

İletim Hatlarında Kısa Devre Arızasının Durağan Durum Teorisiyle Analizi

Neşe YANIÇ

Elektrik Mühendisi
nese_yanic@hotmail.com

Arif NACAROĞLU

Elektrik Mühendisi
arif1@gantep.edu.tr

Özet

Bu makalede, gerçek bir iletim hattı tek fazlı T-devre modeline göre modellenmiştir. Hattın durağan durum denklemleri yazılmıştır. Hattın durağan durum denklemleri kullanılarak çıkış geriliminin zamana bağlı değişimi, hatta herhangi bir arızanın olmadığı, hattın herhangi bir kilometresinde bir kısa devre arızasının olduğu ve arızanın bittiği 3 durum için incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: T-devre modeli, Durağan durum denklemleri, Kısa devre arızası

1. Giriş

İletim hatlarında sistem koşullarındaki arızaların sebep olduğu ani değişiklikler gerilim ve akımda geçici dalgalanmalara sebep olur[1]. İletim hatlarındaki çoğu hata geçicidir. İletim hatlarındaki bu geçici arızalar birkaç saniye gibi kısa sürelerde başlar ve biterler[2]. Arıza gerçekleştiği an koruma elemanları(kesiciler, sigortalar) arızalı kısmı izole ederler, böylece arıza temizlenir ve hattın diğer kısımlarında güç akışı devam eder[3]. İletim hatları birçok toplu elemanın birleşmesinden oluşur[4].

Dağılmış elemanlı iletim hattında akım ve gerilim zamana ve mesafeye bağlı değişir. Akım ve gerilimin bu değişimleri matematiksel olarak kısmi diferansiyel denklemler olarak bilinen durağan durum denklemleriyle ifade edilir[5].

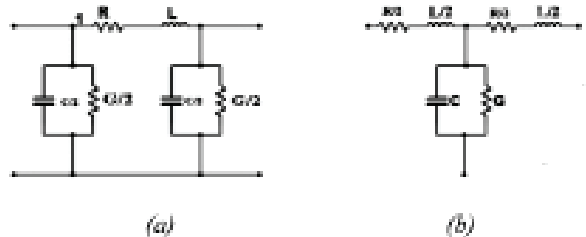
Bu makale şu şekilde düzenlenmiştir. Giriş bölümünü takip eden ikinci bölümde tek fazlı bir iletim hattı için durağan durum denklemleri verilmiştir. Bu iletim hattı birçok zamana bağlı toplu elemanların birleşmesinden oluşur (T-devre modeli). 3. bölümde durağan durum denklemleri aynı iletim hattında kısa devre arızası meydana

gelmesi düşünüldükçe tekrar düzenlenmiştir. 4. ve 5. bölümlerde, T-devre modelinde herhangi bir noktada kısa devre arızasının da meydana geldiği dikkate alınarak çıkış geriliminin zamana bağlı değişimi iki örnek üzerinde MATLAB programı kullanılarak incelenmiştir.

2. İletim hatlarının durağan durum teorisiyle analizi

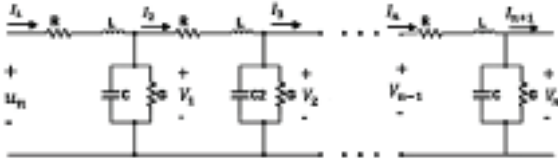
2.1. İletim hat modeli

Tek fazlı bir iletim hattında hat boyunca dört elektriksel büyüklük olan R, L, C ve G düzgün dağılmıştır. Bundan yola çıkılarak iletim hattının birçok toplu elemanın birleşmesinden oluştuğu ifade edilir[6]. Bu devreler Π and T devre modelleri olarak ifade edilir. Şekil 1'de görüldüğü gibi bu modeller bir seri direnç ve endüktansla paralel kapasitans ve kondüktansın birleşmesinden oluşur.



Şekil 1: Farklı toplu elemanlı hat modelleri a) Π devre modeli b) T devre modeli

n tane T-devre modelinin seri olarak bağlanmasıyla Şekil 2'de görülen iletim hattı modeli elde edilmiştir. Bu devre modeli iletim hattının durağan durum teorisi analizi için temel olacaktır.



Şekil 2: Tek fazlı toplu elemanlı iletim hattı modeli

2.2. Durağan durum denklemleri

Lineer, toplu elemanlı iletim hatlarındaki direnç, kapasitans ve endüktans gibi devre elemanları ve akım veya gerilim kaynakları, durağan durum teorisine göre aşağıdaki formda yazılır:

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bu(t); \quad x_0 = x(t_0) \quad (1a)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) \quad (1b)$$

Bu denklemde:

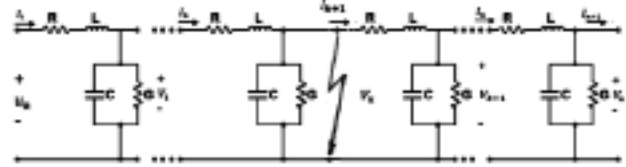
- Durum vektörü x , bazı kapasitör voltajı ve indüktör akımlarını ifade eder
- u giriş vektörünü ifade eder
- y çıkış vektörünü ifade eder
- $x(t_0)$, durum vektörünün t_0 başlangıç zamanındaki değerini ifade eder
- A, B, C, D toplu elemanların değerine bağlı olarak değişen sabit matrisleri ifade eder

Bu durum denklemlerini elde etmek için Şekil 2'deki tek fazlı toplu elemanlı iletim hattı modeli kullanılmıştır. Girişe sinüsoidal bir kaynak sürülerek aynı devre modeli için durum denklemleri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_1 \\ V_1 \\ I_2 \\ V_2 \\ \vdots \\ I_n \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{1}{L} & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{C} & -\frac{1}{C} & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} & -\frac{1}{L} & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{C} & -\frac{1}{C} & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & - & - & \dots & \frac{1}{L} & -\frac{1}{L} & -\frac{1}{C} \\ 0 & - & - & \dots & 0 & \frac{1}{C} & -\frac{1}{C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ V_1 \\ I_2 \\ V_2 \\ \vdots \\ I_n \\ V_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u(t) \quad (2)$$

3. Kısa devre hat modeli durağan durum teorisi analizi

Kısa devre iletim hattı durağan durum teorisi analizi için de tekrar Şekil 2'deki T-devre modeli kullanılmıştır. Bu devre modelinde, herhangi bir noktasında kısa devre meydana gelmesi durumu Şekil 3 de gösterilmiştir.



Şekil 3: Tek fazlı toplu elemanlı kısa devre iletim hattı modeli

Şekil 3'te görüldüğü gibi ucunda meydana gelen bir kısa devre şartlarında devrenin durum denklemleri değişir. Durum denklemindeki, bazı R, L, C ve G değerleri içeren A matrisinin k 'nıncı sütunundaki değerler değişir.

4. Simülasyon ve örnekler

İletim hatlarındaki kısa devre arızası nedeniyle oluşan geçici gerilimler, MATLAB programı kullanılarak iki örnek üzerinde incelenmiştir.

Bu matlab programında, tek fazlı 160 km, 400kV'luk bir hat kullanılmıştır. Hattaki elemanların değerleri şu şekildedir: $R=0.032\Omega/\text{km}$, $L=0.88\text{mH}/\text{km}$, $G=0.042\text{mS}/\text{km}$ ve $C=0.013\text{mF}/\text{km}$ dir. Hat $u(t)$ ile ifade edilen bir sinüsoidal gerilim kaynağıyla enerjilenmiştir ve $u(t)=\sqrt{2}(220/\sqrt{3}) \sin(t)\text{kV}$ 'dir.

Hattın 8 tane T-devrenin seri bağlandığı bir devre modeli olduğu öngörülmüştür. Buna göre hattın her bir 20 km'si bir T-devre anlamına gelir. Bizim amacımız ise bu 8 T-devreden oluştuğunu düşündüğümüz T-devre modelimizin çıkış gerilimin zamana bağlı değişimini göstermektir.

Aşağıdaki bu iki örnekte hatta $t=0\text{sn}$ 'dan başlayıp $t=30\text{sn}$ 'ye kadarki sürede $u(t)$ giriş gerilimi uygulanmıştır ve hatta $t=10\text{sn}$ 'de bir kısa devre arızası olmuştur, arıza 1sn sürmüştür.

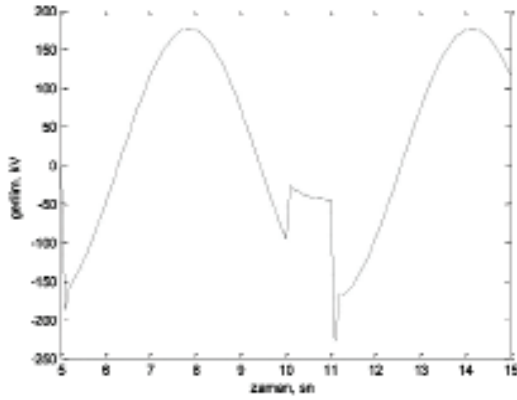
Herhangi bir T-devre modelinde bir kısa devre arızası olduğu zaman, çıkış gerilimi arızanın olduğu noktadaki T-devrenin paralel devresindeki kapasitör ve direnç değerlerine bağlı olarak değişir.

Biz bu iki örnekte bu R ve C değerlerinin arızanın başladığı an normal değerlerinin 100 katı küçüldüğünü

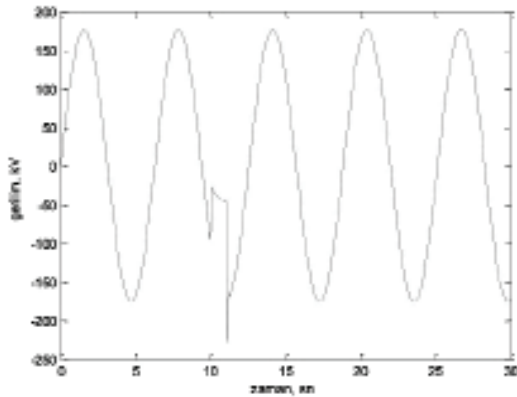
daha sonra yavaş yavaş zamana bağlı olarak arıza bitene kadar tekrar eski değerlerine ulaştıklarını varsaydık. Bütün bu veriler Matlab programına girildiği zaman, T-devre modelimizin çıkış geriliminin zamana bağlı değişimlerini gösteren aşağıdaki grafikler elde edilir.

4.1. Örnek 1

Bu örnekte hattaki kısa devre arızası 100.km'de gerçekleşmiştir. Daha önce bahsedildiği gibi, hattın her bir 20km'si bir T-devre olarak modellendiği için 100.km'deki hatanın 5.T-devresinde olduğu anlamına gelir. Şekil 4 ve 5'de görüldüğü üzere, $t=10$ sn ve $t=11$ sn arasında kısa devreden dolayı çıkış geriliminin değişimi stabil değildir. Ama arızanın söz konusu olmadığı sürelerde çıkış gerilimi girişe uygulanan sinüsoidal gerilim kaynağı gibi değişir.



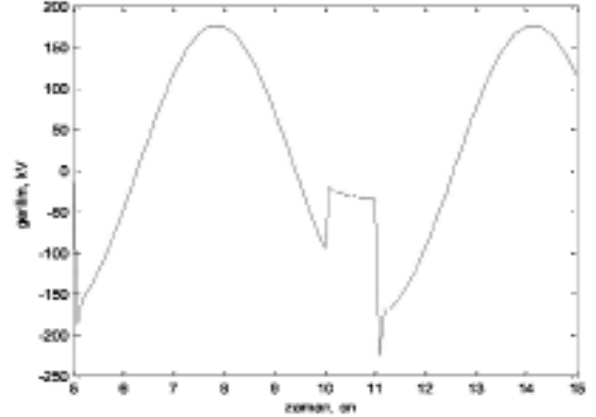
Şekil 4: 100.km'deki hata için çıkış geriliminin zamana bağlı değişimi($t=5-15$ sn)



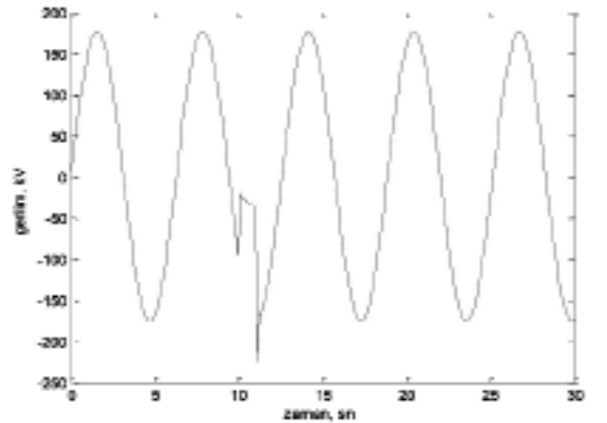
Şekil 5: 100.km'deki hata için çıkış geriliminin zamana bağlı değişimi($t=0-30$ sn)

4.2. Örnek 2

Örnek 1'de değerleri verilmiş olan 400kV'luk hat bu örnekte de kullanılmıştır. Bu örnekte kısa devre arızası 140.km'de meydana gelmiştir. Bu da devre modelimizin 7. T-devresinde arızanın gerçekleştiği anlamına gelir. Arızanın yerinin değiştiği göz önüne alınarak, hattın çıkış gerilimlerinin farklı zaman periyotları için değişimleri Şekil 6 ve 7'de görülmektedir.



Şekil 6: 140.km'deki hata için çıkış geriliminin zamana bağlı değişimi($t=5-15$ sn)



Şekil 7: 140.km'deki hata için çıkış geriliminin zamana bağlı değişimi($t=0-30$ sn)

6. Referanslar

- [1] M. S. Menniş and M. Köksal, "Some renovations in transient analysis of transmission lines by state-space techniques", *Mathematical and Computational Applications*, vol. 1, no. 1, 1996, pp. 181-190.
- [2] M. S. Menniş, A. Nüzaroğlu, "Transient voltage and current distributions on transmission lines", *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, 149 (6): 705-712 NOV 2002
- [3] M. S. Menniş and M. Köksal, "Solution of eigenproblems for state-space transient analysis of transmission lines", *Electric Power Systems Research*, vol 55, July 2000, pp 7-14.
- [4] M.S. Menniş, "Computation of electromagnetic transients on transmission lines with nonlinear components," *IEEEProc.-Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 150(2), pp. 200-204, 20
- [5] M. S. Menniş and M. Köksal, Numerical solution of partial differential equations for transmission lines terminated by lumped components, in: *Proceeding of Fifth International Colloquium on Numerical Analysis*, Plovdiv, Bulgaria, 1996, pp. 87-98
- [6] C.F. Wagner, L.W. Gross, B.L. Lloyd, "High-voltage impulse tests on transmission lines," *Trans. AIEE*, Vol. 73 JB, pp. 195-210, 1954.
- [7] J.P. Bickford, M.H. Abdel-Rahman, Application of travelling wave methods to the calculation of transient-fault currents and voltages in power system networks, *IEE Proc. Part C 127 (3) (1980) 153-168*
- [8] J.P. Bickford and P.S. Dorepel, "Calculation of Switching Transients with Particular Reference to Line Excavation," *Proc. IEE*, Vol. 114, No.4, pp. 465-477, 1967.
- [9] A.S. Alkubaid, M.M.Saied, A method for the computation of fault transients in transmission lines, *IEEE Trans. Power Delivery 3 (1) (1988) 288-297*
- [10] M. S. Menniş and M. Köksal, "Remark on the lumped parameter modeling of transmission lines," *Electric Machines and Power Systems*, vol. 28, no. 6, pp. 565-575, 2000.

Ek

Örnekler için yazılmış olan forklisyon Matlab programı aşağıda gösterilmiştir. Buna göre forklisyonun giriş değişkenleri olan t ve x değerlerine göre değişen $zdot(zdot=dy/dt)$ değerleri hesaplanmıştır.

```
function zdot=output(t,x)
% s hatları T-devre sayıları
s=8;
% l hatları uzunluğudur
l=160;
R=(0.032*(l/s);
L=(0.88*(l/s);
G=(0.042*(l/s);
C=(0.013*(l/s);
r=1/C;
if t>=0 & t<10
zdot=zeros((2^s),1);
zdot(1)=((-R/L)*x(1))-
((1/L)*x(2))+((1/L)*(2^(1/2))*((220/sqrt(3)))^(sin(t)));
zdot(2^s)=(1/C)*x(2^s-1)-(G/C)*x(2^s);
for k=2:2:(2^s)-2
zdot(k)=(1/C)*x(k-1)-(G/C)*x(k)-(1/C)*x(k+1);
end
for k=3:2:(2^s)-1
zdot(k)=(1/L)*x(k-1)-(R/L)*x(k)-(1/L)*x(k+1);
end
end
```

```
end
if t>=10 & t<11
zdot=zeros((2^s),1);
zdot(1)=((-R/L)*x(1))-
((1/L)*x(2))+((1/L)*(2^(1/2))*((220/sqrt(3)))^(sin(t)));
zdot(2^s)=(1/C)*x(2^s-1)-(G/C)*x(2^s);
for k=2:2:(2^s)-2
if k==10 % k arızanın olduğu T-devre sayısının 2 ile
çarpımında
C1=C*(CA);
G1=G*(G1);
zdot(k)=(1/C1)*x(k-1)-(G1/C1)*x(k)-(1/C1)*x(k+1);
else
zdot(k)=(1/C)*x(k-1)-(G/C)*x(k)-(1/C)*x(k+1);
end
end
for k=3:2:(2^s)-1
zdot(k)=(1/L)*x(k-1)-(R/L)*x(k)-(1/L)*x(k+1);
end
end
if t>=11 & t<=30
zdot=zeros((2^s),1);
zdot(1)=((-R/L)*x(1))-
((1/L)*x(2))+((1/L)*(2^(1/2))*((220/sqrt(3)))^(sin(t)));
zdot(2^s)=(1/C)*x(2^s-1)-(G/C)*x(2^s);
for k=2:2:(2^s)-2
zdot(k)=(1/C)*x(k-1)-(G/C)*x(k)-(1/C)*x(k+1);
end
for k=3:2:(2^s)-1
zdot(k)=(1/L)*x(k-1)-(R/L)*x(k)-(1/L)*x(k+1);
end
end
```

Yukarıda gösterilen $zdot$ değerlerini hesaplayan forklisyon programı arızanın 5.T-devresinde meydana geldiği örnek 1 içindir. Programda daha önce belirtildiği gibi arızanın olduğu zaman aralığında, paralel devresindeki C ve G değerleri $C1$ ve $G1$ olarak yeniden ifade edilmiştir. Aynı program kullanılarak örnek 2 için de $zdot$ değerleri hesaplanabilmektedir. Bu programı örnek 2 için çalıştırmadan önce yapılması gerekli olan şey 35.satardaki 10 olan k değeri 14 olarak değiştirilmelidir. k değeri 14 ise devrenin meydana geldiği T-devre sayısının 2 ile çarpımında.

Forklisyon programında $zdot$ değerleri hesaplandıktan sonra `ode45` komutu yardımıyla x değerlerini bulup çizgi gösterimlerini çıkartan komutlar aşağıda gösterilmiştir. Bu komutlar Matlab ana sayfasında komut penceresine yazılır. $s=input('istenen T-devre sayısını giriniz: ');$

```
for i=1:(2^s)
x(0,i)=0;
end
x0;
[t,x]=ode45('output',[0:0.1:10],x0);
x(10,1:(2^s))
[t,x]=ode45('output',[10:0.1:11],x(10,1:(2^s)));
x(11,1:(2^s))
[t,x]=ode45('output',[11:0.1:30],x(11,1:(2^s)));
[t,x]=ode45('output',[30:0.1:15],x0);
plot(t,x(:,16),'-')
xlabel('zaman, sn ');
ylabel('gerilim, kV ');
[t,x]=ode45('output',[0:0.1:30],x0);
plot(t,x(:,16),'-')
xlabel('zaman, sec ');
ylabel('gerilim, kV ');
```