

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ANİ GÜÇ BİLEŞENLERİNİN HESAPLANMASINDA
YENİ BİR YAKLAŞIM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Yusuf Süha IŞIKLI**

Anabilim Dalı : ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ

Programı : KONTROL VE OTOMASYON MÜHENDİSLİĞİ

EKİM 2007

**ANİ GÜÇ BİLEŞENLERİNİN HESAPLANMASINDA
YENİ BİR YAKLAŞIM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Yusuf Süha IŞIKLI
(504041118)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 Eylül 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Ekim 2007**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ömer USTA
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Cevat ERDAL
Doç.Dr. Canbolat UÇAK (Y.Ü)**

EKİM 2007

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın temelini oluşturan değerli fikirleri için; yardımları, cesaretlendirmesi ve anlayışından dolayı danışmanım Prof.Dr. Ömer USTA' ya sonsuz teşekkürlerimi iletmeyi bir borç bilirim.

Yüksek lisans öğrenimim süresince, yoğun çalışma hayatımdan fırsat yaratmama imkân tanıyan, şirketim Siemens San. ve Tic. AŞ'deki yöneticilerime ve çalışma arkadaşlarıma anlayışlarından ötürü teşekkür ederim.

Yüksek lisansa başladığım günden bu yana desteklerini esirgemeyen tüm arkadaşlarıma ve özellikle araştırma görevlisi arkadaşım Yusuf GÜRKAYNAK'a ve elektrik mühendisi arkadaşım Gökhan ONAR'a teşekkür ederim.

Tabi ki en büyük şükran duygularımı bana hayat veren aileme sunarım.

Ekim, 2007

Yusuf Süha IŞIKLI

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. AC DEVRELERDE GÜÇ	3
2.1. Güç Konusuna Giriş	3
2.2. Güç Konusunda Temel Kavramlar	3
3. REAKTİF GÜÇ ÖLÇÜM METODLARI	10
3.1. Reaktif Güç Teorisi	10
3.2. İlk Harmonik Reaktif Güç Ölçümü	10
3.3. Budeanu Reaktif Güç Ölçümü	11
3.4. Fryze (Üçgen) Metodu ile Reaktif Güç Ölçümü	12
3.5. Kusters-Moore Reaktif Güç Ölçümü	12
3.6. Sharon Reaktif Güç Ölçümü	13
3.7. Faz Kaydırma Metodu	14
3.8. Alçak Geçiren Filtre Metodu	16
4. GÜÇ ÖLÇÜMÜNDE YENİ BİR YAKLAŞIM	18
4.1. Ani Güç Formülü	18
4.2. Yeni Yaklaşımın Gelişimi	21
4.3. Yeni Yaklaşımın Örneklenmiş Zamanlı Sistemlere Uyarlanması	24
5. BİLGİSAYAR SİMULASYON ÇALIŞMALARI	27
5.1. Yeni Yaklaşım Modelinin Oluşturulması	27
5.2. Simülasyonların Yöntemi	28
5.3. Yeni Yaklaşımın Test Edilmesi	28
5.4. Analiz Sonuçları	35
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	37
KAYNAKLAR	38
EKLER	39
ÖZGEÇMİŞ	40

KISALTMALAR

DSP	: Dijital Sinyal İşleme
AC	: Alternatif Akım
IEEE	: The Institute of Electrical Engineering and Electronics
RMS	: Root Mean Square (Karesel ortalama)
PF	: Güç faktörü
LP	: Alçak Geçiren
DC	: Doğru Akım
Matlab	: Matematiksel işlem programı
MVA	: MegaVoltAmper
MW	: MegaWatt
MVAr	: MegaVoltAmperReaktif
kHz	: KiloHertz

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1	Reaktif güç ölçüm metodları karşılaştırma tablosu..... 16
Tablo 5.1	Ani akım, ani gerilim değerleri ve ani güç değerleri 30
Tablo 5.2	Ani güç, ani gücün ortalaması ve fark değerleri 30
Tablo 5.3	Örnekler bazında $p(n) - \text{port}(n)$ değerleri 31
Tablo 5.4	Örnekler bazında ani güç değerleri ve Reaktif güç hesabı..... 32
Tablo 5.5	90° faz kaydırma metodu için kullanılan örneklenmiş değerler 35
Tablo 5.6	25° için karşılaştırma tablosu..... 35
Tablo 5.7	Farklı açılar için karşılaştırma tablosu 36

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Fazör gücü.....	6
Şekil 2.2 : Distorsiyon gücü ve Görünür güç.....	7
Şekil 2.3 : Fiktif güç	7
Şekil 2.4 : Non-reaktif güç.....	8
Şekil 3.1 : Fryze (Üçgen) Metodu.....	12
Şekil 3.2 : Kusters-Moore Reaktif Güç Ölçümüne göre akımlar.....	13
Şekil 3.3 : Sharon Reaktif Güç Ölçümüne göre akımlar.....	14
Şekil 3.4 : Faz kaydırma metodu sistem diyagramı.....	15
Şekil 3.5 : Alçak Geçiren Filtre Metodu.....	16
Şekil 4.1 : Reaktif yük içeren AC devre	18
Şekil 4.2 : Ani akım ve gerilim değerleri.....	18
Şekil 4.3 : Reaktif yük içeren AC devrede akımlar.....	20
Şekil 4.4 : Fazör diyagramı	20
Şekil 4.5 : Ani akım, ani gerilim ve ani güç eğrileri.....	21
Şekil 4.6 : Ani gücün aktif ve reaktif bileşenleri.....	21
Şekil 4.7 : Ani gücün aktif bileşeni ve ortalaması.....	22
Şekil 4.8 : Analog değerler örneklenmiş değerlere çevriliyor.....	24
Şekil 5.1 : Yeni yaklaşım modeli.....	27
Şekil 5.2 : Örneklenmiş ani gerilim ve rms değeri	29
Şekil 5.3 : Örneklenmiş ani akım ve rms değeri	29
Şekil 5.4 : Ani güç ve ortalaması.....	30
Şekil 5.5 : Ani güç ve ($p(n)$ - $p_{ort}(n)$).....	31
Şekil 5.6 : Ani $\cos\phi$	33
Şekil 5.7 : 90° kaydırılmış Ani güç ve ortalaması	34

SEMBOL LİSTESİ

$p(t)$	: Sürekli sistelerde ani güç
$v(t)$	: Sürekli sistemlerde ani gerilim
$i(t)$	: Sürekli sistemlerde ani akım
P	: Aktif güç
T	: Periyot
V	: Gerilimin RMS değeri
I	: Akımın RMS değeri
ϕ	: Gerilim ve akım arasındaki faz farkı
V_n	: n. harmonikteki gerilimin RMS değeri
I_n	: n. harmonikteki akımın RMS değeri
ϕ_n	: n. harmonikteki gerilim ve akım arasındaki faz farkı
Q	: Reaktif güç
U	: Görünür güç
D	: Distorsiyon gücü
F	: Fiktif güç
N	: Non-reaktif güç
i_{Q-KM}	: Kapasitif reaktif akım
C_e	: Eşdeğer kondansatör
f	: Frekans
V_m	: Gerilimin tepe değeri
I_m	: Akımın tepe değeri
θ_v	: Gerilimin faz açısı
θ_i	: Akımın faz açısı
$ V $	: Gerilimin RMS değeri
$ I $	: Akımın RMS değeri
$p_r(t)$	: Ani aktif güç
$p_x(t)$	: Ani reaktif güç
i_{an}	: Ana koldan akan akım
I_m	: Ana koldan akan akımın tepe değeri
i_r	: Ohmik yük üzerinden akan akım
i_x	: Endüktif yük üzerinden akan akım
I_r	: Ohmik yük üzerinden akan akımın tepe değeri
I_x	: Endüktif yük üzerinden akan akımın tepe değeri
$p_r(t)_{DC}$	: Ani aktif gücün DC bileşeni
$p_r(t)_{AC}$	: Ani aktif gücün AC bileşeni
$p_x(t)_{AC}$	: Osilasyon yapan ani reaktif güç
$p_x(t)_{amp}$	: Osilasyon yapan ani reaktif gücün tepe değeri
P_{aktif}	: Aktif güç
p_{ort}	: Ani gücün ortalaması
$p(n)$	: Örneklenmiş sistelerde ani güç
$v(n)$	: Örneklenmiş sistemlerde ani gerilim
$i(n)$	: Örneklenmiş sistemlerde ani akım

p_{ort}	: Örneklenmiş ani gücün ortalaması
$p_{ort}(n)$	: Örneklenmiş ani gücün ortalamasının ani değeri
$q(n)$	: Örneklenmiş ani reaktif güç
N	: Bir periyot içindeki örnek sayısı
F_s	: Örnekleme frekansı
F_o	: Temel bileşenin frekansı

ANİ GÜÇ BİLEŞENLERİNİN HESAPLANMASINDA YENİ BİR YAKLAŞIM

ÖZET

Günümüz DSP teknolojileri, bizlere örneklenmiş değerler üzerinden güç ölçümü için çok çeşitli imkânlar sunmaktadır. Tezimizde amaçlanan, bu dijital işaret işleme yöntemlerini kullanabilecek, reaktif ve görünür güç hesabı için yeni bir güç ölçüm yaklaşımını aktarabilmektir. Bu yeni yaklaşımımızın temelinde, ani güç denklemindeki aktif ve reaktif bileşenlerin analizi yer almaktadır. Ani güç ifadesi ve ortalama ani gücün farkı ile görünür güce ulaşarak bu sayede reaktif gücün, güç faktörünün hesaplanması için yeni bir yaklaşım elde edilmiştir.

Tez çalışmamızın ilk aşamasında elektrik güç sistemleri ve güç konsepti hakkında genel açıklamalara değinilmiş; güç, ani güç, görünür güç, aktif ve reaktif bileşenler hakkında ön bilgi verilmiştir. Daha sonra reaktif güç ölçüm metotları ve bunların karşılaştırılması ile reaktif güç ölçümünün konvansiyonel metotları analiz edilmiştir. Bunların akabinde yeni yaklaşımın oluşumu aktarılıp, uygulamalarla çıkan sonuçlar analiz edilmiştir. Sonuç kısmında ise yeni yaklaşım ve konvansiyonel yöntemler birlikte test edilip farklar ve analiz sonuçları masaya yatırılmış, yorumlar yapılmıştır.

Sonuçları literatürdeki çalışmalarla karşılaştırdığımızda, reaktif güç ve diğer ani güç bileşenleri ölçümü için geliştirdiğimiz bu yeni yaklaşımın, mühendislik açısından yeter yakınsaklığı sağladığı gözlenmiştir.

A NEW APPROACH FOR CALCULATING THE INSTANTANEOUS POWER COMPONENTS

SUMMARY

Since today's DSP technologies give us the opportunity of calculating with the sampled values rapidly, we're able to measure the power quantities of energy systems with microprocessors. The aim of this study is to define a new power measuring approach for microprocessor based meters. This approach is based on the analyze of active and reactive components of instantaneous power. The difference of the instantaneous power and the mean value of it, we calculate the apparent power that we can then also get the reactive power and power factor, etc.

In the first chapter of our study; a brief general definitions of electric power systems and power concept is expressed with the background about the items; power, instantaneous power, real and reactive power. After that, the methods of reactive power measurement are defined. Then the comparison of the conventional methods and our new approach is expressed. And the test results are being defined.

After getting the results of comparison, we can say that, the calculation methods of reactive power, apparent power and power factor according to new approach works.

1. GİRİŞ

1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı

Alternatif akım devrelerinde “güç” bahsi, yıllardan beridir enerji analizi üzerine çalışan bilim adamlarının araştırdıkları ve inceledikleri bir konu olmuştur. Aktif gücün geniş kitlelerce kabul gören, genel geçer bir tanımı olmasına karşın görünür güç, reaktif güç ve güç faktörü için özellikle 3 fazlı sistemlerde ve distorsiyon içeren devrelerde, üzerinde uzlaşılabilmiş tek bir tanım yoktur. Konu ile ilişkili problemler pek çok akademik makalede belirtilmiş fakat genel kabul gören çözümlere ulaşamamıştır. Bunun bir uzantısı olarak görünür güç veya reaktif güç ölçümü için son yıllarda ortaya koyulan ölçüm metotları bir takım eksiklikleri de beraberinde getirdiği görülmüştür[1].

Öte yandan elektrik enerjisi kullanım profiline baktığımızda, balast destekli aydınlatmalar, monitörler, klimalar, motorlar her geçen gün hem sanayide, hem de ev kullanımda sayılarını arttırmaktadır. Bu nicel artış, yanında şebekeden çekilen reaktif yüklerin de artması anlamına geliyor. Kompanzasyon tesisleri ne kadar reaktif enerjinin sönmelenmesi için bir yol olsa da reaktif enerjinin ölçülüp faturalandırılması da şebekeden çekilen tüm enerjinin bedelinin tüketiciye yansıtılması anlamında bir alternatif olabilir. Kaldı ki kompanzasyon tesislerinin büyüklüklerinin hesap edilebilmesi için de reaktif gücün mutlak ve doğru bir şekilde hesap edilmesi kaçınılmazdır.

Günümüz DSP (dijital sinyal işleme) teknolojileri, bizlere reaktif güç ölçümü için örneklenmiş değerler üzerinden hesaplama yapmamız adına çok çeşitli imkânlar sunmaktadır. Tezimizde amaçlanan, bu dijital işaret işleme yöntemlerini kullanabilecek, reaktif ve görünür güç hesabında kullanılabilecek yeni bir güç ölçüm yaklaşımını aktarabilmektir. Bu çalışmada, ani güç denklemindeki aktif ve reaktif bileşenlerin ayrımından yola çıkılarak, reaktif güç ölçümü için yeni bir yaklaşım elde edilmiştir. Tez çalışmamızın ilk aşamasında elektrik güç sistemleri ve güç konsepti hakkında genel açıklamalara değinilmiş; güç, ani güç, görünür güç aktif ve reaktif

bileşenler hakkında ön bilgi verilmiştir. Daha sonra reaktif güç ölçüm metotları ve bunların karşılaştırılması ile reaktif güç ölçümünün konvansiyonel metotları analiz edilmiştir. Bunların akabinde yeni yaklaşımın gelişimi aktarılıp, uygulamalarla çıkan sonuçlar analiz edilmiştir. Sonuç kısmında ise yeni yaklaşım ve konvansiyonel yöntemler birlikte test edilip farklar ve analiz sonuçları masaya yatırılmış, yorumlar yapılmıştır. Sonuçları literatürdeki çalışmalarla karşılaştırdığımızda, görünür ve reaktif güç ölçümü için geliştirdiğimiz yeni yaklaşımın, mühendislik açısından yeter yakınsaklığı sağladığı gözlenmiştir.

2. AC DEVRELERDE GÜÇ

2.1. Güç Konusuna Giriş

IEEE (The Institute of Electrical Engineering and Electronics) Standart Sözlüğüne baktığımızda tek-fazlı veya çok-fazlı elektrik sistemlerinde “elektiriksel güç” başlığına ilişkin 10’un üzerinde terime rastlarız. Bunlar sıklıkla karşılaştığımız ve daha iyi bilinen ani güç, aktif güç, reaktif güç gibi terimlerin yanında; görünür güç, fazör gücü, distorsiyon gücü, fiktif (fictitious) güç, non-reaktif güç, vektör gücü... gibi daha karmaşık ifadelerdir. Bu listedeki bazı terimler farklı durumlarda farklı isimler almaktadır. Mesela; sinüzoidal durumlarda kompleks güç diye andığımız güç, non-sinüzoidal durumlarda fazör gücü adı ile çağırılmaktadır. Bunun gibi, sözlükte “magner” teriminin tanımı reaktif gücün tanımı ile neredeyse aynıdır.

Güç faktörü de elbette tek-fazlı ve çok-fazlı sistemlerde farklı anlamlar ifade etmektedir. Bunun sebebi ise çok-fazlı sistemlerde görünür gücün farklı tanımlarının olmasıdır. Bununla beraber reaktif güç ve distorsiyon gücü için yapılan tanımlar, non-sinüzoidal durumlarda çok da tatmin edici değildir ve bunların yeniden tanımlarının yapılması adına süregelen çalışmalar vardır[2].

Buradan da anlaşılacağı gibi özellikle distorsiyon durumlarında ve non-sinüzoidal şartlarda güç tanımlamaları için yeni yaklaşımlar gerekmektedir. Tez çalışmamızda sinüzoidal durumlar için görünür güç ve reaktif güce dair farklı bir bakış açısı getireceğiz. Fakat önce temel bazı kavramların üzerinden duracağız.

2.2. Güç Konusunda Temel Kavramlar

Ani Güç: Enerji akışının ani değeri veya ani güç olarak tanımlanan bu büyüklük, $p(t)$, ani gerilim düşümü, $v(t)$, ile ani akım değerinin, $i(t)$, çarpımına eşittir. Örneklenmiş değerler ile çalışılan sistemlerde ise; $p(n)$ olarak ifade edilip, n’inci örnekdeki akım ve gerilim değerlerinin çarpımına eşit olur.

$$p(t) = v(t).i(t), \quad p(n) = v(n).i(n) \quad (2.1)$$

Bu haliyle, herhangi bir elektrik devresindeki toplam ani güç, devreyi oluşturan elemanların üzerinde harcanan ani güçlerin ayrı ayrı toplamına eşit olur ve “Enerjinin Korunumu Yasası”na uymaktadır.

Aktif Güç: P ile gösterilir ve sürekli sistemler için herhangi bir t_o anında aşağıdaki şekliyle ifade edilir. Burada T periyodu boyunca ani gücün integralini alarak elde ettiğimiz için aktif güç aynı zamanda “ortalama güç” olarak da ifade edilir.

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_o-T/2}^{t_o+T/2} p(t) dt \quad (2.2)$$

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n_o-N/2}^{n_o+N/2} p(n) \quad (2.3)$$

Örneklenmiş değerler üzerinden çalışılan sistemlerde ise; bir periyodu temsil eden örnek sayısı kadar değerlerin ortalaması ile aktif güç hesaplanabilir.

Eğer hem akım hem de gerilim sinüzoidal şekilde ise aktif güç şu şekilde de yazılabilir;

$$P = VI \cos \varphi \quad (2.4)$$

Burada V ve I akım ve gerilim değerlerinin rms (root mean square) büyüklükleri olup, gerilimin akıma göre önde olduğu durumda φ , faz farkını veren açı değeridir.

Non-sinüzoidal durumlar için Aktif güç formülü tüm harmonikler için uygulanarak toplam alınır.

$$P = \sum_n V_n I_n \cos \varphi_n \quad (2.5)$$

Ani ve aktif güç için yapılan tüm bu tanımlamalar fiziksel anlam ifade eder ve tüm ilgili bilim çevrelerince onaylanmıştır.

Reaktif Güç: (Magner) Sinüzoidal dalga şekilleri için reaktif güç Q aşağıdaki şekliyle tanımlanır;

$$Q = VI \sin \varphi \quad (2.6)$$

Non-sinüzoidal dalga şekilleri içinse reaktif güç, yine aktif güçte olduğu gibi tüm harmoniklerden gelen sonuçların toplamı şeklinde ve aşağıdaki formül ile ifade edilir;

$$Q = \sum_n V_n I_n \sin \varphi_n \quad (2.7)$$

Her bir harmonikte ölçülen reaktif gücün işaretleri (+/-) farklı olabileceğinden, toplam reaktif gücün yönü ile her hangi bir harmoniğe ait reaktif gücün yönü farklı olabilir.

Yukarıda reaktif güç için yapılan tanımlama IEEE standart sözlüğü reaktif güç ölçme amaçları başlığı altında ele alınmıştır[3]. “Reaktif Güç” terimi aynı başlık altında, çeşitli güçler hakkındaki tartışmalarda da görülebilir. Tanım sözlükte şu şekilde yer almaktadır *“the product of voltage and out-of-phase component of alternating current. In a passive network, reactive power represents the alternating exchange of stored energy (inductive or capacitive) between two areas”*. Bu kısmı şu şekilde tercüme edebiliriz; “reaktif güç gerilim ile alternatif akımın faz dışı bileşeninin çarpımına eşittir. Pasif bir devrede reaktif güç, depo edilmiş (endüktif veya kapasitif elemanlar üzerinde) alternatif enerjinin alanlar arası değişimini simgeler”. Cox ve Baghzous bu ifadenin şu şekilde daha doğru olacağı görüşünde. Non-sinüzoidal durumlarda non-lineer yükler var ise, depo elemanları olmasa bile reaktif enerji vardır.

Görünür Güç: U ile gösterilen görünür güç ifadesi akım ve gerilimin değerlerinin rms büyüklüklerinin çarpımına eşittir;

$$U = VI \quad (2.8)$$

Görünür güç mutlak değerle ifade edilen bir büyüklük olduğundan işareti belirsizdir. Bu yüzden belli bir akış yönünden bahsedilemez. Bununla beraber genelde pozitifmiş gibi davranılır. Sinüzoidal durumlarda, U aktif ve reaktif güçlerin kareleri toplamının kareköküne eşittir denir.

Fazör Gücü: Sinüzoidal dalga şekline sahip akım ve gerilim için S fazör gücü ifade eder ve aşağıdaki şekliyle tanımlanır;

$$S = P + jQ \quad (2.9)$$

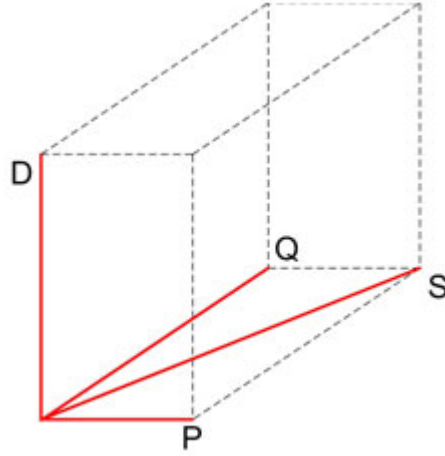
Burada P aktif, Q ise reaktif gücü gösterir ve fazör gösterimin detayı şekil 2.1’de görülmektedir. Eğer gerilim ve akım değerleri non-sinüzoidal ise her harmonic için fazör gücü ayrı ayrı hesaplanır. Bu değerlerin toplamı bize toplam fazör gücü verecektir.

$$S = \left(\sum_n P_n \right) + j \left(\sum_n Q_n \right) \quad (2.10)$$

S fazörünün tepe değeri bize S fazör gücünü verir ki bu değer; aktif ve reaktif güçlerin karelerinin toplamının kareköküne eşittir. Aynı zamanda S , görünür güç U ve distorsiyon gücü D 'nin kareleri toplamının kareköküne de eşittir. Buradan distorsiyon olmadığı durumlarda görünür gücün U fazör güce eşit olduğu anlamı çıkar.

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.11)$$

$$|S| = \sqrt{U^2 - D^2} \quad (2.12)$$

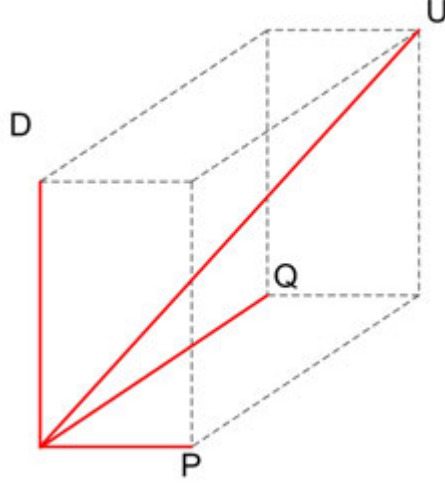


Şekil 2.1: Fazör gücü

Distorsiyon Gücü: D ile gösterilen distorsiyon gücü skaler bir büyüklük olup görünür güç U ve fazör gücü S 'in tepe değerinin kareleri farkının kareköküne eşittir. Bu eşitlik şekil.2.1' de de görülmektedir. Harmoniklerin var olduğu sistemlerde ortaya çıkar.

$$D = \sqrt{U^2 - S^2} \quad (2.13)$$

Distorsiyon gücünün işareti belirli değildir pozitif veya negatif olabilir. Bilgi yetersizliği durumunda, aktif güç ile aynı gibi işlem görür.



Şekil 2.2: Distorsiyon gücü ve Görünür güç

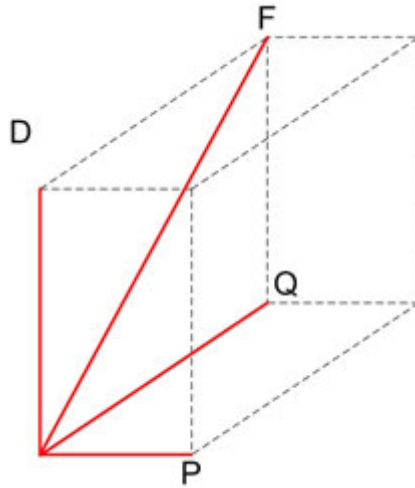
Fiktif güç: Reaktif güç ve distorsiyon gücünün bileşiminden oluşan vektörle ifade edilen fiktif güç F 'nin tanımı aşağıdaki gibidir;

$$F = jQ + kD \quad (2.14)$$

Burada j ve k eksenlerine ait birim vektörlerdir. F 'in mutlak değeri Şekil 2.3' den de anlaşılacağı gibi aşağıdaki eşitliklerle bulunur;

$$F = \sqrt{Q^2 + D^2} \quad (2.15)$$

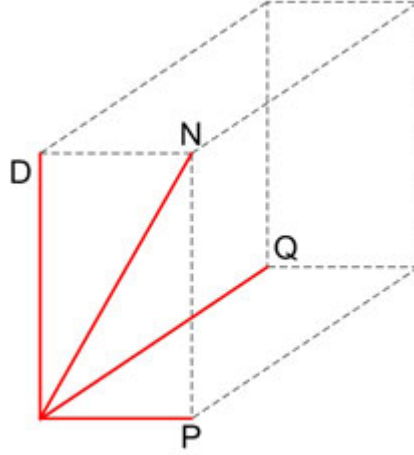
$$F = \sqrt{U^2 - P^2} \quad (2.16)$$



Şekil 2.3: Fiktif güç

Non-Reaktif Güç: Aktif güç P ve distorsiyon gücü D 'den oluşan vektör olan non-reaktif güç N ile gösterilir.

$$N = iK + kD \quad (2.17)$$



Şekil 2.4: Non-reaktif güç

Şekil2.4'de de görülen N non-reaktif gücün mutlak değeri aşağıdaki formüllerle bulunur;

$$N = \sqrt{P^2 + D^2} \quad (2.18)$$

$$N = \sqrt{U^2 - Q^2} \quad (2.19)$$

Vektör Gücü: Tüm sistemin bileşik gücünü veren vektörel büyüklüğe vektör gücü U ile tanımlanır ve mutlak büyüklüğü görünür güce eşittir.

$$U = iP + jQ + kD \quad (2.20)$$

$$U = VI = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (2.21)$$

Güç Faktörü: Güç faktörü aktif güç P ve görünür güç S 'in oranı ile tanımlanır.

$$PF = \frac{P}{U} \quad (2.22)$$

Sinüzoidal durumlarda PF gerilim ve akım arasındaki faz farkının açı değerinin (φ) cosinüs fonksiyonuna karşılık gelir.

$$PF = \cos \varphi \quad (2.23)$$

Non-sinüzoidal durumlarda akım ve gerilimin temel bileşenleri arasındaki açısal farkın cosinüs fonksiyonu yerdeğiştirme faktörü adıyla anılır.

3. REAKTİF GÜÇ ÖLÇÜM METODLARI

3.1. Reaktif Güç Teorisi

Sinüzoidal durumlarda reaktif güç, en bilenen aşağıdaki şekliyle ifade edilir;

$$Q = VI \sin \varphi \quad (3.1)$$

Sinüzoidal reaktif güç; matematiksel gösterimi ve içerdği fiziksel fenomen dolayısıyla aşağıda sayılan özellikleri içerir[6].

- Reaktif güç, $VI \sin \varphi$ ile ifade edilen bir büyüklüktür.
- Yönlü bir büyüklüktür.
- Sistem içerisindeki reaktif güç dengelenebilir; bir nod'a akan reaktif güç nod'dan çıkan reaktif güce eşit olduğunda cebirsel toplam sıfır edecektir.
- Reaktif güç, ani gücün çift yönlü titreşen bileşeninin magnitud'üne eşittir. Aktif güç ise tek yönlü titreşen bileşeninin magnitud'üdür.
- Reaktif güç; bir döngü boyunca depolanan elektromanyetik enerjinin ortalamasını aşan depo elektrostatik enerjinin büyüklüğü ile orantılıdır.
- Reaktif güç, lineer bir paralel veya seri kondansatör ya da endüktans ile kopmanze edilebilir.
- Reaktif ve aktif gücün geometrik toplamı görünür gücü verir.
- İletim hatlarında gerilim düşümünün temelinde endüktif etkinin yarattığı reaktif güç rol oynamaktadır[6].

3.2. İlk Harmonik Reaktif Güç Ölçümü

Non-Sinüzoidal durumlar için, reaktif gücün tanımı, sinüzoidal durumdaki tanıma bazı ilaveler içerir. Bununla birlikte, sinüzoidal durumlar için reaktif güç olarak aynı özellikleri sağlayan tek bir büyüklük yoktur. Farklılığın temelinde reaktif güce reaktifliğini kazandıran olgunun ne olduğu sorusu yatmaktadır. Bu enerjinin

osilasyon yapması mıdır? Yoksa kompanzasyon metoduna mı bağlıdır? Ya da başka bir olgu mu?

Bu farklı algılanış biçimlerine ilk bakış açısı farklı frekanslardaki harmonikleri de içeren işaretlerde, reaktif gücün sadece öncelikli olarak ilk harmonikle alakalı olduğu görüşüdür. Enerji transfer temelde ilk harmonik bileşen ile yapılmaktadır ve diğer harmonikler gürültü veya kirlilik olarak ifade edilip hesaplamaya katılmaz. Bu sebeple ilk harmoniğin reaktif değeri önemlidir ve şu formülle hesaplanır;

$$Q_1 = V_1 \cdot I_1 \cdot \sin(\varphi_1) \quad (3.2)$$

Bu düşüncenin bir yansıması olarak piyasadaki pek çok reaktif güç ölçer temel harmoniği ölçerek hesaplamasını yapar.

3.3. Budeanu Reaktif Güç Ölçümü

Non-sinüzoidal durumlar için Budeanu; işareti oluşturan tüm frekanslardaki harmoniklerin Q değerlerinin ayrı ayrı hesaplanıp toplanması ile sistemin reaktif gücüne ulaşabileceğimizi ifade ediyor.

Fourier teoremine göre her periodik dalga şekli farklı frekanslardaki sinüs ve cosinüs dalgalarının toplamı şeklinde yazılabilir. Bu yüzden enerjimetrelerin işlem yapmak için alacağı gerilim ve akım değerleri aşağıdaki şekliyle tanımlanabilir[4].

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(n\omega_o t) \quad (3.3)$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(n\omega_o t + \varphi_n) \quad (3.4)$$

Non-sinüzoidal durumlar için Budeanu'nun geliştirdiği yöntem, IEEE Standart Sözlüğünde, reaktif güç (magner) aşağıda yazılı şekliyle tanımlanıyor;

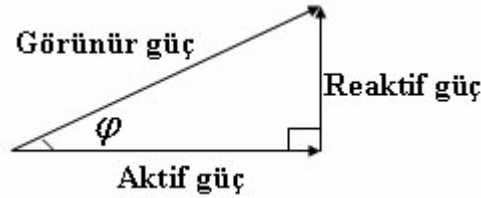
$$ReaktifGüç = \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cdot I_n \cdot \sin(\varphi_n) \quad (3.5)$$

Burada V_n ve I_n n'inci harmonikteki gerilim ve akım değerlerinin rms büyüklüklerini ve φ_n yine n'inci harmonikteki faz farkını gösterir. Ayrıca şu nokta; üzerinde mutabık kalınan bir yargıdır ki, yükün endüktif karakterde olduğu durumlarda reaktif güç pozitif işaretlidir[4].

Budeanu'ya göre reaktif güç; yük ve kaynak arasında osilasyon yapan fakat yük tarafından absorbe edilmeyen gerilim düşümlerine, iletim kayıplarına sebep olan güçtür. Fakat bu tam olarak doğru değildir. Çünkü sadece depo elemanlar değil, thristör kontrollü yükler de akım ve gerilim arasında faz farkına sebep olmakla birlikte enerji osilasyonu içermemektedir[6].

3.4. Fryze (Üçgen) Metodu ile Reaktif Güç Ölçümü

Önceki kısımda detaylı şekilde olası tüm güçlerden bahsetmiş olsak ta, hesaplamalarda çoğu zaman D distorsiyon gücü yokmuş gibi varsayıp $S=U$ kabul edilir ve S 'ye görünür güç denir. Bu durumda S görünür güç, P aktif güç ve Q reaktif güç vektörleri, şekil3.1'deki gibi bir dik üçgenin kenarlarını oluştururlar.



Şekil 3.1: Fryze (Üçgen) Metodu

Bu yüzden aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanmak istenen Reaktif güç diğer bilinenler yardımıyla bulunabilir.

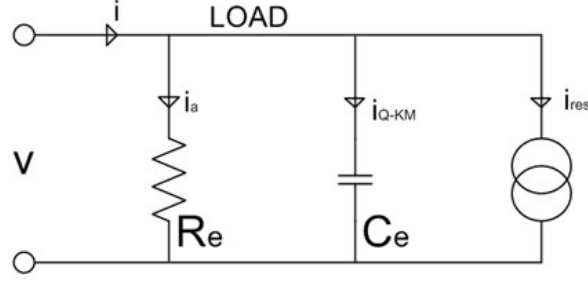
$$\text{ReaktifGüç} = \sqrt{\text{GörünürGüç}^2 - \text{AktifGüç}^2} \quad (3.6)$$

Dezavantajları:

- Görünür gücün hesaplanması yine çok kolay olmayan bir süreçtir.
- Harmonikli durumlarda ihmal edilemeyecek hatalar verir[4].

3.5. Kusters-Moore Reaktif Güç Ölçümü

Kompanzasyon için gerekli kondansatör büyüklüğünün hesabı için aşağıda anlatılan yöntem izlenir. Şekilde görülen i_{Q-KM} kapasitif reaktif akımının büyüklüğü, residual akımın rms değerini minimize eden bir etkiye sahiptir. Eğer eşdeğer bir C_e kompanzasyon kondansatörü yüke paralel olacak şekilde devreye bağlanırsa, reaktif gücü tamamiyle kompanze edecektir[6].



Şekil 3.2: Kusters-Moore Reaktif Güç Ölçümüne göre akımlar

Bu durumda kompanzasyon kondansatörü verilen akım ve gerilim dalga şekilleri için tasarlanan optimum büyüklüğe sahiptir. Bu eşdeğer kondansatörün kapasitif reaktif gücü aşağıdaki şekilde hesaplanır;

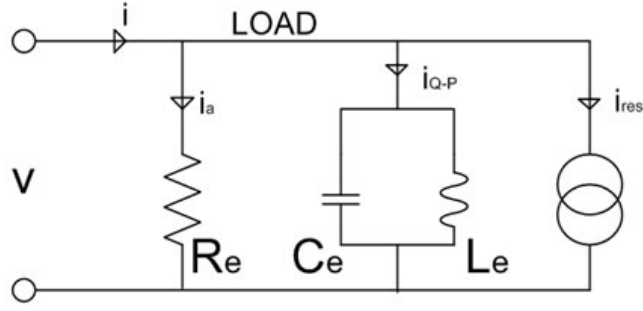
$$Q = \left[\sum_{n=1}^M n \cdot Q_n \right] \cdot \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^M V_n^2}{\sum_{n=1}^M n^2 V_n^2}} \quad (3.7)$$

Bu formül Kusters-Moore tarafından reaktif gücün genel tanımı olarak ispatlanmıştır[6]. Eğer kapasitif reaktif gücün işareti pozitif ise ve endüktans ile kompanzasyon yapılacaksa da aynı şekilde kompanze edilmesi gereken endüktif reaktif güç formülü Kusters-Moore'a göre şu şekilde hesaplanır;

$$Q = \left[- \sum_{n=1}^M \frac{Q_n}{n} \right] \cdot \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^M V_n^2}{\sum_{n=1}^M \frac{V_n^2}{n^2}}} \quad (3.8)$$

3.6. Sharon Reaktif Güç Ölçümü

Şekil3.3' deki gibi çift paralel elemanı ile kompanzasyon yapılması durumunda hesaplanacak reaktif güç ilk önce Shepherd tarafından formülize edilmiştir. Sharon tarafından genelleştirilen aşağıdaki formül, Czarnecki tarafından yeniden yorumlanmıştır.



Şekil 3.3: Sharon Reaktif Güç Ölçümüne göre akımlar

İlgili formül aşağıdaki gibidir;

$$Q = V \sqrt{\sum_{n=0}^M I_n^2 \sin^2 \varphi_n} \quad (3.9)$$

3.7. Faz Kaydırma Metodu

Reaktif güç ölçümü için kullanılan en yaygın yöntemdir. Akım, gerilim ve temel frekans (f) bilgisini girdi olarak alır. Bu metotta reaktif güç ölçümü için (zaman kümesinde çalışırken) akım veya gerilim işaretinden biri $T=1/f$ olacak şekilde $T/4$ kadar geriye kaydırılır, diğeri olduğu gibi alınır ve aktif güç nasıl hesaplanıyor ise (bknz. formül.2) aynı yol izlenerek sonuçta reaktif güce ulaşılır[5].

$$Q = \frac{1}{T} \int_0^T v\left(t - \frac{T}{4}\right) i(t) dt \quad (3.10)$$

Bu hesaplama şeklinin çalışma prensibi şudur;

$$v(t) = V_m \cdot \cos(\omega t) \quad (3.11)$$

$$i(t) = I_m \cdot \cos(\omega t) \quad (3.12)$$

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \quad (3.13)$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot i(t) dt \quad (3.14)$$

$$P = VI \cos \varphi \quad (3.15)$$

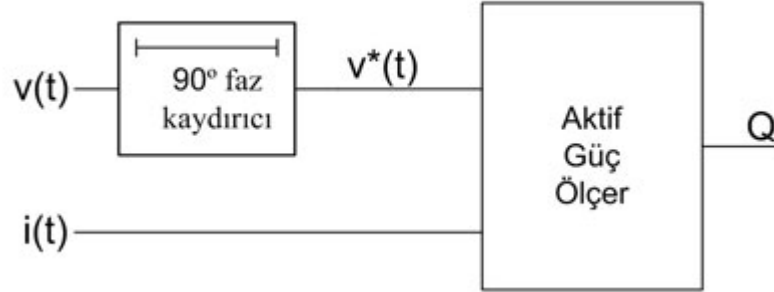
$$\sin \varphi = \cos\left(\varphi - \frac{2\pi}{4}\right) \quad (3.16)$$

$$Q = VI \sin \varphi = VI \cos \left(\varphi - \frac{2\pi}{4} \right) \quad (3.17)$$

$$Q = \frac{1}{T} \int_0^T v \left(t - \frac{T}{4} \right) i(t) dt, \quad T = 2\pi \quad (3.18)$$

$$Q = \frac{1}{N} \sum_0^N \left(n - \frac{N}{4} \right) i(n), \quad N = f_s / f$$

(3.11) ve (3.12) no'lu denklemlerle tanımlanmış akım ve gerilim ifadeleri aynı t anında birbirleri ile çarpımları sonucu ani gücü (3.13) verir ve ani gücün bir periyot için ortalaması alındığında aktif güce ulaşırız (3.14). Aktif güç aynı zamanda (3.15)'da tariflendiği şekliyle de yazılabilir. Bize trigonometri (3.16) no'lu eşitliği sunduğundan reaktif güç için tıpkı aktif gücü hesaplıyormuşcasına ama gerilimi 90° geriden izleyerek bulabiliriz. (3.18) no'lu denklemlerde sürekli sistemler ve örneklenmiş sistemler için bu metod ile hesaplama yöntemi gösterilmektedir. Bu sebeple aktif güç ölçen cihazlar gerilim öncesinde bir geciktirici kullanmak suretiyle şekil3.4' deki gibi reaktif gücü ölçebilir.



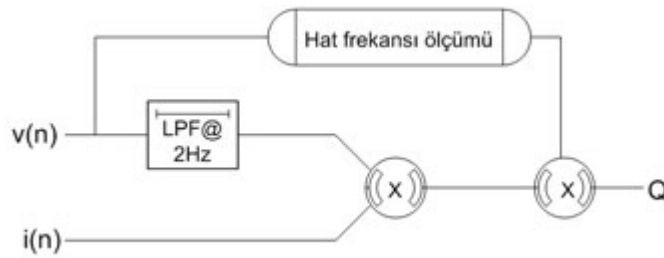
Şekil 3.4: Faz kaydırma metodu sistem diyagramı

Dezavantajları:

- Frekans mutlaka doğru olarak bilmemiz gerekir.
- Sadece temel frekans için doğru sonuçlar verir.
- Frekansın değiştiği durumlarda sorunlar gözlenir ve örnek sayıları T/4'lük süreci göstermekte yetersiz kalabilir[4].

3.8. Alçak Geçiren Filtre Metodu

Reaktif Güç ölçümünde kullanılan bir başka yol da budur. Frekans üzerinde sabit bir 90° 'lik faz kaydırılması, işaretin 20dB/decade zayıflamasını ortaya koymuştur. Bu çözüm "Analog Devices" tarafından geliştirilmiş olup, tek kutuplu alçak geçiren filtre ile gerçekleştirilebilir (şekil3.5). Eğer kesme frekansı, temel frekansı çok daha altında olursa temel frekans üzerindeki herhangi bir frekans değeri için de 90° 'lik bir faz kayması yapabilecektir. Bu şekilde de frekansları 20dB/decade zayıflatacaktır.



Şekil 3.5: Alçak Geçiren Filtre Metodu

Dezavantajı:

- Faz kaydırma metodu gibi bu metod da hat frekansı değişiminden etkilenir. Buna karşın sinyalin kompanse edilmesinde etkilidir.

Tablo 3.1: Reaktif güç ölçüm metodları karşılaştırma tablosu

Test	Üçgen Metodu	Faz Kaydırma	LP Filtre
Referans test F = sabit, PF = 0	ihmal	İhmal	ihmal
Frekans Değişimi testi F = +/- %2 değişken, PF = 0,87	ihmal	%5,4	ihmal
Harmonik testi Akım üzerinde, 3. harmoniklerin %10'u mevcut	%0,5	İhmal	ihmal
DC komponent testi Akım üzerinde tek yönlü doğrultulmuş sinüs dalgası mevcut	ihmal	İhmal	ihmal
Akım üzerinde 3. harmoniklerin %20'si , Gerilim üzerinde 3. harmoniklerin %10'u.	%1,9	%4	%1

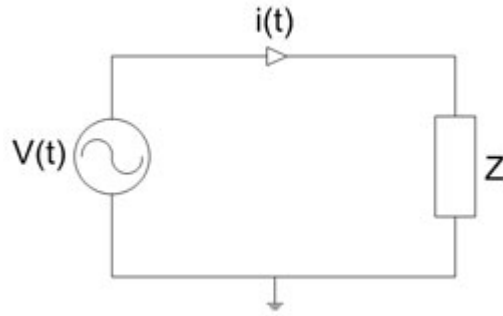
Bu listelenen 3 ölçüm metodu frekans değişimi, harmonikler ve dc komponent ile ayrı ayrı test edildiğinde 3.1 no' lu tabloya ulaşılmıştır[4].

Tabloda görüldüğü gibi Faz kaydırma metodu harmonik veya DC komponentlere karşı ihmal edilebilir hatalar üretirken, Frekans değişimi durumunda %5,4'lük bir hata üretmiştir.

4. GÜÇ ÖLÇÜMÜNDE YENİ BİR YAKLAŞIM

4.1. Ani Güç Formülü

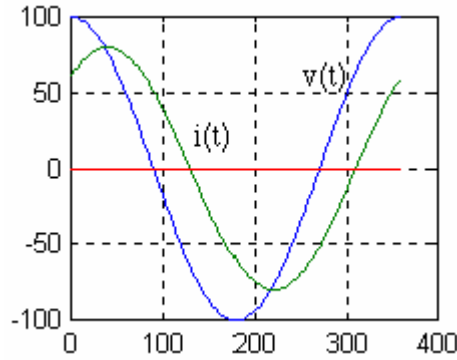
Şekil4.1'deki gibi bir AC devrede, Ani gerilim ve Ani akım değerleri (4.1) ve (4.2)'deki gibi tanımlansın. Buna bağlı olarak akım ve gerilim eğrileri şekil4.2'de görülebilir.



Şekil 4.1: Reaktif yük içeren AC devre

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v) \quad (4.1)$$

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \theta_i) \quad (4.2)$$



Şekil 4.2: Ani akım ve gerilim değerleri

Buna göre ani güç şu şekilde hesaplanır;

$$p(t) = v(t)i(t) \quad (4.3)$$

$$p(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v) I_m \cos(\omega t + \theta_i) \quad (4.4)$$

Bu ifadeyi aşağıdaki trigonometrik açılımı kullanarak düzenleyebiliriz;

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2} \cos(A - B) + \frac{1}{2} \cos(A + B) \quad (4.5)$$

$$p(t) = \frac{1}{2} V_m I_m [\cos(\theta_v - \theta_i) + \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i)] \quad (4.6)$$

Bu ifadeyi biraz daha anlamlı bir şekle sokmak için aşağıdaki haliyle düzenleyebiliriz;

$$p(t) = \frac{1}{2} V_m I_m \{ \cos(\theta_v - \theta_i) + \cos[2(\omega t + \theta_v) - (\theta_v - \theta_i)] \} \quad (4.7)$$

$$p(t) = \frac{1}{2} V_m I_m [\cos(\theta_v - \theta_i) + \cos 2(\omega t + \theta_v) \cos(\theta_v - \theta_i) + \sin 2(\omega t + \theta_v) \sin(\theta_v - \theta_i)] \quad (4.8)$$

Akım ve gerilimin t anına kadarki bir periyodu için (t-T)~(t) geçerli rms değerleri için kullanılan aşağıdaki ifadeleri ve $\varphi = (\theta_v - \theta_i)$ faz farkı açısını (4.8) no'lu denklemde yerlerine koyarsak ani güç formülü (4.11) no'lu ifadedeki şeklini alır.

$$|V| = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (4.9)$$

$$|I| = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (4.10)$$

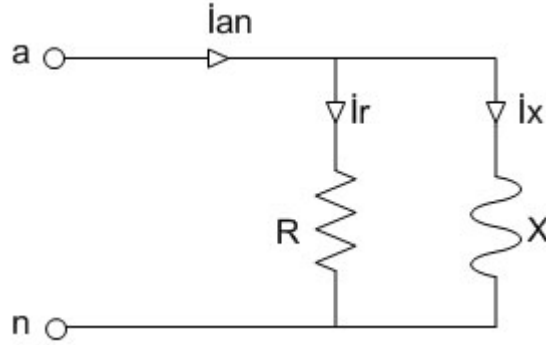
$$p(t) = \underbrace{|V||I| \cos \varphi [1 + \cos 2(\omega t + \theta_v)]}_{(a)} + \underbrace{|V||I| \sin \varphi \sin 2(\omega t + \theta_v)}_{(b)} \quad (4.11)$$

Burada (a) kısmını $p_r(t)$, t anındaki ani aktif güç olarak adlandırırız ve devreye akan enerjiyi ifade eder. (b) kısmını ise $p_x(t)$, t anındaki ani reaktif güç diye tanımlarız ve devreden çekilip geri verilen enerjiyi ifade eder.

$$p_r(t) = |V||I| \cos \varphi [1 + \cos 2(\omega t + \theta_v)] \quad (4.12)$$

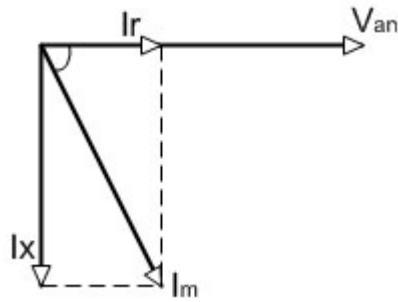
$$p_x(t) = |V||I| \sin \varphi \sin 2(\omega t + \theta_v) \quad (4.13)$$

Bahsi geçen $p_r(t)$ ve $p_x(t)$ ani güçleri şekil4.3’ deki devre üzerinden akan akımlar incelendiğinde daha anlamlı olacaktır[7].



Şekil 4.3: Reaktif yük içeren AC devrede akımlar

Devredeki bileşenleri fazör üzerinde incelersek ve i_{an} akımının maksimum değerine I_m , i_r akımının tepe değerine I_r , i_x akımının tepe değerine I_x dersek;



Şekil 4.4: Fazör diyagramı

$$i_r(t) = I_m \cos(\varphi) \cos(\omega t) \quad (4.14)$$

$$i_x(t) = I_m \sin(\varphi) \sin(\omega t) \quad (4.15)$$

Şekil4.4’deki fazör diyagram bize aşağıdaki eşitliği yazmamıza olanak verir;

$$i_r(t) = I_r \cos(\omega t) \quad (4.16)$$

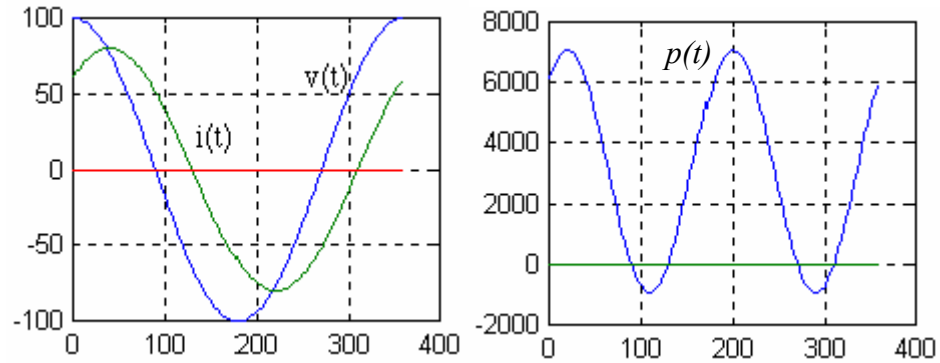
$$i_x(t) = I_x \sin(\omega t) \quad (4.17)$$

Direnç ve endüktans üzerinden akan akımların ani değerlerini bu şekliyle gördükten sonra, üzerlerine düşen ani gerilim değeri ile çarpımı sonucuna bakarsak bir önceki sayfada bulunan $p_r(t)$ ve $p_x(t)$ ifadeleri bulunacaktır.

$$p(t) = p_r(t) + p_x(t) \quad (4.18)$$

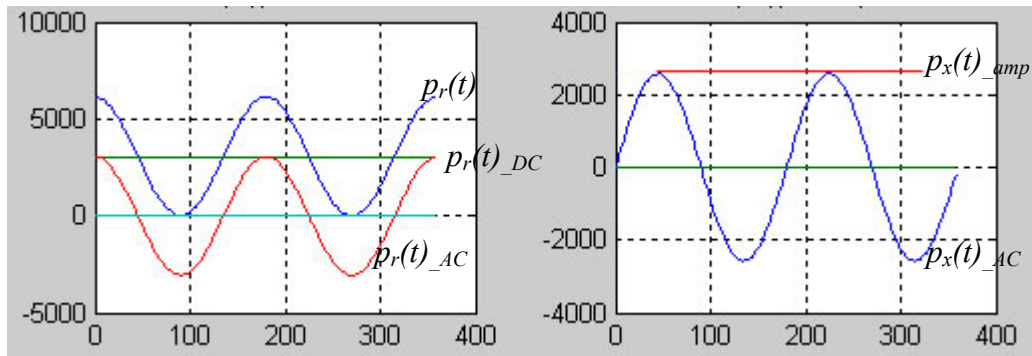
4.2. Yeni Yaklaşımın Gelişimi

Ani güç $p(t)$ şekil4.5’ deki ne benzer bir dalga şekline sahiptir.



Şekil 4.5: Ani akım, ani gerilim ve ani güç eğrileri

$$p(t) = \underbrace{|V||I| \cos \varphi [1 + \cos 2(\omega t + \theta_v)]}_{p_r(t)} + \underbrace{|V||I| \sin \varphi \sin 2(\omega t + \theta_v)}_{p_x(t)} \quad (4.19)$$



Şekil 4.6: Ani gücün aktif ve reaktif bileşenleri

Burada ani gerilimin açısı referans alınırsa $\theta_v=0$ denilebilir ve $p(t)$ şu formu alır;

$$p(t) = \underbrace{|V||I| \cos \varphi [1 + \cos 2(\omega t)]}_{p_r(t)} + \underbrace{|V||I| \sin \varphi \sin 2(\omega t)}_{p_x(t)} \quad (4.20)$$

$$p(t) = \underbrace{|V||I| \cos \varphi}_{p_r(t)_{DC}} + \underbrace{|V||I| \cos \varphi \cos 2(\omega t)}_{p_r(t)_{AC}} + \underbrace{|V||I| \sin \varphi \sin 2(\omega t)}_{p_x(t)_{AC}} \quad (4.21)$$

Bu ifadeye göre; t anında $p(t)$ ’nin o ana kadarki bir periyodu $(t-T) \sim (t)$ için ortalamasını alırsak, AC bileşenlerin integralinden sıfır geleceğinden sadece DC

bileşen kalacaktır. Biliyoruz ki, $p_r(t)_{AC}$ 'nin ortalama değeri P , $p_x(t)_{AC}$ 'nin tepe değeri ise Q 'ya eşittir[9]. (şekil4.6)

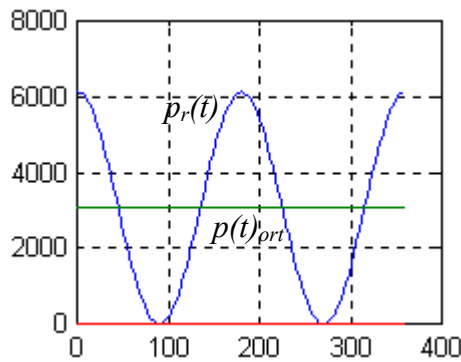
$$\frac{1}{T} \int_{t-T}^t p(t) dt = \frac{1}{T} \left(\underbrace{\int_{t-T}^t |V||I| \cos \varphi dt}_{=P_{aktif}} + \underbrace{\int_{t-T}^t |V||I| \cos \varphi \cos 2(\omega t) dt}_{=0} + \underbrace{\int_{t-T}^t |V||I| \sin \varphi \sin 2(\omega t) dt}_{=0} \right) \quad (4.22)$$

$$\frac{1}{T} \int_{t-T}^t p(t) dt = \frac{1}{T} \left(\int_{t-T}^t |V||I| \cos \varphi dt \right) = |V||I| \cos \varphi = P_{aktif} \quad (4.23)$$

$$p_{ort} = |V||I| \cos \varphi = P_{aktif} \quad (4.24)$$

Bu bize ani güç formülünde $|V||I| \cos \varphi$ gördüğümüz yere bir periyotluk ortalama değer olan p_{ort} yazabileceğimizi gösterir ki zaten aktif gücün tanımına baktığımızda ani gücün ortalaması olduğunu görürüz. Aynı şekilde $|V||I| \sin \varphi$ yerine de o andan önceki bir periyodun reaktif gücüne karşılık gelen Q yazabiliriz. Ani gücün aktif bileşeni $p_r(t)$ ve ortalaması p_{ort} 'nın dalga şekli aşağıdaki şekil4.7' de görülebilir.

Fakat sürekli sistemde çalışmanın doğurduğu bir zaman durmaksızın aktığı için t anında $(t-T) \sim (t)$ arası bir integrasyon pek mümkün değildir. Bu yüzden pratikte belki $(t+\xi)$ gibi bir zaman için yukarıda yazılan ifade doğru olur. İfadelerin gelişimi açısından bu durumu şimdilik göz ardı etmemizde sorun yoktur. Lakin bu formülleri kullanacağımız örneklenmiş zaman dilimlerinde böyle bir sorun olmayacaktır.



Şekil 4.7: Ani gücün aktif bileşeni ve ortalaması

$$p(t) = |V||I| \cos \varphi + |V||I| \cos \varphi \cos 2(\omega t) + |V||I| \sin \varphi \sin 2(\omega t) \quad (4.25)$$

$$p(t) = p_{ort} + p_{ort} \cos 2(\omega t) + Q \sin 2(\omega t) \quad (4.26)$$

$$p(t) - p_{ort} = p_{ort} \cos 2(\omega t) + Q \sin 2(\omega t) \quad (4.27)$$

$$p_{ort} = P \quad (4.28)$$

$$p(t) - p_{ort} = P \cos 2(\omega t) + Q \sin 2(\omega t) \quad (4.29)$$

Burada P ve Q olarak ifade edilen aktif ve reaktif güç büyüklükleri t anında, (t-T)~(t) arasında kalan örnekler için geçerlidir ve her yeni t anı için kendilerini yenilemektedir.

Aşağıda belirtilen trigonometrik bir eşitlik, bu formülün farklı bir şekilde yazılabilesine olanak veriyor;

$$a \cos x + b \sin x = c \quad (4.30)$$

$$\cos x + \frac{b}{a} \sin x = \frac{c}{a} \quad (4.31)$$

$$\frac{b}{a} = \tan \varphi \quad \text{ise,} \quad (4.32)$$

$$\cos x + \tan \varphi \sin x = \frac{c}{a} \quad (4.33)$$

$$\cos x \cos \varphi + \sin \varphi \sin x = \frac{c}{a} \cos \varphi \quad (4.34)$$

$$\cos(x - \varphi) = \frac{c}{\sqrt{(a^2 + b^2)}} \quad (4.35)$$

Oluşturduğumuz $p(t) - p_{ort}$ ifadesinde bu trigonometrik özelliği kullanırsak;

$$a \cos x + b \sin x = c \quad \left| \quad p_{ort} \cos 2(\omega t) + Q \sin 2(\omega t) = p(t) - p_{ort} \quad (4.36) \right.$$

$$\cos x + \frac{b}{a} \sin x = \frac{c}{a} \quad \left| \quad \cos 2(\omega t) + \frac{Q}{p_{ort}} \sin 2(\omega t) = \frac{p(t) - p_{ort}}{p_{ort}} \quad (4.37) \right.$$

$$\frac{b}{a} = \tan \varphi \quad \text{ise,} \quad \left| \quad \frac{Q}{p_{ort}} = \tan \varphi \quad (4.38) \right.$$

$$\cos x + \tan \varphi \sin x = \frac{c}{a} \quad \left| \quad \cos 2(\omega t) + \tan \varphi \sin 2(\omega t) = \frac{p(t) - p_{ort}}{p_{ort}} \quad (4.39) \right.$$

$$\begin{aligned} \cos x \cos \varphi + \sin \varphi \sin x &= \cos 2(\omega t) \cos \varphi + \sin \varphi \sin 2(\omega t) = \frac{p(t) - p_{ort}}{p_{ort}} \cos \varphi \\ &= \frac{c}{a} \cos \varphi \end{aligned} \quad (4.40)$$

$$\cos(x - \varphi) = \frac{c}{\sqrt{(a^2 + b^2)}} \quad \cos 2(\omega t) - \varphi = \frac{p(t) - p_{ort}}{\sqrt{(p_{ort}^2 + Q^2)}} \quad (4.41)$$

Buradan;

$$p(t) - p_{ort} = \left[\sqrt{(p_{ort}^2 + Q^2)} \right] [\cos(2\omega t - \varphi)] \quad (4.42)$$

$$p(t) - p_{ort} = S [\cos(2\omega t - \varphi)] \quad (4.43)$$

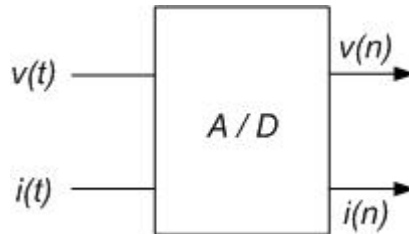
İfadesine ulaşırız ki, bu da bize görünür gücün $\cos(2\omega t - \varphi)$ ile çarpılması ile anlık değişimini gösteren ifadeyi ani gücten aktif gücü çıkartarak bulabildiğimizi ispatlar[8].

Bu ifade bize ani değişen ve sinüzoidal yapıya sahip bir eğri verir ve bu eğrinin $(t-T) \sim (t)$ arasında kalan periyodu için tepe noktası, S görünür gücüne eşittir.

Bu sayede görünür güce; ani akım ve gerilim bilgileri ile ulaşarak, reaktif güç, aktif güç, $\cos \varphi$ gibi ifadeleri yeni yaklaşımımızla hesaplayabiliriz.

4.3. Yeni Yaklaşımın Örneklenmiş Zamanlı Sistemlere Uyarlanması

Teorisini sürekli sistemlerde ve trigonometri yardımı ile geliştirdiğimiz bu yaklaşımı, mikroişlemciler ile hesaplabilmek için örneklenmiş sistemlere uyarlanması gerekir. Bunun için (t) zaman küme'sinden çıkıp, bunun yerine (n) örnek kümesine geçmeli ve hesaplamalarımızı sürekli değerler yerine örnek değerler üzerinden yapmalıyız.



Şekil 4.8: Analog değerler örneklenmiş değerlere çevriliyor

Örneklenmiş değerler üzerinden çalışırken, analog sistemlerde bahsi geçen “ ωt ” ifadesinin yerini “ $n\theta$ ” alır. Örnekleme frekansı F_s , işaretin frekansı ise F_o ise $N=F_s/F_o$ formülünden örnek sayısı “ N ” bulunur. $\theta=2\pi/N$ ile iki örnek arasındaki açı yani “ θ ” hesaplanır. Böylelikle akım ve gerilim ifadeleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$v(n) = V_m \cos(n\theta + \theta_v) \quad (4.44)$$

$$i(n) = I_m \cos(n\theta + \theta_i) \quad (4.45)$$

Aynı şekilde ani güç, dijital sistemlerde şu şekilde hesaplanır;

$$p(n) = v(n).i(n) \quad (4.46)$$

$$p(n) = V_m \cos(n\theta + \theta_v) I_m \cos(n\theta + \theta_i) \quad (4.47)$$

Zaman kümesinde geliştirdiğimiz yaklaşımı bu ifadelerle örneklenmiş değerler için yeniden düzenlersek aşağıdaki ifadeleri elde ederiz;

$$p(n) = \underbrace{|V||I| \cos \varphi [1 + \cos 2(n\theta)]}_{p_r(n)} + \underbrace{|V||I| \sin \varphi \sin 2(n\theta)}_{p_x(n)} \quad (4.48)$$

$$p(n) = \underbrace{|V||I| \cos \varphi}_{p_r(n)_{DC}} + \underbrace{|V||I| \cos \varphi \cos 2(n\theta)}_{p_r(n)_{AC}} + \underbrace{|V||I| \sin \varphi \sin 2(n\theta)}_{p_x(n)_{AC}} \quad (4.49)$$

Bu ifadeye göre; n örneğinde $p(n)$ 'nin o örneğe kadarki bir periyodu $(n-N) \sim (n-1)$ için ortalamasını alırsak, AC bileşenlerin integralinden sıfır geleceğinden sadece DC bileşen kalacaktır.

$$\frac{1}{N} \sum_{n=N}^{n-1} p(n) = \frac{1}{N} \left(\underbrace{\sum_{n=N}^{n-1} |V||I| \cos \varphi}_{P_{aktif}} + \underbrace{\sum_{n=N}^{n-1} |V||I| \cos \varphi \cos 2(n\theta)}_{=0} + \underbrace{\sum_{n=N}^{n-1} |V||I| \sin \varphi \sin 2(n\theta)}_{=0} \right) \quad (4.50)$$

$$\frac{1}{N} \sum_{n=N}^{n-1} p(n) = \frac{1}{N} \left(\sum_{n=N}^{n-1} |V||I| \cos \varphi \right) = |V||I| \cos \varphi = P_{aktif} \quad (4.51)$$

$$p_{ort} = |V||I| \cos \varphi = P_{aktif} \quad (4.52)$$

$$p(n) = p_{ort} + p_{ort} \cos 2(n\theta) + Q \sin 2(n\theta) \quad (4.53)$$

$$p(n) - p_{ort} = p_{ort} \cos 2(n\theta) + Q \sin 2(n\theta) \quad (4.54)$$

$$p_{ort} = P \quad (4.55)$$

$$p(n) - p_{ort} = P \cos 2(n\theta) + Q \sin 2(n\theta) \quad (4.56)$$

Burada P ve Q olarak ifade edilen aktif ve reaktif güçler n anında, (n-N)~(n-1) arasında kalan örnekler için geçerli değerlerdir ve her yeni örnek için kendilerini yenilemektedir.

$$p(n) - p_{ort} = S [\cos(2n\theta - \varphi)] \quad (4.57)$$

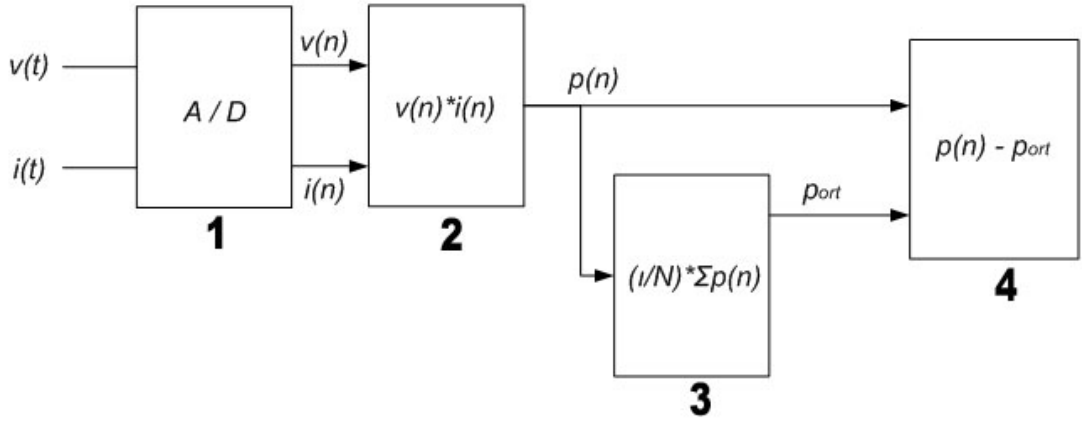
Önceki bölümde de ulaştığımız, (4.57) no' lu ifadede geline $p(n) - p_{ort}$ grafiği ani değişen ve sinüzoidal yapıya sahip bir örnekler eğrisi olup, (n-N)~(n-1) arasında kalan örneklerin maksimum değeri, S görünür gücüne eşittir.

5. BİLGİSAYAR SİMULASYON ÇALIŞMALARI

5.1. Yeni Yaklaşım Modelinin Oluşturulması

Çalışmamızın 4. bölümünde gelişimi anlatılan ani güç tanımları için yeni yaklaşımı; bilgisayar destekli programlar ile modelleyip, daha sonra modelimizi test edeceğiz. Anlatımlarda akım ve gerilim için sürekli ve örneklenmiş zaman sistemlerindeki durumlar ele alınmıştı, simülasyonlarda uygulayacağımız metod mikroişlemciler vasıtasıyla çalışacağı için, modelimizi dijital sisteme göre kuruyoruz.

Modelimiz şekil5.1' de görülen modüllerden oluşmaktadır.



Şekil 5.1: Yeni yaklaşım modeli

Sistemden gerçek zamanlı, ani gerilim $v(t)$ ve ani akım $i(t)$ bilgileri; akım ve gerilim transformatörleri ile alındıktan sonra 1 no'lu analog dijital dönüştürücüye (A/D) girmektedir. Burada sürekli sinyaller örneklenerek dijital sistemde işlem yapılabilir hale getirilir. Çıkan N periyotlu $v(n)$ ve $i(n)$ sinyalleri, 2. no'lu çarpım modülüne giriyor ve her n örneği için ani güç $p(n)$ değerleri hesaplanıyor. Arka arkaya üretilen $p(n)$ değerlerinin, $N/2$ periyotlu bir pencere için ortalaması p_{ort} 3 no'lu modülde hesaplanıp, 4 no'lu modülde aynı an için hesaplanan ani güçten aritmetik olarak çıkartılıyor. Ve 4 no'lu modül çıkışında $p(n)-p_{ort}$ hesaplanmış oluyor. Bunun yanı sıra 4 ve 3 no'lu modüllerin çıkışları bize hem reaktif gücü Q hem de $\cos \phi$ değerlerini hesaplamamıza yardımcı olacak.

5.2. Simülasyonların Yöntemi

Modelimizi test ederken ihtiyaç duyacağımız ve ani akım $i(n)$ ve ani gerilim $v(n)$ olarak kullanacağımız örneklenmiş değerleri için Matlab programı kullanıldı. Farklı durumlar için kullanılan örneklenmiş değerleri türetmek için yazdığımız Matlab kodları, tez çalışmamızın Ekler kısmında bulunabilir.

Çalışmamızı simüle edip analizini yaparken şu aşamaları izledik;

Harmoniksiz ortam ve sabit frekans için;

- $p(n)$ - p_{ort} ve sistem görünür gücü S 'in yeni yaklaşıma göre hesaplanması ve referans değerler ile hata analizi.
- Sistem reaktif gücü Q 'nun yeni yaklaşıma göre hesaplanması ve referans değerler ile hata analizi.
- Sistemin güç faktörü $\cos\phi$ 'nin yeni yaklaşıma göre hesaplanması ve referans değerler ile hata analizi.

5.3. Yeni Yaklaşımın Test Edilmesi

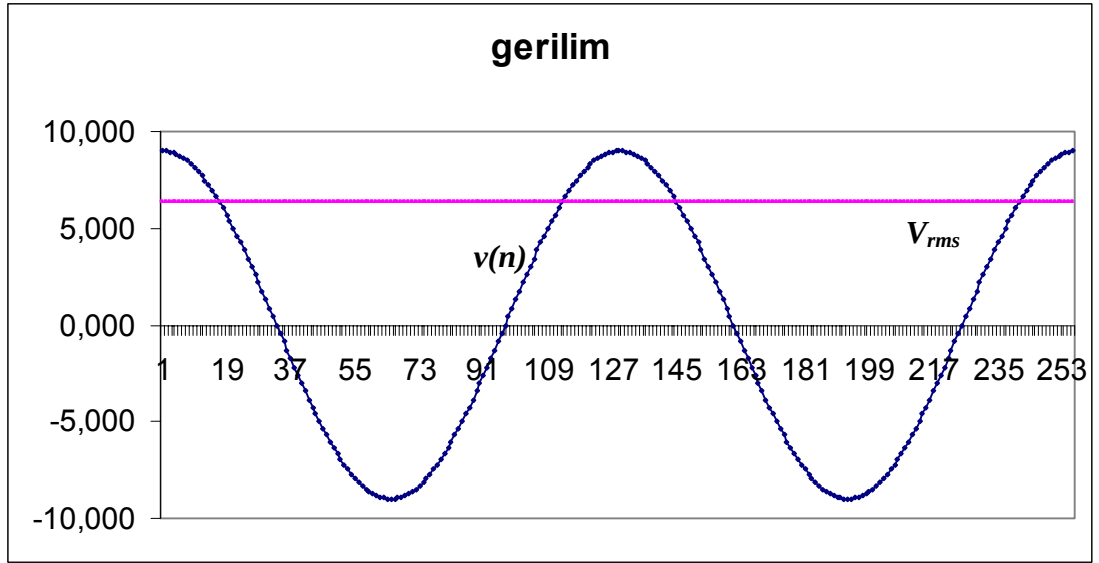
Simülasyon modelimize girilen ilk veriler;

$V_m = 9,0\text{kV}$	$F_o = 50\text{Hz}$	Frekans Sabit
$Z = 30\text{ohm}$	$F_s = 64\text{ kHz}$	Harmonik yok
$I_m = 0,3\text{kA}$	$N = 128$	$\phi = 25^\circ$

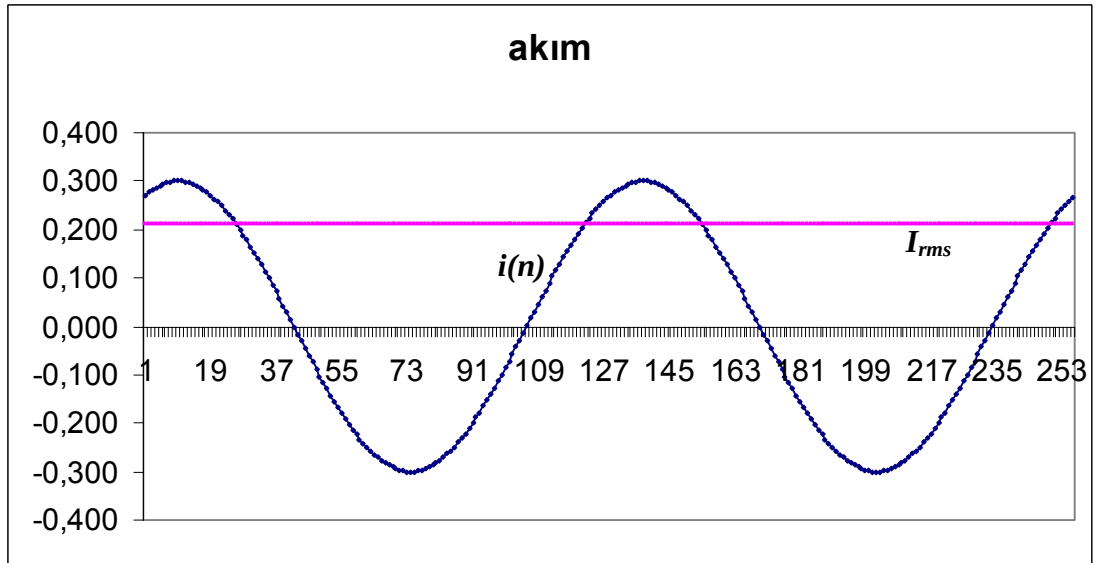
Girilen değerlere göre ani gerilim ve ani akım denklemleri ile gerilim ve akımın RMS değerleri şu şekilde oluşur; (şekil5.2, şekil5.3)

$$\begin{aligned} v(t) &= 9 \cos(\omega t) \text{ kV} & V_{rms} &= 6,36 \text{ kV} \\ i(t) &= 0,3 \cos(\omega t) \text{ kA} & I_{rms} &= 0,21 \text{ kA} \end{aligned}$$

$F_s = 64\text{ kHz}$ örnekleme frekansı ile sürekli işaretler örneklenmiş işaretlere çevirilir;



Şekil 5.2: Örneklenmiş ani gerilim ve rms değeri



Şekil 5.3: Örneklenmiş ani akım ve rms değeri

Örnek sayısının bir periyot için $N= 128$ olduğu bu testte her n zaman örneğine karşılık gelen akım ve gerilim değerleri birbiriyle çarpılarak tablo5.1’de görülen $p(n)$ ani güç değerleri hesaplanır.

$$p(n) = v(n).i(n) \quad (5.1)$$

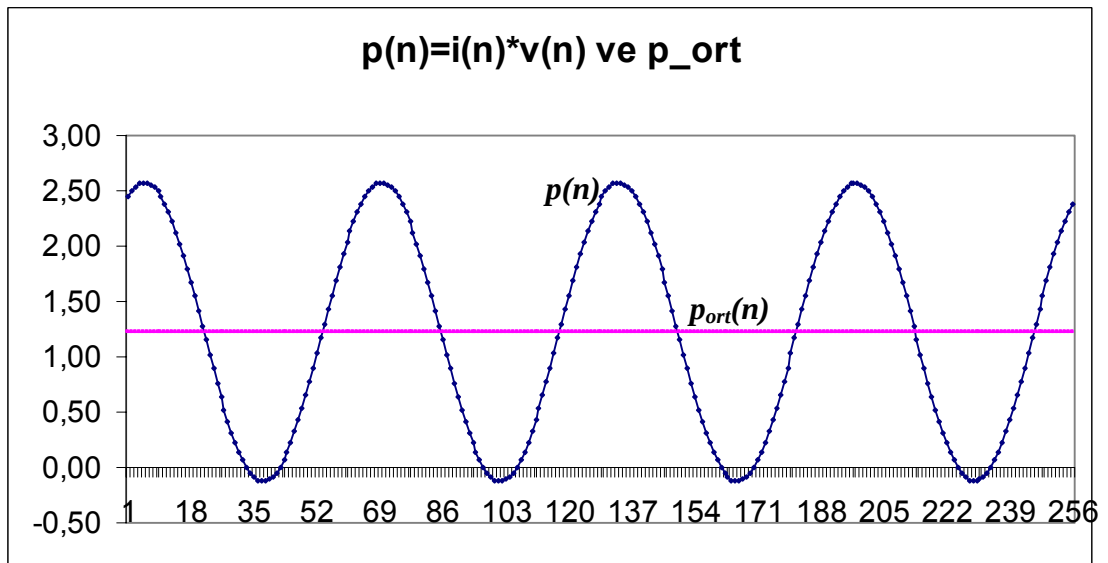
Tablo 5.1: Ani akım, ani gerilim değerleri ve ani güç değerleri

n		0	1	2	3	$n+1$	...	124	125	126	127
$v(n)$	,kV	2,50	2,53	2,56	2,57	$n+1$	...	2,23	2,31	2,38	2,45
$i(n)$	,kA	0,95	0,95	0,95	0,95	$n+1$	...	0,95	0,95	0,95	0,95
$p(n)=i(n)*v(n)$	,MVA	2,50	2,53	2,56	2,57	$n+1$	...	2,23	2,31	2,38	2,45

Daha sonra $p(n)$ 'in ortalama değeri hesaplatılır. Akım ve gerilime göre frekansı iki katına çıkmış olan $p(n)$ ani gücün ortalaması 64 örneklilik ($N/2$) bir örnek penceresinin $(n-N/2) \sim (n-1)$ ortalamasından hesaplanır (şekil5.4) ve bu pencere kayarak her yeni n için içerdiği örneklerin ortalamasını yeniden hesaplar. Bu ortalama değer aktif güce eşittir. p_{ort} her yeni örnek için yeniden hesaplanır ve $p_{ort}(n)$ olarak adlandırılabilir. Yöntem tablo5.2'de gözükmemektedir.

$$p_{ort}(n) = \frac{1}{(N/2)} \left(\left(p_{n-\frac{N}{2}} \right) + \left(p_{n-\frac{N}{2}+1} \right) + \left(p_{n-\frac{N}{2}+2} \right) + \dots + (p_{n-1}) \right) \quad (5.2)$$

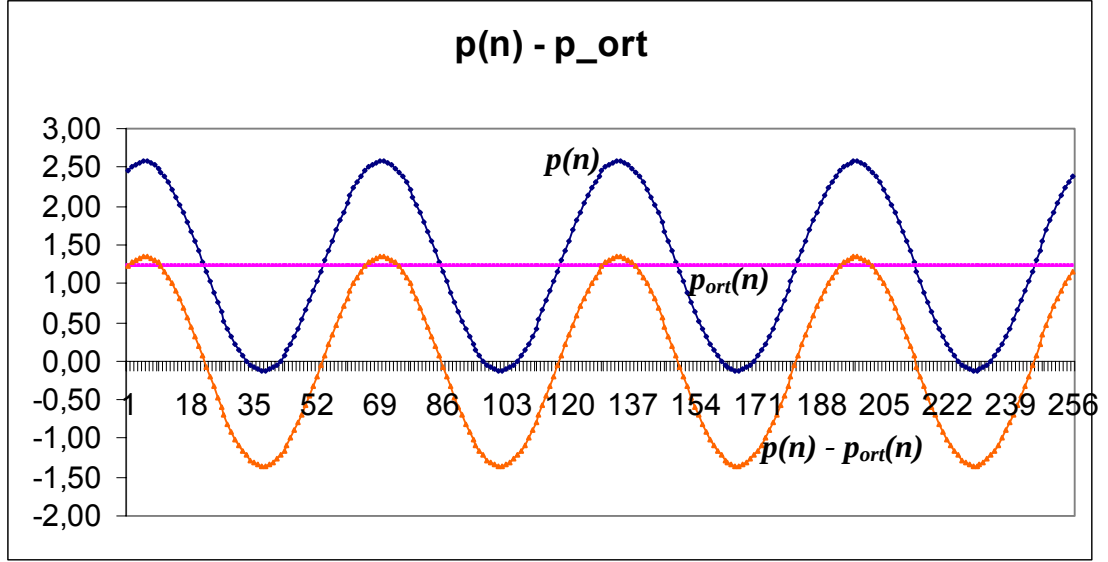
$$p_{ort}(n) = P = 1,22 \text{ MVA} \quad (5.3)$$

**Şekil 5.4:** Ani güç ve ortalaması**Tablo 5.2:** Ani güç, ani gücün ortalaması ve fark değerleri

n		0	1	2	3	$n+1$	...	124	125	126	127
$p(n)=i(n)*v(n)$	,MVA	2,50	2,53	2,56	2,57	$n+1$	...	2,23	2,31	2,38	2,45
$p(n)_{ort}$	,MVA	1,22	1,22	1,22	1,22	$n+1$	...	1,22	1,22	1,22	1,22
$p(n) - p(n)_{ort}$	,MVA	1,54	1,58	1,61	1,62	$n+1$	...	1,18	1,27	1,36	1,43

Tabloda gördüğümüz her örneğe karşılık gelen $p(n)$ görünür güç değerinden o örneğe kadarki $N/2$ kadar $p(n)$ değerinin ortalamasını çıkarttığımızda oluşan örnekler dizisi bize görünür gücün anı değerini grafiğini verecektir.

Anı güç, anı gücün ortalaması ve $p(n)-p_{ort}(n)$ grafikleri şekil5.5’ de görülebilmektedir.



Şekil 5.5: Ani güç ve ($p(n)-p_{ort}(n)$)

Grafikte de altta kalan $p(n) - p_{ort}(n)$ eğrisinin her periyottaki tepe noktası bize o periyodun S görünür gücünü vermelidir. Şekil5.5’ de gördüğümüz 68. örnek civarındaki örneklerin detayına tablo5.3’de baktığımızda;

Tablo 5.3: Örnekler bazında $p(n) - p_{ort}(n)$ değerleri

n	...	$n-1$	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	$n+1$	...
$s(n)$	MVA	...	1,089	1,161	1,224	1,274	1,311	1,337	1,349	1,348	1,334	1,308	1,268	...	...



$p(n) - p_{ort}(n)$ eğrisinin tepe noktası ilk periyot için yeni yaklaşıma göre 1,349MVA olarak ölçülür ve bu bize sistem görünür gücü değerini verir. Matlab sonucuna baktığımızda girilen değerlere göre sonuçlar aşağıdaki gibi olmalıdır.

$$\vec{S} = 1.2235 + 0.5705i \quad (5.4)$$

$$S = \sqrt{(1,2235)^2 + (0,5705)^2} = 1,350 MVA \quad (5.5)$$

Burada örnekleme frekansımızın 64 kHz olması tepe noktası hesabının doğruluğunda birincil öneme sahiptir. Görüldüğü gibi yeni yaklaşım metodu ile sadece 0,001MVA'lık bir hata ile görünür güç hesaplanmıştır.

$p(n) - p_{ort}(n)$ eğrisinin maksimum noktasının bize görünür gücü verdiğini bulmuş olduk. Daha önce belirttiğimiz (5.6) no' lu formülden hareketle reaktif gücü de hesaplayabiliriz.

$$p(n) - p_{ort}(n) = P \cos 2(n\theta) + Q \sin 2(n\theta) \quad (5.6)$$

Bu formülde Q'yu yalnız bıraktığımızda, eşitliğin diğer tarafında kalan tüm bilgiler artık bilinen değerlerdir. En başında Fs örnekleme frekansını biz tespit ettiğimiz için ve sistem frekansı Fo'da 50Hz olduğundan θ örnekleme açısı mikroişlemci tarafından zaten hesaplanmıştır. Bu değer her n örneğinde $\sin 2(n\theta)$ ve $\cos 2(n\theta)$ olarak kolaylıkla hesaplanabilir. Bunun ardından tüm bu değerler (5.7) formülüne girildiğinde n zamanındaki ve kendinden bir önceki periyot için Sistem Reaktif gücü hesaplanmış olur.

$$\frac{[p(n) - p_{ort}(n)] - [p_{ort}(n) \cos 2(n\theta)]}{\sin 2(n\theta)} = Q \quad (5.7)$$

Tablo 5.4: Örnekler bazında ani güç değerleri ve Reaktif güç hesabı

n	0	1	2	3	n+1	...	124	125	126	127
$p(n)$	2,45	2,50	2,53	2,56	n+1	...	2,14	2,23	2,31	2,38
$p(n)_{ort}$	1,22	1,22	1,22	1,22	n+1	...	1,22	1,22	1,22	1,22
$p(n) - p(n)_{ort}$	1,22	1,27	1,31	1,34	n+1	...	0,91	1,00	1,09	1,16
$\cos 2(n\theta)$	1,00	1,00	0,98	0,96	n+1	...	0,92	0,96	0,98	1,00
$p(n)_{ort} \cdot \cos 2(n\theta)$	1,22	1,22	1,20	1,17	n+1	...	1,13	1,17	1,20	1,22
$[p(n) - p(n)_{ort}] - [p(n)_{ort} \cdot \cos 2(n\theta)]$	0,00	0,06	0,11	0,17	n+1	...	-0,22	-0,17	-0,11	-0,06
$\sin 2(n\theta)$	0,00	0,10	0,20	0,29	n+1	...	-0,38	-0,29	-0,20	-0,10
$Q = \frac{[p(n) - p(n)_{ort}] - [p(n)_{ort} \cdot \cos 2(n\theta)]}{\sin 2(n\theta)}$	N/A	0,57	0,57	0,57	n+1	...	0,57	0,57	0,57	0,57

Tablo 5.4'den de görüldüğü gibi (5.7) formülünden hareketle Q reaktif gücü her n örneğinde 0,568MVAr olarak ölçülür. Matlab sonucuna baktığımızda girilen değerlere göre Q aşağıdaki gibi olmalıdır.

$$\vec{S} = 1.2235 + 0.5705i \quad (5.8)$$

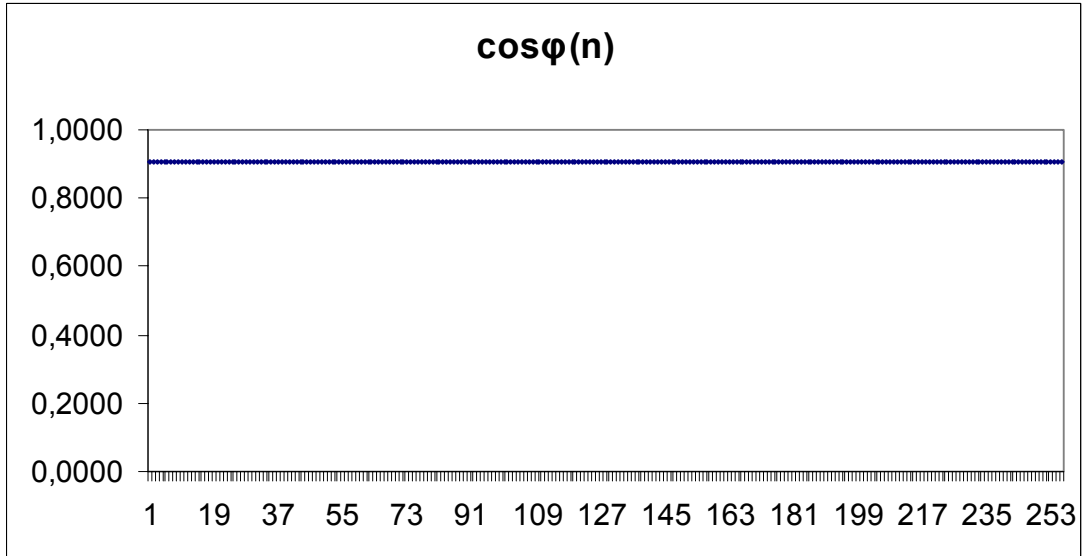
$$Q = 0,571\text{MVAr} \quad (5.9)$$

Hata analizi yaptığımızda yeni yaklaşım metodu 0,003MVAr'lık bir hata ile reaktif güç hesaplamıştır.

Aynı testi ani $\cos \varphi$ için de yapacak olursak; ani aktif gücün her periyottaki ortalaması ile $p(n) - p_{ort}(n)$ eğrisinin her periyottaki tepe değerinin birbirine oranı bize şekil5.7' de görülen ani $\cos \varphi$ eğrisini verecektir.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (5.10)$$

$$\cos \varphi(n) = \frac{p_{ort}(n)}{[p(n) - p_{ort}(n)]_{\max}} \quad (5.11)$$



Şekil 5.6: Ani $\cos \varphi$

Grafikte de görüldüğü üzere, sistemimiz her n örneğinde o örnekten önceki bir periyotluk alan için hesaplanan aktif güç ve görünür gücü oranlayarak $\cos \varphi(n)$ eğrisini çizdirmektedir. Burada güç faktörü 0,907 olarak ölçülür. Temel verilerimize göre akım ve gerilim arasında Matlab'a girilen faz farkı 25° idi.

$$\cos 25^\circ = 0,906 \quad (5.12)$$

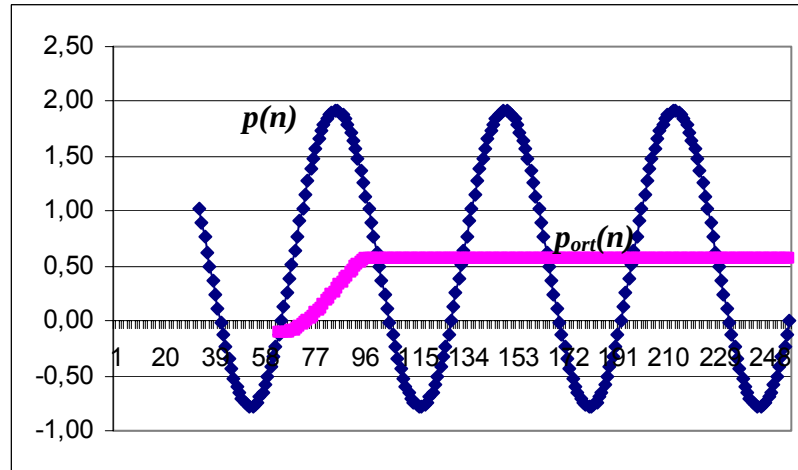
Hata analizi yaptığımızda yeni yaklaşım metodu %0,1lik bir hata ile PF hesaplamıştır.

Bu ölçüm değerlerini şimdi de pratikte en çok kullanılan 90° faz kaydırma metodu ile karşılaştıralım. Önceki bölümlerde çalışma prensibi izah edilen bu metoda göre alınan örneklenmiş değerlerden gerilim, $N/4$ örnek kaydırılarak ani güç hesaplanır ve ortalaması ile sistem reaktif gücü bulunur. O halde bir periyot için 128 örnek aldığımız modelimizde $i(n)$ ile $v(n-32)$ değerlerini kullanarak hesaplama yapacağız.

Yapılan hesaplama göre çizdirilen $p(n)$ ve $p_{ort}(n)$ eğrisi şekil5.8’ de görülmektedir. Burada faz kaydırması yapılarak hesap edildiğinden $p(n)_{ort}=Q$ denir. Yöntem tablo5.6’da görülmektedir.

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v\left(n - \frac{N}{4}\right) i(n) \quad (5.13)$$

$$Q = \frac{1}{128} \sum_{n=0}^{127} v(n-32) i(n) \quad (5.14)$$



Şekil 5.7: 90° kaydırılmış Ani güç ve ortalaması

Tablo 5.5: 90° faz kaydırma metodu için kullanılan örneklenmiş değerler

n	0	1	2	3	$n+1$	...	124	125	126	127
$v(n)$, kV	8,99	8,96	8,90	8,83	...	...	8,90	8,96	8,99	9,00
n	32	33	34	35	$n+1$	...	156	157	158	159
$i(n)$, kA	0,11	0,10	0,09	0,07	...	...	0,17	0,15	0,14	0,13
$p(n)=i(n)*v(n-32)$, MVA	1,02	0,89	0,76	0,63	...	...	1,47	1,37	1,26	1,14
$p(n)_{ort}=Q$, MVA _r	0,57	0,57	0,57	0,57	...	...	0,57	0,57	0,57	0,57

Bulunan reaktif güç Q değeri 0,5706MVA_r'dir. Hata oranı referans değere göre %0,1'dir.

5.4. Analiz Sonuçları

25° derecelik bir faz farkı için yapılan analiz sonucuna göre modelimiz hem referans değerlere hem de mevcut kullanımda olan faz kaydırma modeline göre ihmal edilebilir hatalar ile doğru sonuçları vermiştir. Sonuçlar tablo5.7' de görülebilir.

Tablo 5.6: 25° için karşılaştırma tablosu

		Referans Değer $S=V_{rms}*I_{rms}$	Yeni Yaklaşım Modeli $S=p(n)-p(n)_{ort}$	90°Faz Kaydırma Modeli $Q=(1/N)(\sum v(n-N/4)*i(n))$
Harmonik yok Frekans sabit, 50Hz $V_{rms}=6,36kV$, $I_{rms}=0,21kA$ $\varphi=25^\circ$	S , MVA	1,350	1,349	N/A
	Q , MVA _r	0,571	0,568	0,571
	$\cos\varphi$	0,906	0,907	N/A

Modelimizi aynı şartlar altında ve akım gerilim arasındaki faz farkının sırasıyla 10 °, 20 °, 30 °, 40 ° ve 50 ° derece olduğu açı değerleri ile test ettiğimizde aşağıdaki tablo.5.7'i elde ederiz.

Tablo 5.7: Farklı açı değerleri için karşılaştırma tablosu

		Referans Değer $S=V_{rms} \cdot I_{rms}$	Yeni Yaklaşım Modeli $S=p(n)-p(n)_{ort}$	90°Faz Kaydırma Modeli $Q=(1/N)(\sum v(n-N/4) \cdot i(n))$
Harmonik yok Frekans sabit, 50Hz $V_{rms}=6,36kV$, $I_{rms}=0,21kA$ $\varphi=10^\circ$	S , MVA	1,350	1,350	N/A
	Q , MVar	0,234	0,233	0,234
	cosφ	0,985	0,985	N/A
Harmonik yok Frekans sabit, 50Hz $V_{rms}=6,36kV$, $I_{rms}=0,21kA$ $\varphi=20^\circ$	S , MVA	1,350	1,349	N/A
	Q , MVar	0,462	0,458	0,462
	cosφ	0,940	0,941	N/A
Harmonik yok Frekans sabit, 50Hz $V_{rms}=6,36kV$, $I_{rms}=0,21kA$ $\varphi=30^\circ$	S , MVA	1,350	1,350	N/A
	Q , MVar	0,675	0,674	0,675
	cosφ	0,866	0,866	N/A
Harmonik yok Frekans sabit, 50Hz $V_{rms}=6,36kV$, $I_{rms}=0,21kA$ $\varphi=40^\circ$	S , MVA	1,350	1,350	N/A
	Q , MVar	0,868	0,867	0,868
	cosφ	0,766	0,766	N/A
Harmonik yok Frekans sabit, 50Hz $V_{rms}=6,36kV$, $I_{rms}=0,21kA$ $\varphi=50^\circ$	S , MVA	1,350	1,350	N/A
	Q , MVar	1,034	1,034	1,034
	cosφ	0,643	0,643	N/A

Farklı açı değerleri için de yaklaşımımız doğru sonuçlar verdiği tablo5.7’de görülmüştür.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışmamızı özetlersek; görünür gücü gerçek zamanlı olarak sadece ani akım ve ani gerilim değerlerini kullanarak hesaplayabileceğimiz bir yöntem geliştirdik. Burada ani güç ve ortalama ani güç arasındaki farkın, tepe noktası görünür gücü veren bir eğriyi verebileceği açıklanmış oldu. Buradan hareketle gerçek zamanlı reaktif güç ve güç faktörü değerleri de bu yaklaşımdan hareketle bulunabileceği gösterilmiş oldu.

Sonuç olarak “ $p(n) - p_{ort}(n) = p_{ort}(n) \cos 2(n\theta) + Q \sin 2(n\theta)$ ” şeklindeki bir ifadeye ulaşmış olduk. Bu ifade ile görünür gücün gerçek zamanlı değerleri eğrisi çizdirilip, en yüksek değerlerinin görünür güce eşit olduğunu bulmuş olduk. Bulunan bu görünür güç ifadesinden hareketle “ $\frac{[p(n) - p_{ort}(n)] - [p_{ort}(n) \cos 2(n\theta)]}{\sin 2(n\theta)} = Q$ ” formülü

yardımıyla Reaktif güç hesabına gidildi. Yine yeni yaklaşım görünür güç tanımlaması yardımıyla “ $\cos \varphi(n) = \frac{p_{ort}(n)}{[p(n) - p_{ort}(n)]_{\max}}$ ” tanımı bizlere güç faktörünü

sağlattı. Bununla birlikte tanımlanan güç değerleri için yeni yaklaşımdan elde edilen sonuçlar ile referans değerler karşılaştırıldı. harmonik içermeyen sistemler için yaptığımız hata analizi %0,1’ler mertebesinde çıktığından sonuçların güvenilir olacağı tespit edilmiş oldu.

Görünür gücün ani değerlerine ulaşarak, hem reaktif gücün hem de $\cos \varphi$ ’nin zamana bağlı değişimini izleyebildik. İleriye yönelik olarak harmonik içeren sistemlerde sistemin kullanılabilirliği araştırılabilir. Bu haliyle fazlar arası açı farkı hesaplamaya gerek duymadan kolaylıkla reaktif gücün ölçülmesi dikkat çekicidir. Görünür güce dair bu uygulama mikroişlemci tabanlı sistemlerde kullanılabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **Ghassemi, F.**, 2000. New Concept in AC Power Theory, *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.*, **147**, 417.
- [2] **Cox, M.D. and Baghzous, Y.**, 1990. A Review of Powers According to the IEEE Standard Dictionary, *IEEE Tutorial Course, Nonsinusoidal Situations: Effects on The Performance of Meters and Definitions of Power*, **90EH0327-7-PWR**, 31.
- [3] **IEEE Standart Dictionary of Electrical and Electronics Terms**, 1977. Second Edition, IEEE/Wiley – Interscience, Inc., New York, NY.
- [4] **Moulin, E.**, 2002. Measuring Reactive Power in Energy Meters, *Metering International*, **ISSUE 1**, 52-54.
- [5] **Djokic, B.V. and Bosnjakovic P.**, 1998. Two methods for Improved Measurements of Reactive Power and Reactive Energy Insensitive to Frequency Variations, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, **vol:47, no:1**, 215.
- [6] **Filipski, P.S. and Labaj P.W.**, 1992. Evaluations of Reactive Power Meters in the Presence of High Harmonic Distortion, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **vol:7, no:4**, 1793.
- [7] **Stevenson W.D.**, 1982. Elements of Power System Analysis, *Power in single-phase AC circuits*, McGraw-Hill Book Co, Singapore.
- [8] **Işıklı Y.S.**, 2004. Microprocessor Based Real-Time Reactive Power Measurement, *BSc Graduation Project*, ITU Electrical and Electronics Faculty.
- [9] **Willems J.L.**, 2004. Reflections on Apparent Power and Power Factor in Nonsinusoidal and Polyphase Situations, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **vol:19, no:2**, 835.

EKLER

Bilgisayar Simülasyonunun Matlab kodları;

```
Vm = 9.00; thetav = 0;
Z = 30.00; fi = 25;
thetai = thetav - fi;
theta = (thetav - thetai)*pi/180;
Im = Vm/Z;
wt = 0.015625*pi:0.015625*pi:4*pi;
v = Vm*cos(wt);
i = Im*cos(wt + thetai*pi/180);
p = v.*i;
V = Vm/sqrt(2); I = Im/sqrt(2);
P = V*I*cos(theta);
Q = V*I*sin(theta);
S = P + j*Q;
pr = P*(1 + cos(2*(wt + thetav)));
px = Q*sin(2*(wt + thetav));
Pav = P*ones(1, length(wt));
s = p - Pav;
q = sqrt((s.*s) - (Pav.*Pav));
xline = zeros(1, length(wt));
wt = 180/pi*wt;
subplot(3,2,1), plot(wt, v, wt, i, wt, xline), grid
title(['v(t)=Vm.coswt, i(t)=Im.cos(wt',num2str(thetai),')'])
xlabel('')
subplot(3,2,2), plot(wt, p, wt, xline), grid
title('p(t)=v(t).i(t)'), xlabel('')
subplot(3,2,3), plot(wt, pr, wt, Pav, wt, xline), grid
title('pr(t), pr(t)av'), xlabel('')
subplot(3,2,4), plot(wt, px, wt, Q, wt, xline), grid
title('px(t), px(t)amp'), xlabel('')
subplot(3,2,5), plot(wt, s, wt, xline), grid
title('p(t)-Pav '), xlabel('wt, degree')
subplot(3,2,6), plot(wt, i, wt, xline), grid
title('q(t)'), xlabel('wt, degree'), subplot(111)
```

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Kütahya’da doğan yazar ilk ve orta öğrenimini yine bu şehirde tamamladı. Kütahya Fen Lisesinden 1999 senesinde mezun olan Y.Süha IŞIKLI, aynı sene İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümünde lisans eğitime başladı. Elektrik mühendisliği bölümünden 2004 yılında mezun olan yazar, daha sonra yine İstanbul Teknik Üniversitesi’ nde yüksek lisans eğitime başladı. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitime devam eden yazar, 2004 senesinden beri Siemens San ve Tic. AŞ, Endüstriyel Çözümler ve Hizmetler bölümünde görev yapmaktadır.