

Seri Bağlantılı LED Armatürlerin Senkron DC-DC Dönüştürücü Kullanılarak Işık Şiddeti Kontrolü

The Light Intensity Control of Series Connected LED Lamps using Synchronous DC-DC Converter

Barış PİRÇİ¹, M. Zeki BİLGİN¹, Tarık ERFİDAN¹

¹Elektrik Mühendisliği Bölümü

Kocaeli Üniversitesi

baris.pirci@hotmail.com, bilgim@kocaeli.edu.tr, tarik@kocaeli.edu.tr

Özet

LED teknolojilerindeki son gelişmeler ile, LED'lerin konutlarda, endüstriyel ve ticari alanlarda, karayolu, hava alanı pisti, tünel aydınlatmaları gibi uygulamalarda klasik lambalar yerine kullanımı mümkün hale gelmiştir. Özellikle karayolu ve uçak pisti aydınlatmalarında LED'lerin ışık parlaklığı ve rengi sürücü ve pilotlar için önemlidir. Sürüş güvenliği için tüm LED'lerin ışık parlaklığı ve rengi eşit olmalıdır. Bu sebeple sabit parlaklık için DA-DA dönüştürücü kullanılarak LED akımları kontrol edilmelidir. Basit akım geri beslemesine sahip senkron DA-DA dönüştürücü bu iş için uygundur. Bu makalede, LED'ler için PID akım kontrollü senkron DA-DA dönüştürücü önerilmiştir. Sistemin MATLAB/Simulink'te modelleme ve benzetimi yapılmıştır.

Abstract

Due to the recent advancement in the LED technology, LEDs becomes possible in residential, industry and commercial applications to replace the conventional lamps in general illumination, such as, runway, street, tunnel lighting. Especially runway and street applications, LED's brightness and colours are primary importance for drivers and pilots. All LEDs must have same brightness and colour for driving safety. Thus, LED currents must be controlled for constant brightness using DC-DC converter. A synchronous DC-DC converter is particularly suitable for this work with simple current feedback control. In this paper, the current controlled synchronous DC-DC buck converter with PID controller for LEDs is proposed. The system is modelled and simulated using MATLAB/Simulink.

1. Giriş

Günümüzde yaşam standartlarının yükselmesi ile aydınlatmaya bakış değişmiş, hem dekoratif hem de özel ve hassas aydınlatma uygulamaları artmıştır. Ampul ve LED teknolojisindeki gelişmeler, yeterli kalitede ve verimde aydınlatma konusunda çalışmaları artırmıştır [1,2].

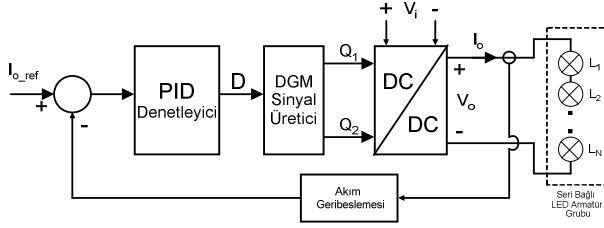
Özellikle LED teknolojilerindeki gelişmeler paralelinde üretilen LED armatürlerin kullanılmaya başlanması ile aydınlatma konusu yeni bir boyuta taşınmış ve LED'ler dekoratif aydınlatmanın dışında her tür uygulamada kullanılmaya başlamıştır. Yüksek ömür ve ışık verimliliği, ışık rengi ve şiddetinin ayarlanabilmesi, çok hızlı bir şekilde açılıp kapanması gibi özellikleri LED'leri ön plana çıkarmıştır.

Son yıllarda hava alanı uçuş pistleri aydınlatmasında da LED armatür kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Aydınlatılan alanda homojen bir ışık şiddeti oluşturmak ve armatürlerin parlaklıklarını eşit yapmak bazı uygulamalar için çok önemlidir. Hava alanı pistleri gibi, uzaktan bakıldığında farklı parlaklıkta armatürlerin görüşe zarar verdiği uygulamalarda da tüm armatürlerin aynı parlaklıkta yanması istenir. Bu da ancak eşdeğer armatürlerden eşit akım geçirerek yapılır. Bunun için armatürler birbirlerine alışılmışın aksine seri bağlanmalıdır. Seri bağlı armatürlerin akımının sabit tutulması için özel güç elektroniği devreleri kullanılır. Ayrıca seri bağlı armatürlerin birinin zarar görmesi ile tüm armatürlerin devre dışı kalmasının önlenmesi gerekmektedir.

LED'lerden istenilen şartlarda ışık alabilmek için, LED sürücü devreleri kullanarak akımlarının sabit tutulması gereklidir. LED sürücü devreler çoğunlukla DA-DA dönüştürücüler, yani yarı iletken güç elemanları içerirler. Sabit ışık şiddeti için değişken giriş gerilimi ve yük durumunda bile dönüştürücünün çıkış akımı geri beslemeli bir kontrolcü kullanarak anlık olarak sabit tutulmalıdır. Bu çalışmada, seri bağlı LED armatürlerde sabit ışık şiddeti üretmek için senkron tip bir DA-DA dönüştürücünün PID denetleyici ile kontrolü sağlanarak değişken şartlarda sabit akımda çalışması sağlanacaktır. Karşılaştırma yapmak amacı ile denetimsiz diyotlu DA-DA dönüştürücü ve denetimsiz senkron dönüştürücü benzetim sonuçları da verilmiştir.

2. Sistem Tanımlama

Oluşturulan denetim sistemi prensip şeması Şekil 1'de verildiği gibidir.



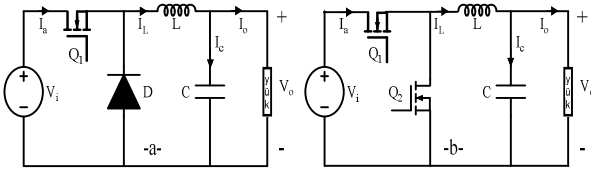
Şekil 1: Sistemin prensip şeması

Sistem 3 ana parçadan oluşmaktadır. Bunlar DA-DA dönüştürücü, PID denetleyici ve LED armatürlerdir.

2.1. DA-DA Dönüştürücü

Doğru akım dönüştürücüler doğru gerilimi yine bir doğru gerilime dönüştürürler. Endüktanslı ve transformatörlü olmak üzere iki genel gruba ayrılmaktadırlar. Endüktanslı dönüştürücülerin, düşürücü (buck), yükseltici (boost), düşürücü-yükseltici (buck-boost) tipleri, transformatörlü dönüştürücülerin ise, geri dönüşlü (fly back), ileri yönlü (forward), tam köprü (full bridge), yarım köprü (half bridge) ve push-pull tipleri vardır[4].

Prototip tasarımda, 24 Volt DC besleme gerilimini, 0.7A'lık sabit akımda 3 adet 3'er Watt'lık Power LED'i sürmek için ihtiyaç duyulan 12.85 V DC gerilimine indirmek için düşürücü tür bir DA-DA dönüştürücü kullanımı gerekmektedir. Farklı düşürücü tip dönüştürücüler literatürde önerilmiştir. Bunlardan bu çalışmada kullanılan, diyotlu tip ve senkron tip dönüştürücü temel devre şeması Şekil 2'de verildiği gibidir.



Şekil 2: a- Diyotlu, b- senkron düşürücü tip dönüştürücü.

DA-DA dönüştürücülerde gerilim kontrolü yaygın olarak Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) yöntemi ile kolayca yapılır. Basit olarak, testere dişi bir sinyal ile sabit bir kontrol geriliminin karşılaştırılarak anahtarlama sinyali üretimine dayanır. Çıkış gerilimi değeri, doluluk oranı olarak tanımlanan D'nin değiştirilmesi ile kontrol edilir [5].

$$V_o = D \cdot V_i \quad (1)$$

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T_s} \quad \text{ve} \quad 0 \leq D \leq 1 \quad (2)$$

Burada, V_i giriş gerilimi, V_o çıkış gerilimi, t_{on} , Q_1 anahtarının iletimde olduğu, t_{off} anahtarın kesimde olduğu süre, T_s ise anahtarlama periyodudur.

Diyotlu dönüştürücülerin verimleri, yüksek akım ve düşük çıkış gerilimlerde düşük olmaktadır. Senkron tip dönüştürücülerde diyot yerine ikinci bir aktif anahtar kullanılmaktadır. Aktif anahtarlama elemanları olarak, iletim direnci çok düşük ve gerilim düşümü düşük olan MOSFET'lerin kullanılması ile düşük gerilim yüksek akım

uygulamalarında senkron dönüştürücülerin verimi yüksek olacaktır. Bu sebeple yüksek akımlı uygulamalarda tercih edilmektedir [6-9].

Çalışma prensibi klasik düşürücü tip DA-DA dönüştürücü ile aynıdır. Ancak diyot yerine Q_2 aktif anahtar kullanıldığı için 2 anahtar kontrol edilmelidir ve Q_1 ve Q_2 için tetikleme sinyalleri birbirinin tersi olmalıdır. Senkron düşürücü tip dönüştürücü devresinde Q_1 anahtarı iletimdeyken kaynaktan gelen enerji endüktans akımını sabit bir eğimle artırırken, anahtarın kesime sokulmasıyla, endüktans akımı Q_2 anahtarı iletime sokularak üzerinden akıtılır. Dönüştürücüde kullanılan bobin ve kondansatör değerleri çıkış akım ve geriliminin dalgalılığı ile çalışma frekansına göre uygun hesaplanmalıdır. Çalışma için uygun endüktans değeri %10 dalgalılık için (3)' den ile hesaplanabilir.

$$L = D(1 - D) \frac{V_i}{\Delta I_L \cdot f_s} \quad (3)$$

Burada, V_i giriş gerilimi, f_s anahtarlama frekansı, L bobin endüktansdır. Bobin akımında %10'luk dalgalanma, anahtarlama frekansı $f_s=100$ kHz için bobin endüktansı $L=852.8$ μ H olarak hesaplanmıştır.

Şekil 2'deki devrelerden, $I_c=I_L=I_o$ olduğundan, kondansatörün dolması ve boşalması tamamen endüktans akımındaki dalgalanmaya bağlıdır. Kondansatör geriliminde istenen dalgalanma miktarına göre kondansatör değeri (4) denkleminde hesaplanabilir.

$$C = \frac{\Delta I_L}{8 \cdot f_s \cdot \Delta V_c} \quad (4)$$

Çıkış geriliminde %0.1'lik dalgalanma için kondansatörün değeri, $C=6.8$ μ F olarak hesaplanmıştır.

2.2. PID Denetleyici

Kapalı çevrim denetim sistemi içinde denetleyicinin görevi referans giriş büyüklüğü ile çıkış büyüklüğü arasında oluşan hata değerine ve kendi yapısına bağlı olarak uygun bir denetim sinyali üretmektir.

Dönüştürücünün değişken besleme gerilimlerinde ve değişken yük değerlerinde sabit akım çıkışı verebilmesi ancak sisteme bir denetleyicinin ilavesi ile mümkün olabilecektir. Bu çalışmada kontrolcü olarak PID denetleyici kullanılmıştır. Şekil 1'den de görüleceği üzere PID denetleyici sabit akımı sağlayacak doluluk oranı(D)'nın türetilmesi için kullanılmıştır. Literatürde PID katsayılarının hesabı için farklı yöntemler önerilmiştir [9-12]. PID katsayılarının hesaplamasına burada değinilmeyecektir.

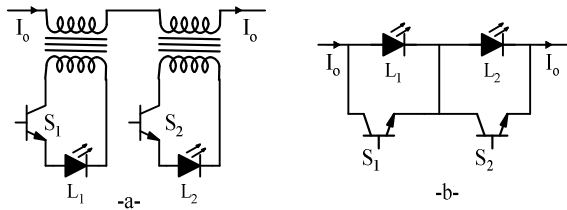
PID denetleyicinin çıkış bilgisi darbe genişlik modülasyonu üreticinin girişine uygulanmaktadır. Darbe genişlik modülasyonu üretici, birbiriyle zıt iletime giren ve eş zamanlı çalışan Q_1 ve Q_2 anahtarları için uygun tetikleme sinyallerini üretmektedir.

2.3. Yük Seçimi

Tasarlanan dönüştürücünün çıkışına yük olarak seri 3 adet her biri 3 W'lık Power LED bağlandığı ve 700 mA sabit akımla

sürüldüğü düşünülmüştür. Ancak aydınlatma amaçlı kullanılacak armatür, isteğe ve ihtiyaca göre farklı kombinasyonlarda ve çok sayıda Power LED kullanılarak tasarlanabilir. Özellikle LED Aydınlatma armatürünü oluşturan Power LED'lerin paralel ve seri bağlanmaları ile armatür akımı yüksek değerlere çıkabilir. Bu durumda dönüştürücü çıkış akımı tek bir armatür akımına eşit seçilerek çalıştırılabilir

Çalışmada LED grubu, seri bağlı olduğu için sabit tutulması gereken çıkış akımı değeri de 700 mA olacaktır. Ancak farklı akım değerlerine de kolayca uyarlanabilmektedir. Power LED modeli yerine, $R = 6.122 \text{ ohm}$ 'luk bir direnç eşdeğer olarak kabul edilip bağlanmıştır. Burada Power LED'lerin lineer olmayan modeli kullanılmayıp basit modeli kullanılmıştır. Amaç sabit akımı yakalamaktır. Gerekirse lineer olmayan LED modeli de kolayca uyarlanabilir. Seri bağlı LED'lerin istenilen anda iletimden çıkarılması için devrede LED'lere seri/ paralel aktif anahtarlar yerleştirilmiştir. Böylelikle oluşturulan anahtarlama gruplarıyla LED'ler 1, 2, 3 adet devrede seri yük olarak kalabileceklerdir. Böylece devreyi tasarlama amaçlarından biri olan değişken yük değerlerinde sabit akım çıkışını gözlemleme imkânı oluşacaktır. Seri devrelerde herhangi bir elemanın devreden çıkması ile tüm devrenin akımının kesilmesini önlemek için alternatif yapılar da vardır. LED'leri devreden çıkaran örnek seri/paralel 2 anahtarlama yapısı Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3: Farklı seri bağlantı yapıları, a-paralel, seri anahtar.

Çalışmada yük değişimini sağlamak için S_1 ve S_2 anahtarları manuel olarak iletime sokularak LED'ler devreye alınmaktadır. S_1 ve S_2 anahtarlarının denetimi ilgili analiz yapılmamıştır.

3. Sistemin Modellenmesi ve Benzetimi

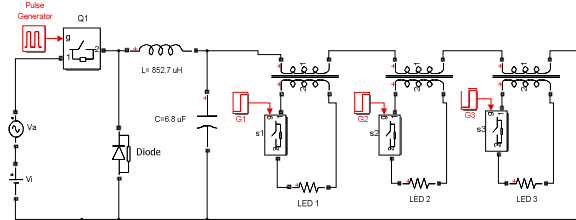
Bu çalışmada, değişken yük ve değişken besleme gerilim altında seri bağlı LED grubunu sabit akımla çalıştırılmasını amaçlayan bir düşürücü tip senkron DA-DA dönüştürücü devresinin simülasyonu yapılmıştır. Çıkış gücü düşük olduğundan, senkron düşüren (buck) türü bir topoloji seçilmesi, verim açısından daha uygun görülmüştür. Devrenin değişken yük ve değişken gerilim altında sabit akım çıkışı verebilmesi için, devrenin denetimi PID denetleyici ile sağlanmaktadır. Değişken yüklerin oluşturulması için devredeki herhangi bir yükün açık devre edilmesi durumunda, yükler seri bağlı olduğu için devrede açık devre olacaktır. Devrede herhangi bir yük açık devre olsa bile devrenin enerjisinin kesilmemesi için Şekil 3-a deki yapı kullanılmıştır. Böylece herhangi bir arıza durumunda devre akımı kesilmeyecektir.

Modelleme 3 ayrı çalışma durumunda gerçekleştirilip sonuçlar karşılaştırılmıştır. İlk olarak yük denetimiz diyotlu

dönüştürücü üzerinden beslenerek sonuçlar alınmıştır. İkinci olarak denetimsiz senkron denetleyici ile yük beslenmiş ve aynı şartlarda sonuçlar elde edilmiştir. Son olarak PID denetimli senkron denetleyici ile yük beslenmiş ve tüm olası şartlarda istenilen sabit akımda çalışma sağlanmaya çalışılmıştır.

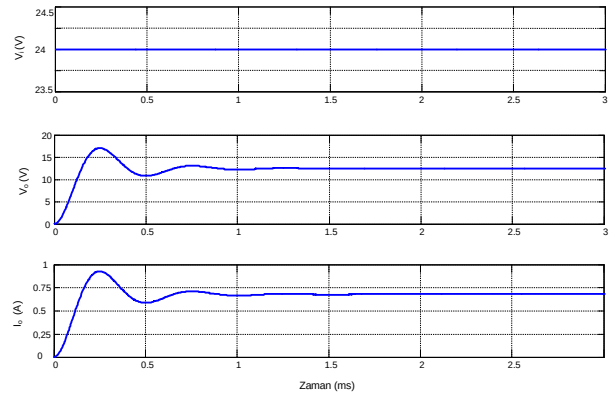
3.1. Diyotlu Dönüştürücü Benzetimi

MATLAB/Simulink'te ilk olarak Şekil 4'de görülen denetimsiz ve pasif anahtarlı (diyot) dönüştürücü devresi kurulmuştur. Devrenin çıkışında bulunun 3 adet seri bağlı Power LED grubunu 700 mA çıkış akımında çalıştırmak istenmektedir. Giriş gerilimi $V_i = 24 \text{ Volt}$ olduğunda çıkış gerilimi $V_o = 12.86 \text{ Volt}$ olacağından doluluk oranı $D = 0.535675$ olarak hesaplanmıştır. Giriş gerilimi 24 V DC olarak belirlenmiş olmasına rağmen PID denetimli senkron dönüştürücünün değişken giriş gerilimlerinde test edebilmek için giriş gerilimine $V_a \cdot \sin(\omega t)$ değerinde bir değişken gerilim eklenmiştir. Burada $V_a = \pm 20\% V_i$ genliğinde bir gerilimdir.



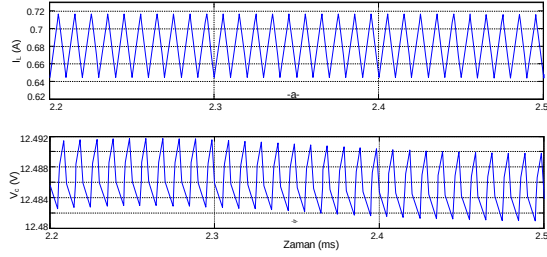
Şekil 4: Pasif Anahtarlı ve Denetimsiz DA-DA Düşürücü (Buck) Dönüştürücü

Şekil 5'ten çıkış akımının 700 mA yerine yaklaşık 680 mA olduğu görülmektedir. Akım düşük olduğu için diyot üzerinde düşen gerilim tolere edilebilecek değerdedir. Yüksek akımlarda etkisi daha büyük olmaktadır.



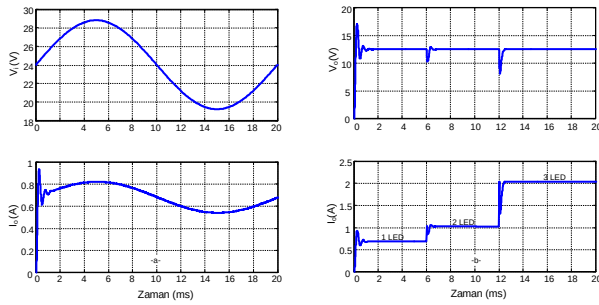
Şekil 5: Diyotlu ve denetimsiz dönüştürücü çıkış dalga şekilleri

Şekil 6.a ve b'de sırasıyla bobin akımının ve kondansatör gerilimi değişimi verilmiştir. Beklendiği gibi akım için $\Delta I_L = 0.0723 \text{ A}$, kondansatör için ise $\Delta V_C = 0.0088 \text{ V}$ dalgalanma görülmüştür.



Şekil 6: Diyotlu ve denetimsiz dönüştürücü için , a- bobin akımı, b-kondansatör gerilimi değişimi.

Yük akımının değişimi, değişken giriş gerilimlerinde Şekil 7-a'da, değişken yük durumunda ise Şekil 7-b'de verilmiştir.

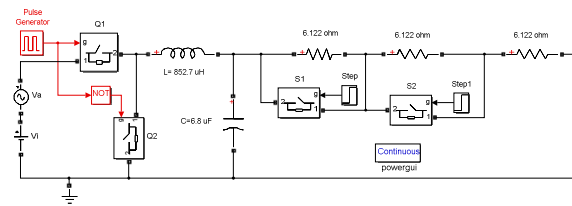


Şekil 7: Pasif anahtarlı ve denetimsiz dönüştürücünün dalga şekilleri, a-değişken giriş gerilimi, b-değişken yük

Şekil 7'den görüldüğü üzere, yük ve giriş gerilimi değişimlerinde çıkış akımının sabitliği korunamamaktadır.

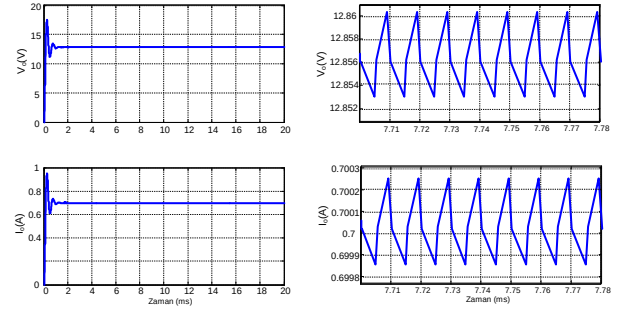
3.2. Denetimsiz Senkron DA-DA Düşürücü Benzetimi

Şekil 8'de görüldüğü gibi denetimsiz ve senkron anahtarlı dönüştürücü devresi diyot yerine Q_2 anahtarı kullanılarak MATLAB/Simulink 'te kurulmuştur. Devrenin yükü aydırdı ve 700 mA için $D=0.535675$ yapılmıştır.



Şekil 8 : Denetimsiz Senkron DA-DA Düşürücü

Giriş geriliminin ve yüklerin sabit olduğu durumda yük gerilimi ve yük akımı Şekil 9'daki gibi oluşmuştur. Çıkış geriliminde 12.856 V, çıkış akımında ise 700 mA olarak gözlenmiştir. Böylece diyotun üzerinde tuttuğu gerilim nedeniyle oluşan hata bu devrede gözlemlenmemiştir. Bu nedenle çıkışında herhangi bir gerilim düşümü istenmeyen devrelerde diyot yerine, Q_1 ile senkron çalışan ve ters tetiklenen Q_2 anahtarının kullanılmasının faydası görülmüştür.

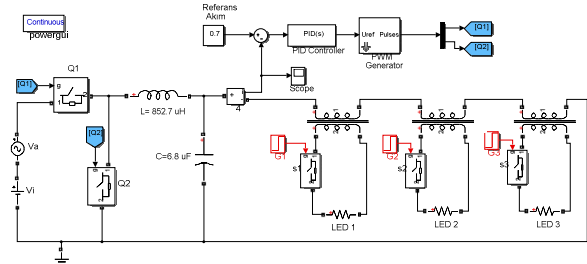


Şekil 9: Denetimsiz senkron dönüştürücü çıkış dalga şekilleri.

Bobin akımında $\Delta I_L=0.07A$ lik, kondansatör geriliminde ise $\Delta V_C=0.011575V$ bir dalgalılık oluşmuştur. Aktif anahtar kullanılarak istenilen dalgalılık yakalanmış, verimlilik artırılmış olmasına rağmen denetimsiz olduğu için değişken giriş gerilimleri ve değişken yüklerde sabit akım çıkışı veremeyeceği ve Şekil 7'deki değişimlere benzer çıkış vereceği açıktır. Bu eksikliği gidermek için sisteme bir kontrolcü eklenmelidir. Bu çalışmada kontrolcü olarak PID kullanılmıştır.

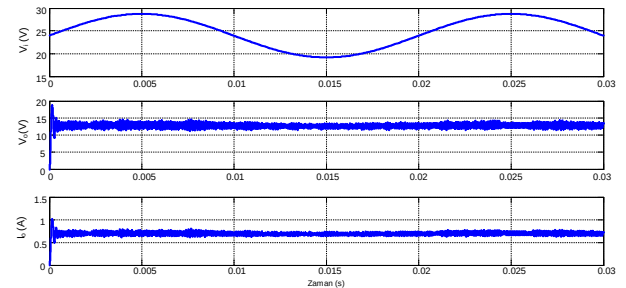
3.3. PID Denetimli Senkron DA-DA Düşürücü Benzetimi

PID denetleyici eklenmiş sistemin MATLAB /Simulink modeli Şekil 10'daki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 10: PID Denetimli Senkron DA-DA Dönüştürücü.

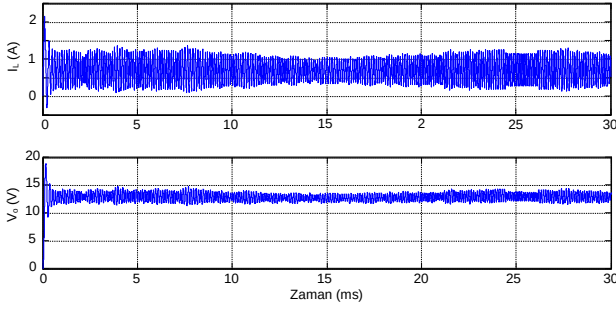
PID denetleyicinin parametrelerinin ayarlanması farklı yöntemlerle yapılabilmektedir[10,11]. burada bu yöntemler anlatılmayacaktır. PID Denetleyicinin katsayıları için $K_p=16.2832$ $K_i=9.2747$ $K_d=38.9677$ değerleri kullanılmıştır. Şekil 11'de değişken giriş geriliminde ve sabit yükte alınan sonuçlar verilmiştir.



Şekil 11: Değişken giriş gerilimi ve sabit yükte dalga şekilleri.

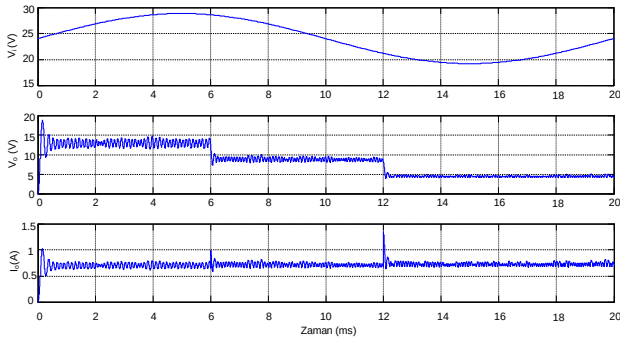
Şekil 11'den, giriş geriliminin değişken olduğu durumda, yük akımının $I_o=0.6977A$, çıkış geriliminin ise 12.814 V olduğu görülmektedir. Çıkış akımında hata PID parametreleri

bulunurken çıkış grafiğinin elde edilmesi için sınırladığımız alanlar ve belirlediğimiz oturma değeri yüzdesi değerinden kaynaklanmaktadır. Bobin akım ve gerilimi ise Şekil 12’de gösterildiği gibidir.



Şekil 12: PID denetimli senkron dönüştürücüde bobin akım ve kondansatör gerilim

Şekil 13’te LED’lerin kademeli olarak devre dışı bırakılarak yükün değiştirilmesi durumunda çıkış akımının değişimi verilmiştir. İlk LED $t=6\text{ms}$ ’de açık devre, ikinci LED $t=12\text{ms}$ ’de açık devre yapılması ile devrede tek LED bırakılmıştır. Şekilden de görüleceği üzere PID denetleyici yükün değişmesi durumunda da çıkış akımını istenilen referans değere getirmeyi başarmıştır. Yükün devreden çıkma anlarında akımda geçici dalgalanmalar yaşanmıştır. Bu devrede var olan bobin ve kondansatörlerin geçici durumlarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 13: PID denetimli senkron dönüştürücüde değişken yüklerde çıkış dalga şekilleri

Şekil 12 ve Şekil 13’den görüldüğü üzere PID Denetimli Senkron DA-DA Düşürücü tip dönüştürücü kullanılması ile, değişken giriş gerilimi ve değişken yüklerde sabit akım çıkışı vermeyi başarmıştır. Değişken giriş gerilimi ve özellikle değişken yük durumlarına sahip sistemlerde devrenin kullanılabileceği görülmüştür. Özellikle çalışmaya konu olan sabit parlaklıkta çalıştırılmak istenen seri bağlı LED armatürlerin beslenmesinde kullanımı faydalı olacaktır.

4. Sonuçlar

Seri bağlı LED armatürlerden eşit parlaklıkta ışık alabilmek için değişken giriş gerilimi ve değişken yük durumunda bile devrenin akımının sabit olması istenmektedir. LED armatürler seri bağlı olduğu için akımı sabit tutmak için armatür gücüne de bağlı olarak gerilim değeri yüksek seviyelere çıkabilir. Ayrıca LED’lerden bazılarının çalışma sırasında arızalanması

ile yük değişimleri oluşabilir. Tüm şartlarda seri LED armatürlerin akımlarını sabit tutmak için DA-DA dönüştürücü kullanımı gerekmektedir.

Çalışmada belirlenen seri LED armatürler için farklı DA-DA dönüştürücü ve kontrol yapıları incelenmiştir. İlk olarak klasik diyotlu düşürücü tip dönüştürücü kullanılmıştır. Bu tip dönüştürücüde özellikle yüksek akımlı ve düşük gerilimli çalışmalarda verimin düşük olduğu ve hedef akıma tam ulaşamadığı görülmüştür. İkinci olarak senkron tip DA-DA düşürücü tip dönüştürücü kullanımı incelenmiş, MOSFET anahtar kullanılması ile verimin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak denetimsiz yapılarda değişken giriş gerilimi ve/veya değişken yüklerde sabit akımın sağlanamadığı görülmüştür. Son olarak verimi yüksek olan senkron dönüştürücüye PID denetleyici eklenmiştir. Benzetim sonuçlarından PID denetimli senkron dönüştürücü ile kontrol edilen seri bağlı LED armatürlerin her şartta istenilen referans akımı sağladığı görülmüştür.

Seri bağlı aydınlatma armatürlerinde bir armatürün arızalanması durumunda diğer armatürlerin etkilenmemesi için trafolu bir yapı kullanılmıştır. Trafoların gerek maliyeti ve gerekse boyutları sebebi ile sonraki çalışmalarda alternatif çözümler araştırılabilir.

5. Kaynaklar

- [1] Yeğin E. M., Bilgin M. Z., “Kocaeli Bölgesi Sokak Aydınlatmalarında LED Armatür Kullanımının Enerji Verimliliği ve Maliyetine Etkisi, II. Ulusal tesisat Müh. Kongresi, 2011
- [2] Bayrak T., Bilgin M.Z., Albayrak B.,” Gaz Deşarjlı Aydınlatma Armatürleri ile LED Aydınlatma Armatürlerinin Meydana Getirdikleri Harmonikler Açısından Kıyaslanması, Eleco 2012.
- [3] S. Cha ; D. Park,; Y. Lee , et.al. , “AC/DC converter free LED driver for lightings “, IEEE Int. Conference on Consumer Electronics (ICCE), Berlin, 2012
- [4] Rashid M., H.,” Power Electronics Circuits Devices and Applications, Prentice Hall, Inc, 1993.
- [5] Erfidan,T.,Çoruh N., Ürgün,S.,“DA-DA Boost Dönüştürücü Tasarımı ve Gerçeklenmesi “,*Eleco 2008*,
- [6] Baranwal, S . K., Patra A., Culpepper B., “Self Oscillating Control of a Synchronous DC-DC Buck Converter”, *35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*,2004. Germany,
- [7] XU ZHANG , “Digital Control Techniques for DC-DC Synchronous Buck Converters, Phd. thesis, University of Colorado, 2010
- [8] Sahin, M. E., "Senkron Buck Dönüştürücü ile Elektroliz Olayının Gerçekleştirilmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [9] Aydoğdu Ö., “Optimal-Tuning of PID Controller Gains Using Genetic Algorithms”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Müh. Bilimleri Dergisi*, 2005
- [10] Grassi E., Tsakalis K., “PID Controller Tuning by Frequency Loop Shaping”, *Proc.of the 35th Conference on Decision and Control*, Japan , December 1996
- [11] Ang K.H, Chong G., “PID Control System Analysis”, Design and Technology, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, July 2005