TJDK: 621.3.014

Devre Geçici Rejimlerinin Simetrili Bileşenler Tekniği İle İncelenmesi*

Çeviren :
Ömer GÖNCÜ
Elek. Y. Müh.
Etibank

Yazan :
W. P. LEWIS

ÖZET :

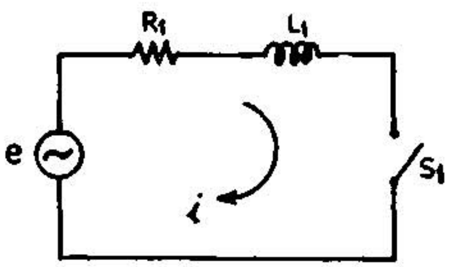
Bu makale, simetrili bileşenler tekniğinin enerji sistemleri kısa devrelerinin sıtatik devrelerle incelenmesi içtn genelliğinden htç bir şev kaybetmeksizin kullanılabileceğini göstermektedir. Genel teori geliştirilmiş, basit ve karışık kısa devreler ve faz akımları geçici rejimlerinin hesaplanması için gerekli formüller verilmiştir. Faz-faz ktsa devresinin 3-faz kısa devre haline dönüşümü halinde, akım değerinin kararlı halinin bir kaç katına yükseldiği gösterilmiştir

SUMMABY:

The paper shoıvs how, uHthout any loss in generalitv, symmetrical-component techniqv.es can be used to analyse poıoer-system fault transients in static nettcorks. The general theory is developed and. formulas are given for evaluating the phase-current transients in sımple and sequential shunt faults. in the case of the phase-to-phase fault developıng ınto a 3- phase fault, it is shanen \that more than current doubling is possible.

GENEL TEORİ:

Şekil l'de görülen, SI anahtarının kapanmasıyla kapalı devre haline gelen ve sinüsoidal bir gerilimde beslenen devreyi ele alalım. Devre, doğru bileşen devresinin: 3-faz kısa devrelerinin incelenmesi için tek empedans haline getirilmesinin tipik örneğidir, «e» üslü bir fonksiyonu ifade ederse, imajıner kısmı şekil l'deki devreyi besleyen gerilim ve i de S, anahtarının kapanmasıyla devrede bulunan kompleks akımdır. Laplas operatörü p yi kullanarak devre voltajlarını eşitleyen difranslyel denklem :



SEKİL: 1
SERİ R-L DEVRESİ

$R_1 \vec{\imath} + L_1 (p \vec{\imath} + \vec{\imath}(0)) = e$ ....(1)

şeklinde ifade edilebilir. S, kapanmadan önce devrede akım yoktur. Aslında devreyi besleyen voltaj E Sin ((flt+u) dur.

öyle ise •

1(0) =0

e=E exp (ju)/(p-j(,,) dır.

1(0) ve e (denklem (1) de yerine koyarak ve i ye eşitleyecek olursak,

i=E exp (ju)/^ (p-j$_ö$) (p+$_a$) bulunur.

Burada $_a$=R$_1$/L$_1$ dir. i için çözecek olursak,

i=Eexp (ju) (exp (j$_{ü)}$t)-exp (-«t))/^ U+Ja)) bulunur.

Z$_1$=R$_1$-|-j$_{<J}$,L$_1$ ve $_<$^$_1$=tan-' ^/R^ dir.

öyle ise :

(a+Jü>)=Z$_1$ exp (jϕ_1)/L, yazılabilir ve :

d=E/Z$_1$ exp (j(u-ϕ_1)) (exp (j$_\omega$t)-exp (-αt)) .... (2),

elde edilir.

Devreyi besleyen sinüsoidal bir gerilim olduğuna göre, buna karşıt akım imajiner kısmına eşitlenerek bulunur.

i=Imı(i)

=E/Zj (Sin^t+u-^-eKp (-«t) Sln(u-^,) .... (3)

S=(^{u}-<£) §ekunde yazarak ve denklem (3) genişletilerek,

ı=E/Z, ((CosJ>exp (-«t) Sins + Sin^tCoss)

I^E/ZI (Cos$_{<u}$t-exp(-$_a$t))

ve ı$_s$=E/Z$_x$ Sin^t

I=I$_C$ Slng+i^ CosS .... (4)

Sıng ve Cos)S devrenin t=0 amndaki haline ve güç açısına bağlı sabitler olduğuna göre :

* *Proceedings 1EE Vol. 113 No : 12 Decem. 1966 sayısından çevrilmiştir.*

g=$_{w}$/2 olduğu zaman $1=l_c$
8=0 olduğu zaman $4=i_s$dir.

i_c terimi kostnüs fonksiyonu yanısıra üslü bir fonksiyonda İhtiva ettiğinden, maksimum kaymış alam değeri olarak adlandırılır. 1^ ise sadece bir sinusoddal fonksiyon ihtiva ettiğinden kararlı akım değeri olarak adlandırılır.

Kayma dereceside g açısına bağlıdır. Komplex akım fonksiyonu G(t) yi kullanarak :

$G(t)=i_c+ji_5$
$=E/Z_1((Cos\hat{}jSin\hat{})\text{-exp}(-_a t))$
ve $G(t),=E/Z_1$ (exp($J_{\ddot{u})}$t)-exp(-«t))...........(5)

G(t) akım fonksiyonu i deki gerekil değişmeyi s açısını ihtiva etmeden ifade eder. i cinsinden bir çözüm bulmak için G(t) fonksiyonunun reel kısmını Sing ve imajiner kısmını da *Co&§* Ue çarpmak gerekir. Denklem (2) ve (5) karşılaştırılacak olursa, denklem (2) G(t) fonksiyonunu kullanarak :

i=G(t) exp(js).........(6) olarak yazılabilir.

Denklem (6) dan G(t) fonksiyonunun serbest değişken, üslü fonksiyonunda kayma açısına bağlı bir değişken olduğu görülür ki buda verilen sistem şartlarına göre sabittir.

Denklem (6) nın imajiner kısmı devreye adnusoldal bir germim tatbik edildiğinden devredeki hakiki akımı; G(t) de alamı gösteren kompleoc bdr fonksiyon olduğuna göre, bu fonksiyonda esas akım gibi devre kaidelerine tabidir.

Eğer,

$$\begin{bmatrix} I_R \\ I_Y \\ I_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & I & I \\ I & a^2 & a \\ I & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Io \\ X_, \\ I_2 \end{bmatrix}$$

olarak ifade olunursa, aynı şekilde

$$\begin{bmatrix} i_R \\ i_Y \\ i_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_1 \\ i^* \end{bmatrix}$$

seklinde ifade olunabilir.

Yukarıda belirtilen matrlsel denklemlerin önceki belirtilen düğünce tarzına dayanılarak, aynı olduğu ve 3-faz kjsa devre geçici rejimleri halinde simetrik bileşenlerin kullanılmasının mümkün olduğu bellidir. Denklem (7) nln kompleks çözümü bir kere bulunduğunda, hakiki geçici rejim akımları denklemin imajiner kısımlarına eşitlenerek bulunur.

ŞÖNT KISA DEVRELER :

Tablo l'de 4 tip kısa devreyi içine alan 10 hata kombinasyonu verilmiştir. Tek noktada faznötr, fazlar-nötr ve faz-faz arası kısa devre meydana geldiği için şönt hatalar olarak adlandırılmışlardır. Bileşen devre akımları i_v $t_{,,}$ ve i_0 i ye bağlı tek basit fonksiyon haline sokulabilir. 3-faz simetrik kısa devre durumunda

TABLO : 1. Değişik şönt kısa devreler için hata sabitleri

Hata Sabitleri	Kısa Devreleri' Faz-Toprak			Faz-Faz Kısa Devreler)			Faz-Faz-Toprak Kısa Devreleri			3-Faz Kısa Devreleri
	R-E	Y-E	B-E	RY	YB	BR	RY-E	YB-E	BR-E	RYB
	I/(2+K)	I/(2+K)	I/(2+K)	1/2	-1/2	1/2	(I+2K)	(I+K)	(I+K)	I
K_2	I/(2+K)	a/(2+K)	a2/(2+K)	-I/2a^2	-1/2	-I/2a	(I+2K) -a^{2}K	(I+2K) -K	(I+2K) -aK	0
Ko	I / (2+K)	a* / (2+K)	a / (2+K)	0	0	0	(I+2K) -a / (I+2K)	(I+2K) -I / (I+2K)	(I+K) *-a?* / (I+2K)	0

S — FAZ GEÇİCİ REJİMLERİ :

Kararlı rejim devre teorisinde, bir devredeki alternatif akım bir vektör ile gösterilebilir,

I=|I|exp(j0)

Denklem (6) daki ifade ile akım vektör İfadesini karşılaştıracak olursak aynı oldukları görülür. I vektöründe i gibi devre kaidelerine bağlı olduğu ve kararlı rejimler için kullanılan vektöryel çözümlerin geçici rejimler İçinde kullanılmasına bir mani olmadığı görülür.

$$\begin{aligned} i_1 &= K_1\, i \\ i_2 &= K_2\, i \\ i_0 &= K_3\, i \end{aligned} \qquad \text{.......................} \quad (8)$$

olarak yazılır. K_v K_2 ve K_3 Tablo l'de gösterilen kısa devre sabitleridir. Denklem 6, 7 ve 8 kullanılarak, denklem (7) tekrar

$$\begin{bmatrix} i_R \\ i_Y \\ i_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} «o \\ K_, \\ K, \end{bmatrix}$$

şeklinde yazılabilir.

Denklem (9) a kısa devre türüne göre Tablo l'den karşıt kısa devre sabitleri konularak, faz akımlarr geçici rejim halleri bulunabilir.

Mesela, Y-B fazları arasında bir kısa devre halini kabul edelim; Tablo l'den

$-K_{,}=K_{1}=-I/2$, ve K_0=Odur.

Denklem (9) da K_v K_2 ve K_o yerlerine konulursa

$i_R=0$

$i_Y=\sqrt{3}/2\ G(t)\ \exp(j(5-_T/2))$ . . . . (10)

$l_B=\sqrt{3}/2\ G(t)\ \exp(j('8-_T/2))$

bulunur. Denklem (10) daki ifadeleri, denklem (4) deki form kullanılarak hakiki akımlara dönüştürecek olursak

$i_R=0$

$i_Y=3/2\ (\mathrm{Sın}(fi-,r/2)i_c+\mathrm{Cos}(S-\pi/2)i_s)$ (11)

$i_B=3/2\ (\mathrm{Sin}(\delta+\pi/2)i_c+\mathrm{Cos}(\delta+\pi/2)i_s)$

elde edUir.

Yukarıda belirtilen özel hata hali için g=T/2 olursa

*Y⁼" İ B =3/21^= hata akımının kararlı halı.

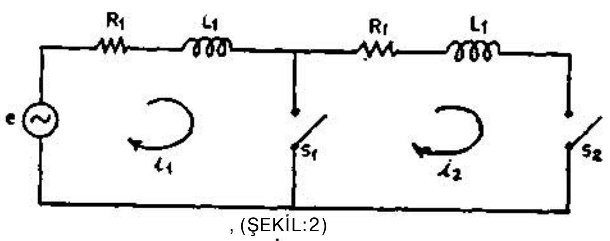
8=0 için $\dot{I}_Y=-i_B=-\sqrt{3}i_c/2$ = tamamen kaymış hata akımı hali elde edilir.

DOĞRU - TERS - VE SIFIR BİLEŞEN KISA DEVRELERİ: i

Bir çok hatalar gereği şekilde temizlenmezse, daha kötü şartlara dönüşürler. Tek faz-nötr kısa devresi, bir fazı daha ve bir zaman sonrada üç fazıdada içine alarak üç faz kısa devre haline gelebilir. Birinci kısa devre ile gelişmesi arasındaki zaman bir kaç mili-saniye olacağından, birinci kısa devreye ait geçici rejim hali sıfıra erişmemiş durumdadır. Bunun yanısıra, hata akımlarının çeşitli devrelerindeki değeleri' tepe değerlerine orantılı olacağından, geçici rejim analizinde ilk değerler dikkate alınmsalıdjT.

İKİ FAZ - ÜÇ FAZ KISA DEVRELERİ (YB-RYB):

Bu tip hatalar doğru ve ters bileşenler ihtiva ederler ve buna karşıt kısa devre hali şekil 2 de gösterilmiştir Faz-faz kısa devreleri için S_2



, (ŞEKİL:2)
(YB-RYB).KISA DEVRESİ.İCIN EŞDEĞER DEVRE *HALİ*

anahtarı kapalı S_x anahtarı açık; ve kısa devre **her üç fazada İntikal** ettiğinde Sj anahtanda ka**paU durumdadır. Kapalı** devre akımları **1^** ve i_2 aym zamanda **doğru ve ters bileşen atanlarıdır.** Simetrik bilegenler teorisinden **çift faz hatalart** için $i_{1}=-i_2$dir.

Devre empedanslarmı eşit almak gerekir, çünkü enerji nakil hatları için $Z_j=Z_2$ ve senkron maMnalar içinde geçici rejim empedansı Z_l hemen hemen Z_2 empedansına eşittir.

S_2 anahtarının t=0 anında ve Sj anahtarının da t=T gibi bir zaman geçtikten sonra kapandığını kabul edelim. t=T anında kapalı devredeki akımları i^ (T), i_2 (T) ve gerilim dalgası üzerindeki noktada ^dır. öyle ise devreyi ifade eden difransiyel denklemler şöyle yazılabilir.

R_1 1,+L.! (pi,—i^T))=c . . . . (12)

R_1 d.+L^pL—L(T)),=0

e=E $\exp(j\psi)/(p-j_\omega)$ ve $i_1(T)=-i_2(T)=G(T)$ exp(JS)/2

G(T), G(t) fonksiyonunun t=T anındaki değeni ve 8 gerilim dalgası üzerindeki t=0 anındaki noktadır. ^(T), t_2 (T) ve **e** fonksiyonları denklem (10) daki yerine koyarak ve i_v a_2 için eşitleyerek,

$\dot{I}_{,}$=E exp(j^)/L_1(p-$j_{ü}$))(p+«)+G(T) exp(J8) /2(p+$_a$)

$\dot{I}_2$=—G(T) exp(j8)/2(p+$_a$)

bulunur.

Burada i_x deki ilk terim devrenin ilk halinin nazarı dikkate alınmadığı ve ikinci terim ise ilk halin dikkate alındığım göstermektedir. i_2 için verilen ifade ise i[ifadesinin ikinci terimine benzemektedir ve aynı zamanda devrede meydana gelen değişiklikten dolayı ilk devre halinin değişmesini göstermektedir.

Denklem (6) daki gibi ι_a ve i_2 için çözüm yapılırsa,

i,=G(t') exp $(j\delta')+1/2$ G(t) exp(J8) exp($-_a$t)

ι_2=—1/2 G(T) exp(js) exp($-_a$t')

bulunur.

Burada :

t'=(t-T) ve =(^)dır.

Kompleks faz akımları i_R, i_Y ve l_B matrlsel , denklemlerden elde edilebilir.

$$\begin{bmatrix} i_R \\ i_Y \\ i_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & I \\ a^2 & a \\ a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i \end{bmatrix}$$

Buradan da:

$İ_R$ =G(t') exp(jδ')

1_Y =G(t') exp(J8'—2r/3))ı+V3/2 G(T) exp(.jδ-/π2) exp(-αt')) .... (14)

$İ_B$ =G(f) exp(j(δ'+2π/3))+√3/2 G(T) exp(j(s+ır/2)) exp(-$_a$t'))

geklinde yazılabilir.

Denklem (14) deki 1_R, 1_Y ve 1_B faz akımları t=T anından, yani 3-faz kısa devrenin oluşundan itibaren uygulanırlar. 3-faz kısa devreden önceki İki faz kısa devre halindeki akımlar denklem (10) da belirtilmiştir. 1_R, I_Y vei$_B$ deki ilk terimler 3-faz kısa devresinden dolayıdır ve denklem (9) a Tablo İden kargıt değerler konularak elde edilebilirler. i_Y ve i_B deki 2. terimler İlk faz-faz arası kısa devreden dolayıdır ve devre zaman sabitine bağlı olarak sıfıra erişirler.

Enerji nakil voltajlarında çalışan sistemler için, İki kısa devre arasındaki değer düşünmesini değer düşmesini kati olarak hesaplamağa lüzum yoktur, çünkü reaktans/resistans oranı umumiyetle 10 dan yüksektir (zaman sabiti 30 milisaniyeden uzundur) ve değer düşmesi gayet az olacaktır. Böylece hiç düğmesi kabul edilmezse, 1_c deki üslü terim **bir** değerinde, ve ilk devre halinden dolayı meydana gelen geçici rejim hali kararli D. C. değerinde kalır. Denklem (14) ün imaJlner kısımları alınarak

$İ_R$ =E/Z, (Sin(ωt'+δ')—Sinδ')

i_Y=E/Z_1((Sln($_ü$)t'+S'—2*-/S)—Sln(S' —2$_B$-/3) + V3>2 (Sin(8'—:r/2)—Sin (g—*/2)))

$İ_B$=E/Z_1((Sin($_ü$)t'+8'—2*/3)—Sln(8'+ 2,r/3))—V3/2Sln(8'—ır/2)—Sin (8—rr/2)))

olarak bulunur.

Belirtilmesi gereken enteresan nokta ise denklem (15) deki ikinci terimler iki kısa devre anındaki kayma açılarına bağlıdırlar. Çünkü iki kısa devre arasındaki T zamanı §u ifade ile belirtilmektedir.

T=ψ-μ/ω=δ'-δ/ω

Akımların tepe değerleri' g=0 ve 5=—r/2 anında olmakta ve tepe değerleri olarak elde edilen 2.366E/Z, akım değerinin iki mislinden daha büyük olduğu görülür.

. TEK FAZ KISA DEVBE HALÎ (RE-RBE-RYBE) :

Bu tip hata, faz-toprak kısa devresinin lyonlaşmış gazla dolablldlği bir sahada olmasının normal gelişmesidir. Daha önce kullanılan eşdeğer devre benzeri bir devre bulmak güç olduğundan, süperpoaisyon teoremini kullanarak toplam hata akımının çözümü yapılacaktır. Hatanın üç devrede meydana geldiği kabul edilmiştir.

(a) Faz-toprak (RE)

(b) tki faz-toprak (RBE)

(c) Üç faz-toprak (RYBE)

tik devre t^=0 anında meydana gelmektedir, ikinci devre t=T anında ve üçüncü devrede t=T' anında meydana gelmektedir. Bu tip kısa devre toprağı da ihtiva ettiğinden, doğru ve ters bileşen empedansları yanısıra sıfır bileşen empedansıda dahil edllmdş ve K=Z_0/Z_1 olarak kullanılmıştır. Analizi basitleştirmek için geçici rejim hali için doğru olan Z_X=Z_2 ve bileşen devre zaman sabitleri e§it olarak kabul edilmiştir. Hatanın 1. devresi ile 2. devresi arasındaki zaman T - dir ve buna bağlı olarak t=T anjna kadarki faz akımları denklem (9) ve Tablo l'den:

$İ_R$=3 G(t) expU8)/(2+K)

i_Y=0 . . . .(16)

i_B=0

dır, ve t=T anında da son değerlerine erişirler, tkinci devre t=T anında başlar ve kayma açısı S'dür. Eğer t'=0 (t'=t—T) ise denklem (9) ve Tablo l'den 2 faz-toprak kısa devresi faz akımlarının ilk devre hali katılmayarak:

$İ_R$=V37(1+K) G(t) exp(J8')(exp(j$_π$/6)+K exp-jır/6))

$İ_Y$=0

$İ_B$ =V37/(1+2K) G(t') exp(J8')(exp(W2+K exp(-j,r/6))

bulunur. Burada t = T anında son değerine erişir. Üçüncü -ve son devrede t=T' anında başlar ve kayma açısı 8" dür. Eğer t"=0 (t"=t—T) ise Tablo 1 ve denklem (9) dan, üç faz kısa devre kabul edilerek:

i_R =Gt") expüs")

1_Y=G(t") exp(j(8"—2ır/3) .... (18)

1_B =G(t") eXp(j(8"+2jr/3))

bulunur. Üç devreyi birleştirerek ve ilk durumlarının t=T ve t=T' anından başlayarak tersi $_a$ olan zaman sabiti ile azaldığı hatırlanırsa :

i_R=G(t") exp(JS")+V3/(1+2K) G(T') exp (JS')(exp(exp(j,r/6)+K exp(-J7r/6)) exp(-« (t-T))+3/(2+K) G(T) exp(J8)exp(-$_a$(t-T))

1_Y =G(t")exp(j(8"-2,r/3))

$İ_B$ =G(t") exp(j(8"+2$_n$-/3))+V3/(1+2K) G(T') exp(JS')(exp(j»-/2)-Kexp(j$_1$r/6)) *exp(-$_a$* (t-T'))

bulunur.

Kısa devreler arasındaki zamanda değer düşmesi bir kenara bırakılırsa, denklem (19) daki ifadeler daha da basit hale getirilebilir. Bu durumda hakiki faz akımları:

İ$_R$ =E/Z$_X$ ((SuK^f'+S")— Slng") + V3/U+ 2K)(Sın(S"+,r/6—Sin(8'+,r/6)+K(SinS"-,,/6) —Sin(5'—,r/6)))+3/(2+K) (Slng'—Slng))

1$_Y$ = E/Zj (Sin ((«t" + S"—2,r/3) —Sin(S"—2,r/3) ....(20)

İ$_B$ =E/Z,((ü)t" + 5"+2,,/3)— Sin(S"+2,r/3)) + V3/(I+2K) (Sln(IS"+,r/2)—Sln(8'+^/2)—K(Sın (Sin(g"—,r/6)— Sin(8'—*/6)

olarak İfade edilir.

Sistem resistans üzerinden topraklanmış ise, K nin büyük olduğu, ve ilk anlarda devre zaman sabitinin, ufak olduğu hatırlanmalıdır. Bundan çıkan netice, bütün pratik uygulamalar için, 2-faz kısa devresi hali 3-faz kısa devre haline dönüşmektedir.

NETİCELER

Güç sistemleri devrelerinin kararlı rejim halleri için simetrik bileşenler tatbik olunmaktadır. Bu makalede ana hatlarının belirtildiği üzre, artık simetrik bileşenler tekniği genelliğinden hiç bir şey kaybetmeksizin geçici rejim hallerinin çözümü içinde kullanılabilmektedr. Metod i akımını bir kompleks fonksiyon olarak ifade etmeğe ve sonradan hakiki akımları bu fonksiyonların lmajiner kısmına eşitleyerek elde etmeğe dayanmaktadır. Esas akım sinusoldal kabul edildiğinden, imajiner kısımlar kullanılarak akım değerlerinin bulunması daha kolay olmaktadır. Eğer esas devre akımı bir kosinüs fonksiyonu İse, gerçek akımlar elde edilen ifadelerin real kısmına eşitlenerek bulunulabllmeKtedir.

~~Kullanılan~~ sembollerin listesi :

I, |I| = Vektöryel ve sikalar akım değerleri
i = Zamana bağlı akım değeri
—» i = Kompleks akım
G(t) = Kompleks akım fonksiyonu
e = Üslü gerilim fonksiyonu
E = Simetrik sinusoldal gerilimin tepe değeri
t = Zaman
•t->t = 0 anında gerilim dalgası üzerindeki nokta
^-»t = T anında gerilim dalgası üzerindeki nokta
<£, 0 = Güç açıları
8- 8'. 8"= Kayma açılan
Z = Empedans
R = Rezistans
L = Şelf endüksiyon kat sayısı
p = Laplas operatörü
m = Açısal hız
K_r IC, K_3 = Kompleks hata katsayıları
1, 2, 3 = Bileşen İndisleri
R, Y, B = Faz işaretleri
t' = t-T tf'=t-T
K - Z_o/Z, <J·=R,/L.,
i_c = E/Z_x (Cos$_w$t-exp(-a:t)),
i_g=E/Z, Sin ^t
a= exp(j2a-/3),
a*=exp(-J2,r/3)