

mühendislik dünyası

uygulamalar

harmoniklere yakından bir bakış

Yazan : L.G.DOBINSON

Çeviren: Turan DİRLİK

Bir çevirgecin besleme hatlarındaki harmonik akımın gerçek düzeyi, sonsuz endüktif yük varsayımından hareket edilerek hesaplanan değerlerinden oldukça büyük farklılık gösterebilir. Bu yazıda, belirli bir endüktif yüklü, altı-vur uslu (six-pulse) duruk (statik) bir çevirgecin (convertor) ürettiği harmonik akımın kolay uygulanabilir bir yöntemle nasıl bulunabileceği anlatılmaktadır.

GİRİŞ.

Son yıllarda, besleme sistemlerinde harmonik üreten yüklerin etkisini inceleme konularına ilgi gittikçe artmıştır. Bu çalışmalar 1963 yılında İngiltere Elektrik Kurumunun (U.K. Electricity Council) yayınladığı bir tavsiye bildiriyle [1] başarılı bir noktaya gelmiştir. Bu bildirin amacı duruk çevirgeç yüklerindeki harmonik akımın, elektrik dağıtım uzmanlarınca kabul edilebilir sınırlarını çizmekti.

Aynı konuda yapılan başka bir çalışmadan [2]da anlaşılacağı üzere, çevirgeç güç sınırlamaları tümüyle "güç çevirgeçlerinin yükü sonsuz endüktifdir" şeklindeki klâsik genellemeye dayanır. Bu genellenin nedeni, çalışmaların büyük çoğunluğunun temelinin bu varsayıma dayanması (bu arada hesaplamaları kolaylaştırdığı dikkate alınarak) olabilir. Bu yüzden, geçmişte, çevirgeç donatım yapımcıları akım harmoniklerini hesaplarken bu varsayımdan hareket etmişlerdi.

1. HIZ DENETİMİ

Sürücü motorların hızının daha duyarlı denetim ve ayarı için yeni üretim süreçlerinin artan gereksinimleri, tiristor denetimli yüklerin besleme sistemlerine göre oransız artışına yol açtı. Bu yüzden İngiltere Elektrik Kurumunun bildirisinde yer alan bazı uyarıların üzerinde yeniden durmak gereklidir.

Yeni belgeler [3,4], bildiriye yer alan "aritmetik toplama" kuralının yerine, karşıt görüş olarak, rasgele değişen evrelerde (fazlarda) harmonik akımların istatistiksel evre çakışmalarını kapsayan kabul edilebilir aykırılık çarpanlarının (diversity factor) çıkarılması

L.G. Dobinson, Thorn Automation Ltd., Rugeley, Staffs, İngiltere

Turan Dirlik, ODTÜ

tilmasına ilgi gösterdi.

Bu çalışma, aynı zamanda her kullanıcının kaynağın harmonik yüklenmesini ölçebileceği daha gelişmiş aygıtların [5] ortaya çıkışı ile çakışmaktadır. Bu yüzden denetim aygıtı yapımcılarının, yükün gerçek niteliğini göz önünde tutarak ve herkesçe kabul edilebilir kuralları uygulayarak, tiristorlu çevirgeçlerin ürettiği haraonik akımın düzeyini daha duyarlı hesaplamaları gereklidir. Doğru akım motor devrelerindeki ölçülebilecek büyüklükteki akım dalgacıklarının (ripple) varlığı sonsuz endüktif yük varsayımına dayanan hesapları geçersiz saymak için yeterlidir.

Herhangi bir kurallar dizisinin etkili olması için aşağıdaki dört temel koşulu sağlama-sı gerekir:

1. Uygulaması kolay olmalıdır.
2. Sadeleştirme varsayımları geçerli olmalı ve geniş şekilde uygulanabilmelidir.
3. Uygulamayla ilgili, kolayca elde edilen ya da türetilen verilerden faydalanılmalıdır.
4. Sonuçlar deneylerle gösterilebilir doğrulukta olmalıdır.

İkinci koşul, bilgisayara dayalı hesaplamaları ortadan kaldırır, çünkü birçok yapımcılar bu hesapları yapamamaktadırlar. Gerçekten, büyük kuruluşlar dışında, bilgisayar çalışmalarının harcamalarını karşılamak zor olmaktadır.

İkinci koşul, bir aygıt yapımcısının harmonik akım düzeyini, aynı donatım için, bir başka yapımcıdan farklı olarak hesaplamasını önler. Araştır-

malar, farklılıkların, hesapların dayandığı sadeleştirme varsayımlarından ortaya çıktığını göstermiştir. Çünkü farklı kuruluşlar tarafından yapılsa bile, aynı vuruş sayılı çevirgeçlerin, verilen bir yükü süren motoru denetlerken ürettikleri harmonik akım düzeylerinin aynı olması gerektiği açıktır.

Uzun yıllardan beri harmonik akımların ölçümleri, gözlenmeleri ve "geleneksel" yöntemlerle hesaplanan değerlerinden ayrılıkları bu çalışmaya yol açtı. Önerilen yöntemin doğruluğu birçok uygulamalarla gösterilmiştir.

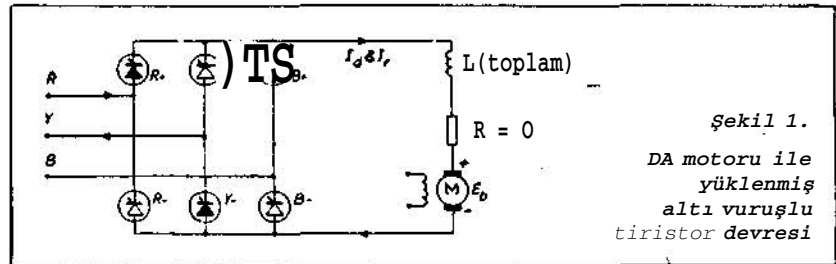
2. DALGA ŞEKLİ

Bir çevirgeci besleyen akımın haraonik bileşenlerini hesaplayabilmek için ilkönce dalga şeklini bulmak gereklidir. Genellikle dalga şeklini şunlar etkiler:

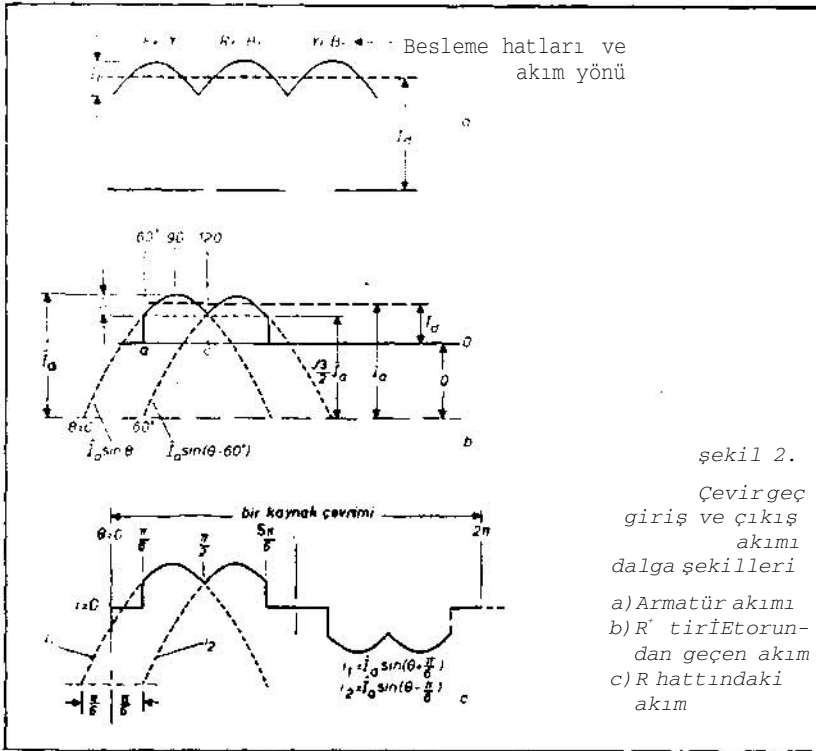
1. Çevirgeç bakışımı (simetri) [gecikme açısı dengesi]
2. Kaynak gerilimi bakışımı
3. Kaynak dağıtım empedansı [binme (overlap) açısı]
4. Çevirgeç vuruş sayısı
5. Gecikme açısı [DA çıkış gerilimi]
6. Çevirgeç çıkış akımı şekli [dalgacık oranı (ripple ratio)]

Bunlardan bazılarının yalnızca akademik önemi vardır, bazıları da karşılıklı olarak birbirlerini yok ederler ve geri kalkanları da birbirlerinden bağımsızdırlar.

Yukarıdaki listede bulunan değişkenleri azaltmak için kaynak akımın dalga şekline ikinci dereceden etkileyen değişkenleri



Şekil 1.
DA motoru ile
yüklenmiş
altı vuruşlu
tiristor devresi



şekil 2.

Çevirgeç giriş ve çıkış akımı dalga şekilleri

- a) Armatür akımı
b) R' tirİBtorundan geçen akım
c) R hattındaki akım

elemek yararlı olur. Bu nedenle, bu yazıda, kaynak gerilim bakışımı ve çeviri kollarındaki akım dengesinin istenen biçimde olduğu varsayılmış ve yalnızca altı vuruşlu çevirgeçler gözönünde tutulmuştur. Ayrıca, kaynak reaktansının varlığı ile açıklanan harmonik akımlardaki azalmanın, büyük ateşleme açılarında kaybolduğu gösterilmiş olduğundan [8] kaynak reaktansı sıfır olarak alınmıştır.

Ayrıca, yük düzeyinin çıkış akımının sürekliliğini sağladığı varsayılmıştır. Bu durumda yalnızca yük akımının dalga şekli ve gecikme açısına bağlılığını göz önünde tutmak yeterlidir.

3. YAKLAŞIM

Bu varsayımlardan sonra yaklaşım yöntemi, doğru akım dalga şeklinin kaynak akımına etkilerini incelemeye yoğunlaşır. Verilen bir yük ve hızda, dalgacık akımı, I_d , ile motor armatür devresinden geçen ortalama doğru akımın, I_a , göresel düzeyleri hesaplanır ve buna "dalgacık oranı" denir (Şekil 1). Dalgacık oranı,

$$r = I_d / U_d \quad (D)$$

ile verilir. Bu oran AA besleme hatlarındaki her harmonik bileşenin büyüklük ve evresini bulmada kullanılır.

4.. HAT AKIMI

Kurulu bir dizgede hem dalgacık bileşeni hem de armatür akımının ortalama değeri dalga şeklinden doğrudan doğruya bulunabilir (Şekil 2.a). Çevirgeç çıkış akımının tam şekli, gecikme açısıyla ve yükün endüktansına göre değişir. Ancak uygulamalı amaçlar için "gözle yaklaşım" yapmak oldukça uygundur ve gerçeklere pek aykırı düşmez. Bu yaklaşımla, akım dalga şeklinin üst bölümünün 60° lik ilk dönemde (60° ile 120° arası) zamana göre tepe değeri etrafında bakışımli olduğu ve yatay ekseni doğru akım sıfır düzeyinden Q değeri kadar kaydırılarak elde edilen tam bir sinüs dalgasından türetildiği düşünülebilir (Şekil 2.b).

$f(6) = 0$	$0 < \theta < \pi/6$
$f(6) = I_d \cdot [0,46 r \sin(9+i\pi/6) - 7,13 r + 1]$	$\pi/6 < \theta < \pi/2$
$f(8) = I_d \cdot [7,46 r \sin(6-i\pi/6) - 7,13 r + 1]$	$\pi/2 < \theta < 5\pi/6$
$f(6) = 0$	$5\pi/6 < \theta < \pi$

Bu varsayım ilk bakışta fazla ileri görülebilir; ancak "sonsuz endüktif yük" varsayımıyla (ki bu durumda dalgacık oranı, r, her zaman sıfır varsayılır) karşılaştırıldığı zaman gerçeğe daha yakın sonuçların elde edilmesi şaşırtıcı olmamalıdır.

Tiristorların ateşleme etkisi gözönünde tutularak elde edilen kaynak hatlarındaki akım dalga şekli Şekil 2.c de gösterilmiştir.

Yer kısıtlamaları, AA dalga şekilleri için eksiksiz eşitlikler yazılmasını önler. Ancak Şekil 2.b ve 2.c den elde edilen bilgilerle akımın ilk yarım çevrimi (cycle) aşağıda (çerçeve içindeki) eşitliklerle gösterilebilir.

Bu eşitliklere Fourier çözümlemesi (analiz) uygulandığı zaman ana ve harmonik bileşenleri hesaplamak için gereken eşitlikler ortaya çıkar.

4.1 Ana Bileşen

Fourier çözümlemesi sonucunda ana bileşenin büyüklüğünün

$$I_1 = I_d (1,102 + 0,014r)$$

olduğu görülür. Dalgacık oranı, r, genellikle 1 civarında olduğundan $I_1 = 1,11 I_d$ yazmak iyi bir yaklaşım olur. Ana bileşenin etkin (r.m.s) değeri I_1 ise

$$I_1 = 0,78 I_d \quad (2)$$

ile verilir.

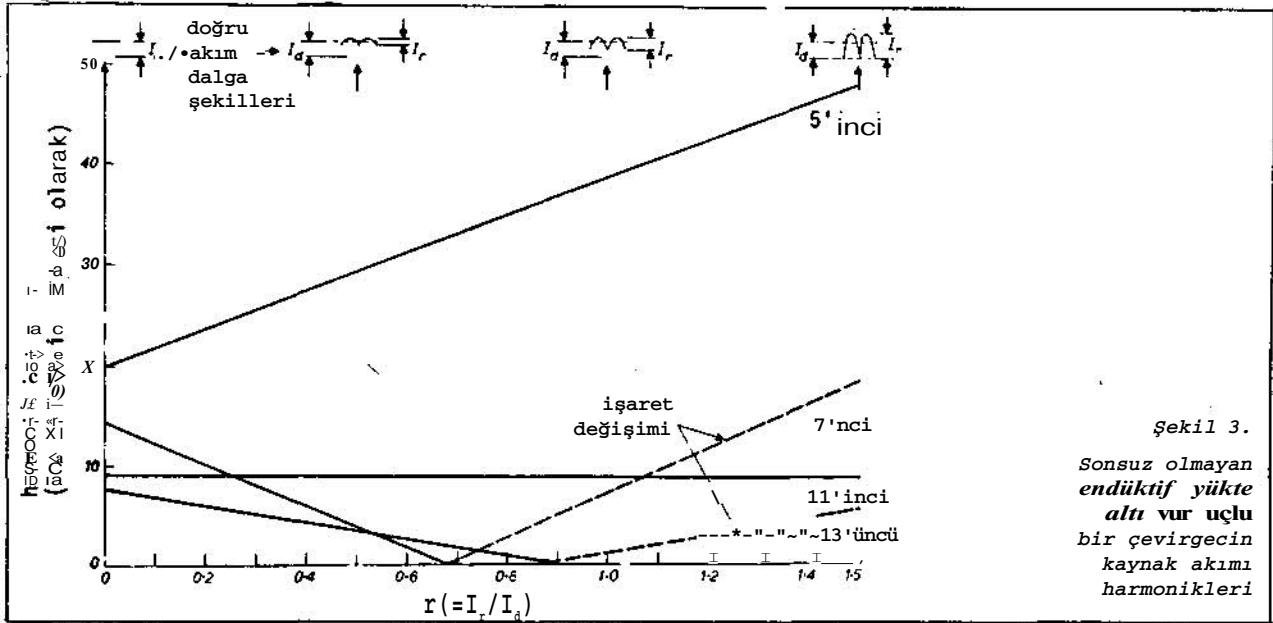
4.2 Harmonik Bileşenler

Biraz daha hesaplamayla, besleme hattındaki akımın harmonik bileşenlerinin aşağıdaki eşitliği sağladığı görülür:

$$h = k_p \pm 1 \quad k=1,2,3.. \quad (3)$$

Bu eşitlikte h harmonik derecesini ve p vuruş sayısını göstermektedir.

Ayrıca, her harmonik bileşenin büyüklüğü, I_n , ana bileşen



Şekil 3.

Sonsuz olmayan endüktif yükte altı vur uçu bir çevirgecin kaynak akımı harmonikleri

I_1 in yüzdesi olarak aşağıdaki eşitliklerle elde edilebilir:

(Formül (4) ve (5), aşağıda çerçeve içinde)

Uzun işlemleri önlemek için, bu eşitliklerden yararlanarak temel harmonikler Şekil 3'de ölçekli olarak çizilmiştir. Şekil 3 bütün dalgacık akımı koşullarını kapsamaktadır. Dalgacık olmaması, yani $r = 0$ durumu sonsuz endüktif yüke, $r = 1,5$ durumu ise sürekli doğru akıma karşılık gelmektedir.

(4) ve (5) eşitliklerindeki 3 terimden ilki, sonsuz endüktif yük yaklaşımıyla elde edilen kare dalga harmonik bileşenlerini göstermektedir, ikinci ve üçüncü terimler ise armatür devresindeki endüktansın sınırlı olarak düşünülmesiyle ortaya çıkan değişiklikleri kapsar.

5. UYGULAMA

Genellikle, çevirgeç tasarım işlemlerinde, harmoniklerin tahmin edilen düzeylerinin çok açık olarak belirtilmesi tasarımı yapan kişiden başlangıçta istenir. Bu yöntemi tam olarak kullanabilmek için, dalgacık

akımını ortaya çıkaran etkenleri biraz daha incelemek gereklidir. Bu noktada çevirgeç yük devresindeki anıl (instantaneous) gerilim dağılımını, motor parametrelerini ve dalgacık oranını hesaplamak yararlı olur.

5.1 Doğru-Akım Dalgacığı

L değerindeki bir bobine anıl bir e gerilimi uygulandığı zaman akımın belli bir hızda, di/dt , değişeceğini hatırlamak yararlı olur. Bu durum aşağıdaki eşitlikle gösterilmiştir.

$$e = L di/dt$$

Böylece, verilen bir t zamanında akım değişimi Δi hem gerilimin zamana göre tümlevine (integral) hem de endüktans değerine bağlıdır.

$$\Delta i(t) = \int_0^t -f e^{dt}$$

Şekil 4'de bir çevirgecin yük devresindeki endüktansa uygulanan gerilimin zamana göre tümlevinin gecikme açısı, α , ile değişimi görülmektedir.

Ayrıca, aynı gecikme açıları için, ortalama çıkış gerilimi

de çizilmiştir. Bu iki eğri, armatür direncini sıfır varsa-yarak ve toplam endüktansa anıl kaynak gerilimi ile motorun ürettiği e.m.k arasındaki gerilim farkı, e , uygulanarak elde edilmiştir. Motor e.m.k. nin ortalama değeri aşağıdaki eşitlikle verilmiştir.

$$E_{ba} = V_d \cos \theta$$

Burada α , V_d 'ya göre gecikme açısı ve V_d , gecikmesiz ortalama gerilimdir.

10° den büyük gecikme açıları için, motor endüktansına uygulanan 50 Hz lik gerilimin zamana göre tümlevi (Şekil 4'de taralı alan) birim gerilim başına

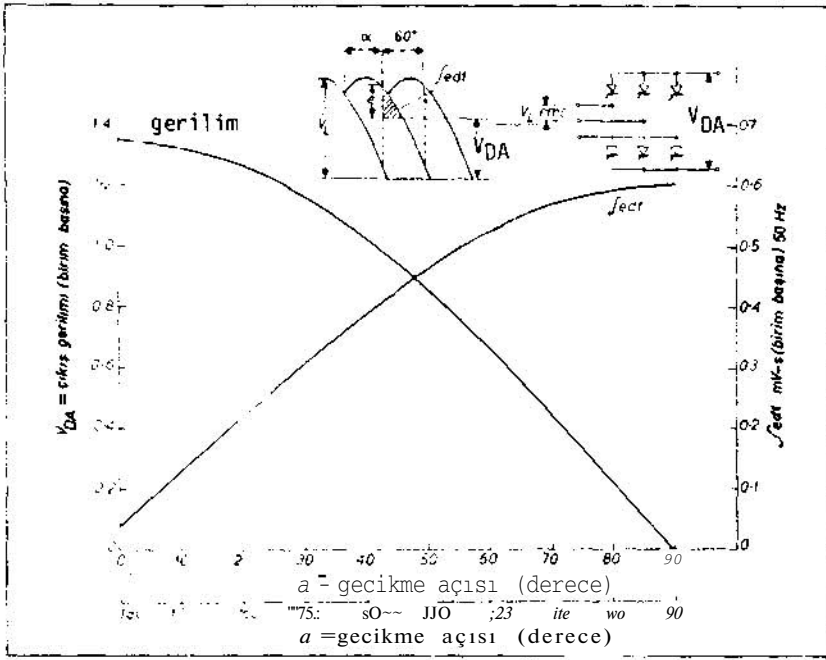
$$\begin{aligned} & -\frac{5}{\pi} \left[\cos \alpha - \sqrt{3} \sin \alpha \right] \\ & + 2 \left\{ 1 - \left(\frac{3}{\pi} \right)^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}} \\ & - \frac{6}{\pi} \left\{ \frac{2\pi}{3} - \sin^{-1} \left(-\frac{3}{\pi} \cos \alpha \right) \right. \\ & \left. - \frac{\pi \alpha}{180} \right\} \text{ mV-s} \\ & \text{(milivolt-saniye)} \end{aligned}$$

olarak bulunur. Gereksiz hesaplamaları önlemek için, yukarıdaki eşitliğin kapsamadığı 10° den küçük gecikme açıları (Şekil 4) de gösterilmiştir.

Armatür devresindeki endüktansın etkin değeri, L_a , bilinirse, belirli bir e gecikme açısına karşı gelen V_d çıkış gerilimi için dalgacık akımı I_r

$$I_h = 100 \left(-\frac{1}{h} + \frac{6,46r}{h-1} - \frac{7,13r}{h} \right) (-D)^h, \quad h = k_p - 1 \text{ için} \quad (4)$$

$$I_h = 100 \left(-\frac{1}{h} + \frac{6,46r}{h+1} - \frac{7,13r}{h} \right) (-D)^h, \quad h = k_p + 1 \text{ için} \quad (5)$$



Şekil 4. Altı vuruşlu bir çevirgeçte Çıkış gerilimi ve gerilimin zamana göre tümlevi.

$$I_r = A_i(a) = \frac{\text{volt-saniye (a)}}{L_a} \quad (6)$$

eşitliğinde bulunur. Ayrıca, I_j , gerekli momenti sağlayan ortalama akım değeri olduğundan, (1) eşitliğinde tanımlanan dalgacık oranı r kolayca bulunabilir.

5.2 Armatür Endüktansı

Daha önce, bir çevirgeç tasarımı yapan kişiden harmoniklerin hesaplanmasının başlangıçta, daha motor işletmeye konmadan istendiği belirtilmişti. Bu yüzden tasarım işlemlerinin başlangıcında motor endüktansının şekilleri elde yoktur. Ayrıca motorun bütün çalışma bölgelerinde endüktansın değişmez kalacağını varsaymak gerçeğe aykırı olur. Öte yandan, bu amaç için, oldukça iyi sonuçlar verdiği Linville [7] tarafından gösterilmiş olan bir genel kuralın kullanılması yeterlidir. Bu kurala göre, armatür endüktansı

$$L = (19,1 \text{ XV xk}) / (p \times I \text{ xn}) \quad (7)$$

ile verilir. Burada V anma hızında armatür gerilimini, p kutup sayısını, I anma hızında armatür akımı, n anma hızını ve k sarım çarpanını göstermektedir.

Ancak bazı yeni motorlar özellikle tiristorlu çevirgeçlerle kullanılmak için tasarlanmıştır. Bu nedenle bu motorların endüktansları normal motorlara göre daha büyüktür (7) eşitliğiyle verilenin iki ya da üç katı).

5.3 İşlem Sırası

Buraya kadar anlatılan yöntem özetlenirse, altı vuruşlu bir çevirgecin harmonik hat akımını hesaplayabilmek için aşağıdaki kuralların uygulanması gerektiği görülür.

- (7) eşitliğinden ya da yapımının veri ve şekillerinden yararlanarak motor armatür devresindeki endüktans hesaplanır.
- Motorun verilen bir hız ve yük akımı (I^*) için çıkış

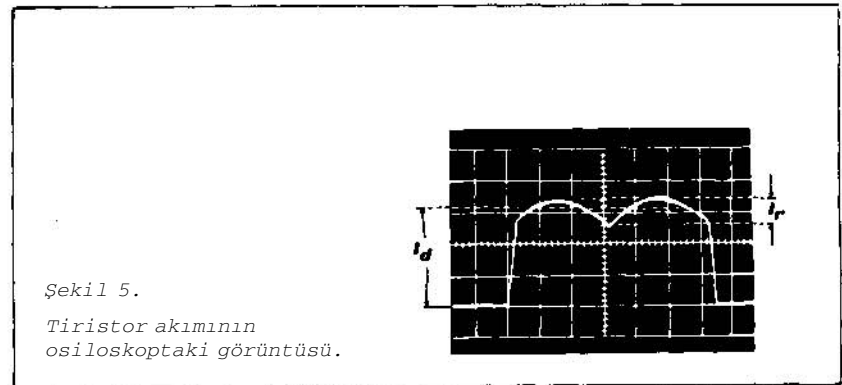
gerilimi kararlaştırılır.

- Bu gerilim birim başına gerilim (p.u.voltage) olarak yazılır.
- Şekil 4'deki "çıkış gerilimi eğrisi" kullanılarak (c) de bulunan birini başına gerilime karşı gelen gecikme açısı bulunur. Sonra bir dik çıkarak öteki eğriden bu açı ve çıkış gerilimine karşılık gelen gerilimin zamana göre tümlevi ($r.V-s$) bulunur.
- Birim başına $mV-s$, etkin hat gerilimi ile çarpılır.
- (e) de elde edilen değer (a) da elde edilen L değerine bölünerek dalgacık bileşeni I_r bulunur.
- (1) eşitliği kullanılarak akım-dalgacık oranı r hesaplanır.
- Şekil 3 kullanılarak r 'nin uygun değeri için harmonik hat akımının değeri yüzde olarak bulunur.

6. KARŞILAŞTIRMA

Bu yöntemin temeli ilk kez 1970 yılında düşünülmüş ve aynı yıl içinde kuramsal çalışmalar başlamıştı. Ancak bu konuda ayrıntılı ölçümlerin yapılabilmesi ve deneyler için aradan oldukça uzun zaman geçti. Kuramsal değerlerin gerçek ölçümlerin karşılaştırılması bu yöntemin doğruluğunu kanıtladı.

Çizelge 1'de, hesaplanan değerlerle deney sonuçlarının karşılaştırması; Şekil 5'de ise tipik bir akım dalga şeklinin osiloskopta görüntüsü gösterilmektedir. Bu şekil, kaynak dönüştürgeci kaçak endüktansı (supply transformer leakage inductance) yüzünden tiristorların sırayla ateşlemelerinde bir miktar üstüste binmenin (overlap) varlığını göstermektedir.



Şekil 5.

Tiristor akımının osiloskoptaki görüntüsü.

Deney no:	1		2		3		4		5		
	Durum :	Motor	Frenleme	Durma	Motor (Sınır)*	Durma (Sınır)*					
Hız :	1000	1000	0	1000	0	1000					
V _{DA} :	460V	-460V	0V	460V	460V	460V					
I _{DA} :	800A	800A	800A	150A	200A	150A					
r :	0,25	0,258	0,382	1,06	1,36	1,06					
L = ∞	Harmonik(%)	D	H	D	H	D	H	D	H	D	H
100	Ana bileşen	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20	5.inci	25,0	24,8	25,6	25	27,2	27,2	*0,0	39,8	45,5	45,5
14,3	7.nci	9,2	9,1	8,4	8,6	6,4	6,2	8,0	8,2	14,0	14,5
9,1	11.inci	9,2	9,0	9,6	9,2	8,8	8,9	8,6	8,9	8,8	8,8
7,7	13.üncü	5,3	5,4	4,8	5,3	4,4	4,4	1,6	1,6	3,7	4,0

(*) Armatür akımı süreksizlik sınırında
'0'V : rotor durduğu için DA emk yok, ancak devre direncinden dolayı küçük bir gerilim var
D : deneysel
H : hesaplanan

çizelge 1. Hesaplanan değerlerle deney sonuçlarının karşılaştırılması.

Deney Koşulları: Kaynak gerilimi = 44,0 V, 3-evre (faz), 50 Hz. 1268 KU'lık DA motoru senkron alternatör takımı/ DA motoru 6-vuruşlu bir çeviriciden DA süzgeç sargısı (400 amperde 1 mH değerinde) kanalıyla beslenmekte. Mekanik yük uyarı akımı uyarlanarak uygulanmakta, alternatör ya tamamen durmakta ya da şebekeye eşzamanlı(synchronized) durumda, çevirgeç kapalı döngü akım denetiminde.

Deney sonuçlarını ayrıntılı olarak inceleyenler, etkin endüktansın 150 A lik akımda, 1 mH den; 800 A lik akımda, 0,86 mH ye düştüğünü görecektirler. Bu sonuç büyük bir olasılıkla bazı doğrusal olmayan etkiler, örneğin hava boşlukları çevresindeki akı saçakları (flux fringing) ve süzgeç 1 eme'bobininin (smoothing choke) içindeki doğru akım kutuplaşmasının (polarization) düzey değişimleri yüzünden ortaya çıkmaktadır.

Şekil 5'de gösterilen, Çizelge l'deki 2. deneye karşı gelen akım dalga şekli harmonik akımın hesaplanması için daha kestirme bir yol sağlar. Şekil 5'den görüldüğü gibi $I_r = 0,8$ cm ve $I_j = 3,1$ cm. Böylece

$$r = 0,8/3,1 = 0,258$$

elde edilir. $r = 0,258$ değeri için 5., 7., 11. ve 13. harmoniklerin değerleri ise Şekil 3'den yararlanılarak bulunur. Armatür devresindeki etkin endüktansı bulmak için Şekil, 4'den $/edt = 172$ mV-s'ye karşı gelen $V_{pa} = 460$ V ve (1) eşitliğinden $r_{ld} = I_r = 0,258 \times 800 = 206$ A hesaplanır.

Böylece armatür devresindeki etkin endüktans (6) eşitliğinden

$$L_a = \frac{172 \times 10^{-3}}{206} = 0,83 \text{mH}$$

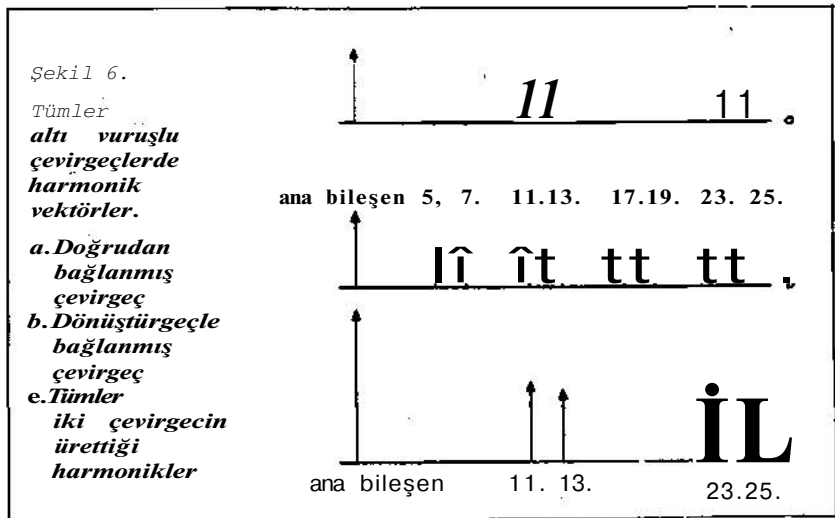
olarak bulunur.

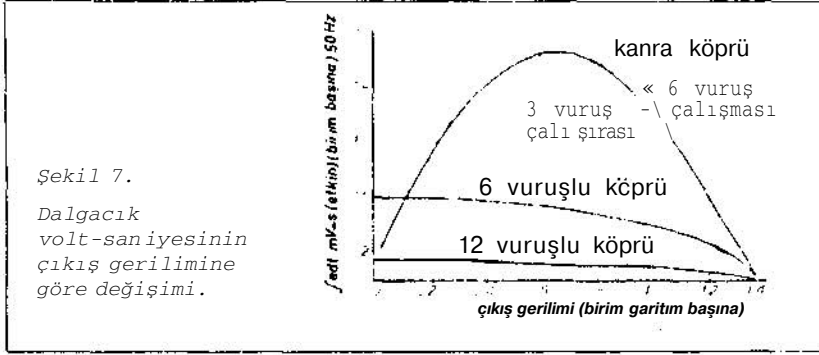
7. VEKTÖR BAĞINTILARI

Harmonik akımların büyüklüğünü hesaplamak için kullanılan temel (4) ve (5) eşitlikleri (-1)k_{evre} çarpanını içermektedir. Bu çarpan, altı vuruşlu bir çevirgeç AA kaynağına doğrudan bağlandığı zaman, harmonik vektörlerin evrele-

rinin değişeceğini gösterir. Her durumda, her harmonik sıfır noktasından geçen akımın ana bileşeni ortaya çıkar. Kuramsal olarak var olan harmoniklerden, değişken sıralı çiftler ana bileşkeyle aynı evrede, aradaki çiftler ise ters evrededir (Şekil 6.a).

Kaynağa bir üçgen / yıldız (A/Y) dönüştürgeç (transformatör) ile bağlanmış bir çevirgeç incelendiği zaman (bu durumda 30° lik bir evre kayması olur) (-1)k çarpanı dışında aynı eşitliklerin elde





edildiği görülür. Böyle bir çevirgecin ürettiği harmoniklerin büyüklükleri doğrudan bağlanmış çevirgeçteki harmoniklerle aynıdır, fakat bütün harmonikler ana bileşkeyle aynı evrededir (Şekil 6.b).

Bu da gösterir ki, 6 vuruşlu tümler (complementary) iki çevirgeç aynı ateşleme açısı, yük ve dalgacık çarpanı ile çalıştığı zaman üreteceği harmonikler 12 vuruşlu, iki katı güçlü dengelenmiş bir sistemin üreteceği harmoniklerle aynıdır (Şekil 6.c). Çünkü 1. (ana bileşen), 11. ve 13. harmoniklerin aritmetik olarak eklenmelerine karşın 5., 7., 17. ve 19. harmonikler birbirlerini yok ederler.

Şekil 4 yardımıyla, aynı kaynağı kullanan değişik sayıda çevirgeçlerle beslenen birbirlerinden farklı hızlardaki motorların hat akımlarının ana bileşenleri arasındaki (aynı zamanda harmonikler arasındaki) vektör bağlantıları bulunabilir. Şekil 4, makinenin hem motor olarak, hem de frenleme kiplerini (regenerating mode) kapsar. Bu da, herhangi bir çalışma koşulunda birden çok çevirgecin kullanıldığı donatılarda harmoniklerin gerçek değerinin aykırılık çarpanı kullanılmadan bulunmasına olanak sağlar.

8. DÜŞÜNÜLECEK NOKTALAR

Bu çalışmanın sonucu olarak, daha ayrıntılı araştırılmasında yarar görülen birkaç konu ortaya çıkmaktadır.

a. 5. harmonik çıkış akımı dalgacığınaya göre doğrusal olarak artmasına karşın diğer bütün harmonikler azalmaktadır.

- b. 7. ve 13. harmonikler yüksek dalgacık değerlerinde evre değiştirmektedirler.
- c. Dalgacık akımı armatür devresindeki endüktans ile ters orantılı olarak değişir.
- d. Genellikle, armatür devresindeki endüktans motorun anma (rated) gücüyle ters orantılı değişir.
- e. Dalgacık akımı, gerilimin zamna göre tümleviyle doğru orantılı olarak değişir.

Bu sonuçlardan birincisinden, yalnız 5. harmonik süzgeçleri kullanılırsa kazanç sağlanabileceği ortaya çıkar. İkinci sonuçtan ise birden fazla çevirgecin kullanıldığı donatılar düşünülürü* zaman ortaya ilginç sorular çıkar.

Üçüncü ve dördüncü sonuçlar birlikte düşünülürse, dalgacık akımının (dolayısıyla 5. harmonik) motorun anma gücüyle doğru orantılı olacağı açıkça görülür.

Beşinci sonuç ise (6) eşitliğinden çıkarılmıştır. Bir çevirgecin vuruş sayısının, üretilen harmonik akımına etkisini incelemek ilginç olacaktır. Karşılaştırmak için, 3/6-vuruşlu diye bilinen tekersiz diyotlu (free-wheel diode) 3 evreli karma (hybrid) köprülü ve normal 6 ve 12 vuruşlu çevirgeçler için /edt tümlevi, çevirgeç çıkış gerilimine karşı çizilmiştir (Şekil 7).

12 vuruşlu çevirgeç için dalgacık artırıcı gerilimin oldukça az olduğu açıktır. Böylece "sonsuz endüktans" varsayımının uygun olduğu görülür. 6 vuruş ve 12 vuruşlu çevirgeçlerin eğrileri arasındaki farkın, 12 vuruşlu çevirgeç donatımında paralel köprüdeki

evrelerarası dönüş tiirgecin her iki yarısı tarafından karşılanan gerilimin zamana göre tümlevi olduğu dikkate değer.

Karma köprünün çalışmasına karşılı gelen eğri -özellikle 3 vuruşlu bölgede-, motor armatür devresinde oldukça büyük dalgacık akımının varlığını ve başarılı motor değişimi (commutation) elde etmek için ek endüktans bağlamak gerektiğini gösterir. Bu eğriden, aynı zamanda bu tip devrelerde oldukça sık karşılanan, ikinci harmonik düzeyinin ana bileşenin % 80'ine kadar çıkması durumu gözlenebilir; halbuki aynı devre için 'sonsuz endüktans' yaklaşımı kullanılıysaydı sonuç % 50 olacaktı ! Ancak, bu tip çevirgeçlerin anma gücü genellikle küçük olduğundan aradaki farkın yalnız akademik bir önemi vardır.

KAYNAKLAR

- [1] "Supplies to convertor equipment, harmonic distortion and permissible pulse number of consumers' rectifiers and invertors" Electricity Council Recommendation 65/2, 1963
- [2] 'Report on harmonic distortion caused by convertor equipment', British Electricity Boards, ACE Report 15, 1970
- [3] Corbyn, D.B., "This business of harmonics", Electronic & Power, 1972, 18, s.219-223
- [4] Sherman, H.G., 'Summation of harmonics with random phase angles' Proc. IEEE, 1972, 119, (11), s.1643-1648
- [5] Barnes, H., 'An automatic harmonic analyser for the supply industry' IEE Conf. Publ. 110, s.203
- [6] Read, J.C., 'The calculation of rectifier and inverter performance and char.' J. IEE, 1945, 92, Pt.II, s.495-509
- [7] O'Connor, J.P.I and J. Cybulski, 'D.C.Machines-Short circuit calculations and test results' Trans.Am Inst.Elect.Eng.1955, 74, Pt. III, s.222-232