

KURAL TABANLI BOOST DÖNÜŞTÜRÜCÜDE ÇIKIŞ GERİLİMİNİN YÜK DİRENCİ İLE DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Yusuf ALTUN¹

Metin DEMİRTAŞ²

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Mimarlık Fakültesi

Balıkesir Üniversitesi, 10145, Cağış, Balıkesir

1e-posta: yaltun@balikesir.edu.tr

2 e-posta: mdemirtas@balikesir.edu.tr

Anahtar sözcükler: Boost dönüştürücü, bulanık mantık

ABSTRACT

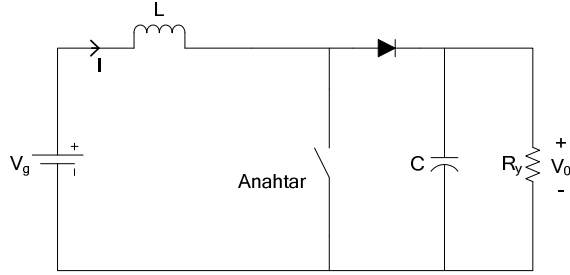
This paper presents a rule based controller for boost converter. This algorithm is used to find the switching duty cycle of boost converter for a crisp output voltage. The output voltage is studied for different loads. Simulation results show that value of the load limits output voltage of the boost converter.

1. GİRİŞ

Güç elektroniğinde DC/DC dönüştürücüler doğal anahtarlama işlemlerinden dolayı periyodik olarak zamanla değişen sistemlerdir. Bu dönüştürücülerin statik ve dinamik karakteristikleri literatürde [1-5] yaygın bir biçimde tartışılmaktadır.

DC/DC dönüştürücülerin bir çeşidi olan boost dönüştürücüler, dc motorlarının hız ve konum kontrolünde kullanılmaktadır. [6]

Boost dönüştürücüler, literatürde yaygın bir biçimde tartışılmaktadır.[7-9]



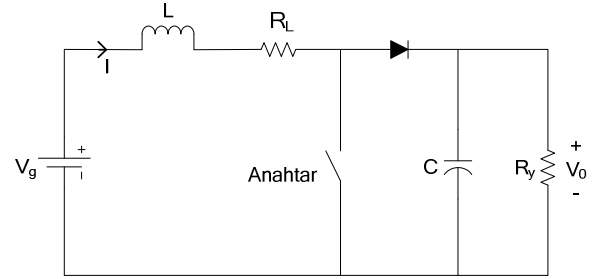
Şekil-1. Boost dönüştürücü devresi.

Anahtar kapalı durumda (iletimde) iken diyot ters kutuplandığı için tıkama durumundadır. Böylece çıkış kısmı giriş kısmından bağımsız hale gelir. Anahtar açıldığında (kesimde) ise, çıkış kısmı bobin üzerinden beslenir. Boost dönüştürücü sabit dc giriş gerilimini çıkışta V_0 (çıkış gerilimi) değerine yükseltir. Bu durum şekil 1'de gösterilmiştir. Adından da anlaşılacağı üzere çıkış gerilimi giriş geriliminden büyüktür ve bu yüzden yükseltici dönüştürücü olarak bilinir. Şekil 1'de boost dönüştürücünün genel devre şeması verilmiştir. V_0 ifadesi D (görev süresi) değerine bağlı olarak elde edilir. Şekil 1' deki devrede çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı $\frac{V_0}{V_g} = \frac{1}{1-D}$ şeklindedir. Şekil 1' deki devrede C kondansatörü filtre kondansatörü olarak kullanılmaktadır. Sabit bir

çıkış gerilimi elde etmek için bu filtre kondansatörünün kapasitesi oldukça büyük olmalıdır.

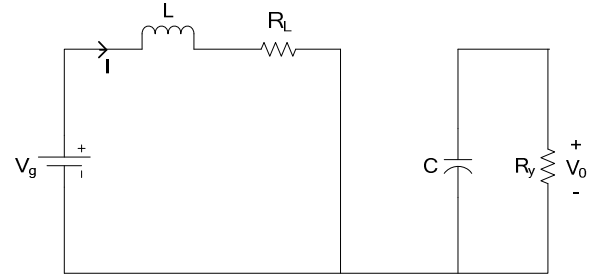
2. BOOST DÖNÜŞTÜRÜCÜ MODELİ

Bu çalışmada şekil 2'de gösterilen boost dönüştürücü devresi ele alınarak kural tabanlı kontrol yapılmıştır.



Şekil-2. Boost dönüştürücü devre modeli

Öncelikle V_0/V_g oranının matematiksel olarak ifadesi için anahtar iletimde ve kesimde olmasına göre devre ayrı ayrı modellenmiştir. Anahtar iletimde olması durumu şekil 3'te ve anahtar kesimde olması durumu şekil 4'te gösterilmiştir.



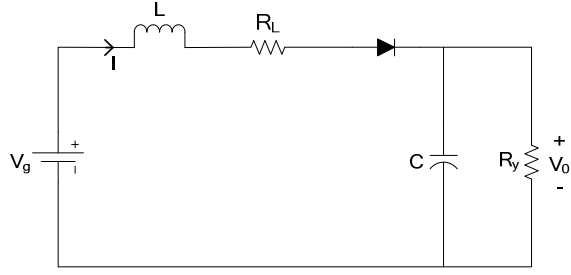
Şekil 3. Dönüştürücü devresi (anahtar iletimde)

Şekil 3'deki devrede anahtar iletimde iken V_L ve i_c ifadeleri

$$V_L(t) = V_g - I \cdot R_L \quad (1)$$

$$i_c(t) = \frac{V_0}{R_y} \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4. Dönüştürücü Devresi (anahtar kesimde)

Şekil 4'deki devrede anahtar kesimde iken ise \$V_L\$ ve \$i_c\$ ifadeleri

$$V_L(t) = V_g - I \cdot R_L - V_0 \quad (3)$$

$$i_c(t) = I - \frac{V_0}{R_y} \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir.

\$V_L\$'nin ortalama değeri denklem (1) ve (3) kullanılarak

$$\langle V_L(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T V_L(t) dt \quad (5)$$

$$\langle V_L(t) \rangle = D \cdot (V_g - I \cdot R_L) + D' \cdot (V_g - I \cdot R_L - V_0) \quad (6)$$

şeklinde elde edilir. Burada \$D' = 1 - D\$ şeklindedir.

Denklem (6)'da ortalama değer sıfıra eşitlenerek

$$0 = D \cdot (V_g - I \cdot R_L) + D' \cdot (V_g - I \cdot R_L - V_0) \quad (7)$$

ifadesi elde edilir.

Denklem (7)'den

$$0 = V_g - I \cdot R_L - D' \cdot V_0 \quad (8)$$

ifadesi elde edilir.

Denklem (2) ve (4) ifadelerinden \$i_c\$'nin ortalama değeri

$$\langle i_c(t) \rangle = D \cdot \left(\frac{V_0}{R_y} \right) - D' \cdot \left(I - \frac{V_0}{R_y} \right) \quad (9)$$

şeklinde bulunur.

Denklem (9) eşitliği kullanılarak

$$0 = D \cdot \left(\frac{V_0}{R_y} \right) - D' \cdot \left(I - \frac{V_0}{R_y} \right) \quad (10)$$

ifadesi elde edilir.

denklem (10)'u sadeleştirirsek

$$0 = D' \cdot I - \frac{V_0}{R_y} \quad (11)$$

ifadesi elde edilir.

Denklem (8) ile denklem (11)'deki \$I\$ (akım) ifadeleri birbirine eşitlendiğinde

$$\frac{V_0}{R_y} = \frac{1}{D' \cdot \left(1 + \frac{R_L}{R_y \cdot D'^2} \right)} \quad (12)$$

ifadesi bulunur.

(12) nolu denklemden \$V_0\$ ifadesi çekilirse

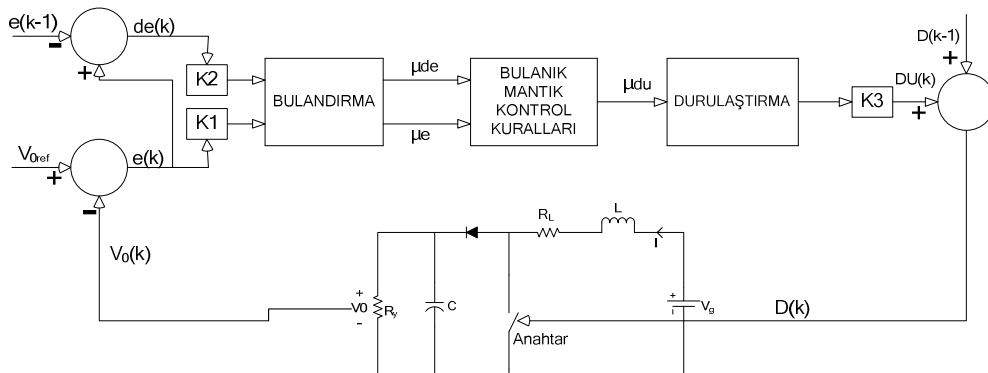
$$V_0 = \frac{V_g}{D' \cdot \left(1 + \frac{R_L}{R_y \cdot D'^2} \right)} \quad (13)$$

sonucu elde edilir.

Böylece çıkış gerilimini yük direncine bağlı olarak değişen denklemi elde edilmiştir.

3. BOOST DÖNÜŞTÜRÜCÜ İÇİN TASARLANAN BULANIK KONTROLÖR

Boost dönüştürücünün kontrolü için tasarlanan bulanık kontrolör blok şeması şekil 5'de sunulmuştur.

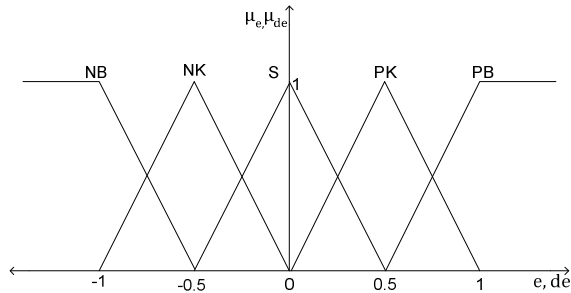


Şekil 5. Bulanık kontrolör blok şeması.

Şekil 5’de görüldüğü gibi sistemin D değerine göre V_0 hesaplanır ve V_{0ref} değerinden çıkarılarak e (hata) bulunur, bulunan hata değerinden bir önceki hata değeri çıkarılarak de (hata değişimi) bulunur. e ve de K1 ve K2 normalizasyon katsayılarıyla çarpılarak Bulandırma arabirimine gönderilir. Bulandırma arabiriminde μ_e (hatanın üyelik değeri) ve μ_{de} (hata değişiminin üyelik değeri) hesaplanarak bulanık kontrol kurallarıyla μ_{du} değerleri hesaplanır, durulaştırma arabiriminde bulanık kontrol çıkışı olan DU elde edilir. Bulunan DU değeri K3 normalizasyon katsayısı ile çarpılarak yeni DU değeri hesaplanır ve D değerinin bir önceki değeri ile toplanarak yeni D elde edilir. Bu şekilde referans değerine ulaşılan kadar kapalı döngü sistemi devam etmektedir.

Şekil 5’de görüldüğü gibi V_0 referans değerine ulaşabilmek için e ve de değerlerini belli bir normalizasyon katsayısı ile çarpmak gerekmektedir. Bunun nedeni ise tasarlanan bulanık kontrolörün üyelik fonksiyonlarına uyarlamaktır. Aynı şekilde DU (bulanık mantık kontrol çıkışı) değeri de normalizasyon katsayısıyla çarpmak gerekmektedir. Bu çalışmadaki sistem için normalizasyon katsayıları K1=1/70, K2=0.1, K3=0.8 olarak belirlenmiştir. Normalizasyon katsayıları sistemin cevabı, kullanılan kontrol parametrelerinin değişimi, dikkate alınarak belirlenmiştir.

Boost dönüştürücünün kural tabanlı kontrolü için üyelik fonksiyonlarına ihtiyaç vardır. Bulandırma arabiriminde kontrol edilecek sisteme göre tasarlanan üyelik fonksiyonları bulunmaktadır. Bu çalışmada tasarlanan 5 adet üçgen tipi üyelik fonksiyonu şekil 6’da gösterilmiştir. Tasarım aşamasında sistemin giriş değerine karşı çıkış cevabı dikkate alınmıştır. Üyelik fonksiyonları NB= negatif büyük, NO=negatif orta, NK=negatif küçük, S=sıfır, PK= pozitif küçük, PO= pozitif orta ve PB= pozitif büyük olarak kullanılmıştır.



Şekil 6. Tasarlanan 5 adet üyelik fonksiyonu

Tasarlanan kontrol kuralları bulanık mantık kontrol kuralları arabiriminde yer almaktadır. e ve de değerlerine göre belirlenen μ_e ve μ_{de} değerleri bu arabirimde kullanılır. Nitel olan μ_e ve μ_{de} değerleri bulanık kural tablosu kullanılarak μ_{du} nitel değerleri belirlenir. Örneğin: e=NB ise $de=NB$ ise $\mu_{du}=NB$ şeklinde olmaktadır. Diğer kontrol kuralları da benzer şekilde elde edilir. Alan ağırlık merkezi yöntemi ile μ_e ve μ_{de} değeri sayısal ifadeye dönüştürülür ve du

ifadesi buna göre sayısal olarak belirlenir. μ_e ve μ_{de} değerlerine göre μ_{du} nicel çıkış değerini elde etmek için kesişim veya birleşim fonksiyonu kullanılır. Bu çalışmada denklem 14’deki gibi kesişim ifadesi kullanılmıştır. Kesişim fonksiyonuyla belirlenen μ_{du} değerleri durulaştırma arabiriminde kullanılmaktadır.

$$\mu_{du} = \mu_e \cap \mu_{de} = \min(\mu_e, \mu_{de}) \quad (14)$$

Tablo 1’de bulanık kontrolör için tasarlanan kural tablosu görülmektedir. Bu tasarlanan kural tablosu ile hata ve hata değişimine göre bulanık kontrolör çıkış değeri elde edilmektedir. Tablo 2 ise tasarlanan kural tablosunun sayısal değerlerini göstermektedir. Bulanık kural tablosunu tasarlanırken sistemin giriş değerinin değişimi ile bulanık kontrolörün her bir parametresinin değişimi gözlemlenerek ve bu parametrelerin değişimine göre sistemin çıkış cevabı göz önüne alınarak elde edilmiştir. Kural tablosunun belli bir hazırlanma şekli olmamakla beraber sistem ile ilgili uzmanlaşmak bulanık kural tablosunu oluşturmada kolaylık sağlar. Bu çalışmada daha çok kontrolör için en önemli parametre olan D değerine göre V_0 değerinin değişimi dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Tasarlanan bulanık kural tablosu

e/de	NB	NK	S	PK	PB
NB	NB	NK	NK	S	S
NK	S	NK	NK	S	S
S	NK	S	S	S	PK
PK	S	S	PK	PK	PK
PB	PB	PK	S	PK	PB

Tablo 2. Tasarlanan bulanık kural tablosunun sayısal değeri

e/de	NB	NK	S	PK	PB
NB	-1	-0.5	-0.5	0	0
NK	0	-0.5	-0.5	0	0
S	-0.5	0	0	0	0.5
PK	0	0	0.5	0.5	0.5
PB	1	0.5	0	0.5	1

Durulaştırma arabiriminde μ_{du} değerleri ile du değerleri denklem 15’deki gibi hesaplanarak DU değeri elde edilir. Bu hesaplama şekli alan ağırlık merkezi yöntemi olarak bilinir. D değerinin hesabı ise denklem 16’da gösterilmiştir.

$$DU = \frac{du1*\mu_{du1}+du2*\mu_{du2}+du3*\mu_{du3}+du4*\mu_{du4}}{\mu_{du1}+\mu_{du2}+\mu_{du3}+\mu_{du4}} \quad (15)$$

$$D(k) = D(k - 1) + K3.DU \quad (16)$$

Elde edilen DU değeri ile D değerinin bir önceki değeri ile toplanarak D değeri elde edilir ve D

değerine göre dönüştürücünün V_0 çıkış gerilimi hesaplanır.

5. YÜK DİRENCİNİN DEVRE MODELİNE ETKİSİ

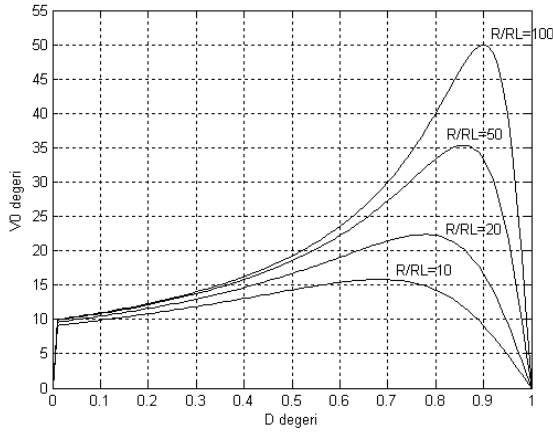
Şekil 2’de önerilen devre modelinde R_L bobin direncidir. R_y ise devre modelinin değişken yük direncidir. Tablo 3’te kullanılan devre modelinin parametreleri görülmektedir. Bu çalışmada anahtarlama frekansı 10KHz olarak alınmıştır.

Tablo 3. Devre modelinin parametreleri

Devre Elemanı	Elektriksel Değeri
V_g	10 V
L	1 mH
R_L	0.1 Ω
C	2200 μ F
R_y	100 Ω

Tasarlanan devre modelinin maksimum yükseltme geriliminin tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun için D değerine göre V_0 gerilimi R_y direncinin etkisi dikkate alınarak incelenmelidir.

Kullanılan devre modelinde R_y direncinin etkisinin tespit edebilmek için R_y direnci 100 kata kadar artırılarak V_0 çıkış gerilim değeri gözlemlendi. Bunun için şekil 7’de R_y/R_L oranına göre V_0 geriliminin D parametresine göre değişimi görülmektedir.



Şekil 7. V_0 geriliminin R_y 'ye göre değişimi

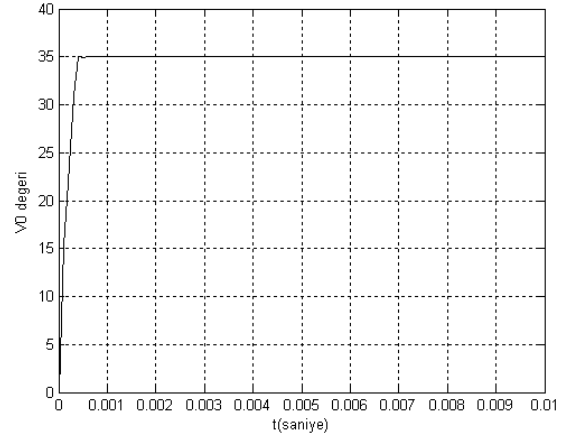
Çıkış geriliminin en yüksek değeri olan R_y/R_L oranı 100 kat kadar artırıldığında 50 volt değeri elde edilmektedir. Dolayısıyla giriş geriliminin 5 katı elde edilmiştir. Bu sayede tasarlanacak olan sistemin çıkış yük direnç değerini değiştirmek suretiyle çıkış gerilimi sınırlandırılabilir. R_y/R_L oranı azaldıkça çıkış gerilimi artırma oranı azalmaktadır R_y/R_L sıfır olduğunda ise giriş gerilimi çıkış gerilimine eşit olur. Önerilen devrede ise R_y/R_L 100 yapılarak çıkış gerilim bulanık kontrolör ile maksimum 50 volta kadar çıkarılmıştır.

Bobin ve iletken direncinin ideal olarak varsayılması durumunda ise çıkış gerilim değeri daha yüksek bir

değere ulaşabilmektedir. Önerilen devre modelinde V_{0ref} değerini 10 ile 50 arasındaki tüm değerlerde seçilebilir.

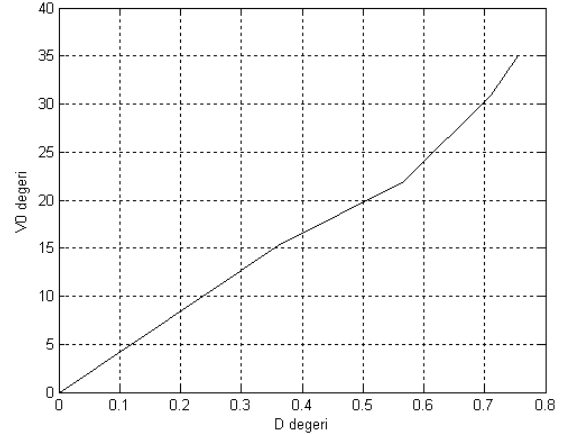
5. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Önerilen devre modelinde çıkış gerilimini 35 volt değerine çıkarmak için elde edilen V_0 geriliminin değişim grafiği Şekil 8’de verilmiştir. Şekil 8’de görüldüğü gibi çıkış gerilimi istenilen değere çok kısa bir zaman sonra ulaşmaktadır.



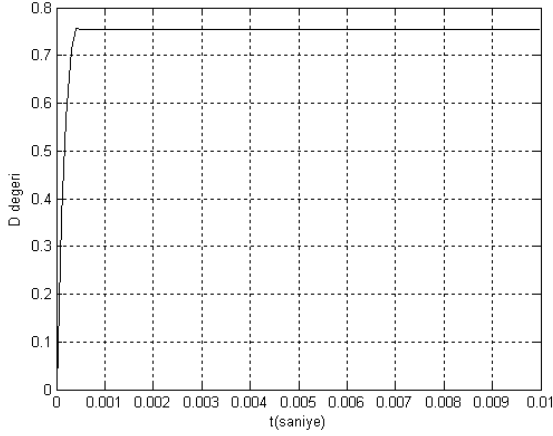
Şekil 8. V_0 çıkış geriliminin değişimi

Kontrol aşamasında V_0 geriliminin D değerine göre değişimi Şekil 9’da gösterilmektedir.

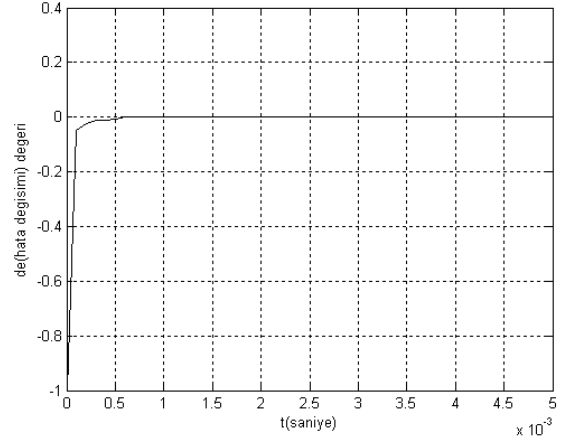


Şekil 9. V_0 geriliminin D'ye göre değişimi

Şekil 9’da görüldüğü gibi V_0 çıkış geriliminin istenilen referansa ulaşması D değerinin artmasıyla sağlanmıştır. D değerinin değişimi ise şekil 10’da gösterilmektedir.

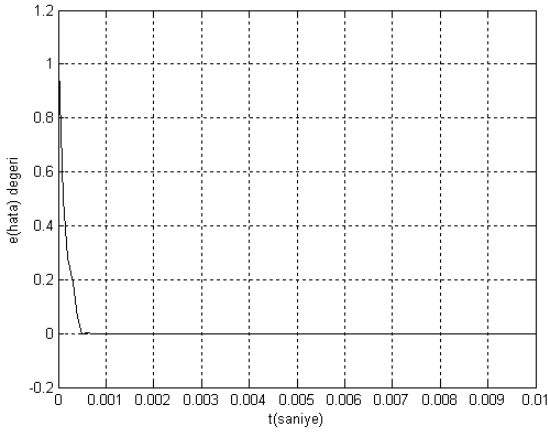


Şekil 10. D değerinin değişimi



Şekil 12. de'nin değişimi

Şekil 10'da görüldüğü gibi D değeri kısa bir zaman sonra sabitlenmektedir. D değerinin sabitlenmesi durumundan istenilen V_0 gerilimine ulaşıldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 11. e'nin değişimi

Şekil 11'de ve şekil 12 'de hata ve hatanın değişiminin grafiği görülmektedir. Şekil 11'de görüldüğü gibi hata değeri maksimum değerinden sıfır değerine ulaşmıştır. Sıfıra ulaşması referans çıkış gerilim değerine ulaşıldığını göstermektedir. Şekil 12 ise hata değişiminin maksimum değerinden sıfıra ulaşıldığını göstermektedir. Hata değişiminin sıfıra ulaşması da referans çıkış gerilim değerine ulaşıldığını göstermektedir.

Tablo 4'de önerilen devre modeli için elde edilebilecek olan tüm çıkış değerleri(maksimum 50) için elde edilen referans çıkış değerleri ve buna karşılık gelen D değerleri verilmiştir. Referans değerine 2,5ms sonra yaklaşık binde bir hata ile 10ms sonra ise milyonda bir hata ile ulaşılmıştır.

Tablo 4. Bulanık kontrolör çıkışları

V_{0ref} (volt)	V_0 ($t=2.5ms$)	V_0 ($t=10ms$)	D ($t=2.5ms$)	D ($t=10ms$)
11	10.997143	11.000000	0.101806	0.102046
12	11.982737	12.000000	0.177626	0.178845
13	12.982587	13.000000	0.242947	0.243997
14	13.987604	14.000000	0.299354	0.300000
15	14.992836	15.000000	0.348361	0.348687
16	15.996502	16.000000	0.391292	0.391432
17	16.998539	17.000000	0.429234	0.429287
18	17.999478	18.000000	0.463052	0.463069
19	18.999842	19.000000	0.493420	0.493425
20	19.999960	20.000000	0.520870	0.520871
21	20.999992	21.000000	0.545827	0.545828
22	21.999999	22.000000	0.568637	0.568637
23	23.000000	23.000000	0.589583	0.589583
24	24.000000	24.000000	0.608902	0.608902
25	25.000000	25.000000	0.626795	0.626795
26	26.000000	26.000000	0.643430	0.643430
27	27.000000	27.000000	0.658951	0.658951
28	28.000000	28.000000	0.673483	0.673483
29	29.000000	29.000000	0.687135	0.687135
30	30.000000	30.000000	0.700000	0.700000
31	31.000000	31.000000	0.712161	0.712161
32	32.000000	32.000000	0.723691	0.723691
33	33.000000	33.000000	0.734657	0.734657
34	34.000000	34.000000	0.745116	0.745116
35	35.000000	35.000000	0.755122	0.755122
36	35.999998	36.000000	0.764726	0.764726
37	36.999985	37.000000	0.773972	0.773972
38	37.999938	38.000000	0.782904	0.782905
39	38.999797	39.000000	0.791565	0.791567
40	39.999468	40.000000	0.799996	0.800000
41	40.998921	41.000000	0.808240	0.808248
42	41.998368	42.000000	0.816346	0.816359
43	42.998233	43.000000	0.824370	0.824384
44	43.998751	44.000000	0.832379	0.832389
45	44.999561	45.000000	0.840453	0.840457
46	45.999958	46.000000	0.848704	0.848705
47	47.000010	47.000000	0.857322	0.857322
48	48.000000	48.000000	0.866667	0.866667
49	49.000000	49.000000	0.877653	0.877653
50	49.999887	50.000000	0.898634	0.899999

6. SONUÇ

Bu çalışmada boost dönüştürücünün bulanık kural tabanlı kontrolü yapılmıştır. Yük direnci 100 kata kadar artırılarak çıkış geriliminin yük direnci ile değişimi gözlemlenmiştir. Kural tabanlı kontrolörün iyi bir performans sağladığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] R.D. Middlebrook, and S. Cuk, "A general unified approach to modeling switching converter power stages," IEEE-PESC Conf. Rec, pp. 18-34.s, 1976
- [2] S.R. Sanders, and J.M. Noworoski, "Generalized in-place circuit averaging," IEEE-PESC Rec, pp. 445-451, 1991
- [3] S.R. Sanders, and G. Verghese, "Synthesis of averaged circuit models for switched power converters," BEE Intematioinal Symposium on Circuit and Systems (ISCAS), pp. 679-683, 1990.
- [4] P.T. Krein, J. Bentsman, R.M. Bass, and B. Lesieutre, "On the use of averaging for the analysis of power electronic system," IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 5, No. 2, April 1990.
- [5] J. Sun, and H. Grotstollen, "Averaged modeling of switching power converters: reformation and theoretical basis," IEEE-PESC Rec., pp. 1165-1172, 1992.
- [6] Vasile, D. Florescu, A. Stoichescu, D.A. "Fuzzy and neuro-fuzzy designs of boost converter supplying DCmotors", Electronics, Circuits and Systems, The 7th IEEE International Conference on, Volume: 2, On page(s): 701-704 vol.2, 2000.
- [7] L. K. Wong, F. H. F. Leung, P. K. S. Tam and K. W. Chan, "Design of an analog fuzzy logic

controller for a PWM boost converter," in Proc. IECON '97, New Orleans, USA, vol. 1, pp. 360-363, November 1997.

[8] Vidal-Idiarte, E. Martinez-Salamero, L. Guinjoan, F. Calvente, J. Gomariz, S. "Sliding and fuzzy control of a boost converter using an 8-bit microcontroller," IEE Proceedings Electric Power Applications, Volume 151, Issue 1, p. 5-11, January 2004.

[9] Viswanathan, K, D Srinivasan, and R Oruganti, "Design and Analysis of SISO Fuzzy logic Controller for Power Electronic Converters," To be presented at the IEEE International Joint Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2004), 25-29 July 2004.

Yusuf ALTUN lisans öğrenimini Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde tamamladı. Balıkesir Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisans yapmaktadır. İlgili alanları kontrol sistemleri üzerinedir.

Metin DEMİRTAŞ lisans öğrenimini Yıldız Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünde, yüksek lisans öğrenimini Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği anabilim dalında ve doktora öğrenimini Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği anabilim dalında tamamladı. İlgili alanları elektrik makineleri, kontrol ve güç elektroniği üzerinedir.