

# DSP TEMELLİ DA-DA DÜŞÜRÜCÜ ÇEVİRİCİ TASARIMI VE UYGULAMASI

Murat ULUĞ\*, Okan BİNGÖL

## Özet

Günümüzde Darbe Genişlik Modülasyon (PWM) tekniği ile kontrol edilen DA-DA çeviriciler, hızlı geçiş cevabı ve kontrol kolaylığı nedeniyle endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada DSP temelli DA-DA düşürücü çevirici tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sistemin çalışması için gerekli anahtarlama sinyali eZdsp TMS320F2812 DSK işlemcisi tarafından üretilmektedir. DA-DA düşürücü çevirici çıkış gerilim değerindeki değişiminin PWM sinyaline bağlı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca eZdsp TMS320F2812 geliştirme kartı ile ilgili belli başlı işlemlerin nasıl gerçekleştirileceği açık kodları ile birlikte incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** DA-DA Çevirici, PWM, DSP

## DESIGN AND IMPLEMENTATION OF DSP BASED FOR DC-DC BUCK CONVERTERS

### Abstract

Nowadays, DC-DC converters are used very common in industrial applications. Among the DC-DC converters, Because of power intensity, fast switching response and ease of control, Converters controlled with Pulse Width Modulation (PWM) technique are preferred more commonly. One of the DC-DC converters controlled with PWM technique, buck converter is an electronic circuit which converts input voltage to a lower output voltage. In this study, digital signal processors (DSP) which featured with capability of making fast processing between microprocessors and microprocessor-based Buck type DC-DC converter design and application was carried out. Required switching signal to operate the system TMS320F2812 DSP is produced by DSP. In the study, change in the output voltage of the DC-DC Converter is depended on PWM signal was observed. Furthermore, how carrying out the certain transactions with eZDSP TMS320F2812 development board was analyzed with open codes.

**Keywords :** DC-DC Converter, PWM, DSP

### 1. Giriş

DA-DA dönüşüm teknolojisi güç elektroniği alanında önemli bir araştırma alanına sahiptir. DA-DA Çeviriciler, genellikle bilgisayarlar, iletişim cihazları, batarya şarjları, anahtarlama güç kaynakları, DA motor sürücü uygulamaları gibi ayarlanabilir DC güç gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Kayıslı et al. 2013). Genellikle DA-DA çeviriciler, izoleli ve izolesiz olmak üzere iki kısımda sınıflandırılırlar. Bu çeviricilere ait sınıflandırma aşağıda verilmiştir (Luo et al.2004).

İzolesiz temel DA-DA çeviriciler:

- (1) Buck (düşürücü) çevirici
- (2) Boost (yükseltici) çevirici

\* Bucak Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi, Burdur  
E-posta: [murat\\_ulug@hotmail.com](mailto:murat_ulug@hotmail.com)

- (3) Buck–Boost (düşürücü-yükseltici) çevirici
- (4) Cuk çevirici
- (5) SEPIC çevirici

İzoleli temel DA-DA çeviriciler:

- (1) Fly back çevirici
- (2) Forward çevirici
- (3) ZETA çevirici

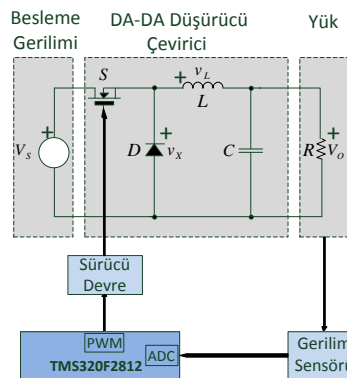
DA-DA çeviricilerin, düşürücü, yükseltici ve düşürücü-yükseltici olmak üzere üç temel tipi bulunmaktadır. Diğer çeviriciler ise üç temel çevirici temel alınarak geliştirilmiştir (Kayışlı et al. 2013).

Günümüzde sayısal işaret işleyiciler (DSP) çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Çok yüksek hızlarda işlem yapabilme kapasitesi sayesinde telekomünikasyon, görüntü ve ses işleme, biyometrik güvenlik gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Texas Inst., 2004). Güç elektroniği sürücü düzeneklerinde kullanılan yarı iletken anahtarların daha hızlı ve daha karmaşık denetimleri, sürekli gelişen mikroişlemci teknolojisiyle daha kolay yapılabilmektedir. Her türlü konverter ve motor denetimi için üretilmiş hızlı ve yetenekli DSP'lerden birisi de TMS320F2812'dir (Kesler, 2008). Spectrum Digital tarafından deneysel kullanımlar için geliştirilmiş kartı olan eZdsp TMS320F2812 DSK, bilgisayarların paralel portu üzerinden Code Composer Studio (CCS) arayüzü ile programlanabilmektedir. Bu DSP, 150 MHz hızda işlem yapabilme kapasitesine ve gelişmiş çevre birimlerine sahiptir. Bununla birlikte gerçek zamanlı hata ayıklama özelliği sayesinde tasarımcılara büyük fayda sağlamaktadır. Ayrıca DSP'ye C/C++ ile kod yazılabilmektedir (Texas Inst., 2004).

Bu makalede DA-DA düşürücü çevirici yapısının kontrolünde TMS320 DSP ailesinde yer alan F2812 DSP işlemcisi kullanılmıştır. Yapılan çalışma ile DSP temelli bir dijital kontrol sisteminin tasarım ve uygulaması basamak basamak incelenmiş ve anlatılmıştır.

## 1. Materyal ve Metod

Çalışmada eZDSP TMS320F2812 DSK ile gerçekleştirilen kontrol sistemi için önerilen blok diyagramı Şekil 1'de görülmektedir.



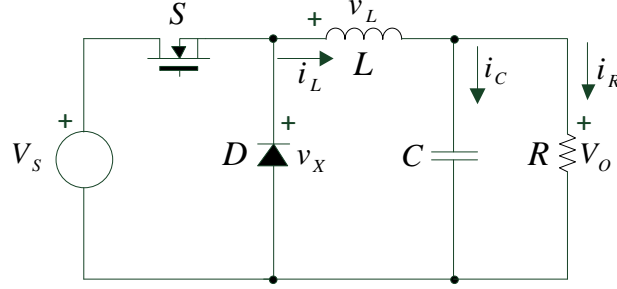
Şekil 1. DA-DA düşürücü çeviriciler için DSP temelli kontrol sistemi blok diyagramı

Şekil 1'de görüldüğü gibi DA-DA düşürücü çeviriciyi kontrol etmek için çıkış gerilimini ölçüp DSP'ye aktarmak gerekmektedir. Ölçülen çıkış gerilimi bir  $V_{ref}$  gerilimi ile

karşılaştırılarak anahtarlama elemanına uygulanacak PWM sinyalinin çalışma oranı (Duty ratio) ayarlanır.  $V_{ref}$  gerilimi DA-DA düşürücü çeviricinin çıkışından elde alınmak istenen gerilim seviyesini temsil etmektedir.

### 1.1 DA-DA düşürücü çevirici

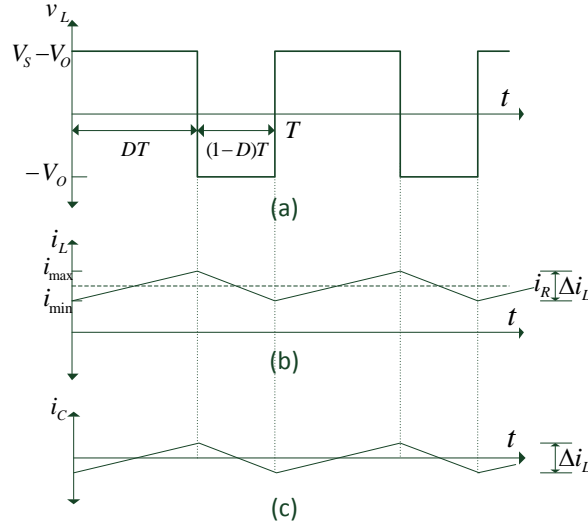
Şekil 2' de temel DA-DA çeviricisine LC alçak geçiren filtre eklenen düşüren tip DA-DA düşürücü çeviricinin basitleştirilmiş devre şeması gösterilmektedir (Hart, 2011).



Şekil 2. DA-DA düşürücü çevirici devre şeması

Çıkış gerilimi  $V_o$ ' ı belirlemek için anahtarın iletimde ve anahtarın kesimde olduğu durumlarda bobinden geçen akım ve bobinin üzerine düşen gerilim analiz edilecektir. Kararlı durum işleminde bir periyot boyunca bobin akımındaki toplam değişim sıfır olmak zorundadır. Aynı zamanda ortalama bobin gerilimi de sıfırdır.

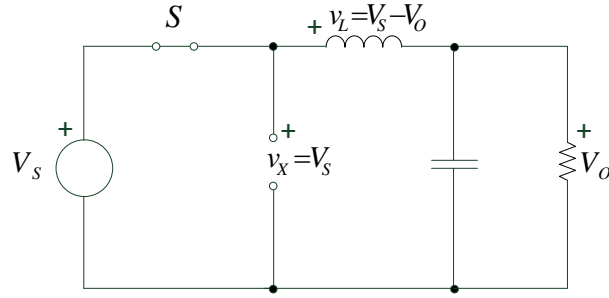
Şekil 3' de DA-DA düşürücü çeviriciye ait bobin gerilimi, bobin akımı ve kondansatör akımı görülmektedir. Burada;  $T$  anahtarlama periyodudur. Anahtar iletim durumunda iken zaman  $DT$  ve anahtar kesim durumunda iken ise zaman  $(1-D)T$  alınır.  $D$  ise çalışma oranıdır.



Şekil 3. DA-DA düşürücü çeviriciye ait dalga şekilleri: (a) Bobin gerilimi, (b) Bobin akımı, (c) Kondansatör akımı.

Anahtarın iletim durumundaki analizi:

Anahtarın iletimde olması durumunda düşürücü DA-DA düşürücü çevirici devresi Şekil 4' de görülmektedir. Bu durumda diyot ters polarma olur ve kesime gider.



Şekil 4. Anahtar iletimde iken DA-DA düşürücü çevirici devre şeması

Anahtar iletimde iken bobin üzerine düşen gerilim Denklem 1 verilmiştir.

$$v_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (1)$$

Yeniden düzenlersek,

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2)$$

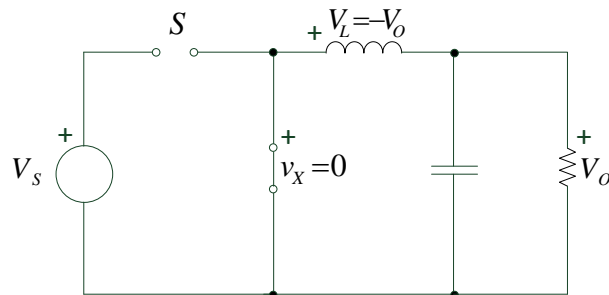
Bobin akımın türevi pozitif bir sabit olduğu için, akım Şekil 3b' de gösterildiği gibi doğrusal olarak artar. Anahtar iletimde iken bobinin üzerinden geçen akımdaki değişim Denklem 2 değiştirilerek hesap edilirse Denklem 4 elde edilir.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (3)$$

$$(\Delta i_L)_{iletim} = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) DT \quad (4)$$

Anahtarın kesim durumundaki analizi:

Anahtarın kesim olması durumunda düşürücü DA-DA düşürücü çevirici devresi Şekil 5' de görülmektedir. Bu durumda diyot doğru polarma olur ve iletme geçer.



Şekil 5. Anahtar kesimde iken DA-DA düşürücü çevirici devre şeması

Anahtar kesimde iken bobin üzerine düşen gerilim Denklem 5' te verilmiştir.

$$v_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (5)$$

Yeniden düzenlersek,

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-V_O}{L} \quad (6)$$

Bobin akımının türevi negatif bir sabit olduğu için, akım Şekil 3b' de gösterildiği gibi doğrusal olarak azalır. Anahtar kesimde iken bobinin üzerinden geçen akımdaki değişim Denklem 8'deki gibi hesap edilir.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{-V_O}{L} \quad (7)$$

$$(\Delta i_L)_{kesim} = -\left(\frac{V_O}{L}\right)(1-D)T \quad (8)$$

Kararlı-durum işleminde bir anahtarla periyodu süresince bobin akımındaki toplam değişim sıfırdır. Denklem 9' da bu durum verilmiştir.

$$(\Delta i_L)_{iletim} + (\Delta i_L)_{kesim} = 0 \quad (9)$$

Denklem 4 ve Denklem 8 kullanılarak Denklem 10 elde edilir.

$$\left(\frac{V_S - V_O}{L}\right)DT - \left(\frac{V_O}{L}\right)(1-D)T = 0 \quad (10)$$

Denklem 10,  $V_O$  çıkış gerilimi için çözümlerse Denklem 11 elde edilir.

$$V_O = V_S D \quad (11)$$

DA-DA düşürücü çevirici ile giriş gerilimine eşit veya giriş gerilime göre daha düşük gerilimlerden çıkış gerilimleri elde üretilmektedir. Böylelikle Denklem 11' den de anlaşılacağı üzere çıkış geriliminin değeri sadece giriş gerilimine ve çalışma oranına bağlıdır. Eğer giriş gerilimde herhangi bir dalgalanma olursa çıkış gerilimi uygun çalışma oranını ayarlamak suretiyle kontrol edilebilir.

## 1.2 Mikroişlemci

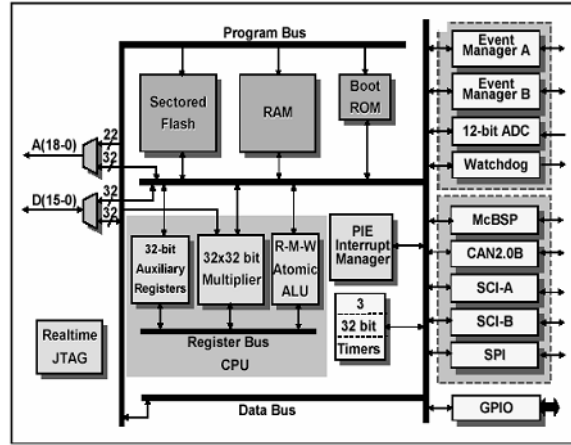
DSP 1970 'lerin sonlarından günümüze geniş bir uygulama alanı bulmuştur. DSP'ler, veri sıkıştırma, fotoğraf inceleme, teşhis amaçlı görüntüleme, medikal görüntüleme, görüntülü konferans, radar, yer hareketleri kaydı ve analizi, spektral analiz, simülasyon ve modelleme, süreç izleme ve kontrol, filtreleme, vb. gibi çok geniş bir alanda kullanılmaktadır (Yazıcı, 2008).

Texas Instruments firmasına ait TMS320C2000DSP ailesinin bir üyesi olan F2812, bir mikrodenetleyicinin (MCU) çevre birimleri entegrasyonu ve kullanım kolaylığı ile bir DSP'nin işlem gücünü kendi bünyesinde birleştirmiş olan bir mikroişlemcidir. F2812 flash bellek, 12 bit çözünürlükte A/D çevirici, PWM, CAN (Control Area Network) modülleri gibi çevresel birimleri üzerinde birleştirmiştir. F2812' nin başlıca özellikleri aşağıdaki gibidir(TMS320F2812 Digital Signal Processors Data Manual).

- 30 MHz dahili çalışma frekansı
- 150MHz çalışma frekansında 150MIPS'e kadar işlem gücü
- 128k x 16 dahili Flash bellek
- 18k x 16 dahili RAM

- 32 bit kayar noktalı aritmetik birimi
- 150ps çözünürlük ile PWM sinyali üretebilme
- SCI, SPI, I2C ve CAN 2.0b arayüzleri
- 100ns'den daha az kesme gecikmesi
- Kullanıma hazır C/C++ header dosyaları ve hızlı bir C/C++ derleyicisi

İşlemciye ait blok diyagramı Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. TMS320F2812 DSP blok diyagramı

Spectrum Digital Inc. Firması tarafından üretilmiş olan ve işlemcinin kontrolünü kolaylaştıran bir geliştirme kartı olan eZDSP TMS320F2812 DSK'nın en önemli özellikleri aşağıda listelenmiştir (TMS320F2812 Digital Signal Processors Data Manual).

- Soket içerisinde bulunan bir TMS320F2812 DSP
- 30 MHz saat işareti ile 150MHz'ye kadar çalışabilme
- 64k harici SRAM bellek
- 2 genişletme konektörü (analog, I/O)
- IEEE 1149.1 JTAG kontrolörü
- IEEE 1149.1 JTAG emülasyon konektörü
- PC'ye bağlanabilmek için paralel port konektörü

eZDSP geliştirme kiti bilgisayar ile paralel port ve bir emülatör aracılığıyla USB port üzerinden haberleşebilmektedir. eZDSP geliştirme kartını JTAG üzerinden bilgisayara bağlayabilmek için uyumlu USB JTAG emülatörü Blackhawk ve Spectrum Digital firmaları üretmektedir. TMS320F2812 A ve B olay yöneticileri tarafından yönlendirilen ve bir birinden bağımsız olarak çalışan iki ayrı 8 kanal analog dijital dönüştürücüden (ADC) oluşur. ADC kanalları akım ve gerilim sinyallerinin elde edilmesi için kullanılmaktadır (TMS320F2812 Digital Signal Processors Data Manual, 2001). Sayısal güç uygulamalarında ADC ve PWM modülleri DSP içerisinde en önemli çevre birimlerdir. Şekil 7'de eZDSP TMS320F2812 kontrol kartı görülmektedir.

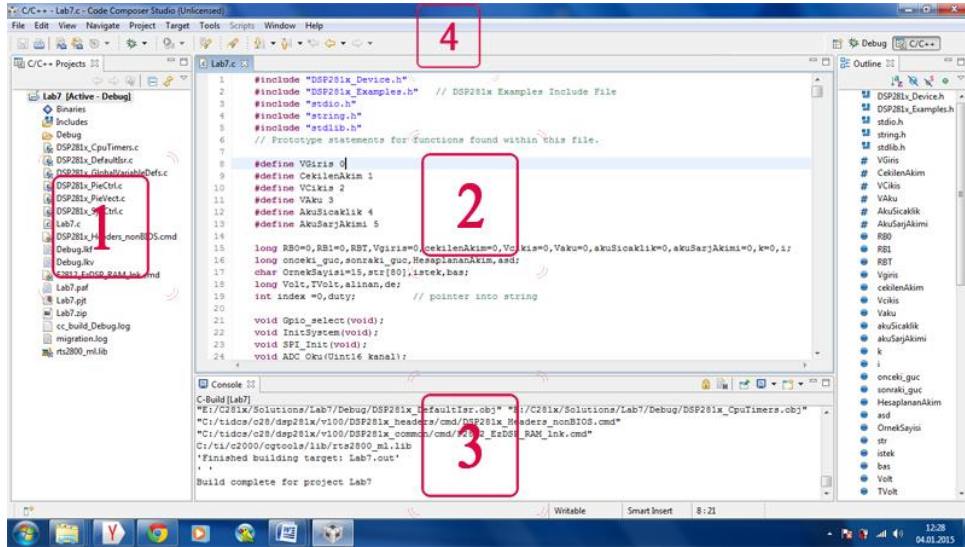


Şekil 7. eZDSP TMS320F2812 DSP Geliştirme Kartı

TMS320F2812 işlemci, sabit noktalı aritmetik işlem yapmasına rağmen IQmath kütüphane desteği ile kayan noktalı aritmetik işlem kolaylığında ve doğruluğunda işlem yapabilmektedir.

### 2.3. Yazılım geliştirme ortamı

Texas Instruments firmasının ürettiği TMS320F2812 sayısal işaret işlemcisinin programlanması C++ ve ASM (Automatic Storage Management) programlama dilleri ile yapılabildiği gibi Matlab Simulink, VISSIM gibi özel paket programlar da kullanılabilir (Demir, 2011). Yazılım tasarım sürecinde kod geliştirme ve derlenen kodları işlemciye yüklemek için Code Composer Studio (CCS) yazılım geliştirme ortamı kullanılmaktadır. CCS, içerisinde C/C++ derleyicisi, assembler, linker, debugger, gerçek zamanlı analiz araçları, optimizasyon araçları, çeşitli simülörler ve emülasyon sürücülerini barındıran entegre bir geliştirme ortamıdır (IDE). Şekil 8'de CCS'nin bir ekran görüntüsü görülmektedir.



Şekil 8. Yazılım geliştirme ortamından bir ekran görüntüsü

Yazılımın tasarlanması CCS üzerinde yapılabildiği gibi VISSIM ve MATLAB gibi 3. Parti yazılımları da kullanılabilir. Tasarlanan yazılım 3. Parti geliştirme ortamlarında yapılsa bile işlemciyi programlamak için CCS'ye ihtiyaç vardır. Şekil 8'de 1 ile gösterilen alan "proje yöneticisi" alanıdır. Burada kaynak dosyalarının yanı sıra derleyici linkleri yer almaktadır. 2 numaralı alan "yönetim" alanıdır. Kaynak kodlar buraya yazılır. 3 numaralı alan "durum penceresi" alanıdır. Programın çalışma aşaması, kodlarda oluşan hata uyarı ve yorum mesajları burada yer alır. Programa ait menü ve ikonlar 4 numaralı alanda yer alır.

## 2. Sistemin Tasarımı ve Uygulaması

Sistem kontrol yazılımının çalışabilmesi için ilk önce işlemciye ait saat frekansı, PLL, interrupt, pinlerin I/O olarak mı PWM gibi özel bir amaçlamı kullanılacağı ayarlanmıştır. İşlemciye ait sistem ayarlamaları bittikten sonra giriş gerilimi SPI portu üzerinden harici bir A/D çevirici entegre ile alınmıştır. Alınan bilgiye göre PI denetleyici çalıştırılmış ve uygun PWM sinyali üretilerek DA-DA düşürücü çevirici üzerindeki anahtarlama elemanına mosfet sürücüsü uygulanmıştır. PI denetleyiciye ait kodlar ana döngü içerisinde yazılması ile işlemin sürekli çalışması sağlanmıştır.

### 3.1 Ölçüm sonuçlarının A/D Çevirici entegreden SPI aracılığıyla alınması

Çıkış gerilimini işlemciye aktarmak için işlemci üzerindeki A/D çevrim modülü kullanılabilir. İşlemci üzerindeki dahili A/D çevrim modülü ile yapılan ölçümlerde fazla salınım olduğu görülmüştür. Nitekim (Tek S. C., 2008) yaptığı çalışmada benzer bir sorunla karşılaşmış ve A/D çevrim işlemi için harici olarak Max1204 entegresini SPI portu üzerinden eZDSPF2812 kite bağlamıştır. İşlemci üzerindeki SPI portunu aktif hale getirmek için kullanılan fonksiyon Şekil 9’ da görülmektedir.

```
void SPI_Init(void)
{
    SpiaRegs.SPICCR.all = 0x0047;
    // SpiaRegs.SPICCR.all = 01000111;
    // Bit 7 , Reset = 0
    // Bit 6 , Düşen kenarda data okumaya başla
    // Bit 5 , Ayrılmış alan
    // Bit 5 , Döngü modu
    // Bit 3-0, Chars = 1111 : 16 bit data transfer

    SpiaRegs.SPICTL.all = 0x0006;
    // Bit 7-5 : ayrılmış
    // Bit 4 , overrun INT Enable
    // Bit 3 , Clock sinyalleri atası bekleme
    // Bit 2 , Master/Slave
    // Bit 0 , SPI interrupt pasif

    SpiaRegs.SPIBR = 100;
    // SPI Baud Rate = LSPCLK / ( SPIBR + 1 )
    //                = 37,5 MHz / ( 124 + 1 )
    //                = 300 kHz
    SpiaRegs.SPICCR.bit.SPISWRESET = 1; // SPI reset aktif
}
```

Şekil 9. SPI portunu aktif hale getiren fonksiyon

Sistemdeki bilgilerin dijital bilgiye çevrilerek eZDSP F2812’ye aktarmak için SPI portu üzerinden haberleşebilen MCP3208 entegresi kullanılmıştır. Bu entegre F2812 ile SPI portundan 8 bağımsız kanal ile maksimum 2 Mhz hızında 12 bit çözünürlükteki ölçüm sonuçlarını aktarabilmektedir. İletişimin sorunsuz yapılabilmesi için MCP3208 entegresi slave modunda ve en fazla 2 Mhz’lik hızda çalıştırılması gerekmektedir. A/D çevrim işleminin yapılıp işlemciye aktarılması şu şekilde yapılmıştır. Öncelikle çevrim işleminin başlatılabilmesi için MCP3208’e 1 byte boyutunda bir kontrol verisinin gönderilmesi gerekmektedir. Bu kontrol verisinin içerisinde hangi çevrim kanalın dönüştürme işlemine alınacağı entegreye bildirilmektedir. MCP3208’in veri sayfasından alınan kontrol verisi formatı Şekil 10’da gösterilmiştir.



Control Bit Selections				Input Configuration	Channel Selection
Single /Diff	D2	D1	D0		
1	0	0	0	single-ended	CH0
1	0	0	1	single-ended	CH1
1	0	1	0	single-ended	CH2
1	0	1	1	single-ended	CH3
1	1	0	0	single-ended	CH4
1	1	0	1	single-ended	CH5
1	1	1	0	single-ended	CH6
1	1	1	1	single-ended	CH7

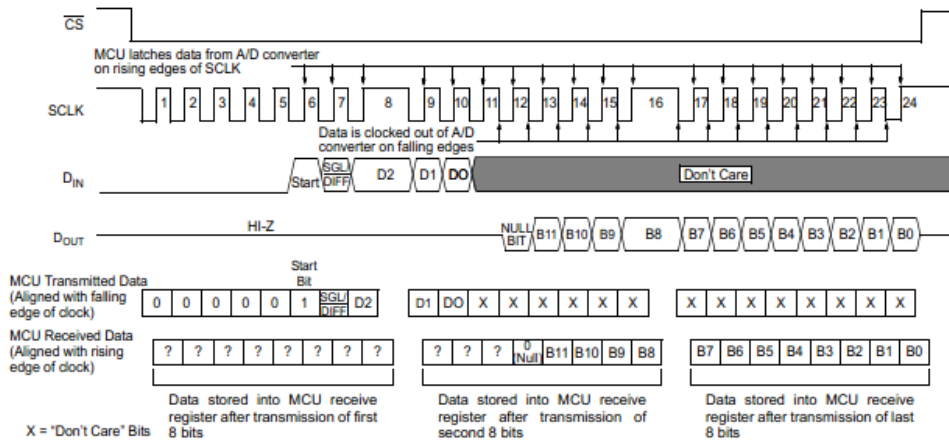
Şekil 10. MCP3208 Entegresine ait kontrol verisi

Hangi kanalda çevrim yapılacaksa ilgili kanalın numarası seçilir ve başına başlangıç biti eklenerek MCP3208'e gönderilmelidir. DSP veri sayfasına göre gönderilecek veriler 16 bit uzunluğunda ve sola dayalı olmalıdır. Şekil 10'daki formata göre MCP3208'in 0. Kanalında işlem yapabilmek için işlemciye gönderilecek kontrol verisi aşağıdaki gibi hesaplanır:

Tablo 1. A/D çevrim için kontrol verisi formatı.

Kanal	Başlangıç Biti	Single/Diff	D2	D1	D0	Hex değeri
0	1	1	0	0	0	18
1	1	1	0	0	1	19
2	1	1	1	1	0	1A

Tablo 1' deki verilere göre çevrim işleminin 0. Kanalda yapılması için gönderilecek değer 0x1800'dir. Kontrol verisi gönderildikten sonra 12 bitlik çevrim sonucunu okumak için MCP3208'e 0 gönderilir buna karşılık entegre ilk 4 biti gönderir tekrar entegreye 0 gönderilir buna karşılık son 8 bitlik bilgiyi işlemciye gönderir bu iki bilgi birleştirilerek A/D çevrim sonucu elde edilmiş olur. Şekil 11'de çevrim işleminin zaman diyagramı görülmektedir.



Şekil 11. Çevrim işleminin zaman diyagramı.

A/D çevirme işleminin başlatılıp çevrim sonucunun okunabilmesi için yazılan fonksiyon Şekil 12'de görülmektedir.

```

void ADC_Oku(Uint16 kanal)
{
    GpioDataRegs.GPDDAT.bit.GPIO0 = 0; // ADC işlemi için CS aktif
    SpiaRegs.SPITXBUF = 0x1800 ; // ADC için port seçimi
    while (SpiaRegs.SPISTS.bit.INT_FLAG != 1) ; // çevrim sonuçları alınincaya kadar bekle
    RB0 = SpiaRegs.SPIRXBUF; //çevrim işleminin başlaması için boş okuma yap

    SpiaRegs.SPITXBUF = 0x00; // verinin ilk 8 bitini okumak için boş bilgi yola
    while (SpiaRegs.SPISTS.bit.INT_FLAG != 1) ; // veri alınincaya kadar bekle
    RB0 = SpiaRegs.SPIRXBUF; // verinin ilk 8 bitini değişkene aktar

    SpiaRegs.SPITXBUF = 0x00; // verinin son 8 bitini okumak için boş bilgi yola
    while (SpiaRegs.SPISTS.bit.INT_FLAG != 1) ; // veri alınincaya kadar bekle
    RB1 = SpiaRegs.SPIRXBUF; // verinin son 8 bitini değişkene aktar

    GpioDataRegs.GPDDAT.bit.GPIO0 = 1; // ADC işlemi için CS pasif
    Volt = (long) ( ( (RB0<<8) | RB1>>4) ); //okunan 8 bitlik bilgileri birleştirir
    TVolt = Volt * 3300 /16153 ; //okunan değeri hesapla
}

```

Şekil 12. Analog-Dijital çevrim sonucunu okuyan fonksiyon.

Şekil 12’de görülen fonksiyonda bilgiler RB0 ve RB1 değişkenine ayrı ayrı alındıktan sonra Volt adlı değişkende bit kaydırma işlemine tabi tutularak birleştirilmektedir. Son olarak MCP3208’den okunan değer gerçek volt değerine dönüştürülmektedir.

### 3.2 PWM sinyalinin oluşturulması

Event manager B modülü ile Timer 3’ü 25 kHz PWM sinyali oluşturacak şekilde ayarlayan init\_evb adında bir fonksiyon yazılmıştır. PWM sinyali oluşturmak için kullanılan event manager modülü saat işareti olarak DSP’nin bir alt saat işaretçisi olan yüksek hızlı saat işaretçisini (HSPCLK) kullanmaktadır. Projede kullanılan HSPCLK frekansı 150 MHz’lik ana osilatör frekansının 2’ ye bölümüdür. Fosc 150MHZ olduğundan HSPCLK Denklem 12’de gibi hesaplanır.

$$T_{HSPCL} = \frac{1}{F_{OSC}/2} = \frac{1}{150MHZ/2} = 13,33ns \quad (12)$$

Timer 3’ün 25 kHz PWM üretebilmesi için ayarlanması gereken T3PR değeri Denklem 13’degibi hesaplanmıştır.

$$T3PR = \frac{40us}{13,33ns} = 3000 \quad (13)$$

DA-DA düşürücü çeviricinin ihtiyaç duyduğu PWM sinyalinin oluşturulması için kullanılan Init\_evb fonksiyonu Şekil 13’de verilmiştir.

```

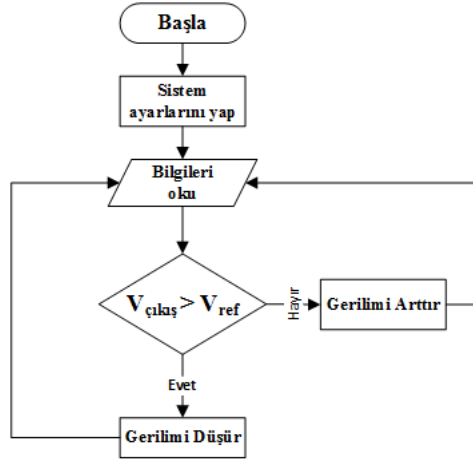
void init_evb()
{
    // PWM üretmek için
    // T3PWM, T4PWM and PWM7-PWM12 ayarlama
    // Timer3 ayarlanıyor
    // Timer3 ile T3PWM ve PWM7-12 kontrol ediliyor
    EvbRegs.T3PR = 3000; // Timer3 periyodu
    EvbRegs.T3CMPR = 100; // Timer3 karşılaştırma
    EvbRegs.T3CNT = 0x0000; // Timer3 sayacı
    EvbRegs.T3CON.all = 0x1042;
    // Initialize EVB Timer4
    // Timer4 controls T4PWM
    EvbRegs.T4PR = 0x00FF; // Timer4 periyodu
    EvbRegs.T4CMPR = 0x0030; // Timer4 karşılaştırma
    EvbRegs.T4CNT = 0x0000; // Timer4 sayacı
    EvbRegs.T4CON.all = 0x1042;
    // T3PWM ve T4PWM kurulması
    // T3/T4 PWM sürücüleri mantıksal karşılatırmaları aktif
    EvbRegs.GPTCONB.bit.TCMP0E = 1;
    // Timer 3 karşılaştırıcısı 0 da aktif olacak
    EvbRegs.GPTCONB.bit.T3PIN = 1;
    // Timer 4 karşılaştırıcısı 1 de aktif olacak
    EvbRegs.GPTCONB.bit.T4PIN = 2;
    // PWM7-PWM12 karşılaştırıcılarını aktif hale getir
    EvbRegs.CMPR4 = 2444;
    EvbRegs.CMPR5 = 0x3C00;
    EvbRegs.CMPR6 = 0xFC00;
    EvbRegs.ACTRB.all = 0x0666;
    EvbRegs.DBTCNB.all = 0x0000; // Disable deadband
    EvbRegs.COMCONB.all = 0xA600;
}

```

Şekil 13. Init\_evb fonksiyonu

### 3.3 Dijital kontrolcü algoritması

Hazırlanan algoritma çıkış gerilimini sürekli olarak kontrol etmekte ve giriş gerilimini  $V_{ref}$  gerilimine eşitlemek için DA-DA düşürücü çeviricinin ihtiyaç duyduğu PWM sinyali üretmektedir. Dijital kontrol sisteminin algoritması Şekil 14’de görülmektedir.



Şekil 14. Dijital kontrol sistemi algoritması

DSP’lerde sistem ayarlarını değiştirmek için öncelikle kayıtçı korumalarını kaldırmak gerekmektedir. Örneğin watchdog’u aktif hale getirmek için yazılacak kod Şekil 15’de gösterilmiştir.

```

//korumalı registirlerin korumasını kaldırma.
EALLOW;
//Watchdog aktif hale getiriliyor
SysCtrlRegs.WDKEY = 0xAA;
//korumalı registirlerin koruması aktif hale getiriliyor.
EDIS;

```

Şekil 15. Kayıtçı korumalarını kaldırma kodu kullanımı

Algoritmaya göre öncelikle işlemcinin PLL, Watchdog, timer gibi çevre birimleri ihtiyaca göre düzenlenmelidir. bu ayarlamalar için “DSP281x\_SysCtrl.c” kaynak dosyası kütüphaneye eklenmelidir. İşlemcinin çalışması için gerekli optimum ayarlamaları InitSysCtrl(); komutu çağrılarak yapılmıştır. Çevresel birimlerin başlangıç değerine ayarlamak için “DSP281x\_InitPeripherals.c” dosyası kütüphaneye eklenmeli ve InitPeripherals(); komutu çağrılmıştır.

Kesme hizmetlerini düzenlemek için (interrupt service routine) programımıza “DSP281x\_DefaultIsr.c” kaynak dosyasını kütüphanemize eklememiz gerekir. Daha sonra kayıtçı korumaları kaldırılarak istenilen düzenlemeler yapılır. Programımızda kullanılan kesmeleri oluşturmak için aşağıdaki kodlar yazılmıştır. İşlemcinin pin çıkışlarını ayarlamak için kütüphanemize “DSP281x\_Gpio.c” kaynak dosyası eklenmelidir. Pin çıkışlarının çalışması için gerekli optimum ayarlamaları Gpio\_Select(); komutu çağrılır. PWM ve SPI çıkışlarını ayarlayan komutlar Şekil 16’da gösterilmiştir.

```
void Gpio_select(void)
{
    EALLOW; // korumalı registerler pasif hale getiriliyor
    GpioMuxRegs.GPMUX.all = 0x0; //D Portu çıkış olarak ayarlandı
    GpioMuxRegs.GPFMUX.all = 0xF; //F portu özel amaçla kullanılacak
    GpioMuxRegs.GPFMUX.bit.SCIRXDA_GPIOF5 = 1; //SCI-RX aktif
    GpioMuxRegs.GPFMUX.bit.SCITXDA_GPIOF4 = 1; //SCI-TX aktif
    GpioMuxRegs.GPDDIR.all = 0x0; // D portunu çıkış olarak ayarla
    GpioMuxRegs.GPDDIR.bit.GPIOD0 = 1; //ADC entegresi için Chip select aktif pini
    GpioMuxRegs.GPDDIR.bit.GPIOD5 = 0; //Şarj çıkış kontrolü için pini
    EDIS; // korumalı registerler aktif hale getiriliyor
}
```

Şekil 16. Giriş/çıkış pinlerini ayarlayan fonksiyon

İşlemci önyüklemesi tamamlandıktan sonra sonsuz döngü içerisinde çıkış gerilimini kontrol edip uygun PWM sinyalinin üreten kod Şekil 17’de görülmektedir.

```
bilgileriOku(); // Çıkış gerilimini okuyan fonksiyon
if (Vcikis > Vref)
    DutyArttir(); // PWM azaltılarak gerilim düşürülür
else
    DutyAzalt(); // PWM azaltılarak gerilim arttırılır
```

Şekil 17. Çıkış gerilimini sürekli izleyen kod.

### 3. Deneysel Çalışmalar

DA-DA düşürücü çevirici çıkış gerilimini DSP işlemci ile kontrol etmek için Şekil 18’deki deney düzeneği kurulmuştur. Devre DA-DA düşürücü çevirici, ölçüm devresi ve EZDSP TMS320F2812 deney kitinden oluşmaktadır. Tablo 2’ de deney düzeneğinde kullanılan donanımlar verilmiştir.

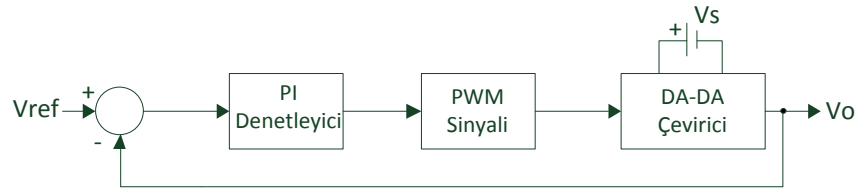


Şekil 18. Deney düzeneği.

Tablo 2. Deney düzeneğinde kullanılan donanımlar

Numara	Donanım
1	Laptop (CCS arayüzü)
2	eZDSP TMS320F2812 DSK
3	DA-DA düşürücü çevirici
4	Ölçüm devresi
5	Osiloskop

Deney esnasında çıkış gerilimini sabit tutmak için, çalışma oranını çıkış gerilimine göre değiştiren PI denetimi gerçekleştirilmiştir. Şekil 19’da kullanılan PI denetleyicinin kontrol blok diyagramı verilmiştir. Yapılan deneyde Referans gerilimi ( $V_{ref}$ ) 12V’dur ve 18-30 V arasındaki giriş geriliminde ve 100 $\Omega$  yükte test edilmiştir. Ölçümler Owon DLOSC2CH100D osiloskop kullanılarak yapılmıştır.



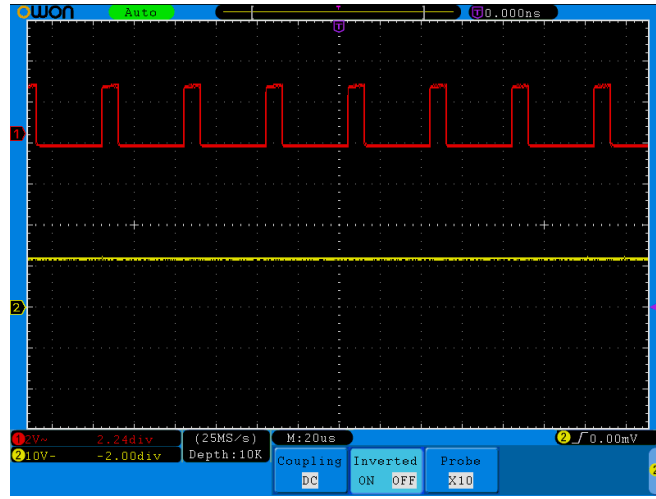
Şekil 19. PI tipi denetleyici blok diyagramı.

Tablo 3’de PI denetimli sistem için yapılan deney sonucu verilmiştir. verilmiştir.

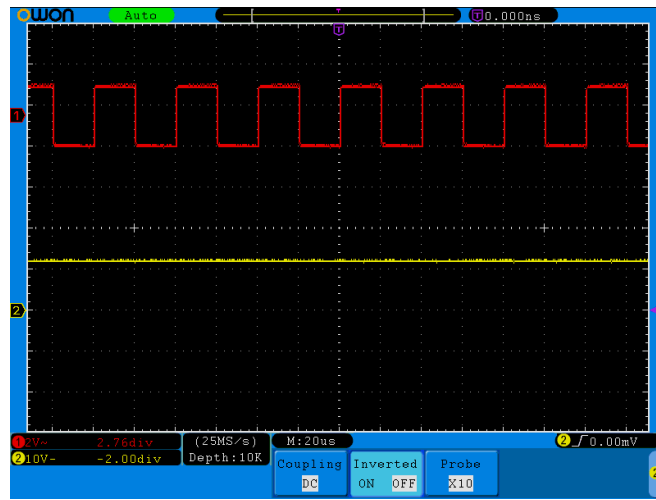
Tablo 3. Yapılan deney sonuçları

Giriş Gerilimi (V)	Çıkış Gerilimi (V)	Çalışma oranı	Hata (V)
18	11.98	%20	-0.02
22	12.01	%50	+0.01
24	11.99	%75	-0.01

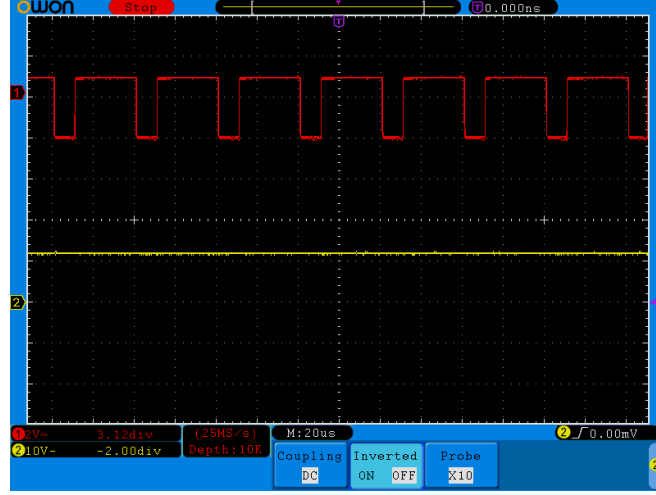
EZDSP TMS320F2812 DSP kit içerisindeki Event Manager Modülü ile 25 KHz’lik PWM sinyali üretilmiştir. Şekil 20’de üretilen %20, Şekil 21’de %50 ve Şekil 22’de %75 çalışma oranına sahip PWM sinyalleri görülmektedir.



Şekil 20. %20 çalışma oranındaki PWM sinyalinin çıkış gerilimine etkisi.



Şekil 21. %50 çalışma oranındaki PWM sinyalinin çıkış gerilimine etkisi.



Şekil 22. %75 çalışma oranındaki PWM sinyalinin çıkış gerilimine etkisi.

#### 4. Sonuç

Bu çalışma ile DA-DA düşürücü çevirici tasarlanmış ve uygulama devresi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca anahtarlama için gerekli olan PWM sinyalinin çıkış gerilimine etkisi incelenmiştir. PWM sinyalini üretmek için eZDSP TMS320F2812 işlemci kiti kullanılmıştır. Yapılan deneyde çıkış gerilimini sabit bir değerde tutabilmek için PI denetleyici kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre çıkış geriliminin yük değerinden etkilendiği görülmüştür. PI denetleyici ile çıkış gerilimini sabit tutacak şekilde PWM sinyalinin çalışma oranı değiştirdiği gözlenmiştir. Bu sayede çıkış geriliminin yükten etkilenmediği görülmüştür.

#### Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde 3114-YL1-12 nolu proje finansman desteği sağlayan Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimine teşekkür etmektedirler.

#### Kaynaklar

Batcheller P., 1993. Microprocessor Controlled Maximum Power Point Tracker For Photovoltaic System, Devry Institute of Technology, M.Sc. Thesis. 73p, Toronto.

Demir F., 2011, Sayısal İşaret İşlemciler İçin Gömülü Sistem Deney Seti Tasarımı. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.L. Tezi, 107s, Karabük.

Demirtaş M., Sefa İ., Irmak E., Çolak İ., 2008. Güneş Enerjili Sistemler İçin Mikrodenetleyici Tabanlı DA/DA Yükselten Çevirici, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Dergisi, 23(3) 719-728.

Hart, Daniel W., 2011, Power Electronic, McGraw-Hill Press, Newyork.

Hyo S. P., Hee J. K., Simultaneous control of DA-DA converters by DSP controller, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2001, pp 89-91.

Luo F. L., Ye H., 2004. Advanced DC/DC converters, CRC Press LLC, Boca Raton.

Mamur A., 2012. FPGA Denetimli Düşürücü DA-DA Dönüştürücünün Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.L. Tezi, 88s, Elazığ.

- Mohan, N., Undeland M. T, Robbins P. W, 2003. Güç elektroniği, çeviriciler, uygulamalar ve tasarım, Yılmaz T., Boğosyan S., Gökaşan M., Literatür Yayıncılık, 800s, İstanbul.
- Kayisli K., Tuncer S., Poyraz M., 2013. An Educational Tool for Fundamental DC–DC Converter Circuits and Active Power Factor Correction Applications, Computer Applications in Engineering Education, Vol 21, Issue 1, pages 113–134.
- Kesler S., 2008. Elektrik Makine Denetim Sistemlerinde TMS320F2812 Kullanımı. Akademik Bilişim 2008, 30 Ocak - 1 Şubat 2008, 1-10.
- Kurokawa F., Tadahiko S., Matsuo H., Eto H., 2002. Output characteristics of DA-DA converter with DSP control, Proc. Int. Telecommun. Energy Conf., pp. 421–426.
- Tajuddin M. F. N., Rahim N. A., Daut İ., 2009. Design and Implementation of a DSP Based Digital Controller for a DA-DA Converter. Second International Conference on Computer and Electrical Engineering, 2009:209-213.
- Tek S. C., 2008. Güneş Paneli Simulatörü. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, YL Tezi, 64s, İstanbul.
- TMS320F2812 Digital Signal Processors Data Manual, 2001. Texas Instruments Incorporated, Texas, 4-136.
- TMS320F28x Analog-to-Digital Converter (ADC) Peripheral Reference Guide, 2002, Texas Instruments Incorporated, Texas, 12-147.
- Yazıcı Y., 2008, Fırçasız Doğru Akım Motorunun Sayısal Sinyal İşlemci (DSP) ile Kontrolü, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.L. Tezi, 190s, Ankara.