

Denetim Sinyalleri Üreten İşlemciler The Processors Generating Control Signals

Yrd. Doç. Dr. Ahmet TEKE¹, Adil ÖZBARUT²

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
ahmetteke@cu.edu.tr, adilozbarut@gmail.com

Özet

Güç elektroniği elektrik enerjisinin denetimli, yarı denetimli ve/veya denetimsiz bir şekilde tetikleme (anahtarlama) elemanları kullanılarak var olan girişinden istenen elektrikselsel çıkış biçimine verimli bir şekilde dönüştürülmesi ve denetim edilmesiyle ilgili bir konudur. Güç elektroniği elemanları kullanılarak kurulabilecek AC-AC, AC-DC, DC-DC ve DC-AC gibi devreler denetim özgeçirilerine göre denetimli veya yarı denetimli olabilir. Bu devreler için gerekli olan denetim sinyalleri Mikro denetleyici, DSP, PLD, FPGA ve ASIC kullanılarak üretilir. Bu çalışmada güç elektroniği uygulamalarında kullanılan ve denetim sinyalleri üreten Mikro denetleyici, DSP, PLD, FPGA ve ASIC ekonomiklik, hız, enerji tüketimi, güvenilirlik, çok yönlülük, yazılım editörünün kolaylığı ve kullanım kolaylığı bakımından ayrıntılı olarak karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Güç elektroniği, Anahtarlama sinyali, Mikro denetleyici, DSP, PLD, ASIC ve FPGA.

Abstract

Power electronics is a subject that deals with the efficient and controlled conversion of electrical energy using switching components such as controlled, half-controlled or non-controlled. AC-AC, AC-DC, DC-DC and DC-AC circuits consisting of power electronics devices can be fully controlled or half-controlled. The control signals of these devices can be generated by microcontroller, DSP, PLD, FPGA and ASIC. In this paper, microcontroller, DSP, PLD, FPGA and ASIC which are used to generate control signals in power electronics applications are compared in detail in terms of economical, speed, power consumption, reliability, flexibility, software editor using and ease of use aspects in detail.

Keywords: Power electronics, Switching signal, Micro Controller, DSP, PLD, ASIC and FPGA.

Giriş

1. TEMEL DENETLEYİCİLER VE İŞLEMCİLER

Elektrikli aygıtlarda bulunan AC-AC, AC-DC, DC-DC ve DC-AC gibi devrelerin istenildiği gibi çalışması için denetim ve anahtarlama sinyallerinin üretilmesi gerekmektedir. Bu devreler için gerekli olan denetim sinyalleri Mikro denetleyici, DSP, PLD, FPGA ve ASIC kullanılarak üretilir.

1.1 Mikro denetleyiciler

Mikro denetleyiciler (mikro denetleyiciler) tek bir silikon yonga üstünde birleştirilmiş bir mikroişlemci, veri ve program belleği, sayısal (lojik) giriş ve çıkışlar (I/O), analog girişler ve daha fazla güç veren ve işlev katan öteki çevre birimleri (zamanlayıcılar, sayaçlar, kesiciler, analogtan sayısala çeviriciler, vb.) barındıran mikro bilgisayarlardır [1]. Mikro denetleyiciler, günümüzde otomasyon sistemleri, iletişim sistemleri, beyaz eşya, hava taşıtları, kara taşıtları, bilgisayarlar, cep telefonları, taşınabilir bellekler, mp3 oynatıcılar ve veri yazıcı gibi daha birçok sistemde kullanılmaktadır. İşlevlerine göre farklı markalarda birçok mikro denetleyici tipi bulunmaktadır.

Günümüzde sayısal işlemlerin yanı sıra analog sayısal dönüştürme, Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM, PWM) sinyali üretme gibi işlemleri yapabilmektedirler. Aynı zamanda UART, SPI ve I²C seri iletişim işlevi ve USB iletişim ara yüzlerini de içermektedirler. Çok işlevli bu aygıtların en önemli özelliği defalarca programlanabilir olmasıdır. Böylelikle program gömülü bir devre kartı üzerinde yazılım güncellemeleri yapılabilmektedir.

Texas Instruments, Microchip ve Atmel gibi mikrodenetleyici üreticilerin ürünleri hakkında karşılaştırmalı bilgi aşağıda sunulmuştur.

a. Texas Instruments: Texas Instruments'in mikro denetleyicileri oldukça kullanışlı başarımlı yüksek ve programlayıcıları da ucuzdur. En yaygın olarak kullanılan ve en çok bilinen MSP430 serisi mikro denetleyicileridir. MSP430'un en üstün özelliği düşük güç tüketimidir. Texas Instrument mikro denetleyicilerinin tipik bir özelliği olan farklı serilerde pin diziliminin aynı olması MSP430 serisi mikro denetleyicilerde de gözlemlenmektedir. Ayrıca Texas Instruments'in kullandığı çevirme (assembly) sözdizimi incelendiğinde oldukça sade olduğu da görülmektedir. Şekil 1'de MSP430 serisi bir mikro denetleyici görülmektedir [2].



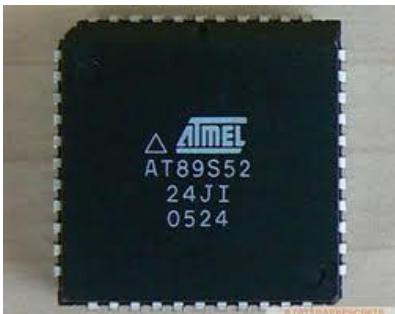
Şekil-1 MSP430 serisi bir mikro denetleyici

b. Microchip: Microchip, merkezi ABD'nin Arizona kentinde bulunan dünyanın önde gelen mikro denetleyici firmalarından biridir. Microchip ürünü olan mikro denetleyicilere PIC (Programmable Intelligent Computer veya Peripheral Interface Controller) adı verilmektedir. Türkiye'de meslek liselerinde, yüksek okullarda ve üniversitelerde ilgili derslerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Programlayıcı yazılımının ücretsiz olması, 16 Serisi mikro denetleyicilerinin kullanımının kolay olması, mikro denetleyicilerin kullanımı ile ilgili yerel kaynakların bulunabilmesi Türkiye'de çoğunlukla tercih edilmesini sağlayan en önemli nedenlerdendir. Ancak daha üst seri Microchip ürünü mikro denetleyiciler ile çalışıldığında kullanımının zor olduğu görülmektedir. Örneğin PIC24HJXXXXX serisi mikro denetleyicilerde 35 ayrı referans kılavuzunun olması bu seri ile çalışacak kullanıcılar için zorlayıcı bir etkidir. Şekil 2'de Microchip'e ait olan bir mikro denetleyici görülmektedir.



Şekil-2 Microchip PIC24HJ serisi bir mikro denetleyici

c. Atmel: Atmel mikro denetleyicileri, 1984 yılında ABD Kaliforniya'da kurulmuş olan Atmel Corporation tarafından üretilmektedir. Türkiye'de ve Avrupa'da Microchip'e aşina olan kullanıcılar Atmel'i pek yeğlemediğinden birçok profesyonel uygulamada karşılaştığımız Atmel mikro denetleyicileri Microchip mikro denetleyicilerinin gölgesinde kalmıştır. Atmel mikro denetleyicilerden en çok bilineni ATMEGA serisidir. Bu seri Atmega8, Atmega16, Atmega32, Atmega64, Atmega128 şeklinde devam eder. Atmega'nın yanındaki parametre mikro denetleyicinin program belleğini gösterir. Örneğin Atmega32, 32 kByte'lık program belleği olduğunu göstermektedir. Şekil 3'de ATMEL ürünün bir mikro denetleyici görülmektedir [3]. Protokol esaslı, USB, MMC/SD gibi ek donanım uygulamaları için ve daha az karmaşıklık içeren CISC mimariye sahip Atmel RISC mimariye sahip diğer işlemcilerle göre daha avantajlıdır.



Şekil-3 Atmel AT89S52 serisi bir mikro denetleyici

1.2 FPGA (Field Programmable Gate Array)

FPGA'lar (Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri), programlanabilir mantık öbekleri ve bu öbekler arasındaki bağlantılardan oluşan ve geniş uygulama alanları olan sayısal tümleşik devrelerdir [4]. FPGA'lar mikro işlemciler ve mikro denetleyicilerin temel elemanları olan lojik kapıların programlanmasını, dizilimini sağlaması ile işlevselliği üst düzeyde olan bir aygıttır. FPGA'lar bu yapısı ile mikro denetleyicilerin sınırlarından kaynaklanan yetersizliklerin önüne geçmektedir. FPGA ile isteklere uygun mikro denetleyicilerin ve/veya mikro işlemcilerin ortaya çıkarılmasına olanak sağlamaktadır. FPGA'lar işlevselliğinin yanı sıra mikro denetleyiciler ve diğer ASIC yapılar ile karşılaştırıldıklarında hızları ile ön plana çıkmaktadır. Böylelikle genellikle askeri, sanayi, kriptografi ve iletişim gibi alanlarda yeğlenmektedir. Şekil 4'te Xiling firmasının üretimi olan bir FPGA görülmektedir [5].



Şekil-4. Xiling firmasının ürünü olan bir FPGA

1.3 DSP (Digital Signal Processor)

DSP (Sayısal İşaret İşleyici), içerisinde sayısal sinyal işleme işlevlerini barındıran bir mikro denetleyici olarak düşünülebilir. Ancak işlem hızı mikro denetleyicilere göre çok daha hızlı ve güvenlik açısından da daha üstündürler. Şekil-5'te Texas Instruments firmasının ürünü olan bir DSP görülmektedir.



Şekil-5 Texas Instruments firmasının ürünü olan bir DSP

DSP'ler çok uzun algoritmalar içeren matematiksel işlemleri hızlı bir şekilde tamamlarlar. Aynı zamanda bir analog işareti sayısal sinyale çevirerek sayısal sinyal işlemlerini gerçekleştirdikten sonra tekrar analog işarete dönüştürebilir. İşlenen sayısal sinyal içerisinde gelen analog sinyaldeki hata algılama ve hata düzeltme işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Ancak DSP'lerin batarya tüketiminin fazla olması bu işlemlerin taşınabilir aygıtlarda kullanışlı olmamasına sebep olmaktadır [6].

DSP'ler sinyal üretme yeteneklerinden dolayı DGM'nin kullanıldığı uygulamalarda daha üstün hale gelmektedirler. DSP kullanılarak taşıyıcı sıklığı ve DGM yapısını değiştirmek yeniden programlama yaparak mümkün olmaktadır. Aynı zamanda üç fazlı gerilim - akım inverterleri için ölü bantların programlanması ile üçlü çift tamamlayıcı DGM üretimini mümkün kılmaktadır. Bütün bu özelliklerin tek çip içerisinde sağlanabilmesinden dolayı üretim giderleri ve sistem karmaşası azaltılmış olacaktır [7].

1.4 ASIC (Application Specific Integrated Circuit)

ASIC (Uygulamaya Özgü Bütünleşik Devre), kendine özgü işlevler üzerinde fiziksel bağlantılı komut takımları ile hareket eden bir işlemci sistemidir. Bir ASIC, hem işlevsel hem de fiziksel açıdan özel amaçlı, yani belli bir uygulamaya hizmet eden bir yongadır. Şekil 6'da bir çeşit görüntü şifreleyici çip olan ASIC yapısı görülmektedir.



Şekil-6 HANA ASIC

ASIC'ler, elektronik bir devre üzerinde birçok işlemcinin yaptığı işlemi bir yonga içerisinde gerçekleştirmektedir. Modemlerde, iletişim yongası olarak kullanılan ASIC'ler aynı işlevli diğer işlemcilere göre daha hızlıdır ve maliyeti daha düşüktür. ASIC'ler anahtarlama elemanlarında, iletişim elemanlarında, modemlerde, ses sistemlerinde kullanılmaktadır. Yüksek hızları nedeni ile ağ sistemlerinde özellikle tercih edilmektedir. Reduced Instruction Set Computer (RISC) tabanlıdır bu özelliği ile yazılım kolaylığı ve aygıtın daha hızlı çalışmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda DMA işlevi ile birbiri ile ilgili olmayan komutlar beraber çalışarak işlemcinin üzerindeki yükü azaltılmış olur.

1.5 PLD (Programmable Logic Devices)

PLD'ler (Programlanabilir Mantıksal Aygıtlar), çok sayıda mantık bloğunun bir yonga içerisinde ve bu yonganın mantık öbeklerine ek olarak (flash eprom, zamanlayıcı) çeşitli aygıtlar içeren tek bir yapı şeklinde oluşturulmuş denetleyici tipidir. Şekil 7'de ALTERA ürünü olan bir tür PLD görülmektedir.



Şekil-7 ALTERA ürünü bir PLD

Mantıksal öbekler programlanabildiği gibi öbekleri bağlayan veri yolları da ayrı ayrı programlanabilmektedir. Mantıksal öbekler kullanılarak tasarlanan sayısal devreler yerine kullanılacak PLD'ler ile mantıksal öbeklerin ve veri yollarının programlanabilmesinden dolayı tasarım karmaşıklığını ve bu karmaşıklıktan kaynaklanabilecek hataları ortadan kaldıracaktır. Ayrıca PLD'lerin kullanılmasıyla elektronik devre kartı alanının küçülmesini sağlayacaktır. Aynı zamanda tek yonga içerisinde üretilen PLD'ler ile sistem maliyeti de düşürülmüş olacaktır.

PROM, PAL ve PLA olmak üzere 3 farklı PLD türü vardır. PROM, (Programmable Read Only Memory) sabit AND kapı dizileri (dekoder gibi oluşturulmuş) ve çıkışındaki OR kapı dizileri için programlanabilir bağlantılardan oluşmaktadır. PAL, (Programmable Array Logic) programlanabilir AND kapı dizileri ve OR dizileri için sabit bağlantılardan oluşmaktadır. PLA, (Programmable Logic Array) hem programlanabilir AND kapı dizileri ve bağlantı yolları hem de programlanabilir OR kapı dizileri ve bağlantı yollarından oluşmaktadır. Böylelikle en esnek PLD türünün PLA olduğu görülmektedir [8].

Bunlara ek olarak CPLD adı verilen PAL ile FPGA'ların bütün mimari özelliklerini içeren ve ikisinin karışımı sayılabilecek bir PLD tipi de vardır. Genelde FPGA'lar bu gruba daha yakın olduklarından karşılaştırma yapılacak denetleyicilere ekleme gereksinimi duyulmamıştır [9].

2. SİNYAL ÜRETEEN TEMEL DENETLEYİCİLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Mikro denetleyici, FPGA, DSP, ASIC ve PLD; programlanabilen ve bir veya aynı anda birden fazla görevi üstlenebilen tek bir yonga içerisine yerleştirilmiş devre elemanlarıdır. FPGA ve DSP mikro denetleyicilerin tüm temel işlevlerini yerine getirebilmektedirler. Ancak, FPGA kendi işlevleri gereği mikro denetleyicilere göre oldukça karmaşıktır. Eder ve başarımların karşılaştırması yapıldığında da yine farklılıklar gözlenmektedir. Bu denetleyicilerin mimarileri (işlenebilen bit sayısı) baz alınarak eder, hız, enerji tüketimi gibi ölçütler arasında karşılaştırma yapılacaktır.

2.1 Eder Karşılaştırması

Çizelge-1'de görülmekte olan eder karşılaştırmasında mikro denetleyiciler daha uygun görünmektedir. Mikro denetleyiciler arasında da oldukça pahalı modeller bulunmaktadır ancak güç elektroniğinde kullanılamayacak işlevleri olan bir mikro denetleyici kullanmak istenilmediğinden bu karşılaştırma çizelgesinde çok işlevli denetleyicilere yer verilmemiştir.

Çizelge-1: Denetleyici Eder Karşılaştırması

Denetleyiciler	Mikro denetleyici	ASIC	DSP	PLD	FPGA
Örnek model	PIC32MX795F-512L	HSP3824	TMS320DM6467-TZUT1	EP1K50FC484-2N	XC6VLX130T-1FFG1156C
Ederi	6,83\$	21,6\$	106,95\$	58,8\$	1.105,64\$
Denetleyici serisi	Microchip PIC 8,16,32	Haris Semicon. HSP	Texas Instruments Sabit, kayan noktalı	Altera EP1K	Xilinx Spartan, Virtex
Eder aralığı	0,3\$ – 6,83\$	0,52\$-21,6\$	6,276\$ – 660,1\$	10,5\$-123,6\$	8,4\$ –12.132,4\$

Çizelge-1’de görülmekte olan ortalama ederler bir üst kutularında bulunan denetleyici serilerinin en yüksek ederi olanı seçilerek ortalama bir eder oluşturulmuştur. Örneğin Virtex-4, Spartan -3, Spartan-3A, Spartan-3AN, Spartan-3E ve Spartan-6 FPGA denetleyici serilerinin en pahalı elemanlarının ederleri seçilmiştir. Bu ederlerin ortalaması alınıp, ortalama eder oluşturulmuştur. Bu işlemler Microchip mikro denetleyici serisi ve Texas Instruments DSP denetleyici serisi ve ALTERA PLD’ler için de yapılmıştır. Piyasada farklı ederlerde EEPROM, PAL ve PLA PLD modelleri olduğu görülmektedir. Bunlar arasında ortalama edere sahip EP1K serisi bir PLD denetleyici seçilmiştir. Ayrıca iletişim teknolojisinde kullanılan bir HSP3824 Modem ASIC yapı görülmektedir [10].

XC6VLX130T-1FFG1156C model FPGA görüldüğü gibi çizelgedeki en yüksek ederli denetleyicidir. Ancak bu ürün Xilinx’in üstün özellikli FPGA-Virtex-6 ailesinden olduğundan ederi en yüksek FPGA’lardan biridir. Ancak piyasaya yeni sürülen Virtex-7 ailesi de Xiling’in en yüksek performansa sahip ürünleridir. FPGA’ların ederleri DSP’lerin ve PLD’lerin ederleri ile karşılaştırıldığında bariz bir fark olduğu görülmektedir. FPGA’nın diğer denetleyici türlerine göre daha yeni bir ürün olması ve özel mimarisinden dolayı yüksek ederler ile satışa sunulmaktadır. ASIC denetleyicilerin diğerlerine göre daha basit yapısından ve genelde sanayi ürünlerde kullanılmak üzere yüksek miktardaki taleplere göre

satışa sunulduklarından dolayı (örneğin en az 1500 adet) genelde ederleri diğer denetleyicilere göre daha düşük tutulmaktadır. Mikro denetleyiciler ise görüldüğü üzere en ucuz denetleyicilerdendir. Günümüzde 0,3\$’a kadar düşebilen ederlerde mikro denetleyici ürünleri bulunmaktadır.

2.2 Hız Karşılaştırması

Sıklıkla kullanılan Mikro denetleyici, FPGA, DSP, ASIC ve PLD’ler arasında işlem sıklıkları kullanılarak hız karşılaştırması yapılacaktır. Saniyede işlenebilen komut sayısını belirleyen unsur olan IPS (instruction per second), denetleyicinin dâhili veya harici osilatör ile desteklenen en büyük sıklık değeridir. Örneğin PIC mikro denetleyicilerinde harici osilatör değeri doğrudan 4 değerine bölünür ve işlem sıklığına ulaşılır. Böylece saniye de işlenebilecek en fazla komut miktarına ulaşılır [10].

Çizelge-2’de görülmekte olan işlem sıklık aralıklarına göre FPGA ürünleri arasında çizelgede verilen FPGA modeli gibi 1.6 GHz komut işlem sıklığına ulaşabilen denetleyiciler vardır. Ancak DSP’ler hız başarımı olarak FPGA’lara göre çok geride değildirlir. Mikro denetleyiciler ve PLD’ler ise DSP ve FPGA’lara göre daha düşük işlem sıklığında çalışırlar. Mikro denetleyicilerin 400MHz işlem sıklığına çıkabilen modelleri bulunsa da ortalama 4–16 MHz’lik mikro denetleyiciler daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çizelge-2: Denetleyici işlem sıklığı karşılaştırması

Denetleyici	Mikrodenetleyici	ASIC	DSP	PLD	FPGA
İşlem sıklık aralığı	1MHz-400MHz	100kHz-44MHz	20MHz - 1.2GHz	95MHz -285MHz	33MHz - 1.6GHz
Örnek model	PIC32MX795F-512L	HSP3824	TMS320DM64-TZUT1	EP1K50FC4-2N	XC6VLX130T-1FFG1156C
İşlem sıklığı	80MHz	44MHz	594MHz	285MHz	1600MHz

Eder karşılaştırma çizelgesinde verilen örnek model denetleyicilerin hız çizelgesinde en fazla işlem sıklığı değerleri gösterilmiştir. Xilinx Virtex-6 LXT FPGA’lar 1.6 GHz’lik işlem sıklığına ulaşabilmektedirler. Sonuç olarak, en fazla işlem sıklık değerlerine göre en hızlı denetleyiciler FPGA’lardır. Ardından 1.2GHz ile DSP’ler, 400MHz ile mikro denetleyiciler ve 285MHz ile PLD’ler gelmektedir. ASIC olarak seçilmiş olan denetleyici bir yükseltici (boost) konvertör olduğundan anahtarlamada sıklık kHz’ler seviyesindedir.

Mikro denetleyiciler genellikle eğitim amaçlı yaklaşık 4MHz değerinde, denetim uygulamalarında da 8-10 MHz civarında

kullanılmaktadır. Bu durum iletişim kesimi gibi hız gerektiren uygulamalarda farklılık göstermektedir. Ancak sıklık ve görüntü işleme sistemlerinde kullanılan DSP’lerde daha yüksek hızlar gerekmektedir. FPGA’ların da askeri amaçla ve iletişim kesiminde ağırlıklı olarak kullanıldığı düşünüldüğünde yüksek hızlı olması gerektiği ortaya çıkmaktadır. PLD’lerin hız çizelgelerinde gösterilen 285MHz’lik sıklık değeri sayıcı uygulamalarında kullanılmaktadır. PLD’lerin sayıcı uygulamalarından daha düşük hızlarda çalışan akümülatör, çoklayıcı, RAM read ve RAM write uygulamaları farklı sıklık değerleri almaktadır. HSP3824 ASIC Modem chip 44MHz sıklık civarında kullanılabilir. Böylece denetleyici 4Mbps üzerinde veri

oranı hızına ulaşabilmektedir. 100kHz-400kHz civarında çalışabilen anahtarlama amaçlı ASIC modelleri de vardır.

2.3 Enerji Tüketimi Karşılaştırması

Denetleyiciler arasında güç/enerji tüketimi karşılaştırması yapılacaktır. Harcanan enerji tüketimi yapılan iş ile orantılı olduğu temel fizik kurallarından biridir. Dolayısıyla en çok işlem yapan denetleyici belirlendiğinde aynı zamanda en çok güç harcayan denetleyici de belirlenmiş olur. Denetleyicinin saat sıklığı (clock frequency) saniyede işlenebilen komut sayısını (IPS) belirlemektedir.

Çizelge-3'te denetleyiciler arasında her denetleyicinin saat sıklığına göre çektiği akım değerleri en az akım değerleri karşısında görülmektedir. Mikro denetleyiciler gördüğü

üzere en düşük çekilen akım değerine sahiptirler bu güç aralığı kısmında da güç cinsinden görülmektedir. Ancak 0.0002mW, mikro denetleyicinin işlem yapmadığı uyku durumunda çektiği akım değeridir. En yüksek güç tüketimli denetleyici incelendiğinde ise FPGA'lar başı çekmektedir. Güç aralığı kısmında FPGA'lar için harcanan en büyük güç değerinin 5.749W olduğu görülmektedir. Çünkü çizelgede oldukça yüksek saat sıklığı değerini kullanabilen (1600MHz) bir FPGA'nın ele alındığı görülmektedir. İletişim amaçlı kullanılan ASIC ise tipik olarak 105mA, en fazla olarak ise 111 mA akım çekmektedir. En düşük akım çeken anahtarlama amacıyla kullanılan bir ASIC'e düşük akım uygulandığında belirli bir alt sınır akımı yazılamamakla birlikte tipik olarak en az akımı 0,1µA'dir diyebiliriz [10].

Çizelge-3: Mikro denetleyiciler arasında harcanan gücün karşılaştırılması

Denetleyici	Mikro denetleyici	ASIC	PLD	DSP	FPGA
En az akım	100nA / 2V 4MHz	0,1µA/16V 300kHz	5mA / 3V 95MHz	50µA / 1,2V 300MHz	20µA / 1,2 V 1600MHz
En fazla akım	300mA / 2V 32 MHz	111mA/5.5V 44MHz	10mA/3,6V 285MHz	3013mA / 1,2V 1100MHz	5227mA / 1,1V 1600 MHz
En az-en fazla güç aralığı	0,0002mW – 0.6W	0,0016mW – 0.61 W	15mW – 0,036W	0,06mW – 3,615W	0,024mW – 5,749W

Buradan çıkarılabilecek sonuca göre: en düşük güç tüketimi < Mikro Denetleyici < PLD < ASIC < DSP < FPGA < en yüksek güç tüketimi denilebilir.

2.4 Denetleyiciler için Genel Karşılaştırma Çizelgesi

Hız, eder ve enerji ölçütlerinin yanı sıra; güvenilirlik, kullanım kolaylığı, çok yönlülük ve yazılım editörü karşılaştırmaları yapılmıştır [13-16] (Çizelge-4).

Güvenirlik açısından karşılaştırılma yapıldığında DSP, FPGA, Mikro denetleyici ve PLD'lerin, kod koruma özellikleri bulunduğu gözlenmektedir. Bu özellik, programlama sırasında kullanılmakta olan JTAG kapılarının denetim edilmesi sayesinde kod bilgilerinin diğer kişiler tarafından okunabilmesini engellemektedir. Kodların tümünün görülmesi engellenebildiği gibi kritik kısımlar belirlenerek de engelleme yapıldığı görülebilmektedir. Bunun yanı sıra kodlarının tümünü gizlemek yerine şifreleme metodu ile

kullanıcının kodları görebilmesine imkân sağlayan özellikte çipler de vardır. ASIC Modem çipleri ise bu kod koruma özelliklerinin yanı sıra web filtreleme, anti virüs ve güvenlik duvarı özelliklerini içerisinde barındırır.

Denetleyicilerin kullanım kolaylıkları açısından karşılaştırdıklarında, karmaşık yapısından dolayı FPGA'lar en zor kullanıma sahip denetleyicilerdir. RISK mimarisinin sağladığı üstünlüklerden ve gittikçe daha basit hale gelen tümleşik aygıt yetkilendirme kolaylıkları nedeniyle kullanımı en kolay denetleyici ise mikro denetleyicidir. Uyarlanabilirlik (çok yönlülük) açısından değerlendirildiğinde ise çizelgede görülmekte olan tüm çipler yeterliliğe sahiptir denilebilir. Örneğin mikro denetleyicilerin MMC/SD desteğinden USB desteğine; dâhili LCD donanımı desteğinden, farklı tipteki sensör donanımı desteğine kadar birçok uygulamayı barındırır ve uyarlanabilir. Modern yazılım editörleri ile denetleyicilerin hemen hepsi hata ayıklayıcı olarak kullanılabilir ve artık birçok simülasyon programları ile birlikte çalışabilmektedir.

Çizelge-4: Mikro denetleyiciler arasında tüm ölçütler ile karşılaştırma yapılması

Denetleyici	Hız	Eder	Enerji tüketimi	Güvenilirlik	Kullanım kolaylığı	Çok yönlülük	Yazılım editörü
PLD	Normal	Normal	Düşük	Kod Koruma	Çok kolay	Normal	Orta
ASIC	Düşük	Düşük	Düşük	Anti spam & Kod Koruma	Kolay	Normal	İyi
Mikro denetleyici	Normal	Düşük	Düşük	Kod Koruma	Çok kolay	Normal	İyi
DSP	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Kod Koruma	Zor	Yüksek	İyi
FPGA	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Kod Koruma	Zor	Yüksek	İyi

3. SONUÇLAR

Güç çevirimi ve denetimi sağlayan güç elektroniği tabanlı aygıtların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Denetimli olarak yüksek sıklıkta açma-kapama yapabilen bu aygıtlar genellikle AC/DC, DC/AC, DC/DC ve AC/AC güç dönüşümlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Açma-kapamayı denetim etmek için bu elemanların kapı kısımlarına denetim sinyalleri gönderilir. Denetim sinyalleri sistemin temel ihtiyaçlarına göre mikro denetleyici, mikroişlemci veya programlanabilir aygıtlar tarafından üretilir. Temel denetim sinyali üreten aygıtlar mikro denetleyici, DSP, PLD, FPGA ve ASIC'tir. Denetim sinyalleri (0 veya 1) sürücü devrelerle birlikte tetikleme elemanını sürecekle veya kapatacak gerilim seviyesine getirildikten sonra tetikleme elemanlarının kapılarına uygulanır. Bu çalışmada sıklıkla kullanılan güç elektroniği elemanlarını denetim etmek için kullanılan denetleyiciler anlatılmıştır. Bu denetleyiciler; kullanım alanları, eder, hız, enerji tüketimi açısından detaylı olarak karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilecek işe en uygun denetleyici çeşidinin belirlenmesine yardımcı olunmuştur.

4. KAYNAKLAR

- [1] MEGEP – Bilişim Teknolojileri – Mikro denetleyiciler-1
- [2] Ahmet Nusret OZALP, MSP430 MCU Mimarisi ve Hafıza Yapısı - 2010
- [3] Atmel AVR 8- and 32-bit Microcontrollers
- [4] Muhammet Öztömür, FPGA Güvenliği, TÜBİTAK BİLGEM - 2011
- [5] Mehmet Aktaş - FPGA Mimarisi- İ.T.Ü Bilişim Enstitüsü Bilgisayar Bilimleri – 2008
- [6] Lesan, A.Y.E. Doumbia, M.L. Sicard, P., DSP-based sinusoidal PWM signal generation algorithm for three phase inverters – 2009 IEEE
- [7] Luminita Clotea - Microcontroller-Based Svpwm Inverterinduction Motor Drive System - Transilvania University of Brasov - 2008
- [8] Anil K. Maini, *Digital Electronics – Principles, Devices and Applications (Book)*
- [9] Stephen Brown and Jonathan Rose, Architecture of FPGAs and CPLDs: A Tutorial - Department of Electrical and Computer Engineering University of Toronto – 2000
- [10] www.farnell.com
- [11] *Microchip- Corporate Focus Product Selective Guide*
- [12] <http://news.techworld.com>, Fortinet beefs up security ASIC
- [13] Sergei P. Skorobogatov, *Attacks on Security in Modern Microcontrollers and Possible Defenses.*
- [14] Muhammet Öztömür, FPGA Güvenliği - TÜBİTAK Bilgem – 2011