖZET

Güç sistemlerine bağlanan nonlineer elemanlarının sayısının artmasıyla birlikte bu elemanların neden olduğu olumsuz etkiler de artış göstermektedir. Nonsinüsoidal akım ve gerilim için güç faktörü, güç tanımları ve güç ile enerji ölçümleri giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışmada farklı yapıda ve ağırlıklı olarak harmonikli devreler için güç faktörüne bağlı olarak güçlerin nasıl bir değişim gösterdiği incelenmiştir. Ayrıca nonsinüsoidal kaynaktan beslenen devrede sadece omik, endüktif, veya kapasitif elemanların olması durumunda güçlerin değişimi ortaya konmuştur. Bu değişimler denklem (13)'deki eşitlik kabul edilerek ve analizler için matlab paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Harmonik, Görünür güç, Distorsiyon gücü, Güç katsayısı.

## 1. GİRİŞ

Güç sistemindeki nonlineer elemanların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu artışın sonucu olarak güç sistemlerinde harmonik bileşenler ve bunların olumsuz etkileri de karşımıza çıkmaktadır. Harmonikler genel olarak nonlineer elemanlar ile nonsinüsoidal kaynaklardan herhangi birisinin veya bunların her ikisinin sistemde bulunması ile meydana gelir. Harmonikli akım ve gerilimlerinin güç sistemlerinde bulunması, sinüsoidal akım ve gerilim dalgasının bozulması anlamına gelir. Bozulan dalgalar “nonsinüsoidal dalga” olarak adlandırılır. Harmonikler güç sistemlerinde ek kayıplara, ek gerilim düşümlerine, rezonans olaylarına, güç faktörünün

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-posta: skoroglu@yildiz.edu.tr, tel: (0212) 259 70 70 / 2907

değişmesine vb. gibi teknik ve ekonomik problemlere yol açarlar [1]. Literatürde harmoniklerin azaltılmasına yönelik birçok çalışma yapılmış ve halen yapılmaktadır [2,3].

Harmonikler enerji kalitesini ortaya koyan önemli etkenlerin başında gelmektedir [4]. Bu yönüyle, elektrik güç sistemlerinde enerji kalitesinin tanımı, şebekenin gerilim ve frekansındaki değişmeler ile çekilen akım dalga şeklinin bozulması ve bunların neden olduğu gerilim dalga şekli bozulmaları için kullanılır.

Elektrik tesislerinde akım ve gerilim dalgalarının sinüsoidal değişimden uzaklaşması ile bunlara ait güçlerin tanımlanmasında bazı farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Aktif güç, reaktif güç, görünür güç, distorsiyon gücü vb. gibi elektriksel büyüklüklerin sinüs biçimli olmayan değişimler altında değerleri uzun yıllar tartışma konusu olmuştur. Yakın bir zamana kadar bu tartışma, teorik çalışmalarla sınırlı idi, çünkü harmonikli durumda elektriksel büyüklükleri doğru olarak ölçmek ve araştırmak için ancak birkaç cihaz vardı. Bugün ise sayısal örnekleme teknolojisi ile elde edilen hızlı gelişmelere bağlı olarak elektrik enerjisinin ölçümü ve fiyatlandırılması salt bir araştırma alanından çıkıp, pratik uygulama konusu haline gelmiştir [5].

Mühendislik ekonomisinde elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtım maliyetleri için görünür güç önemli bir büyüklüktür. Görünür gücün hesaplanması aynı zamanda elektrikli aletlerin tasarımı, seçimi, güvenilirliği ve buna benzer durumlar için de gereklidir [6]. Harmonik bileşenlerin bulunduğu devrelerde distorsiyon gücü üzerindeki çeşitli tanımlamalar mevcuttur. Buna bağlı olarak diğer güç tanımlamalarında da farklılıklar olabilmektedir. Enerji fiyatlandırılması bakımından yapılacak tanımlamalar daha da önem kazanmaktadır. Bu konuda farklı görüşler bulunmaktadır. Enerji tarifeleri ve ölçüm cihazlarının ölçümleri için gelecekteki eğilimler, kullanım sırasında büyük ölçüde güç talebine dayanacaktır ve bazı üretici firmalar tüketicilerden enerji bedelini volt amper saat (VAh) olarak istemeyi bile düşüneceklerdir [7].

Güçlerin tanımlanması, ölçülmesi uygulamadaki problemlerin çözümü için çok büyük öneme sahiptir. Tasarımdan, işleme ve fiyatlandırmaya kadar her konuda güçlerin belirlenmesi kaçınılmaz durumdadır. Bu çalışmada tek fazlı devreler için nonsinüsoidal şartlarda güçlerin analizleri gerçekleştirilmiştir.

## 2. TEK FAZLI DEVRELERDE NONSİNÜSOİDAL DURUMLARDA GÜÇLERİN ANALİZİ

Referans 5’de tek fazlı devrelerde nonsinüsoidal durumlarda güçlerin analizi aşağıdaki (1)-(9) ile (11)-(13) denklemleri ile verilmiştir. Bu yaklaşımda akım/gerilim büyüklükleri temel ve harmonik bileşenlere ayrılarak efektif gerilim (V) ve akım (A) için sırasıyla;

$$V^2 = V_1^2 + V_H^2, \quad I^2 = I_1^2 + I_H^2 \quad (1)$$

eşitlikleri verilmiştir. Burada 1 indisi temel bileşeni, H indisi ise tüm harmonik bileşenleri ifade etmektedir. Buradan görünür gücün (S) karesi

$$S^2 = (VI)^2 = (S_1)^2 + (S_N)^2 \quad (2)$$

eşitliği ile verilir ve iki bileşene ayrılmıştır. Görünür gücün temel bileşeni ( $S_1$ ) için

$$S_1^2 = (V_1 I_1)^2 = P_1^2 + Q_1^2 \quad (3)$$

Aktif güç temel bileşeni ( $P_1$ ) için

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \theta_1 \quad (4)$$

Reaktif gücün temel bileşeni ( $Q_1$ ) için

$$Q_1 = V_1 I_1 \sin \theta_1 \quad ; \quad \theta_1 = \alpha_1 - \beta_1 \quad (5)$$

## Investigation of Power Definitions and ...

eşitlikleri verilir. Verilen eşitlikte,  $\alpha_1$  temel bileşen geriliminin faz açısı,  $\beta_1$  ise temel bileşen akımının faz açısıdır. Görünür gücün temel olmayan bileşeninin ( $S_N$ ) karesi üç bileşenden oluşmaktadır.

$$S_N^2 = (V_1 I_H)^2 + (V_H I_1)^2 + (V_H I_H)^2 \quad (6)$$

$P_1$  ve  $Q_1$ 'e bir akış yönü verilebilirken,  $S_N$ 'nin üç bileşeni için her hangi bir akış yönünden söz edilmez. Bunlar sadece matematiksel ifadeler olup, aktif güce ait terimlerdeki gibi fiziksel anlam taşımazlar. Ancak bu bileşenler şebekenin çalışmasına ait faydalı göstergeler olarak kullanılabilir [5]. İlk bileşen ( $V_1 I_H$ ) ana bileşen efektif gerilimi ile harmonikli efektif akımın çarpımıdır ve genellikle ağır basan terimdir. Gerilim saf sinüsoidal olsa bile harmonikli akım varsa ( $I_H > 0$ ), bu terim olacaktır. Buna "Akım Distorsiyon Gücü" adı verilebilir. İkinci terim  $V_H I_1$  ise akımın ana bileşeninin efektif değeri ile harmonikli gerilimin efektif değerinin çarpımıdır. "Gerilim Distorsiyon Gücü" olarak isimlendirilen bu terim, gözlemlenen hat üzerindeki gerilim bozulmasını yansıtır. Üçüncü bileşene ise "Harmonik Görünen Gücü" adı verilir ve aşağıdaki gibi ayrıştırılabilir;

$$S_H^2 = (V_H I_H)^2 = P_H^2 + N_H^2 \quad (7)$$

Burada;  $P_H$ , toplam harmonik aktif güç olup

$$P_H = \sum_{h \neq 1} V_h I_h \cos \theta_h \quad ; \quad \theta_h = \alpha_h - \beta_h \quad (8)$$

olarak verilir.  $N_H$  ise Toplam Harmonik Aktif Olmayan Güç olarak tanımlanır.

Görünür gücün temel olmayan bileşeninin ( $S_N$ ) temel bileşene ( $S_1$ ) oranı, Toplam Harmonik Distorsiyonlarının (THD) bir fonksiyonu olarak

$$\left[ \frac{S_N}{S_1} \right]^2 = (THD_I)^2 + (THD_V)^2 + (TDH_I THD_V)^2 \quad (9)$$

şeklinde yazılır. Bilindiği gibi harmonik bozulmaya ilişkin ölçüt olarak toplam harmonik distorsiyonu kullanılmaktadır. Toplam harmonik distorsiyonların sınırlandırılması ile güçler arasındaki bu oranın da sınırlandırılması mümkün olmaktadır. Toplam Harmonik Distorsiyonu gerilim ve akım için şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \quad \text{ve} \quad THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (10)$$

Çeşitli akım ve gerilim için harmonik bileşenlerin sınırlandırılmasında toplam harmonik distorsiyonu büyüklüğü kullanılmaktadır. Ülkeler tarafından belirlenmiş olan standart/sınır değerler vardır. Standartlaştırılmış olan bu değerler tablolar halinde verilmektedir [8]. Çizelge 1, IEEE'nin gerilim için harmonik distorsiyon sınırlarını göstermektedir. Elektrik üretim tesislerinde genelde gerilim distorsiyonu ( $THD_V$ ) sınır değeri olarak %5 oranı tutturulmaya çalışılır. Akım için toplam harmonik distorsiyonu ( $THD_I$ ) oranları ise genel olarak gerilim oranlarından daha büyük değerde olurlar. Çizelge 2, IEEE'nin genel dağıtım sistemlerinde akım için harmonik distorsiyon sınırlarını belirtmektedir.

Yapılacak ölçümler için Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliğinde, dağıtım şirketi ve kullanıcının ilgili standartlara uymakla yükümlü olduğu belirtilmiş ve Madde 52 d'de "Toplam harmonik bozulmaya ilişkin hizmet kalitesinin sağlanabilmesi için, ölçülen toplam harmonik

bozulmanın, ölçüm süresinin % 5'inden daha uzun bir süre içinde % 8'den daha yüksek olmaması gerekir" hükmü vardır. Bu yüzden ölçüm süreleri ve hassasiyeti önemlidir [9].

**Çizelge 1.** IEEE'nin gerilim için harmonik distorsiyonu sınır değerleri

Bara gerilimi ( $V_n$ )	Tekil harmonik büyüklüğü (%)	(Toplam Harmonik Distorsiyonu) THD <sub>v</sub> (%)
$V_n \leq 69$ kV	3.0	5.0
$69 < V_n \leq 161$ kV	1.5	2.5
$V_n > 161$ kV	1.0	1.5

**Çizelge 2.** IEEE'nin genel dağıtım sistemlerine ait akım için harmonik distorsiyonu sınır değerleri

$V_n \leq 69$ kV						
$I_K'' / I_L$	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	TTD (%)
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 - 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 - 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 - 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
$69 < V_n \leq 161$ kV						
< 20	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20 - 50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50 - 100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100 - 1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
> 1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
$V_n > 161$ kV						
< 50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
$\geq 50$	3.0	1.5	1.15	0.5	0.22	4.0

Çizelge 2'deki büyüklüklerde,  $I_K''$  kısa devre akımı,  $I_L$  yük akımı, TTD toplam talep distorsiyonu şeklinde ifade edilir.

Bir sistemdeki elektrik enerjisi akışı verimliliğini ölçümlendirmede en uygun ölçüt

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{(P_1 + P_H)}{S} \quad (11)$$

eşitliği ile verilen toplam güç faktörüdür. Aynı şekilde kayma güç faktörü;

$$\cos \psi = \frac{P_1}{S_1} \quad (12)$$

şeklinde tanımlanır. Bu kavram önemli bir kavram olup, temel bileşen güçler, temel bileşen dışı güçlerden ayrı olarak dikkate alınmaktadır.

### 3. KAYNAK VE YÜKE GÖRE GÜÇ BİLEŞENLERİNİN İNCELENMESİ

Bilindiği gibi herhangi bir devre için nonsinüsoidal büyüklüklerin bulunması durumunda güçler arasında;

## Investigation of Power Definitions and ...

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 \quad (13)$$

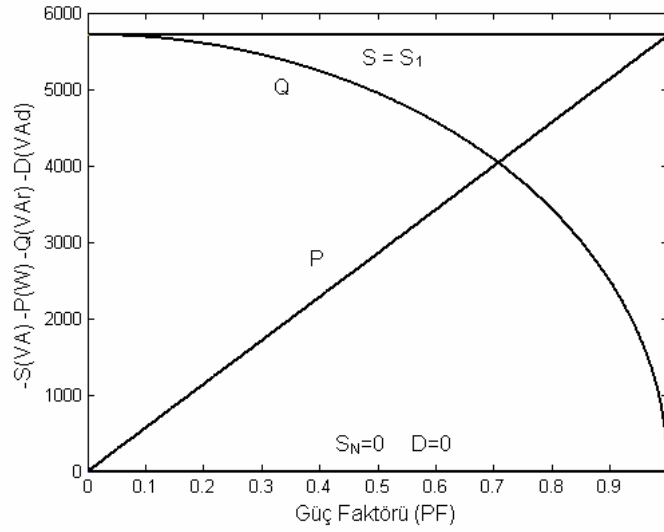
eşitliği verilmektedir. Burada S Görünür güç, P Aktif güç, Q Reaktif güç, D Distorsiyon gücü olup sırasıyla birimleri VA, W, VAR ve volt amper distorsiyon (VAd)'dur. Distorsiyon gücü için farklı tanımlama ve birimlerin kullanılması da söz konusudur. Literatürde görünür güç ve distorsiyon gücüne ait çeşitli tanımlamalar altında bu büyüklüklerin değişimleri ile ilgili çalışmalar mevcuttur [10].

Bu çalışmada (13) nolu eşitliğin kullanılması halinde kaynak ve yüke bağlı olarak çeşitli devreler için güçlerin hesaplandığı durum ele alınacaktır. Bu durumlar için çeşitli güçler hesaplanmış ve güçlerin güç faktörüne bağlı (PF) bağlı değişimleri incelenmiştir. Ayrıca nonsinüsoidal kaynaktan beslenen omik, endüktif veya kapasitif yüklü devrelerde güçlerin değişimi elde edilmiştir. Bu işlemler matlab programı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup tüm durumlar için aşağıdaki kabuller yapılmıştır;

- Tüm incelenen durumlar için akım ve gerilimlerin efektif değerleri eşit kabul edilmiştir.
- Faz açısı ( $\theta$ ) değişimi  $0^\circ$  ile  $90^\circ$  arasında öngörülmüştür.

### 3.1. Kaynak Gerilimi ve Devre Akımının Sinüsoidal Olduğu Lineer Yüklü Devreler

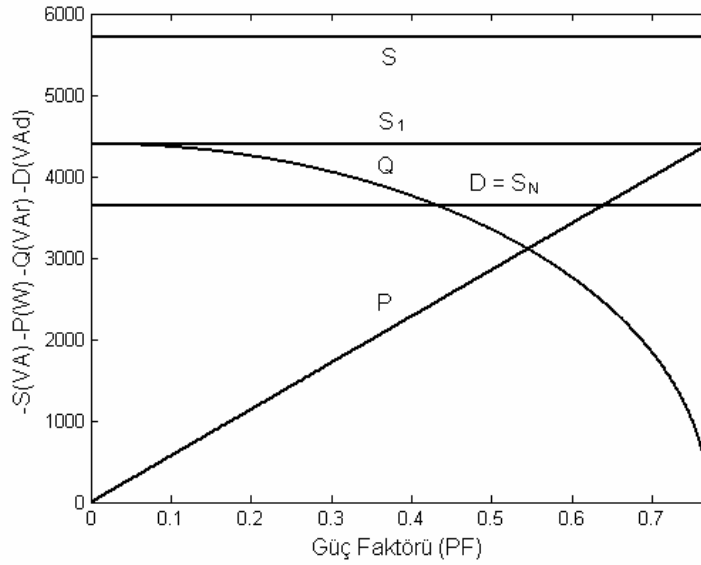
Bu devreler kaynak geriliminin sinüsoidal olduğu ve kaynağa lineer yükün bağlı olduğu devreler olup herhangi bir harmonik büyüklüğüne sahip değildirler. Böyle bir devrede akım ve gerilim için toplam harmonik distorsiyonu sıfırdır. Şekil 1'den de görüleceği üzere devre harmonik bileşen içermediğinden distorsiyon gücü ( $D=0$ ) sıfırdır. Beklenildiği gibi güç faktörü 0 ile 1 arasında değişim göstermektedir. Gerilimin ani değeri,  $v(\omega t) = \sqrt{2} \cdot 220.0568 \cdot \sin(\omega t)$  [V] olup çekilen akımın değeri ise  $i(\omega t) = \sqrt{2} \cdot 25.9615 \cdot \sin(\omega t + \theta)$  [A] şeklindedir. Şekil 1, bu akım ve gerilim sonucu oluşan güçlerin güç faktörüne bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 1. Kaynak gerilimi ve devre akımının sinüsoidal olması halinde güç faktörüne bağlı güçlerin değişimi

### 3.2. Kaynak Geriliminin Sinüsoidal, Devre Akımının Nonsinüsoidal Olduğu Nonlineer Yüklü Devreler

Bu tip devreler, kaynak geriliminin sinüsoidal olduğu ve bu kaynağa nonlineer elemanların bağlı olduğu devreler olup akım harmoniğine sahiptirler. Devrede dolaşan nonsinüsoidal akım sonucunda nonsinüsoidal gerilim meydana gelmektedir. Gerilimin ani değeri,  $v(\omega t) = \sqrt{2} \cdot 220.0568 \cdot \sin(\omega t)$  [V] şeklindedir. Devre akımı  $f = (I_1, I_H, \theta)$  şeklinde tanımlanmış bir fonksiyon olup temel bileşen ve harmonik bileşen akımların ( $h = 3, 5$ ) efektif değerleri sırasıyla  $I_1 = 20$ ,  $I_3 = 15$  ve  $I_5 = 7$  [A]'dir. Devreden çekilen akımın efektif değeri  $I = 25.9615$  [A] dir. Şekil 2 bu tip devreye ait güç faktörüne bağlı güç ifadelerinin değişimlerini göstermektedir. Bu durum sisteme bağlı nonlineer yüklerin sebep olduğu bir çalışma şeklidir. Şekilden de görüleceği üzere böyle devreler akım harmoniği içerdiklerinden sabit bir distorsiyon gücü değerine sahiptir. Ayrıca güç faktörünün (PF) 1'den küçük olduğuna dikkat edilmelidir. Bu tür devrelerde harmonik bileşenler nedeniyle güç faktörü 1 değerinin altında kalmaktadır.



Şekil 2. Kaynak geriliminin sinüsoidal ve devre akımının nonsinüsoidal olması halinde güç faktörüne bağlı güçlerin değişimi

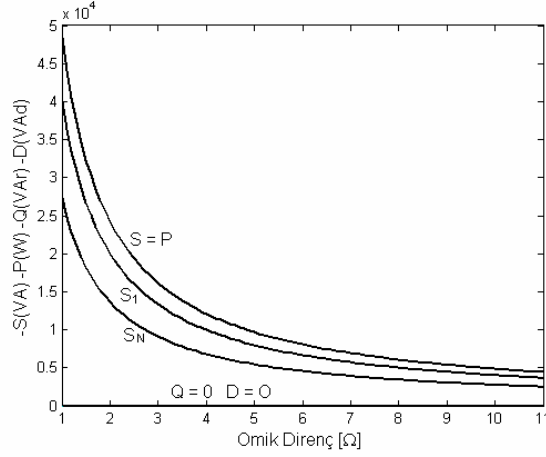
### 3.3. Kaynak Geriliminin Nonsinüsoidal, Yükün Lineer Olduğu Devreler

Gerilimin harmonik bileşene sahip olduğu lineer devrelerde geçen akım, harmonik bileşenler içerir. Bu durumda akım ve gerilime ait toplam harmonik distorsiyon değerleri birbirine eşit olur. Harmonik distorsiyonu nedeniyle bir distorsiyon gücü oluşur ki bunun değeri de sabittir.

Bu tip devreler, sinüsoidal kaynaktan beslenen nonlineer yüklerin bulunması halinde de görülebilir. Böyle bir durum için nonlineer yükün bağlandığı baraya lineer yükün de bağlı olması gerekir. Nonlineer yük sinüsoidal kaynaktan beslenirken harmonik bileşenler çekecek ve bağlı olduğu barada nonsinüsoidal gerilim meydana gelecektir. Bu baraya bağlanacak herhangi lineer bir yük bundan etkilenecek ve bu tip devre karşımıza çıkacaktır.

### 3.3.1. Linear Omik Direncin Nonsinüsoidal Kaynaktan Beslenmesi

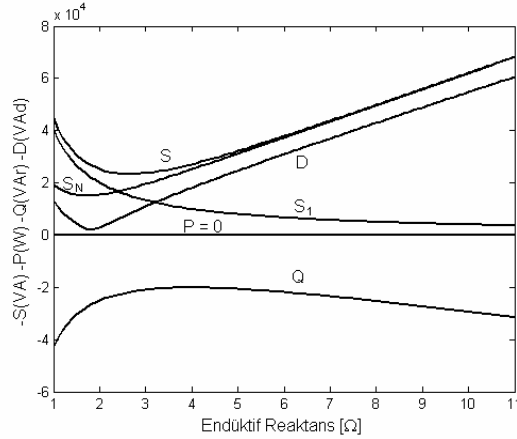
Nonsinüsoidal gerilimden beslenen sadece omik bir yükün bulunduğu devre gözönüne alınmış ve bu yükün omik direnci 1 ile 11 ohm arasında değiştirilmiştir. Devre gerilimi  $v(\omega t) = \sqrt{2} \cdot [200 \cdot \sin(\omega t + \theta) + 80 \cdot \sin(3 \cdot \omega t + \theta) + 45 \cdot \sin(5 \cdot \omega t + \theta)]$  [V] ani değerine sahip olan özel bir işaret olup faz açısının sıfır olduğu ( $\theta=0$ ) kabulü yapılmıştır. (Böyle bir işaret farklı frekans ve genlik değerlerine sahip üç tane sinüsoidal gerilim kaynağının seri bağlanması ile elde edilebilir). Böyle bir durum için Şekil 3, omik direncin değişimine bağlı güç değişimlerini göstermektedir. Burada görünür güç aktif güce eşit ( $S=P$ ), reaktif güç sıfır ( $Q=0$ ) ve distorsiyon gücü sıfırdır ( $D=0$ ). Görüldüğü gibi direncin değerindeki artışa bağlı olarak görünür güç ile aktif güçte üstel olarak bir azalma söz konusudur.



Şekil 3. Nonsinüsoidal kaynağa bağlı omik dirençteki güç değişimleri

### 3.3.2. Linear Endüktif Reaktansın Nonsinüsoidal Kaynaktan Beslenmesi

Nonsinüsoidal bir gerilimle beslenen endüktif elemanın bulunduğu bir devre gözönüne alınmıştır.

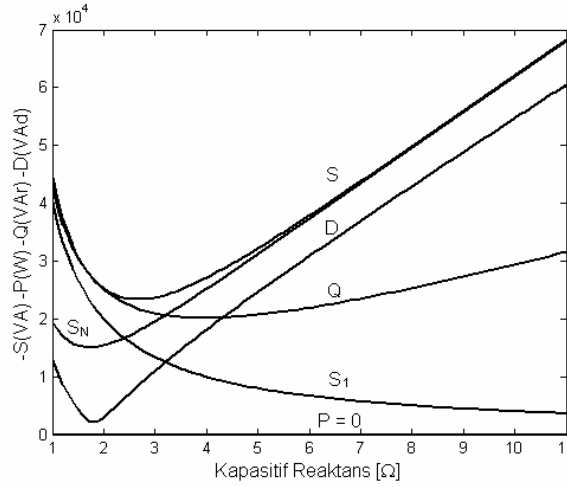


Şekil 4. Nonsinüsoidal kaynağa bağlı endüktif reaktanstaki güç değişimleri

Devreye bağlı yukarıda 3.3.1’de verilen aynı değerli gerilim sisteminden beslendiği düşünölmüş ve endüktif reaktansı  $j1$  ile  $-j11$  ohm arasında değıştirilmiştir. Bu devreye ait güç değışimleri Şekil 4’de gösterilmiştir. Devre endüktif olduğu için aktif güç ( $P=0$ ) sıfırdır. Endüktif reaktansa ( $X_L$ ) bağı olarak devrede bir distorsiyon gücü oluşmuştur ve değışimi lineer değildir. Akımın faz açısının bir fonksiyonu olarak reaktif gücün ( $Q$ ) değışimi lineer olmayıp eksi değerlidir.

### 3.3.3. Lineer Kapasitif Reaktansın Nonsinüsoidal Kaynaktan Beslenmesi

Nonsinüsoidal bir gerilimden beslenen kapasitif elemanın bulunduğu devre gözönüne alınmıştır. Burada da yine devreye bağı yükün 3.3.1’de verilen aynı değerli gerilim sisteminden beslendiği düşünölmüş ve kapasitif reaktansı  $-j1$  ile  $-j11$  ohm arasında değıştirilmiş devreye ait güç değışimleri Şekil 5’de gösterilmiştir. Devre kapasitif olduğu için aktif güç ( $P=0$ ) sıfırdır. Kapasitif reaktansa ( $X_C$ ) bağı olarak devrede bir distorsiyon gücü oluşmuştur ve değışimi lineer değildir. Akımın faz açısının bir fonksiyonu olarak reaktif gücün ( $Q$ ) değışimi pozitif değerde olup, lineer olmayan bir değışime sahiptir.



Şekil 5. Nonsinüsoidal kaynağı bağı kapasitif reaktanstaki bağı güç değışimleri.

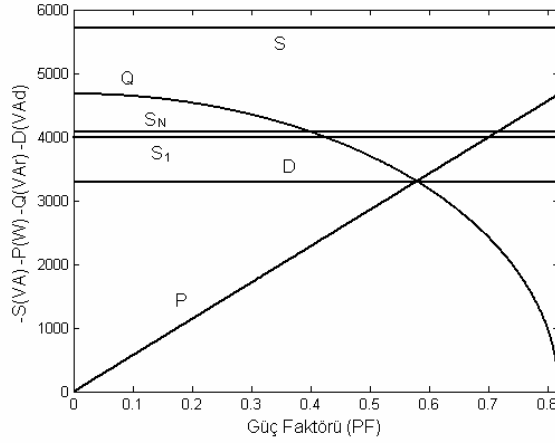
### 3.4. Nonsinüsoidal Beslemeli Nonlineer Yüklü Devreler

Bu tip devreler, kaynağın nonsinüsoidal olduğu ve bu kaynağı nonlinear elemanların bağı olduğu devrelerdir. Diğer bir deyişle, sinüs olmayan şebekeye nonlinear yüklerin bağlanmasına karşılık düşen bir devredir. Gerilim ve akımdaki harmonik bileşenler, birbirlerinden farklı olabildiği gibi aynı harmonik bileşenlere de sahip bulunabilir. Bu tip devrelerdeki harmonik bileşenler, sadece gerilimde bulunan harmonik bileşenler, sadece akımda bulunan harmonik bileşenler ve hem akım hem de gerilimde bulunan harmonik bileşenler olarak üç gruba ayrılabilir [5]. Bu tip devrelerde akım ve gerilime ait distorsiyon değerleri farklı olup bunların meydana getirdiği distorsiyon gücü sabit bir değeri alacaktır. Gerilimin ani değeri,  $v(\omega t) = \sqrt{2} \cdot [200 \cdot \sin \omega t + 80 \cdot \sin 3 \cdot \omega t + 45 \cdot \sin 5 \cdot \omega t]$  [V] şeklindedir. Devre akımı  $f = (I_1, I_H, \theta)$  şeklinde tanımlanmış bir fonksiyon olup temel bileşen ve harmonik bileşen akımların ( $h = 5, 7$ ) efektif değerleri ise sırasıyla  $I_1 = 20$ ,  $I_5 = 15$  ve  $I_7 = 7$  [A]'dir. Devreden



## Investigation of Power Definitions and ...

çekilen akımın efektif değeri  $I = 25.9615$  [A]'dir. Şekil 6 bu durumdaki güç faktörüne bağlı güç değişimlerini göstermektedir. Bu devrede güç faktörünün (PF), faz açısının tüm değerleri için 1'den küçük kaldığı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 6. Nonsinüsoidal gerilimli nonlineer yüklü devrede güç faktörüne bağlı güçlerin değişimi

## 4. TÜM İŞLETİM SİSTEMLERİNE AİT HESAPLAMA SONUÇLARI

Çalışmada farklı işletim sistemleri için sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Çizelge 3'de değişik işletim sistemleri için güçler ve güç faktörünün üç farklı faz açısı için hesaplama sonuçları topluca görülmektedir. Yapılan hesaplamalarla grafiksel gösterimlerin tam bir uyumluluk içerisinde olduğu görülmektedir. Çizelgeden de görüleceği üzere nonsinüsoidal büyüklüklerin bulunduğu durumlarda (harmoniklere sahip işletim sistemlerinde) güç katsayısı 1 değerinin altına düşmektedir. Aynı zamanda bu durumlarda sitemde distorsiyon gücünün varlığı sistemi etkilemektedir.

Çizelge 3. Değişik işletme şartlarında güçlere ve güç faktörüne ilişkin hesaplama sonuçları

İşletim Sistemi			Faz	P	Q	S <sub>1</sub>	S <sub>N</sub>	S	D	PF
Gerilim (Kaynak)	Akım	Yük (Eleman)	Açısı	(kW)	(kVAr)	(kVA)	(kVA)	(kVA)	(kVAd)	
Sin.	Sin.	Lin.	0°	5.713	0	5.7130	0	5.7130	0	1
			45°	4.0397	4.0397	5.7130	0	5.7130	0	0.707
			90°	0	5.7130	5.7130	0	5.7130	0	0
Sin.	Nonsin.	Nonlin	0°	4.4011	0	4.4011	3.6426	5.7130	3.6426	0.7704
			45°	3.1121	3.1121	4.4011	3.6426	5.7130	3.6426	0.5447
			90°	0	4.4011	4.4011	3.6426	5.7130	3.6426	0
Nonsin.	Nonsin.	Nonlin	0°	4.675	0	4.000	4.0790	5.7130	3.2837	0.8183
			45°	3.3057	3.3057	4.000	4.0790	5.7130	3.2837	0.5786
			90°	0	4.675	4.000	4.0790	5.7130	3.2837	0

## 5. SONUÇ

Güç sistemlerine bağlanan nonlineer elemanlar nonsinüsoidal büyüklüklere neden olmaktadır. Nonsinüsoidal devre büyüklükleri için güç faktörü, güç ifadeleri ve güç/enerji ölçümleri giderek

önem kazanmaktadır. Yapılan bu çalışmada ağırlıklı olarak güç faktörüne bağlı olarak güçlerin değişimleri gözlenmiştir. Ayrıca, nonsinusoidal kaynaktan beslenen devrede sadece omik, endüktif veya kapasitif elemanın olması durumunda güçlerin nasıl bir değişim göstereceği de incelenmiştir.

Yapılan bu çalışma ile harmonik içeren devrelerde, güç faktörü ve güçlerle ilgili analizlerin, ölçümlerin daha detaylı ortaya konabilmesine yardımcı olunması ve uygulamada yol göstermesi hedeflenmiştir. Çalışma sonuçlarından, harmonik bileşenlerin bulunduğu devrelerde güç faktörünün belirli bir değeri aşmadığı, güçlerde farklı ayrıştırmaların mümkün olduğu ve gelecekte bunlara göre ölçüm ve tespitlerin ortaya konulabileceği ifade edilebilir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Kocatepe C. ve Demir A., “Güç Sistemlerinde Harmonik Üreten Elemanlara Genel Bakış”, Kaynak Elektrik Dergisi, 113, 99-106, 1998.
- [2] Bayrak M. ve Gül Ö., “Harmoniklerin Enerji Kalitesine Etkisi ve Harmoniklerin Azaltılması”, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 7. Ulusal Kongresi, Sayfa:496-499, Ankara, Eylül 1997.
- [3] Arrillaga, J., Bradley, D.A., Bodger, P.S., “Power System Harmonics”, John Wiley & Sons, Norwich, 1985.
- [4] Ay S., “Alçak gerilim Tesislerinde Harmonik Kayıp Enerji Maliyetinin Dönemlik Nakit Akışı Bakımından Değerlendirilmesi”, Kaynak Elektrik Dergisi, 114, 111-117, 1998.
- [5] IEEE Working Group on Nonsinusoidal Situations, “Practical Definitions for Powers in Systems with Nonsinusoidal Waveforms and Unbalanced Loads:A Discussion,” IEEE Trans. On Power Delivery , 11, 1, 79-87, 1996.
- [6] Emanuel A.E., “Apparent Power Definitions for Three-Phase Systems”, IEEE Trans.on Power Delivery, 14, .3, 767-772, 1999.
- [7] Emanuel A.E., “Actual Measurements of Apparent Power and its Components at Low-and Medium-Voltage Buses”, ETEP 4, .5,371-379, 1994.
- [8] Kocatepe C.,Uzunoğlu M., Yumurtacı R., Karakaş A., Arıkan O., “Elektrik Tesislerinde Harmonikler”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2003.
- [9] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, “ Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği”, 25025 sayılı Resmi Gazete, 19 Şubat 2003.
- [10] Acha E. and Madrigal M. Power System Harmonics Computer Modeling and Analysis., John Willey & Sons , 2001.