

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SMDA MOTORLU OTONOM ARAÇLARIN TMS320F2808 DSP TABANLI
DENETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Müh. Selçuk GÜVEN

**HAZİRAN 2011
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SMDA MOTORLU OTONOM ARAÇLARIN TMS320F2808 DSP TABANLI
DENETİMİ**

Elektrik-Elektronik Müh. Selçuk GÜVEN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"ELEKTRİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.05.2011

Tezin Savunma Tarihi : 15.06.2011

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ

Trabzon 2011

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Selçuk GÜVEN tarafından hazırlanan

**SMDA MOTORLU OTONOM ARAÇLARIN TMS320F2808 DSP TABANLI
DENETİMİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 24 / 05 / 2011 gün ve 1406 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından 15 / 06 / 2011 tarihinde yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. A. Sefa AKPINAR

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin PEHLİVAN

.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tez, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'nda hazırlanmıştır. Tezimde insansız araçlar üzerinde çalışılmıştır. Temel olarak üzerinde bulunan sürekli mıknatıslı doğru akım (SMDA) motoru TMS320F2808 sayısal işaret denetleyicisi ile kontrol edilen akıllı bir sistem oluşturulmuştur. Sistem için gerekli kodların Matlab/Simulink benzetim programı kullanılarak tasarlanan bloklarla üretilmesi üzerinde çalışılmıştır. Tez çalışmam süresince bilimsel desteği ve değerli düşünceleriyle bana her aşamada yardımcı olan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ'a, çalışmamda fazlasıyla emeği olan; bildiklerini, değerli zamanını ve manevi desteğini benden esirgemeyen Araş. Gör. Emre ÖZKOP'a, yine yardımlarını benden esirgemeyen Öğr. Gör. Hakan KAHVECİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm eğitim-öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, ellerinden gelen her türlü imkânı sağlayan, çalışmam süresince bazen ihmal ettiğim ama her zaman desteklerini arkamda hissettiğim aileme teşekkür ederim.

Bu tezin, bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Selçuk GÜVEN
Trabzon 2011

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “*SMDA MOTORLU OTONOM ARAÇLARIN TMS320F2808 DSP TABANLI DENETİMİ*” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ’un sorumluluğunda tamamladığımı, örnekleri kendim topladığımı, deneyleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
15/06/2011

Selçuk GÜVEN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	IX
SUMMARY.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar(ÇİZELGELER) DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Sayısal Sinyal İşleyicilerin (DSP) Tanımı.....	1
1.1.1. Giriş.....	1
1.1.2. DSP'lerin Zaman İçerisinde Gelişimi.....	1
1.1.3. Sayısal İşaret Denetleyicileri (DSC).....	3
1.1.4. Güç ve Motor Kontrol Uygulamalarında Sayısal Sinyal Denetleyicileri ve DSP'lerin Kullanımı.....	5
1.2. Model Tabanlı Otomatik Kod Üretimi.....	10
1.2.1 Giriş.....	10
1.2.2 Model Tabanlı Üretim ve Sağladıkları.....	11
1.3. Motor Sürüş Sistemleri.....	13
1.3.1 Giriş.....	13
1.3.2. Motor ve Güç Elektroniği Çeviricisinin Uyumu.....	14
1.3.2.1. Anma Akımı Etkisi.....	15
1.3.2.2. Anma Gerilim Etkisi.....	15
1.3.2.3. Anahtarlama Frekansı ile Motor Endüktansı Etkisi.....	16
1.3.3. Hız ve Konum Algılayıcıların Seçimi.....	16
1.4. D.A. Motor Sürüş Devreleri.....	17
1.4.1. D.A Motorların Eşdeğer Devreleri.....	17
1.4.2. Sabit Mıknatıslı D.A (PMDC) Motorları.....	19
1.4.3. Değişken Hızlı Doğru Akım Sürücü Sisemleri.....	20

1.4.3.1.	Anahtarlama DA – DA Çeviriciler.....	20
1.4.3.2.	Hız Ayarlı Sürücü Sistemlerinin Kontrolü	21
1.5.	TMS30F2808: Çevresel Birimler.....	22
1.5.1.	32 bit CPU-Zamanlayıcılar 0/112.....	22
1.5.2.	Geliştirilmiş PWM Modülleri.....	24
1.5.3.	Yüksek Çözünürlüklü PWM (HRPWM).....	27
1.5.4.	Geliştirilmiş CAP Modülleri.....	28
1.5.5.	Geliştirilmiş QEP Modülleri (eQEP1/2).....	30
1.5.6.	Geliştirilmiş Analog – Sayısal Dönüştürücü Modülü.....	31
1.5.6.1.	ADC Kullanılmayacak Durumlarda ADC Bağlantıları.....	35
1.5.6.2.	ADC Kaydedicileri.....	36
1.5.7.	Geliştirilmiş Denetlenebilir Çevresel Birimler.....	37
1.5.7.1.	Geliştirilmiş Darbe Genişlik Modülatörü (ePWM) Zamanlaması.....	37
1.5.7.2.	Anahtarlama Bölgesi Giriş Zamanlaması.....	38
1.5.7.3.	Analog – Sayısal Dönüştürücü Modülü.....	41
1.5.7.3.1.	ADC Güç Artırma Kontrol Biti Zamanlaması.....	42
1.5.7.3.2.	Tanımlar.....	42
1.5.7.3.3.	Ardışık Örnekleme Modu.....	43
1.5.7.3.4.	Eş Zamanlı Örnekleme Modu.....	44
1.6.	eZdsp F2808 Devre Kartı.....	44
1.6.1.	eZdsp F2808 Devre Kartına Giriş.....	44
1.6.1.1.	ezdsp F2808 Tanıtımı.....	45
1.6.1.2.	eZdsp F2808 Devre Kartının Anahtar Özellikleri.....	45
1.6.1.3.	eZdsp F2808’in İşlevsel Tanıtımı.....	46
1.6.2.	eZdsp F2808 Devre Kartının Çalışması.....	46
1.6.2.1.	Devre Kartı.....	47
1.6.2.2.	Hafıza Özellikleri.....	47
1.6.2.3.	eZdsp F2808 Bağlantı Uçları.....	48
1.6.2.3.1.	P1, JTAG Arayüzü.....	50
1.6.2.3.2.	P3, USB Portu/JTAG Arayüzü	50
1.6.2.3.3.	P8, Giriş – Çıkış Arayüzü	51
1.6.2.3.4.	P5/P9, Analog Arayüzü	52
1.6.2.3.5.	P6, Güç Konektörü.....	53

1.6.2.3.6.	P10, RS-232 Konektörü	54
1.6.2.3.7.	P11, CAN Konektörü	55
1.6.2.3.8.	J10, SCIB 5 x 2 Başlığı	56
1.6.2.3.9.	J11, CANB 5 x 2 Başlığı	56
1.6.2.3.10.	Konektör Parça Numaraları	57
1.6.2.4.	eZdsp F2808 Atlama Bağlantıları (Jumpers)	57
1.6.2.4.1.	JP4, Gerilim Bağlantısı, P8 ve P4 Konektörleri İçin +3.3/5V	58
1.6.2.4.2.	JP5, ADCREFIN Seçimi	59
1.6.2.4.3.	JP6, GPIO22/GPIO24 Seçimi	59
1.6.2.5.	Anahtarlar	60
1.6.2.5.1.	SW1 Anahtarı	60
1.6.2.5.1.1.	SW1 Anahtarı 1-3 Konumları: Başlangıç Çalışması Seçimi	61
1.6.2.5.1.2.	SW1 Anahtarı 4 Konumu: EEPROM Üzerine Kayıt	61
1.6.2.5.1.3.	SW1 Anahtarı 5 Konumu: Seri EEPROM A1 Adresi Durumu	62
1.6.2.5.1.4.	SW1 Anahtarı 6 Konumu: Seri EEPROM A1 Adresi Durumu	62
1.6.2.5.2.	SW2 Anahtarı	62
1.6.2.6.	Ledler	63
1.6.2.7.	Test Noktaları	64
2.	Yapılan Çalışma ve Bulgular	65
2.1.	Materyaller	65
2.1.1.	Araç, Kartlar ve Sürüş Yardımcı Elemanları Yerleşim Planı	65
2.1.2.	Araç Kısımları	66
2.1.2.1.	Motor	66
2.1.2.2.	Enkoder	66
2.1.2.3.	Akü Grubu	67
2.1.2.4.	Yön Adım Motoru	67
2.1.3.	Tasarlanan Kartlar	68
2.1.3.1.	Motor Sürücü Kartı	68
2.1.3.2.	Yön Denetim Kartı	68
2.1.3.3.	Ana Güç Besleme Kartı	70
2.2.	MATLAB ile eZdspF2808 Haberleşmesi	71
2.2.1.	Program Uyumluluğu	71

2.2.2.	eZdsp-F2808 Mikro Denetleyicisine MATLAB Üzerinden Kod Aktarılması.....	72
2.2.2.1.	MATLAB/Simulink Kullanarak eZdsp-F2808 İçin Benzetim Hazırlanması.....	73
2.3.	Matlab/Simulink F2808 Denetleyici Blokları.....	77
2.3.1.	Analog Sayısal Dönüştürücü Bloğu (ADC).....	77
2.3.2.	Çoğaltılmış-Darbe Genişlik Modülasyonu Bloğu (ePWM).....	79
2.3.3.	Dörtlü Enkoder Darbe Devresi (eQEP).....	83
2.3.4.	Genel Amaçlı Giriş – Çıkış Birimi Bloğu (GPIO): Sayısal Giriş – Sayısal Çıkış.....	85
2.4.	MATLAB/Simulink ile TMS320F2808'den PWM Sinyali Elde Etme.....	86
2.4.1.	Simulink TI C2000 Blokları ile PWM Üretici Modelleme.....	87
2.4.2.	Uygulamanın Gerçeklenmesi.....	88
2.5.	Araç Uygulama İçin Tasarlanan Simulink Modeli ve Gerçeklenmesi.....	91
2.5.1	Oluşturulan Bloklar.....	95
2.5.1.1	Hız Ölçümü Bloğu.....	95
2.5.1.2.	Hız Kontrol Bloğu.....	92
2.5.2.	Uygulamanın Araç Üzerinde Gerçeklenmesi.....	94
3.	TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	95
4.	ÖNERİLER.....	96
5.	KAYNAKLAR.....	97
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

SMDA MOTORLU OTONOM ARAÇLARIN TMS320F2808 DSP TABANLI DENETİMİ

Selçuk GÜVEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ
2011, 98 Sayfa

Otomasyon teknolojisinde meydana gelen yenilikler insana olan ihtiyacı azaltmaktadır. Her ne kadar teknolojik makinelerin satın alma maliyetleri oldukça yüksek olsa da işletme ve bakım maliyetleri düşüktür. Ayrıca bu tür makineler sayesinde insandan kaynaklanan hatalar da ortadan kalkmaktadır. Bu çalışmada, verilen rotayı takip edecek bir araç için doğru akım (DA) motor sürücü sistemi geliştirilmiş ve bu sistemin TMS320F2808 sayısal işaret denetleyicisi ile denetimi amaçlanmıştır. DA motorunun denetiminde kullanılacak olan algoritma Matlab/Simulink benzetim programı ile oluşturulmuş ve CCS (Code Composer Studio) programı aracılığıyla TMS320F2808 denetleyicisine aktarılmıştır.

Araçta sürekli mıknatıslı bir DA motoru kullanılmaktadır. DA motorunun dört bölge denetimi sayısal işaret denetleyici tabanlı olarak yapılmaktadır. Mikro denetleyici tarafından üretilen darbe genişlik modülasyonu (PWM) sinyali ile sürülen H-köprü da-da çeviricisi, motora uygulanan gerilimin ortalama değerini değiştirmekte ve böylece motorun hızı denetlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Otonom araç, Sabit mıknatıslı DA motoru, TMS320F2808 DSP, eZdsp F2808, Mikro denetleyici.

Master Thesis

SUMMARY

TMS320F2808 DSP-BASED CONTROL OF AUTONOMOUS VEHICLES WITH
PMDC MOTOR

Selçuk GÜVEN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical – Electronics Graduate Program

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ
2011, 98 Pages

Innovations in automation technology reduce the need for human beings. Although owning cost of technological machinery is high enough, operating and maintenance costs are low. In addition, owing to these machinery, errors caused by humans are eliminated. In this thesis, a direct current (DC) motor driving system for a vehicle tracking a given route is developed and the control of this system by means of TMS320F2808 digital signal controller is aimed. The algorithm which is used for DC motor control is designed by using Matlab/Simulink simulation software. The generated codes are built into the TMS320F2808 directly via CCS (Code Composer Studio) by favour of this software.

A permanent magnet DC (PMDC) motor is used in the vehicle. Four quadrant control of the dc motor is performed based on digital signal controller. The H-bridge dc-dc converter which is driven by the pulse-width modulation (PWM) signal generated by micro controller changes the average value of the voltage applied to the motor and as a result the speed of the motor is controlled.

Key Words: Autonomous vehicle, Permanent magnet DC machine, TMS320F2808 DSP, eZdsp F2808, Microcontroller

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Klasik DSP işlemcilerinin basitleştirilmiş blok diyagramı.....	2
Şekil 1.2.	TMS320C28X sayısal sinyal denetleyicilerinin mimarisini gösteren blok diyagram.....	4
Şekil 1.3.	Çeşitli sayısal sinyal denetleyicileri için kaydetme hızları (Clock Speed) karşılaştırılması.....	8
Şekil 1.4.	Çeşitli sayısal sinyal denetleyicileri için Flash ve RAM hafızaları karşılaştırılması.....	8
Şekil 1.5.	Çeşitli sayısal sinyal denetleyicileri için analog – sayısal dönüştürücülerin (ADC) dönüştürme zamanlarının karşılaştırılması.....	9
Şekil 1.6.	Matlab/Simulink üzerinden gömülü kod üretimi akış diyagramı.....	11
Şekil 1.7.	Motor sürücü sistemlerinin kontrolü.....	13
Şekil 1.8.	Servo sürücü.....	14
Şekil 1.9.	Bina klima sistemi değişken hızlı sürücü sistemi örneği.....	14
Şekil 1.10.	Basitleştirilmiş motor sürücü devresi.....	16
Şekil 1.11.	Hız geribeslemeli sürücü kontrolüne ilişkin genel blok diyagram.....	17
Şekil 1.12.	Doğru akım motoru eşdeğer devresi.....	19
Şekil 1.13a.	Sabit mıknatıslı doğru akım motoruna ilişkin eşdeğer devre.....	20
Şekil 1.13b.	Sabit mıknatıslı doğru akım motoruna ilişkin moment – hız karakteristiği.....	20
Şekil 1.14a.	İki bölgede çalışma	21
Şekil 1.14b.	Bir bölgede çalışma	21
Şekil 1.15.	Açık çevrimli hız kontrolü.....	22
Şekil 1.16.	CPU – zamanlayıcıları.....	23
Şekil 1.17.	CPU – zamanlayıcı kesme işaretleri ve çıkış işareti.....	23
Şekil 1.18.	Bir 280x sistemdeki çoklu PWM modülleri.....	25
Şekil 1.19.	ePWM alt modüllerinin kritik dahili sinyal ara bağlantıları.....	27
Şekil 1.20.	eCAP fonksiyonel blok diyagram.....	29
Şekil 1.21.	eQEP fonksiyonel blok diyagramı.....	30
Şekil 1.22.	ADC modülünün blok diyagramı.....	33
Şekil 1.23.	ADC’nin dâhili referans ile uç bağlantıları.....	35

Şekil 1.24.	ADC'nin harici referans ile uç bağlantıları.....	35
Şekil 1.25.	PWM Hi-Z karakteristikleri.....	38
Şekil 1.26.	ADCSOAO veya ADCSOCBO zamanlaması.....	40
Şekil 1.27.	ADC güç artırma kontrol biti zamanlaması.....	42
Şekil 1.28.	ADC analog giriş empedans modeli	42
Şekil 1.29.	Ardışık örnekleme modu zamanlaması (Tek Kanal).....	43
Şekil 1.30.	Eş zamanlı örnekleme modu zamanlaması.....	44
Şekil 1.31.	eZdsp F2808 devre kartı blok diyagramı.....	46
Şekil 1.32.	eZdsp F2808 PCB devre çizimi.....	47
Şekil 1.33.	eZdsp F2808 konektör ve anahtar konumları.....	49
Şekil 1.34.	P1 pin konumları.....	50
Şekil 1.35.	P8 konektörü.....	51
Şekil 1.36.	P5 ve P9 konektörlerinin pin konumları.....	52
Şekil 1.37.	P6 konektörü.....	53
Şekil 1.38.	eZdsp F2808 güç konektörü.....	54
Şekil 1.39.	P10, DB9 dişi konektör.....	54
Şekil 1.40.	P11, DB9 dişi konektör.....	55
Şekil 1.41.	eZdsp F2808 sıçrama bağlantıları konumları (arkadan görünüm).....	58
Şekil 1.42.	JP4 devre görünümü.....	58
Şekil 1.43.	JP6 devre görünümü.....	59
Şekil 1.44.	SW1 devre görünümü.....	61
Şekil 1.45.	SW2 devre görünümü.....	63
Şekil 2.1.	Aracın şematik görünüşü.....	65
Şekil 2.2.	Araç motorunun görünüşü.....	66
Şekil 2.3.	Enkoderin görünüşü	67
Şekil 2.4.	Redüktörlü adım motoru ve araç dönüş sistemi.....	68
Şekil 2.5.	Motor sürücü kartının üstten görünüşü.....	69
Şekil 2.6.	Yön denetim kartının üstten görünüşü.....	69
Şekil 2.7.	Ana güç besleme kartının ares çizimi.....	70
Şekil 2.8.	Ana güç besleme kartının üstten görünüşü.....	70
Şekil 2.9.	MATLAB, CCS ve DSP kartı arasındaki ilişki.....	72
Şekil 2.10a.	CCS programı açılış sayfası.....	74
Şekil 2.10b.	Hedef özelliklerinin seçilmesi.....	74

Şekil 2.11.	C280x DSP kart desteği.....	74
Şekil 2.12.	Simulink ortamında hazırlanan örnek benzetim.....	75
Şekil 2.13.	Dijital giriş bloğunun seçilmesi.....	76
Şekil 2.14.	Örnek uygulamanın Simulink benzetimi son hali.....	76
Şekil 2.15.	Direncin eZdsp F2808 üzerine yerleştirilmesi.....	78
Şekil 2.16	ADC bloğu görünümü.....	77
Şekil 2.17.	ADC blok özellikleri.....	78
Şekil 2.18.	ePWM bloğu görünümü.....	79
Şekil 2.19.	ePWM blok özellikleri.....	80
Şekil 2.20.	Sayma modu için sayma çeşitleri.....	81
Şekil 2.21.	ePWMA üzerinden ayarlanabilecek özelliklerin görünümü.....	81
Şekil 2.22.	eQEP bloğu görünümü.....	83
Şekil 2.23.	eQEP üzerinden ayarlanabilecek özelliklerin görünümü.....	83
Şekil 2.24.	Konum sayıcı sekmesi menü görünümü.....	84
Şekil 2.25.	Hız ölçümü sekmesinin menü görünümü.....	85
Şekil 2.26.	GPIO bloğu görünümü.....	85
Şekil 2.27.	GPIO blok parametreleri menü görüntüleri.....	86
Şekil 2.28.	ADC – PWM blok bağlantısı görünümü.....	87
Şekil 2.29.	PWM üretimi için kullanılacak olan Simulink modeli.....	88
Şekil 2.30.	Örnek uygulama devresi.....	89
Şekil 2.31.	PWM görünümü-1.....	90
Şekil 2.32.	PWM görünümü-2.....	90
Şekil 2.33.	Tasarlanan Simulink modelinin genel görüntüsü.....	91
Şekil 2.34.	Hız ölçümü bloğu model görünümü.....	92
Şekil 2.35.	Hız kontrol bloğu model görünümü.....	93
Şekil 2.36.	TMS320F2808 pin çıkışları.....	93
Şekil 2.37.	Tasarlanan sistemin genel görünüşü.....	94

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1.	Mikro denetleyici DSP ve DSC'lerin karşılaştırılması.....	4
Tablo 1.2.	Son zamanlarda kullanılan sayısal sinyal denetleyicilerinin karşılaştırılması.....	7
Tablo 1.3.	CPU-zamanlayıcıları 0-1-2 gösterimi ve kontrol kaydedicileri.....	24
Tablo 1.4.	ePWM kontrolü ve durum kaydedicileri.....	26
Tablo 1.5.	eCAP kontrolü ve durum kaydedicileri.....	29
Tablo 1.6.	eQEP kontrolü ve durum kaydedicileri.....	31
Tablo 1.7.	ADC kaydedicileri.....	37
Tablo 1.8.	ePWM zamanlama gereksinimleri.....	38
Tablo 1.9.	ePWM anahtarlama karakteristikleri.....	38
Tablo 1.10.	Anahtarlama bölgesi biriş zamanlama gereksinimleri.....	39
Tablo 1.11.	SYSClkOUT' daki yüksek çözünürlüklü PWM karakteristikleri = 80-100MHZ.....	39
Tablo 1.12.	Geliştirilmiş yakalama zamanlama gereksinimi.....	39
Tablo 1.13.	eCAP anahtarlama karakteristikleri.....	39
Tablo 1.14.	Geliştirilmiş dörtlü kodlayıcı darbe zamanlaması gereksinimleri.....	40
Tablo 1.15.	eQEP anahtarlama karakteristikleri.....	40
Tablo 1.16.	Harici ADC dönüştürme başlangıcı anahtarlama karakteristikleri.....	40
Tablo 1.17.	ADC 'nin elektriksel karakteristikleri.....	41
Tablo 1.18.	eZdsp F2808 hafıza boşlukları.....	48
Tablo 1.19.	eZdsp F2808 konektörleri.....	49
Tablo 1.20.	P1, JTAG arayüz konektörü.....	50
Tablo 1.21.	P4/P8 giriş – çıkış konektörleri.....	52
Tablo 1.22.	P5/P9 analog arayüz konektörü.....	53
Tablo 1.23.	P10, RS-232 pin çıkışları.....	55
Tablo 1.24.	P11, CANA pin çıkışları.....	56
Tablo 1.25.	J10, 5 x 2 pin çıkışları.....	56
Tablo 1.26.	J11, 5 x 2 pin çıkışları.....	57
Tablo 1.27.	eZdsp F2808 kullanılabilen konektörlerin parça numaraları.....	57

Tablo 1.28.	eZdsp F2808 sıçrama bağlantıları.....	57
Tablo 1.29.	JP4, gerilim sıçrama bağlantıları, P8 ve P4 için 3.3/5 Volt.....	59
Tablo 1.30.	JP6, GPIO22/GPIO24 seçimi.....	60
Tablo 1.31.	SW1 anahtar konumları.....	60
Tablo 1.32.	SW1 konum 1 – 3.....	61
Tablo 1.33.	SW1, konum 4.....	62
Tablo 1.34.	SW1, konum 5.....	62
Tablo 1.35.	SW1, konum 6.....	63
Tablo 1.36.	SW2 anahtar konumları.....	63
Tablo 1.37.	Ledler.....	64
Tablo 1.38.	Test noktaları.....	64
Tablo 2.1.	MATLAB – CCS uyumu ve desteklenen donanımlar.....	72
Tablo 2.2.	Sayma modunun “yukarı” veya “aşağı – yukarı” seçili olması durumu.....	82
Tablo 2.3.	Sayma modunun “aşağı” seçili olması durumu.....	82

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Sayısal İşaret İşleyicilerin (DSP) Tanıtımı

1.1.1. Giriş

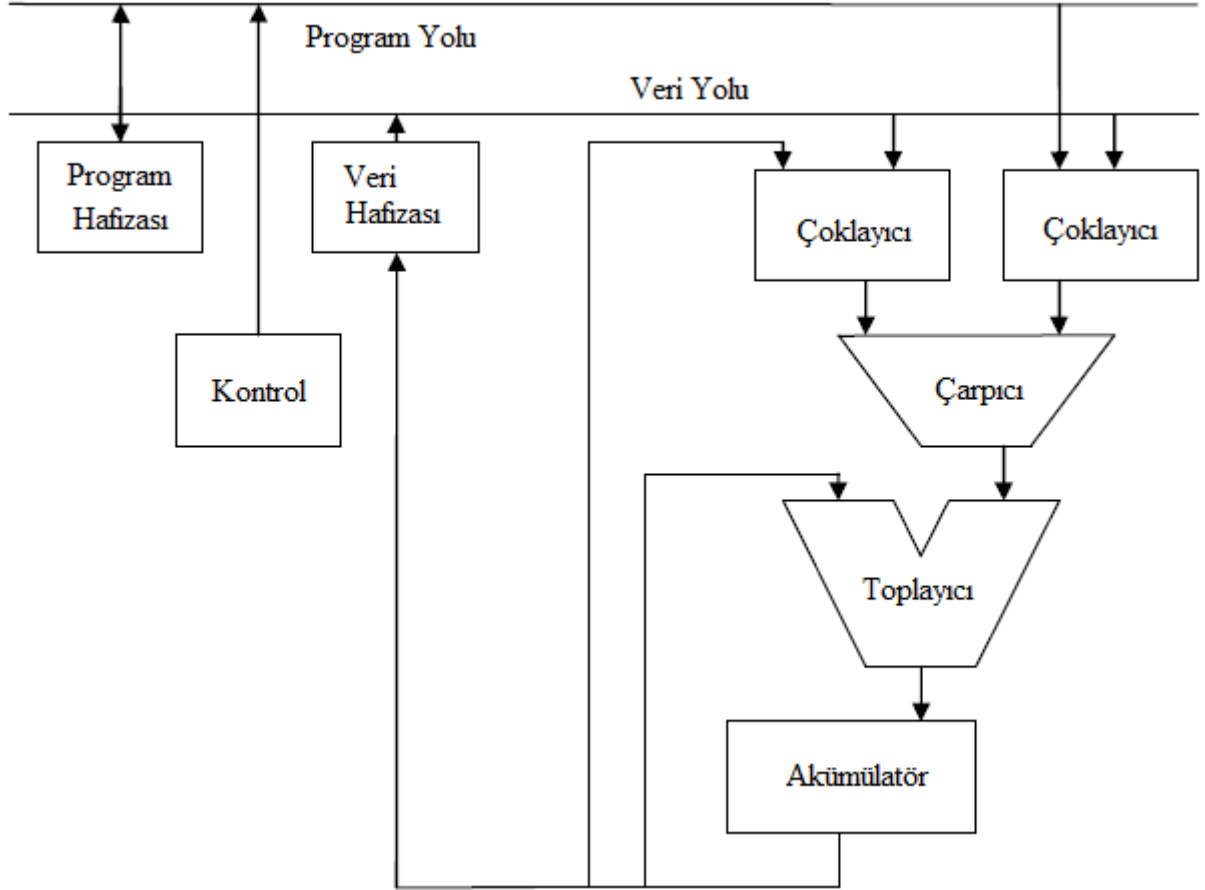
“DSP Mikroişlemcileri” “Sayısal İşaret İşleme amaçlı tasarlanmış mikroişlemciler” olarak tanımlanabilir. Yıllardan beri mikroişlemciler karmaşık hesaplamaları gerçekleştirebilmek amaçlı kullanılmış; son zamanlarda ise çeşitli güç elektroniği ve kontrol uygulamalarında kullanımının yaygınlaşması ile birlikte odak noktası haline gelmiştir [1]. Gelişmiş mikroişlemcilerde boyut ve hafıza bir sınırlama sebebi olmamıştır. Öte yandan mikroişlemci ailesinden türemiş olan mikro denetleyiciler de aynı şekilde temel hesaplamaları yapmak için türetilmiş olup; daha az hafıza ve boyut gereksinimi olan uygulamalarda kullanılabilmektedirler. İşte DSP işlemcileri; bu iki sınıf arasında bulunmakta olup daha fazla hız gereksinimi olan ve daha karmaşık uygulamalarda kullanılması için tasarlanmışlardır.

1.1.2. DSP’lerin Zaman İçerisinde Gelişimi

DSP mikroişlemcileri temel, geleneksel DSP’lerin en temel ve gerekli özelliklerini koruyarak ve büyütürken yıllardır gelişmeye devam etmektedir. Ancak sadeleştikçe bazı özelliklerini de kaybetmektedirler. Örnek olarak; en iyi DSP’lerden biri olarak kabul edilen TI firmasına ait TMS320C62XX serisi mikroişlemcilerde “Sıfır Çevrimi (Zero Overhead Looping)” özelliği bulunmamaktadır. DSP’lerin motor kontrolü ve güç kaynakları uygulamaları gibi birçok uygulamada tercih edilebilir nitelikte olduğu da düşünüldüğünde; şu an kullanılan DSP mimarisi genel olarak 3 kategoriye ayrılabilir [2].

1) Birinci Nesil – Klasik DSP’ler: Bu tip DSP’ler aşağıda açıklanan ve DSP’lerin geliştirilme sebeplerinden olan birçok uygulamada kullanılabilmekteydi. Bu DSP’lerin odak noktası maliyet ve Analog – Sayısal Dönüştürücü (ADC), Seri Çevresel Haberleşme (SPI), Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) birimi gibi çevresel birimlerdi. Motor kontrolü, sayısal kontrollü güç kaynakları (Anahtarlamalı güç kaynakları), otonom sistemler gibi uygulamalarda yeterli olabilecek seviyede; saniyede 20 – 100 arasında işlem

yapabilmekteydiler. Aslında başlangıçta işaret işleme uygulamaları için kullanılmaları düşünülse de bilinen en iyi DSP'ler daha çok motor kontrol uygulamaları için tasarlanmıştır. Bu DSP'lere örnek olarak Freescale firmasına ait DSP56XXX serileri ve TI firmasına ait TMS320C2XX serileri verilebilir. Aşağıdaki şekilde geleneksel DSP işlemcilerinin çalışmasına ilişkin genel blok diyagram gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Klasik DSP işlemcilerinin basitleştirilmiş blok diyagramı [2].

2) İkinci Nesil – Geliştirilmiş DSP'ler: Kaydetme hızını (Clock speed) arttırmak hesaplama hızını geliştirmenin en temel yöntemlerinden biridir. Ancak bu durumda maliyet artacak, yüksek güç kayıpları gerçekleşecek ve donanım boyutu da fazlasıyla artacaktır. Bir diğer yol ise birden fazla aritmetik birim (AU) kullanarak, daha fazla hafıza birimleri ilave ederek veya donanımın adres üretme verimliliğini artırarak paralelliği arttırmak olarak düşünülebilir [2]. Yakın zamanda üretilen işlemcilerde fabrikasyon tekniğinin de gelişmesiyle düşük gerilim anahtarlama seviyeleri sayesinde güç kaybı ve toplam maliyet oldukça düşürülmüştür. Birinci ve ikinci nesil işlemcilerin başarı

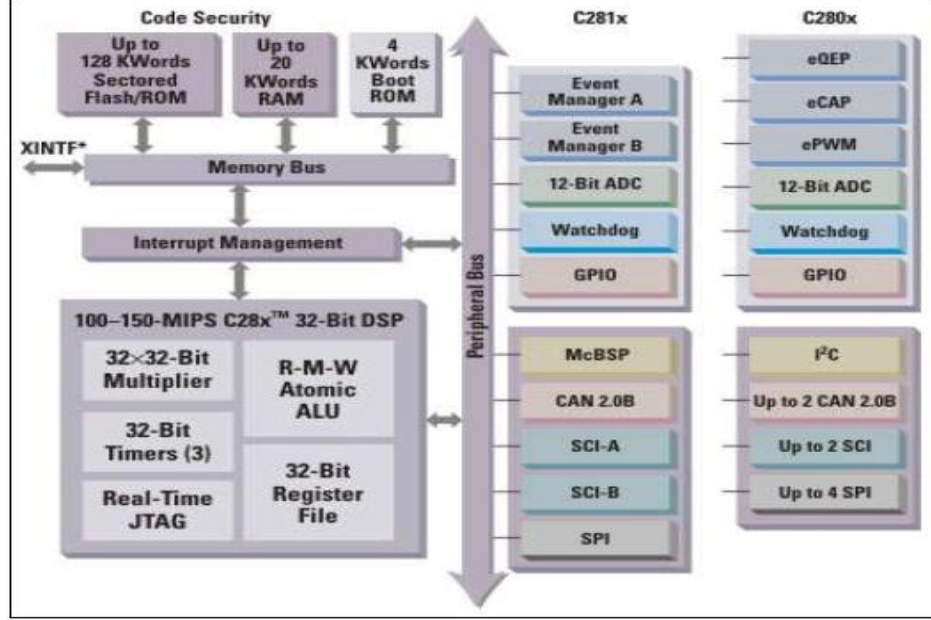
seviyeleri arasında çok ince bir çizgi vardır. Daha geniş bir bakış açısıyla düşünüldüğünde; aslında ikinci nesil işlemciler sadece birinci nesildekilerin geliştirilmiş sürümüdür denilebilir. Örnek olarak ikinci nesil kabul edilen Lucent firmasına ait DSP 16XXX işlemcileri 2 MAC birimi, 32-bit veri yolu ve 8- bit akümülatöre sahipken; geliştirilmemiş haliyle sürülen DSP16XXX'ler; 1MAC birimi, 16-bit veri yolu ve 2 akümülatöre sahiptir. Kablosuz modemler, cep telefonları, GPS alıcıları ve dijital ses oynatıcılarında kullanılabilen TI firmasına ait TMS320C5XXX Serisi mikroişlemciler de bu sınıfın içerisine girmektedirler [2].

3) Çoklu veya 3. Nesil DSP'ler: Birinci nesil DSP mimarisi; belirli bir amaç için geliştirilmiş ve düzensiz olmaları sebebiyle yüksek seviye programlamayı desteklememektedir. Bu nesil işlemcilerde öncelikli olarak hesaplama hızının üzerinde durulmasıyla kontrol, güç elektroniği ve diğer uygulamalarda daha geniş çözüm verebilme yeteneği geliştirilmiştir.

1.1.3. Sayısal İşaret Denetleyicileri (DSC)

Gömülü kontrol sistemleri uygulamalarında mikro denetleyicilerin kullanımı yıllardan beri neredeyse bir kural halini almıştır. Mikro denetleyiciler; küçük boyutları, verimli giriş-çıkış haberleşmeleri ve gerçek zamanlı kontrol gerçekleştirebilmeleri sayesinde her zaman ön planda olmuşlardır. En fazla kullanıldığı yerlerden bazıları; motor kontrolü, güç çeviricileri, disk sürücüler ve müzik çalarlar gibi tüketiciye yönelik uygulamaları da içermektedir. Aynı zamanda DSP'ler telekomünikasyon, işaret işleme ve diğer sayı tabanlı uygulamalarda da fazlasıyla kullanılmaktadır. Yer yer vektör kontrol uygulamalarında da kullanılmakta olup mikro denetleyiciler kadar düşük maliyetli ve yer yer hızlı olamaması sebebiyle çok fazla tercih edilmemektedir. DSP üreticiler yonga hafızası ve çevresel birimler gibi daha çok denetlemeye yönelik özellikleri DSP'lere entegre etmeye başlamışlardır [3]. Benzer olarak mikro denetleyici üreticileri de veri yolu genişliğini 8-bit'ten 16-bit'e çıkararak performanslarını geliştirmeye çalışmışlardır. Kontrol özellikleri üst seviyede tutulan DSP işlemcilerine DSP denetleyicileri denilmektedir. İlk kez 2002 yılında Microchip firması herkesçe kabul gören "Dijital İşaret Denetleyicisi (DSC)" terimini kullanmıştır. Bu tarihten sonra diğer firmalar da bu terimi kullanmaya başlamışlardır (TI firmasına ait TMS320C200 serisi ve Freescale firmasına ait 56800 E serisi gibi). DSP'lerin gelişim süreci düşünüldüğünde DSC'ler daha çok birinci

nesil DSP'lerle karşılaştırılabilirler. Şekil 1.4'te TMS320C28X sayısal işaret denetleyicisinin blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 1.2. TMS320C28X sayısal işaret denetleyicilerinin mimarisini gösteren blok diyagram [3].

Aşağıda verilen tabloda da mikro denetleyiciler, DSP ve DSC'lerin özellikleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 1.1. Mikro denetleyici, DSP ve DSC'lerin karşılaştırılması

Özellik	Mikro denetleyici	DSP'ler	DSC'ler
Tek Çevrim MAC		X	X
Sıfır Çevrimi (ZOL)		X	X
Modülo Aritmetiği		X	X
İkili İşlem Yolu		X	X
Hızlı Kesme Kontrolü	X		X
Flash Bellek üzerinden Uygulama	X		X
Geniş Kaydedici Seçim İmkânı	X		X
Karışık İşaret Çıktısı	X		X

1.1.4. Güç ve Motor Kontrol Uygulamalarında Sayısal İşaret Denetleyicileri ve DSP'lerin Kullanımı

DSP'ler başlangıçta özellikle işaret işleme algoritmaları için üretilmişti. Çalışılan alanlarda maliyet düşürme ve verimlilik üzerine odaklanmaya başlanması sonucu; kontrol uygulamalarında DSP'nin faydalarından yararlanmak daha uygun hale geldi. Aslında kontrol uygulamalarında DSP kullanımının daha yararlı olup olmadığı belli değildi. Bazı uygulamalarda geniş veri yoluna sahip mikro denetleyiciler kullanmak daha hızlı hesaplama yapılabilmesi için daha faydalı görünüyordu. DSP'ye olan ihtiyaç kontrol uygulamaları ve işaret işleme algoritmaları arasındaki benzerliğin düşünülmesini haklı göstermiş oldu. Örnek olarak PI denetleyicisini ele alalım. Sürekli zaman durumunda PI denetleyicisine ait transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir [4]:

$$U(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} \right) I(s) \quad (1.1)$$

Burada U denetleyici çıkış işaret i olup;

I : Giriş hata işareti

S : Laplace Değişkeni

K_p : Oransal Kazanç

K_i : İntegral Kazancı'dır.

Aynı eşitlik kesikli zamanda verildiğinde;

$$U_{k+1} = A_1 I_{k+1} + A_0 I_k + U_k$$

olup;

$$A_1 = \frac{K_i}{2} T_z + K_p \text{ ve } A_0 = \frac{K_i}{2} T_z - K_i \text{ 'dir} \quad (1.2)$$

Yukarıdaki eşitlikler göz önünde bulundurulduğunda çıkışların DSP'lerde rahatlıkla işlem yaptırılabilir şekilde "Çarpımların Toplamı" şeklinde olduğu görülmektedir. Bu

durum düşünöldüğünde çoğı sürekli zaman sisteminin kesikli zamana dönüştürölmesi sonucunda ortaya bir fark eşitliğı çıkacağı sonucuna varılabilir. Bu nedenle çoğı kontrol algoritması DSP'lerin avantajlarından faydalanabilir. Tablo 1.2'de çeşitli algoritmalar için hesaplama süreleri karşılaştırılmıştır.

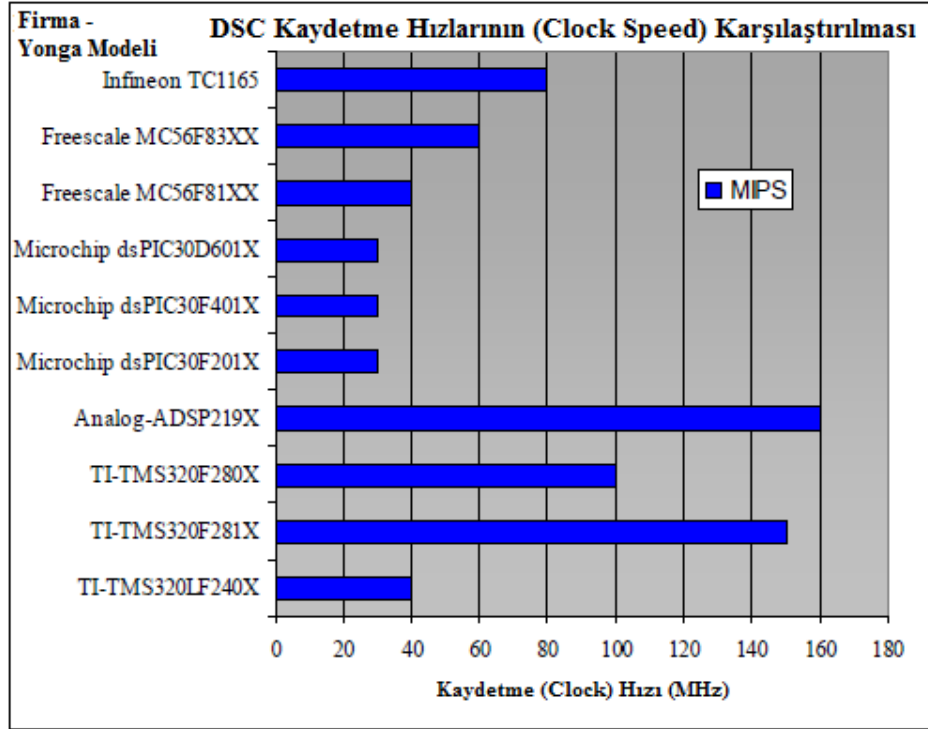
Güç elektroniğı uygulamalarında yazılım ile yapılan uygulamalar veya benzetimlerin eşdeğerlerinin icra edilebilir hale gelmesiyle bu yazılımsal çalışmalar yerini donanımsal parçalara bırakmıştır. DA-DA dönüştürücüler ve DA-AA çeviriciler gibi güç dönüştürücüler; anahtarlama elemanlarının yüksek frekansta çalıştırılabilmesi sayesinde rahatlıkla kontrol edilebilmektedir. Dolayısıyla çıkış işaretiinde yüksek seviye harmonikleri oluşabilmektedir. Normalde bu durum ek kayıplara sebep olabilecek filtreleme elemanlarıyla çözüme kavuşturulabilecekken DSC'lerin sahip olduğı yeteneklerle yazılım ortamında çözölüp donanıma aktarılabilir.

Motor kontrolü uygulamalarında DSC'ler; verimliliğın artması, güvenilirlik ve üretim masraflarının azaltılmasında oldukça büyük rol oynamaktadır. Alan yönlendirmeli kontrol (FOC) gibi kontrol yöntemlerinde birçok matrisel işlemler yer almakta ve bu işlemler "MAC" birimleriyle çözülebilmektedir. Anahtarlama relüktans motorlar (SR) genel olarak ucuzlukları, yüksek güvenilirlikleri ve mükemmel moment karakteristikleriyle bilinmektedir. Ancak bu motorların kontrolü statör sargılarının uyarımının kusursuz olması gerekliliğı sebebiyle oldukça zordur. DSC'lerin yardımıyla rötor pozisyonu motorun yazılım ortamında modellenmesiyle gerçek zamanlı olarak kestirilebilir.

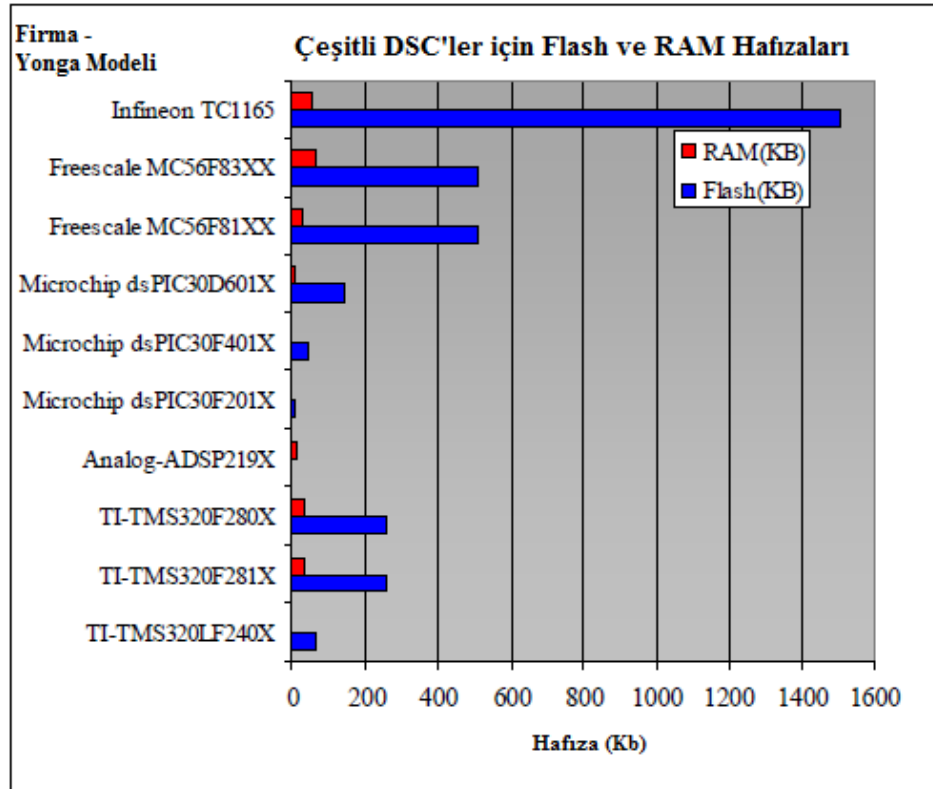
DSC'ler genellikle 20 ila 150 MIPS (Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages) bant genişliğı sunarlar [2]. Motor kontrolü uygulamalarında genellikle 20 ila 40 MIPS bant genişliğine ihtiyaç duyulur. Ayrıca DSC'lerin kullanımı sonucu bütün sistemin maliyeti ve büyüklüğü azaltılabilir.

Tablo 1.2. Son zamanlarda kullanılan sayısal işaret denetleyicilerinin karşılaştırılması

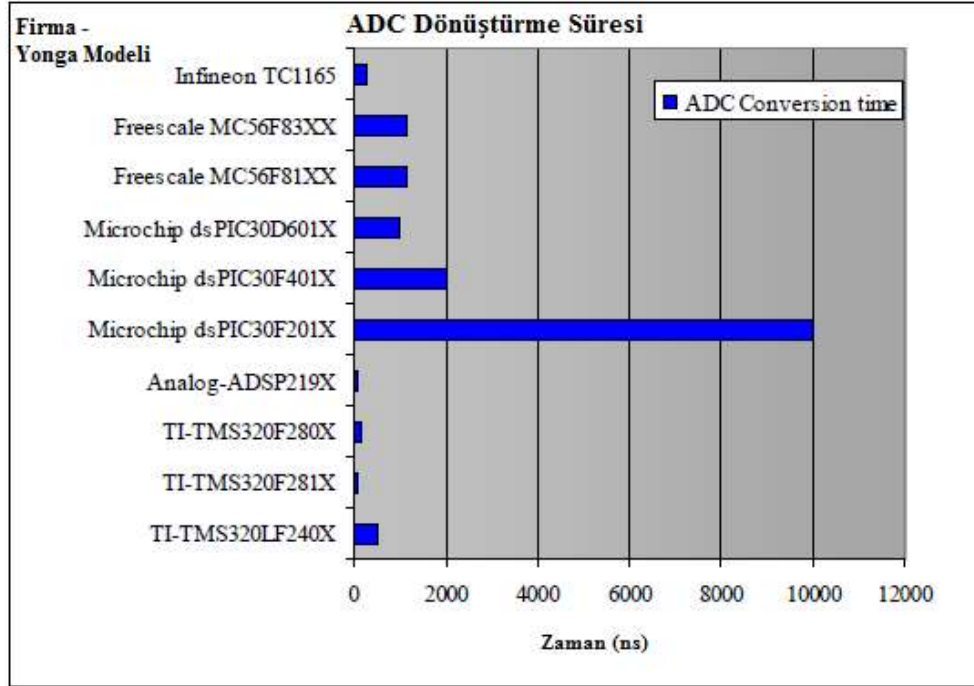
No	Üretici - Model	Clock (MHz)	Hafıza (Kb)	Zaman-layıcılar	GPIO	ADC Dönüştürme Süresi	PWM	Diğer Çevresel Birimler	Besleme (V)	Maliyet (\$/1000)
1	TI-TMS320LF240X	40	RAM: 2-5 ROM: Nil Flash: 64	1 WD 4-16 bit	41	1-16 Ch 10-bit /500 ns	8-16 bit	CAP:6 QEP:4 UART: 1 SCI SPI: 1 CAN: 1	Core: 3.3 IO: 3.3	3.5-9.75
2	TI-TMS320F281X	150	RAM:36 ROM: Nil Flash:128-256	1 WD 3-32 bit	56	1-16 Ch 12-bit /80 ns	8-16 bit	CAP:6 QEP:2 UART: 2 SCI SPI: 1 CAN: 1	Core: 1.9 IO: 3.3	14-19
3	TI-TMS320F280X	100	RAM:12-36 ROM: Nil Flash: 32-256	1 WD 3-32 bit	35	1-16 Ch 12-bit /160 ns	8-16 bit	CAP:4 QEP:2 UART: 2 SCI SPI: 4 CAN: 2	Core: 1.8 IO:3.3	6-12
4	Analog-ADSP219X	160	RAM:16 ROM: Nil Flash: Nil	1 WD 3-32 bit	16	1-8 Ch 14-bit /91 ns	8-16 bit	CAP: Nil QEP: 1 UART: called SPORT SPI: Nil CAN: Nil	Core: 2.5	5-10
5	Microchip dsPIC30F201X	30	RAM:1 ROM:Nil Flash: 12	1 WD 3-16 bit	20	1-10 Ch 12-bit /10000 ns	8-16 bit	CAP: 4 QEP: 1 UART: 1 SPI: 1 CAN: 0 I2C: 1	Core: 2.5	3-4
6	Microchip dsPIC30F401X	30	RAM: 2 ROM: 1 Flash: 48	1 WD 5-16 bit	30	1-9 Ch 10-bit /2000 ns	6-16 bit	CAP: 4 QEP: 1 UART: 2 SPI: 1 CAN: 1 I2C: 1	Core: 2.5	4-5
7	Microchip dsPIC30D601X	30	RAM: 8 ROM: 4 Flash: 144	1 WD 5-16 bit 2-32 bit	52	1-16 Ch 10-bit /1000 ns	8-16 bit	CAP: 8 QEP: 1 UART: 2 SPI: 2 CAN: 1 I2C: 1	Core: 2.5	8-9
8	Freescale MC56F81XX	40	RAM: 32 ROM: Nil Flash: 512	1 WD 8-16 bit	76	4-4 Ch 12-bit /1200 ns	6-16 bit	CAP: 8 QEP: 2 UART: 2 SCI SPI: 2 CAN: Nil	Core: 2.5 IO: 3.3	15-18
9	Freescale MC56F83XX	60	RAM: 68 ROM: Nil Flash: 512	1 WD 16-16 bit	76	4-4 Ch 12-bit /1200 ns	12-16 bit	CAP: 8 QEP: 2 UART: 2 SCI SPI: 2 CAN: 2 flexCAN Temperature sensor	Core: 2.5 IO:3.3	18-25
10	Infineon TC1165	80	RAM: 56 ROM: 32 Flash: 1504	1 WD 32-16/24 bit (GPTA)	81	32 inputs 8, 10, 12 bit /262.5 ns	6-16 bit	CAP: 32 QEP: Nil ASC :1 SSC: 2 CAN: 2	Core: 1.5 IO: 3.3	NA



Şekil 1.3. Çeşitli sayısal işaret denetleyicileri için kaydetme hızları (Clock Speed) karşılaştırılması



Şekil 1.4. Çeşitli sayısal işaret denetleyicileri için Flash ve RAM hafızaları karşılaştırılması



Şekil 1.5. Çeşitli sayısal işaret denetleyicileri için analog – sayısal dönüştürücülerin (ADC) dönüştürme zamanlarının karşılaştırılması

Bu tez çalışmasında otonom araç uygulamasının motorunun kontrolü amaçlı TI firmasına ait TMS320F2808 sayısal işaret denetleyicisi kullanılmıştır. Aşağıda bu denetleyiciye ait bazı özellikler yer almaktadır [5].

- 1- 100 Mhz (10 ns Çevrim süresi)
- 2- Düşük güçte (1.8 V yonga, 3.3 V giriş - çıkış)
- 3- 16 x 16 ve 32 x 32 MAC işlemleri
- 4- Harvard veri yolu mimarisi
- 5- Yonga hafızası: 64K X 16 Flash, 18K x 16 SARAM
- 6- 1K x 16 OTP ROM (sadece F280x serisi için)
- 7- Boot Rom (4K x 16)
- 8- Watchdog zamanlayıcı modülü
- 9- GPIO modüllerinden her biri 3 adet harici kesme ucuna bağlanabilir
- 10- 43 adet Çevresel kesmeyi de destekleyen “Çevresel Kesme Çoğaltımı (Peripheral Interrupt Expansion)” (PIE) bloğu
- 11- 128-Bit güvenlik kilidi
- 12- Kontrol uygulamaları için geliştirilmiş çevresel birimler

- 13- 16 adet PWM çıkışı ve 150 ps MEP çözünürlüğüne sahip 4 adet HRPWM çıkışı
- 14- 4 adet yakalama (Capture) girişi
- 15- 2 adet dört evreli kodlayıcı (encoder) arayüzü
- 16- 6 adet 32-bit/6 adet 16-bit zamanlayıcı, 3 adet 32-Bit CPU zamanlayıcısı, 4 adet seri çevresel arayüz (SPI) birimi
- 17- 2 adet seri haberleşme arayüzü (SCI) ve standart UART birimi
- 18- 2 adet CAN birimi
- 19- 1 adet gömülü entegre devre (I2C) veriyolu
- 20- 12-Bit ADC, 16 kanal, 2 x 8 kanal giriş çoklayıcısı, 2 adet tutucu (Sample-and-Hold)
- 21- Tek/Eşzamanlı çevirme, hızlı çevirme oranı: 160 ns/6.25 MSPS dahili veya harici referans
- 22- 35 adet tek tek programlanabilen, kullanım alanı genişletilmiş Giriş – Çıkış uçları (GPIO).

1.2. Model Tabanlı Otomatik Kod Üretimi

1.2.1. Giriş

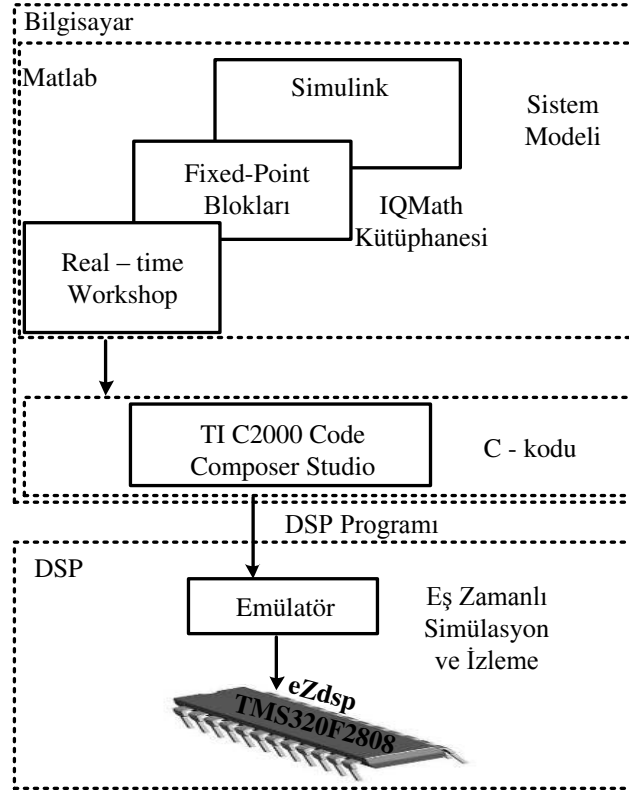
Motor kontrol uygulamaları sıklıkla DSP gibi özel işlemciler ile gerçekleştirilmektedir. Ancak Burada kod üretme yöntemleri genelde klasik yöntemlerle sınırlı kalmış ve her bir uygulama için farklı ve uzun kodlar yazılması gerekmiştir. DSP tabanlı denetim stratejileri geliştirmek için, kullanılacak olan DSP'nin iç mimarisini, tasarım ve gömülü kod üretme ölçütlerini yeterli seviyede bilmek gerekmektedir. Ayrıca, farklı DSP'lere ait farklı programlama dillerini öğrenmek, karmaşıklığın derecesi arttıkça uygulama geliştirmek, uygulama yazılımında uygunlaştırma yapmak, hata ayıklamak zahmetli olmakta ve fazlasıyla uzun zaman almaktadır. Yeni DSP algoritmalarının testi ve yeni uygulamalar için tasarım zamanını daha kısa tutabilecek şekilde kod üretilmesi hızlı geliştirme araçları ile mümkün olmaktadır [6].

Hızlı prototipleme yapabilmek için en önemli unsur, otomatik kod üretimidir. Otomatik kod üretimi, tasarlanan algoritmaya ait kodların otomatik olarak oluşturulabilmesini, hedef DSP kartına kodlamayı, bağlamayı, derlemeyi ve yüklemeyi kapsamaktadır. İşte bu otomasyon, tasarımda yapılan değişikliklerin blok diyagram yoluyla

doğrudan yapılabilmesine izin vermekte ve çok kısa zamanda farklı uygulamalara ait kodların üretilmesiyle daha kısa zamanda daha fazla uygulama yapılabilmesine imkân vermektedir.

1.2.2. Model Tabanlı Üretim ve Sağladıkları

Bu çalışmada, Matlab/Simulink Embedded Target ve Real Time Workshop yazılımı ile model tabanlı gömülü kod üretimi ve DSP ile D.A. motor hız denetimi yapılarak çalışmanın verimliliği ve getirdiği kolaylıklar incelenmektedir [7]. Matlab/Simulink, denetim algoritmalarının blok diyagramlarla gösterilebilen benzetimi için model tabanlı bir geliştirme ortamıdır. Blok diyagramlarla verilen DSP algoritmaları, Real Time Workshop (RTW), Link for Code Composer Studio Development Tools ve Embedded Target for TIC2000 DSP alt yazılımları ile Şekil 1.6'da görüldüğü gibi hedef DSP işlemcileri için makine diline (assembly) çevrilebilmekte ve gerçek zamanda uygulanması ve tasarımın test edilerek doğrulanması çok hızlı bir şekilde yapılabilmektedir [8].



Şekil 1.6. Matlab/Simulink üzerinden gömülü kod üretimi akış diyagramı

Matlab/Simulink ortamında gömülü kod üretmek amacıyla, Embedded Target for TI C2000 DSP araç kutusundaki C28x DMC kütüphanesinden Clarke dönüşüm bloğu, C28x IQmath kütüphanesinden aritmetik işlem ve matematiksel fonksiyon blokları gibi blokların kullanılmasıyla Güç elektroniği, Motor kontrolü veya farklı uygulamalar için temel benzetimler tasarlanabilmektedir. Bu simulink modellerine, C2800 DSP Core Support kütüphanesinden C28x ADC ve C28x PWM blokları eklenerek çalışmada kullanılan F2808 DSP analog girişleri ile PWM çıkışları seçilmekte ve C2000 Target Preferences kütüphanesinden F2808 eZdsp bloğu eklenerek DSP konfigürasyon ayarları yapılmaktadır [8].

Oluşturulan Simulink benzetim programı modelinde normal matematiksel fonksiyon blokları veya IQmath fonksiyonları kullanılabılır. IQmath fonksiyonları, sabit noktalı (fixed point) işlemciler için geliştirilmiş ve kayan noktalı (floating point) işlemciler kadar hassas matematiksel işlem performansı sağlayan, maksimum kod optimizasyonu yapılmış algoritmalarıdır [6] [7].

RTW (Real Time Workshop), Simulink ortamında oluşturulabilecek olan çalışmalara ait grafiksel blok diyagramından C kodlarını direkt olarak üretmektedir. Bu kodlar TI CCS2000 (Code Composer Studio 2000) DSP yazılım geliştirme ortamına aktarılarak diğer destek dosyalarıyla birlikte derlenmekte ve bilgisayarın USB portuna bağlı eZdsp TMS320F2808 DSP'nin üzerindeki emülatör aracılığı ile yüklenmektedir. Böylece, Matlab/Simulink ortamında oluşturulan Herhangi bir uygulamaya ait model tabanlı denetim blok diyagramları gerçek zamanlı işaret işlemine tabi tutulmak üzere DSP ortamında gerçek zamanlı olarak aktarılması ve uygulanması mümkün olabilmektedir [9].

Bu şekilde gerçekleştirilecek olan uygulamalarda tüm tasarım işlemi esnek ve oldukça kolay bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca, herhangi bir programlama dili içine girmeden DSP bloğu ve tasarım parametreleri gerçek zamanda da değiştirilebilmektedir. Benzetim ortamında tasarlanan blok diyagramların kullanımı, DSP üzerinden denetlenen sistem tasarımını, uygulama devresi tasarımını ve gerekli ayarların yapılabilmesini oldukça kolaylaştırmaktadır.

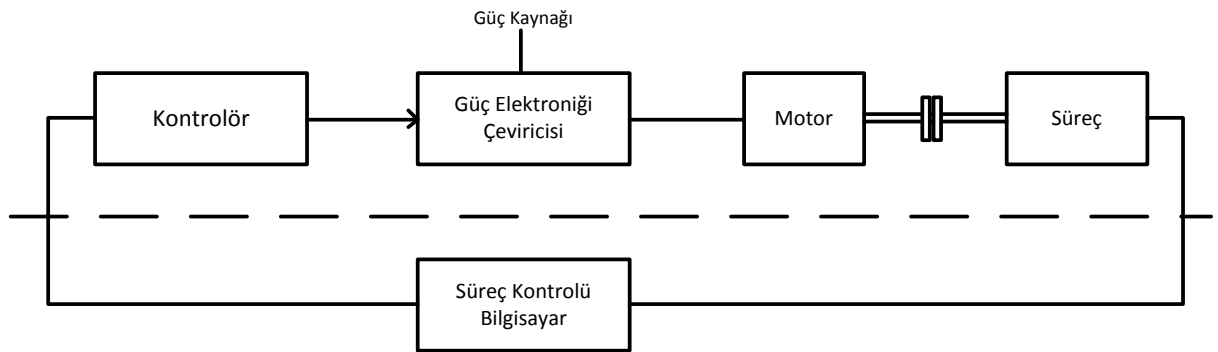
1.3. Motor Sürüş Sistemleri

1.3.1. Giriş

Motor sürüş sistemlerinin birkaç watt'tan belkide binlerce kW'a kadar oldukça geniş bir güç aralığında kullanılabilirken robotik alanında aşırı derecede hassas ve yüksek performanslı konum kontrol yapan sistemlerden, pompalarda akış hız ayarı yapan hız kontrol sistemlerine kadar çeşitli uygulama alanları bulunur. Konum ve hızın kontrol edildiği tüm sürme sistemlerinde giriş gücü ve motor arasında bir ara birim olarak güç elektroniği çeviricilerine gerek duyulmaktadır.

Belirli bir güç seviyesi üzerinde üç temel tip motor sürme sistemi vardır. Bunlar; doğru akım motoru sürme sistemleri, asenkron motor sürme sistemleri ve senkron motor sürme sistemleridir. Bu çalışmada üzerinde durulacak olan sistem doğru akım motoru sürücü sistemleri olacaktır [10].

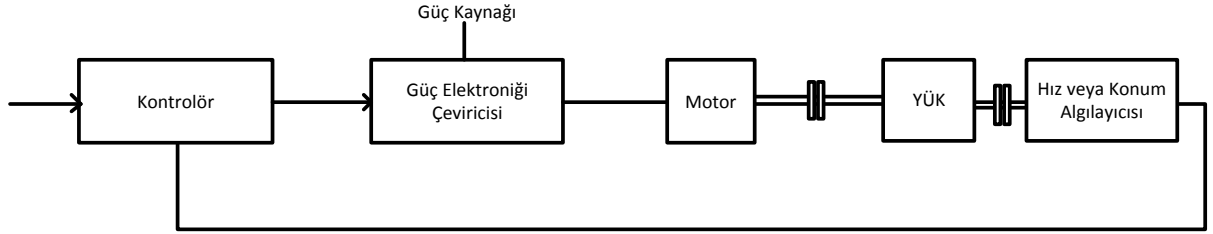
Şekil 1.7'de motor sürme sistemlerinin kontrolüne ilişkin genel bir blok diyagrama yer verilmiştir. Tasarım süreci, motor sürme sistemine ilişkin gereksinimlerin belirlenmesi ile başlar. Örnek olarak, robotik uygulamaları servo tipi bir motor sürme sistemi gerektirirken havalandırma sistemi için bir hız kontrol sistemi veya değişken hızlı bir sürme sistemi yeterli olacaktır.



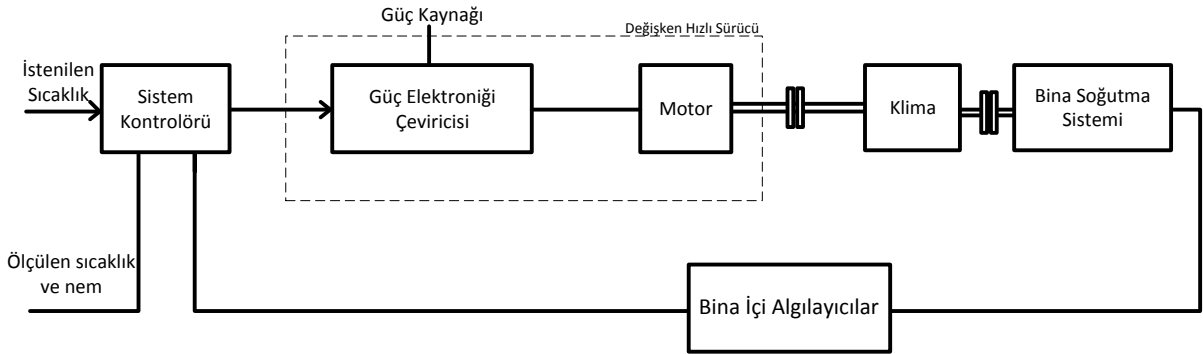
Şekil1.7. Motor sürücü sistemlerinin kontrolü

Motor sürme sistemlerine ilişkin servo uygulamalarında, motorun hız ve konum referanslarını izlerken kaydedilen cevap hızı ve doğruluğu son derece önemlidir. Bu

sistemler Şekil 1.8’de gösterildiği gibi hassas bir kontrol amaçlı hız veya konum geribeslemesi gerektirir.



Şekil 1.8. Servo sürücü



Şekil 1.9. Bina klima sistemi değişken hızlı sürücü sistemi örneği

Ancak çoğu uygulamada motorun hız referansını izleme doğruluğu ve cevap hızı çok da önemli bir faktör değildir [11]. Şekil 1.9’da gösterildiği gibi motor sürme sisteminin dışında süreci kontrol etmek üzere bir geribesleme devresi vardır. Sürecin geribesleme kontrol çevrimi ile alakalı büyük zaman sabitleri nedeni ile motor sürme sisteminin hız referanslarına verdiği cevabın doğruluğu ve hız çok kritik değildir. Bu şekilde çalışacak olan bir hız kontrol sistemine örnek olarak Şekil 1.9’da bir klima sistemi blok diyagramı gösterilmiştir.

1.3.2. Motor ve Güç Elektroniği Çeviricisinin Uyumu

Anma gücü, çalışma hız ve ortamı, güvenilirlik, yükün diğer gereksinimleri ve tüm sürme sisteminin maliyetine göre doğru akım (DA) motoru, asenkron motor veya senkron motor sürme sistemi tiplerinden biri kullanılır [11].

Güç elektroniği çevirici topolojisi ve kontrolü seçilen motor sürme tipine bağlı olmaktadır. Genellikle güç elektroniği çeviricisi motorun akımını ve dolayısıyla momentini kontrol etmek üzere kontrollü bir gerilim sağlar. Motora uygun güç elektroniği çeviricisi seçimi bu sebeplerle oldukça önemli bir faktördür.

1.3.2.1. Anma Akımı Etkisi

Bir motorun sağlayabileceği momentin etkin değeri ısı karakteristiğine bağlıdır. Ancak motor maksimum moment süresinin ısı zaman sabitine göre küçük olması koşulu ile oldukça yüksek moment tepe değerleri sağlayabilir. T_{em} momenti ile doğru orantılı olduğuna göre moment tepe değeri için gerekli olan güç elektroniği çeviricisinin sağlayacağı tepe akım değeridir. Çeviricide kullanılan yarı iletken elemanın akım kapasitesi maksimum fonksiyon ısısı ile sınırlıdır. Akım değerleri yükseldikçe yarı iletken elemanın güç kayıpları nedeni ile fonksiyon ısısı da yükselecektir. Yarı iletken elemanlarının ısı zaman sabiti genellikle çeşitli motorlara ilişkin ısı zaman sabitlerinden çok daha küçüktür. Bu nedenle güç elektroniği çeviricisinin anma akımı motorun sağlaması gereken momentin etkin ve tepe değerine göre seçilmelidir.

1.3.2.2. Anma Gerilimi Etkisi

Doğru akım ve alternatif akım motorlarının her ikisinde de Şekil 1.10'da basitleştirilmiş genel devrede gösterildiği gibi, motor kendisine uygulanan v gerilimine karşılık bir karşıt e -elektro motor kuvveti (emk) oluşturur. Akımın ve dolayısıyla momentin değişimi;

$$\frac{di}{dt} = \frac{v-e}{L} \quad (1.3)$$

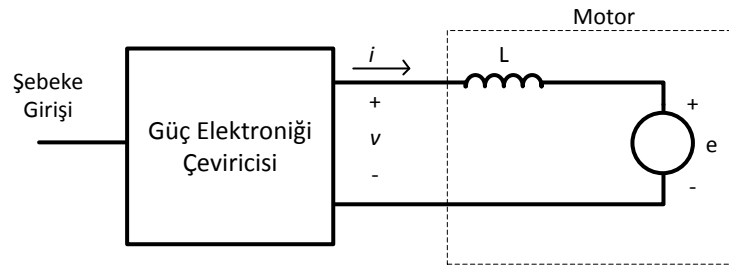
Şeklinde ifade edilebilir. Burada L , çeviricinin gördüğü motor endüktansıdır.

Motor akımını ve bu şekilde momentini daha ve yeterli seviyede hızlı kontrol edebilmek için, güç elektroniği çeviricisinin çıkışı olan v gerilimi ters emk değerinden yeterli seviyede büyük olmalıdır. Bir motorda hava aralığı akımın genliğinin sabit olması

nedeniyle e 'nin genliği motor hızıyla doğrusal olarak artar. Bu nedenle güç elektroniği çeviricisinin anma gerilimi motorun maksimum hızına bağlıdır.

1.3.2.3. Anahtarlama Frekansı ile Motor Endüktansı Etkisi

Bir motor sürme sisteminde motor akımı yük gereksinimine yeterli seviyede hızlı olarak cevap verebilmelidir. Bunun için denklem 1.3'de verilen motor endüktansı L 'nin büyük olması gerekmektedir [11]. L değerinin büyük olması gerekliliğinden kaynaklanan motor akımındaki salınım anahtarlama frekansının arttırılması ile çözülebilir. Ancak güç elektroniği çeviricisinin anahtarlama kayıpları anahtarlama frekansı ile doğrusal olarak artar. Bu nedenle L motor endüktans ve anahtarlama frekansının seçiminde yeterli olabilecek seviyede taviz vermek gerekecektir.

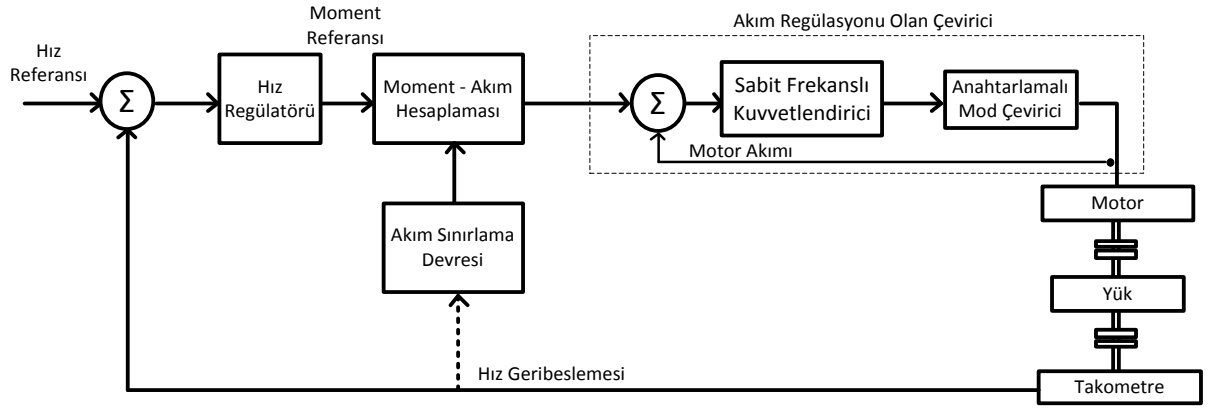


Şekil 1.10. Basitleştirilmiş DA motor sürücü devresi

1.3.3. Hız ve Konum Algılayıcıların Seçimi

Hız ve konum algılayıcıların seçimi; doğrudan ve doğrudan olmayan kuplaj, algılayıcı eylemsizliğinin hesaba katılıp katılmayacağı, maksimum algılayıcı hızı gibi etmenler göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Ani hızı belirli bir aralıkta kontrol etmek için hız algılayıcısı salınımları küçük olmalıdır. Bu durum konum ve hız ölçmek için kullanılan artımlı enkoderler göz önünde bulundurulduğunda daha iyi anlaşılabilir. Bu tür algılayıcılar çok düşük hızlarda kullanıldığında ani hızın belli bir doğrulukta elde edilebilmesi için dönüş başına düşen darbe sayısı yeterince büyük olmalıdır. Benzer şekilde konum bilgisinin doğrulukla alınabilmesi için de dönüş başına yüksek sayıda darbe çıkışı elde edilebilmesi gerekmektedir.



Şekil 1.11. Hız geri beslemeli sürücü kontrolüne ilişkin genel blok diyagram

1.4. DA Motor Sürüş Devreleri

Öncelikli olarak doğru akım motoru sürme devreleri hız ve konum kontrolü uygulamalarında kullanılmaktadır. Son yıllarda bu tür uygulamalarda alternatif akım motor sürme devrelerinin kullanımı DA artmaktadır. Buna rağmen çok az bakım gerektiren uygulamalar dışında DA sürücü sistemlerinin kullanımı başlangıç masraflarının düşük olması ve mükemmel yakın sürme performansları nedeni ile devam etmektedir.

1.4.1. DA Motorların Eşdeğer Devreleri

DA motorların Φ_f uyarma akısı; sabit kaldığı mıknatıslar aracılığı ile veya I_f uyarma akımının Φ 'yi kontrol ettiği bir uyarma sargısı vasıtası ile stator tarafında oluşturulur. Doymamış bölgede çalışıldığı düşünüldüğünde; akı yolundaki manyetik doyma ihmal edilirse,

$$\Phi_f = k_f I_f \quad (1.4)$$

olur ve burada k_f oransal uyarma katsayısıdır.

Elektriksel gücü taşıyan ve endüvi sargıları olarak adlandırılan sargılar rotor oluklarında taşınır. Bu yapı, güç taşıyıcı sargılarının kolay taşınması için statora yerleştirilmiş olduğu çoğu AA makinelerin tam tersi özelliktedir. Ancak doğru akım

makinasındaki endüvi sargısı gerilim ve akımların mekanik olarak doğrultulması için rotor tarafında yer olarak sargı uçlarında doğru gerilim ve doğru akım oluşturmaktadır.

DA motorlarında elektromanyetik moment uyarma akısı ve i_a endüvi akımının karşılıklı etkileşimi ile üretilir;

$$M_{em} = k_t \phi_f i_a \quad (1.5)$$

Burada k_t motorun moment katsayısıdır. Endüvi devresinde, endüvi iletkenlerinin, ϕ_f alan akısının varlığında, ω_m 'lık bir hızla dönmesiyle bir ters elektro motor kuvvet oluşacaktır:

$$P_e = e_a i_a = k_e \phi_f \omega_m i_a \quad (1.6)$$

Süreklilik arzedecek şekilde gerçekleşen çalışmada ise elektriksel güç mekanik güce eşit olacaktır ve bu doğrultuda önceki denklemler kullanılarak;

$$k_t \left[\frac{Nm}{A \cdot \omega_b} \right] = k_e \left[\frac{V}{\omega_b \cdot rad/s} \right] \quad (1.7)$$

elde edilir.

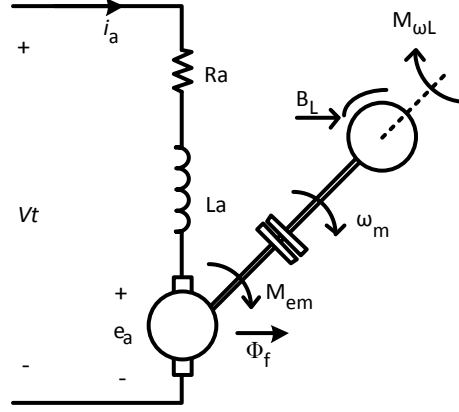
Pratikte i_a , kontrol edilebilir bir v_t gerilim kaynağının endüvi uçlarına uygulanmasıyla üretilir. Bu nedenle endüvi devresindeki i_a akımı, v_t gerilimi, e_a ters e.m.k gerilimi, R_a endüvi sargı direnci ve L_a endüvi sargı endüktansı ile belirlenir:

$$v_t = e_a + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} \quad (1.9)$$

Bu denklem Şekil 1.12'deki eşdeğer devreden de görülmektedir. Bu denklemlerin eşliğinde hareket denklemi ile i_a ve ω_m 'nin değişimi belirlenir.

$$M_{em} = J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m + M_{\omega L}(t) \quad (1.10)$$

Burada J ve B , motor-yük birleşiminin sırasıyla toplam eşdeğer eylemsizliği ve sönüm katsayısı, $M_{\omega L}$ ise yük momentidir [11].



Şekil 1.12. Doğru akım motoru eşdeğer devresi

1.4.2. Sabit Mıknatıslı DA (PMDC) Motorları

Genellikle küçük doğru akım motorlarında Şekil 1.7a' ile gösterildiği gibi, statordaki sabit mıknatıslar sabit bir Φ_f uyarma akısı oluştururlar. Sürekli durumda, sabit bir Φ_f alan akısı varsayımı ile

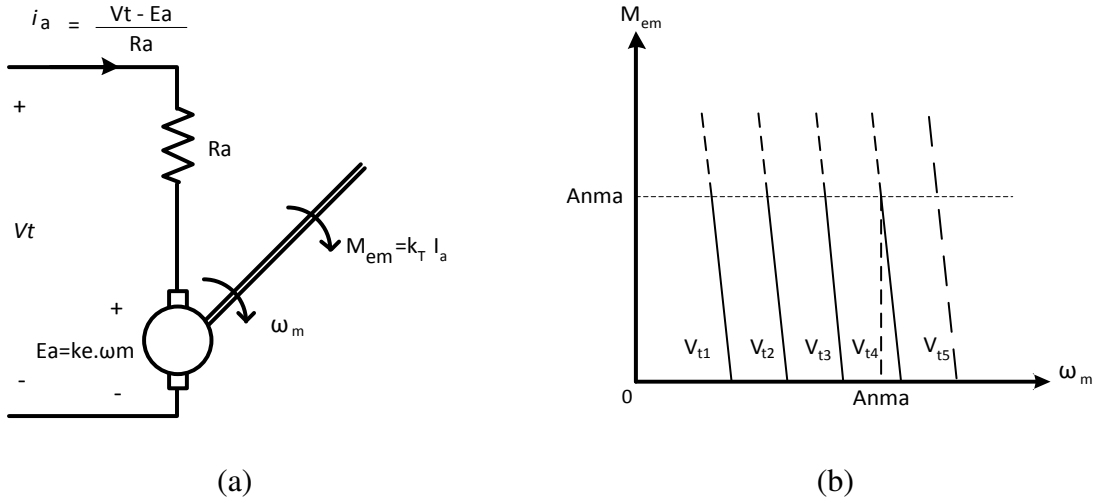
$$M_{em} = k_T I_a \quad (1.11)$$

$$E_a = k_E \omega_m \quad (1.12)$$

$$V_t = E_a + R_a I_a \quad (1.13)$$

elde edilir. Buradaki 1.11, 1.12 ve 1.13 denklemleri Şekil 1.13a'daki eşdeğer devreye karşı düşmektedir. Yukarıdaki denklemlerden ω_m sürekli durum hızının belirli bir V_t için M_{em} 'in bir fonksiyonu olarak mümkündür.

$$\omega_m = \frac{1}{k_E} \left(V_t - \frac{R_a}{k_t} M_{em} \right) \quad (1.14)$$



Şekil 1.13. Sabit mıknatıslı doğru akım motoruna ilişkin (a) eşdeğer devre; (b) moment – hız karakteristiği

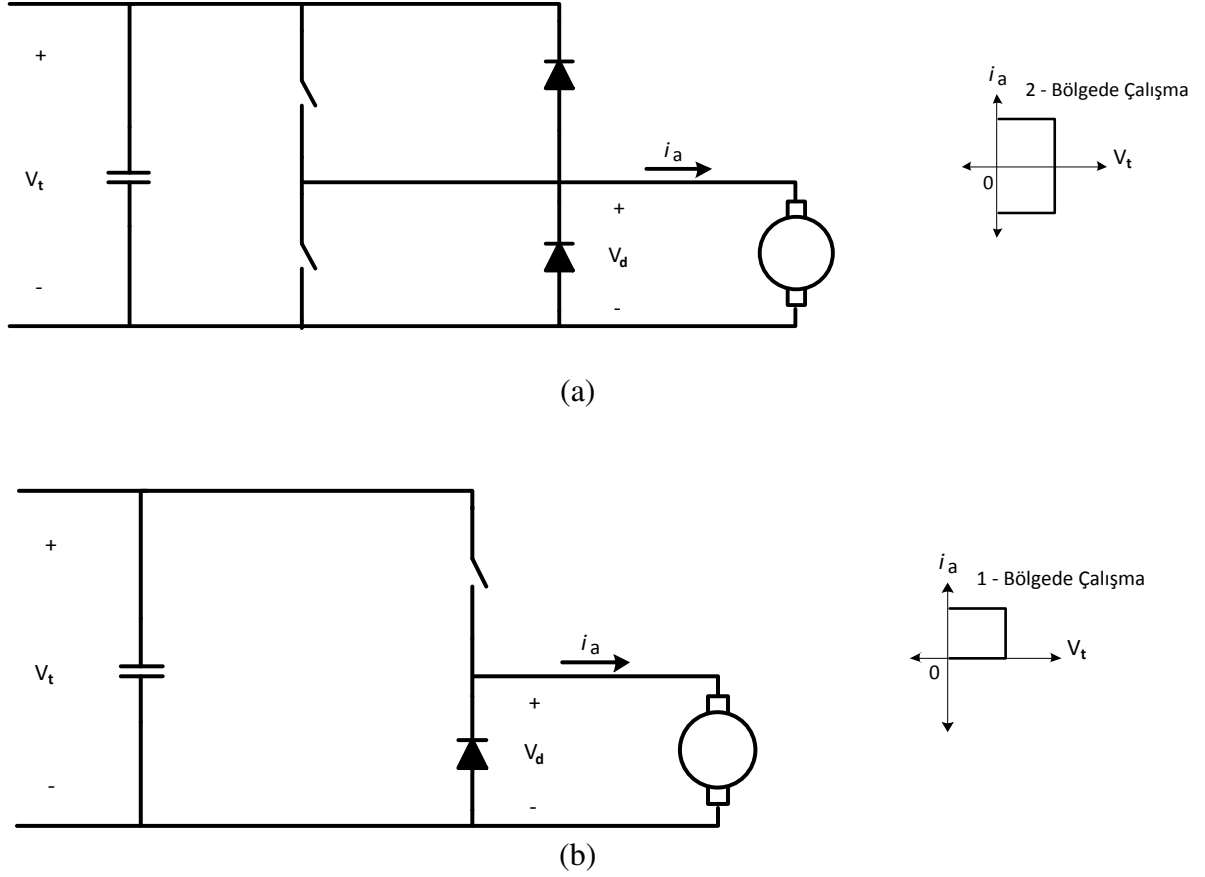
Bu denklemin Şekil 1.13b’de verilen grafiği moment arttıkça, endüvi sargı direnci uçlarındaki $I_a R_a$ gerilim düşümü dışında belirli bir V_t için moment – hız karakteristiği dikeydir. Bu gerilim düşümü 1 beygir gücüne denk gelen anma güçlü motorlarda oldukça küçük iken, küçük servo motorlarda önemli değerlere ulaşabilir. Daha da önemlisi, uygulanan uç gerilimi, V_t ’nin kontrol edilmesi ile Şekil 1.13b’de görüldüğü gibi, moment – hız karakteristikleri yatay olarak kaydırılabilir.

1.4.3. Değişken Hızlı Doğru Akım Sürücü Sistemleri

1.4.3.1. Anahtarlama DA – DA Çeviriciler

Dört bölgede çalışma için tam dalga anahtarlama çeviricisi kullanımı idealdir. Hızın yön değiştirmesi gerekmiyor, ancak frenleme yapılması isteniyorsa Şekil 1.14a’da verilen iki bölgeli çevirici kullanılabilir. Bu çevirici iki anahtardan oluşur ve bunlardan birisi çıkış gerilimini i_a ’nın yönünden bağımsız kılmak üzere daima kapalı tutulur. Ancak endüvi akımı yön değiştirebilir ve negatif bir I_a değeri d.a motorundan V_a ’ye bir güç akışının gerçekleştiği frenleme moduna karşı düşer. V_t çıkış gerilimi genlik olarak kontrol edilebilir fakat sürekli olarak bir kutuplu kalır. i_a akımı her iki yönde akabildiği için i_a süresiz hale gelmeyecektir.

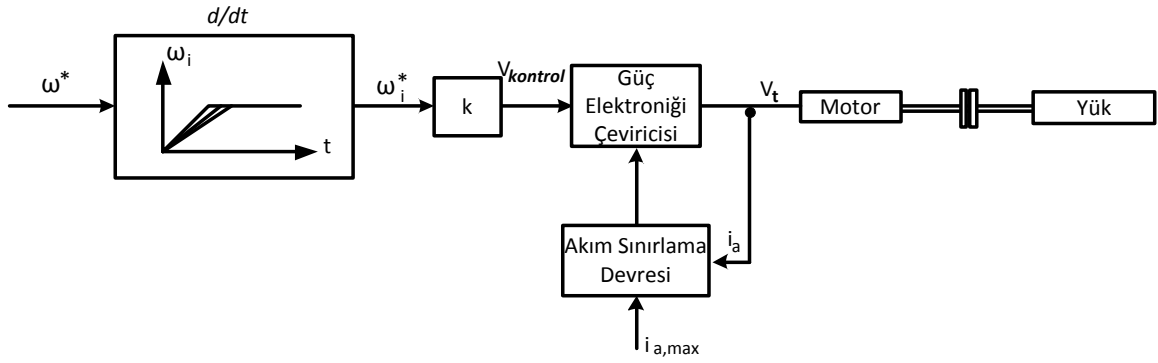
Hızın tek yönlü olduğu ve frenlemenin gerekmediği tek bölge çalışmada Şekil 1.14b’de gösterilen alçaltan bir çevirici kullanılabilir.



Şekil 1.14 (a) İki bölgede çalışma; (b) Bir bölgede çalışma

1.4.3.2. Hız Ayarlı Sürücü Sistemlerinin Kontrolü

Kullanılan kontrol tipi sürücü sisteminin gereksinimlerine bağlıdır. Şekil 1.15’de ω^* hız referansının, sürücü sistem çıkışının istenen değerle karşılaştırılması sonucunda oluştuğunu gösteren açık çevrimli bir kontrol verilmektedir. d/dt sınırlayıcısı hız referansının yavaş değişmesini ve böylece rötor akımının anma değerini aşmasını engeller. Sınırlayıcının eğimi motor – yük eylemsizliğine uyacak şekilde ayarlanabilir. Bu tür sürücü sistemlerinde kullanılan akım sınırlayıcıları, akım anma değerini aştığında, kontrolörün sürücü devresini kapatmasını sağlayan koruyucu bir önlem oluşturur.



Şekil 1.15 Açık çevrimli hız kontrolü

1.5. TMS30F2808: Çevresel Birimler

Motor hız denetimi için TMS320F2808 DSP denetleyicisi kullanılmıştır. TMS320F280x'in yapılan çalışmada fazlasıyla değinilecek olan tümleşik çevresel birimleri aşağıdaki alt bölümlerde tanımlandığı gibidir [5].

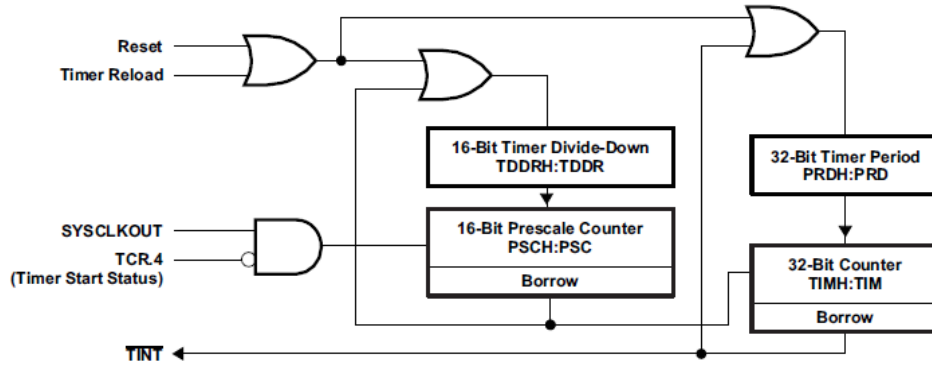
- 3 adet 32 bitlik CPU – zamanlayıcısı.
- 6'ya kadar geliştirilmiş PWM modülleri (ePWM1, ePWM2, ePWM3, ePWM4, ePWM5, ePWM6)
- 4'e kadar geliştirilmiş yakalama modülleri (eCAP1, eCAP2, eCAP3, eCAP4)
- 2'ye kadar geliştirilmiş QEP modülleri (eQEP1, eQEP2)
- Geliştirilmiş analog - sayısal dönüştürücü (ADC) modülü
- 2'ye geliştirilmiş denetleyici alan ağı (eCAN) modülleri (eCAN-A, eCAN-B)
- 2'ye kadar seri haberleşme arayüz modülleri (SCI-A, SCI-B)
- 4'e kadar seri çevresel arayüz (SPI) modülleri (SPI-A, SPI-B, SPI-C, SPI-D)
- Ara tümleşik devre modülü (I2C)
- Sayısal giriş - çıkış ve paylaşım pin fonksiyonları.

1.5.1. 32 bit CPU-Zamanlayıcılar 0/112

TMS320F280x işlemcilerinin üzerinde 3 adet 32-bit CPU-zamanlayıcısı bulunmaktadır.

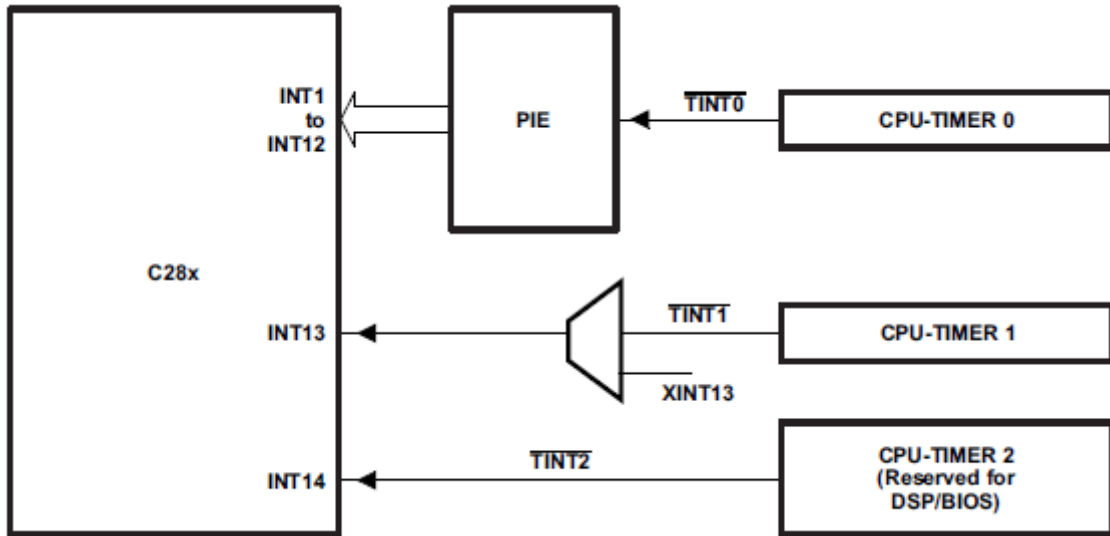
CPU-zamanlayıcı 0 ve CPU-zamanlayıcı 1 kullanıcı uygulamalarında kullanılabilir. Zamanlayıcı 2 DSP/BIOS™ için ayrılır. Bu zamanlayıcılar ePWM modüllerinde bulunan

zamanlayıcılardan farklıdır. Eğer uygulama DSP/BIOS ‘ u kullanmıyorsa, CPU-zamanlayıcısı 2 uygulamada kullanılabilir.



Şekil 1.16. CPU – zamanlayıcıları

TMS320F280x işlemcilerinde, zamanlayıcı kesme işaretleri şekil 1.17’de gösterildiği gibi bağlanmaktadır.



- A. Zamanlayıcı kaydedicileri C28x işlemcisinin bellek anayoluna bağlanır.
- B. Zamanlayıcıların zamanlaması işlemci saatinin SYSCLKOUT’u ile eş zamanlı yapılır.

Şekil 1.17. CPU – zamanlayıcı kesme işaretleri ve çıkış işareti

Zamanlayıcının genel çalışması aşağıdaki gibi gerçekleşir. 32-bitlik zamanlayıcı kaydedicisi (TIMH; TIM) periyot kaydedicisindeki (PRDH:PRD) değerle yüklenir.

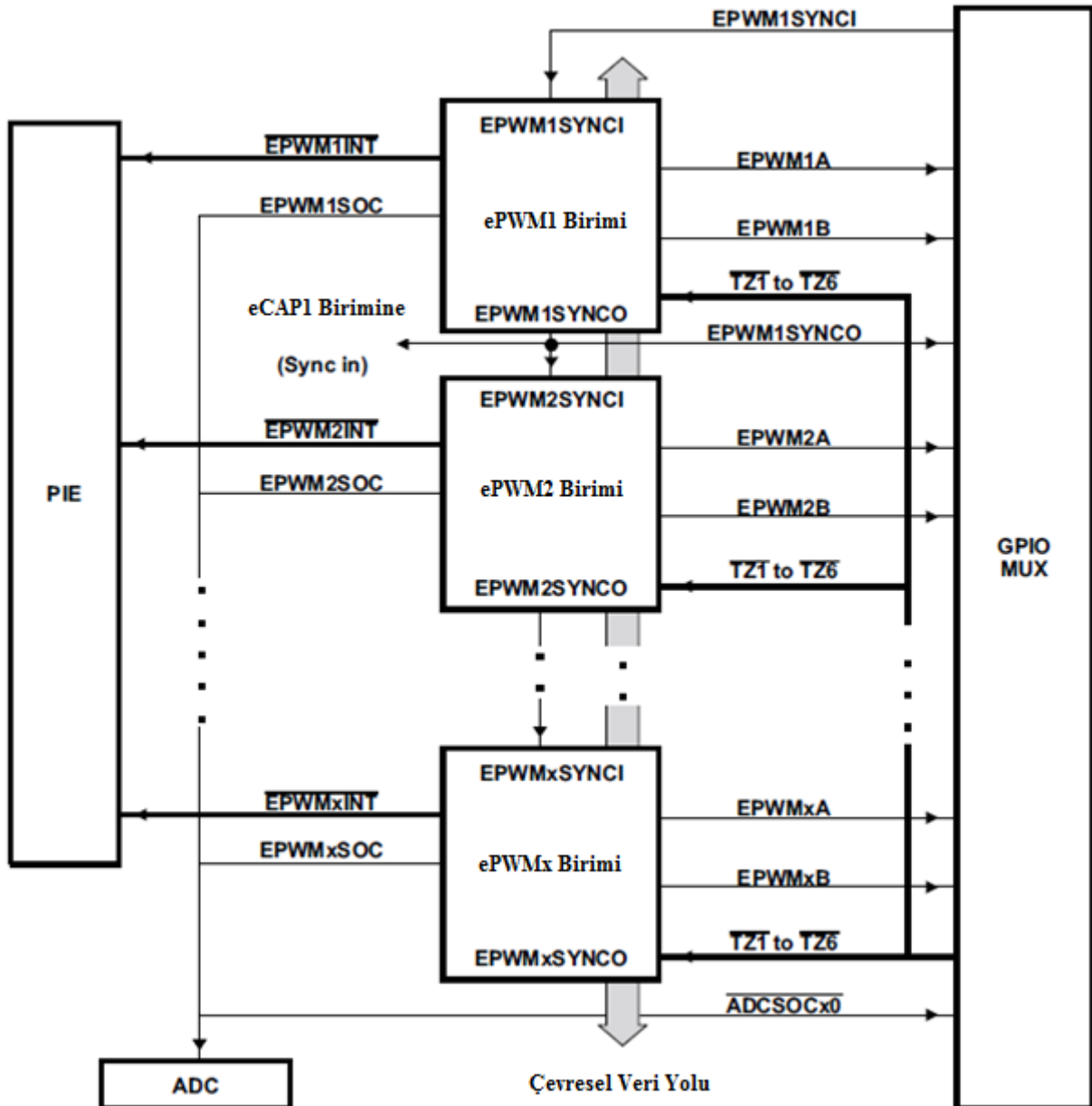
Zamanlayıcı kaydedicisi C28x'in SYSCLKOUT oranında eksilir. Sayıcı sıfır değerine ulaştığında, bir zamanlayıcı kesme işareti ve bir kesme darbesi üretir. Tablo 1.3'te listelenen kaydediciler zamanlayıcıları şekillendirmede kullanılır.

Tablo 1.3. CPU-zamanlayıcıları 0-1-2 gösterimi ve kontrol kaydedicileri

İsim	Adres	Boyut (x16)	Açıklama
TIMER0TIM	0x0C00	1	CPU-Timer 0, Counter Register
TIMER0TIMH	0x0C01	1	CPU-Timer 0, Counter Register High
TIMER0PRD	0x0C02	1	CPU-Timer 0, Period Register
TIMER0PRDH	0x0C03	1	CPU-Timer 0, Period Register High
TIMER0TCR	0x0C04	1	CPU-Timer 0, Control Register
Reserved	0x0C05	1	Reserved
TIMER0TPR	0x0C06	1	CPU-Timer 0, Prescale Register
TIMER0TPRH	0x0C07	1	CPU-Timer 0, Prescale Register High
TIMER1TIM	0x0C08	1	CPU-Timer 1, Counter Register
TIMER1TIMH	0x0C09	1	CPU-Timer 1, Counter Register High
TIMER1PRD	0x0C0A	1	CPU-Timer 1, Period Register
TIMER1PRDH	0x0C0B	1	CPU-Timer 1, Period Register High
TIMER1TCR	0x0C0C	1	CPU-Timer 1, Control Register
Reserved	0x0C0D	1	Reserved
TIMER1TPR	0x0C0E	1	CPU-Timer 1, Prescale Register
TIMER1TPRH	0x0C0F	1	CPU-Timer 1, Prescale Register High
TIMER2TIM	0x0C10	1	CPU-Timer 2, Counter Register
TIMER2TIMH	0x0C11	1	CPU-Timer 2, Counter Register High
TIMER2PRD	0x0C12	1	CPU-Timer 2, Period Register
TIMER2PRDH	0x0C13	1	CPU-Timer 2, Period Register High
TIMER2TCR	0x0C14	1	CPU-Timer 2, Control Register
Reserved	0x0C15	1	Reserved
TIMER2TPR	0x0C16	1	CPU-Timer 2, Prescale Register
TIMER2TPRH	0x0C17	1	CPU-Timer 2, Prescale Register High
Reserved	0x0C18 – 0x0C3F	40	Reserved

1.5.2. Geliştirilmiş PWM Modülleri (ePWM 1/2/3/4/5/6)

TMS30F280X sayısal işaret denetleyicisi 6'ya kadar geliştirilmiş PWM modülü içerir. Şekil 4.3 çoklu ePWM modüllerinin bir blok diyagramını göstermektedir. Şekil 1.18 işaretlerin birbiriyle ve ePWM ile bağlantısını göstermektedir.



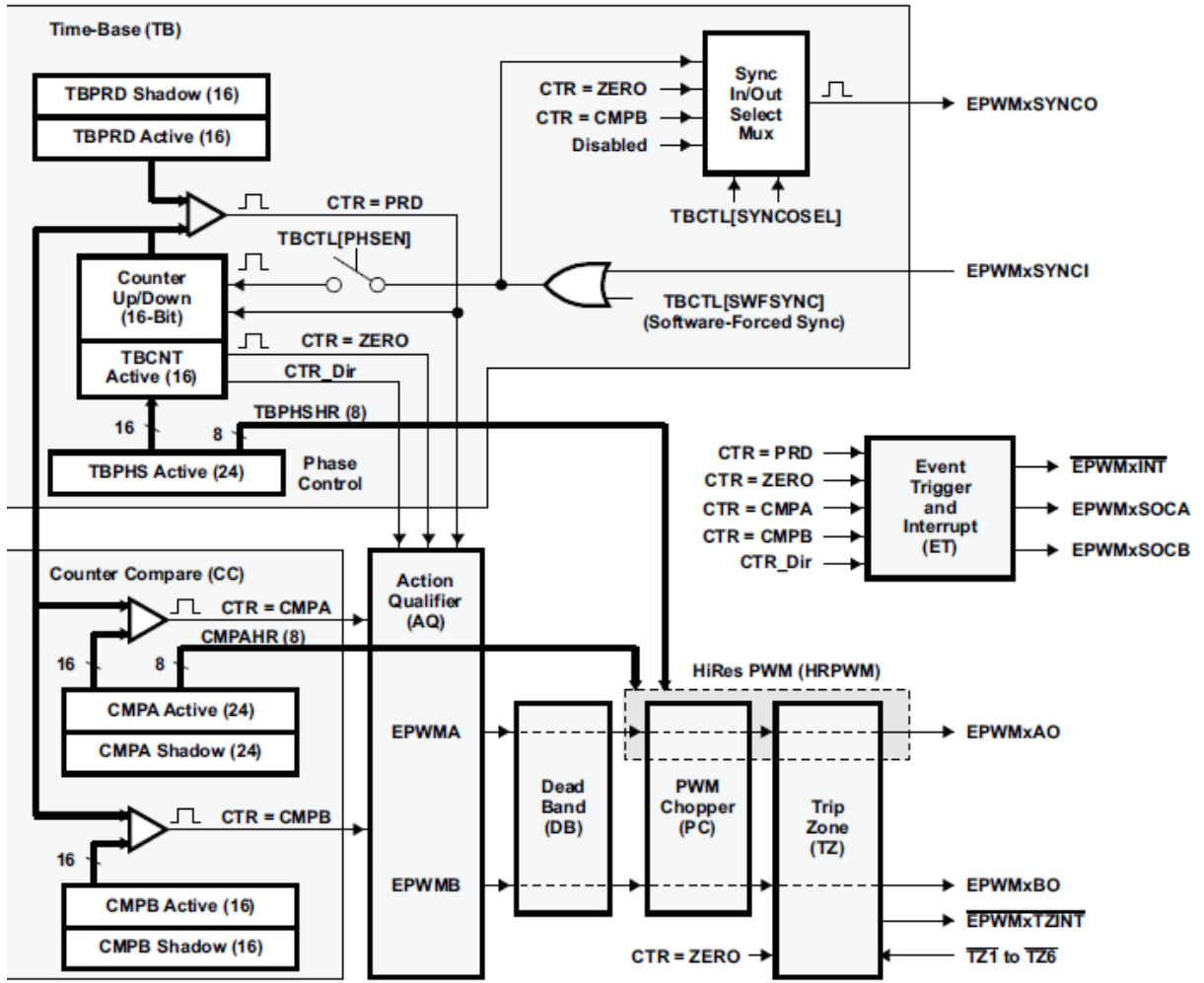
Şekil 1.18. Bir 280x sistemdeki çoklu PWM modülleri [5]

Tablo 1.4 modül başına tüm ePWM kaydedici grubunu göstermektedir.

Tablo 1.4. ePWM kontrol ve durum kaydediciler

İsim	ePWM1	ePWM2	ePWM3	ePWM4	ePWM5	ePWM6	Açıklama
TBCTL	0x6800	0x6840	0x6880	0x68C0	0x6900	0x6940	Time Base Control Register
TBSTS	0x6801	0x6841	0x6881	0x68C1	0x6901	0x6941	Time Base Status Register
TBPHSHR	0x6802	0x6842	0x6882	0x68C2	N/A	N/A	Time Base Phase HRPWM Register
TBPHS	0x6803	0x6843	0x6883	0x68C3	0x6903	0x6943	Time Base Phase Register
TBCTR	0x6804	0x6844	0x6884	0x68C4	0x6904	0x6944	Time Base Counter Register
TBPRD	0x6805	0x6845	0x6885	0x68C5	0x6905	0x6945	Time Base Period Register Set
CMPCTL	0x6807	0x6847	0x6887	0x68C7	0x6907	0x6947	Counter Compare Control Register
CMPAHR	0x6808	0x6848	0x6888	0x68C8	N/A	N/A	Time Base Compare A HRPWM Register
CMPA	0x6809	0x6849	0x6889	0x68C9	0x6909	0x6949	Counter Compare A Register Set
CMPB	0x680A	0x684A	0x688A	0x68CA	0x690A	0x694A	Counter Compare B Register Set
AQCTLA	0x680B	0x684B	0x688B	0x68CB	0x690B	0x694B	Action Qualifier Control Register For Output A
AQCTLB	0x680C	0x684C	0x688C	0x68CC	0x690C	0x694C	Action Qualifier Control Register For Output B
AQSFR	0x680D	0x684D	0x688D	0x68CD	0x690D	0x694D	Action Qualifier Software Force Register
AQCSFR	0x680E	0x684E	0x688E	0x68CE	0x690E	0x694E	Action Qualifier Continuous S/W Force Register Set
DBCTL	0x680F	0x684F	0x688F	0x68CF	0x690F	0x694F	Dead-Band Generator Control Register
DBRED	0x6810	0x6850	0x6890	0x68D0	0x6910	0x6950	Dead-Band Generator Rising Edge Delay Count Register
DBFED	0x6811	0x6851	0x6891	0x68D1	0x6911	0x6951	Dead-Band Generator Falling Edge Delay Count Register
TZSEL	0x6812	0x6852	0x6892	0x68D2	0x6912	0x6952	Trip Zone Select Register ⁽¹⁾
TZCTL	0x6814	0x6854	0x6894	0x68D4	0x6914	0x6954	Trip Zone Control Register ⁽¹⁾
TZEINT	0x6815	0x6855	0x6895	0x68D5	0x6915	0x6955	Trip Zone Enable Interrupt Register ⁽¹⁾
TZFLG	0x6816	0x6856	0x6896	0x68D6	0x6916	0x6956	Trip Zone Flag Register
TZCLR	0x6817	0x6857	0x6897	0x68D7	0x6917	0x6957	Trip Zone Clear Register ⁽¹⁾
TZFRC	0x6818	0x6858	0x6898	0x68D8	0x6918	0x6958	Trip Zone Force Register ⁽¹⁾
ETSEL	0x6819	0x6859	0x6899	0x68D9	0x6919	0x6959	Event Trigger Selection Register
ETPS	0x681A	0x685A	0x689A	0x68DA	0x691A	0x695A	Event Trigger Prescale Register
ETFLG	0x681B	0x685B	0x689B	0x68DB	0x691B	0x695B	Event Trigger Flag Register
ETCLR	0x681C	0x685C	0x689C	0x68DC	0x691C	0x695C	Event Trigger Clear Register
ETFRC	0x681D	0x685D	0x689D	0x68DD	0x691D	0x695D	Event Trigger Force Register
PCCTL	0x681E	0x685E	0x689E	0x68DE	0x691E	0x695E	PWM Chopper Control Register
HRCNFG	0x6820	0x6860	0x68A0	0x68E0	0x6920 ⁽²⁾	0x6960 ⁽²⁾	HRPWM Configuration Register ⁽¹⁾

- (1) EALLOW kaydedicileri korumalıdır.
(2) Sadece F2809'a uygulanabilir.



Şekil 1.19 ePWM alt modüllerinin kritik dahili işaret ara bağlantıları [5].

1.5.3. Yüksek Çözünürlüklü PWM (HRPWM)

HRPWM modülü klasik biçimde türetilmiş sayısal PWM metotları kullanılarak elde edilebilenden önemli ölçüde daha iyi bir PWM çözünürlüğü sunar.

HRPWM modülü için temel noktalar;

- Klasik biçimde türetilmiş sayısal PWM'in zaman çözünürlük yeteneğini önemli ölçüde artırır.
- Genel olarak etkin PWM çözünürlüğü 9 – 10 bitin altına düştüğünde kullanılır. Bu durum, 100MHz'lik bir CPU/sistem saati kullanılırken 200kHz'den büyük PWM frekanslarında meydana gelir.

- Bu yetenek hem görev döngüsü hem de faz kaydırma kontrol metotlarında kullanılabilir.
- Daha iyi zaman bölümlene kontrolü veya uç konumlandırma karşılaştırma A ve ePWM modülünün faz kaydedicilerinin uzatılmaları yolu ile denetlenir.
- HRPWM yetenekleri bir ePWM modülünün A işaret yolu üzerinde sunulur. EPWMXB çıkışı klasik PWM yeteneklerine sahiptir.

1.5.4. Geliştirilmiş CAP Modülleri

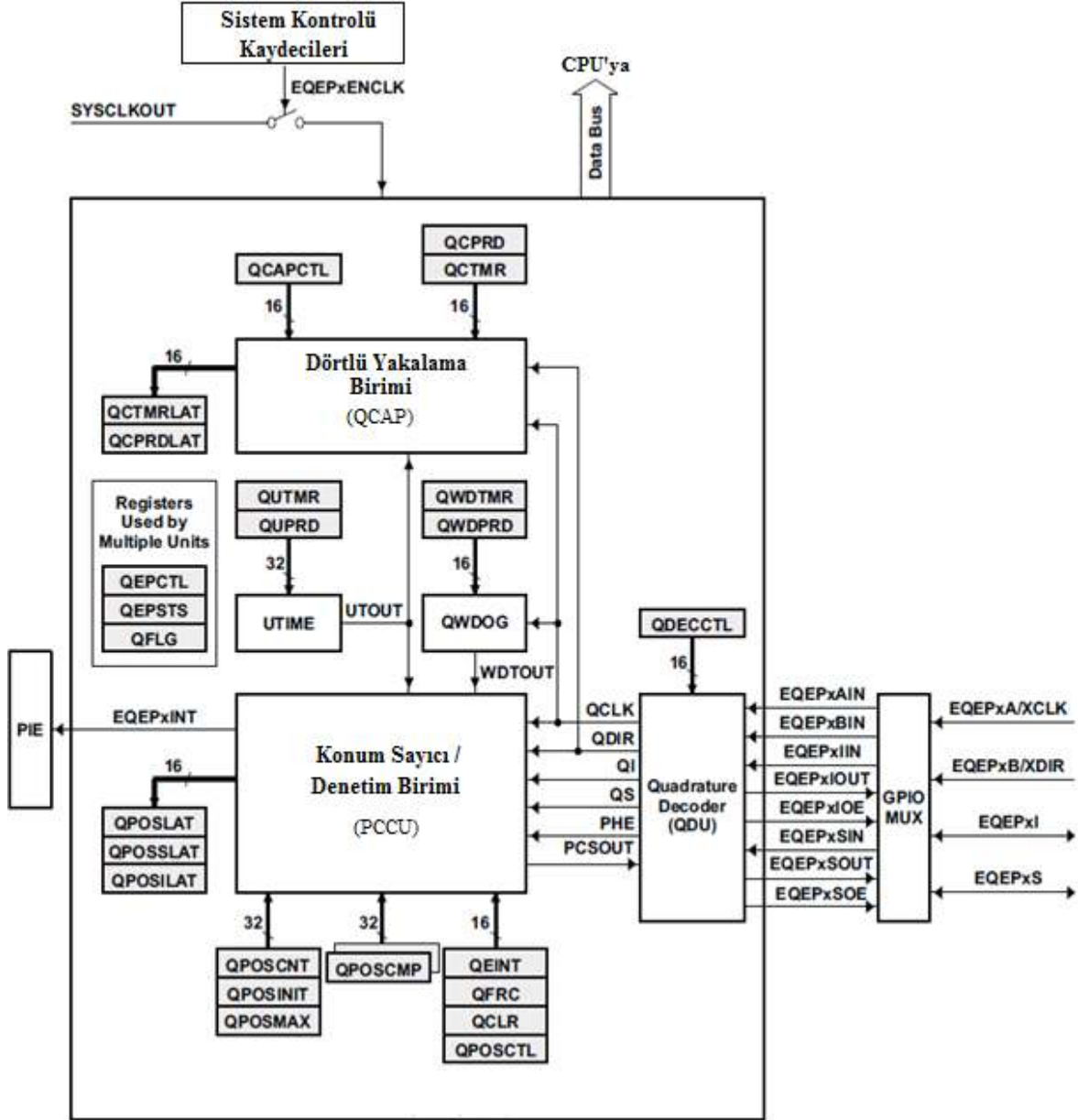
TMS320F280x işlemcileri 4'e kadar geliştirilmiş yakalama modülü içermektedir. Şekil 1.20 bir modülün fonksiyonel blok diyagramını göstermektedir.

eCAP modülleri SYSCLKOUT oranında zamanlanır.

PCLKCR1 kaydedicisindeki kaydetme işaretini aktif eden bitler eCAP modüllerini teker teker devre dışı bırakmada kullanılır. (Düşük güç seviyesindeki çalışma için) Reset durumunda ECAP1ENCLK, ECAP2ENCLK ve ECAP4ENCLK düşük seviyeye ayarlanır. Bu ayarlama sonucunda ikinci saat devre dışı bırakılmış olur.

1.5.5. Geliştirilmiş QEP Modülleri (eQEP1/2)

TMS320F280x işlemcileri ikiye kadar geliştirilmiş dörtlük kodlayıcı modülleri içerir.



Şekil 1.21. eQEP fonksiyonel blok diyagramı [5].

Tablo 1.6. eQEP kontrolü ve durum kaydedicileri

İsim	eQEP1 Adresi	eQEP2 Adresi	Kaydedici Açıklaması
QPOSCNT	0x6B00	0x6B40	eQEP Position Counter
QPOSINIT	0x6B02	0x6B42	eQEP Initialization Position Count
QPOSMAX	0x6B04	0x6B44	eQEP Maximum Position Count
QPOSCMP	0x6B06	0x6B46	eQEP Position-compare
QPOSILAT	0x6B08	0x6B48	eQEP Index Position Latch
QPOSSLAT	0x6B0A	0x6B4A	eQEP Strobe Position Latch
QPOSLAT	0x6B0C	0x6B4C	eQEP Position Latch
QUTMR	0x6B0E	0x6B4E	eQEP Unit Timer
QUPRD	0x6B10	0x6B50	eQEP Unit Period Register
QWDTMR	0x6B12	0x6B52	eQEP Watchdog Timer
QWDPRD	0x6B13	0x6B53	eQEP Watchdog Period Register
QDECCTL	0x6B14	0x6B54	eQEP Decoder Control Register
QEPCTL	0x6B15	0x6B55	eQEP Control Register
QCAPCTL	0x6B16	0x6B56	eQEP Capture Control Register
QPOSCTL	0x6B17	0x6B57	eQEP Position-compare Control Register
QEINT	0x6B18	0x6B58	eQEP Interrupt Enable Register
QFLG	0x6B19	0x6B59	eQEP Interrupt Flag Register
QCLR	0x6B1A	0x6B5A	eQEP Interrupt Clear Register
QFRC	0x6B1B	0x6B5B	eQEP Interrupt Force Register
QEPSTS	0x6B1C	0x6B5C	eQEP Status Register
QCTMR	0x6B1D	0x6B5D	eQEP Capture Timer
QCPRD	0x6B1E	0x6B5E	eQEP Capture Period Register
QCTMRLAT	0x6B1F	0x6B5F	eQEP Capture Timer Latch
QCPRDLAT	0x6B20	0x6B60	eQEP Capture Period Latch
Reserved	0x6B21–0x6B3F	0x6B61 – 0x6B7F	Reserved

1.5.6. Geliştirilmiş Analog – Sayısal Dönüştürücü Modülü

ADC modülünün basitleştirilmiş bir blok diyagram şekil 1.22’de gösterilmektedir. ADC modülü 12 bitlik birbirine gömülü örnekleme ve tutma devresinden oluşur. ADC modülünün görevleri;

- Gömülü örnekleme/tutma devreli 12 bitlik ADC çekirdeği
- 0 ve 3V arası analog giriş (3V’un üzerindeki gerilimler tam ölçek dönüşüm sonuçları üretir)
- Hızlı dönüştürme oranı; 25-MHZ’lik ADC saatinde 80 ns’ ye kadar,12.5 MSPS
- 16’lı kanal, MUXed girişleri

- Otomatik sıralama özelliği tek bir bölümde 16'ya kadar otomatik dönüştürmeler sağlar. Her bir dönüştürme 16 giriş kanalından herhangi birisini seçmek için programlanabilir.
- Sıralayıcı iki adet bağımsız 8-kanallı sıralayıcı veya artarda bağlanmış 16 kanallı sıralayıcı olarak çalıştırılabilir.
- Dönüşüm değerlerini saklayan 16 adet sonuç kaydedicileri (teker teker adreslenebilir)

Analog giriş geriliminin sayısal değeri aşağıdaki bağıntıyla elde edilir.

Sayısal Değer=0, giriş $\leq$ 0 V iken,

Sayısal değer=4096 x $\frac{\text{Analog giriş gerilimi}-\text{ADCLO}}{3}$, 0V< giriş <3V iken

Sayısal değer=4096s, giriş $\geq$ 3V iken

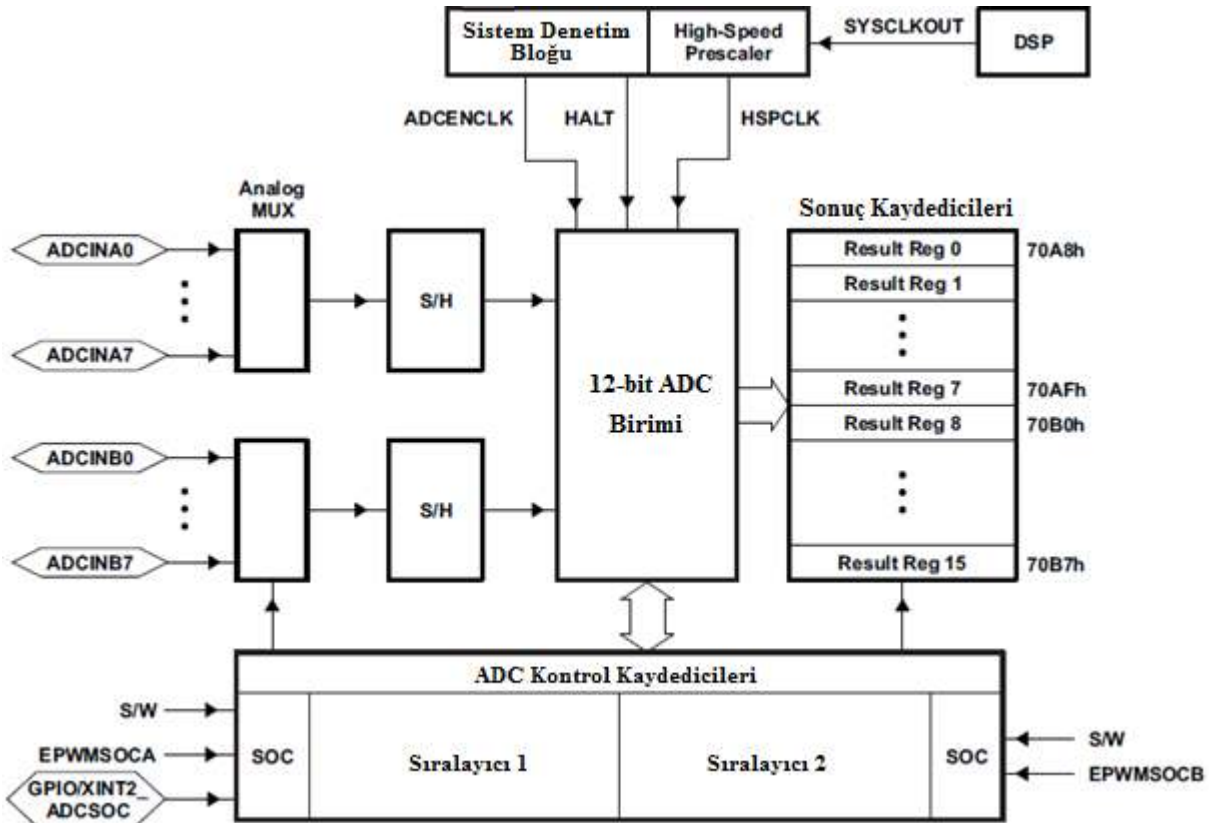
(Bütün küsuratlı değerler tam sayıya tamamlanır.)

- Dönüştürme serisinin başlaması için kaynak olarak kullanılan çoklu tetikleyiciler:
 SIW – yazılım ani başlama
 ePWM dönüştürme başlangıcı
 XINT2 ADC dönüştürme başlangıcı
- Esnek kesme kontrolü her serinin sonunda (EDS) veya her diğer EDS'de sonlandırma isteğine olanak sağlar.
- Sıralayıcı zamana göre sıralanmış çoklu tetikleyicilerin dönüşümleri eş zamanlı kılınmalarına olanak sağlayan başlat/durdur modunda çalışabilir.
- SOCA ve SOCB tetikleyicileri ikili sıralayıcı modunda birbirinden bağımsız olarak çalışabilirler.
- Örnekleme ve tutma edinimi zaman penceresi ayrı ön ölçek denetimine sahiptir.

TMS320F280x' deki ADC modülü ePWM çevresel birimlerine esnek arayüz sağlamak için geliştirilmiştir. ADC arayüzü; 25 MHz' lik ADC saatinde 80ns'ye kadar hızlı bir dönüştürme oranlı 12 bitlik ADC modülü hızı civarında oluşturulmuştur. ADC modülü iki adet bağımsız 8 kanallı sıralayıcı olarak da biçimlendirilen bir 16 kanallı sıralayıcı oluşturmak için art arda bağlanabilir. Çoklu giriş kanalları ve iki tane sıralayıcı olmasına rağmen ADC modülünde sadece bir tane dönüştürücü vardır. Şekil 1.22 ADC modülünün blok diyagramını göstermektedir.

İkili 8-kanallı sıralayıcı modülleri bir dizi dönüşümü otomatik olarak sıralayabilmektedir. Her modül analog MUX boyunca mevcut olan kendine ait 8 kanaldan

herhangi birisini seçebilir. Kaskat modda ise, otomatik sıralayıcı tek bir 16 kanallı sıralayıcı olarak çalışır. Her sıralayıcıda, dönüşüm tamamlanır tamamlanmaz, seçilmiş kanal değeri kendi sonuç kaydedicisinde saklanır. Otomatik sıralama sisteme aynı kanalı birçok defa dönüştürme imkânını verir ki buda kullanıcının fazla örnekleme algoritması gerçekleştirmesini sağlar. Bu ise klasik tek örnekleme dönüştürme sonuçlarına göre artırılmış bir çözünürlük sağlar.



Şekil 1.22. ADC modülünün blok diyagramı [5].

ADC'nin açıkça belirtilmiş kesinliği elde etmede düzgün devre kartı düzenlenmesi çok önemlidir. Mümkün olan en iyi seviyede, ADCIN uçlarına giden işaretler dijital işaret yollarına çok yakın çalışmamalıdır. Bu durum, ADC girişlerine akuple (bağlı) dijital hatlardaki anahtarlama gürültüsünü en aza indirmek için yapılır. Ayrıca ADC modülü güç uçlarını dijital kaynaktan izole etmek için düzgün izolasyon yöntemleri kullanılmalıdır. Şekil 1.23 ve Şekil 1.24 280x işlemcileri için uç bağlantılarını göstermektedir.

NOT:

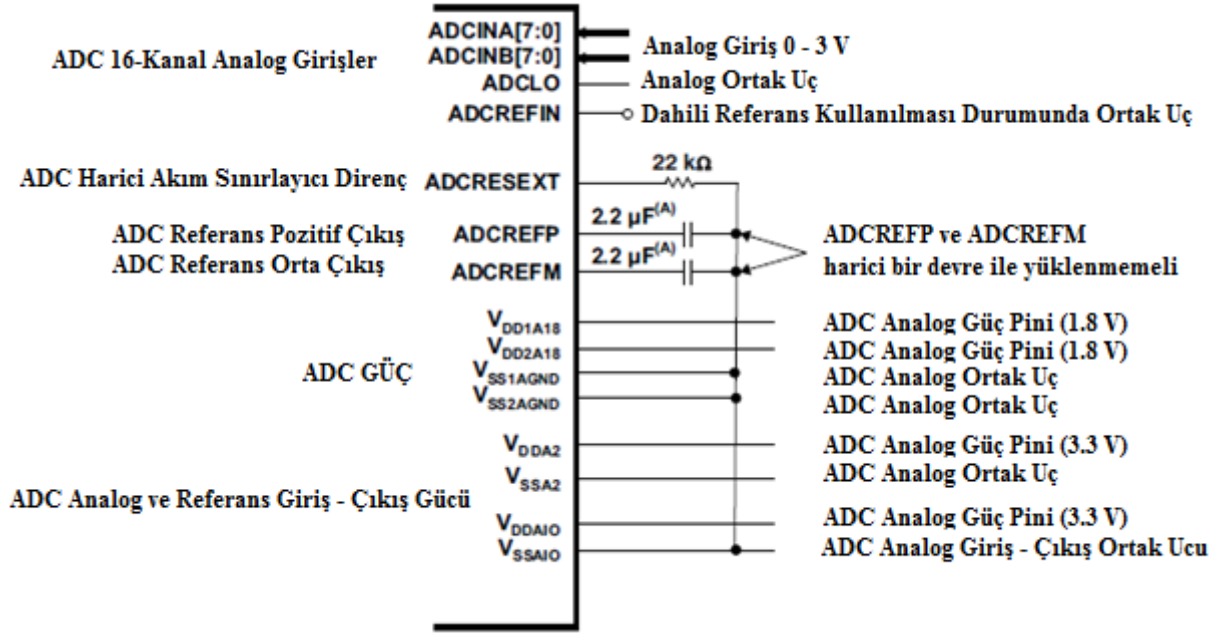
1. ADC kaydedicilerine SYSCLKOUT oranında erişilebilir. ADC modülünün dâhili zamanlaması yüksek hızlı ikincil saat tarafından denetlenir.

2. ADCENCLK ve HALT işaretlerini durumuna dayalı ADC modülünün davranışı aşağıdaki gibidir:

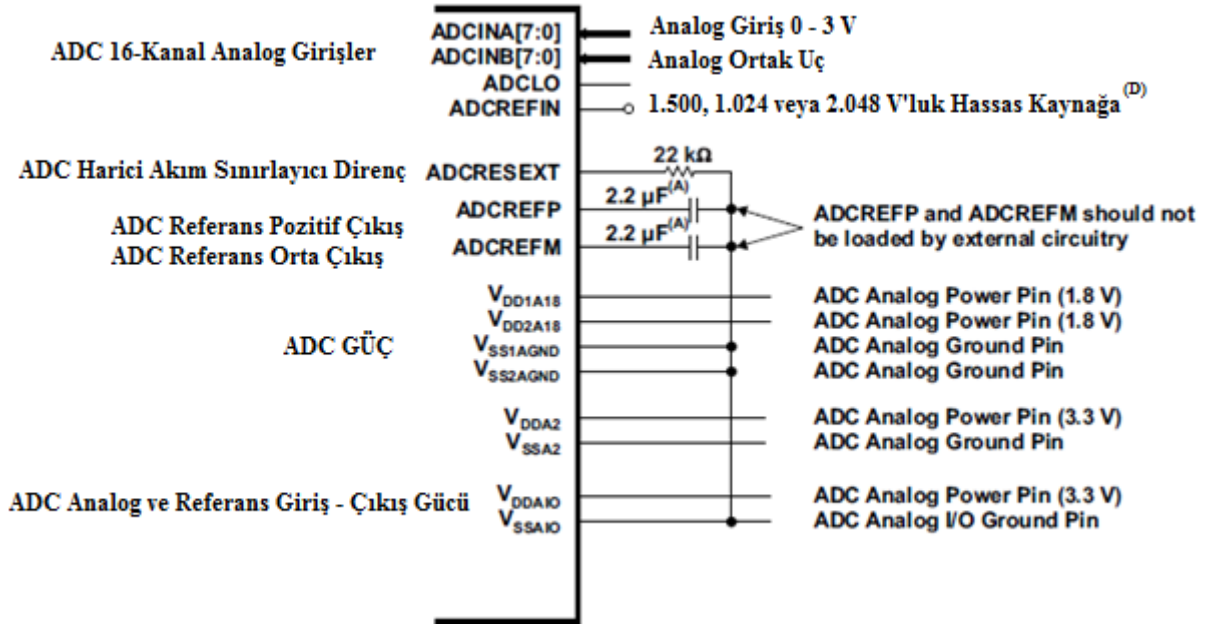
- ADCENCLK: Reset durumunda, bu işaret düşük seviyede olacaktır. Reset ucu düşük durumdayken bile kaydediciye giden kaydetme işareti (Clock Signal) aktif durumda kalacaktır. Bu bütün kaydedicilerin ve modların yüklü reset durumuna girmelerini garanti altına almak için gereklidir. Fakat analog modül düşük güç; yani inaktif durumda olacaktır. Reset yüksek seviyeye çıkar çıkmaz, kaydedicilerin kaydetme işaretleri (Clock) etkisiz kalacaktır. Kullanıcı ADCENCLK işareti yüksek seviyeye ayarlandığı zaman kaydedicilerin kaydetme işaretleri (Clock) etkin hale gelecek ve analog modül etkin olacaktır. ADC 'nin kararlı olması ve kullanılabilmesinden önce belirli bir gecikme zamanı olacaktır (ms mertebesinde).

- HALT (Durdurma): Bu mod sadece analog modülü etkiler. Kaydedicileri etkilemez. ADC modülü düşük güç moduna girer. Bu mod CPU'ya giden darbe işaretini de durduracak; buda HSPCLK'yi durduracaktır. Bu nedenle ADC kaydedici mantığı dolaylı olarak kapatılacaktır.

Şekil 1.23 dahili referans için ADC ucunu, şekil 1.24 ise harici referans için ADC ucunu gösterilmektedir.



Şekil 1.23. ADC 'nin dâhili referans ile uç bağlantıları



Şekil 1.24. ADC' nin harici referans ile uç bağlantıları

1.5.6.1. ADC Kullanılmayacak Durumlarda ADC Bağlantıları

ADC kullanılmazsa bile, analog güç uçları için bağlantıların korunması tavsiye edilir. Aşağıda belirtilenler, bir uygulamada ADC kullanılmazsa, ADC uçlarının nasıl bağlanması gerektiğinin bir özetini içermektedir.

- VDD1A18/VDD2A18 – VDD’ye bağlanır.
- VDDA2.VDDA10 – VDD 10’ a bağlanır.
- VSS1AGND /VSS2AGNO, VSSA2, VSSA10-VSS’ ye bağlanır.
- ADCLO VSS’ye bağlanır.
- ADCREFFP/ADCREFM-100nF’lyz kapasite VSS’ ye bağlanır.
- ADCRESEYT – 20k Ω ’luk bir direnç (toleransı geniş) VSS’ye bağlanır.
- ADCINAn, ADCINBn – VSS’ye bağlanır.

ADC kullanılmadığı zaman, güç tasarrufunu görmek için ADC modülüne giden işaretin (Clock) çalışmadığından emin olmak gerekir.

Bir uygulamada ADC kullanıldığı zaman, kullanılmayan ADC giriş uçları analog toprağa bağlanmalıdır. (VSSIAGND/VSS2AGNO)

1.5.6.2. ADC Kaydedicileri

ADC’nin çalışması tablo 1.7’de listelenen kaydediciler tarafından şekillendirilir, denetlenir ve izlenir.

Tablo 1.7. ADC kaydedicileri

İsim	Adres 1	Adres 2	Açıklama
ADCTRL1	0x7100		ADC Control Register 1
ADCTRL2	0x7101		ADC Control Register 2
ADC_MAXCONV	0x7102		ADC Maximum Conversion Channels Register
ADCCHSELSEQ1	0x7103		ADC Channel Select Sequencing Control Register 1
ADCCHSELSEQ2	0x7104		ADC Channel Select Sequencing Control Register 2
ADCCHSELSEQ3	0x7105		ADC Channel Select Sequencing Control Register 3
ADCCHSELSEQ4	0x7106		ADC Channel Select Sequencing Control Register 4
ADCSEQSR	0x7107		ADC Auto-Sequence Status Register
ADCRESULT0	0x7108	0x0B00	ADC Conversion Result Buffer Register 0
ADCRESULT1	0x7109	0x0B01	ADC Conversion Result Buffer Register 1
ADCRESULT2	0x710A	0x0B02	ADC Conversion Result Buffer Register 2
ADCRESULT3	0x710B	0x0B03	ADC Conversion Result Buffer Register 3
ADCRESULT4	0x710C	0x0B04	ADC Conversion Result Buffer Register 4
ADCRESULT5	0x710D	0x0B05	ADC Conversion Result Buffer Register 5
ADCRESULT6	0x710E	0x0B06	ADC Conversion Result Buffer Register 6
ADCRESULT7	0x710F	0x0B07	ADC Conversion Result Buffer Register 7
ADCRESULT8	0x7110	0x0B08	ADC Conversion Result Buffer Register 8
ADCRESULT9	0x7111	0x0B09	ADC Conversion Result Buffer Register 9
ADCRESULT10	0x7112	0x0B0A	ADC Conversion Result Buffer Register 10
ADCRESULT11	0x7113	0x0B0B	ADC Conversion Result Buffer Register 11
ADCRESULT12	0x7114	0x0B0C	ADC Conversion Result Buffer Register 12
ADCRESULT13	0x7115	0x0B0D	ADC Conversion Result Buffer Register 13
ADCRESULT14	0x7116	0x0B0E	ADC Conversion Result Buffer Register 14
ADCRESULT15	0x7117	0x0B0F	ADC Conversion Result Buffer Register 15
ADCTRL3	0x7118		ADC Control Register 3
ADCST	0x7119		ADC Status Register
Reserved	0x711A – 0x711B		Reserved
ADCREFSEL	0x711C		ADC Reference Select Register
ADCOFFTRIM	0x711D		ADC Offset Trim Register
Reserved	0x711E – 0x711F		Reserved

1.5.7. Geliştirilmiş Denetlenebilir Çevresel Birimler

1.5.7.1. Geliştirilmiş Darbe Genişlik Modülatörü (ePWM) Zamanlaması

Burada PWM, ePWM 1-6'daki PWM çıkışlarını ifade eder. Tablo 1.8 PWM zamanlaması gereksinimlerini ve tablo 1.9'da PWM anahtarlama karakteristiklerini göstermektedir.

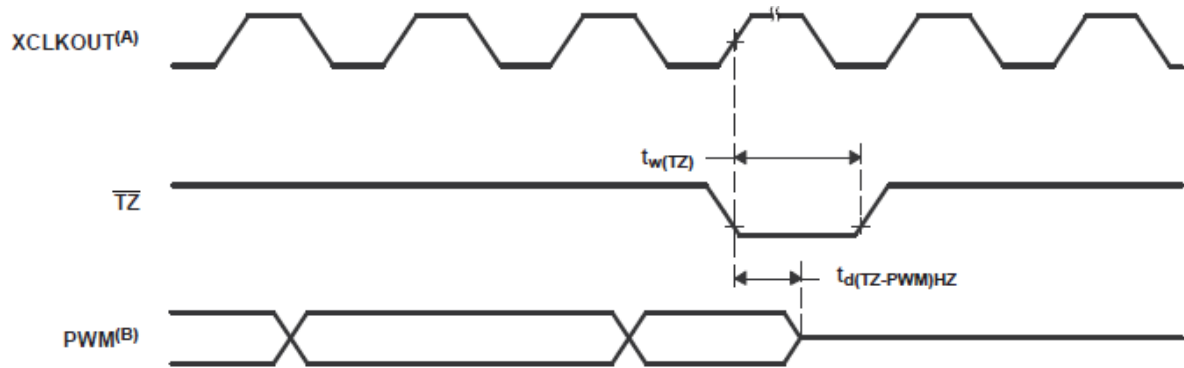
Tablo 1.8. ePWM zamanlama gereksinimleri

	Test Koşulları	Min	Max	Birim
$t_{w(SYCIN)}$ Senkronize Giriş Darbe Genişliği	Asenkron		$2t_{o(SCO)}$	Çevrimler
	Senkron		$2t_{o(SCO)}$	Çevrimler
	Giriş Seçicisi İle		$1t_{o(SCO)} + t_{w(IQSW)}$	Çevrimler

Tablo 1.9. ePWM anahtarlama karakteristikleri

Parametre	Test Koşulları	Min	Max	Birim
$t_{w(PWM)}$ Darbe süresi, PWMx çıkışı yüksek/düşük			20	ns
$t_{w(SYNCOUT)}$ Senkronize Giriş Darbe Genişliği			$8t_{o(SCO)}$	Çevrimler
$t_{d(PWM)}$ Gecikme zamanı, Tetik ucunun PWM'i yüksek yapması Gecikme zamanı, Tetik ucunun PWM'i düşük yapması	Pin bağlantısı yok	25		ns
$t_{d(TZ-PWM)HZ}$ Gecikme zamanı, Tetik ucunun PWM'i Hi-Z yapması		20		ns

1.5.7.2. Anahtarlama Bölgesi Giriş Zamanlaması



A.TZ : TZ1, TZ2, TZ3, TZ4, TZ5, TZ6

B. PWM aygıtındaki bütün PWM uçlarına karşılık gelmektedir. TZ'den sonraki PWM uçlarının durumu PWM yazılımının tekrar toparlanmasına bağlıdır.

Şekil 1.25. PWM Hi-Z karakteristikleri

Tablo 1.10. Anahtarlama bölgesi giriş zamanlama gereksinimleri

			MIN	MAX	UNIT
$t_{w(TZ)}$	Pulse duration, $\overline{TZx}$ input low	Asynchronous	$1t_{d(SCO)}$		cycles
		Synchronous	$2t_{d(SCO)}$		cycles
		With input qualifier	$1t_{d(SCO)} + t_{w(IQSW)}$		cycles

Tablo 1.11 yüksek çözünürlüklü PWM anahtarlama karakteristiklerini göstermektedir.

Tablo 1.11. SYSCLKOUT'daki HRPWM karakteristikleri = 80-100MHZ

	MIN	TYP	MAX	UNIT
Micro Edge Positioning (MEP) step size		150	310	ps

Tablo 1.12. eCAP zamanlama gereksinimini göstermektedir ve tablo 1.13 eCAP anahtarlama karakteristiklerini göstermektedir.

Tablo 1.12. Geliştirilmiş yakalama zamanlama gereksinimi

	TEST CONDITIONS	MIN	MAX	UNIT
$t_{w(CAP)}$	Capture input pulse width	Asynchronous	$2t_{d(SCO)}$	cycles
		Synchronous	$2t_{d(SCO)}$	
	With input qualifier	$1t_{d(SCO)} + t_{w(IQSW)}$		

Tablo 1.13. eCAP anahtarlama karakteristikleri

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	MAX	UNIT
$t_{w(APWM)}$	Pulse duration, APWMx output high/low	20		ns

Tablo 1.14. eQEP zamanlama gereksinimini ve Tablo 1.15 eQEP anahtarlama karakteristiklerini göstermektedir.

Tablo 1.14. Geliştirilmiş dörtlü kodlayıcı darbe girişleri zamanlama gereksinimleri

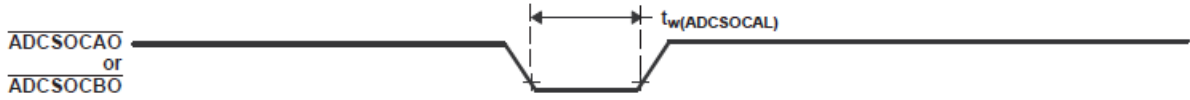
		TEST CONDITIONS	MIN	MAX	UNIT
$t_{w(QEPP)}$	QEP input period	Asynchronous/synchronous	$2t_{c(SCO)}$		cycles
		With input qualifier	$2[t_{c(SCO)} + t_{w(IQSW)}]$		
$t_{w(INDEXH)}$	QEP Index Input High time	Asynchronous/synchronous	$2t_{c(SCO)}$		cycles
		With input qualifier	$2t_{c(SCO)} + t_{w(IQSW)}$		
$t_{w(INDEXL)}$	QEP Index Input Low time	Asynchronous/synchronous	$2t_{c(SCO)}$		cycles
		With input qualifier	$2t_{c(SCO)} + t_{w(IQSW)}$		
$t_{w(STROBH)}$	QEP Strobe High time	Asynchronous/synchronous	$2t_{c(SCO)}$		cycles
		With input qualifier	$2t_{c(SCO)} + t_{w(IQSW)}$		
$t_{w(STROBL)}$	QEP Strobe Input Low time	Asynchronous/synchronous	$2t_{c(SCO)}$		cycles
		With input qualifier	$2t_{c(SCO)} + t_{w(IQSW)}$		

Tablo 1.15 eQEP anahtarlama karakteristikleri

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	MAX	UNIT
$t_{d(CNTR)_{\text{in}}}$	Delay time, external clock to counter increment		$4t_{c(SCO)}$	cycles
$t_{d(PCS-OUT)_{\text{QEP}}}$	Delay time, QEP input edge to position compare sync output		$6t_{c(SCO)}$	cycles

Tablo 1.16 Harici ADC dönüştürme başlangıcı anahtarlama karakteristikleri

PARAMETER	MIN	MAX	UNIT
$t_{w(ADCSOCL)}$	$32t_{c(HCO)}$		cycles



Şekil 1.26. ADCSOCAO veya ADCSOCBO Zamanlaması

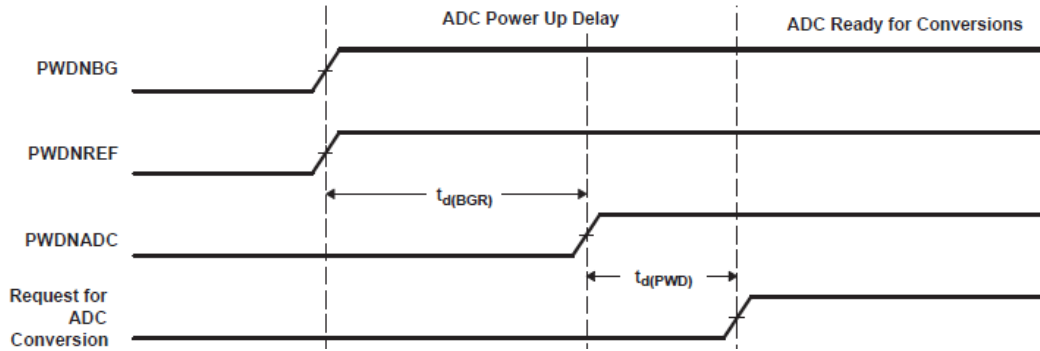
1.5.7.3. Analog – Sayısal Dönüştürücü Modülü

Tablo 1.17’de ADC modülüne ait bütün elektriksel karakteristikler gösterilmiştir.

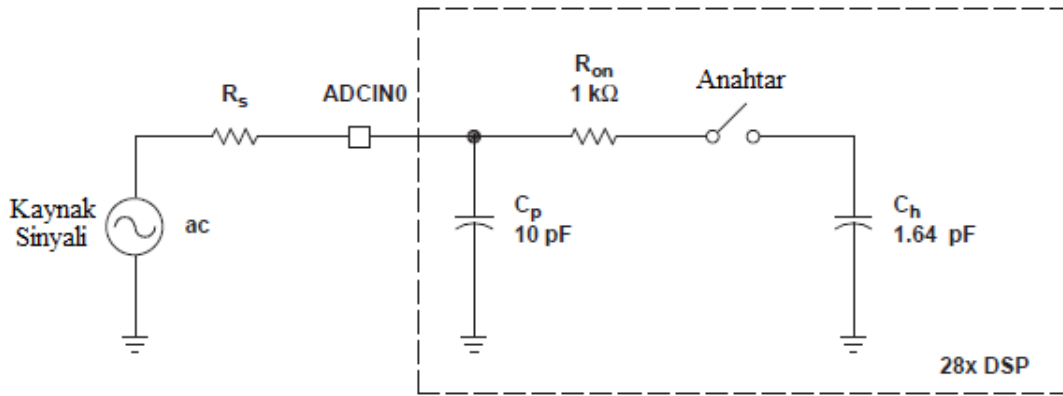
Tablo 1.17. ADC ‘nin elektriksel karakteristikleri

Parametre		MIN	TYP	MAX	Birim
D.A. Özellikleri					
Resolution		12			Bits
ADC clock	60-MHz device	0.001	7.5		MHz
	100-MHz device	0.001	12.5		
	100-MHz device (F2809 only)	0.001	25		
ACCURACY					
INL (Integral nonlinearity)	1–12.5 MHz ADC clock (6.25 MSPS)		±1.5		LSB
	12.5–25 MHz ADC clock (12.5 MSPS)		±2		
DNL (Differential nonlinearity) ⁽³⁾			±1		LSB
Offset error ⁽⁴⁾		–60	+60		LSB
Offset error with hardware trimming			±4		LSB
Overall gain error with internal reference ⁽⁵⁾		–60	+60		LSB
Overall gain error with external reference		–60	+60		LSB
Channel-to-channel offset variation			±4		LSB
Channel-to-channel gain variation			±4		LSB
ANALOG INPUT					
Analog input voltage (ADCINx to ADCLO) ⁽⁶⁾		0	3		V
ADCLO		–5	0	5	mV
Input capacitance			10		pF
Input leakage current			±5		µA
INTERNAL VOLTAGE REFERENCE ⁽⁵⁾					
V _{ADCREFP} - ADCREFP output voltage at the pin based on internal reference			1.275		V
V _{ADCREFM} - ADCREFM output voltage at the pin based on internal reference			0.525		V
Voltage difference, ADCREFP - ADCREFM			0.75		V
Temperature coefficient			50		PPM/°C
EXTERNAL VOLTAGE REFERENCE ^{(5) (7)}					
V _{ADCREFIN} - External reference voltage input on ADCREFIN pin 0.2% or better accurate reference recommended	ADCREFSEL[15:14] = 11b		1.024		V
	ADCREFSEL[15:14] = 10b		1.500		V
	ADCREFSEL[15:14] = 01b		2.048		V
AC SPECIFICATIONS					
SINAD (100 kHz) Signal-to-noise ratio + distortion			67.5		dB
SNR (100 kHz) Signal-to-noise ratio			68		dB
THD (100 kHz) Total harmonic distortion			–79		dB
ENOB (100 kHz) Effective number of bits			10.9		Bits
SFDR (100 kHz) Spurious free dynamic range			83		dB

1.5.7.3.1. ADC Güç Artırma Kontrol Biti Zamanlaması



Şekil 1.27. ADC güç artırma kontrol biti zamanlaması



Giriş devresi bileşenlerinin karakteristik değerleri;

Anahtar direnci(R_{on})	: 1k Ω	Örnekleme kapasitesi (C_h)	: 1.64pF
Parazit kapasite (C_p)	: 10pF	Kaynak direnci (R_s)	: 50 Ω

Şekil 1.28 ADC analog giriş empedans modeli

1.5.7.3.2. Tanımlar

- Referans Gerilimi:

Çip üzerindeki ADC, ADC için referans gerilimler temin eden gömülü bir referansa sahiptir.

- Analog girişler:

Çip üzerindeki ADC tek bir seferde herhangi bir kanalda veya iki kanalda örneklenen 16 analog girişten oluşmaktadır. Bu giriş yazılıma bağlı olarak seçilebilmektedirler.

- Dönüştürücü:

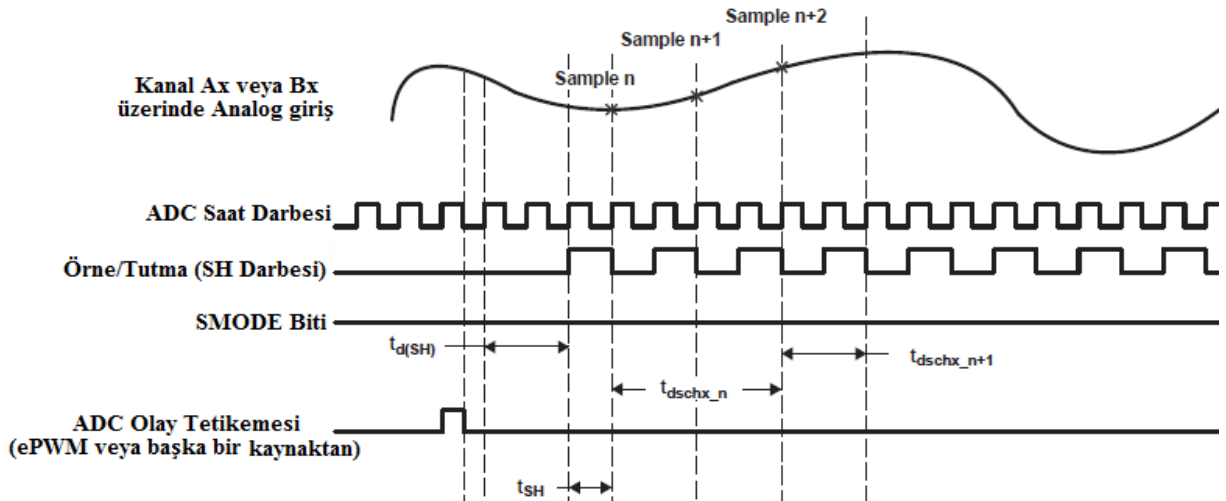
Çip üzerindeki ADC, düşük güç tüketimiyle yüksek bir örnekleme oranının elde edilmesine olanak sağlayan 12-bit ve 4 seviyeli bir mimarisi kullanır.

- Dönüşüm Modları:

Dönüşüm iki farklı modda gerçekleştirilebilir. Bunlar ardışık örnekleme modu ve eş zamanlı örnekleme modlarıdır.

1.5.7.3.3. Ardışık Örnekleme Modu

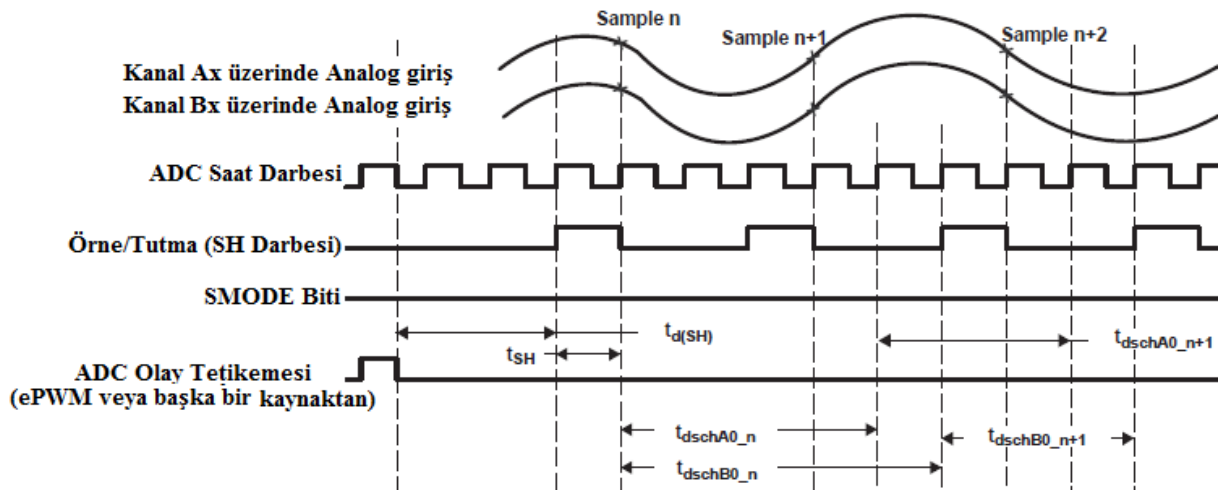
Ardışık örnekleme modunda, ADC sürekli olarak giriş işaretlerini kanalların herhangi birinde dönüştürebilir. ADC yazılım tetikleyicisinden veya harici bir ADCSOC işaretinden dönüştürmelere başlayabilir. SMODE biti 0 ise, ADC her örnek/tutma darbesinde seçilmiş kanalda dönüştürmeleri yapar. Dönüştürme zamanı ve sonuç kaydedicisi güncelleştirmesinin gizliliği aşağıda açıklanmaktadır. ADC kesme bayrakları sonuç kaydedicisi güncelleştirmesinden sonra birkaç SYSCLKOUT döngüsüne ayarlanır. Seçilmiş kanallar örnek/tutma darbesinin her düşen kenarında örneklenir. Örnek/tutma darbe genişliği minimum 1 ADC saat genişliğinde veya maksimum 16 ADC saat genişliğinde olacak şekilde programlanabilir.



Şekil 1.29. Ardışık örnekleme modu zamanlaması (tek kanal)

1.5.7.3.4. Eş Zamanlı Örneklemme Modu

Eş zamanlı modunda, ADC sürekli olarak giriş işaretlerini herhangi bir kanal çiftinde dönüştürebilir. ADC yazılım tetikleyicisinden veya harici bir ADCSOC işaretinden dönüşümleri başlatır. SMODE biti 1 ise ADC her örnek/tutma darbesinde seçilmiş iki kanalda dönüştürmeleri gerçekleştirir. Dönüştürme zamanı ve sonuç kaydedicisi güncellemesinin gizliliği aşağıda açıklanmıştır. Seçilmiş kanallar örnek/tutma darbesinin düşen kenarında eş zamanlı olarak örneklenir. Örnek/tutma darbe genişliği minimum 1 ADC saat genişliğinde veya maksimum 16 ADC genişliğinde olacak şekilde programlanabilir.



Şekil 1.30 Eş zamanlı örnekleme modu zamanlaması

1.6. eZdsp F2808 Devre Kartı

1.6.1. eZdsp F2808 Devre Kartına Giriş

Bu kısımda TMSF2808 sayısal işaret işlemcisi ile uygulama yapılabilmesi için tasarlanmış eZdsp F2808 devre kartına ait anahtar özellikler ve devre kartına ait blok diyagramlara yer verilmiştir [12].

1.6.1.1. eZdsp F2808 Tanıtımı

eZdsp F2808 kartı; TMS320F2808 sayısal işaret işlemcisi ile gerçekleştirilen uygulamalarda gerekli olacak bütün ek özellikleri ve pin çıkışlarını tek başında üzerinde barındıran bütünleşik bir devre kartıdır. Ayrıca bu kart TMS320F2808 işlemcisi üzerine daha rahat yazılım aktarabilmek ve bu işlemciyle daha rahat uygulama yapabilmek amaçlı tasarlanmıştır.

eZdsp F2808 devre kartının üzerinde bir adet TMS320F2808 sayısal işaret denetleyicisi bulunmaktadır. Kart; F2808'e ait kodlamaların gerçekleştirilebilecek en yüksek hızda doğrulanmasına yardımcı olur. Ayrıca kart üzerinde devre sistemi içerisinde ihtiyaç duyulabilecek ilave konektörler yer almaktadır.

Kod üretimini basite indirmek ve kod oluşturma süresini kısaltabilmek amaçlı C2000 araçları ve "Code Composer Studio (CCS)" programı için emülatörler oluşturulmuştur. CCS ile bu kart arasındaki iletişim sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

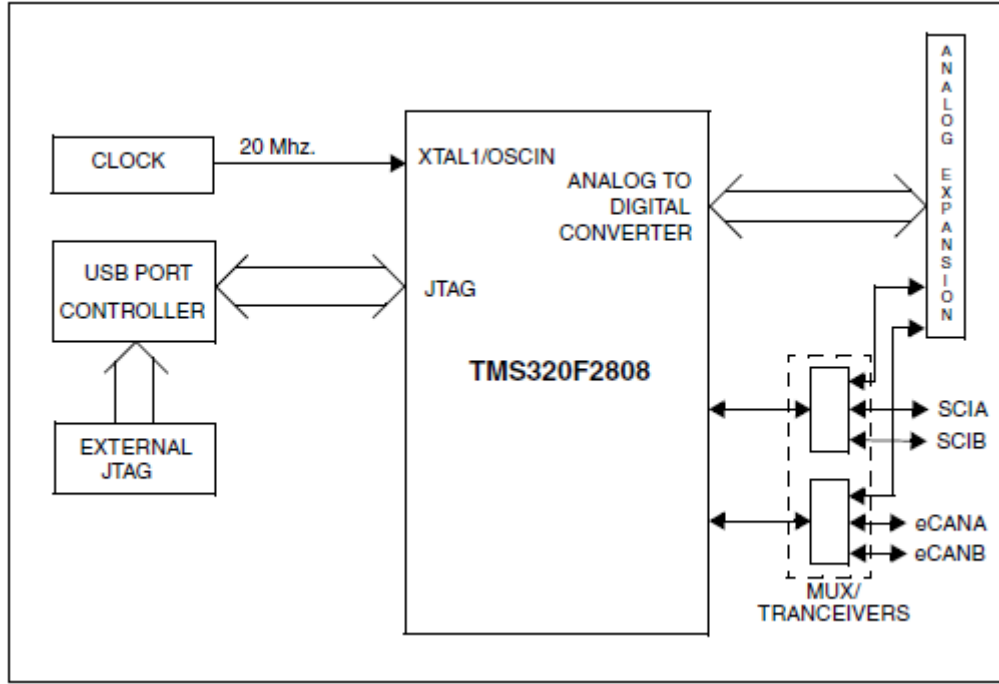
1.6.1.2. eZdsp F2808 Devre Kartının Anahtar Özellikleri

eZdsp F2808 devre kartı aşağıda yazılan özellikleri ve elemanları bünyesinde barındırır:

- TMS320F2808 Sayısal İşaret İşlemcisi
- 100MIPs işlem hızı
- 18K SARAM ve 64K Flash hafızası
- 256K-bit seri I²C EEPROM hafızası
- 20 MHz Kaydetme hızı (Clock)
- İlave Konektörler (analog, giriş – çıkış)
- IEEE 1149.1 JTAG denetleyici
- Beraberindeki a.a adaptör ile sabit 5-V besleme
- "TI F28xx Code Composer Studio tools" sürücüleri
- USB JTAG bağlantı konektörü
- 2 Adet SCI UART kanalı
- 2 Adet eCAN kanalı

1.6.1.3. eZdsp F2808'in İşlevsel Tanıtımı

Şekil 1.31'de eZdsp F2808 devre kartına ait basit konfigürasyonu gösteren blok diyagram verilmiştir. JTAG arayüzü ve Genişletilmiş arayüzler kart üzerindeki önemli arayüzlerdendir.



Şekil 1.31 eZdsp F2808 devre kartı blok diyagramı [12]

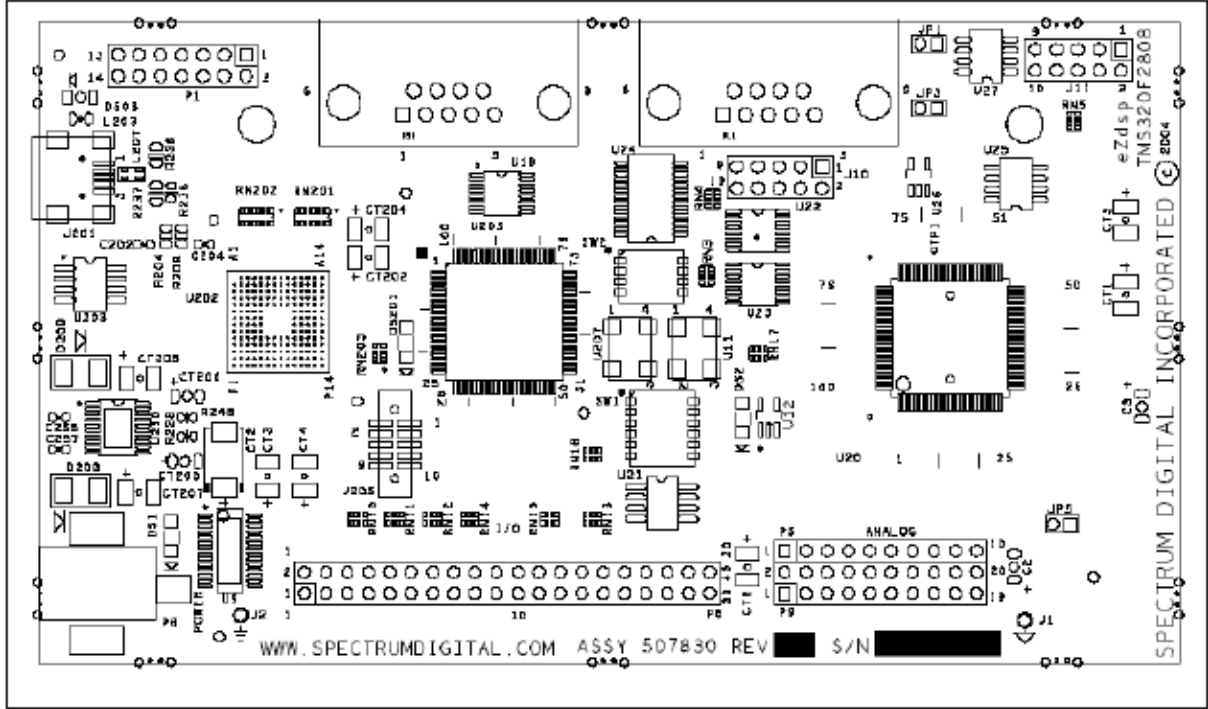
1.6.2. eZdsp F2808 Devre Kartının Çalışması

Bu bölümde TMS320F2808 işlemcisi kullanılan eZdsp F2808 devre kartının çalışma prensipleri ve anahtar bileşenleri açıklanmıştır. Ayrıca bu çeşitli arayüzlerle alakalı bilgilere yer verilmiştir. eZdsp F2808 aşağıda verilen 4 ana mantık bloğundan oluşmaktadır.

- Analog arayüz konektörü
- Giriş – Çıkış arayüz konektörü
- JTAG arayüzü
- USB portu JTAG denetleyici arayüzü

1.6.2.1. Devre Kartı

eZdsp F2808; 13,335 x 7,62 cm boyutlarında, çok katmanlı bir devre kartıdır. Harici 5-V besleme gerilimi ile çalışır ve başka bir beslemeye ihtiyaç duymaz. Şekil 2.1 devre kartının üst tarafına ait PCB taslağını göstermektedir.



Şekil 1.32. eZdsp F2808 PCB devre çizimi

Devre kartının ihtiyacı olan akım değeri 500mA'dır. Güç konektörünün PCB taslağı üzerinde görülen bağlantı noktası P6 noktasıdır. eZdsp F2808 ilave kart bağlantısını desteklemektedir. Bu durumda devrenin ihtiyacı olan akım seviyesi artacağından daha farklı bir güç adaptörü kullanmak gerekebilir.

1.6.2.2. Hafıza Özellikleri

Kart, üzerinde bulunan TMS320F2808 işlemcisi doğrultusunda;

- 2 blok 4K x16 RAM (Single Access RAM - SARAM)
- 1 blok 8K x 16 SARAM
- 2 blok 1K x 16 SARAM; hafıza birimlerine sahiptir.

eZdsp kod koşturabilmek için ram hafızasını kullanabilmektedir. Ayrıca Flaş hafızasına program yüklenip koşturulabilmektedir.

Tablo 1.18’de karta ait hafıza yapılandırmasına yer verilmiştir.

Tablo 1.18. eZdsp F2808 Hafıza boşlukları

Block Start Address	F2808	
	Data Space	Program Space
0x0000-0000	M0 SARAM	
0x0000-0400	M1 SARAM	
0x0000-0800	Peripheral Frame 0	Do Not Use !
0x0000-0D00	Pie Vector Table (256 x 16)	
0x0000-0E00		
0x0000-6000	Peripheral Frame 1	Do Not Use !
0x0000-7000	Peripheral Frame 2 (16 Bit access only)	
0x0000-8000	L0 SARAM	
0x0000-9000	L1 SARAM	
0x0000-A000	H0 SARAM	
0x0000-C000		
0x003D-7800	OTP (Read Only)	
0x003D-7800		
0x003E-8000	Flash (Read Only)	
0x003F-7FFF	(64K x 16)	
0x003F-8000	L0 SARAM Mirror	
0x003F-9000	L1 SARAM Mirror	
0x003F-A000	H0 SARAM Mirror	
0x003F-C000		
0x003F-F000	Boot ROM (Read Only)	
0x003F-FFFF		

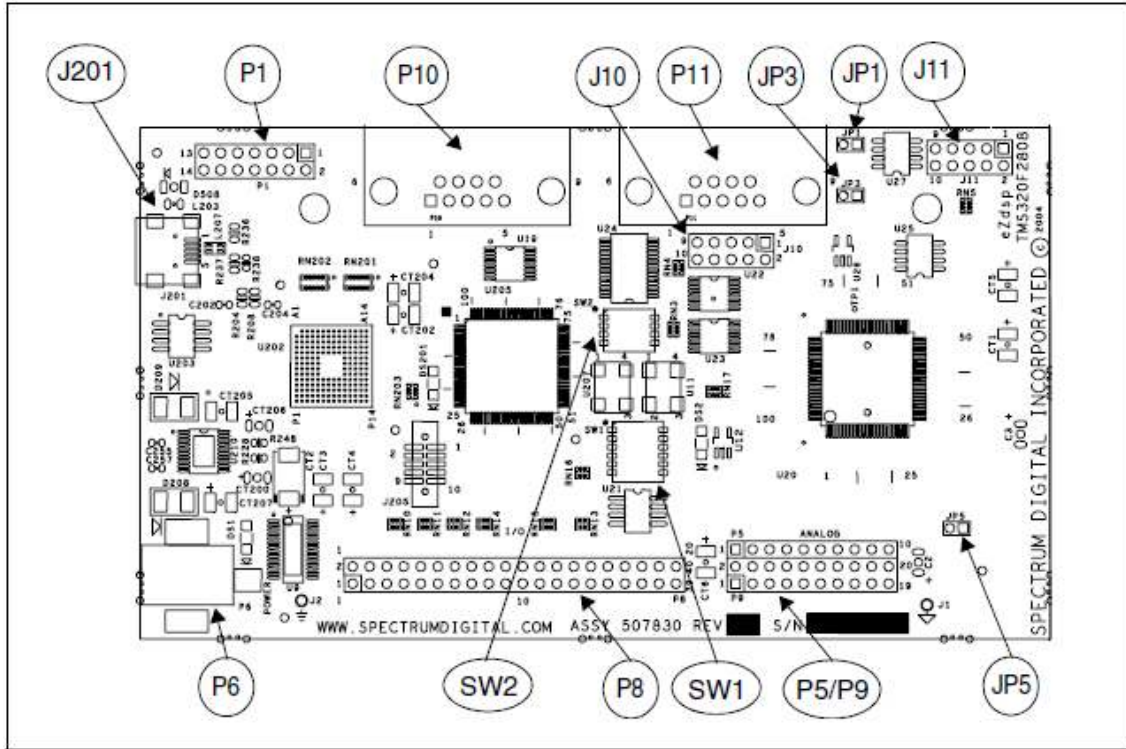
1.6.2.3. eZdsp F2808 Bağlantı Uçları

Bütünleşik kart üzerinde beş adet bağlantı uç grubu bulunmaktadır. Her gruba ait Pin bir ucu kare şeklinde lehimlenerek vurgulanmıştır. Bağlantı uçlarının işlevleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 1.19. eZdsp F2808 konektörleri

Connector	Function
P1	JTAG Interface
P8	I/O Interface
P5/P9	Analog Interface
P6	Power Connector
P10	DB-9, RS-232
P11	DB9, eCAN-A
J10	2x5 Header, SCIB
J11	2x5 header, eCAN-B
J201	USB Controller Interface

Şekil 1.33’de de bağlantı uçlarının kart üzerindeki yerleri gösterilmektedir.

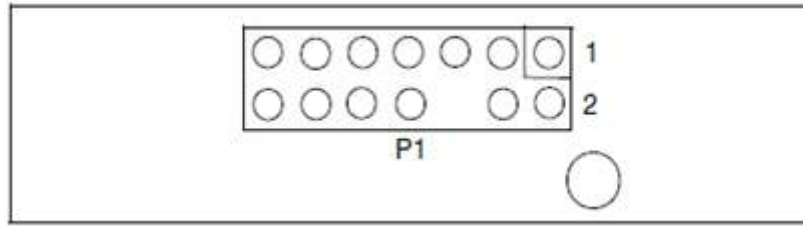


Şekil 1.33. eZdsp F2808 konektör ve anahtar konumları

1.6.2.3.1. P1, JTAG Arayüzü

eZdsp F2808 devre kartı üzerinde bulunan P1 bağlantı uçları 14 adettir. Aslında 14 tane bulunmasının sebebi TMS320F2808 işlemcisi üzerinde JTAG emülatörü tarafından kullanılan 14 adet uç bulunmasıdır. Bu uçlar bağlantı kolaylığı sağlanması amacıyla P1 uçlarına çıkartılmıştır.

Bu 14 adet uç P bağlantı uçları bölgesini aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 1.34. P1 pin konumları

Her bir uç için belirlenen JTAG işaretleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 1.20. P1, JTAG Arayüz pinleri

Pin #	Signal	Pin #	Signal
1	TMS	2	TRST-
3	TDI	4	GND
5	PD (+5V)	6	no pin
7	TDO	8	GND
9	TCK-RET	10	GND
11	TCK	12	GND
13	EMU0	14	EMU1

1.6.2.3.2. P3, USB Portu/JTAG Arayüzü

eZdsp F2808 kartında haberleşmenin çok daha rahat yapılabilmesi için USB portu kullanılmıştır. Bu, çalışmada kullanılan kartın önemli özelliklerinden bir tanesidir. USB

portu JTAG arayüzü ile direkt bağlantılıdır. USB sürücüler kartla birlikte gelmekte ve bu sürücüler ile Code Composer Studio programıyla bağlantı rahatlıkla sağlanabilmektedir.

1.6.2.3.3. P8, Giriş – Çıkış Arayüzü

Kart üzerinde gösterilen P8 uçları, DSP üzerindeki giriş – çıkış birimleri ile ilişkilendirilmiştir. Bu uçlara ait yerleşim düzeni aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	P8
1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	

Şekil 1.35 P8 konektörü

P4/P8 konektörlerine ait uçların tanımı aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

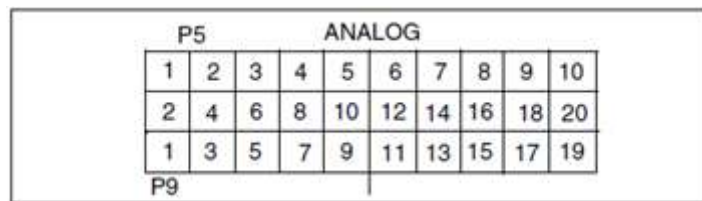
Gösterilen tabloda normalde 1 ve 2 numaralı başlangıçta hiçbir yere bağlı değildirler (No Connect - NC). İhtiyaca göre eZdsp F2808'in arka tarafında bulunan bağlayıcılarla +3.3V veya +5V olarak kullanılabilir.

Tablo 1.21. P4/P8 giriş – çıkış konektörleri

P8 Pin #	P8 Signal	P8 Pin #	P8 Signal
1	+3.3V/+5V/NC *	2	+3.3V/+5V/NC *
3	MUX_GPIO29	4	MUX_GPIO28
5	GPIO14	6	GPIO20
7	GPIO21	8	GPIO23
9	GPIO0	10	GPIO1
11	GPIO2	12	GPIO3
13	GPIO4	14	GPIO5
15	GPIO27	16	GPIO6
17	GPIO13	18	GPIO34
19	GND	20	GND
21	GPIO7	22	GPIO15
23	GPIO16	24	GPIO17
25	GPIO18	26	GPIO19
27	MUX_GPIO31	28	MUX_GPIO30
29	MUX_GPIO11	30	MUX_GPIO8
31	MUX_GPIO9	32	MUX_GPIO10
33	GPIO22/GPIO24	34	GPIO25
35	GPIO26	36	GPIO32
37	GPIO12	38	GPIO33
39	GND	40	GND

1.6.2.3.4. P5/P9, Analog Arayüzü

P5/P9 konektörlerine bağlı 30 adet bağlantı ucu aşağıdaki diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 1.36. P5 ve P9 Konektörlerinin pin konumları

Yine bu konektörlere ait işaretlerin tanımı her bir uç için aşağıdaki tabloda verilmiştir.

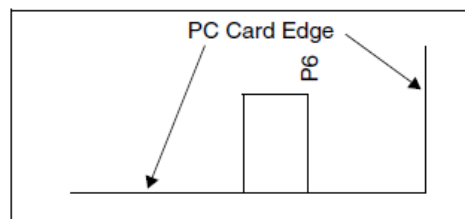
Tablo 1.22. P5/P9 analog arayüz konektörü

P5 Pin #	Signal	P9 Pin #	Signal	P9 Pin #	Signal
1	ADCINB0	1	GND	2	ADCINA0
2	ADCINB1	3	GND	4	ADCINA1
3	ADCINB2	5	GND	6	ADCINA2
4	ADCINB3	7	GND	8	ADCINA3
5	ADCINB4	9	GND	10	ADCINA4
6	ADCINB5	11	GND	12	ADCINA5
7	ADCINB6	13	GND	14	ADCINA6
8	ADCINB7	15	GND	16	ADCINA7
9	ADCREFM	17	GND	18	VREFLO *
10	ADCREFP	19	GND	20	No connect

Uygun ADC çalışması için VREFLO ya AGND ucuna yada kullanılacak sistemde tasarlanan noktaya bağlanmalıdır.

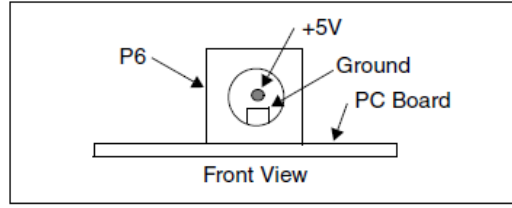
1.6.2.3.5. P6, Güç Konektörü

5-V'lık besleme ile sağlanan güç, eZdsp F2808 kartı üzerine P6 konektörü üzerinden sağlanmaktadır. Konektörün dış kısmı 5.45 mm çapında, dış kısmı ise 2.5 mm çapındadır. P6 konektörünün devre kartı üzerindeki yeri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1.37. P6 konektörü

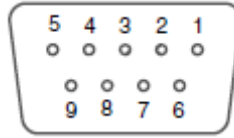
P6 konektörüne ait diyagram da aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1.38. eZdsp F2808 güç konektörü

1.6.2.3.6. P10, RS-232 Konektörü

eZdsp F2808 devre kartı üzerinde UART olarak kullanılan SCIA işaretlerini alan ve ileten bir RS-232 konektörü mevcuttur. Bu UART bağlantısı, P10 üzerinde bulunan 9 pinli erkek D-konektörü ile sağlanır. Bu konektörün devre üzerindeki yeri kartın kenarında, şekli aşağıda gösterildiği gibidir.



Şekil 1.39. P10, DB9 dişi konektör

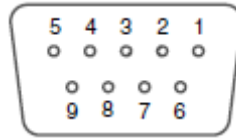
Bağlantı ucu numaraları ve bu uçlarla ilgili işaretler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Bu bağlantı şekli bilgisayarlarda kullanılan standart çift sıralı DB-9 bağlantı arayüzüne karşılık gelmektedir.

Tablo 1.23. P10, RS-232 pin çıkışları

Pin #	Signal Name	Direction
1	No Connect	
2	PCRxDA	Out
3	PCTXDA	In
4	No Connect	
5	GND	N/A
6	No Connect	
7	No Connect	
8	No Connect	
9	No Connect	

1.6.2.3.7. P11, CAN Konektörü

eZdsp F2808 devre kartı üzerinde, CANA arayüzü tarafından iletilen ve alınan işaretlerin aktarımı için 9-pinli dişi D-konektörü bulunmaktadır. CAN arayüzünün kullandığı sürücü SN65HVD235 CAN sürücüsüdür. P11 konektörünün devre üzerindeki şekli aşağıda gösterildiği gibidir.



Şekil 1.40. P11, DB9 dişi konektör

Yine bu konektörlere ait işaretlerin tanımı her bir uç için aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1.24. P11, CANA pin çıkışları

Pin #	Signal Name
1	No Connect
2	CANLA
3	GND
4	No Connect
5	No Connect
6	No Connect
7	CANHA
8	No Connect
9	No Connect

1.6.2.3.8. J10, SCIB 5 x 2 Başlığı

SCIB işaretleri MAX3238 sürücüsü ile 5 x 2'lik çift sıra başlık uçlarına yönlendirilir (J10). J10 konektörüne ait işaretlerin tanımı her bir uç için aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1.25 J10, 5 x 2 pin çıkışları

Pin #	Signal Name	Direction	Pin #	Signal Name	Direction
1	No Connect		2	No Connect	
3	PCRxDB	Out	4	No Connect	
5	PCTXDB	In	6	No Connect	
7	No Connect		8	No Connect	
9	GND	N/A	10	No Connect	

1.6.2.3.9. J11, CANB 5 x 2 Başlığı

CANB işaretleri SN65HVD235 CAN sürücüsü ile 5 x 2'lik çift sıra başlık uçlarına yönlendirilir (J11). J11 konektörüne ait işaretlerin tanımı her bir uç için aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1.26. J11, 5 x 2 Pin çıkışları

Pin #	Signal Name	Pin #	Signal Name
1	No Connect	2	No Connect
3	CANLB	4	CANHB
5	GND	6	No Connect
7	No Connect	8	No Connect
9	No Connect	10	No Connect

1.6.2.3.10. Konektör Parça Numaraları

Aşağıdaki tabloda eZdsp F2808 kartı üzerinde kullanılabilen konektörlerin parça numaralarına yer verilmiştir.

Tablo 1.27. eZdsp F2808 Kullanılabilen konektörlerin parça numaraları

Connector	Male Part Numbers	Female Part Numbers
P1	SAMTEC TSW-1-10-07-G-T	SAMTEC SSW-1-10-01-G-T
P2	SAMTEC TSW-1-20-07-G-T	SAMTEC SSW-1-20-01-G-T

1.6.2.4. eZdsp F2808 Atlama Bağlantıları (Jumpers)

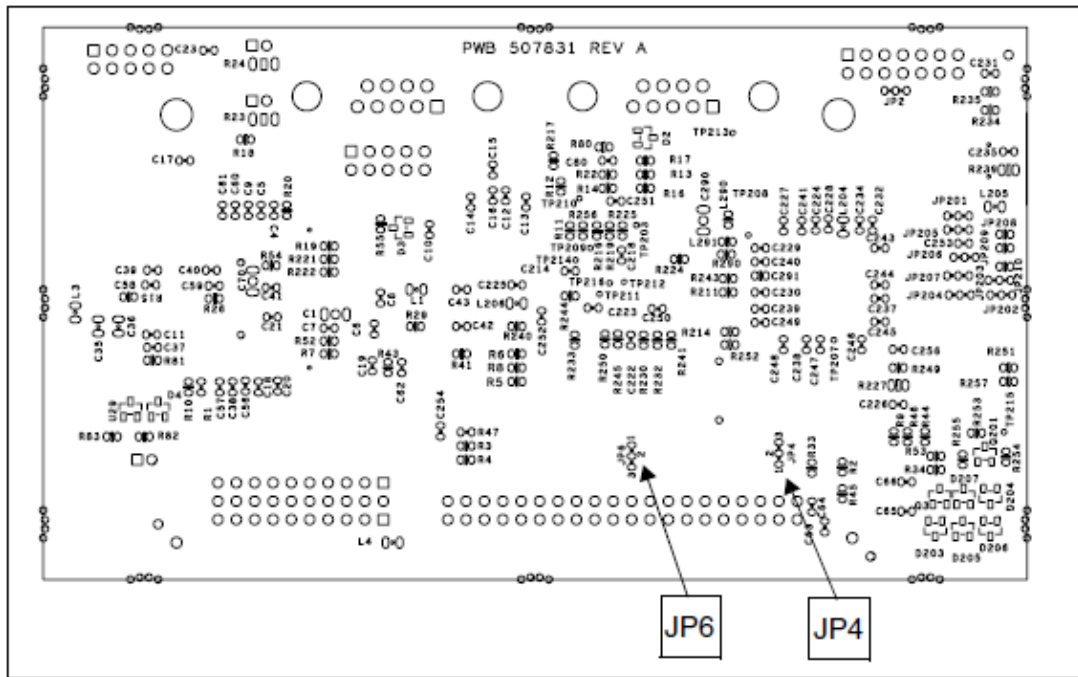
eZdsp F2808 üzerinde J4 ve J5 olarak isimlendirilen iki adet jumper bloğu vardır. JP4 ilave bağlantılara (headers) güç sağlamak, JP5 ise ADCREFIN gerilimini sağlamak amaçlı kullanılmışlardır. Aşağıdaki tabloda atlama bağlantıları ve bu bağlantıların gerçekleştirdiği görevlere yer verilmiştir.

Tablo 1.28 eZdsp F2808 Sıçrama bağlantıları

Bağlantı	Boyut	İşlev	Başlangıç Ayarı
JP1	1 x 2	Terminator Resistor - CANB	Yüklü
JP3	1 x 2	Terminator Resistor - CANA	Yüklü
JP4	1 x 3	+3.3/5 Volts to P8 Pin 1,2 and P4, Pin 1	Bağlanmamış
JP5	1 x 2	Selects ADCREFIN voltage	Bağlanmamış
JP6	1 x 3	Selects GPIO22 or GPIO24 to Pin 33, P8	GPIO24-Pin 33, P8

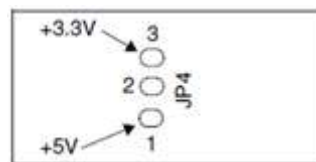
1.6.2.4.1. JP4, Gerilim Bağlantısı, P8 ve P4 Konektörleri İçin +3.3/5V

JP4 atlama bağlantısı, kartın arka tarafında bulunan ve ilave konektörlere (P4, P8) +3.3 V veya +5 V besleme verilmesini sağlayan bağlantı uçlarını içerir. Bu uçlardaki bağlantı çıkışları çalışma sırasında herhangi bir kaza meydana gelmemesi için kaldırılmıştır. İstenildiği takdirde uygun uçlar arasında direkt kablo bağlantısı gerçekleştirilerek düşünülen bağlantı şekli sağlanabilir. Bu atlama bağlantılarının kart üzerindeki yeri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1.41. eZdsp F2808 sıçrama bağlantıları konumları (Arkadan görünüm)

JP4 atlama bağlantısı ucu, ilave konektör olan P8 konektörünün 1 ve 2 numaralı ucuna +3.3V veya +5V verilmesine olanak tanır. Aşağıdaki tabloda jumper bağlantısının uçlara göre verdiği çıkış gösterilmiştir.



Şekil 1.42. JP4 Devre görünümü

Tablo 1.29. JP4, gerilim sıçrama bağlantıları, P8 ve P4 için 3.3/5 Volt

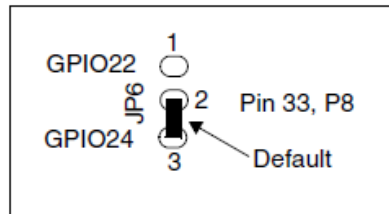
Position	Function
1 - 2	+5V connected to P8
2 - 3	+3.3 connected to P8

1.6.2.4.2. JP5, ADCREFIN Seçimi

JP5 bağlantı noktaları, analog – sayısal dönüştürücü (ADC) arayüzü için gerekli olacak olan gerilimin seçimi için kullanılmaktadır. Jumper kısa devre yapıldığında ADCREFIN ucuna 2.048 V seviyesindeki gerilim değerli işaret ulaştırılır. Uçlar açık devre halinde bırakıldığında ise ADCREFIN ucu enerjisiz kalır.

1.6.2.4.3. JP6, GPIO22/GPIO24 Seçimi

J6 seçme uçları, P8 arayüzünde bulunan 33 numaralı bağlantı ucuna GPIO22 veya GPIO24 çıkışlarından hangisinin verileceğinin belirlenmesinde kullanıcıya yardımcı olur. 1 ve 2 uçları birbirine kısa devre yapıldığında GPIO22 ucu, 2 ve 3 uçları birbirine kısa devre yapıldığında ise GPIO24 ucu P8 konektöründeki 33 numaralı uca aktarılmış olur. Aşağıdaki şekilde, devre kartının arka tarafında bulunan bu uçların şekli gösterilmektedir.



Şekil 1.43. JP6 devre görünümü

Tablo 12 ise JP6 seçme uçlarının durumlarına göre gerçekleştirdikleri işlevleri göstermektedir.

Tablo 1.30. JP6, GPIO22/GPIO24 seçimi

Position	Function
1 - 2	GPIO22 connected to Pin 33, P8
2 - 3	GPIO24 connected to Pin 33, P8 *

1.6.2.5. Anahtarlar

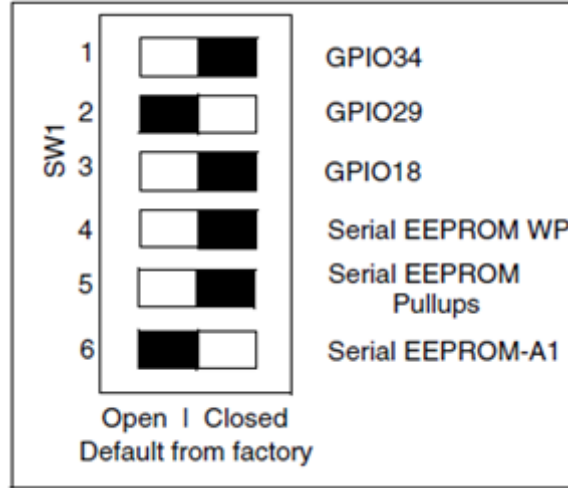
eZdsp F2808 devre kartı üzerinde 2 adet anahtar bloğu mevcuttur (SW1 – SW2). Bu anahtarlar kart üzerinde bulunan çeşitli özelliklerin devreye alınıp çıkartılmasında kullanılırlar. Aşağıdaki bölümlerde bu anahtarların durumlarına göre devre kartının nasıl çalışacağı açıklanmıştır.

1.6.2.5.1. SW1 Anahtarı

Kart üzerinde bulunan SW1 anahtar gruplarında altı adet uygulama pozisyonu vardır. Bu pozisyonlar yardımıyla kullanıcı devre kartını gerçekleştirdiği uygulama için en uygun şekilde kullanabilir. Aşağıdaki tabloda bu anahtarların konumlarına göre sağlayabilecekleri işlevler gösterilmiştir.

Tablo 1.31. SW1 anahtar konumları

Position	Function
1-3	Boot Mode Select
4	Serial EEPROM WP
5	Serial EEPROM Pullups
6	Serial EEPROM - A1



Şekil 1.44. SW1 devre görünümü

1.6.2.5.1.1. SW1 Anahtarı 1-3 Konumları: Başlangıç Çalışması Seçimi

1 ve 3 numaralı anahtarların konumları, DSP'nin enerjilendirildiği anda hangi modda çalışması istendiğini belirlemek amaçlı kullanılır. Bu anahtarları kullanarak gerçekleştirilebilecek başlangıç şekilleri aşağıdaki tabloda listelenmiştir.

Tablo 1.32. SW1 konum 1 – 3

Position 3 GPIO18	Position 2 GPIO29	Position 1 GPIO34	Boot Mode
Open-1	Open-1	Open-1	Flash
Open-1	Open-1	Closed-0	SCI-A
Open-1	Closed-0	Open-1	SPI-A
Open-1	Closed-0	Closed-0	I ² C-A
Closed-0	Open-1	Open-1	eCAN-A
Closed-0	Open-1	Closed-0	M0 SARAM *
Closed-0	Closed-0	Open-1	OTP
Closed-0	Closed-0	Closed-0	I/O

1.6.2.5.1.2. SW1 Anahtarı 4 Konumu: EEPROM Üzerine Kayıt

SW1 üzerinde bulunan 4 numaralı anahtarın konumu ile EEPROM hafızası üzerine kayıt yapılabilmesinin etkinleştirilmesi veya devre dışı bırakılması durumu ayarlanabilir. Bu anahtar kapalı konuma getirildiğinde EEPROM hafızasına kayıt devre dışı bırakılmış olur ve EEPROM sahip olduğu içeriği korur. Anahtar açık hale getirildiğinde ise hafıza üzerine kayıt mümkün olur. Bu durumlar aşağıdaki tabloda da ayrıca gösterilmiştir.

Tablo 1.33. SW1, konum 4

Position	Function
Closed-0 *	EEPROM WP Disabled (EEPROM can be written to) *
Open-1	EEPROM WP Enabled (EEPROM cannot be written to)

1.6.2.5.1.3. SW1 Anahtarı 5 Konumu: Seri EEPROM Durdurma Dirençleri

SW1 üzerinde bulunan 5 numaralı anahtarın konumu ile EEPROM biriminin durdurma (Pull up) dirençlerini kullanıp kullanmayacağı durumu belirlenebilir. Anahtar konumu kapalı olduğunda bu dirençler kullanımda olurken, anahtar durumu açık hale getirildiğinde bu dirençler devre dışı bırakılmış olur. Bu durumlar aşağıda ki tabloda da gösterilmektedir.

Tablo 1.34. SW1, konum 5

Position	Function
Closed-1 *	Pull up resistors used *
Open-0	Pull up resistors not used

1.6.2.5.1.4. SW1 Anahtarı 6 Konumu: Seri EEPROM A1 Adresi Durumu

SW1 üzerinde bulunan 6 numaralı anahtarın konumu, seri EEPROM birimindeki A1 adresinin yüksek veya düşük olması durumunu belirler. Anahtar kapalı konumdayken A1

adresi mantık 1 olurken, anahtar açık konuma getirildiğinde A1 adresi içeriği mantık sıfır olmaktadır. Bu konumlar ve sahip olduğu özellikler aşağıdaki tabloda da gösterilmiştir.

Tablo 1.35. SW1, konum 6

Position	Function
Closed-1	A1 = 1
Open-0	A1 = 0 *

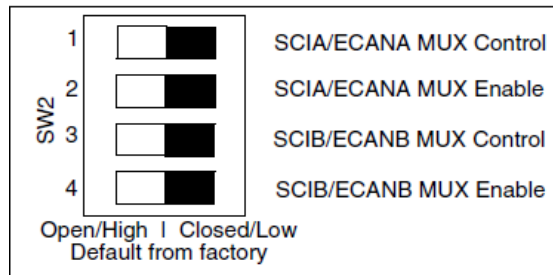
1.6.2.5.2. SW2 Anahtarı

eZdsp F2808 devre kartı üzerinde bulunan SW2 anahtarları 4 adettir. Bu anahtarların durumu SCI/CAN MUX birimlerinin kullanımını belirler. Anahtarların her bir konumuna karşılık gerçekleştirdiği işlevler aşağıdaki tabloda listelenmiştir.

Tablo 1.36. SW2 anahtar konumları

Position	Function	Settings
1	SCIA/ECANA MUX Control	Open/High GPIO28-GPIO31 to expansion connector P8 Closed/Low GPIO28-GPIO31 to SCIA/CANA transceivers
2	SCIA/ECANA MUX Enable	Open/High GPIO28-GPIO31 isolated Closed/Low GPIO28-GPIO31 not isolated
3	SCIB/ECANB MUX Control	Open/High GPIO8-GPIO11 to expansion connector P8 Closed/Low GPIO8-GPIO11 to SCIB/CANB transceivers
4	SCIB/ECANB MUX Enable	Open/High GPIO8-GPIO11 isolated Closed/Low GPIO8-GPIO11 not isolated

SW2 Anahtarlarının kart üzerindeki düzeni aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1.45. SW2 devre görünümü

1.6.2.6. Ledler

eZdsp F2808 devre kartı üzerinde iki adet ışık yayan diyot (LED) bulunmaktadır. Bu ledlerden DS1 ledi kart üzerinde +5 V'luk beslemenin var olup olmadığını yani devrenin enerjilendirilip enerjilendirilmediğini gösterir. DS2 ledi ise yazılım kontrolündedir ve DSP üzerinden GPIO34 pininin aktif edilmesi sonucunda yanar. Bu durumlar aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 1.37. Ledler

LED #	Color	Controlling Signal
DS1	Green	+5 Volts
DS2	Green	GPIO34 bit (GPIO34 high = on)

1.6.2.7. Test Noktaları

eZdsp F2808 devre kartı üzerinde iki adet test noktası bulunmaktadır. Bu noktalarının bağlı oldukları işaretler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 1.38. Test noktaları

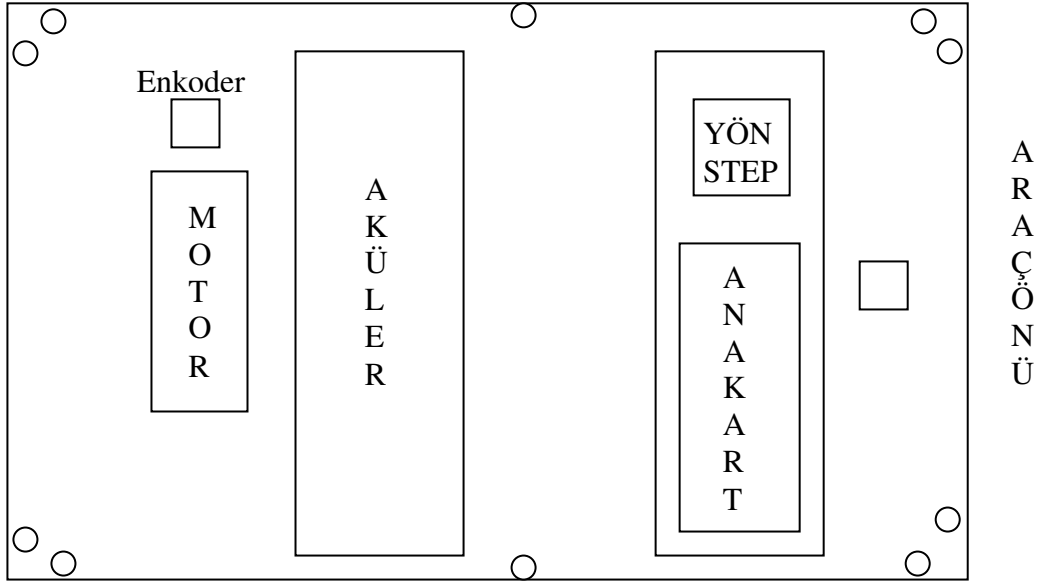
Test Point	Signal
J1	Analog Ground
J2	Ground

2. YAPILAN ÇALIŞMA VE BULGULAR

2.1. Materyaller

Çalışmada, belirli bir doğrultuda hareket edebilen bir aracın kontrolüne ilişkin devrekartları yer almaktadır. Ayrıca aracın çalışmasını sağlayacak motorun kontrolü TMS320F2808 sayısal sinyal kontrolörüne sahip eZdsp F2808 devre kartı ile sağlanmıştır. Tasarlanan H-köprüsü niteliğindeki motor sürücü devresini kontrol eden bu kart ayrıca hazırda bulunan enkoderden aldığı verileri değerlendirmekte, aracın kalkış ve duruşunu bu şekilde sağlamaktadır.

2.1.1. Araç, Kartlar ve Sürüş Yardımcı Elemanları Yerleşim Planı



Şekil 2.1. Aracın şematik görünüşü

2.1.2. Araç Kısımları

2.1.2.1. Motor

Araç, 24 volt doğru gerilimle çalışan, 0.75 kW gücünde, 30 Amper akım çeken, 1000 rpm devir yapan Femsan marka bir motor ile hareket ettirilmektedir. Tasarlanan bir dişli sistemi ile sahip olduğu moment tekerleklere aktarılmaktadır. eZdspF2808 devre kartından elde edilen PWM sinyali ile sürücü devresi yardımıyla motor kendi hız limitleri dâhilinde ileri ve geri yönlerde sürülebilmektedir.



Şekil 2.2. Araç motorunun görünüşü

2.1.2.2. Enkoder

Motorun hızını okuyabilmek amaçlı kullanılan enkoder her turunda 50 kare dalga üretmektedir. Her 50 kare dalga tekerleğin bir turunu ifade etmektedir. Tekerlek çevresi, eZdspF2808 tarafından 50'ye bölünerek her kare dalga için gidilen mesafe elde edilmektedir. Ayrıca enkoderin A ve B faz çıkışlarının ikisi de eZdspF2808 devre kartı girişlerine verildiğinde motorun dönüş yönü bilgisi de karta aktarılabilmektedir. Motor geri yönde döndüğünde enkoderin 90° fazı kaymış olan B ucu kart tarafından öncelikli okunacaktır ve motorun geri yönde döndüğü anlaşılabilecektir.



Şekil 2.3. Enkoderin görünüşü

2.1.2.3. Akü Grubu

Motor ve sürücü sistemi için gerekli olan enerjiyi elde edebilmek için 2 adet 12 volt doğru gerilim çıkışı veren 65 A lik akü kullanılmıştır. Aküler birbirlerine seri bağlanarak motorun çalışması için ihtiyacı olan 24 V'luk gerilim elde edilmiştir. Ayrıca aracı süren kartların enerjisi de farklı gerilim çıkışlarını elde etmek için tasarlanmış ana besleme kartı sayesinde elde edilir.

2.1.2.4. Yön Adım Motoru

Aracın dönüşlerini sağlamak amaçlı ön tekerlekler bir direksiyon kutusuna bağlanmıştır. Bu direksiyon kutusunun mili, redüktörlü bir adım motoru tarafından döndürülmekte ve böylece hareketin yönlendirilme durumu söz konusu olabilmektedir. Yön adım motoru sürücüsü, verilebilecek bir yön komutunu gerçekleyebilmek için tasarlanmıştır.



Şekil 2.4. Redüktörlü adım motoru ve araç dönüş sistemi

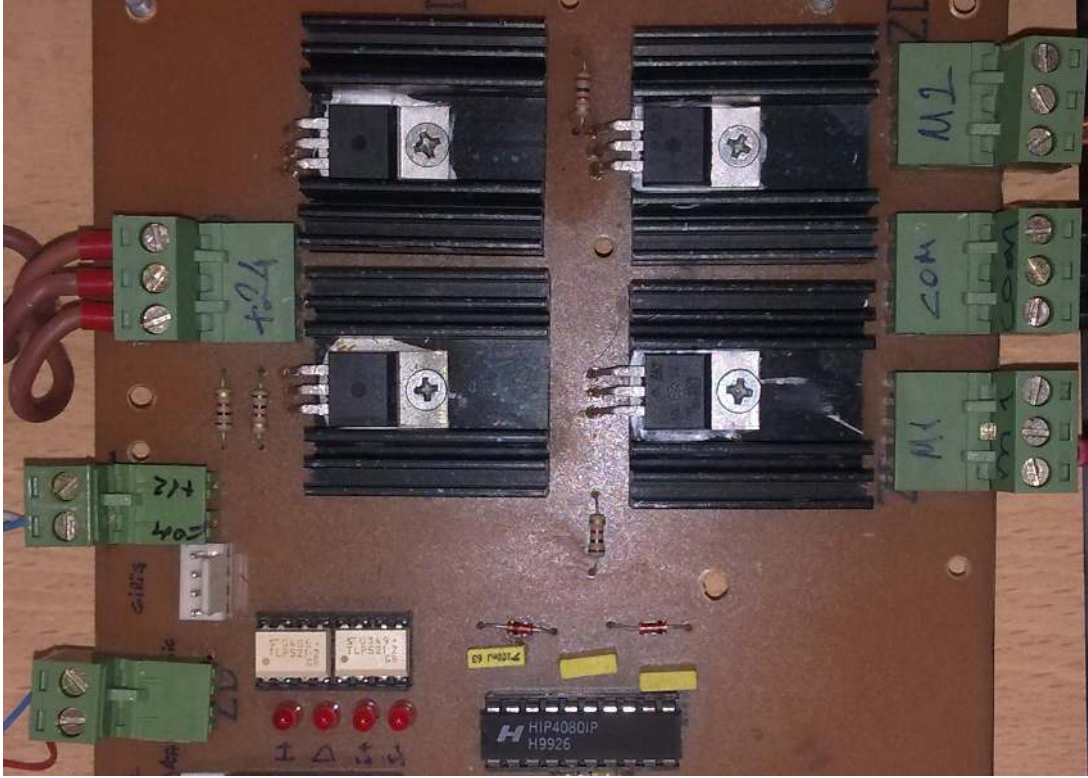
2.1.3. Tasarlanan Kartlar

2.1.3.1. Motor Sürücü Kartı

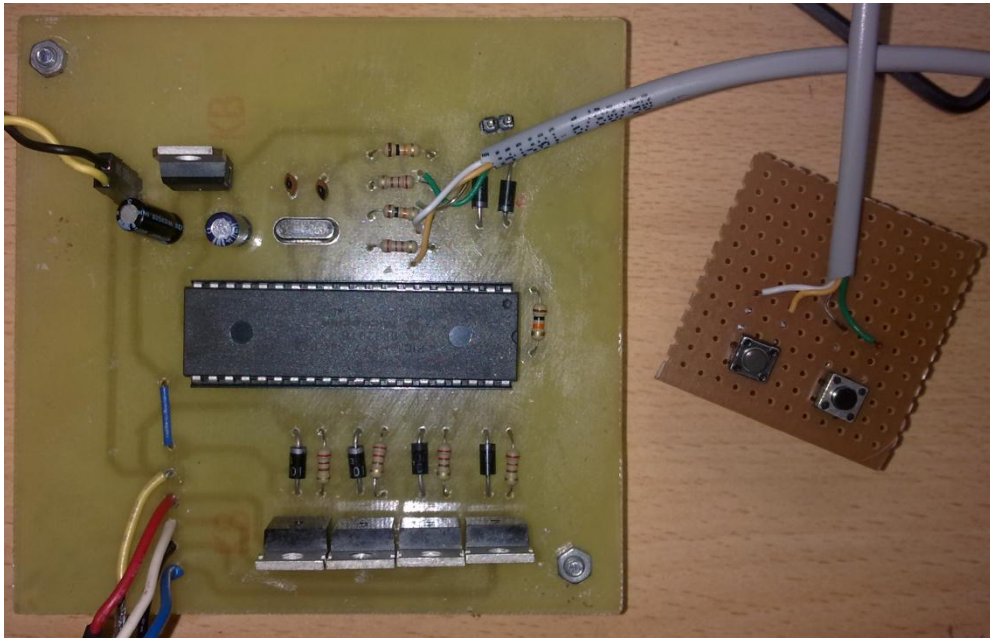
Motor sürücü kartı mikro denetleyiciden aldığı hız ve yön verisine göre darbe genişlik modülasyonlu olarak ürettiği işaretlerle motoru değişik güçlerde ve ileri-geri sürebilme özelliğine sahiptir. Tasarlanan kart aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Motor sürücü devresinin kontrolü daha önce de açıklandığı gibi eZdsp F2808 sayısal sinyal denetleyicisi ile tasarlanmıştır. Kullanılan 4 adet mosfet motorun yönünü ve hızını H-köprü DA kıyıcı yöntemi ile bağlanarak kontrol etmektedir. H-Köprü DA kıyıcı kullanılarak motorun yönünün de yazılım ile rahatlıkla kontrol edilebilmesi amaçlanmıştır. Kullanılan mosfetler 75NF75 Serisi mosfetler olup herbiri bir adet soğutucuya monte edilmiştir.

2.1.3.2. Yön Denetim Kartı

Yön denetim kartı ile eZdspF2808 devre kartından gelecek olan veri ile aracın tekerleklerinin istenilen süre kadar sağa veya sola dönmesi, karttan gelen veri kesildiğinde ise tekerleklerin eski konumuna geri dönmesi sağlanmıştır. Tasarlanan kart aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



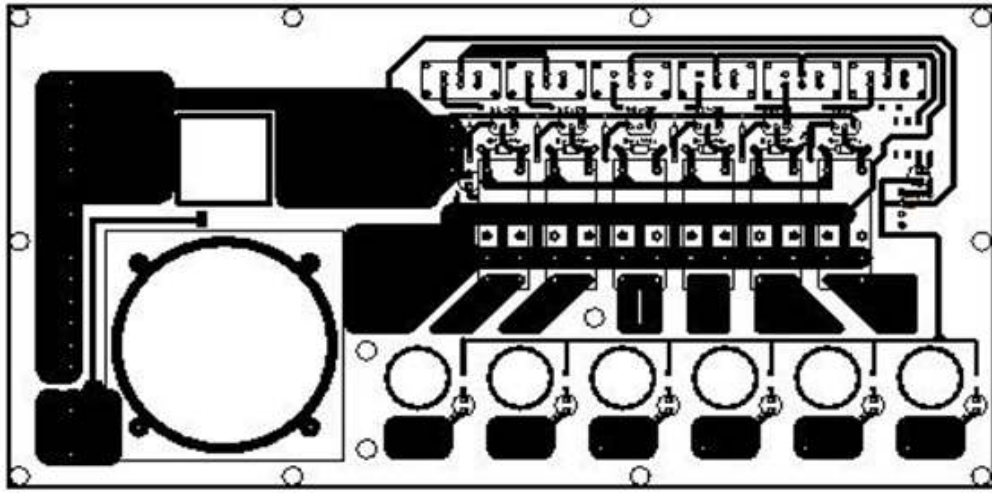
Şekil 2.5. Motor sürücü kartının üstten görünüşü



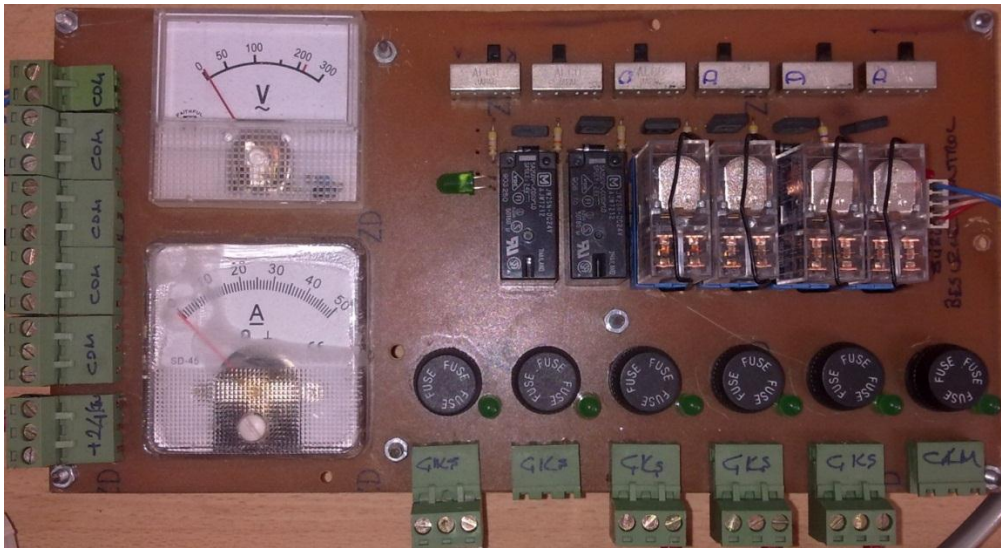
Şekil 2.6. Yön denetim kartının üstten görünüşü

2.1.3.3. Ana Güç Besleme Kartı

Ana güç besleme kartı akülerden aldığı gücü röleler vasıtasıyla motoru besleyen kartlar ile motora yönlendirir. 2 Adet uç, çıkış kartlarının güçlerinin tedariki için kullanılır ve elle istenilen çıkıştan besleme alınabilir. Diğer uçlar ise motor sürücü kartını besler ve açılıp kapatılmaları mikro denetleyici tarafından yapılır. Ayrıca her bir röle için 1 adet anahtar konularak kullanılacak rölelerin elle seçilebilmesi de sağlanmıştır. Ana güç besleme kartının ares devre çizimi ve resmi aşağıda verilmektedir.



Şekil 2.7. Ana güç besleme kartının ares çizimi



Şekil 2.8. Ana güç besleme kartının üstten görünüşü

2.2. MATLAB ile eZdspF2808 Haberleşmesi

Çalışmada aracın hareket etmesini sağlayacak motorun kontrolü için DSP TMS320F2808 mikro denetleyicisi kullanılmış ve bu mikro denetleyicinin eZdsp F2808 devre kartı üzerinden programlanması MATLAB/Simulink benzetim programı üzerinden yapılmıştır. Burada asıl hedeflenen kod yazmadan, yapılan benzetimlerden yararlanarak DSP'ye kod aktarmak, dolayısıyla farklı çalışmalar gerçekleştirildiğinde de kod yazmaya gerek kalmadan DSP kullanılabilirliğini ispatlamaktır. Böylelikle bu projeden sonraki çalışmalar için de; DSP kullanımının rahatlığı göz önüne serilmiş ve kullanım kolaylığı açıklanmış olacaktır.

Bu kısımda, asıl olarak Matlab/Simulink üzerinden eZdsp F2808 devre kartı üzerindeki sayısal sinyal kontrolörüne nasıl kod yüklendiği açıklanmıştır. Kullanılan blokların ayrıntılı açıklamaları bir sonraki bölümde yapılacaktır.

2.2.1. Program Uyumluluğu

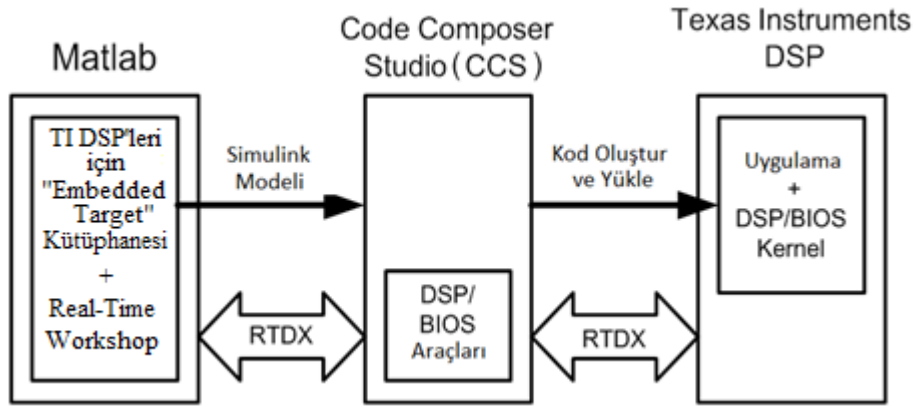
DSP Mikro denetleyicilerinin içerisine kod yerleştirebilmek için Code Composer Studio (CCS) programı kullanılmaktadır. Her ne kadar kod aktarma işlemi MATLAB üzerinden yapılacak olsa da, MATLAB bu işlemi tek başına gerçekleştirememektedir. Çünkü mikro denetleyicilerin bilgisayar tarafından tanınan bir donanım haline gelmesi için gerekli emülatörler sadece Code Composer Studio programı içerisinde bulunmaktadır. Ancak MATLAB ile kod aktarma işlemi için bu programı çalıştırma veya kod yazma gereksinimi bulunmamaktadır [17]. Tasarlanan benzetimin kodunun oluşturulması istendiğinde MATLAB arka planda CCS programını çalıştırmakta ve CCS üzerinden kod aktarımının tamamlanmasını sağlamaktadır.

Mikro denetleyicinin bilgisayar tarafından tanınarak CCS ile bağlanması, CCS'nin de MATLAB tarafından tanınması için bazı uyumluluk kriterlerine dikkat edilmesi gerekmektedir.

Tablo 2.1. MATLAB – CCS uyumu ve desteklenen donanımlar

Yazılım Donanım	Code Composer Studio Sürümü	MATLAB/Simulink Sürümü	Uygulama Alanları
eZdsp-F2812	CCS3.1	R2006b	Kontrol
DSK6416	CCS3.1	R2006b	Görüntüleme
DSK6713	CCS3.1	R2006b	Sinyal İşleme ve Haberleşme
eZdsp-F2808	CCS3.3	R2008A	Kontrol
DM6437DVDP	CCS3.3	R2008A	Video

Bu tabloda kullanılacak olan kartın hangi CCS ve MATLAB sürümleri ile birlikte çalıştırılabileceği gösterilmektedir. MATLAB 'ın daha sonraki sürümleri de kullanılacak karta uygun olan CCS sürümüne gerekli emülatörlerin ilave edilmesi sonucu kullanılabilir.



Şekil 2.9. MATLAB, CCS ve DSP kartı arasındaki ilişki [17].

2.2.2. eZdspF2808 Mikro Denetleyicisine MATLAB Üzerinden Kod Aktarılması

Texas Instruments C28x ailesine ait dijital sinyal işleyicileri, dijital motor kontrolü ve kesintisiz güç kaynakları kontrolü gibi uygulamalarda kullanılmak amaçlı tasarlanmıştır. Kullanılacak olan TMS320F2808 içerisine MATLAB üzerinden kod aktarılması basit bir benzetim örneği üzerinden gösterilecektir. Ardından bu benzetim, gerçek-zamanlı olarak F2808 eZdsp'ye aktarılacak ve sinyal çıkışı alınacaktır.

Kod aktarımını gerçekleştirmek amaçlı gerçekleştirilecek bu örnek uygulama için

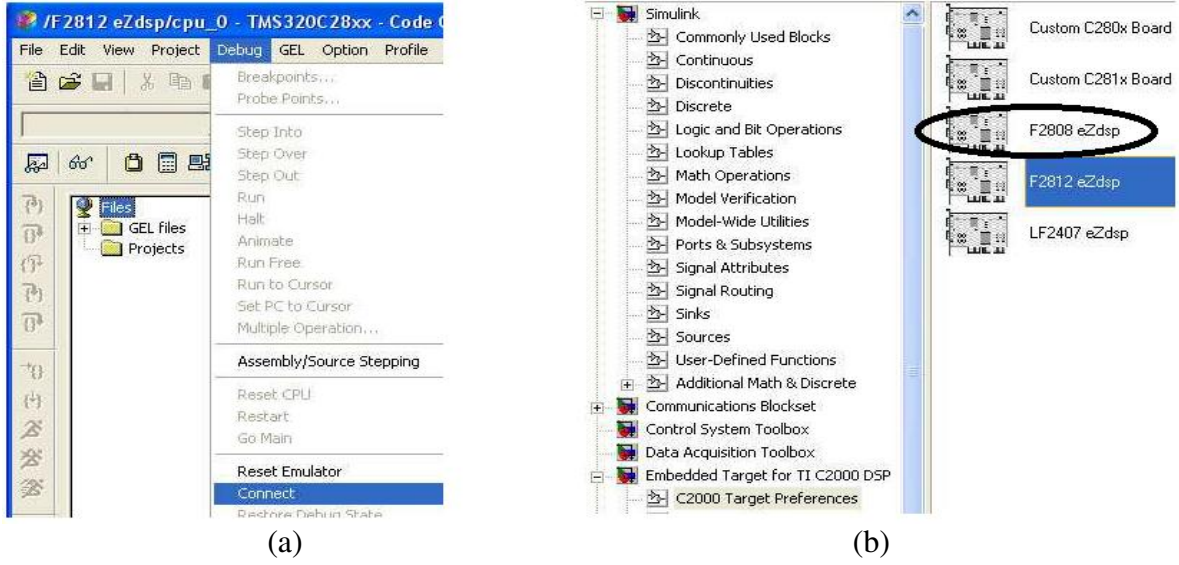
- TI C2000 kütüphanesine sahip MATLAB R2010b yazılımı,
- Code Composer studio (CCS) 3v3 versiyonu Platinum sürümü,
- Spectrum Digital eZdsp F2808 donanımı,
- CCS 3v3, eZdsp F2808 emülatörleri olan X510 emülatörü,
- $1k\Omega$ değerine sahip bir direnç;

kullanılacaktır.

2.2.2.1. MATLAB/Simulink Kullanarak eZdsp-F2808 İçin Benzetim Hazırlanması

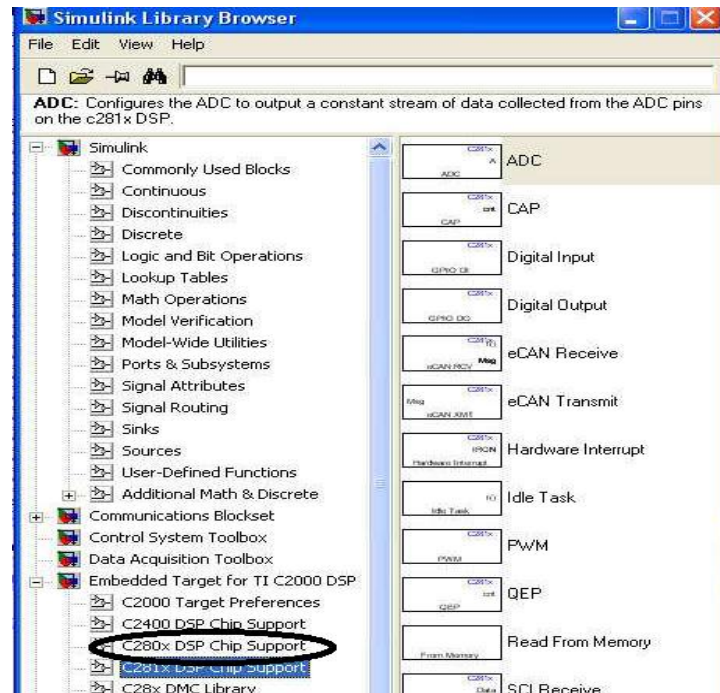
MATLAB/Simulink programının düzgün çalışabilmesi için F2808 eZdsp kartının çalışır halde bilgisayara tanıtılması ve bağlanması gerekmektedir. F2808, USB portu üzerinden bilgisayara bağlanmış ve enerjisi verilmiş olmalıdır. Karta enerji verildiği vakit kartın üzerindeki yeşil led yanar hale geçmektedir. Bu aşamadan sonra F2808 ezDSP için CCS çalıştırılır ve Debug => Connect komutu kullanılır.

CCS ile kart arasındaki bağlantının sorunsuz bir şekilde gerçekleştirildiği gözlemlendikten sonra MATLAB modeli oluşturulmaya başlanabilir. Simulink çalıştırılıp yeni model açıldıktan sonra Simulink menüsünden “Embedded Target for TI C2000 DSP” kütüphanesi açılır. Burada kullanılabilecek olan DSP kart modelleri yer almaktadır. Bizim kullanacak olduğumuz DSP modeli F2808 eZdsp’dir.



Şekil 2.10. (a) CCS programı açılış sayfası, (b) Hedef özelliklerinin seçilmesi

Buradan bir önceki menüye geri dönülüp “C280x DSP Chip Support” menüsü altına girildiğinde DSP içerisinde mevcut olan modüllerin kullanılabilmesini sağlayacak Simulink blokları görülecektir. Bu blokların her biri F2808 ezDSP kartının farklı bir özelliğinin kullanılabilir hale gelmesini sağlayacak ve gerekli kodların oluşturulmasında rol oynayacaktır.



Şekil 2.11. C280x DSP kart desteği

Buradan “Digital Output” bloğu modelin içerisine yerleştirilirdikten sonra oluşacak olan “GPIO D0” bloğunun içerisine girilerek Giriş – Çıkış portları “Bit14” aktif olacak şekilde ayarlanır. Ardından sinyal çıktısı “boolean” olan ve değeri sıfır olan sabit sayı bloğu modele yerleştirilir. Bu aşamadan sonra yapılacak olan oluşturulmuş olan benzetimin ezDSP F2808 içerisinde koşturulabilecek hale dönüştürülmesi işlemidir.



Şekil 2.12 Simulink ortamında hazırlanan örnek benzetim

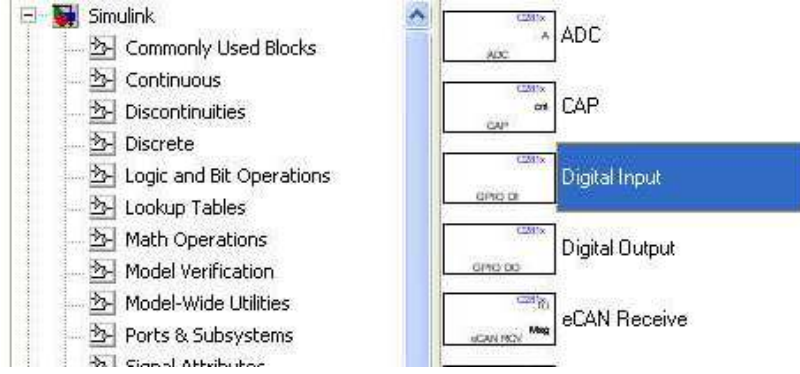
Modelin Karta aktarılabilecek biçime dönüştürülmesi için “Select Tools => Real – Time Workshop => Build Model” komutu çalıştırılır. Bu aşamadan sonra herhangi bir programlama yapmaya gerek yoktur. MATLAB, kurulu olan Code Composer Studio ile direkt haberleşir ve arka planda gerekli “.h ve .c” kodlarını oluşturmaya başlar. En sonunda da sisteminizin “.out” dosyasını oluşturur ve COFF dosyası ile bu “.out” dosyasını eZdsp F2808 içerisine yerleştirir.

Oluşturulan model artık kart içerisinde koşturulmakta ve üzerindeki DS2 ledi kapalı konumda bulunmaktadır.

İstenildiği durumda CCS içerisinden “.pj” proje dosyası içerisine girilip “.c” kod dosyası açılarak Matlab üzerinden oluşturulan kodun içeriği gözlemlenebilir. “GPIO D0” içerisinde seçilmiş olan bit14 bu ledi aktif etmektedir. “Sabit” bloğu içeriği bir olarak değiştirilip model tekrar derlendiğinde bu sefer ledin sürekli olarak aktif olduğu görülecektir.

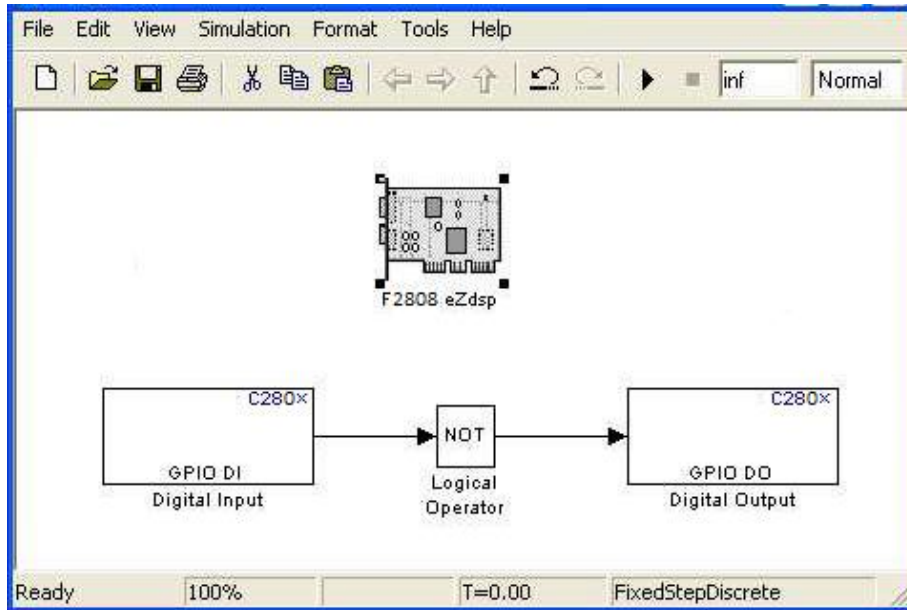
Ledin yanıp sönme durumunu donanım üzerinden kontrol edebilmek amaçlı, aynı model üzerine bu kez dijital giriş portu ilave edilebilir. Bu blok model içerisine bırakıldıktan sonra içerisine girildiğinde “IO Port” kısmı “GPIOA” olarak ayarlanır ve bu kez “Bit0” seçili hale getirilir. Ardından bloğun içerisine “NOT” operatörü koyulabilir. Bunun amacı;

- Giriş = 0 olduğunda çıkış = 1,
- Giriş = 1 olduğunda çıkış = 0 olmasını sağlamak olacaktır.



Şekil 2.13. Dijital giriş bloğunun seçilmesi

Bu blokların birbirlerine Şekil 2.14'deki gibi bağlandığında istenilen uygulama tamamlanmış olacaktır. Program tekrar “*incremental build*” edildikten sonra kod oluşturulacak ve eZdsp F2808'in içerisindeki TMS320F2808 sayısal sinyal denetleyicisi içerisine yerleştirilmiş olacaktır. Burada dijital giriş portu kullanılarak GPIOA girişinin bit0 olarak ayarlanması sonucunda kartın P8-pin9 pini, giriş değerinin değiştirilebilmesi için kullanılabilir. Bu doğrultuda, P8-pin9 ile P8-pin19(ground) arasına 1k Ω değerinde bir direnç koyulması durumunda DS2 ledi sönecek, direncin kaldırılması sonucunda da DS2 ledi yanacaktır. Burada direnç, Pin 9 un yüksek akıma maruz kalmasını engellemek amaçlı kullanılmıştır.



Şekil 2.14. Örnek uygulamanın Simulink benzetimi son hali

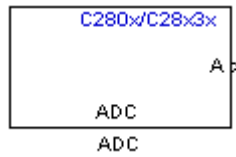
2.3. Matlab/Simulink F2808 Denetleyici Blokları

Çalışmada kullanılan motorun sürülebilmesi için tasarlanmış DA motor sürücü devresindeki mosfet anahtarlama elemanlarının anahtarlanması eZdsp F2808 devre kartı ile üretilen PWM sinyali ile gerçekleştirilmektedir. Bu kart ayrıca enkoder tarafından üretilen bilgi sayesinde motorun dönüş hızı bilgisini alıp motorun istenilen hızda dönmesini sağlayacak kontrolü gerçekleştirmektedir.

TMS320F2808 Sayısal sinyal denetleyicisinin programlanması Matlab/Simulink blokları tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde motor hız kontrolünün gerçekleştirilebilmesi için model tabanlı kod üretiminde kullanılacak Simulink blokları birer birer tanımlanmıştır [2].

2.3.1. Analog Sayısal Dönüştürücü Bloğu (ADC)

ADC Bloğu, TMS320F2808 denetleyicisinin sahip olduğu ADC biriminin seçilen uçlarına bağlı olan sinyallerin analog-sayısal sinyal dönüşümünü gerçekleştirmek amaçlı kullanılır. ADC Bloğu çıkışında elde edilen sayısal sinyaller, dönüştürülmüş oldukları analog sinyalleri temsil ederler ve kullanılan sayısal sinyal denetleyicisinin sonuç kaydedicisine kaydedilirler. Bu blok; frekans jeneratörü, motor hız bilgisi gibi analog sinyallerin alınıp dijital hale getirilmesi yani işlemcinin kullanabileceği bir bilgiye dönüştürülmesi amaçlı kullanılır.

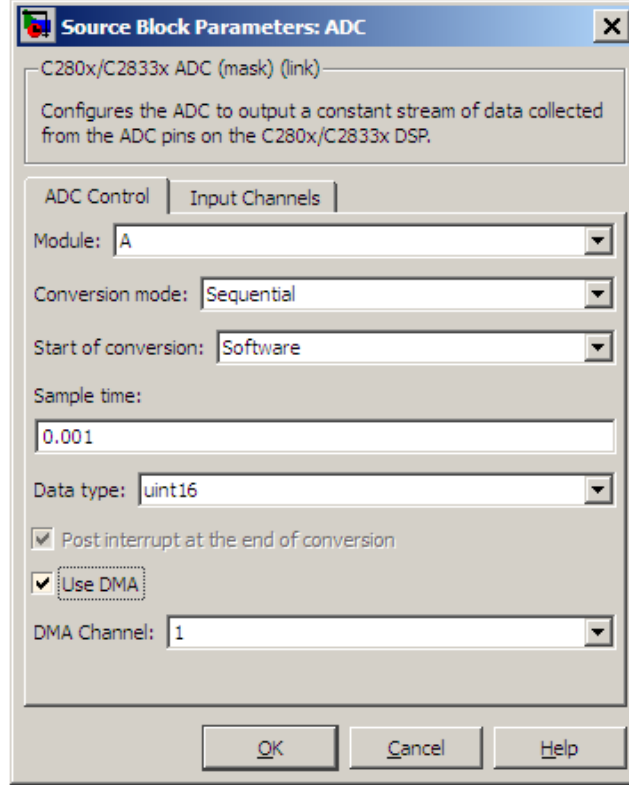


Şekil 2.16. ADC bloğu görünümü

ADC bloğundan elde edilecek çıkış sinyali “uint16” sinyal türünün bir vektörüdür. ADC 12-bitlik bir çevirici olduğu için çıkış değeri 0 – 4095 aralığında olabilmektedir.

ADC bloğu analog – sayısal dönüştürme işlemini çift ve kaskat olmak üzere iki şekilde gerçekleştirebilmektedir. Çift modda, ADC A ve B bloklarının birimlerinin ikisi de ayrı ayrı kullanılabilir. Kaskat modda ise A ve B modüllerinin ikisi de sadece tek

bir ADC bloğunun içerisinde kullanılabilmektedirler. Aşağıda bloğun özelliklerinin ayarlanabilmesini sağlayan blok özellikleri menüsü görülmektedir.



Şekil 2.17. ADC blok özellikleri

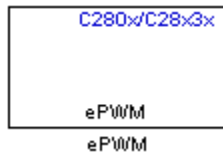
Bu menü içerisinde bulunan kısımlar ve gerçekleştirdikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- “Module”: Hangi DSP modülünün kullanılacağını belirler:
 - A – A modülüne ait ADC kanallarını gösterir (ADCINA0’dan ADCINA7’ye)
 - B – B modülüne ait ADC kanallarını gösterir (ADCINB0’dan ADCINB7’ye)
- “Conversion Mode”: Kullanılacak sinyallerin örnekleme türünü belirler:
 - Sequential – Seçili kanalların sıralı örneklenmesi sağlar.
 - Simultaneous – Seçili kanalların eş zamanlı örneklenmesini sağlar.
- “Start of Conversion”: Dönüştürmenin başlama noktasını tetikleyecek olan sinyalin şeklini belirler:

- Software – Yazılım ile oluşturulan sinyal. Çevrim sonucu oluşan değerler her örnekleme zamanında yenilenir.
 - ePWMxA / ePWMxB / ePWMxA_ePWMxB: Çevrim başlangıcının kullanıcı tanımlı PWM sinyali ile kontrol edilebilmesini sağlar.
 - XINT2_ADCSOC: Çevrim başlangıcının harici XINT2_ADCSOC uçları ile kontrol edilebilmesini sağlar.
- “Sample Time”: Seçilen ADC kanalları için örnekleme zamanının belirlenmesinde kullanılır. Bu oran, sonuç kaydedicisinden veri okuma hızını gösterir.
 - “Data Type”: Çıkış verisinin sinyal tipini belirler. Geçerli sinyal şekilleri şunlardır: auto, double, single, int8, uint8, int16, uint16, int32, ya da uint32.

2.3.2. Çoğaltılmış-Darbe Genişlik Modülasyonu Bloğu (ePWM)

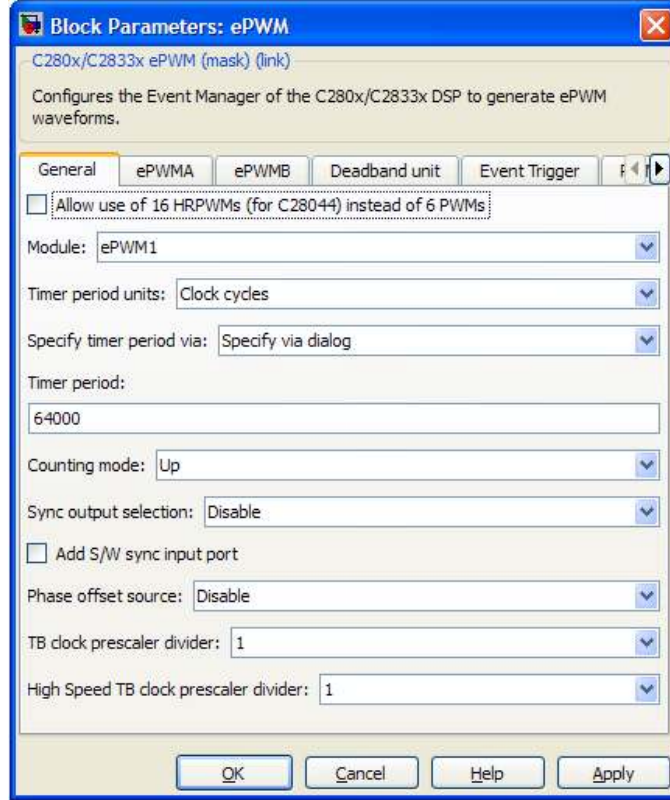
ePWM Bloğu, kullanılacak olan DSP’den ePWM dalga şekli üretilmesini sağlar. TMS320F2808 içerisinde birden fazla ePWM birimi bulunmaktadır. Her birimin ePWMA ve ePWMB olmak üzere iki çıkışı vardır. Bu blok, 6 ePWM birimini yönlendirebilecek şekilde kullanılabilir.



Şekil 2.18. ePWM bloğu görünümü

Yüksek çözünürlüklü PWM modülü (HRPWM) devreye alındığında ePWM bloğu “SFO_TI_Build_V5_lib” yazılımını kullanır. Bu çalışmada HRPWM modülü kullanılmayacaktır.

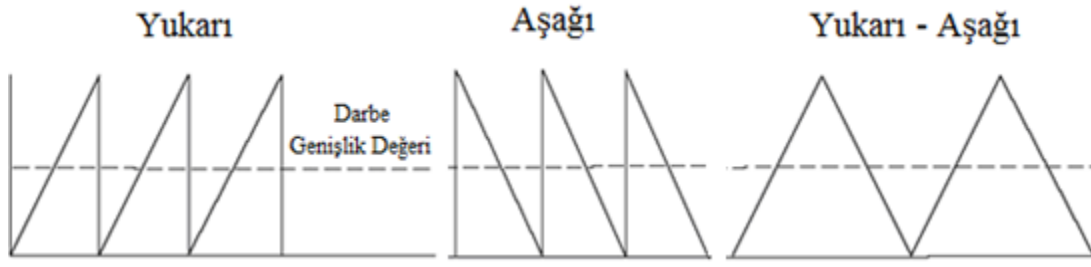
ePWM blok özelliklerinin ayarlanabileceği menü gösterimi aşağıdaki şekilde verilmiştir:



Şekil 2.19. ePWM blok özellikleri

Bu menü içerisinde bulunan kısımlar ve gerçekleştirdikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

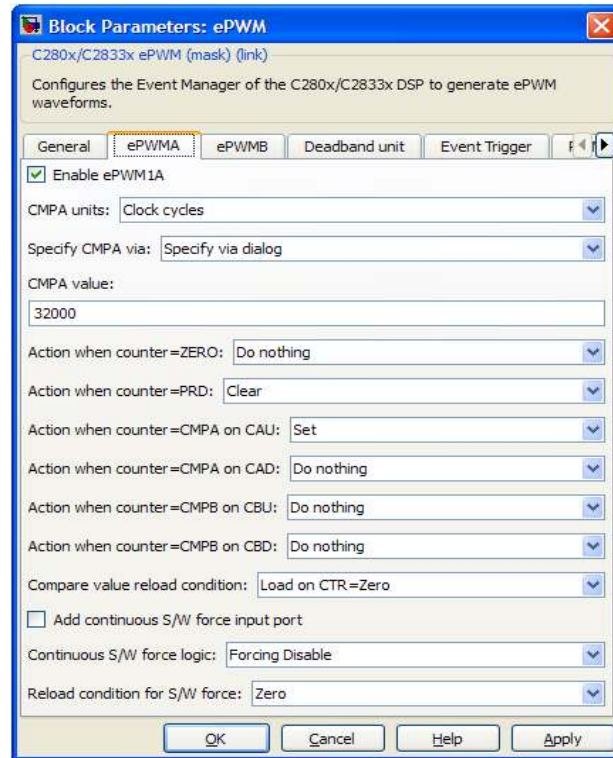
- “Module”: Hangi ePWM modülünün kullanılacağını belirler.
- “Timer Period Units”: Zamanlayıcı periyodunun veya zamanlayıcının ilk periyodunun “Clock Cycles” veya “Seconds” olarak belirlenmesini sağlar. Daha verimli bir çalışma için kaydetme sinyali çevrimi (Clock cycles) modu seçilmiştir. Saniye (seconds) kısmının seçilmesi durumu kayan noktalı azıların desteklenmesini sağlar (floating-point).
- “Specify timer period via”: Zamanlayıcı periyodu deerinin hangi kaynaktan elde edilmesi gerektiğini belirtir.
- “Timer Period”: PWM dalga şeklinin periyodunun yine kayıt çevrimi süresi veya saniye olarak belirtilmesini sağlar.
- “Timer Initial Period”: PWM sinyalinin başlama zamanından ePWM giriş portuna ulaşmasına kadar geçen zaman dilimini belirler.
- “Counting Mode”: Kullanılacak sayma şeklini belirler. Bu PWM birimi, yukarı, aşağı ve yukarı-aşağı olmak üzere üç farklı şekilde çalıştırılabilmektedir.



Şekil 2.20. Sayma modu için sayma çeşitleri

- “Add S/W sync input port”: SYNC olarak atanmış bir giriş ucu oluşturulmasını sağlar. Bu giriş ucu giriş sinyali ile zaman tabanlı bir senkronizasyon gerçekleştirilmesinde yardımcı olur (ePWM ile SYNC arasında). Bu modül sayesinde birden çok ePWM devreye alınıp çaprazlanmış olarak çalışmaları salanabilir. Birlikte çalışmaması gereken anahtarlama elemanlarına verilecek sinyaller için kullanımı idealdir.

Menü içerisinde bulunan ePWMA ve ePWMB sekmesi üzerinden ayarlanabilecek özellikler aşağıda sıralanmıştır:



Şekil 2.21. ePWMA üzerinden ayarlanabilecek özelliklerin görünümü

- Öncelikle her iki ePWM için “enable ePWMxA – ePWMxB” kutucuğunun işaretlenmesi durumunda ilgili ePWM çıkış sinyali genel olarak tanımlanmış konuma geçer. Varsayılan ayar olarak ePWMxA aktif, ePWMxB ise deaktif konumdadır.
- CMPA ve CMPB birimleri: karşılaştırma kayıt birimlerinin ayarını gerçekleştirir. Varsayılan olarak “Clock Cycles” konumu seçilidir. Bu konumda karşılaştırma zaman tabanlı olarak yapılmaktadır.
- Diğer bölümlerin varsayılan olarak seçili oldukları konuma karşılık gerçekleştirdikleri işlemler aşağıdaki tablolarda belirtilmiştir.

Tablo 2.2. Sayma modunun “yukarı” veya “aşağı – yukarı” seçili olması durumu

Sayıcı Şu Değere Eşitken=	ePWM Çıkış Bölmesi	ePWMB çıkış Bölmesi
Sıfır	Hiçbir şey Yapma	Hiçbir şey Yapma
PRD	Temizle	Ayarla
CAU üzerindeki CMPA	Ayarla	Hiçbir şey Yapma
CAD üzerindeki CMPA	Hiçbir şey Yapma	Hiçbir şey Yapma
CBU üzerindeki CMPB	Hiçbir şey Yapma	Temizle
CBD üzerindeki CMPB	Hiçbir şey Yapma	Hiçbir şey Yapma

Tablo 2.3. Sayma modunun “aşağı” seçili olması durumu

Sayıcı Şu Değere Eşitken=	ePWM Çıkış Bölmesi	ePWMB çıkış Bölmesi
Sıfır	Hiçbir şey Yapma	Hiçbir şey Yapma
PRD	Temizle	Ayarla
CAD üzerindeki CMPA	Hiçbir şey Yapma	Hiçbir şey Yapma
CBD üzerindeki CMPB	Hiçbir şey Yapma	Hiçbir şey Yapma

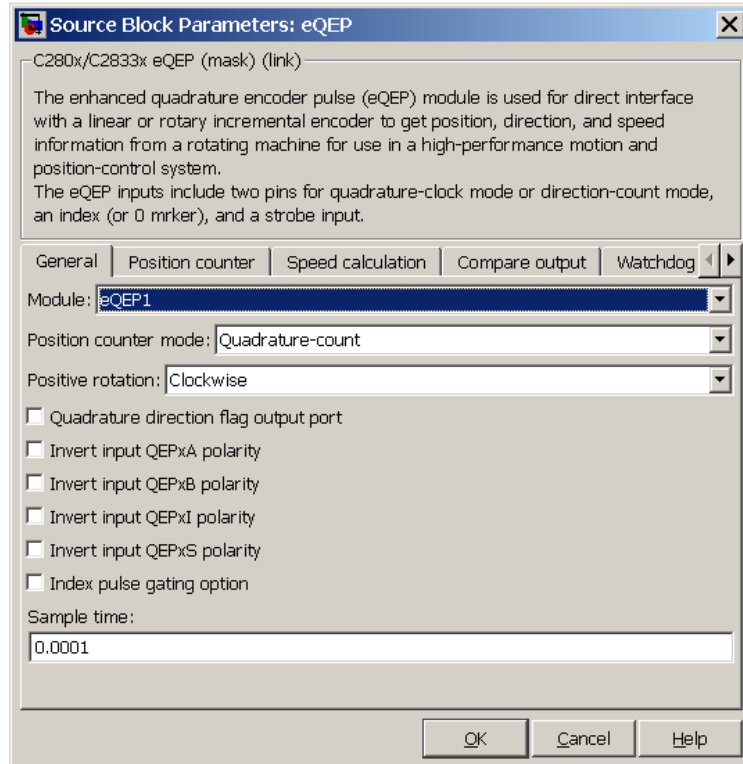
2.3.3. Dörtlü Enkoder Darbe Devresi (eQEP)

 o altılmış dörtlü enkoder darbe (eQEP) birimi, yüksek performanslı hareket sistemlerinde veya konum kontrol sistemlerinde konum, y n ve hız bilgisini doğrudan dönen motor üzerinden alan enkoderlerden veri okumak amaçlı kullanılmaktadır.



şekil 2.22. eQEP bloğu görünümü

eQEP Blok  zelliklerinin ayarlanabilece i menü gösterimi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir:

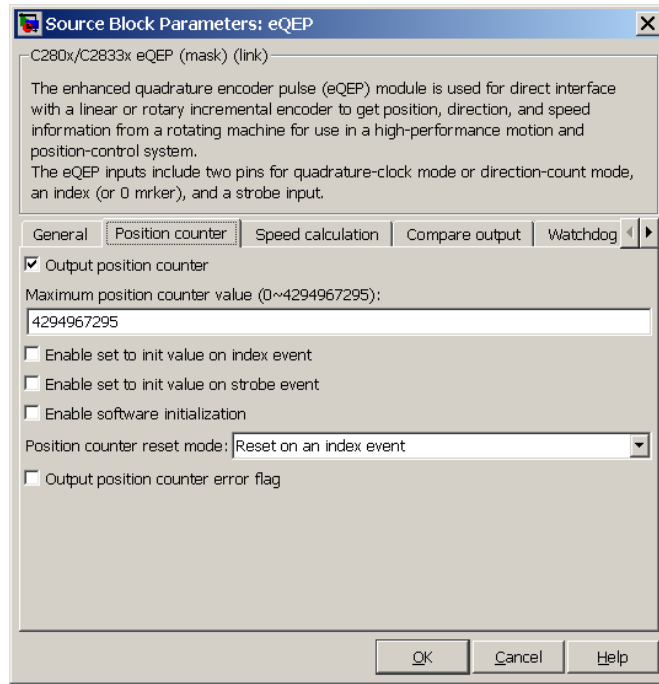


şekil 2.23. eQEP üzerinden ayarlanabilecek özelliklerin görünümü

Bu menü içerisinde bulunan kısımlar ve gerçekleştirdikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- “Module”: Hangi eQEP modülünün kullanılacağını belirlemek için kullanılır.
- “Position counter mode”: QEPA ve QEPB giriş sinyalleri kayıt sinyali (QCLK) ve yön sinyali (QDIR) üretirler ve bu sinyaller dörtlü dekoder birimi (QDU) tarafından işlenir. Buradaki konum sayma modueQEP modülünün kodlayabileceği şekilde kodlanmalıdır. Örnek olarak daha önce açıklanan “Quadrature-Count” konumu varsayılan olarak seçilebilir.

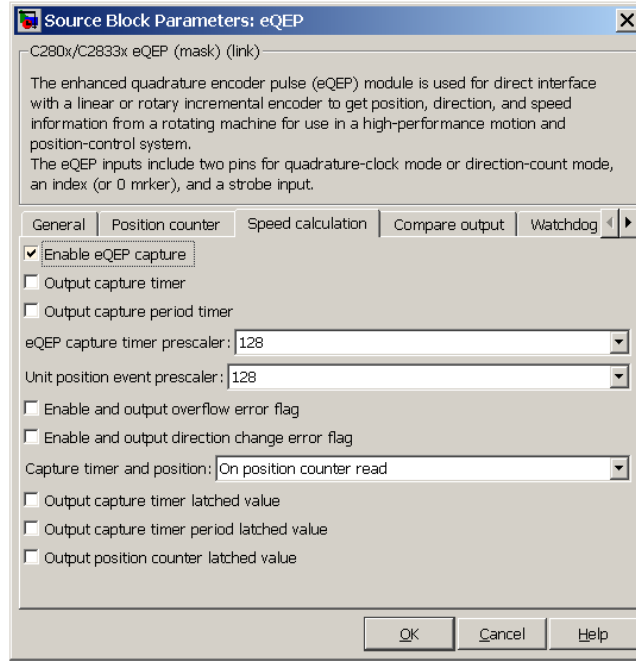
Konum sayıcısı (Position Counter) sekmesinde ayarlanması gereken birimler aşağıdaki gibi sıralanmıştır:



Şekil 2.24. Konum sayıcı sekmesi menü görünümü

Bu sekmedeki kısımlar otomatik olarak ayarlanabilir. Buradaki en yüksek konum değeri başlangıçta olabilecek en yüksek değere ayarlanmıştır.

Hız ölçümü sekmesinde yapılması gereken ayarlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

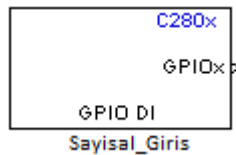


Şekil 2.25. Hız ölçümü sekmesinin menü görünümü

- “Enable QEP capture”: eQEP biriminin içerisinde sistemden ölçülen konumlar arasındaki farkı algılayabilmek amaçlı darbe kenar sayısını saklayabilen bir birim yer almaktadır.

2.3.4. Genel Amaçlı Giriş - Çıkış Birimi Bloğu (GPIO): Sayısal Giriş - Sayısal Çıkış

Sayısal giriş kullanılmak istendiğinde blok giriş ucu olarak, sayısal çıkış kullanılmak istendiğinde ise çıkış olarak ayarlanmalıdır.

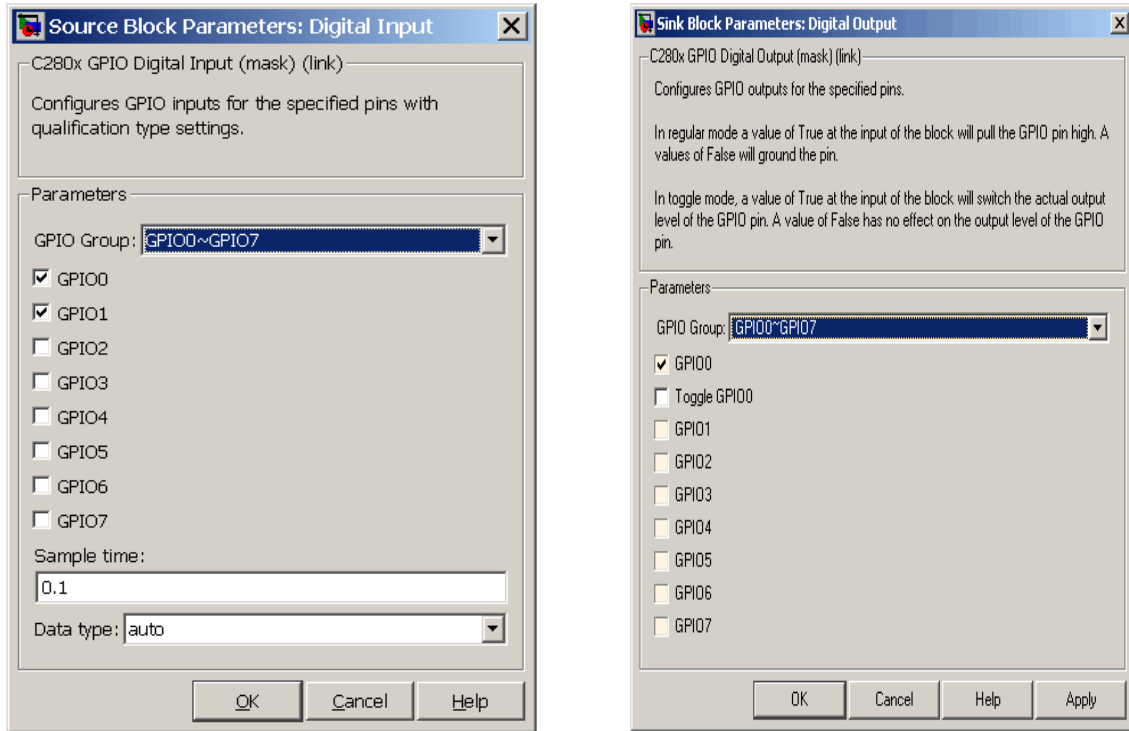


Şekil 2.26. GPIO bloğu görünümü

Bu blok genel amaçlı giriş – çıkış (GPIO) MUX kaydedicisinin kullanılan pinlerinin giriş veya çıkış olarak değerlendirilmesini sağlar. Her giriş – çıkış birimine ait bir adet

MUX kaydedicisi mevcuttur. Bu kaydediciler sayesinde çevresel birimlerce mi yoksa sayısal giriş – çıkış olarak mı işlem yapılacağı belirlenir. Bir uç sayısal giriş olarak ayarlandığında sayısal çıkış olarak veya diğer çevresel birimlerce kullanılamaz hale gelir.

TMS320F2808ve bütün C280x serisi işlemcilerde 35 adet GPIO ucu bulunmaktadır. Aşağıdaki şekilde GPIO bloğuna ilişkin genel ayarların yapılabileceği menü görünümüne yer verilmiştir.



Şekil 2.27. GPIO blok parametreleri menü görünümleri

Bu menüden ayarlanacak olan GPIO pinleri seçilir. Ayrıca alınacak çıkış örneklerinin arasındaki örnekleme aralık zamanı ayarlanabilir.

2.4. MATLAB/Simulink ile TMS320F2808'den PWM Sinyali Elde Etme

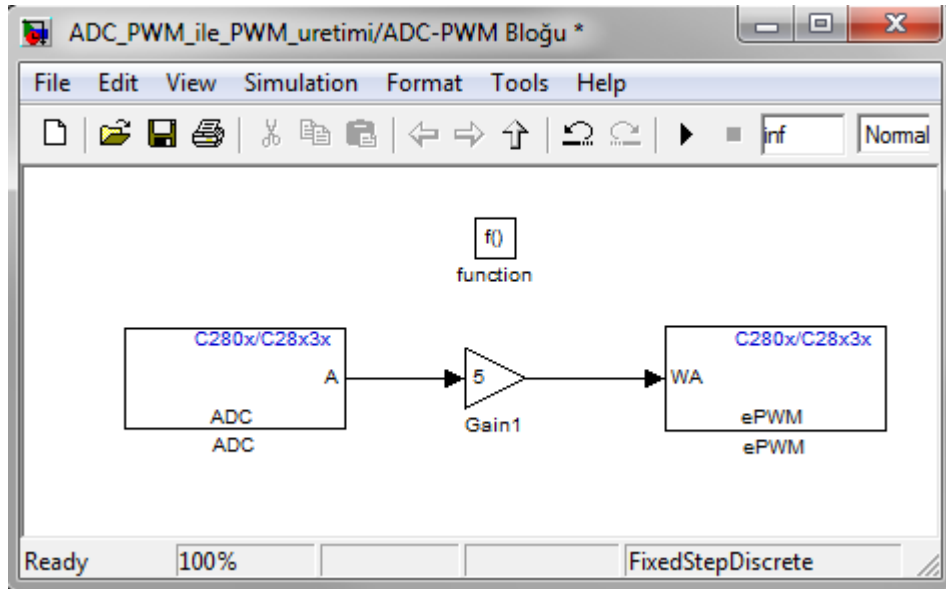
Bu kısımda; kullanılacak olan motoru sürmek amaçlı oluşturulan H-köprü DA-DA çevirici devresindeki mosfet anahtarlama elemanlarının iletim-kesim süresini ayarlayıp ortalama doğru gerilim seviyesinin değiştirilebilmesini sağlayacak olan darbe genişlik modülasyonu (PWM) sinyalinin nasıl üretildiği üzerinde durulmuştur.

Bir önceki bölümde açıklanan simulink blokları yardımıyla PWM sinyali oluşturulmuş ve kod üretimi gerçekleştirilerek üretilen kod kullanılacak olan eZdsp F2808 devre kartı üzerindeki TMS320F2808 sayısal sinyal denetleyicisi içerisine gömülmüştür.

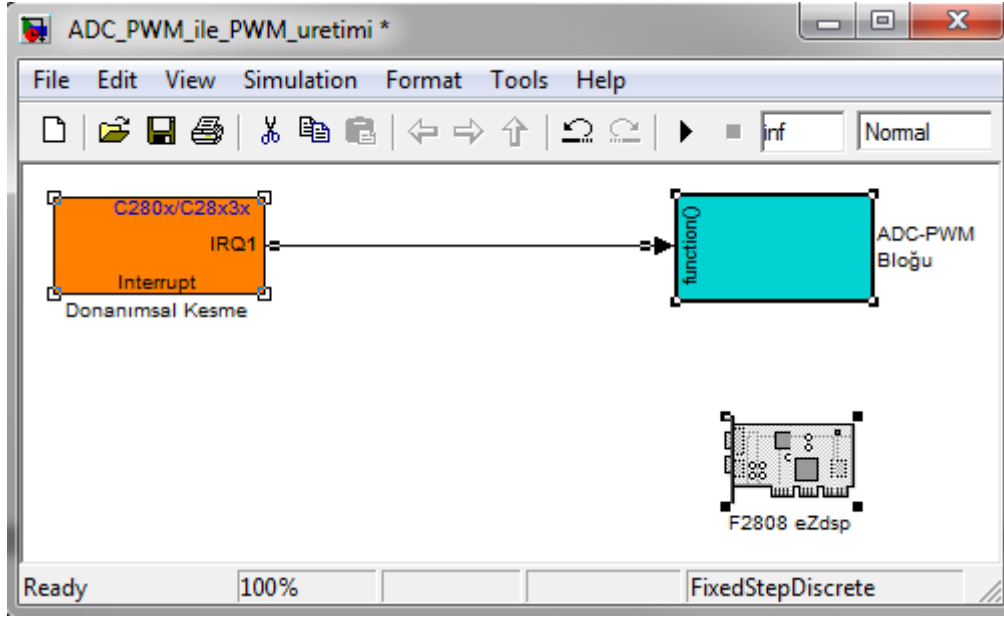
2.4.1. Simulink TI C2000 Blokları ile PWM Üreteci Modelleme

Burada açıklanacak olan PWM uygulamasında; PWM bloğu ile ADC bloğunun kullanımı gösterilecektir. Üretilcek olan DSP kodu ile ADC bloğunun giriş olarak atanacak ucuna verilen gerilimin algılanarak PWM bloğu ile oluşturulacak olan dalga şeklinin doluluk boşluk oranı ayarlanabilecektir. Dalga şeklinin periyodu sabit tutulmuş ve “Donanımsal Kesme” (Hardware Interrupt) bloğu ile analog gerilim değişimlerinin doluluk boşluk oranını anlık olarak değiştirebilmesi sağlanmıştır.

Genel olarak bu uygulamada ADC bloğunun bir analog gerilim sinyalini örnekleyebilmesi ve PWM bloğunun darbe şeklinde dalga şekli üretebilmesi gösterilmiştir. Burada kullanılan analog gerilim PWM dalga şeklinin doluluk boşluk oranını kontrol edecektir. Farklı analog gerilim girişlerine karşılık gelen doluluk boşluk oranının değişimi osiloskop yardımıyla gözlemlenmiştir.



Şekil 2.28 ADC – PWM blok bağlantısı görünümü



Şekil 2.29. PWM üretimi için kullanılacak olan Simulink modeli

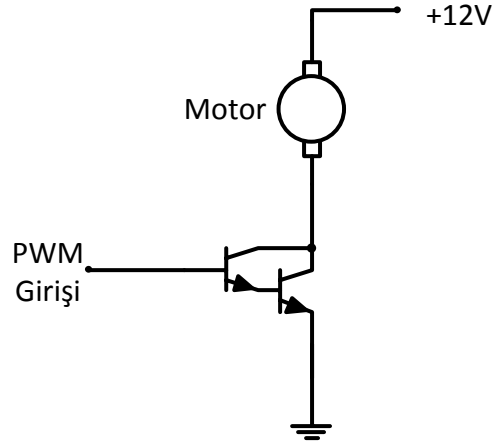
Burada kullanılan “Donanımsal Kesme” (Hardware Interrupt) bloğu; ADC kesmesi için bir kesme servisi döngüsü (ISR) yükleyerek ADC kesmesi üretildiğinde (ADCINT) bağlı bulunduğu ADC – PWM alt bloğunun çalışmasını zamanlar.

ADC - PWM alt sistemi; bir PWM bloğu ve PWM bloğunun doluluk boşluk oranını kontrol eden giriş portunu sürececek olan bir ADC bloğundan oluşmaktadır. Burada PWM, ADC’nin dönüşüme başlamasını tetikleyecek şekilde (SOC) ayarlanmıştır.

2.4.2. Uygulamanın Gerçeklenmesi

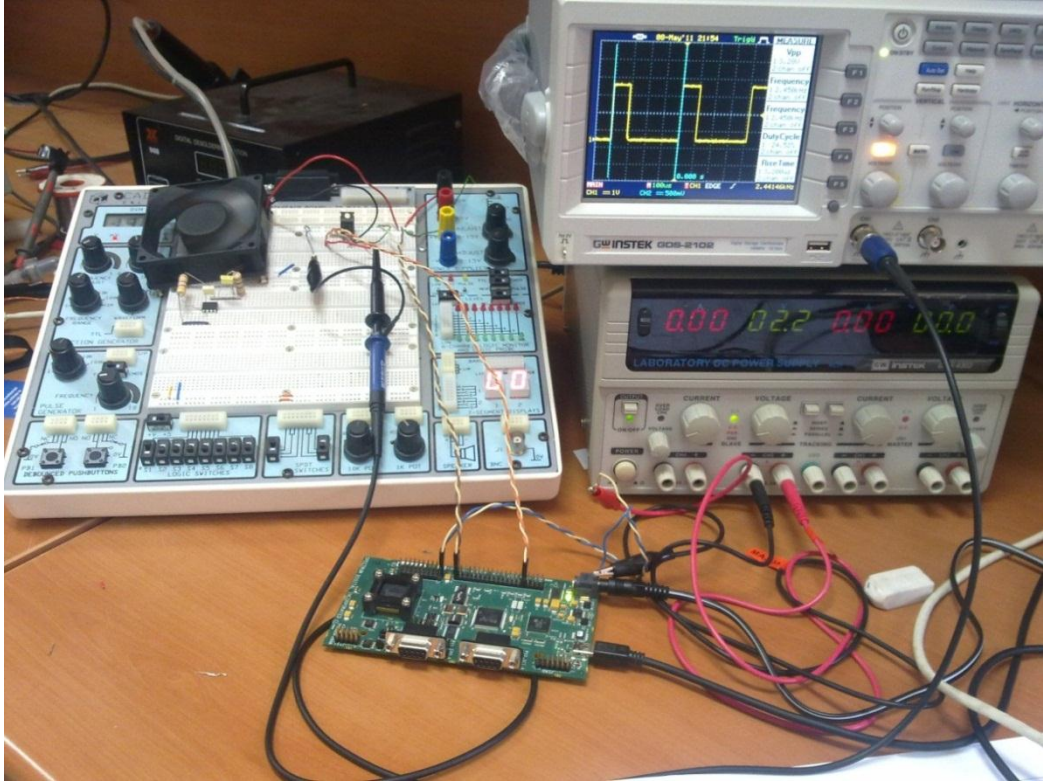
Uygulamanın gerçekleştirilmesi için eZdsp F2808 devre kartı, osiloskop, sinyal üretici, bir adet transistör ve 12V’luk küçük bir fan motoru kullanılmıştır. Sinyal üretici kart üzerindeki ADC giriş ucu olan ve modelde tanımlanan ADCINA0 portuna takılmıştır. PWM sinyalini gözlemlemek için osiloskop; PWM çıkışı olarak tanımlanan PWM portuna bağlanmıştır. Ayrıca motoru sürmek için PWM çıkışı transistörün kolektör ucuna bağlanmıştır.

Öncelikle tasarlanan modelden kod üretilmesi için “Incremental Build” sekmesi tıklanmış ve dolayısıyla kod Matlab tarafından üretilerek Code Composer Studio üzerinden eZdsp F2808 devre kartı üzerindeki denetleyiciye yüklenmiştir.

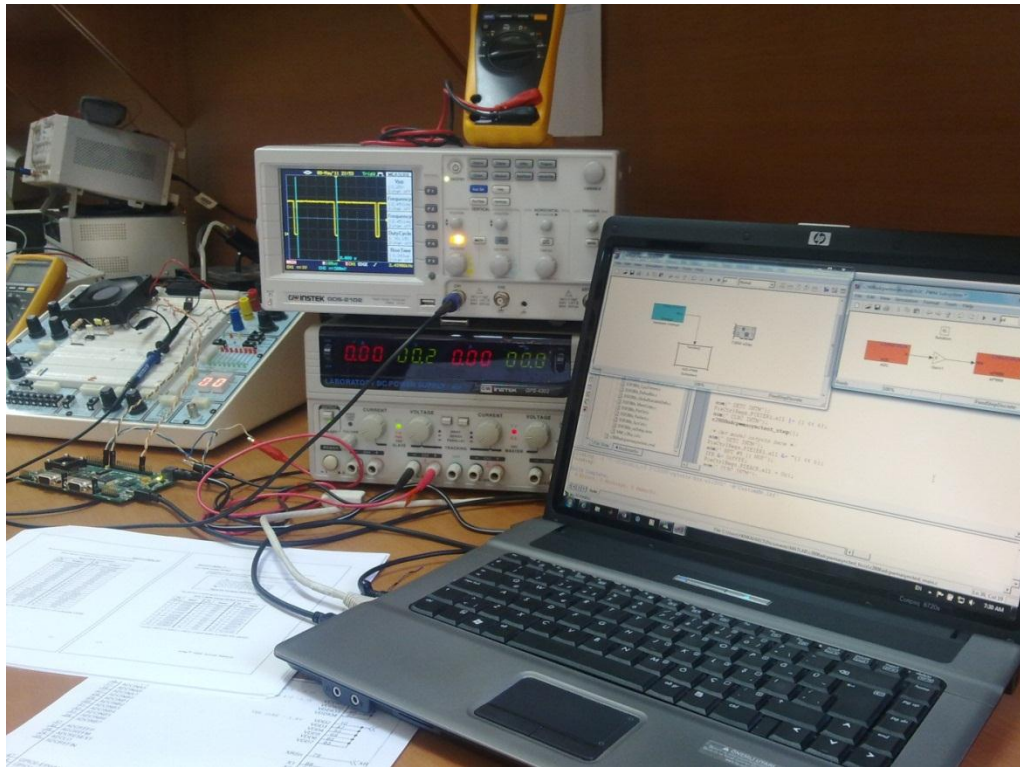


Şekil 2.30. Örnek uygulama devresi.

Şekil 2.30’da da görüldüğü gibi burada; direkt olarak kıyıcı mantığıyla transistör anahtarlama elemanı olarak kullanılıp motora yol verilmiştir. Oluşturulan PWM sinyalinin tepe değeri $V_{pp} = 3,46 V$ olarak ölçülmüş ve bu gerilim seviyesiyle transistör anahtarlama elemanı olarak kullanılıp motora yol verilmiştir. Sinyal üreticiden 0 V uygulanması durumunda doluluk boşluk oranı %100, en yüksek değer olarak da 3V uygulanması durumunda %0 olmaktadır. Sinyal üreticiden üretilen ve ADCINA0 ucuna bağlanan bu analog gerilim değeri değiştirilerek PWM sinyalinin doluluk boşluk oranı değiştirilmiş ve dolayısıyla transistörün iletim – kesim durumu değiştirilmiştir. Böylelikle motoru çalıştıran gerilimin ortalama gerilim seviyesi azaltılıp artırılarak fan motorunun dönüş hızının azaltılıp artırılması sağlanmıştır. Burada ADCINA0 girişindeki değişimlerin sürekli taranarak, anlık olarak çıkışın düzenlenmesi işlemi tasarlanan benzetimdeki donanımsal kesme bloğu ile gerçekleştirilmektedir. Aşağıdaki şekillerde uygulanan iki farklı analog gerilim sonucunda oluşan PWM dalga şekilleri ve çalışma ortamı gösterilmektedir.

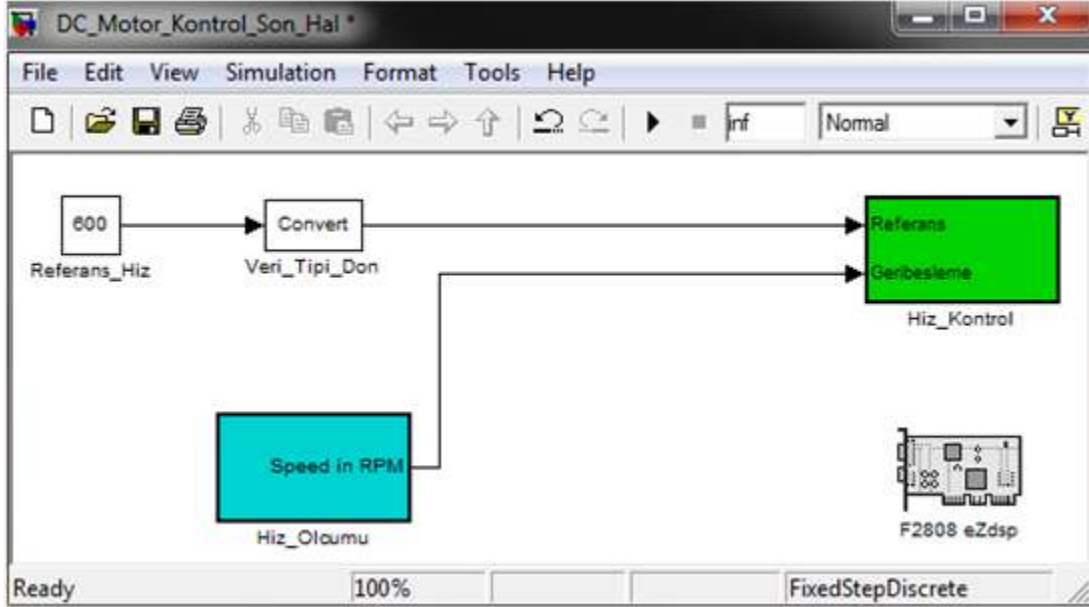


Şekil 2.31. $V_s=2.2$ V, Doluluk – Boşluk oranı = %24.52, $V_{pp}= 3.28$ V



Şekil 2.32. $V_s=0.2$ V, Doluluk – Boşluk oranı = %93.15, $V_{pp}= 3.28$ V

2.5. Araç Uygulaması İçin Tasarlanan Simulink Modeli ve Gerçeklenmesi



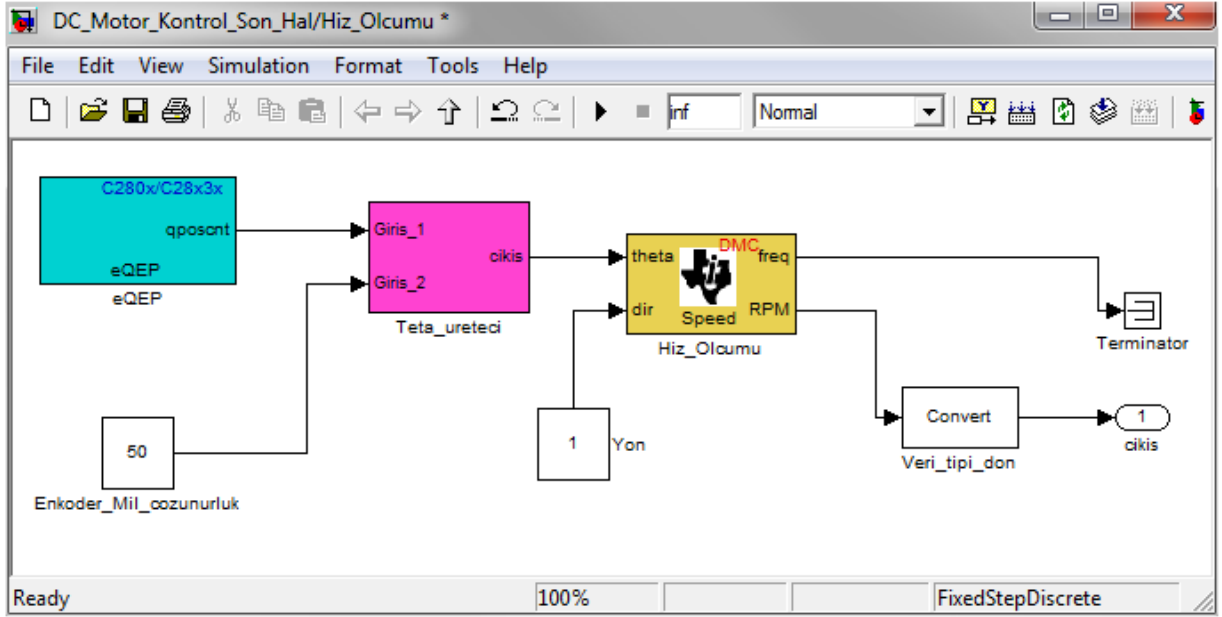
Şekil 2.33. Tasarlanan Simulink modelinin genel görüntüsü

Oluşturulan ana modelde referans olarak istenilen motor hızı girdisi gerçek değere dönüştürüldükten sonra hız kontrol bloğuna; hız ölçümü bloğuda geri besleme verisi olarak yine hız kontrol bloğuna aktarılmaktadır.

2.5.1. Oluşturulan Bloklar

2.5.1.1. Hız Ölçümü Bloğu

Oluşturulan hız ölçümü bloğunda amaçlanan motorun anlık olarak dönüş hızı bilgisini elde edip geri besleme bilgisi oluşturmaktır. Bunun için motor miline bağlanan enkoderin oluşturduğu kare dalgalar kullanılmıştır. Enkoderden veri okumak için eQEP bloğu kullanılmış ve TMS320F2808 denetleyicisinin eQEP1 girişine bağlanacağı bu blok üzerinden belirlenmiştir. eQEP1 Girişi GPIO20 ucuna ve dolayısıyla P8 konektörünün 6 numaralı pinine denk gelmektedir.

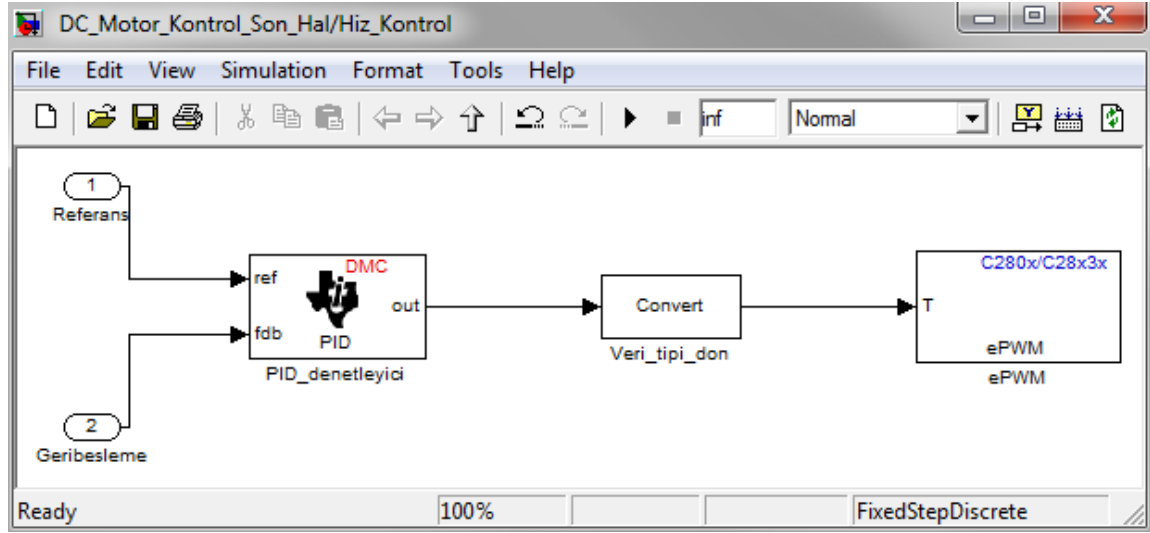


Şekil 2.34. Hız ölçümü bloğu model görünümü

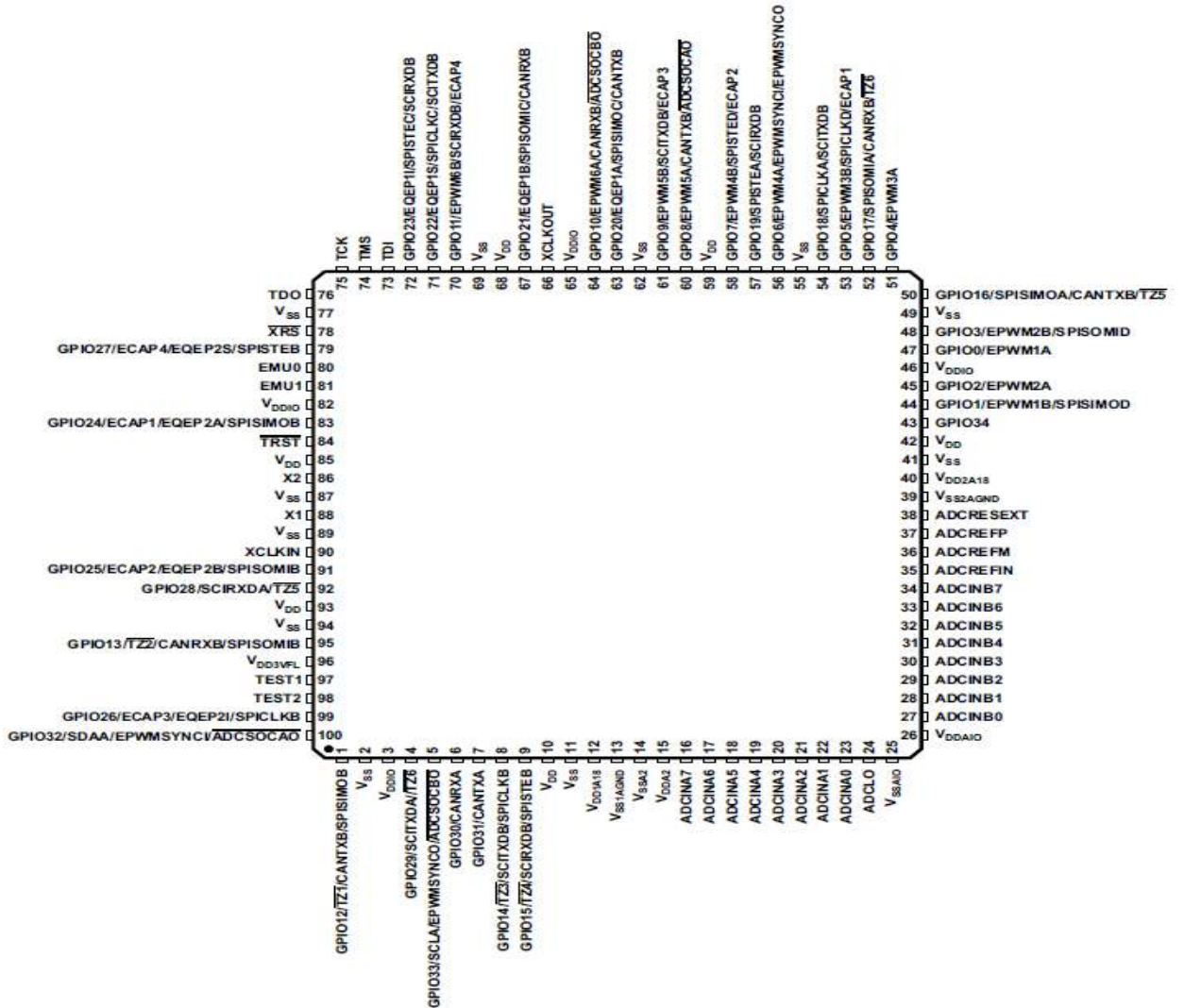
eQEP Bloğuyla analog olarak alınan kare dalga sayısı; enkoderin dakikada ürettiği kare dalga sayısından yararlanılarak teta üretici bloğu ile rotor açısı bilgisine dönüştürülmektedir. Rotor açısının ve yön bilgisinin DMC hız ölçümü bloğuna bağlanmasıyla da blok çıkışından motor dönüş hızı dakikadaki devir sayısı (RPM) bilgisi olarak elde edilebilmektedir. Bu blok çıkışında elde edilen veri gerçek motor hızını vermektedir.

2.5.1.2. Hız Kontrol Bloğu

Hız ölçümü bloğu ile elde edilen gerçek motor hızı verisiyle istenilen referans motor hızı verisi hız kontrol bloğuna aktarılmaktadır. Hız kontrol bloğu içerisinde bir adet PID kontrolör bulunmaktadır. Referans ve geribesleme değerleri PID bloğuna girilerek blok çıkışında bir kontrol işareti oluşturulmaktadır. Oluşturulan kontrol işareti ePWM bloğuna aktarılmakta ve blok içerisinde belirlenen parametreler doğrultusunda eZdsp F2808 devre kartı üzerinde istenilen çıkıştan darbe genişlik modülasyonu sinyali elde edilmektedir. Burada kullanılan çıkış ePWM1A çıkışı olup TMS320F2808 denetleyicisinin GPIO0 pinine denk gelmektedir. GPIO0 ucu eZdsp F2808 devre kartı üzerindeki P8 konektörünün 9 numaralı ucudur.



Şekil 2.35. Hız kontrol bloğu model görünümü

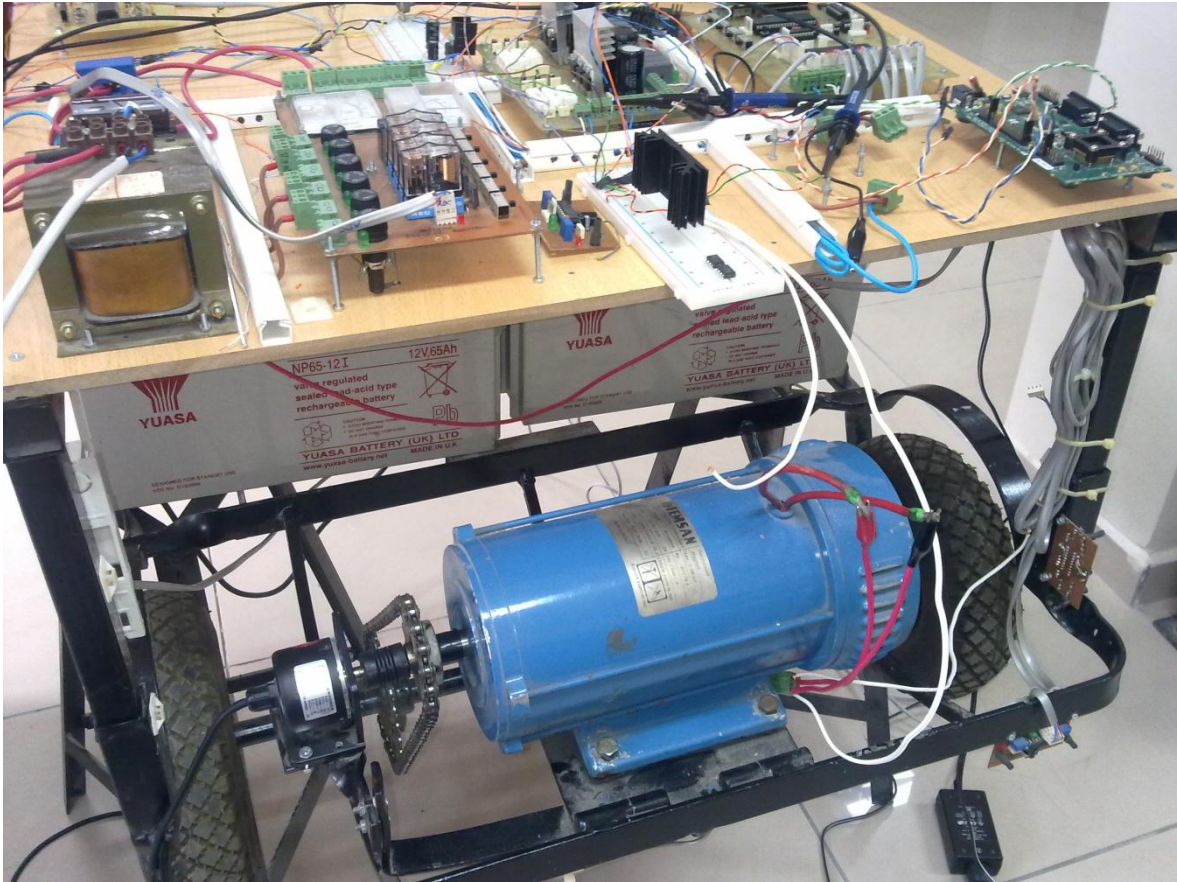


Şekil 2.36. TMS320F2808 pin çıkışları

2.5.2. Uygulamanın Araç Üzerinde Gerçeklenmesi

Oluşturulan modelin kod bilgisinin karta aktarılması işlemi “Incremental Build” sekmesi ile gerçekleştirilir. Bu sekme yardımıyla CCS programı bilgisayara bağlanmış olan eZdsp F2808 devre kartını tanımlar ve oluşturulan kodları kart içerisine aktarır.

Tasarlanan model doğrultusunda eZdsp F2808 deve kartından alınan darbe genişlik modülasyonu işareti ile oluşturulan DA motor sürücü kartına yol verilmektedir. İşaretin sahip olduğu doluluk boşluk oranınca köprü devresi sürülmekte ve böylelikle motorun istenilen hızda dönmesi sağlanmaktadır. Aşağıdaki şekilde tasarlanan sistemin genel görünüşüne yer verilmiştir.



Şekil 2.37. Tasarlanan sistemin genel görünüşü

3. TARTIşMA VE SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında gömülü sayısal işaret denetleyicilerinden TMS320F2808 kullanılarak algoritma tasarımı ve geliştirilmesi üzerinde durulmuştur. eZdsp F2808 Devre kartı Matlab/Simulink benzetim programı kullanılarak CCS programı ile haberleştirilmiş ve yapılan modelleme üzerinden kod oluşturulması sağlanmıştır. Bu sayede prototipleme süresi oldukça kısaltmakta ve uygulama geliştirme çevrim süresi de hayli azalmaktadır. Bu sayede daha düşük geliştirme maliyeti sağlanabilmektedir.

Kullanılan SMDA motorun, oluşturulan kodlar yardımıyla denetleyici tarafından bir H-köprü DA-DA evirici devresi üzerinden sürülerek hız kontrolü yapılmıştır. Bu motor 2 adet 12 V'luk seri bağlı ak ile enerjilendirilerek otonom olarak çalışabilecek bir araç üzerine yerleştirilmiş ve aracın hareket ettirilmesi sağlanmıştır. Genel olarak sistem enkoderden aldığı hız verisini işleyerek motorun hızını istenilen seviyeye çekebilecek şekilde tasarlanmış bu sayede de aracın hızının kontrol edilmesi amaçlanmıştır.

4. ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışması birçok deneysel uygulama ve kullanıcı odaklı tasarlanacak araçlar için temel teşkil edebilecek niteliktedir. Otonom aracın geliştirilmesi, motor denetiminde kullanılan algoritmanın farklı denetleyiciler kullanılarak tasarlanması ve farklı motor sürücü devreleri tasarlanması gibi farklılıklarla; uygulamanın verimliliği, çalışma şekli gibi etmenler gözlemlenip kıyaslanabilir.

Ayrıca tek bir DSP devre kartı ile bir güç uygulaması tasarlanması; daha farklı güç uygulama devrelerinde de kullanılabilirliği ortaya koymaktadır. Çevirici, DA-DA dönüştürücü gibi farklı güç elektroniği uygulamalarının benzetim çalışmaları sıklıkla yapılmaktadır. Yapılan bu benzetimler üzerinden kod oluşturma aşaması kısaltılarak uygulama aşamasına geçilmesi daha kısa sürede yapılabilecektir.

5. KAYNAKLAR

1. www.bdti.com Berkeley Design Technology Inc, Choosing a Processor. 10 Şubat 2011
2. Pillai, R., Design and Development of Embedded DSP Controllers for Power Electronics Applications, Yüksek Lisans Tezi, The University of Texas at Arlington, Arlington, 2006.
3. http://focus.ti.com/en/graphics/dsp/general/dspdetails/c28x_bd.jpg C28x Architecture. 25 Ocak 2011.
4. www.analog.com ADSP-2190: Implementation of PI controllers, Analog Devices. 10 Şubat 2011.
5. <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/tms320f2808.html> TMS320F280x DSPs Data Manuel. 15 Mart 2011.
6. Kesler, M., Uçar, M. ve Özdemir, E., Paralel Aktif Güç Filtresi İçin DSP Tabanlı Denetim Algoritmasının Otomatik Gömülü Kod Üretimi ile Hızlı Prototiplendirilmesi, ELECO, Aralık 2006, Bursa, Bildiriler Kitabı.
7. Kesler, S. ve Akpınar, S., Sayısal İşaret İşleyiciler ve Bir Hız Denetim Sistemi İçin Programlama İlkeleri: Model TMS320F2812 DSP, Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi 1, 71-83, 2009.
8. http://www.isep.pw.edu.pl/ZakladNapedu/lab-skp/tic2000_ug.pdf Embedded Target for the TI TMS320C2000 DSP Platform for Use with Real-Time Workshop User's Guide, Version 1. 15 Mayıs 2011.
9. <http://www.mathworks.com/help/toolbox/ecoder/ug/bsyjwtzf.html> The Mathworks Inc. Working with Texas Instruments C2000 Processors. 20 Eylül 2010.
10. Kassakian, J., Schlecht, F. and Vergassian, G., Principles of Power Electronics, Addison-Wesley, Boston, 1991.
11. Mohan, N., Undeland, T. and Robbins, W., Power Electronics, Converters, Applications and Design, Kanada, 2003.
12. http://c2000.spectrumdigital.com/ezf2808/docs/2808_ezdspusb_techref_c.pdf eZdsp F2808 USB Technical Reference. 11 Mayıs 2011.
13. Yaşar, İ., Otonom Araç İçin DA Motor Sürücü Sistemi ve Denetleyicinin Gerçeklenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2009.
14. Kesler, S., Elektrik Makinaları Denetim Sistemlerinde TMS320F2812 DSP Kullanımı, Akademik Bilişim 2008, Şubat 2008, Çanakkale, Bildiriler Kitabı.

15. Figoli, D., Next Generation PWM Module on F2808, F2806 and F2801 Digital Signal Controllers, Şubat 2005, Houston.
16. Dobra. P., Duma, R., Moga, D. and Trusca, M., Digital Control Applications Using TI Digital Signal Controller, WSEAS Transactions on Systems and Control, Haziran 2008.
17. <http://focus.ti.com/general/docs/litabsmultiplefilelist.tsp?literatureNumber=spraam0a> Getting Started With TMS320C28x Digital Signal Controllers. 10 Mayıs 2011.
18. <http://www.intersil.com/data/an/an9404.pdf> HIP4080A, 80V High Frequency H-Bridge Driver Application Note. 5 Ocak 2011.
19. Eyre, J. and Bier, J., The Evolution of DSP Processors. <http://www.bdti.com> 15 Şubat 2011
20. www.ece.rochester.edu/research/wcng/papers/CAN_r1.pdf DSP Architectures, Past Present and Future. 10 Aralık 2010.

ÖZGEÇMİŞ

01.02.1986 Tarihinde Trabzon’da doğdu. İlk, ortaokul ve lise öğrenimini Rize’de tamamladı. 2004 yılında başladığı Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümünden 2008 yılında bölüm ikincisi ve fakülte dördüncüsü olarak Elektrik – Elektronik Mühendisi unvanı ile mezun oldu. Aynı yıl özel bir firmada Elektrik Elektronik Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2008 Yılı eylül ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2008 Şubat ayından itibaren, aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Yabancı dil olarak, iyi derecede İngilizce bilmektedir.