

# ZENER DİYOTLU GERİLİM REGÜLATÖR DEVRESİNİN GEÇİCİ HAL ANALİZİ

<sup>1</sup> Pelin İŞAK

<sup>2</sup> Ali Bekir YILDIZ

<sup>1</sup> Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,  
Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Umuttepe Kocaeli

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Elektrik Mühendisliği Böl., Vinsan Kampüsü Kocaeli

<sup>1</sup>e posta: pelin\_isak@hotmail.com

<sup>2</sup>e posta: abyildiz@kou.edu.tr

## ÖZET

*Bu çalışmada zener diyotla gerçekleştirilmiş özel bir gerilim regülatörü devresinin bilgisayar yardımı ile geçici hal analizi yapılmıştır. Devrede doğrusal olmayan yapıya sahip iki adet yarı iletken eleman bulunmaktadır. Yarı iletken elemanlar, diyot ve zener diyot; devrede kesimde veya iletimde olmalarına göre dört farklı topoloji oluşturmaktadırlar. Her bir topoloji için yarı iletken elemanlar akım kaynağı ve gerilim kaynağı gibi doğrusal elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Geçici hal karakteristiğinde, kondansatör için ayrık eşdeğer devre modeli kullanılmıştır. Devrenin analizi; her bir topoloji için eşdeğer modeller oluşturularak, Genelleştirilmiş Düğüm Denklemleri yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya bilgisayar analizi ile elde edilen simülasyon sonuçları eklenmiştir.*

Anahtar kelimeler : analiz, modelleme

## 1. Giriş

Güç elektroniği ve elektronik devrelerinin bilgisayar ile analizi son yıllarda önem kazanmaya başlamıştır. Bilgisayarla analizin temeli; devre modellemesi, simülasyonu ve nümerik hesaplara dayanmaktadır [1,2,3,4]. Bu devrelerin analizindeki temel problem yarı iletken anahtarlama elemanlarının devreyi non-lineer hale getirmesidir. Güç elektroniği ve elektronik devrelerin bilgisayar yardımıyla analizi için kullanılan yöntemlerden olan Genelleştirilmiş Düğüm Denklemleri (GDD) yöntemi, ilk olarak 1975 yılında Chung-Wen Ho ve arkadaşları tarafından ortaya atılmıştır [5]. GDD yönteminin devre analizini kolaylaştırması, düğüm denklemlerinin kolaylıkla elde edilebilmesi gibi avantajlarının yanında bilinmeyen sayısının fazla olması, çözümleme için yüksek depolama kapasitesine ihtiyaç duyulması ve çözümlemenin uzun sürmesi gibi dezavantajları da vardır. Günümüz bilgisayarlarının hızları ve depolama kapasiteleri GDD yönteminin bu dezavantajlarını ortadan kaldırmaktadır. Bu nedenle, yöntem pek çok çalışmada kullanılmıştır [6,7].

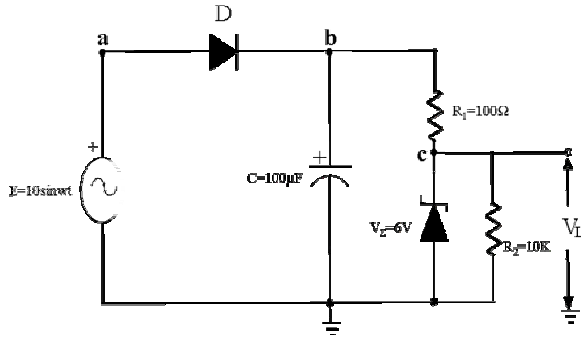
Gerilim regülatörlerinin görevi; belli bir gerilim değerini tüm dış etkilerden (yükten) bağımsız olarak kararlı hale getirmektir. Çalışmada tercih edilen regülatör devresi yarım dalga doğrultma işlemi gerçekleştiren diyot, filtreleme amacıyla kullanılan kondansatör ve gerilim düzenlemesi için kullanılan bir adet zener diyot ile dirençten oluşmaktadır. Ayrıca zener diyota paralel bir yük direnci bağlanmıştır.

Çalışmada kullanılan devrenin GDD yöntemi ile analizi için, yarı iletken elemanlar modellenmiştir. Devrede silisyum bir diyot kullanılmıştır ve bu diyot kesimde iken 0A'lık bir akım kaynağı ile iletimde iken ise 0.7V'luk bir gerilim kaynağı ile modellenmiştir. Devrede gerilim sabitleyici olarak kullanılan 6V'luk zener diyot, kesimde iken 0A'lık bir akım kaynağı ile iletimde iken ise 6V'luk bir gerilim kaynağı ile modellenmiştir. Kondansatör için ise ayrık eşdeğer devre modeli kullanılmıştır.

Bölüm 2'de, zener diyotlu gerilim regülatörünün yapısı ve çalışması anlatılmıştır. Bölüm 3'de regülatör devresinin GDD yöntemi ile analizinin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan, anahtarlama elemanlarının modelleri ve filtreleme elemanı kondansatörün ayrık eşdeğer devre modeli verilmiştir. Devrede herhangi bir an için diyot ve zener diyotun kesimde veya iletimde olmalarına göre dört farklı topoloji oluşmaktadır. Topolojiler ve her bir topolojiye ait GDD sistemi, analiz sonuçları Bölüm 4'de verilmiştir.

## 2. Zener Diyotlu Gerilim Regülatör Devresi

Zener diyotlu gerilim regülatör devresi Şekil 1'de verilmiştir. Regüle işleminin amacı belli bir elektriksel büyüklüğü (gerilim veya akım) dış etkilerden (yükten) bağımsız olarak sabit tutabilmektir. Regüleli bir gerilim kaynağının çıkış gerilimi, çıkış akımı ve yükten bağımsız olmalıdır. Regülasyonun yapılabilmesi için regüle edilecek büyüklük sürekli ölçülmek zorundadır. Ölçülen bu değer, olması istenen gerçek değerle

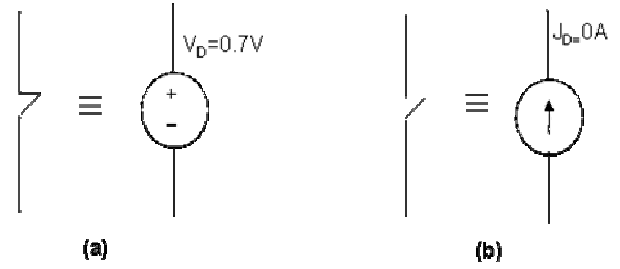


Şekil 1. Zener diyotlu gerilim regülatörü devre şeması

karşılaştırılarak gerekli düzenleme yapılır yani regüle edilir. Olması istenen değer için bir referans gerilimi gereklidir. Referans gerilimi bir zener diyot ile sağlanabilir. Analizi gerçekleştirilen devrede referans gerilimi 6V'luk bir zener diyot ile, doğrultma işlemi ise silisyum bir diyot ile sağlanmıştır. Devrenin çalıştırılması ile pozitif alternansta "a" ve "b" noktalarının potansiyel farkı 0.7V'u geçtiğinde diyot iletme geçecektir ve kondansatör şarj olmaya başlayacaktır. "c" noktasındaki gerilim 6V'a ulaştığında ise zener diyot iletme geçerek, çıkış gerilimini 6V'ta sabit tutacaktır. Giriş gerilimi pozitif alternansta maksimum değerine ulaşıncaya kadar artmaya devam ederken çıkış gerilimi zener diyot sayesinde 6V seviyesinde sabit tutulmaktadır. Kalan gerilim ise R<sub>1</sub> direnci üzerine düşer. Pozitif alternansta "a" ve "b" noktalarının potansiyel farkı 0.7V'un altına düştüğünde ise diyot kesime geçecektir. O ana kadar şarj olan kondansatör, bu noktadan sonra R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> dirençleri ve zener diyot üzerinden deşarj olarak kaynak görevi görecek ve çıkışın 6V değerinde sabit tutulmasını sağlayacaktır. Böyle bir devrenin tasarımında zaman sabiti, kaynağın periyodundan yeterince büyük seçilmelidir. Aksi takdirde kondansatör tekrar şarj olmaya başlamadan, deşarj olacak ve çıkış gerilimini sabit değerinde tutamayacaktır.

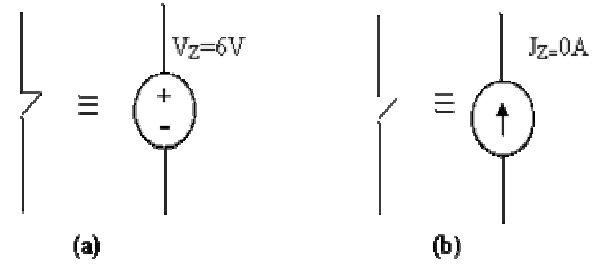
### 3. Anahtar Modelleri ve Kondansatörün Ayrık Eşdeğer Devre Modeli

Zener diyotlu gerilim regülatör devresinin bilgisayar ile analiz edilebilmesi için yarı iletken anahtarlama elemanları; diyotun ve zener diyotun modellenmesi gerekmektedir. Modelleme yapılırken yarı iletken elemanların temel özelliklerini göz önünde bulundurmak gerekir. Diyot tek yöne elektrik akımını ileten bir devre elemanıdır. Genellikle AC akımı DC akıma dönüştürmek için doğrultucu devrelerinde kullanılır. Devrede silisyum diyot kullanılmıştır. Silisyum diyot doğru kutuplama altında üzerindeki gerilim 0.7V değerini geçtiğinde iletme geçer, ters kutuplamada ise kesim durumundadır. Devrenin GDD yöntemi ile analizi için, silisyum diyot iletim durumunda 0.7V'luk gerilim kaynağı ile kesim durumunda 0A'lık bir akım kaynağı ile modellenmiştir. Silisyum diyot için kullanılan modeller Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Diyotun (a) iletim ve (b) kesim durumu modelleri

Zener diyot doğru kutuplama altında normal bir diyot gibi davranırken ters kutuplama altında ise belirli bir gerilimden sonra iletme geçer ve iletme geçtiği gerilimi üzerinde tutar. Bu gerilime zener diyot gerilimi veya zener gerilimi denir. İncelenen devredeki görevi gereği zener diyot ters kutuplama altındadır. Bu durum göz önüne alınarak zener diyot; iletim durumunda 6V'luk gerilim kaynağı ile kesim durumunda ise 0A'lık bir akım kaynağı ile modellenmiştir. Zener diyot için kullanılan modeller Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Zener diyotun (a) iletim ve (b) kesim durumu modelleri

Kondansatörün uç denklemi :

$$i_C = C \frac{du_C}{dt} \quad (1)$$

Diferansiyel denklemlerin sayısal çözümüne ilişkin kullanılan yöntemlerden biri olan Trapez algoritması kondansatörün uç denkleminde uygulandığında, direnç ve akım kaynağından oluşan ayrık devre modeli elde edilir (Şekil 4). Yöntemin uygulanmasıyla kondansatörün anlık gerilim ve akım ilişkilerini veren denk.(2) elde edilir [8].

$$i_{n+1} = \frac{u_{n+1}}{R_n} - \left( \frac{u_n}{R_n} + i_n \right) \quad (2)$$

Burada,  $i_n$  ve  $u_n$  akım ve gerilimin bir önceki adımdaki değerlerini,  $i_{n+1}$  ve  $u_{n+1}$  akım ve gerilimin hesaplama anındaki değerlerini temsil etmektedir.  $R_n$  direnci ise ayrık modeldeki direnci göstermektedir.

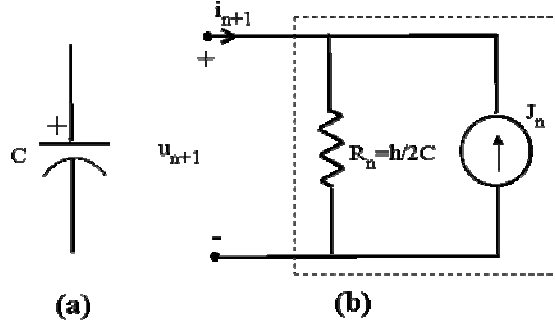
$$R_n = \frac{h}{2C} \quad (3)$$

Burada,  $h$  ayrık modeldeki adım büyüklüğünü göstermektedir. Denk.(2)'i düzenlersek ve parantez

içindeki ifadeyi akım kaynağı ( $J_n$ ) ifadesi olarak düşünersek, denk.(4)'ü elde ederiz.

$$i_{n+1} = \frac{u_{n+1}}{R_n} - J_n \quad (J_n = \frac{u_n}{R_n} + i_n) \quad (4)$$

Denk.(4)'ü gerçekleyen ayrık eşdeğer devre modeli, Şekil 4'de verilmiştir.

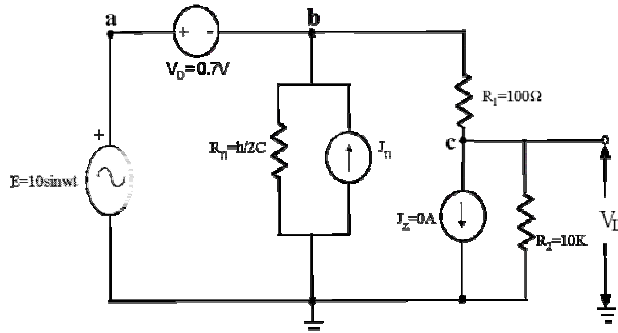


Şekil 4. (a) Kondansatör, (b) eşdeğer devre modeli

#### 4. Topolojiler ve Denklem Sistemleri

Sistem analizinde, devre denklemlerinin elde edilmesinde kullanılan iki temel yöntem vardır: Genelleştirilmiş düğüm denklemleri ve Durum değişkenleri yöntemi. Durum değişkenleri yönteminde, eleman gösteriminde bazı kısıtlamalar vardır. Klasik düğüm yönteminde, sistem denklemlerine dahil edilemeyen pek çok devre elemanı GDD sisteminde kolaylıkla ifade edilebilmektedir [7,8]. Zener diyotlu regülatör devresinde herhangi bir an için diyotun ve zener diyotun, kesimde veya iletimde olmalarına göre dört farklı topoloji mevcuttur. Diyotun ve zenerin kesimde olduğu, diyotun iletimde zenerin kesimde olduğu, diyotun ve zenerin aynı anda iletimde olduğu, diyotun kesimde zenerin ise iletimde olduğu dört durum için genelleştirilmiş düğüm denklemleri sistemi elde edilmiştir.

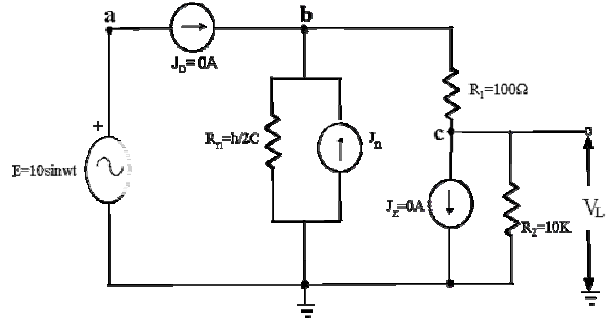
*Durum 1:* Diyotun iletimde ve zener diyotun kesimde olduğu durum için, devrenin eşdeğeri Şekil 5'de verilmiştir. Bu durum için genelleştirilmiş düğüm denklemleri denk.(5)'de ifade edilmiştir.



Şekil 5. Diyotun iletimde ve zener diyotun kesimde olduğu durum için eşdeğer devre

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & G_n + G_1 & -G_1 & -1 & 0 \\ 0 & -G_1 & G_1 + G_2 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \\ I_D \\ I_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_D \\ E \\ J_Z \\ J_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

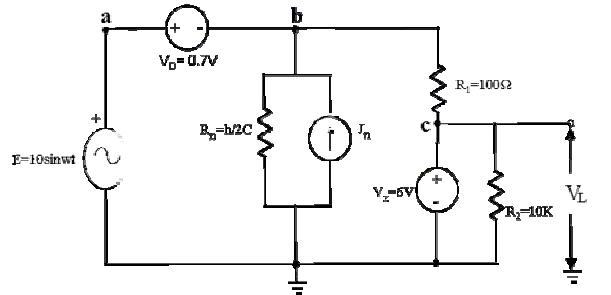
*Durum 2:* Diyotun ve zener diyotun her ikisinin de kesimde olduğu durumda, devrenin eşdeğeri Şekil 6'da verilmiştir. Bu durum için genelleştirilmiş düğüm denklemleri denk.(6)'da ifade edilmiştir.



Şekil 6. Diyotun ve zener diyotun kesimde olduğu durum için eşdeğer devre

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & G_n + G_1 & -G_1 & 0 \\ 0 & -G_1 & G_1 + G_2 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \\ I_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E \\ J_D \\ J_Z \\ J_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

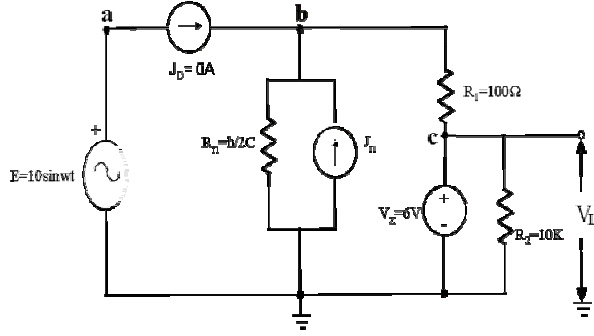
*Durum 3:* Diyotun ve zener diyotun her ikisinin de iletimde olduğu durumda, devrenin eşdeğeri Şekil 7'de verilmiştir. Bu durum için genelleştirilmiş düğüm denklemleri denk.(7)'de ifade edilmiştir.



Şekil 7. Diyotun ve zener diyotun iletimde olduğu durum için eşdeğer devre

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & G_n + G_1 & -G_1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -G_1 & G_1 + G_2 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \\ I_D \\ I_Z \\ I_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_D \\ U_D \\ V_Z \\ E \\ J_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

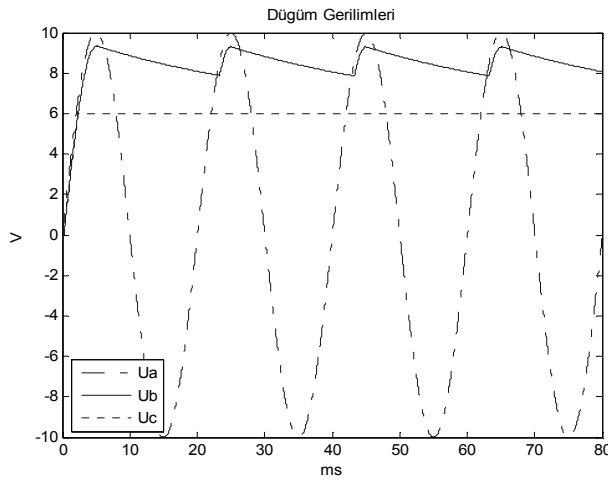
*Durum 4:* Diyotun kesimde ve zener diyotun iletimde olduğu durum için devrenin eşdeğeri Şekil 8'de verilmiştir. Bu durum için genelleştirilmiş düğüm denklemleri denk.(8)'de ifade edilmiştir.



**Şekil 8.** Diyotun kesimde ve zener diyotun iletimde olduğu durum için eşdeğer devre

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & G_n + G_1 & -G_1 & 0 & 0 \\ 0 & -G_1 & G_1 + G_2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \\ I_Z \\ I_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_Z \\ E \\ J_D \\ J_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

Zener diyotlu gerilim regülatör devresinin GDD sistemi kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon sonuçları Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Düğüm noktaları gerilimleri Şekil 9'da, bazı akım değişkenleri ise Şekil 10'da gösterilmiştir.  $U_a$  noktası kaynak gerilimini,  $U_b$  noktası kondansatör gerilimini,  $U_c$  noktası zener gerilimini göstermektedir.

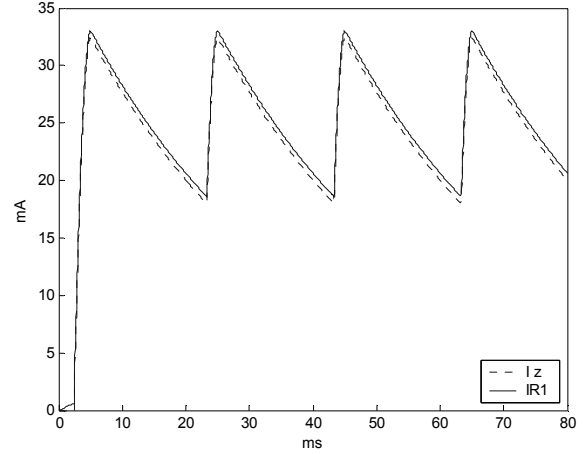


**Şekil 9.** Devreye ait düğüm gerilimleri

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada zener diyotlu gerilim regülatörü devresinin geçici hal analizi, GDD sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Devrede doğrusal olmayan karakteristiğe sahip yarı iletken elemanlar, diyotun ve zener diyotun kesim veya iletim durumlarında kullanılan modeller gösterilmiştir. Kondansatör için ayrık eşdeğer devre modeli verilmiştir. Devrede mevcut olan dört farklı topoloji incelenmiştir. Her bir topoloji için GDD sistemi ifade edilmiştir. Analiz yönteminde, hem akım hem de gerilim değişkenleri kolayca ifade edilebilmektedir. Bilgisayarda gerçek-

leştirilen analiz sonucu elde edilen düğüm noktaları gerilimleri ve bazı akım büyüklükleri grafiksel olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlar devrenin çalışma prensibi ile uyumludur ve kullanılan modellerin doğruluğunu göstermektedir. Burada gösterilen modeller ve çözüm yöntemleri, benzer devreler için de kullanılabilir.



**Şekil 10.** Devreye ait bazı akımlar

## Kaynaklar

1. Yuan F. and Opal A., "Computer Methods for Switched Circuits", IEEE Trans. On Circuit and Systems, V.50, No.8, 2003.
2. Vlach J., and Opal A., "Modern CAD Methods for Analysis of Switched Networks", IEEE Trans. On Circuit and Systems, V.44, No.8, 1997.
3. Gökalp H, Sezgin A, Önbilgin G, "Güç Elektronik Devreleri için Bir Bilgisayar Benzetim Yöntemi", Elk.Müh. 6. Ulusal Kongresi, 1995, Samsun.
4. Yıldız A.B., Abut N., M.Z.Bilgin, "Ayrık Devre Modellerine Dayalı Düğüm Yöntemini Kullanarak Güç Elektronik Devrelerinin Analizi", IX. Müh. Semp. 1996, Isparta.
5. Ho C.W, Ruehli A.E., Brenman P.A, "The Modified Nodal Approach to Network Analysis", IEEE Transaction on Circuits and Systems, Vol. Cas-22, No. 6, 1975.
6. Yıldız A.B. and Çınar M.A., "Time-Domain Analysis of Circuits with Ideal Switches by Nodal Equations", IEEE Conf. Proc., Int. Conf. on Power Elec. Drive Sys. (PEDS 2005), Malaysia.
7. Yıldız A.B. and Çınar M.A., "Time-Domain Analysis of Transformers by Nodal Equations", IEEE Conf. Proc., Power Systems Conf.&Exp. (PSCE 2006), USA.
8. Yıldız A.B., "Elektrik Devrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Analizi", Yüksek Lisans Ders Notları, 2007.
9. Natarajan B., "A Systematic Method for Obtaining State Equations Using MNA", IEE Proc., Vol.138, No.3, 1991.