ÖZET

ANAHTAR SÜRÜCÜ ENTEGRELERİ İÇİN BİR DEVRE YAPISI

Buluş, önyükleme tabanlı anahtar sürücü entegrelerinde, senkron anahtarlardan birinin tamamen doluluk oranı ile sürekli iletimde kalmasını sağlayan bir devre yapısı olup, çeviricinin alçaltıcı veya yükseltici modda çalışmasına göre, değişen giriş gerilim değerini, birleşim noktasından (SW1/SW2) alan iki senkron anahtar (Q1-Q2/Q3-Q4), senkron anahtardan geçen değişen gerilim değerlerini devre içerisinde belirlenen düğüm noktalarında filtreleyip süzen devre yolları, çevirici alçaltıcı modda çalıştığında; filtrelenip süzülen gerilim değerini alarak, üzerinde sabit bir gerilim değeri oluşturulan önyükleme kapasitörü (C1), çevirici yükseltici modda çalıştığında; filtrelenip süzülen gerilim değerini alarak, üzerinde sabit bir gerilim değeri oluşturulan önyükleme kapasitörü (C3) içermesi ile ilgilidir.

İSTEMLER

1. Önyükleme tabanlı anahtar sürücü entegrelerinde, senkron anahtarlardan birinin tamamen doluluk oranı ile sürekli iletimde kalmasını sağlayan bir devre yapısı olup özelliği;

- çeviricinin alçaltıcı veya yükseltici modda çalışmasına göre, değişen giriş gerilim değerini, birleşim noktasından (SW1/SW2) alan iki senkron anahtar (Q1-Q2/Q3-Q4),
- senkron anahtardan geçen değişen gerilim değerlerini devre içerisinde belirlenen düğüm noktalarında filtreleyip süzen devre yolları,
-
    - o çevirici alçaltıcı modda çalıştığında; filtrelenip süzülen gerilim değerini alarak, üzerinde sabit bir gerilim değeri oluşturulan önyükleme kapasitörü (C1),
    - o çevirici yükseltici modda çalıştığında; filtrelenip süzülen gerilim değerini alarak, üzerinde sabit bir gerilim değeri oluşturulan önyükleme kapasitörü (C3) içermesidir.

2. İstem 1’e uygun bir devre yapısı olup özelliği; besleme gerilimine ters yönde akım akmasını engelleyen diyotlar (D1, D3) içermesidir.

3. İstem 1’e uygun bir devre yapısı olup özelliği; önyükleme kapasitörü ve entegre pinleri üzerinde istenmeyen gerilim oluşması durumunda devreye girerek kutuplar arasındaki gerilimi belirlenen seviyede tutan diyotlar (D7, D8) içermesidir.

4. İstem 1’e uygun bir devre yapısı olup özelliği; çevirici yükseltici modda çalıştığında birleşim noktasında (SW1) oluşan gerilimi önyükleme kapasitörüne (C3) iletilmesini sağlayarak ters yönde akım geçişişini engelleyen diyotlar (D2, D4) içermesidir.

5. İstem 1’e uygun bir devre yapısı olup özelliği; çevirici alçaltıcı modda çalıştığında birleşim noktasında (SW2) oluşan gerilimi önyükleme kapasitörüne (C1) iletilmesini sağlayarak ters yönde akım geçişişini engelleyen diyotlar (D5, D6) içermesidir.

6. İstem 1’e uygun bir devre yapısı olup özelliği; diyotlara (D4, D6) ait kesişim noktasında kullanılan kalkış (inrush) akımını limitleyen direnç (R1) içermesidir.

TARİFNAME

ANAHTAR SÜRÜCÜ ENTEGRELERİ İÇİN BİR DEVRE YAPISI

Teknik Alan

Buluş, önyükleme tabanlı anahtar sürücü entegrelerinde, senkron anahtarlardan birinin sürekli/%100 doluluk oranı ile iletimde kalmasını sağlayan bir devre yapısı ile ilgilidir.

Tekniğin Bilinen Durumu

Yüksek güç gerektiren uygulamalarda güç anahtarları düşük çıkış akım kapasitesine sahip olan entegreler veya mikroişlemciler tarafından sürülemez. Çünkü kapı (gate) bacağındaki kapasitenin, anahtarı iletime sokabilmek için yeterince hızlı bir şekilde şarj edilmesi gerekmektedir. Çıkışlarındaki yetersiz akım kapasitelerinden dolayı kapasitenin şarj edilme süresi anahtarlama süresinden daha uzun sürerse, anahtarlar düzgün çalışamaz. Bu problemi çözebilmek için yüksek akım kapasitesine sahip anahtar sürücü entegreleri kullanılır. Şekil 1'de tipik anahtar sürücü entegresinin yapısı verilmiştir. Anahtar sürücü entegrelerinin temel amaçları kontrol devresinden almış olduğu sinyali güçlendirerek güç çevirici kısmında bulunan yarı iletkenler, anahtarları sürme işleminde kullanılan bir ara yüzdür. DA/DA çeviricilerin çıkış gerilimleri, anahtar sürücü devrelerinin davranışlarıyla doğrudan ilişkilidir. Öyle ki anahtar sürücü devreleri anahtarları düzgün bir şekilde süremezse DA-DA çeviricinin çıkışında istenen gerilim elde edilemez ve tasarım gereksinimleri sağlanamaz. Bu nedenle anahtar sürücü devrelerinin kullanımı ve tasarımı güç elektroniği çeviricilerinde oldukça önemlidir.

Önyükleme tabanlı anahtar sürücü devrelerinin çalışma prensiplerine göre Şekil 1'de gösterilen C1 önyükleme kapasitörünün enerjilenip üstteki (Q1) anahtarı açabilmesi için sürekli olarak şarj ve deşarj edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle önyükleme tabanlı anahtar sürücü yapılarında üstte bulunan anahtarın tamamen (%100) iletime geçemeyeceği söylenebilir. Eğer C1 kapasitörü, Q2 anahtarı iletimdeyken yeterince şarj edilemezse, Q1 anahtarını açacak gerilimi üzerinde depolayamayacaktır. Bu durum senkron anahtar yapılarında sıklıkla gözlemlenir.

Literatürde ve uygulamalarda [1], [2], [3]'te verilen ve bu problemin çözümü için yaygın olarak kullanılan yöntem ise; Q1 ve Q2 anahtarlarının belirli zaman aralıklarında iletime ve kesime geçirilerek C1 kapasitörünün şarj edilmesini sağlamaktır. Fakat bu çözümün dezavantajları bulunmaktadır. Doluluk oranı değeri, C1 kapasitörünü şarj etmek için yeterli seçilmezse kapasitör yeterince şarj olamayacağı için Q1 anahtarı iletime geçemez. Doluluk oranı değeri fazla seçilirse de anahtarların iletim ve kesimde kalma süreleri artacağı için çevirici alçaltıcı veya yükseltici modda çalışmak yerine alçaltıcı-yükseltici modunda çalışmış olur. Bu durumda dört anahtar da çalışacağı için verimlilik düşer. Ayrıca bu anahtarlama işlemini yapmak kontrol yazılımının ek güç harcamasına sebep olmaktadır.

Mevcut teknikte yapılan araştırma sırasında US20160043642A1 numaralı başvuruya rastlanılmıştır. Başvuru, voltaj dönüştürücüyü kontrol etmek üzere bir önyükleme kontrol devresi ile ilgilidir. Önyükleme kontrol devresi ayrıca, önyükleme voltajı belirlenen eşik değerinden küçükse voltaj dönüştürücünün çıkış voltajını azaltarak önyükleme kapasitörünün şarjını da kontrol eder. Voltaj dönüştürücünün çıkış voltajı yeterince düştüğünde, önyükleme kontrol devresi, önyükleme voltajını yenilemek için yüksek taraf anahtarını ve düşük taraf anahtarını açar ve kapatır. Ancak başvuruda, anahtarlardan birinin sürekli %100 doluluk oranı ile iletimde kalmasını sağlayan bir devre yapısı yer almamaktadır.

Sonuç olarak yukarıda anlatılan olumsuzluklardan dolayı ve mevcut çözümlerin konu hakkındaki yetersizliği nedeniyle ilgili teknik alanda bir geliştirme yapılması gerekli görülmüştür.

Buluşun Amacı

Buluş, mevcut durumlardan esinlenerek oluşturulup yukarıda belirtilen olumsuzlukları çözmeyi amaçlamaktadır.

Buluşun ana amacı, karmaşık anahtarlı devre yapılarına ve ekstra besleme kaynağına gerek duyulmadan önyükleme teknolojili anahtar sürücülerde anahtarlardan birinin tamamen iletimde (%100) olmasını sağlamaktır. Buluş, dijital kontrollü geniş giriş gerilim aralıklı, yüksek güç yoğunluklu ve verimliliğe sahip bir dört anahtarlı senkron alçaltıcı-yükseltici çevirici topolojisinde kullanılmaktadır.

Buluşun yapısal ve karakteristik özellikleri ve tüm avantajları aşağıda verilen şekiller ve bu şekillere atıflar yapılmak suretiyle yazılan detaylı açıklama sayesinde daha net olarak anlaşılacaktır. Bu nedenle değerlendirmenin de bu şekiller ve detaylı açıklama göz önüne alınarak yapılması gerekmektedir.

Referanslar

[1] X. Ren, X. Ruan, H. Qian, M. Li, and Q. Chen, “Three-mode dual frequency two-edge modulation scheme for four-switch buck-boost converter,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 24, no. 2, pp. 499–509, 2009, doi: 10.1109/TPEL.2008.2005578.

[2] R. K. Hester, C. Thornton, S. Dhople, Z. Zhao, N. Sridhar, and D. Freeman, “High efficiency wide load range buck/boost/bridge photovoltaic microconverter,” Conf. Proc. - IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo. - APEC, pp. 309–313, 2011, doi: 10.1109/APEC.2011.5744613.

[3] B. Sun, “Multimode control for a four-switch buck-boost converter,” *Analog Des. J. Power*, pp. 1–6, 2019, [Online].Available:http://www.ti.com/lit/an/slyt765/slyt765.pdf?utm_content=app-hvp-hpc-null-nsl-adj-slyt765wwe&DCMP=mytinwsltr_03_25_2019&userInfo=tFQTEKqNRksdh6X0oJ1E/dw5n8K28TMs9GiCbiBXHHw=&article_name=app_hvp_hpc_adj_multimodebuck&newsletter=24-MAR-19&eloquaCampaignId.

Şekillerin Açıklaması

Şekil 1, (a) C1’in şarj durumunu, (b) C2’nin deşarj durumunu göstermek üzere mevcut teknikteki önyükleme tabanlı anahtar sürücü entegresinin görünümüdür.

Şekil 2, giriş gerilimi için kullanılan devrenin genel şemasıdır.

Şekil 3, buluş konusu devre yapısının görünümüdür.

Şekil 4, anahtar sürücü entegrelerindeki problem için kurulan devrenin benzetimidir.

Şekil 5, alçaltıcı modda çalışan topolojinin A, B, C, D, E noktalarındaki benzetim dalga şekilleridir.

Şekil 6, mod geçişlerindeki anahtar durumlarının görünümüdür.

Çizimlerin mutlaka ölçeklendirilmesi gerekmemektedir ve mevcut buluşu anlamak için gerekli olmayan detaylar ihmal edilmiş olabilmektedir.

Parça Referanslarının Açıklaması

1. Seviye kaydırıcı
2. Üst anahtar sürücü birimi
3. Alt anahtar sürücü birimi

C1, C2, C3: Kapasitör
PWM_LI, PWM_HI: Mikroişlemciden gelen sinyaller
L1-L6: Döngüler
Q1, Q2, Q3, Q4: Anahtar
HB1: Alçaltıcı kısımdaki önyükleme kapasitörünün bağlantı noktası
HB2: Yükseltici kısımdaki önyükleme kapasitörünün bağlantı noktası
SW1: Q1 ve Q2 anahtarı için kesişim noktası
SW2: Q3 ve Q4 anahtarı için kesişim noktası
A, B, C, D, E: Devre düğüm noktaları
D1-D8: Diyot
R1, R2: Direnç
L: Bobin
V_{dd} : Anahtar sürücü besleme gerilimi
V_f : Diyot ileri yönlü gerilim düşümü
V_0 : Çıkış gerilimi
$V_{gs,min}$: Anahtarın açılabilmesi için gerekli gate-source gerilimi
$I_{leakage}$: R_2 direnci üzerinden akan sızıntı akımı
$V_{in,alçaltıcı_min}$: Alçaltıcı modda minimum giriş gerilim değeri
$V_{in,yükseltici_max}$: Yükseltici modda maksimum giriş gerilim değeri
ÇG: Çıkış gerilimi
MD: Mod değişimi

Buluşun Detaylı Açıklaması

Bu detaylı açıklamada, buluşun tercih edilen yapılanmaları, sadece konunun daha iyi anlaşılmasına yönelik olarak ve hiçbir sınırlayıcı etki oluşturmayacak şekilde açıklanmaktadır.

Buluş genel olarak, önyükleme tabanlı anahtar sürücü entegrelerinde, senkron anahtarlardan birinin tamamen doluluk oranı ile sürekli iletimde kalmasını sağlayan bir devre yapısı olup, çeviricinin alçaltıcı veya yükseltici modda çalışmasına göre, değişen giriş gerilim değerini, birleşim noktasından (SW1/SW2) alan iki senkron anahtar (Q1-Q2/Q3-Q4), senkron anahtardan geçen değişen gerilim değerlerini devre içerisinde belirlenen düğüm noktalarında filtreleyip süzen devre yolları, çevirici alçaltıcı modda çalıştığında; filtrelenip süzülen gerilim değerini alarak, üzerinde sabit bir gerilim değeri oluşturulan önyükleme kapasitörü (C1), çevirici yükseltici modda çalıştığında; filtrelenip süzülen gerilim değerini alarak, üzerinde sabit bir gerilim değeri oluşturulan önyükleme kapasitörü (C3) içermektedir.

Şekil 1'de verilmiş olan anahtar sürücü entegresinde C1 kapasitörü önyükleme kapasitör olarak adlandırılır. Ayrıca PWM_LI ve PWM_HI sinyalleri mikroişlemciden gelen giriş sinyalleridir. Temel olarak çalışma prensibi kapasitörün (C1) şarj ve deşarj durumuna göre iki adımda incelenebilir. Şekil 1 (a)'da L2 numaralı döngüde alt anahtar sürücü birimi (3) anahtarı (Q2) iletime sokar. L1 döngüsünde sürücü besleme gerilimi (12V) kapasitörü (C1) anahtar (Q2) üzerinden geçerek şarj eder. L3 döngüsünde ise L bobin enerjisini çıkış tarafına aktarır. Şekil 1 (b)'de ise anahtar (Q1), L4 döngüsünde görüldüğü üzere kapasitör (C1) üzerindeki depolanmış enerjiyle iletime geçer. L5 döngüsü ise üst anahtar sürücü birimi (2) kapasitör (C1) vasıtasıyla anahtarı iletime sokmaktadır. D6 döngüsü ise anahtar (Q1) iletimdeyken besleme geriliminin bobin üzerinden geçerek yüke iletildiğini göstermektedir. Seviye kaydırıcı (1), negatif besleme gerilimi referanslı sinyalleri anahtarların "source" pinlerine referanslı sinyallere çevirir. Alttaki anahtar (Q2) için bu seviye mikroişlemci ile aynıdır ancak üstteki anahtarın (Q1) sinyali onun source bacağındaki gerilime referanslı hale gelmektedir.

Şekil 3'te, buluş konusunda LTspice ortamında kullanılan önyükleme yapılı anahtar sürücü yapısı yer almaktadır. Şekil 3'e göre C1, alçaltıcı kısımdaki anahtar sürücü önyükleme kapasitörünü gösterirken, C3 ise yükseltici kısımdakini gösterir. C1 ve C3 her iki kısım için Şekil 1'de yer alan C1 kapasitörünün görevini üstlenmektedir.

Buluş konusu devre yapısı A ile E noktaları arasında yer almaktadır. A noktası alçaltıcı kısımdaki önyükleme kapasitörünün bağlantı noktasını (HB1) gösterirken, E noktası ise yükseltici kısımdakini (HB2) gösterir. Çeviricinin alçaltıcı modda çalıştığı varsayılmıştır. Kurulan devre yapısındaki temel amaç çevirici alçaltıcı modda çalıştığı zaman yükseltici

kısım üst anahtarını (Q4) tamamen (%100) iletimde, alt anahtarı (Q3) ise kesimde tutabilmektir. Bunu başarabilmek için ise alçaltıcı modda çalışan çeviricideki iki senkron anahtarın birleşim noktası olan SW1'de (Şekil 2) oluşan 0 ile giriş gerilim değeri arasında değişebilen gerilim kullanılmıştır. Bu değişken gerilim değerinin A, B, C, D, E yolları vasıtasıyla filtrelenip, süzülerek yükseltici kısmındaki önyükleme kapasitörü (C1) üzerinde sabit bir gerilim değeri elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu sayede kapasitör (C3) sürekli şarjda tutulacağı için alt kısımda bulunan anahtarın (Q2) belirli periyot aralıklarında iletime girip kapasitörün şarj edilmesine ihtiyaç duyulmaz. Topoloji yükseltici modda çalıştığında, alçaltıcı kısım üst anahtarı (Q1) tamamen iletimde (%100), alt anahtarı (Q2) ise kesimde (%0) olmalıdır. Tasarlanan devre simetrik yapıda olduğu için bahsedilen benzer durum çevirici yükseltici modda çalıştığında, alçaltıcı kısım anahtarları için de geçerli olacaktır. Bu sebeple yükseltici mod çalışması için analiz tekrar verilmemiştir.

Şekil 3'e göre D1 ve D3 diyotlar besleme gerilimine ters yönde akım akmasını engeller. D7 ve D8 diyotları önyükleme kapasitörü ve entegre pinleri üzerinde istenmeyen gerilim oluşması durumunda devreye girerek kutuplar arasındaki gerilimi 15V seviyesinde tutar. D4 ve D2 diyotları alçaltıcı kısım anahtarları çalışırken (çevirici yükseltici modda çalıştığında) SW1'de oluşan gerilimin yükseltici kısımdaki önyükleme kapasitörüne (C3) iletilmesini sağlar ve ters yönlü akım geçişini engellerler. D5 ve D6 diyotları yükseltici kısım anahtarları çalışırken (çevirici alçaltıcı modda çalıştığında) SW2'de oluşan gerilimin alçaltıcı kısımdaki önyükleme kapasitörüne (C1) iletilmesini sağlar ve ters yönlü akım geçişini engeller. R1 direnci D4 ve D6 diyotlarına ait kesişim noktasında kullanılarak kalkış (inrush) akımını limitlemek için kullanılır. R1 direncine seri olarak bağlanan R2 direnci ve C2 kapasitörü birlikte kullanılarak alçak geçiren filtre görevinde kullanılmaktadır. R2 direnci $(R_{2,charge})$ üzerinden akan sızıntı (leakage) akımını belirler. Her iki çalışma modundaki akımı karşılayacak şekilde seçilmelidir. Her iki mod için Denklem 1.1 ve Denklem 1.2'de bulunan $(R_{2,charge})$ değerinden küçük olanı seçilerek tasarımda kullanılır.

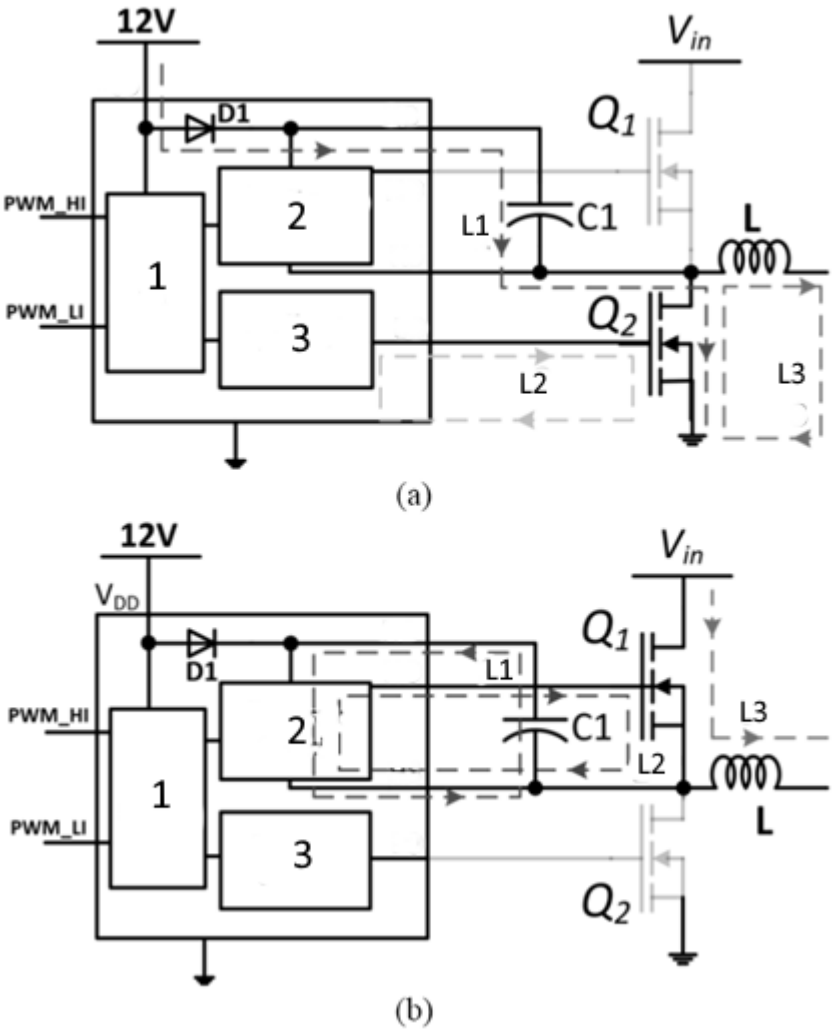
Alçaltıcı çalışma modu için:

$$R_{2,charge,alçaltıcı} = \frac{V_{in,alçaltıcı_{min}} + V_{dd} - 2V_f - V_O - V_{gs,min}}{I_{leakage}} \qquad (1.1)$$

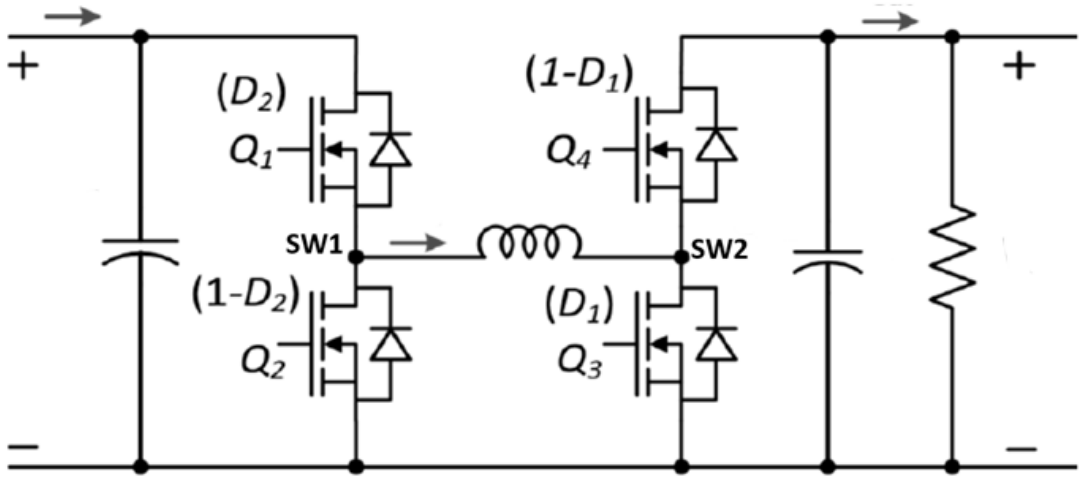
Yükseltici çalışma modu için:

$$R_{2,charge,yükseltici} = \frac{V_O + V_{dd} - 2V_f - V_{in,yükseltici_max} - V_{gs,min}}{I_{leakage}} \quad (1.2)$$

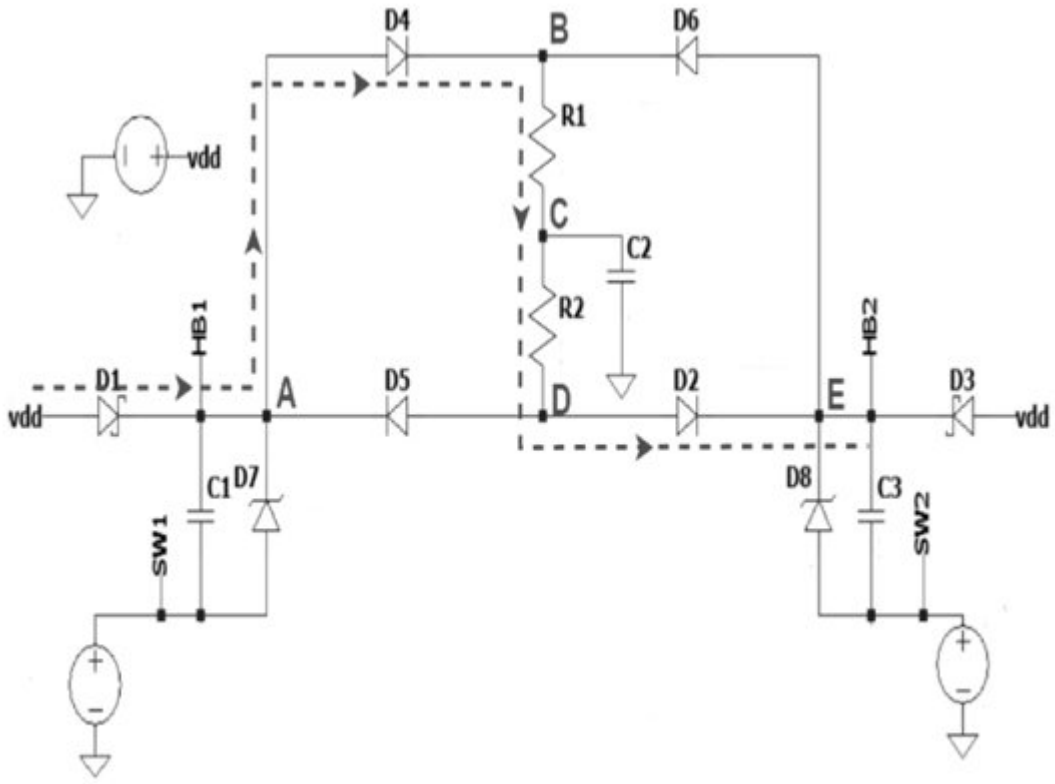
Şekil 3'te tasarlanan devre yapısının benzetim sonuçları Şekil 4 ve 6'da verilmiştir. Buna göre alçaltıcı modda çeviricinin üst anahtar ile alt anahtarın birleşim noktası yani SW1, A anahtarlama noktasında 0 ile giriş gerilimi değeri arasında değişkenlik gösteren gerilim süzülerek, E noktasında yani yükseltici kısmı önyükleme kapasitörü (C3) üzerinde ve HB2 noktasında sabit bir gerilim oluşturulmuştur. Bu sayede yükseltici kısmı üst anahtarının (Q4) %100 iletime, alt anahtarın (Q3) ise kesime girmesi sağlanarak bobin üzerindeki enerjinin alçaltıcı kısım anahtarlarına (Q1, Q2) bağlı olarak çıkışa aktarılması sağlanmıştır. Uygulamada aşamasında Şekil 6'da mod değişimine bakıldığında tüm Q1 ve Q3 anahtarları aynı anda anahtarlama yaptığı için 1, alçaltıcı-yükseltici modu gösterirken; 0 ise sadece Q1 anahtarı anahtarlama yaptığından dolayı alçaltıcı modun çalıştığını gösterir. Alçaltıcı-yükseltici moddan alçaltıcı moda geçerken anahtarlamalarda problem olmadığı önyükleme kapasitörün sürekli şarjda kalarak anahtarlamanın düzgün bir şekilde yapıldığı sonucuna ulaşılabilir.


12V
V_{in}
D1
Q_1
PWM_HI
2
L1
C1
L
1
PWM_LI
3
Q_2
L2
L3
(a)
12V
V_{in}
V_{DD}
Q_1
D1
L1
PWM_HI
2
C1
L3
L2
1
PWM_LI
3
L
Q_2
(b)

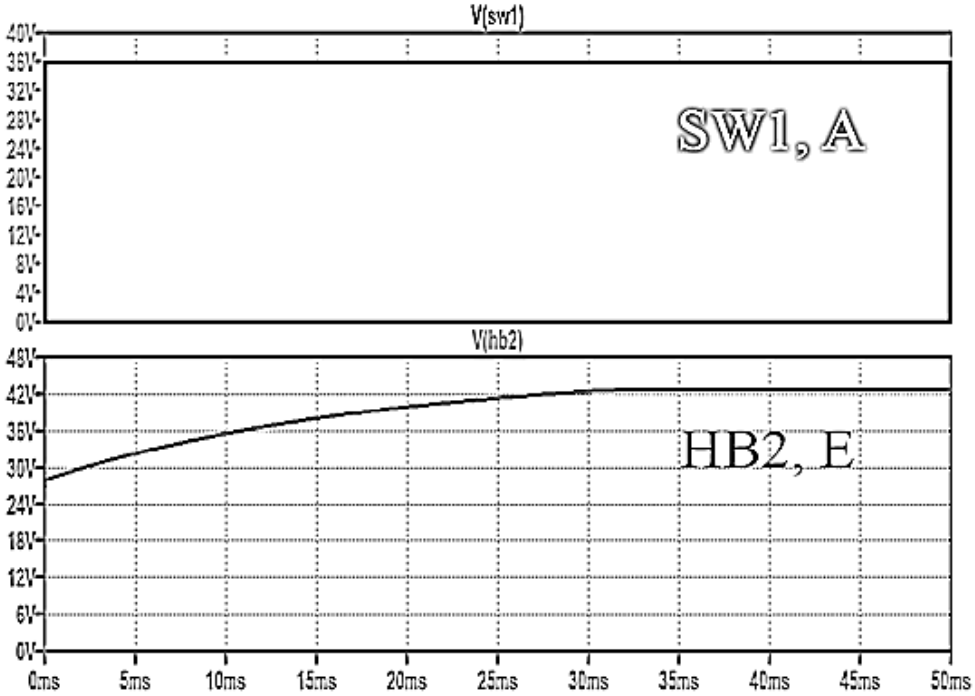
Şekil 1



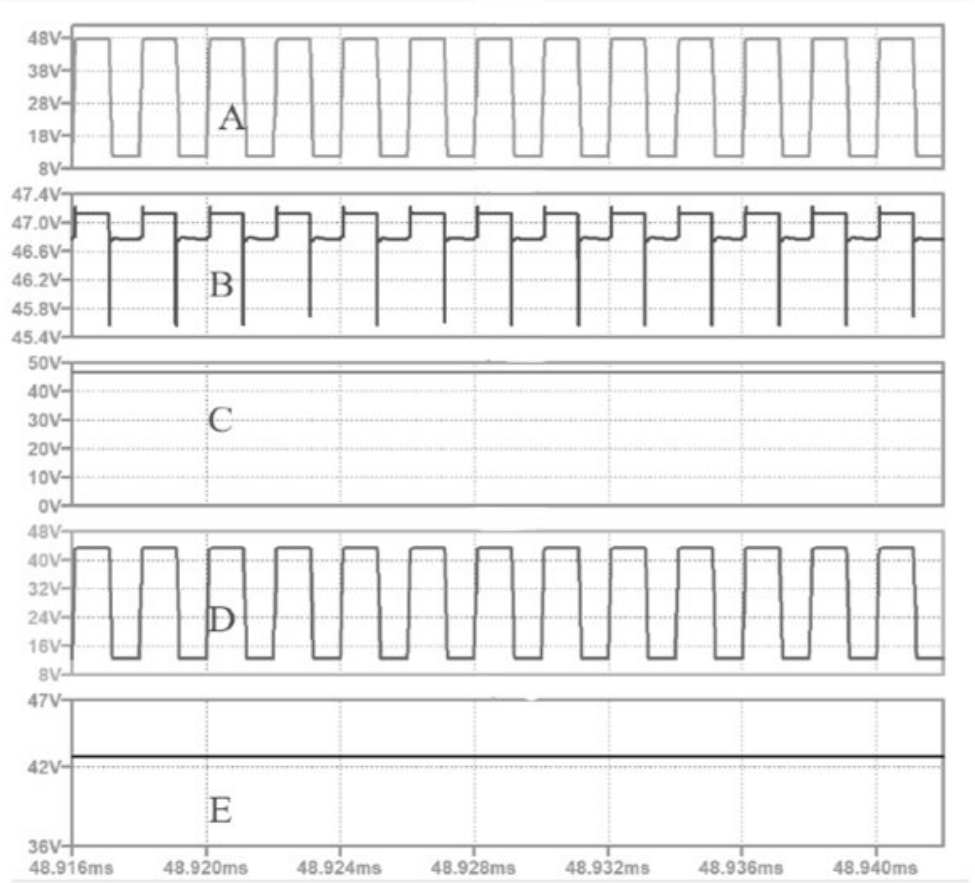
Şekil 2



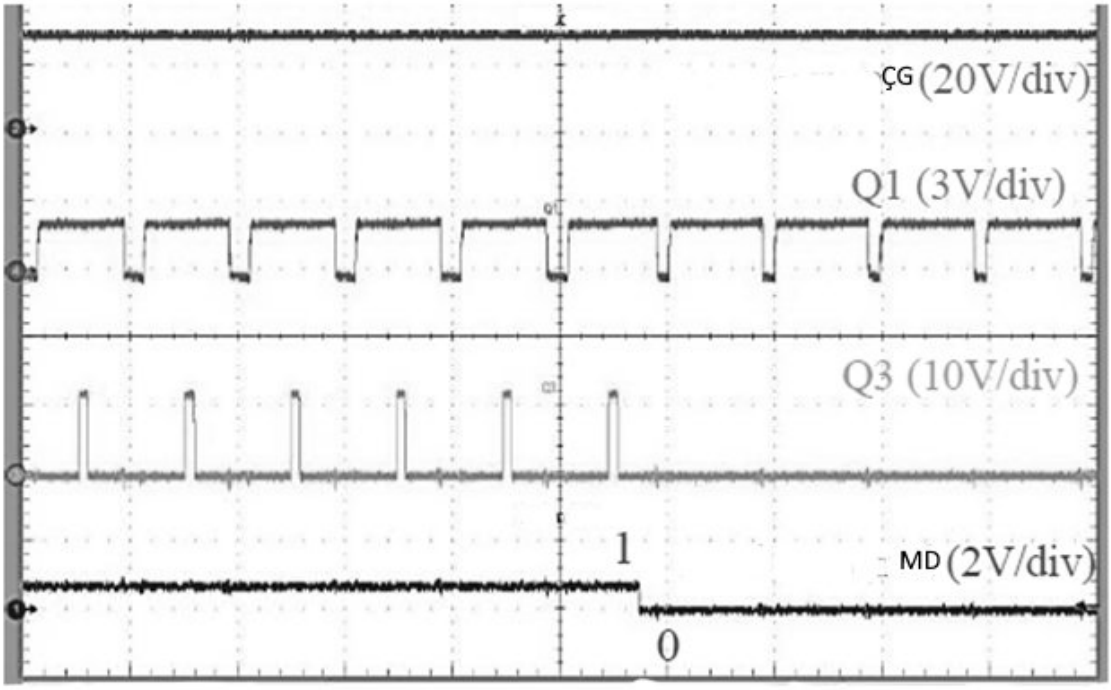
Şekil 3



Şekil 4



Şekil 5



Şekil 6