

Reaktif Enerji Nedir, Ne Değildir? - 2

Elk. Müh. Muammer Argün
muammer.argun@emo.org.tr



İlk yazımızda, yakın dönemde 10 farklı EMO Şubesinde düzenlenen "Reaktif Enerji Fiziksel Bir Gerçeklik mi, Yoksa Kurgu mu?" başlıklı seminerleri konu edip, çalışma hayatımızda reaktif enerji ile hangi alanlarda karşılaştığımız ve nasıl etkileri olduğuna kısaca değinmiştik.

Seminerlerde ifade edilen görüşleri yeniden hatırlayalım.

-Tesla elektriğinde tek fiziksel gerçek aktif güçtür. Enerjinin sakınımı yasasına uyar.

-Reaktif güç, tamamen sanaldır. Bu yüzden kompleks düzlemde imajiner ekseninde gösterilir. Uyduruk olsa da enerjinin korunumu yasasına uyar.

-Hiçbir fiziksel anlamı olmayan reaktif güç neden tanımlanmıştır o zaman? Yanıtı basit. Hayatı kolaylaştırmak için. Yoksa reaktif güç/görünen güç tanımları olmasaydı, Tesla elektriğinin hesap kitabı çok zor olacaktı.

Bu görüşleri doğrulamak için kullanılan tek argüman, alternatif akımda ani değerlerle ifade edilen güç formülünde, reaktif enerjiyi de kapsayan 2. terimin ortalamasının "sıfır" sonuç vermesi olmuştur. Bu Bölümde konunun teorik yönü ve felsefi yorumu işlenecek, reaktif enerjinin fiziki analogisi anlatılacaktır.

Elektrik devrelerine ilişkin, bazı

yaygın yanlış anlamalar "Reaktif Gücü" oldukça kafa karıştırıcı hale getirebilir. Devam etmeden önce, ilk olarak bir takım temel fikirlerimizi düzeltmemiz gerekiyor. Örneğin: "AA'da enerji ileri geri akar." Yanlış. Enerji, ideal olarak tek bir yönde giderken, yalnızca elektrik yükleri ileri geri akar. (Bu biraz rüzgâra karşı ses dalgalarına benzer. Ses dalgaları tek yönde hareket ederken, hava ileri geri hareket eder. Devrelerde enerji tek yönde giderken, yükler ileri geri hareket eder.)[1] Enerji, kaynaktan yüke tek yönlü ilerlerken, elektrik tam bir döngü içinde hareket eder ve başlangıç noktasına, kaynağa geri döner.

DA'YA KARŞI AA: AKTİF ve REAKTİF GÜÇ KAVRAMLARI:

İlk DA iletim sistemi 1880'lerde işletmeye girdi. 10 yıl sonra da AA sistemi yetişti. DA sisteminin ideal iletim imkanına karşılık, AA kolayca üretilebiliyor, uygun şekilde yüksek gerilimle taşınabiliyor, ucuz ve verimli AA motorlarla çok yaygın bir kullanım imkânı sunuyordu.

AA'ya geçiş, elektrik güç kavramında çok önemli bir değişikliğe neden oldu. DA'da akım yönü değişmiyor, gerilimle hep aynı fazda kalıyordu. Böylece sadece aktif güç üretilebili-

yordu. Akım, R ve L devre elemanlarında özdirençli kısa devre, C'de ise açık devre özelliği gösteriyordu.

Enerji Sistem Mühendisliği'nde elektrik enerjisi üç formda oluşur.

1. Elektrik alanı enerjisi W_{ef}
 2. Manyetik alanı enerjisi W_{mf}
 3. Omik, ya da tüketilen enerji W_{Ω} [2].
- Bu tanımlara kısaca göz atalım.

1- Elektrik alanı enerjisi W_{ef}

Uzayda bir elektrik alanı olan her yerde bu tür bir enerji vardır; örneğin bir kapasitörün plakaları arasında veya bir iletim hattının tellerini çevreleyen ortamda. Basit bir levhali kapasitörde oluşan elektrik alanında emilerek depolanan enerji:

$$W_{ef} = 1/2 C V^2 W_s \text{ 'dir.}$$

2-Manyetik alanı enerjisi W_{mf}

Manyetik alan enerjisi W_{mf} , uzayda bir manyetik alanın mevcut olduğu her yerde bulunur. L indüktanslı bir bobinden i akımı geçerse, bobinde emilen toplam manyetik alan enerjisi:

$$W_{mf} = 1/2 L i^2 W_s \text{ 'dir.}$$

3- Omik (tüketilen) enerji W_{Ω}

Bir direnç içinden akım aktığında, ısıya dönüşerek tükenen bu enerji formu;

$$P_{\Omega} = R i^2 W \text{ 'dir.}$$

AA sisteminde akım direnç üzerinde DA ile aynı özelliği gösterirken, endüktans (L) ve kapasite (C) halinde

DA'dan çok farklı bir durum doğurur.

AA'da DEĞİŞKEN AKIM: LENZ KANUNU – DEPLASMAN AKIMI – FAZ FARKI:

AA'da akımın değeri, "Evrone hükmeden fonksiyon sinüs [3]"e uygun olarak, bir periyotta her an zamana göre değişiyor. Her "wt"de akım; L devre elemanında "Manyetik Alan", C'de ise "Elektrik Alanı" oluşturuyor. Şimdi bu oluşumu biraz daha yakından gözlemleyelim.

a) Endüktans (L):

L endüktanslı bir bobinden i akımı geçerse, oluşan manyetik alanda Lenz Yasası'na göre indüklenen gerilim, her an akımdaki değişime karşı çıkar. Böylece, indüklenen EMK, akımın gecikmesine neden olur. Sonuçta gerilim ilk adımda tepe değerine ulaşır. Akım, kendisini oluşturan manyetik alana zıt yönde bir alan oluşturacak şekilde akarken, gerilimden ancak 90°

($\pi/2$) faz farkıyla tepe değerine ulaşır. İndüklenen EMK'nin değeri sinüs dalgasına uygun değişir ve akımı 90° geciktirir. Böylece yine sinüs formunda endüktif reaktif güç oluşur. Akım ve gerilim arasındaki ilişki aşağıdaki Tablo-1'de [2] gösterilmiştir.

b) Kapasite (C):

Bir gerilim kaynağına bağlanan paralel levhalı kapasitör düşünelim. Kapasitörün plakaları arasındaki dielektrik ortamın bir geçirgenliği olduğunu, Amper Yasası'na uygun olarak açıklayan Maxwell, deplasman (yer değiştirme) akımıyla dielektrik ortamdan polarizasyonla akan akımı açıklıyor. Bu halde kondansatörde polarizasyon akımı ve plakalar arasında bir gerilim oluşuyor. Böylece ilk adımda akım tepe değerine ulaşır. Gerilim ancak 90° ($\pi/2$) faz farkıyla akımı takip ediyor. Sonuçta akım, gerilimden 90° ileri fazda teşekkül ediyor ve ka-

pasitif reaktif güç oluşuyor.

c) Omik direnç (R):

Bir direnç içinden geçen akım, gerilimle aynı fazda olduğundan, bu halde Aktif Güç oluşur.

AA'da (L) ve (C) devre elemanlarının yukarıda açıklanan özellikleri, enerjide modern dünyanın da kapılarını açıyor. "Manyetik Alan" etkisi, çok önemli imkânlar yaratıyor. Bu imkanlardan biri "elektromanyetik endüksiyon". Böylece transformatörler ve generatörler hayatımıza giriyor. İkinci önemli etkisi ise "mekanik kuvvet" tesiri. Böylece her işimizi gören elektrik motorları ve elektromıknatıslar hayatımıza katılıyor. Üçüncü ve daha devrimsel etki ise (L) ve (C)'nin birlikte oluşturdukları ve bize başta iletişim, elektronik, medikal tıp, bilgisayar teknolojisi olmak üzere sayısız alanda sınırsız imkanlar sunan R, L, C devreleridir.

Bu üç devre elemanı için literatürde verilen Yük tipi, Fazör diyagramı, Faz açısı ve Yükte emilen güç aşağıdaki Tablo-1'de gösterilmiştir. Aynı ilişki, konunun daha görsel anlaşılması için, Şekil-1'de "Gerilim/Akım dalga formu"nu da gösterecek şekilde tekrarlanmıştır.

Buraya kadar temel elektroteknik bilgilerini özetledik. Şimdi sıra 10 farklı EMO Şubesinde tekrarlanan "Reaktif Enerji Fiziksel Bir Gerçeklik mi, Yoksa Kurgu mu?" seminerlerinde dile getirilen "İmajiner ekseninde gösterilen reaktif enerji tamamen sanaldır." iddiasına geldi.

Load type	Phasor relation	Phase angle	Power absorbed by load	
			P	Q
		$\phi = 0$	$P > 0$	$Q = 0$
		$\phi = +90^\circ$	$P = 0$	$Q > 0$
		$\phi = -90^\circ$	$P = 0$	$Q < 0$
		$0 < \phi < +90^\circ$	$P > 0$	$Q > 0$
		$-90 < \phi < 0$	$P > 0$	$Q < 0$

Tablo-1

Yük tipi	Devre	Gerilim/Akım dalga formu	Vektör diagramı
Direnç			
Endüktans			
Kapasitans			

Şekil-1

SİNÜZOİDAL ALTERNATİF AKIMIN ORTALAMASI DA "SIFIR"DIR!

Sinüzoidal AA'nın bir tam periyota tekabül eden ortalama değeri de sıfırdır! Bunu hem matematiksel olarak, yani $\int_0^T i dt$ integralini hesaplayarak, hem de grafik yardımı ile görmek kabildir (zaman ekseninin üstündekiler (+) ve alt tarafındakiler (-) eşit büyüklüklüdür.) [4]. Bu nedenle AA ile örneğin elektroliz yapılamaz. Çünkü bir periyotta akım yön değiştirir. Yani, bir periyotta anoda yönelen iyonlar, diğer periyotta geri döner. Aynı şekilde AA'nın değerini bir döner çerçeveli galvanometre ile ölçmek istenilirse sonuç yine "sıfır" olur.

Bu nedenden, AA için etkin (efikas) ve ortalama değerler tanımlanmıştır. AA'nın etkin değeri (RMS) ölçü aletlerinde ölçtüğümüz, akımın **yönden arınmış** ($\sqrt{i^2}$) değeridir. AA'nın etkin değerini bulmak için genliğini $\sqrt{2}$ 'ye bölmek gerekir.

Şimdi kısaca AA'da ani değerlerle güç formülünü inceleyelim:

$$p=vi=(V_{max} \sin wt) (I_{max} \sin wt - \phi) = V_{max} \text{ veya}$$

$$p=|V| |I| \cos \phi (1 - \cos 2wt) - |V| |I| \sin \phi \sin 2wt \text{ yazabiliriz.}$$

Aslında ani güç ifadesini iki bileşene ayırdık; ilk terim yukarıda açıklandığı gibi, aynı ortalama değer etrafında titreşir ancak hiçbir zaman negatif olmaz ve ikincisi sıfır ortalama değere sahiptir.[2] (P ve Q) her ikisinin de birimi "watt" tir. Ancak Q'nun aktif güç olmadığını vurgulamak için "reaktif" diye adlandırılmış ve birimi voltamper reaktif (var) olarak ifade edilmiştir. $Q \triangleq |V| |I| \sin \phi$ reaktif güç formülünde ortalama değerlerin sıfır olması doğaldır. Örneğin, bir endüktans üzerinden geçen akımı ölçtüğümüzde, onun yönden arınmış etkin değerini ($\sqrt{i^2}$) ölçeriz. Gerilim $V(t)$ olduğunda bir endüktansta depolanan elektrik enerjisi $W_{mf} = 1/2 L i^2$ (Joule)'dür ve

tamamen reel bir değerdir. Reaktif gücün gerçekten "sıfır" olduğu nokta $\phi=0$ olduğu yani devrede hiçbir reaktif bileşenin olmadığı yegane haldir.

Kimi literatürde yer alan şu görüş seminerlerde dile getirilmiştir. "(0,T/4) dördte bir periyotta generatörün kondansatöre verdiği enerji, (T/4,T/2) aralığında generatöre geri verilmektedir." [5] Görünüşte hem kapasite ve hem de endüktans için doğru olan bu ifade de **aktif gücün kullanımına** aracılık ettiği gerçeği gizlenmektedir. Bunun için söylenecek şey "hiçbir elektriksel bağı olmayan bir asenkron motorun statorundan rotoruna mekanik enerji nasıl aktarılmaktadır?" Yukarıdaki görüş fiziksel gerçeklikle uyuşmamaktadır. Neden? Reaktif enerji şebekeye geri veriyor olsa idi kondansatörde bir enerji depolanmayacak, sonuçta direnç üzerinden kısa devre yaptığımızda bir ısı enerjisi oluşmayacaktı.

Seminerlerde sunucu konuyu daha ilgi çekici kılmak (ve karmaşıktır-mak) için, Kartezyen Koordinat sisteminde kolayca inceleyip, açıklayabileceğimiz (L) ve (C) reaktif güç sorununu **Kompleks Düzleme** taşıyarak, üstelik eşitliklerin en güzeli Euler formüllerini de devreye alarak "*Reaktif güç, tamamen sanaldır. Bu yüzden kompleks düzlemde imajiner eksende gösterilir. Uyduruk olsa da enerjinin korunumu yasasına uyar*" deyişiyle devam ediliyor. Elbette kompleks hesap AA'da bize sınırsız hesaplama kolaylığı sağlıyor, bu tartışılmaz. Ancak reaktif enerjiyi açıklamak için hiç imajiner eksene taşımadan, Kartezyen Koordinat sisteminde nasıl kolayca anlatılabileceğini, EK-1'de sunulan ve meslektaşımız Mehmet Bulgurcu tarafından hazırlanan etüt ile görebiliyoruz.[7]

ÖNCE FİZİK VARDI:

Biz mühendisler zarif matematiksel formüllere odaklanmaya me-

yilliyiz. Matematiksel formüller her zaman deneysel doğrulamaya muhtaçtır. Ancak fiziğin deney yoluyla tanımladığı olgular gerçektir. Biz de bu yazımızda tam da bunu yapmaya çalışıyoruz. Reaktif enerjiyi salt matematik formülleriyle açıklamak yerine, öncelikle fiziksel olaylarla ifade etmek mecburiyetindeyiz. Henüz "Elektrik nedir?" sorusunu cevaplayamadan, elektrikteki reaktif enerji gibi kısmen karmaşık konuları, salt kompleks hesap yöntemleriyle, kafa karıştırarak algı yaratmak, herhalde yaşadığımız dönemin acı gerçekliği olmalı. Algı yönetimi günümüzün hastalığı. Fakat unutmayalım, önce fizik vardı!

Mesleki açıdan daha acı olan ise, konu başlığı tartışmalı olan bu seminerlerin, EMO'nun tam 10 şubesinde, **karşıt hiçbir görüşe yer verilmeden** sunulması, "Hiçbir fiziksel anlamı olmayan reaktif güç neden tanımlanmıştır o zaman? Yanıtı basit. Hayatı kolaylaştırmak için. Yoksa reaktif güç/görünen güç tanımları olmasaydı Tesla elektriğinin hesap kitabı çok zor olacaktı." görüşünü onaylayan bir yaklaşımın sanki kabul görmesi oldu.

GELELİM REAKTİF ENERJİNİN FİZİKİ ANALOJİSİNE:

İlk yazımızda "Reaktif gücün, günümüzde web'de yaygın söylentilerde belirtildiği gibi ne biranın köpüğü ne de treni ray dışına çekmeye çalışan kuvvet" olduğunu belirtmiş ve reaktif enerjinin fiziki analogisini anlatma sözü vermiştik. Bira köpüğü hiçbir işlevi olmayan yalancı bir görüntüden ibaret. Treni ray dışına çeken kuvvet ise tamamen zararlı, boşa harcanan bir güçtür. Reaktif enerjinin bu iki analogi ile hiçbir benzerliği yoktur. Fiziksel olarak reaktif enerji için bir benzeşim yapmak istersek Tablo-2'deki örnekler verilebilir.

	Elektrik MOTORU	UÇAK
Faydalı İş	Motoru döndürmek	Yolcu taşımak
Aktif Güç	Dönüşü sağlayan güç	Yolcu taşımada harcanan yakıt
Reaktif Güç	Stator-rotor hava boşluklarında manyetik alan için harcanan güç	Uçağın ağırlığını kaldırmak için harcanan güç
Not	Hava boşluklarında manyetik alan oluşmadan rotor, aktif enerjiyi dönme kuvvetine dönüştüremez. Reaktif enerji (alan oluşumu için) kaçınılmazdır!	Uçak kendi ağırlığını kaldırmadan, yolcular A noktasından B noktasına taşınmaz. Bu nedenle Reaktif enerji (uçağın ağırlığını kaldırmak için harcanan yakıt) kaçınılmazdır!

Tablo-2

Motor örneğinde olduğu gibi endüktif reaktif yükleri biraz daha yakından inceleyelim. Elektrik enerjisi doğrudan faydalı işe (aktif güce) dönüştürülemez. Elektrik enerjisini dönme kuvvetine dönüştürmek için, stator ile rotor arasındaki boşlukların manyetik akı ile dolması gereklidir. Bu amaçla, manyetik alan oluşturmak için bir miktar Reaktif Güç kullanılır. Verimlilik açısından, reaktif enerji, güç kaybı olarak görülebilir. Yükün sürülmesine katkıda bulunmaz. Ancak reaktif güç gerçekte bir kayıp değildir. Çünkü statordaki elektrik enerjisinin rotorda dönme enerjisine dönüştürül-

mesi ancak reaktif enerjinin yaratacağı manyetik alanla mümkündür.

HAKİKAT DENEN ŞEY – GOETHE:

“Hakikat denen şey, konu tek bile olsa, asla kapsamı dar, kısa, sınırlı bir şey değildir. İster kolay ister zor olsun, genellikle bir konuyu ifade etmek de o kadar kolay değildir.” demiş Goethe.

Sonuç olarak, seminerlerde bir fiziksel gerçeğin sadece tek unsuru öne çıkarılmış, Euler formülleriyle muğlak hale getirilip; alternatif akımın en mucizevi özellikleri olan endüktif ve kapasitif reaktif güçler; sanal olarak tanımlanmış, hatta “tanımlama-

saydık bile olurdu” gibi bir çıkarıma yer verilmiştir. EMO örgütü içinde 10 şubede karşıt hiçbir görüşe yer verilmeyen seminerlerin tekrarlanması, bilimsel tarafsızlık ilkesi ile uyumsuzdur. Ayrıca EMO'nun kuruluş amaçlarından biri olan “..meslek alanı ile ilgili sanat ve bilimlerin, kuram ve uygulamaların gelişmesine çalışmak” gayesiyle de çalışmaktadır. EMO'da bilimsel algı ve hakikat hususlarında farkındalık yaratmak hepimizin ortak ve örgütsel bir görevidir.

REFERANSLAR:

- [1]- www.quora.com , William Beaty
- [2]- *Electric Energy Systems Theory*. Olle I.ELGERD
- [3]- *Evrene Hükmeden Fonksiyon Sinüs,1-6*, Prof. Dr. S. Gökhun TANYER
- [4]- *Elektroteknik*, Prof. Y.Müh. Ahmet AKHUNLAR
- [5]- *Elektroteknik-3*, Prof. Y.Müh. Adnan ERGENELİ
- [6]- *Quora*, Umang Karki
- [7]- *AA da Akım, Gerilim, Güç İfadeleri*. Elk.Müh. Mehmet Bulgurcu, EK-1

EK-1 : Alternatif Akımda Akım, Gerilim ve Güç İfadeleri

Elk. Müh. Mehmet Bulgurcu

Sinüzoidal Fonksiyonların sembolik hesabı için kısa bir hatırlatma:

Sinüs veya kosinüs fonksiyonları, trigonometrik daireyi göz önüne aldığımızda bunların bir açı fonksiyonu olduğunu görürüz. Hipotenüs birim yarıçap alındığında X eksenindeki izdüşümü kosinüsü ve Y deki izdüşümü de Sinüsü verecektir. Buradaki serbest değişken α açısıdır.

AC devrelerinde akım ve gerilim zamanla Sinüzoidal bir değişim gös-

terdiklerinden trigonometrik dairede zamanla değişen bir açı tarif etmemiz gerekir. Tek yol ω açısal hız tanımlarsak ωt de zamanla değişen açı olur. Böylece dönen yarıçapın (veya dönen vektör) Y veya X eksenindeki izdüşümleri ki bunlar $\sin(\omega t + \alpha)$ ve $\cos(\omega t + \beta)$ olur. α ve β başlangıç açısıdır. Dönen elektrik makinalarında bu açısal hızı dakikadaki devir sayısından bulmak mümkündür.

Böylece ωt ile dönen vektörle

akım veya gerilimin ani değerleri arasında bir bağlantı kurulmuş olur.

Sinüzoidal akım ve gerilimlerin bir periyotluk sürede tamamladığı açı 2π dir. f frekansında; $\omega = 2\pi f$ olur ki buna açısal frekans denir

Akım ve gerilim sinüzoidleri aynı ω açısal frekansa sahipse bu büyüklükler ω açısal hızla dönen bir vektörle aynı düzlemde gösterilebilir. Fazör dediğimiz bu vektörler aynı hızla döndüklerinden aralarındaki açı far-

kını hep koruyacaklardır. ω açısal hızı unutmamak kaydı ile akım ve gerilim fazörleri duran vektör gibi işlem görülebilirler.

Sinüzoidal akımda kirchhoff gerilimler kanununun uygulaması ve güç

Diğer taraftan zamana bağlı olarak sinüzoidal değişim gösteren herhangi bir büyüklüğün bir periyot zarfındaki ortalama değerinin sıfır olduğu grafiğin incelenmesine açıkça görülür. Apsis ekseninin üst tarafındaki alan ile alt kısmına isabet eden alanlar eşit ve ters işaretlidir. Neticede bu alanlar birbirini götürürler.

Bir büyüklüğün ortalama değerinin sıfır olması onu ortadan kaldırmaz. Sinüzoidal akımın da ortalama değeri sıfırdır ancak bir efektif değeri vardır ve çok önemlidir.

AC akımın efektif değeri bir direnç içerisinde geçen DC akım ile AC akımın aynı sürede oluşturduğu ısı miktarının eşitlenmesinden bulunur. Bu değer AC için $I_{ef} = I_{max}/\sqrt{2}$ olur. Buna akımın efektif değeri diyoruz ve bu bir tanımlamadır. Bir diğer adı da RSM (root mean square) değeridir.

Gerilimi de $U_{ef} = U_{max}/\sqrt{2}$ olarak tanımlamak mümkündür.

Mühendislikte birçok dinamik sistemin modellenmesinde matematiksel diferansiyel denklemler kullanılır. Bu denklemlerin oluşturulmasında fizik yasaları dolayısıyla burada kirchhoff yasaları esas alınır. Bu yasalar postula olarak ortaya konur.

Akımlar kanunu yüklerin sakinliğini, gerilimler kanunu enerjinin korunumunu esas alır.

Doğru akımda kullanılan akım ve gerilim kanunları yüksek frekanslar hariç AC de ani değerleri için aynen geçerlidir. Sürekli sinüzoidal rejimde ise sinüzoidal fonksiyonlar, bunların türevleri ve integralleri söz konusu olacaktır. Örnek olarak direnç, endüktans ve kapasiteden oluşan bir seri

devreye u sinüzoidal gerilimi uygulandığında ani değer ifadesi;

$$u = u_R + u_L + u_C$$

$$u = R.I + L.d i/dt + \int idt/C$$

denkleminin çözümü uzun hesaplara ihtiyaç duyar. Bu eşitlik yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda sürekli rejimde aynı frekanslı sinüzoidal fonksiyonlar olduğundan;

$\mathbf{U} = \mathbf{U}_R + \mathbf{U}_L + \mathbf{U}_C$ fazörlerinin toplamı olarak gösterilebilir.

Eğer \mathbf{I} vektörü fazlar başlangıcı olarak alınırsa $U_R = R I$ akımla aynı fazda U_L gerilimi akıma nazaran 90° ileride ve U_C de 90° geride olacaktır.

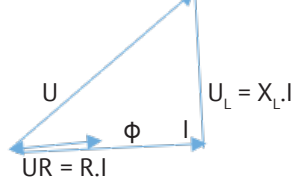
Örnek olarak R ve L den oluşan devrenin ani değerlerden hareketle 90 derece farkı görelim.

$$u_L = L.d i/dt$$
 ifadesini alalım.
$$i = I.\sin(\omega t)$$
 olsun ve fazlar başlangıcı olarak alalım. Buradaki I efektif değer olarak alınmıştır.

$di/dt = I.\omega \cos(\omega t) = I.\omega \sin(\omega t + \pi/2)$ olur.

$u_L = L.I.\omega \sin(\omega t + \pi/2)$ bulunur. Açıkça görülüyor ki u_L gerilimi i akımına göre 90 derece ileridedir. Buradaki $\omega.L.I = U$ efektif değerdir. O halde sembolik vektör hesabında bunlar iki dik vektör olarak gösterilecektir. Bunların vektörel toplamını oluşturan U vektörü de devrenin başında tatbik edilen gerilim değerinin fazör ifadesidir.

Kirchhoffun gerilimler kanunu aşağıda fazör olarak verilmiştir.



Endüktansta fiziksel güç harcanmayacağına göre dirençte harcanan güç:

U_R direnç uçlarında ölçülen gerilim ve bu dirençten geçen akım I olduğuna göre

$$P = U_R \cdot I = R.I^2$$
 olur. Bu aynı zaman-

da sistemden çekilen güçtür.

Bu gücü devrenin başına tatbik edilen gerilim ve çekilen akım cinsinden hesaplamak istersek, yukarıdaki fazör diyagram dikkate alınarak $U_R = U \cdot \cos\phi$ yazılabilir.

$P = U_R \cdot I = (U \cdot \cos\phi) \cdot I$ olur ki u ve i nin çarpımından elde edilen ani güç ifadesinin birinci terimine eşit olduğu görülür.

$P = u(t) \cdot i(t) = \sqrt{2}U \sin(\omega t) \cdot \sqrt{2}I \sin(\omega t - \phi) = U \cdot I \cos\phi - U \cdot I \cos(2\omega t - \phi)$ den ikinci terimin sıfır olması gerektiği görülür. (U ve I efektif değerlerdir)

İkinci terim bir sinüzoidtir ve ancak ortalama alınırsa, birinci terim aynen kalırken ikinci terim sıfır olacaktır. Formül aşağıda verilmiştir.

$$1/T \int_0^T U \cdot I \cos\phi dt - 1/T \int_0^T U \cdot I \cos(2\omega t - \phi) dt = U \cdot I \cos\phi - 1/T \int_0^T U \cdot I \cos(2\omega t - \phi) dt$$

Yukarıda da değinildiği gibi tüm bu hesaplamalar devreye uygulanan baştaki voltaj ile devreye gönderilen akım değeri üzerinden gücü hesaplayabilmektir.

Yukarıda gerek fazör diyagram yardımı ile gerekse akım ve gerilim fonksiyonlarının çarpımından elde edilen $\cos\phi$ güç faktörü olarak tanımlanır ve yalnızca sürekli sinüzoidal hal için geçerlidir.

En genel anlamda güç faktörü = P/S olarak tanımlanır. Bunun $\cos\phi$ ye eşit olması özel bir durumdur.

Endüktans ve kapasitansın fiziksel güç üzerindeki etkileri

Endüktans ve kapasitans zahiri bir direnç olarak karşımıza çıkar ve $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ olduğundan gerçek direncin değerini artırır ve fiziksel sonuçlar doğurur.

a) Seri devrede istenilen akıma sınırlama getirdiğinden akımından yeterince yararlanılmaz ve istenilen güçten daha düşük güç elde edilir.

b) paralel devrede ayrı bir X diren-

ci olarak ve genellikle X_L olarak kendini gösterir ve istenilen akımdan daha fazla akımın kaynaktan çekilmesine ve dolayısı ile hat kayıpları ve gerilim düşümüne sebep olur. kompanzasyon da bunun için yapılır.

Kompleks sayılar ve imajinerlik:

Yukarıda fazörlerden bahsederken kompleks sayıları hiç işin içine katmadan ve gerçek sayılarla işlem yapmaya çalıştık. Analitik olarak hesap kolaylığı sağlamak için fazörleri kompleks olarak göstermek büyük kolaylıklar sağlayacağı şüphe götürmez. Ancak; imajiner eksende gösterilenler gerçek değerler olup imajinerlik sadece başındaki j den kaynaklanmaktadır.

Kompleks sayıların elektrikte sembolik hesap olarak kullanılmasının sebebi analitik hesaba imkân vermesidir. Aksi halde vektörleri toplarken vektörlerin $\sum X$ ve $\sum Y$ izdüşümü teker teker toplamlarını bulduktan sonra, kareleri toplamının karekökünü alarak yapacaktık. Kartezyen koordinat sisteminde bir vektörü tanımlayabilmek için iki ayrı sayı doğrusu üzerindeki değerleri gösterilir ve dolayısı ile kompleks sayıları kullanmak en uygun yoldur. $a+jb$ vektörü a ve b sayıları birbirine dik iki sayı doğrusundaki değerleridir. Vektörlerin toplanmasında uygun bir yoldur. Vektörler polar olarak ta gösterilebilir. Bu durumda vektörün modülü ve başlangıç açısı verilir. Bu gösterim çarpma işlemi için daha uygundur.

Reaktif Gücün Kompleks Düzlemde İmajiner Eksende (veya aktif güce dik) Gösterme Zorunluluğu:

İki Sinüzoidal büyüklüğün çarpımının bir periyot boyunca ortalama değeri sıfır ise bunların arasında 90 derecelik açı farkı vardır. Örnek;

$A\sin(\omega t)$. $B\sin(\omega t - \phi) = AB \cos\phi - AB \cos(2\omega t - \phi)$ olur.

Burada $\phi = \pi/2$ olursa birinci terim sıfır olur. İkinci terim ise ortalaması

alınınca sıfır olmaktadır.

$$1/T \int_0^T AB \cos(2\omega t - \pi/2) dt = 0$$

olur. Çünkü bu bir sinüzoidtir.

Endüktans ve kapasitörde akım ile gerilim arasında 90 derece faz farkı olduğundan aktif (etkin) ve reaktif (tepkin) gerilimlerde de 90 derece faz farkı olacak ve temsili gösterimde birbirine 2 dik vektör olacaktır.

Her ne kadar güç ifadesi bir fazör değilse de ve eğer aktif ve reaktif güçler kompleks sayılarla temsili olarak gösterilecekse, aktif ve reaktif gerilim fazörleri arasındaki dik açı ölçek farkı ile bu temsili güç görünümüne aktarılması gerekir. Şimdi bunu aşağıdaki kompleks güçten görmeye çalışalım.

Kompleks Güç:

Akım ve gerilim sinüzoid fonksiyonlarının çarpımı sonucu = sabit terim + 2ω açısız frekansına sahip sinüzoid terimlerin toplamından oluştuğuna göre bu sonuç fazör olarak gösterilemez. Fazör olarak gösterebilmek için aynı ω açısız hız olmalı ve sabit terim ihtiva etmemeli.

Benzer şekilde akım ve gerilim fazörlerinin çarpımı da hiçbir fiziksel anlam taşımaz ve sadece bir kompleks sayı verir. Böyle olmakla beraber U ve I^* (eşlenik akım fazörü) çarpımı bir anlam kazanabilir.

$$U = Ue^{i\alpha} \text{ ve } I^* = Ie^{-j\beta} \text{ yazılırsa;}$$

$$U \cdot I^* = U \cdot I e^{j(\alpha-\beta)} = U \cdot I \cos(\alpha-\beta) + jU \cdot I \sin(\alpha-\beta) \text{ bulunur ki buna kompleks güç denir. O halde}$$

$$N = P + jQ \text{ yazılabilir. Bu ifadeye göre;}$$

N kompleks güç, bunun modülü N görünen güç ve P aktif güçtür.

Bu tamamen deneme yanılma yolu ile elde edilmiş bir sonuçtur. Burada Q değerine imajiner ve P değerine gerçek demek yanlış olur. Sanal olan jQ ifadesidir.

$P = U \cdot I \cos(\alpha-\beta)$ ve $Q = U \cdot I \sin(\alpha-\beta)$ gerçek büyüklüklerdir. Şimdi bulduk-

larımızı ani değerle karşılaştıralım.

$$P = u(t) \cdot i(t) = \sqrt{2} U \sin(\omega t) \cdot \sqrt{2} I \sin(\omega t - \phi) = U I \cos\phi - U I \cos(2\omega t - \phi) \text{ bulunur.}$$

İkinci terim ikiye ayrılıp düzenlenirse:

$$P(t) = U I \cos\phi - U I \cos\phi \cos(2\omega t) - U I \sin\phi \sin(2\omega t) \text{ (burada gösterilen } U \text{ ve } I \text{ efektif değerlerdir)}$$

$$P(t) = P - P \cos(2\omega t) - Q \sin(2\omega t) \text{ olur.}$$

Buradan $P(1 - \cos(2\omega t)) - Q \sin(2\omega t)$ bulunur. Tek fazlıda bu formüle göre P gücü titreşim halindedir.

Ortalama alınırsa tüm sinüzoidler sıfır olacağından sadece P kalacağı açıktır.

Elektrik yükünün karakterinin belirlenmesi:

Elektrik yükünün karakterini belirleyen en önemli faktör reaktif gücün bilinmesi ile mümkündür. Kısaca yükün ne kadar endüktif ve ne kadar kapasitif olduğu reaktif gücün ölçülmesi ve görünen gücün tarif edilmesi ile mümkün olacaktır.

Sonuç olarak reaktif güç, aktif gücün hesaplanması için varsayılan bir büyüklük olmayıp yukarıda belirtildiği gibi yükün karakterini ortaya koyan önemli bir gerçektir.

Referanslar;

1- Prf. Hasan Önal Elektrotekniğe Giriş III elektrik devreleri Kısım 1, 1971

2- Prf. K. A. KRUG Elektrotekniğin Esasları Kısım II Alternatif Akım Teorisi Çev. Prf. Osman İkizli 1971