



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ



ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

CubeSat için OBC (Araç Bilgisayar) Kart Tasarımı

Ahmed Melih Ulusoy

031511564

BİTİRME PROJESİ

BURSA 2021

T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

CubeSat için OBC (Araç Bilgisayar) Kart Tasarımı

Ahmed Melih Ulusoy

031511564

Projenin Danışmanı: DR. ÖĞR ÜYESİ ABDURRAHMAN GÜNDAY

BURSA 2021

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu Bitirme Projesi çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri, akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları, bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda, ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü üniversitemde veya başka bir üniversitede başka bir üniversiteden başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

29.12.2020

Ahmed Melih Ulusoy

031511564

Danışmanlığımda hazırlanan Bitirme Projesi çalışması, tarafımdan kontrol edilmiştir.

28.05.2021

Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman Günday

ÖZET

Son yıllarda küp uyduların artan yetenekleri ile uzay sektöründe büyük atılımlar meydana gelmiştir. Üretilen ve uzayda çalışan ilk küp uydularla uzay kalifiye ürünler de kullanmadan uzay sistemlerinin geliştirilebileceği ve farklı görevlerde kullanılabileceği gösterilmiştir. Daha önceleri büyük bütçeli orta/küçük uydular ile yapılabilen görevler artık çoklu küp uydular kullanılarak yapılabilir hale gelmektedir. Özellikle üniversitelerin ve küçük uzay firmalarının uzay yarısına katılması ile uzay sektörüne deneyimli iş gücünün sağlanmasının kapıları açılmıştır. Geçtiğimiz on yıl içinde uydu endüstrisi, CubeSat standardının doğuşuna ve evrimine yalnızca bir teknoloji gösterme aracı olarak değil, aynı zamanda üniversitelerde bir insan kapasitesi geliştirme platformu olarak tanık oldu. Ticari kullanıma hazır donanım bileşenlerinin kullanımı, CubeSat'ı bütçe ve deneysel bilim yükleri için entegrasyon süresi açısından alana erişim elde etmek için uygun maliyetli ve ideal bir çözüm haline getirir.

Uydu operasyonları özerktir ve esasen görev gereksinimlerine ve hedeflerine göre veri alışverişi yapan birbirine bağlı elektronik alt sistemlerin etkileşimine dayanır. Yerleşik bilgisayar (OBC) alt sistemi, bir mikro denetleyici etrafında geliştirilmiştir ve tüm hesaplama görevlerini yerine getirdiği ve yer istasyonunun üstündeki bir üst geçit sırasında aşağı bağlantıdan önce araç içi temizlik ve yük verilerinin toplanmasını düzenlediği için bu değişim sürecinde önemli bir rol oynar.

Burada sunulan tez, bir CubeSat için bir prototip OBC'nin geliştirilmesi, tasarımı ve uygulanmasında yer alan süreci açıklamaktadır. Tasarım ve uygulama aşamalarında kullanılacak mikro denetleyicinin özellikleri vurgulanarak daha önce geliştirilmiş CubeSat OBC'leri kapsayan bir araştırma yürütülür. Bir dizi donanım gereksinimi tanımlanmıştır ve mikro denetleyici pazarındaki mevcut gelişmeye göre, hem 8 bitlik hem de 16 bitlik karşılıkları yerine 32 bit çekirdek mimarisi tercih edilir. İyi tanımlanmış bir seçim sürecini takiben, 32-bit Cortex-M4 çekirdeği uygulayan bir mikro denetleyicisi seçilir ve bunun etrafında bir OBC mimarisi geliştirilir.

ABSTRACT

With the increasing capabilities of cube satellites in recent years, major breakthroughs have occurred in the space industry. It has been shown that space systems can be developed and used in different missions without using space-qualified products with the first cubic satellites produced and operating in space. Tasks that were previously possible with medium / small satellites with large budgets can now be performed using multiple cube satellites. Especially with the participation of universities and small space companies in the space half, the doors of providing experienced workforce have been opened to the space sector. Over the past decade, the satellite industry has witnessed the birth and evolution of the CubeSat standard not only as a technology demonstration tool, but also as a human capacity building platform in universities. The use of commercial-ready hardware components makes CubeSat a cost-effective and ideal solution to gain access to the field in terms of integration time for budget and experimental science loads.

Satellite operations are autonomous and essentially based on the interaction of interconnected electronic subsystems that exchange data according to mission requirements and objectives. The on-board computer (OBC) subsystem is developed around a microcontroller and plays an important role in this change process, as it performs all computational tasks and regulates the collection of in-car cleaning and payload data before downlink during an overpass above the ground station.

The thesis presented here describes the process involved in the development, design and implementation of a prototype OBC for a CubeSat. A research is carried out on CubeSat OBCs developed before, emphasizing the features of the microcontroller to be used in the design and implementation phases. A number of hardware requirements have been identified, and according to the current development in the microcontroller market, 32-bit core architecture is preferred over both 8-bit and 16-bit counterparts. Following a well-defined selection process, a microcontroller that implements a 32-bit Cortex-M4 kernel is selected and an OBC architecture is developed around it.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Küp Uydu Genel bilgi.....	1
1.2 Bir Küp Uydu İçin Yerleşik Bir Bilgisayarın (OBC) Tasarımı.....	5
1.3 Küp Uydu Mimarisi ve Alt Birimleri.....	6
1.4 Elektrik Güç Sistemi(Electrical Power System – EPS).....	6
1.5 Haberleşme Alt Birimi.....	7
1.6 ADCS Alt Birimi.....	8
1.7 Yük Alt Birimi.....	8
1.8 Yerleşik Bilgisayar (OBC) ve Hafıza Modülü.....	9
2.MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	13
2.1 Mikrodenetleyici Seçimi.....	13
2.2 Araç Bilgisayar (OBC) PCB Tasarım Aşamaları.....	20
2.3 Voltaj Regülatör (L7805 5V Regülatörü).....	21
2.4 Voltaj Regülatör (LD1086 3.3V Regülatör).....	22
2.5 Kristal Osilatör (8MHz 12pF Osilatör).....	23
2.6 NRST Pini (Network Reset – Sıfırlama).....	24
2.7 MPU6050 Sensörü (İvmeölçer – Jiroskop – Sıcaklık).....	26
2.8 BMP280 Sensörü (Dijital Basınç Sensörü).....	33
2.9 STM Programlayıcı Tasarım.....	35
2.10 MICRO SD Kart Tasarımı.....	36

3.KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	41
4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....	42
5.TARTIŞMA.....	46
6.KAYNAKÇA.....	47
7.TEŞEKKÜR.....	48
8.ÖZGEÇMİŞ.....	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. 1U CubeSat Yapısı	2
Şekil 1.2. Ncube-2, Norveç Küp uydusu	4
Şekil 1.3. Temel OBC Mimarisi.....	6
Şekil 1.4 Yerleşik Bilgisayar(OBC) Diyagramı	10
Şekil 1.5. OBC ‘nin harici bellek sistemi	12
Şekil 2.1. Entegre devre paket tipleri	14
Şekil 2.2. Bir mikro denetleyicinin iç diyagramı	15
Şekil 2.3. STM32F101xB mikrodnetleyicisi.....	16
Şekil 2.4. STM32F101xx LQFP100 paketi	17
Şekil 2.5. STM32F101xx LQFP48 paketi	17
Şekil 2.6. Pin yükleme koşulu	18
Şekil 2.7. Güç kaynağı şeması	18
Şekil 2.8. STM32F101xx blok diyagramı	19
Şekil 2.9. PCB tasarım süreci	20
Şekil 2.10. L7805 DPAK paketi ve bağlantıları	21
Şekil 2.11. L7805 Uygulama devresi	21
Şekil 2.12. LD1086 DPAK paketi ve pin bağlantısı	22
Şekil 2.13. LD1086 Uygulama devresi	23
Şekil 2.14. Kristal osilatörün bağlantı şeması.....	23
Şekil 2.15. Kristal osilatör ile mikrodnetleyici bağlantı şeması.....	24
Şekil 2.16. NRST pin bağlantısı	24
Şekil 2.17. NRST pin bağlantısı.....	25
Şekil 2.18. BOOT pin bağlantısı	25
Şekil 2.19 Jiroskop düzlemleri.....	27

Şekil 2.20. Kutunun +Y eksenini kesilmiş hali.....	29
Şekil 2.21. Eylemsizlik yasası.....	29
Şekil 2.22. Cismin dünyadaki hali.....	30
Şekil 2.23. 45 derece için değer.....	30
Şekil 2.24. Koordinat düzlemi.....	31
Şekil 2.25. Tipik uygulama devre şeması.....	32
Şekil 2.26. MPU 6050 şematik çizimi.....	32
Şekil 2.27. Üst ve alt görünümde pin bağlantıları.....	33
Şekil 2.28. Pin tanımlamaları.....	34
Şekil 2.29. BMP280 Basınç sensörü şematik çizimi.....	34
Şekil 2.30 ST-LINK-V2 programlayıcı.....	35
Şekil 2.31 Programlayıcı şematiği.....	36
Şekil 2.32 SD kart pin tanımlamaları.....	37
Şekil 2.33 SD kart şematiği.....	37
Şekil 2.34 Kamera ve batarya bağlantı şematiği.....	38
Şekil 2.35 GPS ve XBEE bağlantı şeması.....	38
Şekil 2.36. STM32F405 mikro denetleyicinin özellikleri.....	40
Şekil 4.1 Komponentlerin şematik dizilimi.....	42
Şekil 4.2 Komponentlerin şematik dizilimi devamı.....	43
Şekil 4.3 Komponentlerin 3 boyutlu dizilimi.....	44
Şekil 4.4 OBC 2 boyutlu tasarım grafiği.....	44
Şekil 4.5 OBC üç boyutlu şematiği.....	45
Şekil 4.6 OBC iki boyutlu şematiği.....	45

1.GİRİŞ

1.1 KÜP UYDU GENEL BİLGİ

Bir küp uydu(U sınıfı uzay aracı), 10 cm x 10 cm x 10 cm boyutunda çok sayıda kübik modülden oluşan, uzay araştırmaları için kullanılan minyatür bir uydu türüdür. Küp uydular, birim başına 1,33 kilogramdan (2,9 lb) fazla olmayan bir kütleye sahiptir ve elektronik ve yapıları için genellikle ticari kullanıma hazır (commercial off the shelf-COTS) bileşenleri kullanır. Küp uydular, Uluslararası Uzay İstasyonundaki konuşlandırıcılar tarafından yörüngeye yerleştirilir veya bir fırlatma aracında ikincil yükler olarak fırlatılır. 1 Ocak 2021 itibariyle, 1350'den fazla küp uydu piyasaya sürüldü. 1200'den fazlası yörüngeye başarıyla yerleştirildi ve 90'dan fazlası fırlatma hatalarında imha edildi. California Polytechnic Eyalet Üniversitesi'nden Profesör Jordi Puig-Suari ve Stanford Üniversitesi'nden Bob Twiggs, lisansüstü öğrencilerin ilkine benzer yeteneklere sahip bir uzay aracını uzayda tasarlamasını, inşa etmesini, test etmesini ve çalıştırmasını sağlamak amacıyla 1999'da küp uydu (CubeSat) referans tasarımını önerdi. uzay aracı, Sputnik. Başlangıçta önerildiği gibi küp uydu bir standart haline gelmek için yola çıkmadı; daha ziyade bir ortaya çıkma süreciyle zamanla bir standart haline geldi. İlk küp uydu, Haziran 2003'te bir Rus Eurockot'unda fırlatıldı ve yaklaşık 75 küp uydu, 2012 yılına kadar yörüngeye girmişti.

Bu kadar küçük bir uyduya duyulan ihtiyaç, Stanford Üniversitesi Uzay Sistemi Geliştirme Laboratuvarı'nda ortaya çıkan ortaya 1998'de ortaya çıktı. SSDL'de öğrenciler 1995'ten beri OPAL (Yörüngeli Picosatellit Otomatik Başlatıcı) mikro uydu üzerinde çalışıyorlardı. OPAL'ın yardımcı gemi "picosatellites" yerleştirme misyonu, "umutsuzca karmaşık" olan ve ancak yapılabilen bir fırlatma sisteminin geliştirilmesiyle sonuçlandı. "çalışma zamanı" çalışmak. Projenin gecikmelerinin montajıyla birlikte Twiggs, fırlatma mekanizmasının yaylı bir kapı yerinde tutulan uydularla basit bir itme plakası konseptine yeniden tasarlanmasıyla sonuçlanan DARPA finansmanı istedi. "CubeSat" terimi, CubeSat tasarım spesifikasyonunda açıklanan standartlara uyan nanosatellitleri belirtmek için icat edilmiştir. Cal Poly, standardı havacılık ve uzay mühendisliği profesörü Jordi Puig-Suari'nin öncülüğünde yayınladı.

Stanford Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Bölümü'nden ve şu anda Kentucky'deki Morehead Eyalet Üniversitesi'nde uzay bilimleri fakültesinin bir üyesi olan Bob Twiggs, CubeSat topluluğuna katkıda bulundu. Çalışmaları eğitim kurumlarından CubeSats üzerine odaklanmıştır. Spesifikasyon, bir CubeSat'tan biraz daha büyük olan NASA "MEPSI" nanosatellitleri gibi diğer küp benzeri nanosatellitler için geçerli değildir. GeneSat-1, NASA'nın kendi boyutundaki bir uydu üzerinde gerçekleştirdiği ilk tam otomatik, kendi kendine yeten biyolojik uzay uçuşu deneyiydi. Aynı zamanda ABD tarafından piyasaya sürülen ilk CubeSat'tı. NASA Ames Research'te John Hines tarafından yönetilen bu çalışma, tüm NASA CubeSat programı için katalizör oldu.



Şekil 1.1. 1U CubeSat Yapısı

Küp uydu spesifikasyonu, birkaç üst düzey hedefi gerçekleştirir. Uyduların minyatürleştirilmesinin ana nedeni, konuşlandırma maliyetini düşürmektir, bunlar genellikle daha büyük fırlatma araçlarının fazla kapasitesini kullanarak birden çok fırlatma için uygundurlar. Küp uydu tasarımı, özellikle fırlatma aracının geri kalanı ve yükler için riski en aza indirir. Başlatıcı-yük arayüzünün kapsüllenmesi, bir bindirme uydusunun başlatıcısı ile eşleşmesi için daha önce gerekli olan iş miktarını ortadan kaldırır. Yükler ve fırlatıcılar arasındaki birleştirme, kısa sürede yüklerin hızlı bir şekilde değiş tokuş edilmesini ve fırlatma fırsatlarının kullanılmasını sağlar.

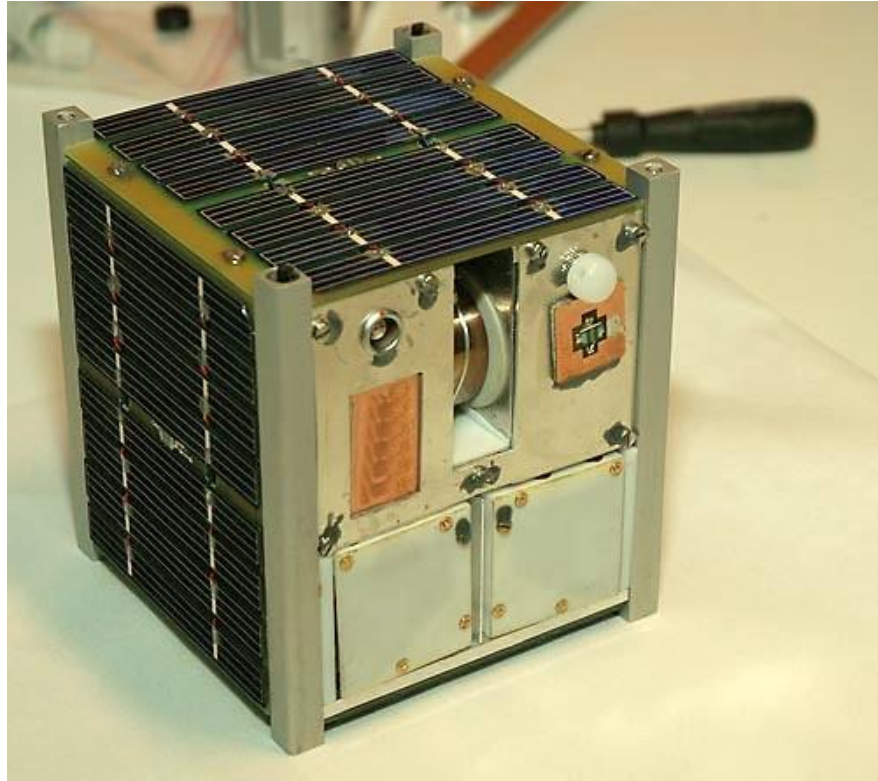
Standart küp uydu, birim başına en fazla 1,33 kg (2,9 lb) ağırlığında $10 \times 10 \times 10$ cm veya 1 litre yararlı hacim sağlamak üzere tasarlanmış $10 \times 10 \times 11,35$ cm birimlerden oluşur. En küçük standart boyut 1U'dur, 3U + ise uzun ekseninde ortalanmış ve bir yüzün 3,6 cm ötesine uzanan 6,4 cm çapında ek bir silindir ile uzunlamasına istiflenmiş üç birimden oluşur. Aerospace Corporation, radyasyon ölçümü ve teknolojik gösteri için iki küçük formda 0.5U küp uyduyu inşa etti ve piyasaya sürdü. Neredeyse tüm CubeSat'lar 10×10 cm (uzunluklarına bakılmaksızın) olduğundan, hepsi Cal Poly tarafından geliştirilen ve oluşturulan Poly-PicoSatellite Orbital Deployer (P-POD) adı verilen ortak bir dağıtım sistemi kullanılarak başlatılabilir ve dağıtılabilir. Küp uydu Tasarım Spesifikasyonu tarafından hiçbir elektronik form faktörü veya iletişim protokolü belirtilmemiştir veya gerekli değildir, ancak COTS donanımı, birçoğunun küp uydu elektronik cihazlarında standart olarak kabul ettiği belirli özellikleri tutarlı bir şekilde kullanmıştır. Çoğu COTS ve özel olarak tasarlanmış elektronik, küp uydular için tasarlanmamış, ancak uzay aracının hacminin çoğunun işgal edilmesine izin veren 90×96 mm'lik bir profil sunan PC / 104 formuna uyar. Teknik olarak, PCI-104 formu kullanılan PC / 104 varyantıdır ve kullanılan gerçek pin çıkışı, PCI-104 standardında belirtilen pin bağlantılarını yansıtmaz. Kartlardaki yığın geçişli konektörler, basit montaj ve elektrik arabirimine izin verir ve çoğu küp uydu elektronik donanımı üreticisi aynı sinyal düzenlemesine sahiptir, ancak bazı ürünler yapmaz, bu nedenle hasarı önlemek için tutarlı sinyal ve güç düzenlemeleri sağlamak için özen gösterilmelidir.

Cihazların mevcut radyasyona tolerans göstermesini sağlamak için elektronik seçiminde dikkatli olunmalıdır. Atmosferik yeniden girişin sadece günler veya haftalar içinde gerçekleşeceği çok düşük Dünya yörüngeleri (LEO) için, radyasyon büyük ölçüde göz ardı edilebilir ve standart tüketici sınıfı elektronikler kullanılabilir. Tüketici elektronik cihazları, tek bir olayda bozulma (SEU) olasılığı çok düşük olduğundan, LEO radyasyonundan o süre boyunca kurtulabilir. Aylarca veya yıllarca süren düşük Dünya yörüngesindeki uzay aracı risk altındadır ve yalnızca ısıtılmış ortamlar için tasarlanmış ve test edilmiş donanımları uçurur. Düşük Dünya yörüngesinin ötesinde veya uzun yıllar alçak Dünya yörüngesinde kalacak olan görevler, radyasyona dayanıklı cihazlar kullanmak zorundadır. Süblimasyon, gaz çıkışı ve metal bırıklıkların etkilerine bağlı olarak yüksek vakumda çalışma için daha fazla değerlendirme yapılır, bu da görev başarısızlığına neden olabilir.

Bu tür minyatür uyduları kütleye dayalı olarak kategorize etmek için farklı sınıflandırmalar kullanılır.

- **Minisatellite (100-500 kg)**
- **Microsatellite (10-100 kg)**
- **Nanosatellite (1-10 kg)**
- **Picasatellite (0.1-1 kg)**
- **Femtosatellite (0.01-0.1 kg)**

Son yıllarda, küp uyduların yeteneklerini akademik ve teknoloji doğrulama uygulamalarının ötesine genişletmek için en yaygın olarak 6U ($10 \times 20 \times 30$ cm veya $12 \times 24 \times 36$ cm) ve 12U ($20 \times 20 \times 30$ cm veya $24 \times 24 \times 36$ cm) olmak üzere daha büyük küp uydu platformları geliştirilmiştir. 2014 yılında, deniz gözetimi için şimdiye kadar en büyüğü olan iki 6U Perseus-M küp uydusu piyasaya sürüldü. InSight Lander'ın Mars'a 2018 lansmanı, Mars Cube One (MarCO) adı verilen iki 6U küp uyduyu içeriyordu. Çoğu küp uydu, birincil görev yükü olarak bir veya iki bilimsel araç taşır.



Şekil 1.2. Neube-2, Norveç Küp uydusu

1.2 BİR KÜP UYDU İÇİN YERLEŞİK BİR BİLGİSAYARIN (OBC) TASARIMI

Hemen hemen tüm uydular, uydununotonom işlemlerini yönetmek ve yer operatörleri ile etkileşim kurmak için bir yerleşik bilgisayara (On Board Computer – OBC) ihtiyaç duyarlar. Buradaki çalışma, bir küp uydu için OBC alt sisteminin tasarımı ve geliştirilmesine odaklanmaktadır. Giriş bölümü, küp uydu alt sistem mimarisine özellikle de yerleşik bilgisayara odaklanır, işlemlerini ve gereksinimlerini listeler.

Küp uydu, her biri özel böir görevi yerine getiren birkaç alt sistemden oluşur. Alt sistemler normalde aşağıdakileri içerir:

- Güneş panellerinden sağlanan elektrik güç sistemi(Electrical Power System – EPS)
- Kontrol ünitesiyle birlikte bir yük(işaret vericisi veya kamera)
- Bir konum tespit ve kontrol sistemi(Attitude Determination Control System – ADCS)
- Bir radyo frekansı(Radio Frequency – RF) haberleşme alt sistemi
- Genellikle OBC ile birleştirilen bir bellek modülü
- Farklı slt sistemler arasında iletişimi sağlayan bir OBC

OBC, küp uydunun beyni olarak kabul edilir ve temelde bir seri veri yolu ve ek çevresel donanım aracılığıyla alt sistemlere bağlanan bir mikro denetleyiciden oluşur. Tüm yazılım uygulamalarını yöneten gerçek zamanlı bir işletim sistemi(RTOS), mikrodenetleyici de çalışır ve küp uydunun uçuş yazılımını oluşturur. Güneş panellerinin yüzey alanı CubeSat'ın boyutuyla orantılıdır. Bu kısıtlama, mevcut yerleşik gücü kıt bir kaynak haline getirir ve mikro denetleyicinin öncelikle düşük ortalama güç tüketimine sahip olmasını ve aynı zamanda tüm veri transferlerini görev gereksinimlerine göre işlemek için yeterli işlem gücüne sahip olmasını gerektirir.

OBC'nin temel işlevleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Analiz için yer istasyonuna iletmek üzere telemetri ve uydu yük verilerinin kaydedilmesi ve depolanması
- Yer istasyonundan gelen veri paketlerinin kodlanması veya kodunun çözülmesi
- Yer istasyonundan gelen uzaktan komutların işlenmesi, zaman geciktirme komutları dahil ve alt sistemleri izleme, izleme işlemlerini uygulama ve gerekirse sistemleri sıfırlama

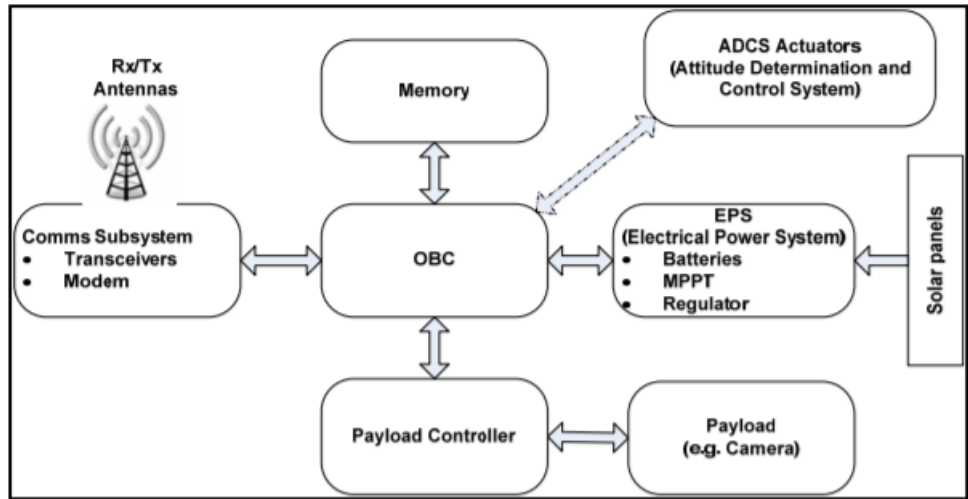
1.3 KÜP UYDU MİMARİSİ VE ALT BİRİMLERİ

OBC, seri veri yolu arabirimi aracılığıyla diğer alt sistemler arasındaki tüm iletişimin merkezindedir. Her alt sisteme özel bir görev aktarır. Aşağıda alt birimleri hakkında bilgi verilmiştir.

1.4 Elektrik Güç Sistemi(Electrical Power System – EPS)

Elektrik güç sistemleri aşağıdaki işlevleri yerine getirir:

- Görev ömrü boyunca uydu yüklerine sürekli bir elektrik gücü kaynağı sağlar.
- Elektrik gücünü kontrol eder ve dağıtır.
- Elektrik yüklerinden ortalama ve en yüksek talepler için güç gereksinimlerini destekler.



Şekil 1.3. Temel OBC Mimarisi

- EPS sağlığı ve durumu için komut ve telemetri kabiliyetinin yanı sıra yer istasyonu veya otonom bir sistem tarafından kontrol sağlar.
- Geçici veri yolu voltajlarını baskılar ve veri yolu arızalarını önler.

Elektrik gücünü üreten kaynak, güneş radyasyonunu elektrik enerjisine dönüştüren bir veya daha fazla güneş panelini oluşturan bir dizi fotovoltaiik güneş pilidir. Dünya yörüngesindeki uydular, Dünya'nın diğer tarafında, güneşten uzakta, tutulma olarak tanımlanan gölgeli bir bölgeden geçer. Yörünge türüne bağılı olarak tutulma birkaç dakika ile birkaç saat arasında sürer ve bu süre zarfında güneş panelleri elektrik enerjisi üretmez ve uyduyu keser. Bu koşullarda bir yedek kaynak bulundurulmalı ve tutulma sırasında kullanılmak üzere güneşe maruz kalma sırasında elektrik enerjisi depolanmalıdır. Yaygın bir uygulama, şarj edilebilir piller kullanmaktır. Küçük uydu uygulamalarında kullanılan pil teknolojileri üzerine yapılan bir çalışmada yayınlanan bir dizi sonuç, Lityum İyon, Lityum Polimer ve Nikel Kadmiyum pil hücrelerinin kullanılmasını önermektedir.

1.5 Haberleşme Alt Birimi

Telemetri izleme ve komut alt sistemi olarak da anılan iletişim alt sistemi, uydu ile yer bölümü arasındaki arayüzü veya bağlantıyı sağlar. RF bağlantısı, temelde yer bölümü ve uydu arasındaki iki tek yönlü boş alan veya hava bağlantı kanalı, yani yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı kanalı ile tanımlanır. Yukarı bağlantı kanalı, Dünya'dan uyduya olan bağlantının kısmıdır (uzaktan komutların yüklenmesi) ve uydu-yer bağı, uydudan yer istasyonuna olan kısmı (telemetrinin indirilmesi).

İletişim bağlantısı, uydu üzerindeki ve yer istasyonundaki yüksek kazançlı antenlere bağlanan RF vericileri ve alıcıları tarafından mümkün kılınmıştır. Yörüngedeki uydu ufukta her görüldüğünde ve yer istasyonunun anteninden görüldüğünde, yer biriminden uyduya telekomutlar, yukarı bağlantı kanalı yoluyla gönderilir. Benzer bir şekilde, yerleşik telemetri ve yük verileri, uydu-yer bağı kanalı yoluyla yer birimine indirilir. Yer istasyonunun üstünden geçiş, yalnızca sınırlı bir süre için gerçekleşir ve bu süre zarfında, alıcı antenin net bir görüş alanına ve uygun veri aktarımına izin vermek için yeterli kazançla sahip olması bir gerekliliktir.

1.6 ADCS Alt Birimi

Küp uydu konuşlandırıldığında, Dünya'nın yörüngesindeyken rastgele takla atacaktır. ADCS alt sistemi, uydunun yönünü sabit tutmak ve verimli çalışmasını sağlamak için bir döngü halinde bağlanmış aktüatörlerden ve sensörlerden oluşan bir stabilizasyon mekanizmasıdır.

Uydunun tutumunun önce sensörler tarafından toplanan çeşitli verilerle belirlendiği ve daha sonra karmaşık kontrol algoritmaları aracılığıyla istenen tutumla karşılaştırıldığı kapalı bir geri bildirim kontrol döngüsü kullanılır. Aktüatörler daha sonra uydu için gerekli tutumu elde etmek için gerekli manevraları gerçekleştirmek için kullanılır ve sürekli bir döngü korunur. Olası sensörler arasında toprak, güneş ve yıldız sensörleri, jiroskoplar, manyetometreler ve yönlü antenler bulunurken, aktüatörler, sırasıyla reaksiyon tekerlekleri, momentum tekerlekleri veya kontrol momenti jiroskopları olabilen manyetik iticiler ve tekerlekler içerebilir. Küp uydunun reaksiyon çarklarını kullanması yaygındır, çünkü yapının sunduğu sınırlı fiziksel alan içinde 3 eksenli stabilizasyon elde edilebilir ve sıklıkla yük, kullanılabilir görüntüler almak için sürekli olarak Dünya'yı işaret etmesi gereken bir kamera içerir.

1.7 Yük Alt Birimi

Uydu yükleri, telekomünikasyon sistemlerini, görüntüleyicileri veya bilimsel ölçüm sondalarını içerebilir. Uydu görevleri bu nedenle iletişim, görüntüleme veya bilimsel görevler olarak sınıflandırılır. Maliyet ve entegrasyon açısından etkililiği artırmak için, iki veya daha fazla tipte yükün tek bir uydu üzerinde birleştirilmesi yaygındır.

İletişim uydularıyla, yani ses, video ve veri (örneğin metin dosyaları ve Mors kodu) ile ilişkilendirilen üç tür yük verisi vardır. Sinyaller yer istasyonundan uyduya gönderilir ve ya yere ya da başka bir uyduya (röle) yeniden iletilir. Seçilen bir frekans bandındaki bir kanal aracılığıyla. İletişim uydularının uygulamaları hücresel telekomünikasyondan televizyon yayınına kadar çeşitlilik gösterir. Pratik bir örnek, sadece birkaç isim vermek gerekirse uçaklar, gemiler, trenler ve kamyonlarla iletişim olacaktır.

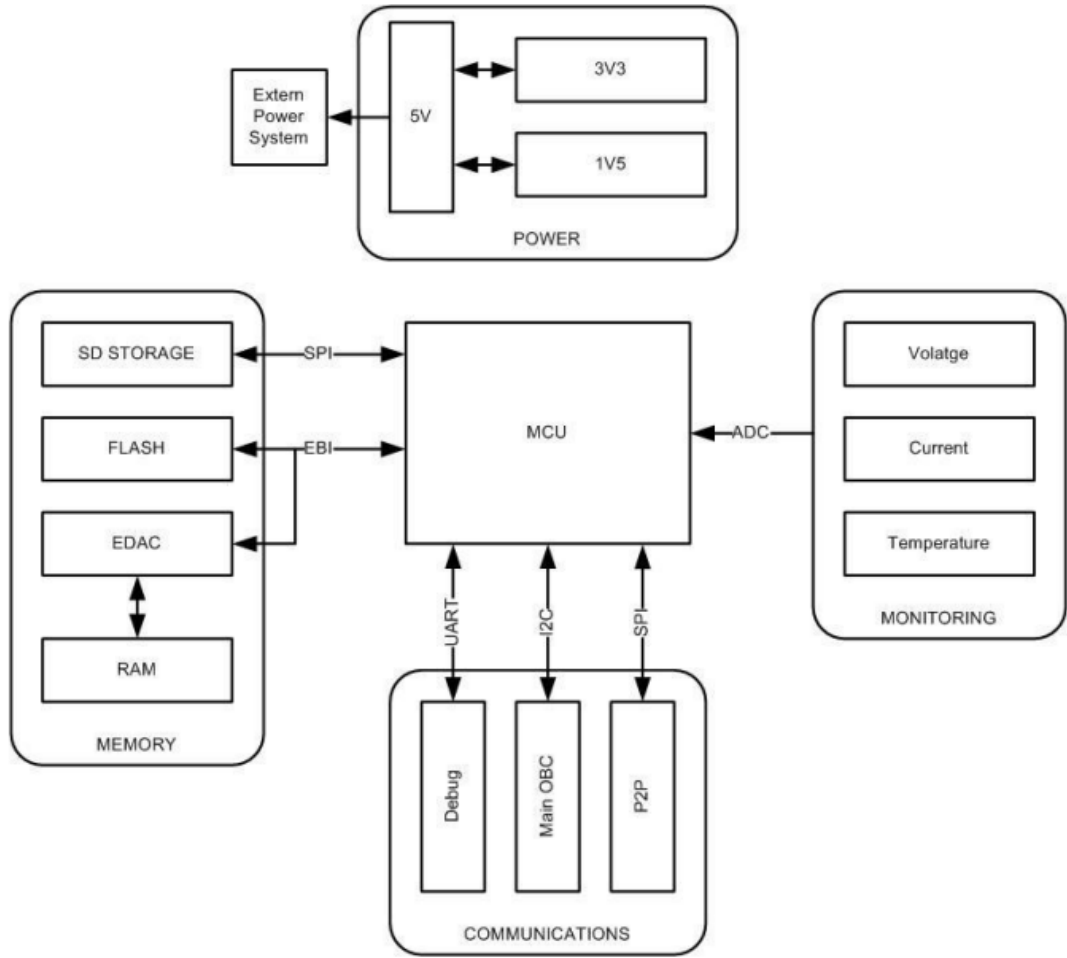
Yerleşik yük görüntüleme uyduları, çoğaltılabilen görüntünün çözünürlüğüne göre sınıflandırılan bir kameradan oluşur. Görüntüleyicinin, uygulamaya göre farklı spektral bantlar üzerinden Dünya veya diğer evrensel cisimlerin görüntülerini yakalayabilmesi gerekir. Daha sonra, görüntüyü kullanılabilir frekans aralığında sunmak için filtreleme teknikleri uygulanır. Görüntüleme uydularının uygulamaları haritalama (haritacılık), afet yönetimi (yangın algılama), meteoroloji veya evrensel gözlemden farklı olabilir.

Bilimsel yükler, analiz için belirli bilimsel verilerin toplanmasına yardımcı olan ölçüm verilerini içerir. Güneş lekesi aktiviteleri, güneş rüzgarları ve fırtınalar hakkında bilgi sağlayabilir, karbondioksit konsantrasyonlarını haritalayabilir ve atmosferdeki ozon tabakasını değerlendirerek evrenimiz ve bileşenlerinin daha iyi anlaşılmasına yol açabilir.

1.8 Yerleşik Bilgisayar (OBC) ve Hafıza Modülü

Uydu sistemleri genellikle tüm alt sistemleri arasında bilgi veya komutların toplanması ve aktarılmasıyla ilgilenir. OBC, bu veri transferinin merkezinde yer alır ve diğer tüm alt sistemler arasında yerleşik iletişim bağlantısı görevi görür. Uydunun komuta ve veri işlemesine (C&DH) adanmış gömülü bir bilgisayardır. Alt sistemler arasında farklı aktarım hızları kullanıldığından, güvenli ve verimli veri akışı sağlamak için başlıca OBC özelliklerinin belirlenmesi ve optimize edilmesi gerekir.

Uydunun farklı bölümlerindeki sıcaklık ve güç tüketimi gibi yerleşik parametreler sürekli ölçülerek OBC'nin bellek modülünde saklanır ve bir üst geçit sırasında yer istasyonuna indirilecek telemetri verilerini oluşturur. Yer istasyonundan, FSW'nin daha yeni sürümleri, yukarı bağlantı kanalı aracılığıyla yüklenebilir ve yeni yörünge parametreleri tanımlanıp uygulanabilir. Bu aynı zamanda, bu telekomutları tespit eden ve istenen eylemi elde etmek için diğer alt sistemlere komut vererek bunları yürüten OBC tarafından da gerçekleştirilir. OBC ayrıca yörüngedeki uydunun konumunu belirlemek için ADCS sensörlerinden gelen verileri kullanır ve uydunun tutumunu kontrol etmek için ADCS aktüatörlerini kontrol eder. Bu, mikro denetleyiciye önceden tanımlanmış bir kontrol algoritması yükleyerek ve gerektiğinde manevralar yaparak yapılır.



Şekil 1.4 Yerleşik Bilgisayar(OBC) Diyagramı

MCU'nun OBC'deki önemi, tasarımında ekstra güvenilirlik ve doğruluğun uygulanmasını gerektirir. Harici bir bekçi uygulaması, istenmeyen kilitlenmelere karşı güvenilirlik katacak ve harici gerçek zamanlı ve yüksek frekanslı kristal osilatörler daha hassas saat sinyalleri üretecektir. Fiziksel katman olarak da adlandırılan donanım bileşeni, bir baskı devre kartı (Printed Circuit Board - PCB) üzerinde bulunan tüm fiziksel elektronik bileşenleri içerir. OBC modelindeki en düşük seviyedir ve temelde çeşitli çevresel arayüzlere sahip bir mikro denetleyiciden ve programları ve verileri depolamak için bir bellek modülüne sahip destekleyici donanımdan oluşur.

Bir mikro denetleyiciyi bir merkezi işlem birimi (CPU), bellek ve tümü tek bir entegre devre (IC) içinde bulunan ve dahili bir veri yolu sistemi ile birbirine bağlanan bazı Giriş / Çıkış (G / Ç) cihazları olarak tanımlar. İşlemci, mikro denetleyici biriminin merkezidir ve sistemin en önemli bölümünü temsil eder. Verileri, yazılım katmanında

tanımlanan ve belirli bir uygulama veya programa uyması amaçlanan bir dizi talimatla belirtilen şekilde işler. İdeal mikro denetleyicinin seçilmesi, OBC tasarımının omurgasını oluşturduğu için çok önemlidir. Genel olarak, mikro denetleyiciler komut setlerine, belleğe ve dahili veri yolu genişliğine göre sınıflandırılır. aritmetik mantık biriminin (ALU) doğasının, mikrodnetleyicinin mantıksal ve aritmetik işlemlere bağlı olarak 8-bit, 16-bit veya 32-bit olarak sınıflandırılıp sınıflandırılmayacağını belirlediğini belirtir ve bunlar sırasıyla bir bayt üzerinde gerçekleştirilir (8- bit), bir kelime (16-bit) veya bir çift kelime (32-bit).

Mikrodnetleyicinin dahili belleği (yonga üstü bellek olarak da adlandırılır), tarafından aşağıdaki gibi tanımlanan iki türe ayrılır:

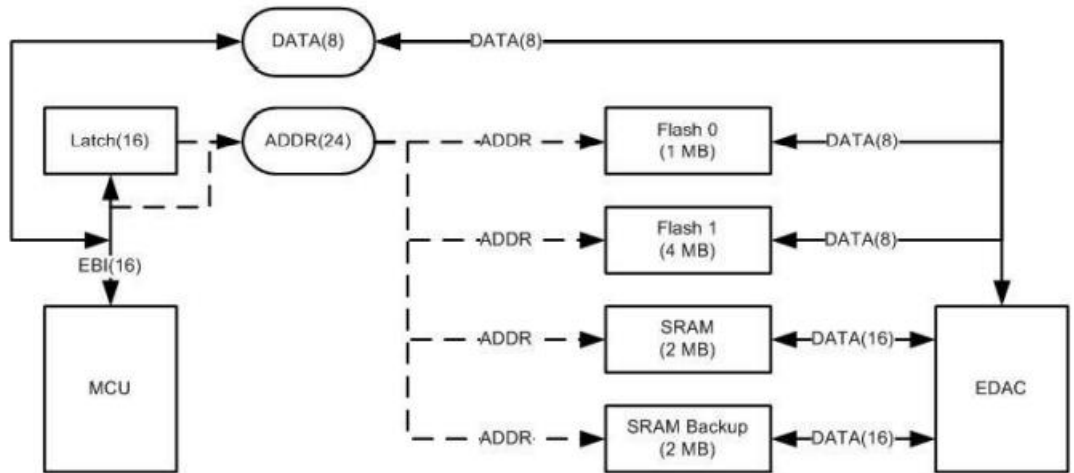
- Flash Memory:** Veri bloklarında erişilebilen, elektriksel olarak silinebilir programlanabilir salt okunur belleğin (EEPROM) bir varyasyonudur. Belleğin uçucu olmayan kısmıdır, yani sistemdeki güç kesildiğinde bile değerini korur. Hızlı erişim süresi sunma avantajına sahiptir ve radyasyon etkilerine karşı yüksek toleransa sahiptir.

- Static Random Access Memory (SRAM):** Belleğin geçici kısmıdır, yani güç kesildiğinde veri kaybeder. SRAM üzerindeki okuma ve yazma işlemleri çok hızlıdır; bu nedenle geçici olarak program verilerini saklamak için kullanılır. Programın çalışması sırasında tahsis edilir ve sürekli değişir.

Çip üstü bellek genellikle yetersizdir ve çoğu durumda, mikro denetleyiciler sistemin bellek kapasitesini genişletmek için harici bellek aygıtlarına destek sağlar. Bir OBC alt sisteminde, temizlik ve yük verileri genellikle yonga üzerindeki mevcut alandan daha büyük boyutlarda olduğundan, seçilen mikro denetleyici harici bellek genişlemesine izin vermelidir. Harici bellek modülü, mikro denetleyicide çalışacak ve ek bellek alanı gerektirebilecek program uygulamalarını depolamak için de kullanılabilir Güvenli dijital / multimedya kartları (SD / MMC) ve bellek genişletme modülleri olarak kullanılabilen çeşitli bileşenler mevcuttur.

G / Ç cihazları (veya çevre birimleri) mikro denetleyiciye entegre edilmiştir ve işlemci tarafından diğer harici cihazlarla iletişim kurmak için kullanılır. Küp uydu durumunda, bu çevre birimleri OBC ve diğer alt sistemler arasında bir arayüz oluşturur. Küp uydu mimarisi, alt sistemler arasında hızlı veri hızı aktarımları için standart bir seri veri yolu protokolünün kullanılmasını gerektirir. Bu veri aktarımı, OBC'lerin mikro denetleyicisi tarafından başlatılır ve izlenir. Mikrodenetleyicilerde bulunan yaygın seri arayüzler arasında evrensel asenkron alma-iletme (UART), entegre devre (I2C) (iki telli arayüz (TWI) olarak da bilinir) ve seri çevresel arayüz (SPI) bulunur.

OBC'nin verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için mikro denetleyiciye ek destekleyici donanım bileşenleri gereklidir. OBC alt sisteminin bir aşırı akım koruma devresi, bir pil yedeklemeli gerçek zamanlı saat (RTC) ve bir veya daha fazla yerleşik sıcaklık sensörü içermesi önerilir. Aşırı akım koruması, alt sistem tarafından çekilen akımı izlemek ve aşırı akım durumunda beslemeyi kesmek için gereklidir. RTC, zamanı takip eder ve yerleşik işlemlerin senkronize edilmesine yardımcı olur. RTC ayrıca yerleşik verileri yer operasyonları ile senkronize halde tutar. Zaman tipik olarak Unix Zaman Sayacı (UTC8) sistemi olarak bilinen bir zamanlama biçiminde kodlanır ve kesintiler, alt sistemler arasındaki olayları senkronize etmek için kullanılır. RTC'nin gücü bir pille yedeklenir, böylece OBC'nin gücü herhangi bir nedenle kesildiğinde zaman kaybedilmez. Yerleşik sıcaklık sensörleri, zorlu alan ortamına maruz kalan küp uydunun farklı noktalarında sıcaklık değişimlerini izlemek için gereklidir.



Şekil 1.5. OBC 'nin harici bellek sistemi

2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

2.1 Mikrodenetleyici Seçimi

Kullanılacak donanım için bir dizi gereksinim belirlemek, küp uydunun OBC'sinin tasarım sürecinde büyük önem taşır. Bu gereksinimler OBC mimari tasarımının temelini oluşturur. Mikro denetleyicinin ana donanım bileşeni olması nedeniyle, bu gereksinimlere en uygun seçeneği seçmek için izlenecek belirli bir yol tanımlanmalıdır. OBC, hem donanımı hem de yazılımı birleştirdiği ve belirli bir işlevi yerine getirmesi amaçlandığı anlamına gelen gömülü bir sistemdir.

Bu projede mikro denetleyici olarak ARM mimarisi baz alınmıştır. Proje geliştirilmeye açık olup mikro denetleyicilerin farklılaşması veya arttırılması ile özellik artırımı sağlanabilir bunlar versiyon adıyla geliştirilebilir. Düşük güç düzeni, özellikle kapsanan minimum dış yüzey alanı nedeniyle 1U için 1W ve 3U için 5W toplam güç bütçesinin mevcut olduğu küp uyduda elektrik gücünün son derece sınırlı olması nedeniyle uydu sistemlerinde temel gereksinimdir. Düşük güç tüketimi rakamına ek olarak, mikro denetleyici, görevin belirli bir aşamasında kullanımda olmayan çevre birimlerinin devre dışı bırakılmasıyla gücün tasarruf edilebileceği bir özelliği barındırmalıdır. Mikro denetleyicilerin farklı çalışma modlarına sahip olması ve birden fazla saat kaynağı kullanması yaygındır, bu da çeşitli çalışma modlarına izin verir ve güç tüketiminden tasarruf sağlar.

Bir küp uyduda EPS(Elektrik Güç Sistemi) normalde 6V ile 8.3V arasında değişen düzensiz bir veri yolu voltajı sağlar. Küp uydu üzerindeki alt sistemlerin ağırlığına, boyutuna ve karmaşıklığına katkıda bulunabilecek birkaç voltaj regülatörünün (düşüş veya güçlendirme) uygulanmasından kaçınmak için, OBC'nin mikro denetleyicisi dahil olmak üzere aktif bileşenlerin çoğu, bir değerde veya altında çalışacak şekilde seçilmelidir. Örneğin 3.3V değeri.

Seçilen bileşenlerin boyutu ve ağırlığı da dikkate alınır. IC'lerin(Integrated Circuit) ve diğer tüm farklı bileşenlerin elektronik paketlemesi, OBC alt sisteminin toplam boyutu ve ağırlığı üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olacaktır. Şekil 2.1'de paket tipleri gösterilmektedir.

Uygulamaya bağılı olarak, aralarından seçim yapabileceğiniz farklı IC paketleri türleri mevcuttur. Hacim nedeniyle çift sıralı pakete (Dual in-line Package - DIP) göre yüzey montaj teknolojisi (Surface Mount Technology - SMT) tercih edilir. Ayrıca, IC'lerin ambalajında, küçük çerçeveli entegre devre (Small-outline Integrated Circuit - SOIC) ve dörtlü düz paket (Quad Flat Package - QFP), tümleştirme sırasında kolay entegrasyon için pin ızgara dizisi (Pin Grid Array - PGA) ve toprak ızgara dizisi (Land Grid Array - LGA) yerine tercih edilir.

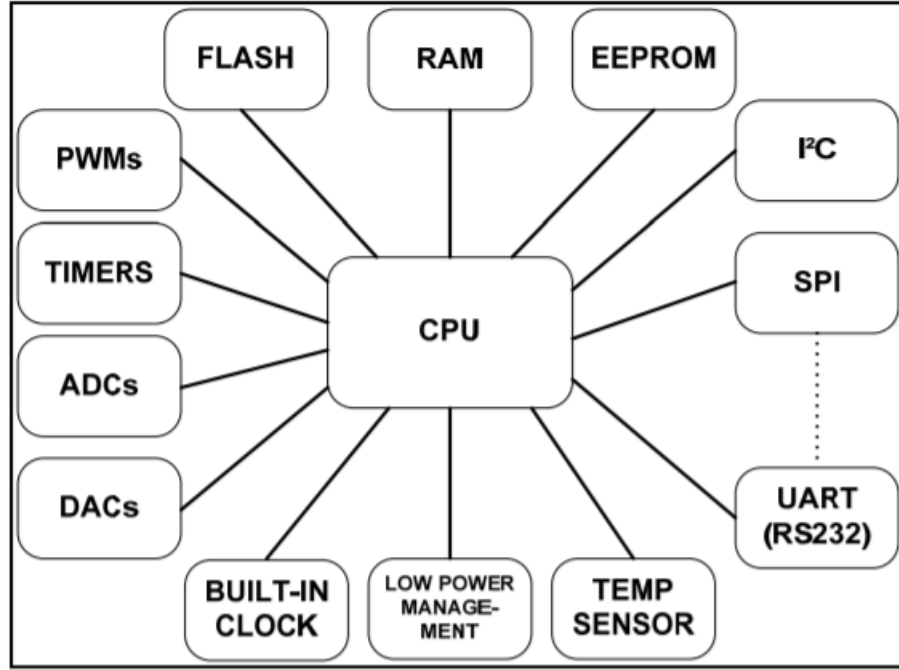


Şekil 2.1. Entegre devre paket tipleri

Alt sistemler arasındaki veri aktarımı, OBC'nin mikro denetleyicisinin entegre seri arayüzleri (UART, I2C veya UART) ile mümkün olur. Seri arabirimlerin her birine bir veya daha fazla sahip olan bir mikro denetleyicinin seçilmesi şiddetle tavsiye edilir, çünkü her biri veri aktarım hızları ve veri veya adres veriyolu boyutları ile sınırlandırılmıştır.

Mikrodenetleyici, tüm işleme operasyonlarını içinde gerçekleştirdiği için OBC donanım bileşeninin çekirdeği olarak görülebilir. Bir CPU, bellekler, zamanlayıcılar ve farklı modüllere ara bağlantılara izin veren farklı arayüz ve çevre birimlerinden oluşur. Tamamlanması gereken görevlere ve işlemlerin ne kadar hızlı gerçekleştirilmesi gerektiğine bağlı olarak, mikrodenetleyiciler farklı üreticilerden 8-bit, 16-bit ve 32-bit kelime uzunluğunu destekleyen varyantlarda mevcuttur. Bu tez için 32 bit bir mikro denetleyici seçilmiştir.


OBC için mikro denetleyiciyi seçerken amaç, minimum güç kullanırken maksimum işleme kapasitesi sağlayabilen ve ayrıca gerekli tüm OBC işlevlerini, özellikle programların yürütülmesini gerçekleştirebilen bir prototip uygulayabilmektir.



Şekil 2.2. Bir mikro denetleyicinin iç diyagramı

Bugün, 32-bit çekirdek mimarinin karmaşıklığı önemli ölçüde azaltılmış ve verimli hale getirilmiştir. 8-bit, 16-bit ve 32-bit komutları ve verileri işlenebilir. Karmaşıklığın azaltılmasına ek olarak, farklı çekirdek üreticileri tarafından birden çok özellik eklenmiş ve özelleştirilmiştir. 32-bit'e geçiş eğiliminin temel olarak, yüksek seviyeli diller kullanan projeler arasında kodun yeniden kullanımında artırılmış işlem gücü ve esneklik sağlama ihtiyacından kaynaklandığını belirtmektedir. Bunlar, 8 bit ve

16 bit mimarilerde yoktu. Projemiz için seçilen mikro denetleyici ARM tabanlı, 32-bit veri yolu genişliğinde olan STM32F101xB denetleyicisidir. Aşağıdaki şekilde mikro denetleyiciye ait genel ayrıntıları ve özellikleri belirten veri sayfası gösterilmektedir.



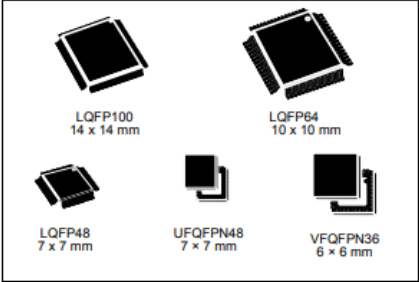
STM32F101x8
STM32F101xB

Medium-density access line, ARM®-based 32-bit MCU with 64 or 128 KB Flash, 6 timers, ADC and 7 communication interfaces

Datasheet - production data

Features

- Core: ARM® 32-bit Cortex® -M3 CPU
 - 36 MHz maximum frequency, 1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 2.1) performance at 0 wait state memory access
 - Single-cycle multiplication and hardware division
- Memories
 - 64 to 128 Kbytes of Flash memory
 - 10 to 16 Kbytes of SRAM
- Clock, reset and supply management
 - 2.0 to 3.6 V application supply and I/Os
 - POR, PDR and programmable voltage detector (PVD)
 - 4-to-16 MHz crystal oscillator
 - Internal 8 MHz factory-trimmed RC
 - Internal 40 kHz RC
 - PLL for CPU clock
 - 32 kHz oscillator for RTC with calibration
- Low power
 - Sleep, Stop and Standby modes
 - V_{BAT} supply for RTC and backup registers
- Debug mode
 - Serial wire debug (SWD) and JTAG interfaces
- DMA
 - 7-channel DMA controller
 - Peripherals supported: timers, ADC, SPIs, I²Cs and USARTs
- 1 × 12-bit, 1 μs A/D converter (up to 16 channels)
 - Conversion range: 0 to 3.6 V
 - Temperature sensor
- Up to 80 fast I/O ports



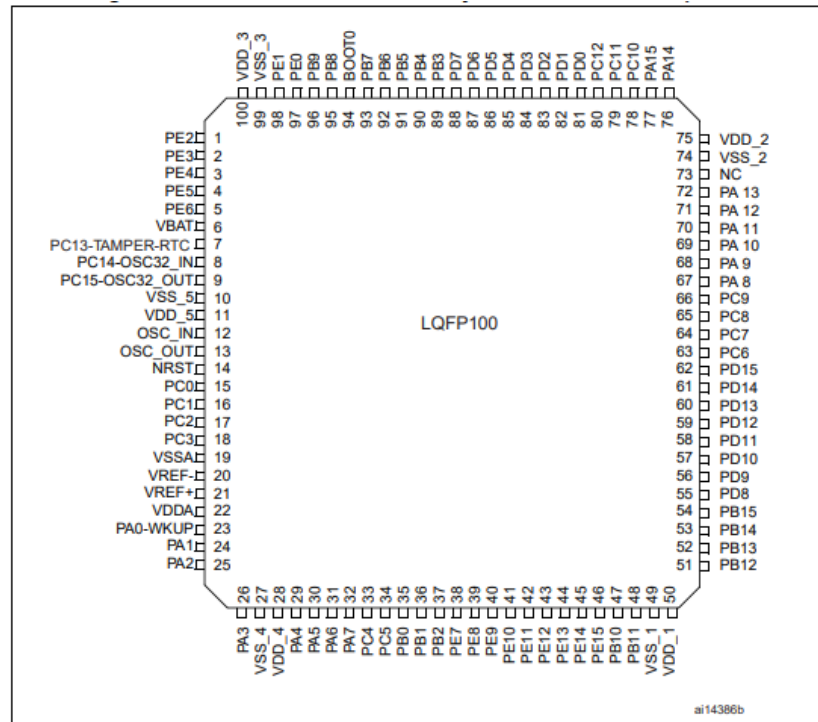
- 26/37/51/80 I/Os, all mappable on 16 external interrupt vectors and almost all 5 V-tolerant
- Six timers
 - Three 16-bit timers, each with up to 4 IC/OC/PWM or pulse counter
 - 2 watchdog timers (Independent and Window)
 - SysTick timer: 24-bit downcounter
- Up to 7 communication interfaces
 - Up to 2 × I²C interfaces (SMBus/PMBus)
 - Up to 3 USARTs (ISO 7816 interface, LIN, IrDA capability, modem control)
 - Up to 2 SPIs (18 Mbit/s)
- CRC calculation unit, 96-bit unique ID
- ECOPACK® packages

Table 1. Device summary

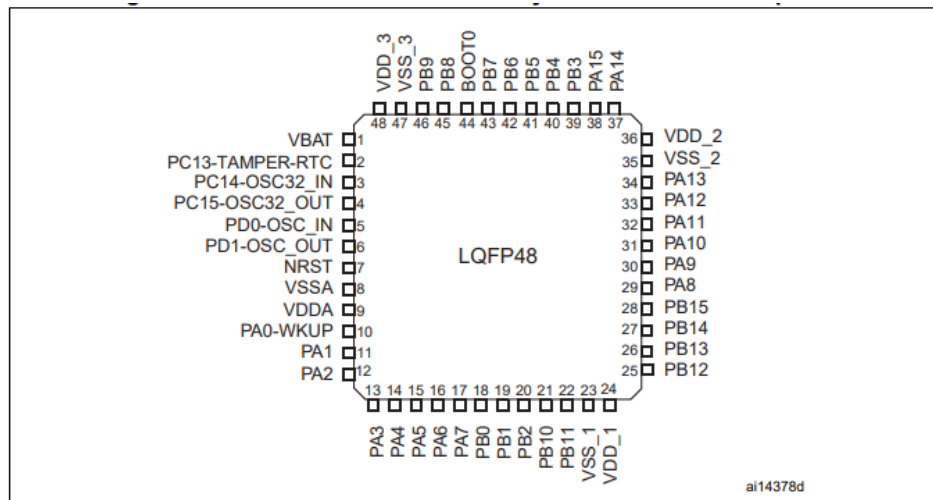
Reference	Part number
STM32F101x8	STM32F101C8, STM32F101R8, STM32F101V8, STM32F101T8
STM32F101xB	STM32F101RB, STM32F101VB, STM32F101CB, STM32F101TB

Şekil 2.3. STM32F101xB mikrodnetleyicisi

6 adet sayıcı, 7 adet haberleşme arayüzü, 38 MHz maksimum saat frekansına sahip denetleyicimiz küp uydunun ihtiyaç duyacağı düşük güç tüketimi özelliğine sahiptir. Bu sayede gereksiz güç tüketiminin önüne geçilmiş olur. Paket olarak LQFP100 veya LQFP48 pin çıkışlarına sahip paketler baz alınmıştır. İlk başta LQFP48 ile toplam 48 adet pin sayısına sahip şematiği çizilmiştir. Bunlar aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.

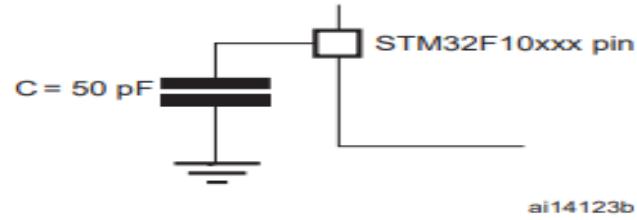


Şekil 2.4. STM32F101xx LQFP100 paketi



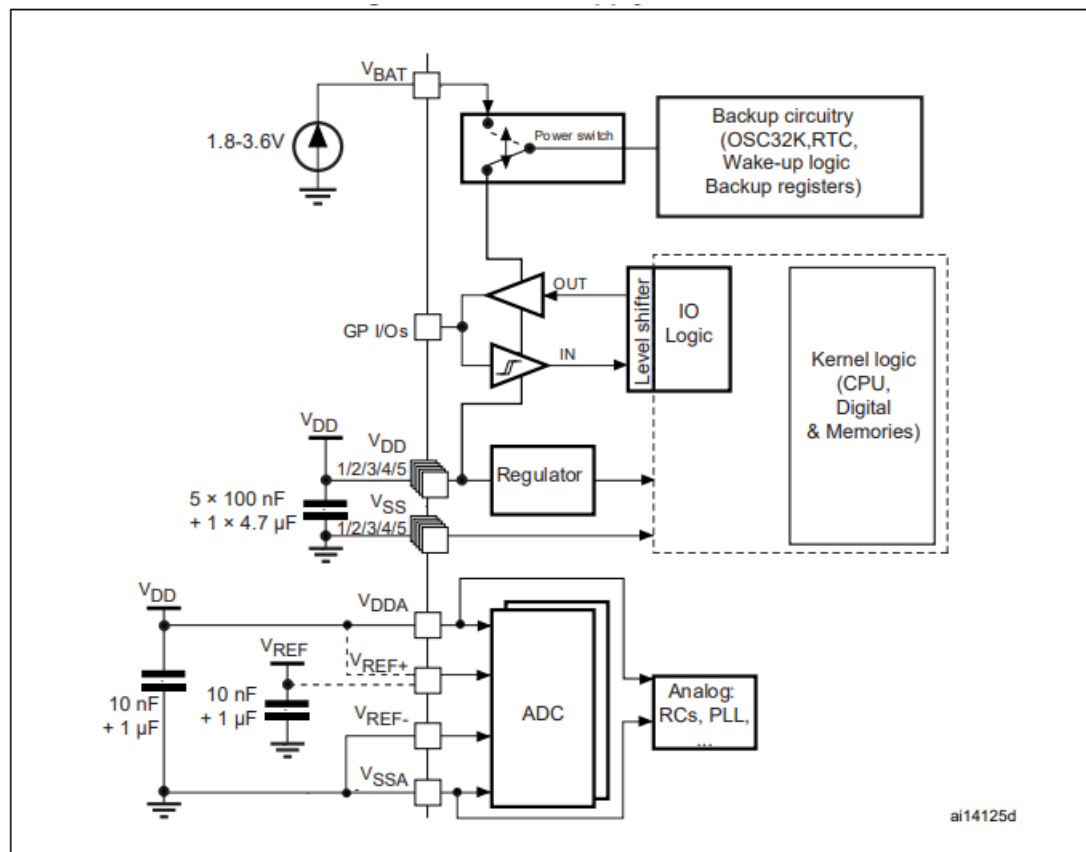
Şekil 2.5. STM32F101xx LQFP48 paketi

Pin yükleme koşulunu gösteren şekil aşağıdaki gibidir.



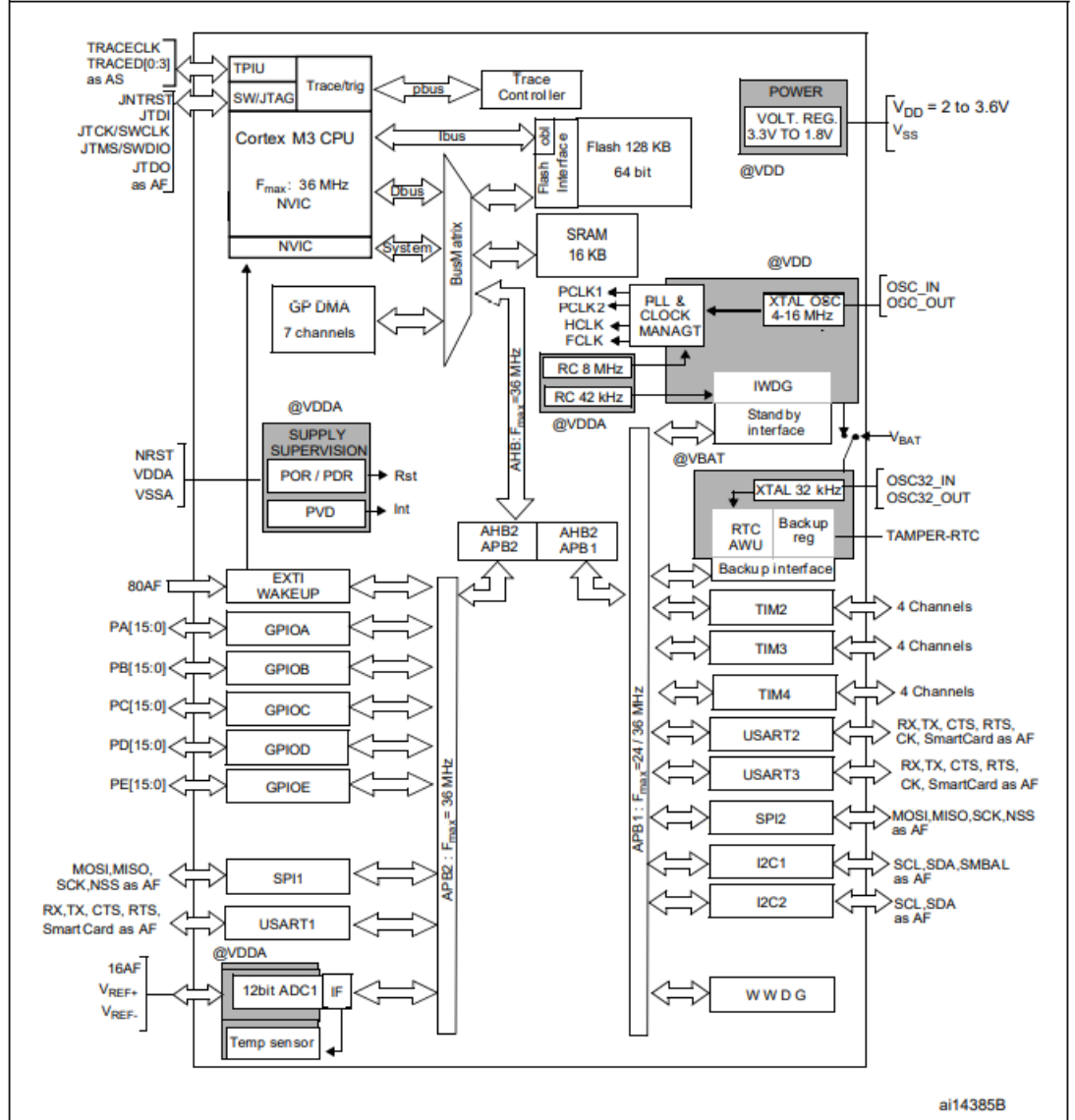
Şekil 2.6. Pin yükleme koşulu

Güç kaynağı şeması aşağıdaki şekilde gösterildiği gibidir.



Şekil 2.7. Güç kaynağı şeması

Seçilen mikro denetleyici için çalışma sıcaklığı aralığı -40°C ile 85°C arasında değişmelidir. IC paketleme de önemlidir. QFP paketi tercih edilir çünkü uçlar IC'nin dört tarafının her birinde uzanır, bu da güvenilir bir şekilde lehimleme için pahalı ekipman gerektirmeyen aynı zamanda prototipleme için de önerilmeyen muadillerinin aksine lehimlemeyi pratik ve kolay hale getirir. Çalışma voltajı 3,3 V'u geçmemelidir. Güç tüketimi çalışma frekansı ile doğru orantılı olduğundan, maksimum güç tüketimini uygun bir seviyede tutmak için çalışma frekansı 100 MHz ile sınırlandırılacaktır.

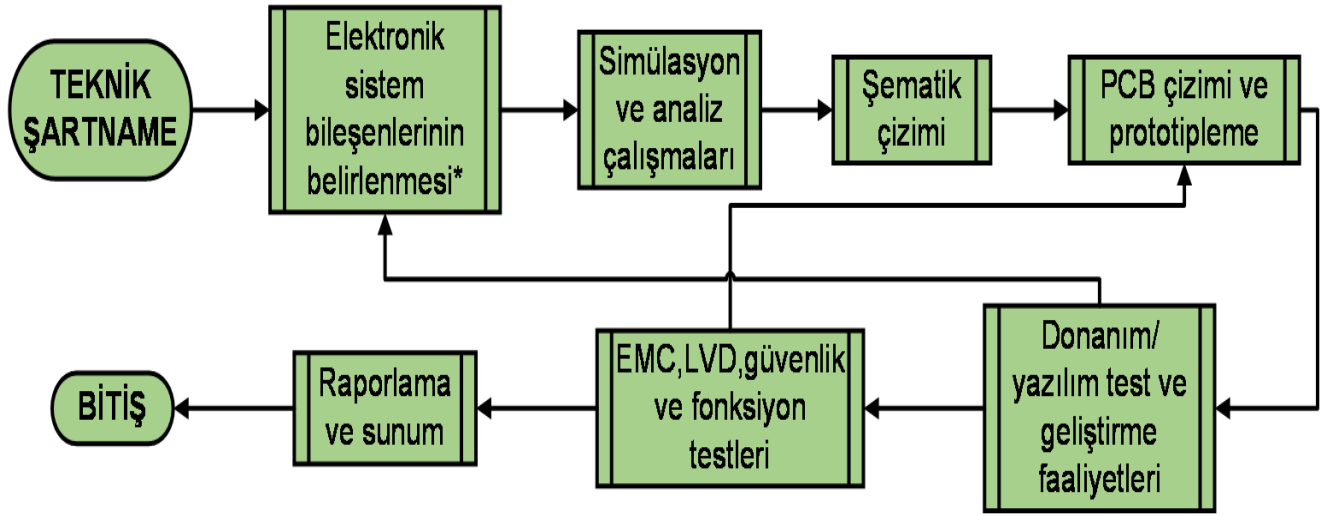


1. AF = alternate function on I/O port pin.
2. T_A = -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$ (junction temperature up to 105°C).

Şekil 2.8. STM32F101xx blok diyagramı

2.2 ARAÇ BİLGİSAYAR (OBC) PCB TASARIM AŞAMALARI

PCB'ler devrenin tüm yollarını ve elemanlarını üzerinde barındıran baskı devre kartlarıdır. Kullanılan devre tasarım programları sayesinde eleman yerleşimi ve yolların çizimi ile devreler tasarlanır. Tasarlanan bu PCB'ler üzerine lehimlenen entegreler ve pasif elemanlar kablo karmaşasından uzak bir şekilde görevlerini yerine getirirler. Tek katlı PCB'ler olduğu gibi onlarca kata kadar PCB tasarımı ve üretimi mümkündür. Böylelikle çok karmaşık devre bağlantıları kolayca yapılabildiği gibi, elemanların besleme voltajının dağıtımında bakır yüzeylerin kullanımı ile az sayıda bağlantı kullanılır. Bir PCB'nin tasarım aşamaları Şekil 2.9'de görülmektedir.

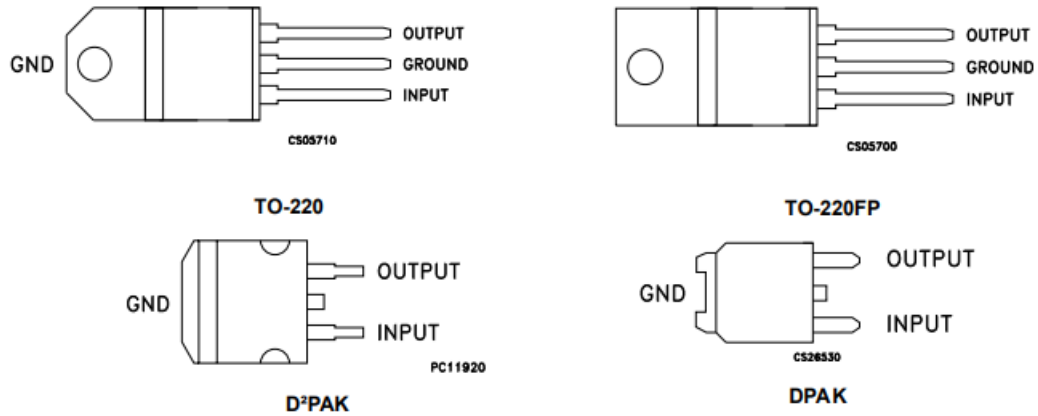


Şekil 2.9. PCB tasarım süreci

Projemizin bundan sonraki bölümlerinde kullandığımız komponentlerin özellikleri ve şematik gösterimleri hakkında bilgi verilmiştir. Bu parçalar hakkında bilgiler verilerek tümevarım yöntemiyle proje çalışmamız incelenmiştir.

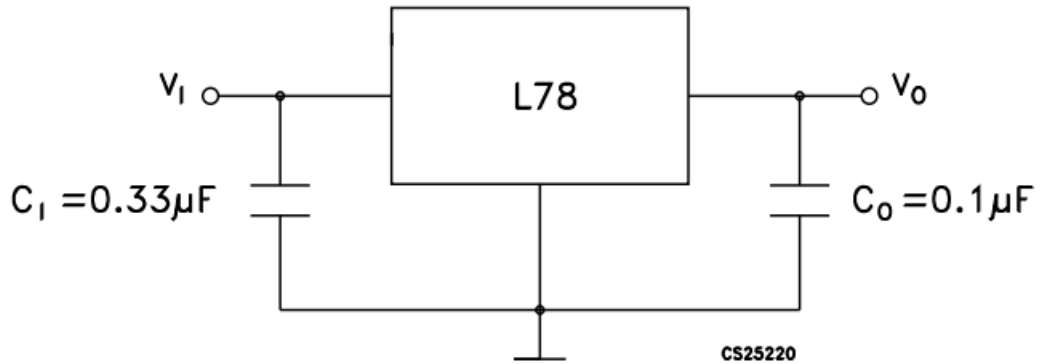
2.3 Voltaj Regülatör (L7805 5V Regulatorü)

L7805 regülatörü, 1.5 A'e kadar çıkış akımı, 5; 6; 8; 8.5; 9; 12; 15; 18; 24 V 'a kadar olan çıkış gerilimi sağlayabilmesi, Termal aşırı yük koruması, kısa devre koruması, % 2 çıkış voltajı toleransı, Genişletilmiş sıcaklık aralığında garantili olması gibi özelliklere sahiptir. Paket olarak tercihimiz DPAK olacaktır. Şekil 2.10'da paket türleri ve pin bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 2.10. L7805 DPAK paketi ve bağlantıları

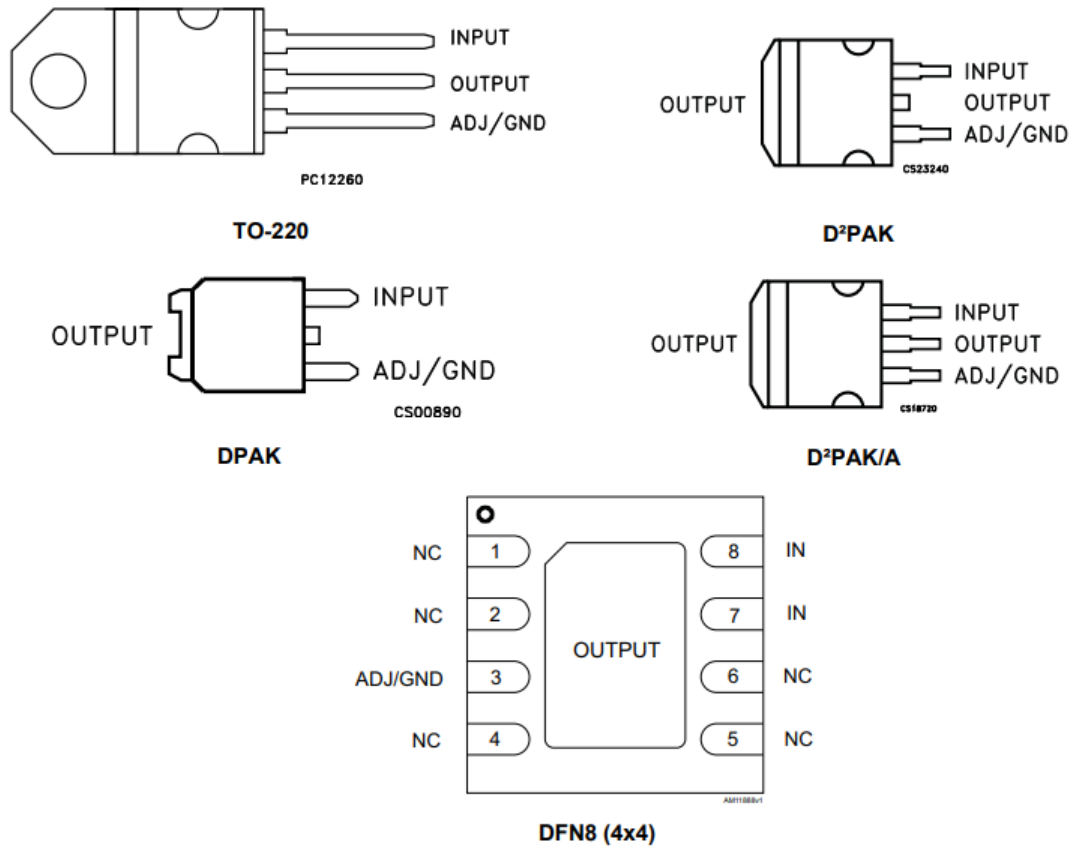
Sabit 5V çıkış gerilimi almamız için gösterilen uygulama devresi aşağıdaki gibidir.



Şekil 2.11. L7805 Uygulama devresi

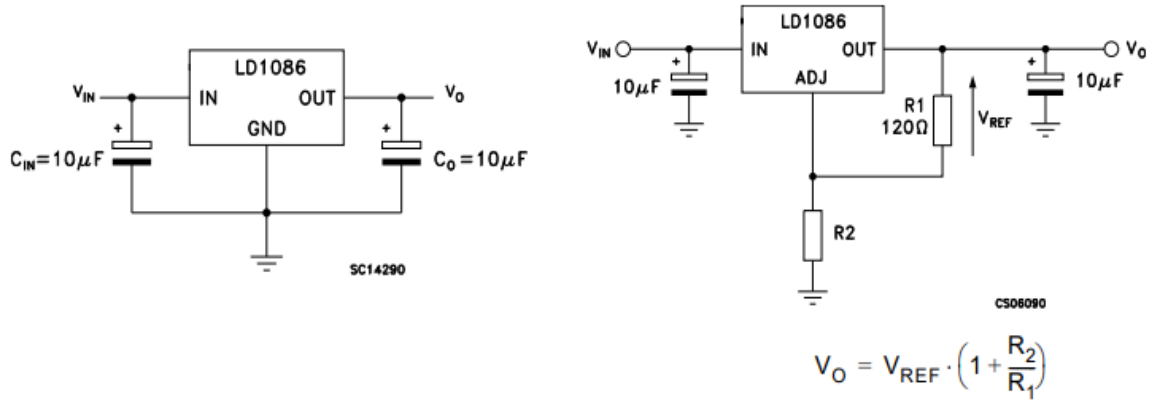
2.4 Voltaj Regülatör (LD1086 3.3V Regülatör)

LD1086 regülatörü; tipik düşüş olarak 1,5 A'de 1,3 V, üç terminalli ayarlanabilir veya sabit voltaj çıkışı: 1.8 V, 2.5 V, 3.3 V, 5 V, 12 V, çıkış akımı 1,5 A'ya kadar garantili, çıkış toleransı: 25 ° C'de $\pm\% 1$ ve tam olarak $\pm\% 2$ sıcaklık aralığı, Dahili güç ve termal limit, geniş çalışma sıcaklığı aralığı - 40 ° C ile 125 ° C arası özelliklerine sahiptir. Proje kullanılan paketi tipi DPAK'tır. Aşağıda paket tipleri ve pin bağlantı şematiği gösterilmiştir.



Şekil 2.12. LD1086 DPAK paketi ve pin bağlantısı

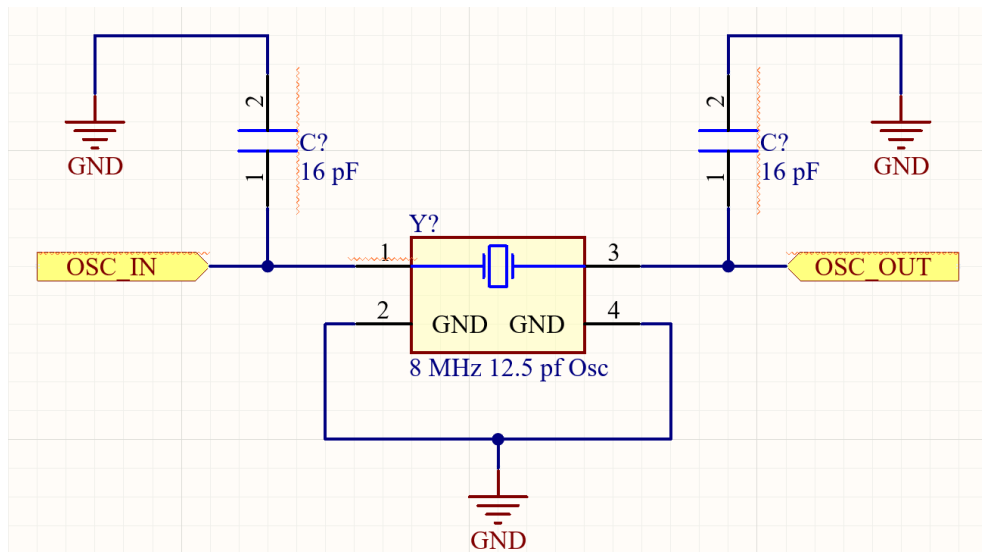
Sabit 3.3V çıkış gerilimi veya ayarlanabilir gerilimi almamız için gösterilen uygulama devresi aşağıdaki gibidir.



Şekil 2.13. LD1086 Uygulama devresi

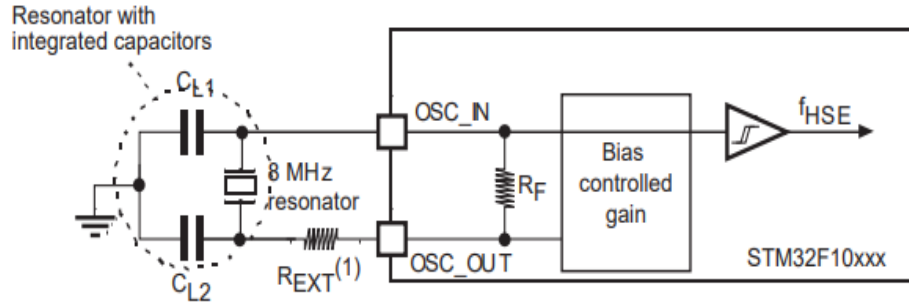
2.5 Kristal Osilatör (8MHz 12pF Osilatör)

Devremizde bir sonraki ihtiyaç duyduğumuz bileşen kristal osilatörümüzdür. Kristal osilatörün verilen mikrodenetleyiciye uygunluğunun sağlanması bu proje kapsamı içinde değildir. Kristalime bağlayacağımız kapasitelerin değerleri analiz kısmında açıklanacaktır. Kristale bağlanacak kapasitörlerin değeri 16 pF olacaktır. Kristal osilatörün mikrodenetleyiciye bağlantı şematiği aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 2.14. Kristal osilatörün bağlantı şeması

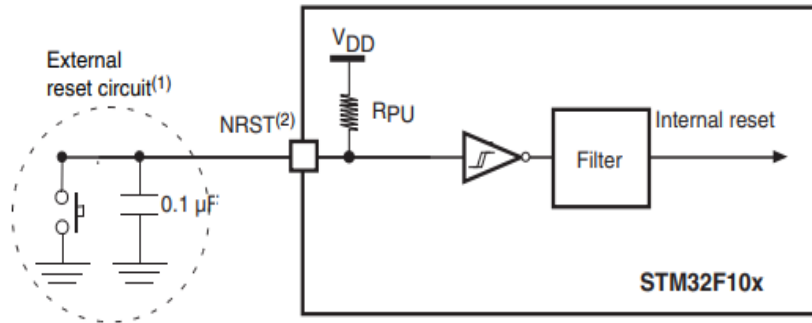
STM32F101 serisi mikro denetleyicimiz ile kristal osilatör arasındaki bağlantı şeması veri sayfasında gösterilmiştir. Bu şema şekil 2.15’de gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Kristal osilatör ile mikrodeneleyici bağlantı şeması

2.6 NRST Pini (Network Reset – Sıfırlama)

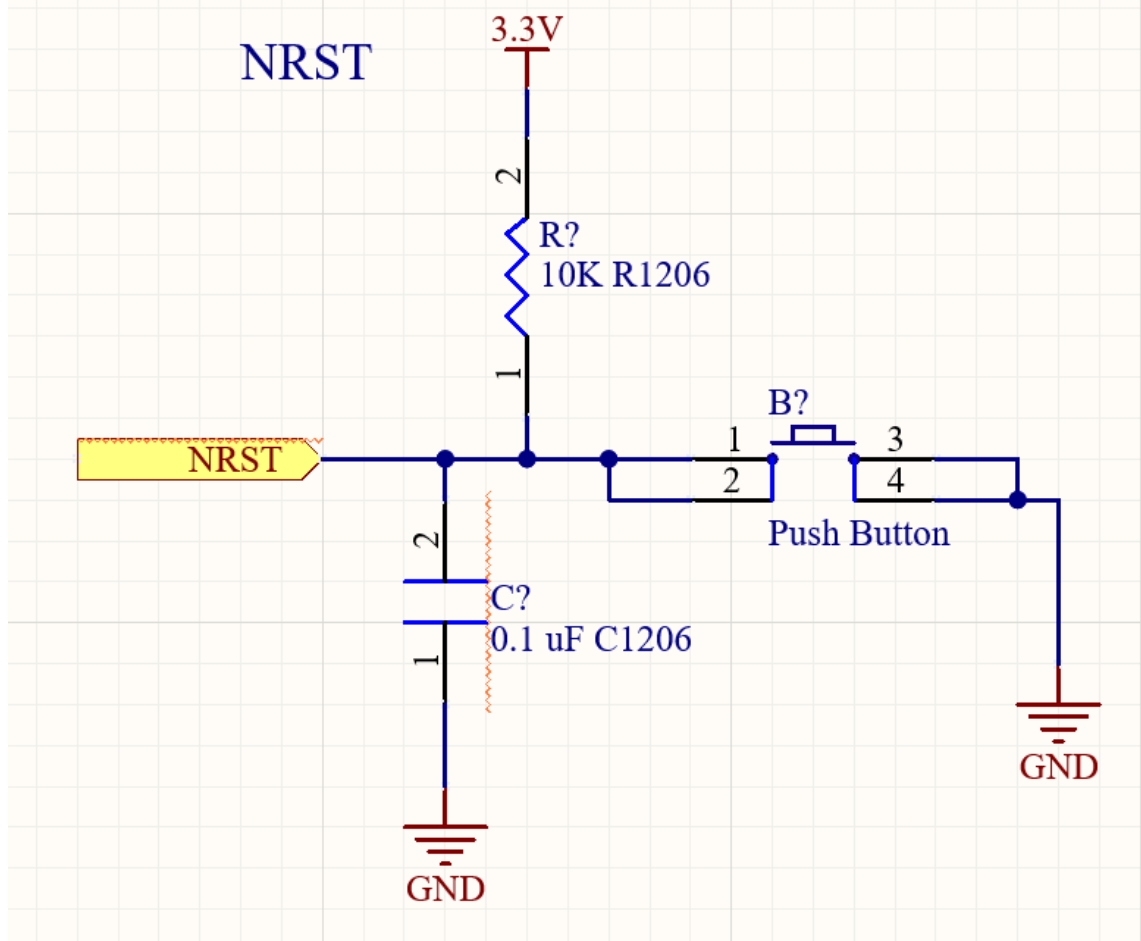
CMOS teknoloji temelli bu pinin bağlantı şematigi şekil 2.16’da gösterilmektedir. Kendi içinde bir pull-up direnci olmasına rağmen yine de bir adet direnç ekledik.



ai14132d

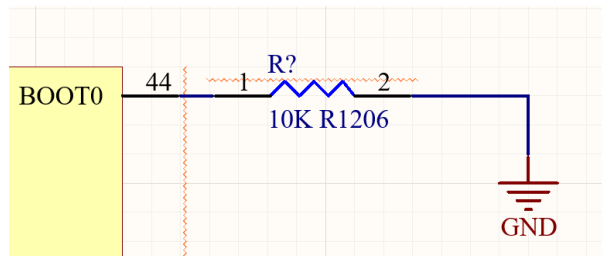
Şekil 2.16. NRST pin bağlantısı

Aşağıda çizim programımızda NRST pininin şematiğe uygun haline getirilmesi ve mikrodenetleyiciye bağlantı için uygun görülen çizim verilmiştir.



Şekil 2.17. NRST pin bağlantısı

Böylelikle NRST pinimizin şematik çizimi tamamlanmış oldu. Sırada BOOT pininin kullanılabilmesi için şematiğinin hazırlanması gerekmektedir. BOOT pini, işlemciye güç verildiğinde belleğin hangi bölgesini okuyacağını göstermektedir. Bir direnç ile toprağa çekilerek uygun hale getirilir.



Şekil 2.18. BOOT pin bağlantısı

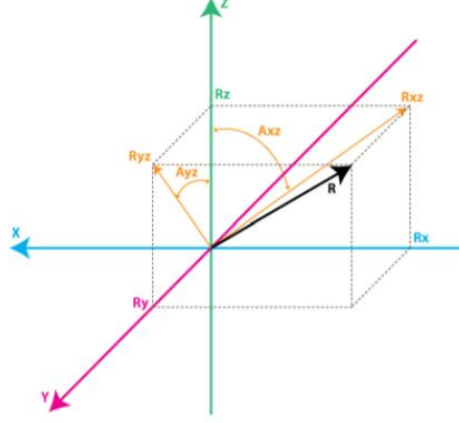
2.7 MPU6050 Sensörü (İvmeölçer – Jiroskop – Sıcaklık)

MPU6050 sensörü, çeşitli hobi ve robotik projelerinde özellikle denge robotlarında ve hava araçlarında sıklıkla kullanılan üzerinde 3 eksenli bir gyro ve 3 eksenli bir ivmeölçer bulunduran 6 eksenli bir IMU sensör kartıdır. Kart 12C protokolünü desteklediğinden üzerindeki pinler standart 12C pinleridir ve çevresel birimlerin standart 12C pinlerine takılmalıdır. Kart üzerinde voltaj regülatörü bulunduğundan 3 ile 5V arası bir besleme voltajı ile çalıştırılabilir. Her ekseninde 16 bitlik bir çözünürlükte çıkış verebilmektedir. Pinler arası boşluk standart olarak ayarlandığı için breadboard veya farklı devre kartlarında kullanılabilir.

Jiroskoplar basitçe bir tekerleğin eksenini etrafında hızlıca döndürülmesi sonucu ortaya çıkar. Tekerleğin etrafındaki çembere dik açıyla kenetlenmiş başka bir çember ve bu çemberlere dik açıyla tutturulmuş başka bir çember jiroskobu modeller. Jiroskobun öne çıkan iki özelliği vardır. Yatay ekseninde dönmekte olan jiroskoba birden yatay eksen doğrultusunda bir kuvvet uyguladığımızda yatay eksen etrafında dönmek yerine eksen etrafında dönmeye başlar. Diğer bir özelliği ise jiroskobun dönmeye başladığı eksenin jiroskobun durduğu yüzey ne açıyla oynatılırsa oynatılsın jiroskobun dönüş eksenini sabit kalır. Bu özelliğinden dolayı uyduların sürekli olarak dünyaya dönük kalması, uçaklarda ve çeşitli araçlarda yapay ufuk oluşturulması ve otopilot gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

Piyasada bütünleşmiş devre olarak satılan modelleri rahatlıkla bulunmaktadır. İvmeölçerlerde olduğu gibi bir, iki veya üç ekseninde ölçüm yapabilen modelleri vardır ve saniyede dönüş hızı ölçümüne göre değerlendirilmektedirler. Bu hızların üzerindeki dönüşler sonucu sensör çıkışları anlamsız olabilmektedir. Aşağıda 3 eksenli bir jiroskop için ölçüm hesabını veren şekil gösterilmektedir.

3 eksenli bir jiroskopun çalışma prensibini anlamak için şekil 2.19’da bir görsel verilmiştir.



Şekil 2.19 Jiroskop düzlemleri

İki eksenli (X,Y) gyro kullandığımızı düşünelim. Burada R vektörünün XZ uzayındaki izdüşümü Rxz, YZ uzayındaki izdüşümü Ryz vektörü ile ifade edilmektedir. Bu vektörleri pisagor teoreminden

$$R_{xz}^2 = R_x^2 + R_z^2$$

$$R_{yz}^2 = R_y^2 + R_z^2 \text{ olarak hesaplayabiliriz.}$$

Vektörlerin Z eksenine ile yapmış olduğu açılar ise Axz ve Ayz’dır. Sistemi Y eksenine etrafında döndürdüğümüzde Axy açısı, X eksenine etrafında döndürdüğümüzde ise Ayz açısı değişecektir. Jiroskopun dönüş hızını ölçtüğünü söylemiştik. Dönüş hızını zaman ile çarparsak dönüş açısını elde etmiş oluruz. to anındaki açımızın Axz0 olduğunu ve t1 anındaki açımızın Axz1 olduğunu düşünelim. O halde dönüş açımız $(Axz1 - Axz0) = RateAxz * (t1 - t0)$ ile ifade edilir.

Sensörden alacağımız değerleri dönüş hızına çevirmek içinse aşağıdaki formülleri kullanabiliriz.

$$RateAxz = (AdcGyroXZ * Vref / 1023 - VzeroRate) / Sensitivity$$

$$RateAyz = (AdcGyroYZ * Vref / 1023 - VzeroRate) / Sensitivity$$

Jiroskop, cep telefonu, tablet vb. teknolojik cihazlarda entegre halinde bulunur ve uygulamalarda, oyunlarda, 3 boyutlu yazılımlarda çok kullandığımız bir sistemdir. Cep telefonlarında sağa sola çevirerek yönlendirme yaptığımız araba yarışları, oyun konsollarında, fotoğraf çekimlerinde kamera hassasiyeti ayarlama ve navigasyon gibi uygulamalarda kullanılır.

Jiroskop sensörü, açısal hızı algılayabilen bir sistemdir. Yani sabit duran cismin, üç dikey ekseninde açısal oranlar karşılaştırılarak dönüş hızı ve yönü belirlenir. Algıladığı verileri işlemci sayesinde işleyerek elektriksel sinyale çevirir. Jiroskop, yön ölçümü veya ayarlama için kullanılan, açısal dengenin korunması ilkesiyle çalışır. Jiroskop hareketin temeli fizik kurallarına ve merkezkaç ilkesine dayalıdır. Jiroskop sensörü ivmeölçere benzer ama aralarında büyük bir fark vardır: İvmeölçer cihazın ivmesini ölçerken, jiroskop 3 koordinatın (X, Y, Z) dönüş hızını ölçmektedir. İvmeölçerde tek bir koordinat üzerinden ivme ölçülürken jiroskopta üç koordinata göre dönüş hızı ölçümü yapılır. Jiroskopların belirli bir ölçüm aralığı vardır. Sapmaların önlenmesi için kalibrasyon yapılmalıdır. Sıcaklıktan etkilenirler, -40 ile +70 derece arası sıcaklıkta çalışırlar.

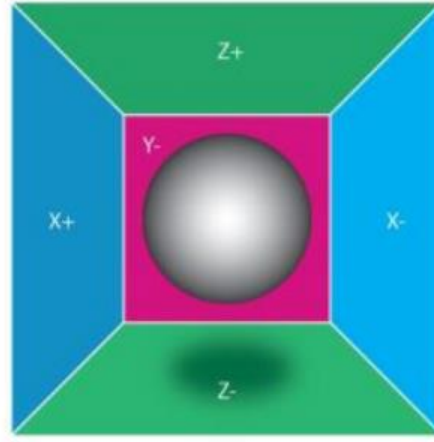
Jiroskoplar bugün uçaklarda otomatik kontrol ve rota tespitinde, gemilerde manyetik pusula yerine, yer altı maden kaynaklarında, savunma sanayinde füzelerin hassas olarak ölçümlerinde, uzay çalışmalarında uyduların dünyaya olan konumlarının doğruluğunu belirlemede jiroskoplardan yararlanır.

İvmeölçerler üzerlerine düşen statik (yer çekimi) ve dinamik (aniden hızlanma veya durma) ivmeyi ölçmektedirler. Sensörden aldığımız değer m/s^2 veya yerçekimi türünden ifade edilebilir. Uygulamalarda genelde yerçekimi türünden ifade edilmektedir. Eğer uzayda veya herhangi bir çekim alanının kapsamında değilseniz sensör üzerine 1g'lık bir çekim alanı etki etmektedir. Buda $9.8 m/s^2$ 'dir ve bulunan noktaya göre değişiklik gösterebilmektedir.

Sensör sürekli olarak yerçekimi etkisi altında kaldığından eğimölçer (yeni nesil akıllı cep telefonlarında kullanılmaktadır ve telefonun yatay ve dikey durumuna göre ekran değişmektedir) veya hareket algılayıcı (wii gibi ürünlerde elinizi salladığınızda oyundaki karakterlerde benzeri bir hareket yapar) olarak

kullanılabilmektedir. Ölçü skalası olarak $\pm 1, \pm 2, \pm 4 \dots$ gibi ifade edilmektedir ve bir, iki, üç değerler ile eksende ölçüm yapabilen türleri vardır.

Çalışma prensibini anlamak için, ilk olarak uzayda olduğumuzu düşünelim. Yerçekimi ve ağırlığımız 0'dır. Önümüzde bir kutu ve kutunun ortasında da bir küre olduğunu düşünelim. Herhangi bir çekim etkisi olmadığından küre herhangi bir yüzeye temas etmeden hareketsiz bir şekilde durmaktadır. Kürenin hareketini görebilmek için kutunun +Y yönünde kalan yüzeyini kesip atalım.



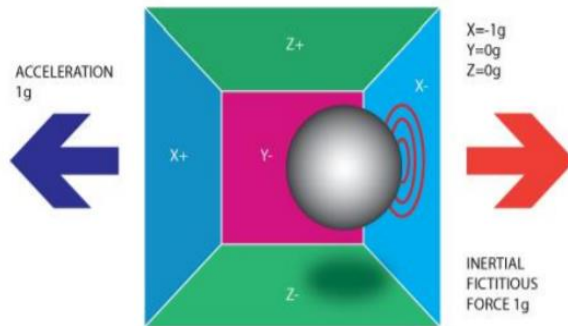
Şekil 2.20. Kutunun +Y eksenini kesilmiş hali

$$X=0g$$

$$Y=0g$$

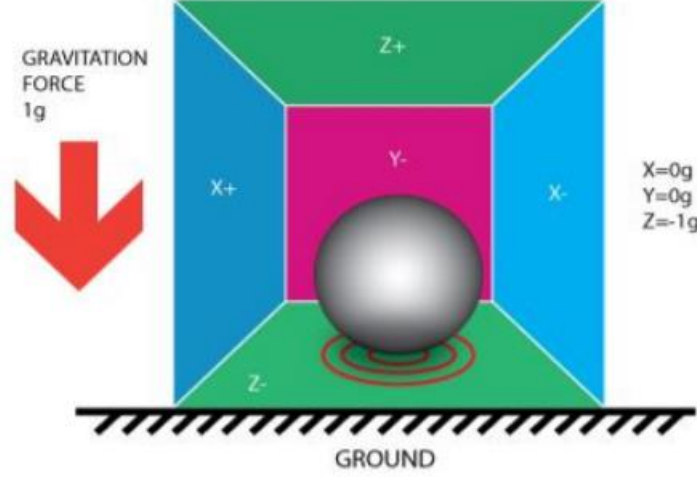
$$Z=0g$$

Kutuyu elimizde tutup +X yönünde 1g kuvveti ile hızlandırdığımızda küre kutunun -X yüzeyine eylemsizlikten dolayı 1g lik kuvvet uygulayacaktır.



Şekil 2.21. Eylemsizlik yasası

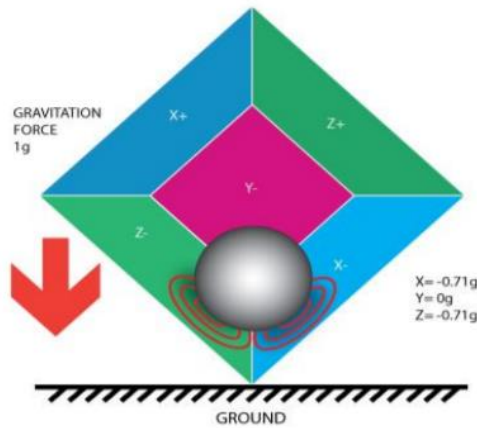
Kutuyu alıp dünyaya dönelim. Kutuyu yere koyduğumuzda dünyanın $1g$ 'lik yerçekiminden dolayı küre $-Z$ yüzeyine $1g$ kuvvet uygular.



Şekil 2.22. Cismin dünyadaki hali

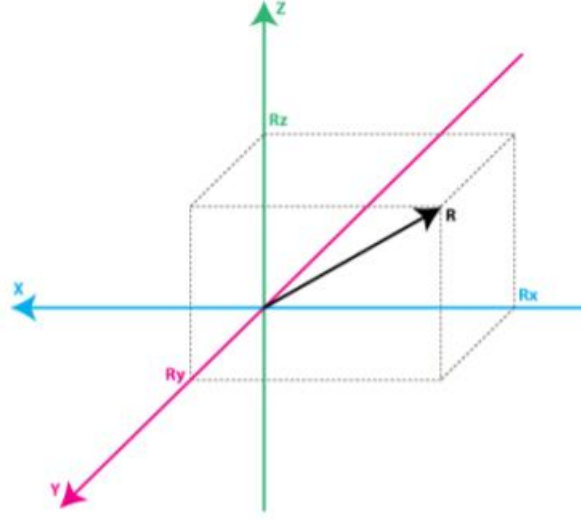
İvmeölçerlerde benzer şekilde çalışmaktadır. Yüzeyleri basınca veya manyetik alana tepki verecek şekilde yapılmaktadır ve ivmeölçerlerde bu tepkiyi ölçerek bize bir değer vermektedir. Sensörün yeryüze ile yaptığı açı değiştiğinde sensörün eksenlerine uygulanan kuvvet değişecektir ve bizde yeni değerleri okuyarak yeryüzü ile olan açıyı trigonometri ile hesaplarız.

Örneğin kutuyu 45 derece sağa çevirirsek bu durumda kürenin $-X$ ve $-Z$ yüzeylerine kök içinde $\frac{1}{2}$ 'lik bir kuvvet uygulanır. O da $0,707g$ 'ye eşittir.



Şekil 2.23. 45 derece için değer

Koordinat sistemi modeline geçerseniz;



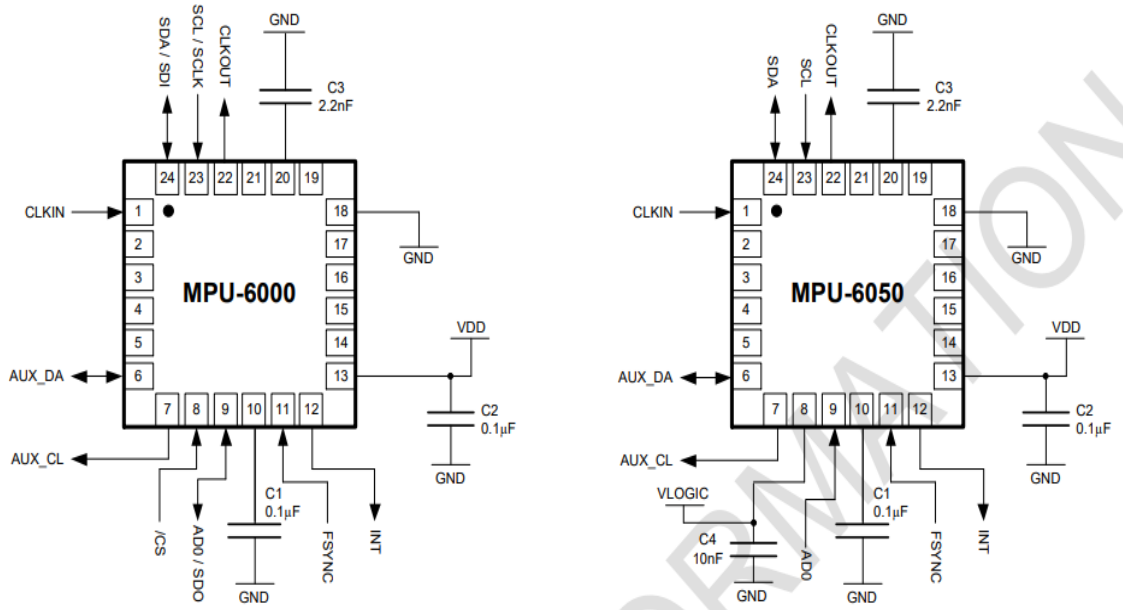
Şekil 2.24. Koordinat düzlemi

Burada R vektörü ivmeölçerimiz üzerine düşen kuvvet vektörü olsun. Bu kuvvet demin anlatıldığı gibi yerçekimi ve sensörün hareketi sonucu yerçekimi kuvveti ile eylemsizlik kuvvetinin bileşkesi olabilir. R vektörünün 3 bileşeni vardır ve $R = [R_x, R_y, R_z]$ şeklinde ifade edilir. Pisagor teoreminden R vektörünü bu bileşenlerden şu şekilde hesaplanır;

$$R^2 = R_x^2 + R_y^2 + R_z^2$$

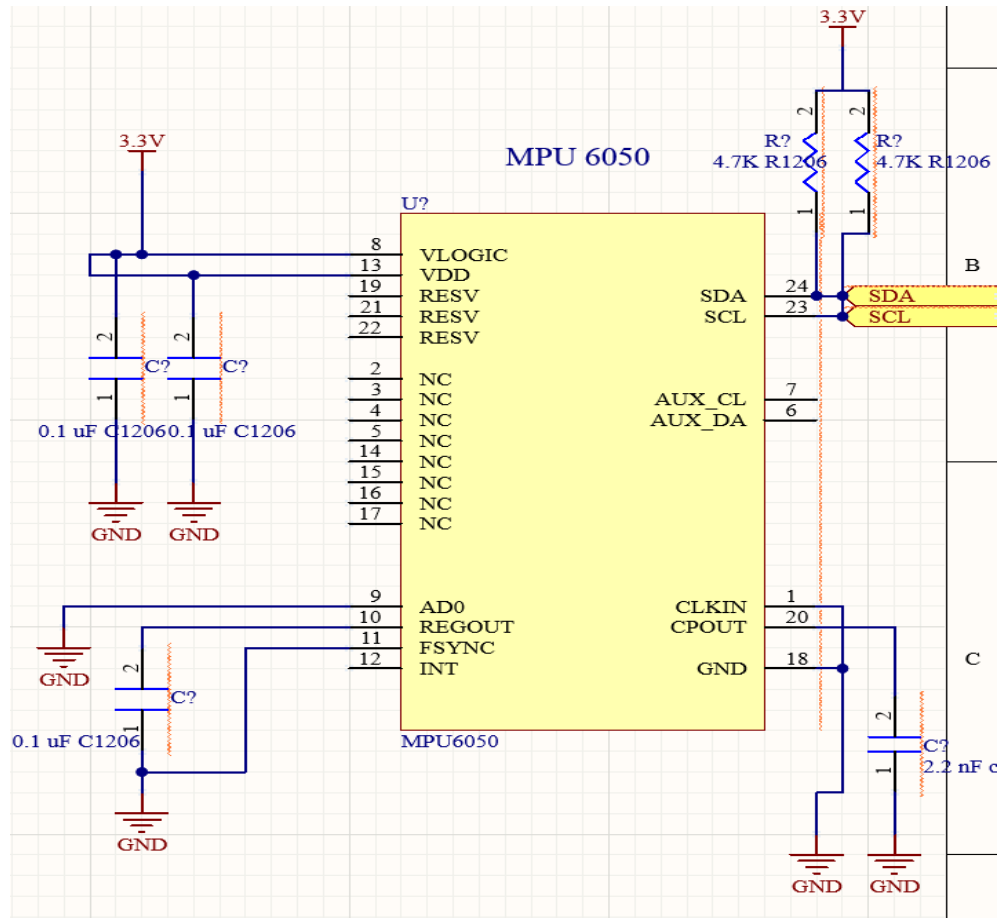
R_x , R_y ve R_z bileşenlerini bildiğimiz takdirde şekilden de görüldüğü gibi trigonometrik fonksiyonlar yardımı ile R vektörünün X ve Y eksenleri ile yaptığı açıları hesaplayıp sensörümüzün yeryüzüne göre konumunu bulabiliriz. R vektörünün bileşenlerini de bize ivmeölçer g kuvveti türünden vermektedir. Böylelikle ivmeölçer çalışma prensibi ve jiroskop çalışma prensibi açıklanmıştır.

MPU6050 sensörünün veri sayfalarından alınan uygulama devre şematiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.25. Tipik uygulama devre şeması

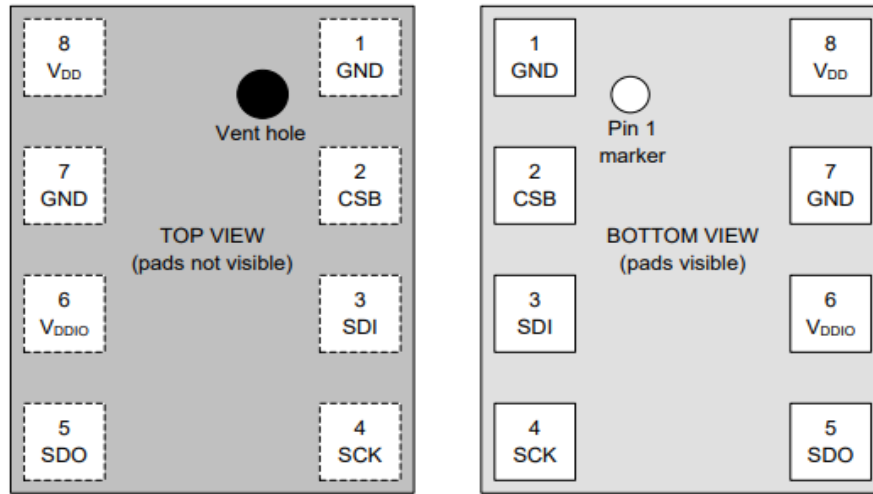
Aşağıdaki şekilde MPU 6050 sensörünün veri sayfalarından hareketle çizilen şematığı verilmiştir.



Şekil 2.26. MPU 6050 şematik çizimi

2.8 BMP280 Sensörü (Dijital Basınç Sensörü)

BMP280, Bosch'un yüksek EMC sağlamlığı, yüksek doğruluk ve doğrusallık ve uzun vadeli kararlılık sunan kanıtlanmış Piezo dirençli basınç sensörü teknolojisine dayanmaktadır. BMP280, özellikle mobil uygulamalar için tasarlanmış mutlak bir barometrik basınç sensörüdür. Sensör modülü, yalnızca $2,0 \times 2,5 \text{ mm}^2$ ayak izine ve 0,95 mm paket yüksekliğine sahip son derece kompakt 8 pimli metal kapaklı bir LGA paketinin içine yerleştirilmiştir. Küçük boyutları ve $2,7 \mu\text{A} @ 1\text{Hz}$ 'lik düşük güç tüketimi, cep telefonları, GPS modülleri veya saatler gibi pille çalışan cihazlarda uygulamaya izin verir. Yaygın olarak benimsenen BMP180'in halefi olan BMP280, hassas basınç ölçümü gerektiren tüm uygulamalarda yüksek performans sunar. BMP280, daha düşük gürültüde çalışır, yeni filtre modlarını ve BMP180'den %63 daha küçük bir kaplama alanı dahilinde bir SPI arayüzünü destekler. Aşağıda BMP280 basınç sensörünün pin bağlantı şematiği gösterilmektedir.

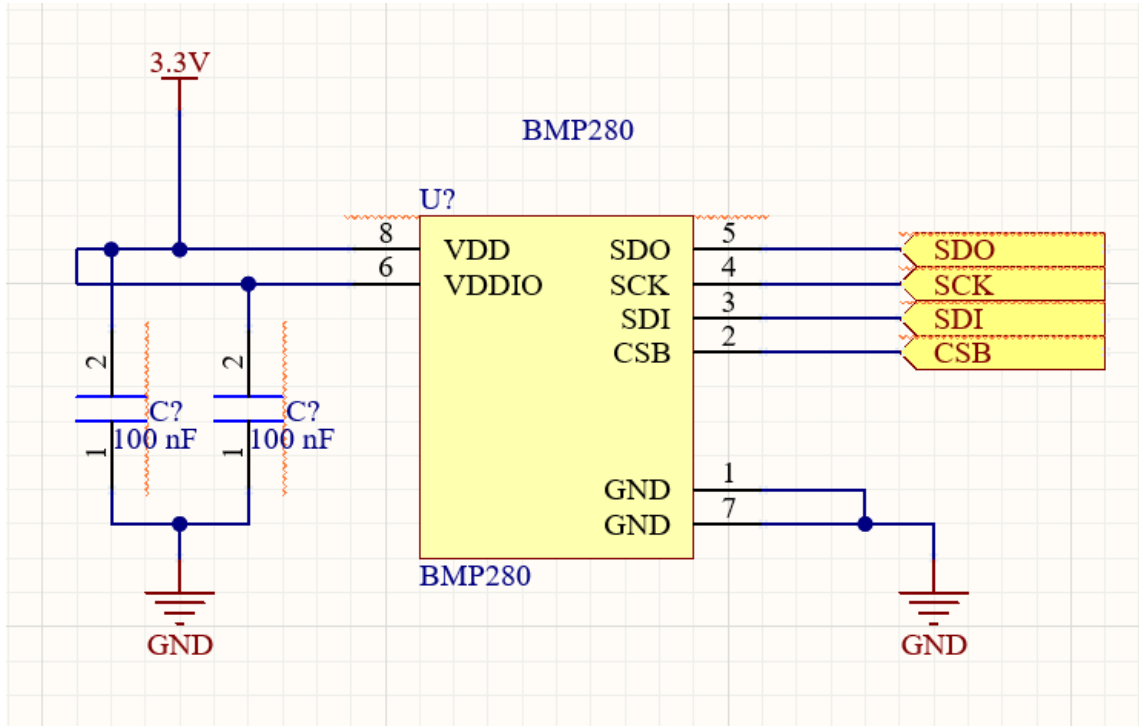


Şekil 2.27. Üst ve alt görünümde pin bağlantıları

Şimdi de sırada pin bağlantılarının tanımlama kısmını gösteren bağlantı tablosu aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

Pin	Name	I/O Type	Description	Connect to		
				SPI 4W	SPI 3W	PC
1	GND	Supply	Ground	GND		
2	CSB	In	Chip select	CSB	CSB	V _{DDIO}
3	SDI	In/Out	Serial data input	SDI	SDI/SDO	SDA
4	SCK	In	Serial clock input	SCK	SCK	SCL
5	SDO	In/Out	Serial data output	SDO	DNC	GND for default address
6	V _{DDIO}	Supply	Digital interface supply	V _{DDIO}		
7	GND	Supply	Ground	GND		
8	V _{DD}	Supply	Analog supply	V _{DD}		

Şekil 2.28. Pin tanımlamaları



Şekil 2.29. BMP280 Basınç sensörü şematik çizimi

BMP280 basınç sensörü hem I2C hem de SPI haberleşme protokollerini destekler. Biz bu projemizde dört kanallı SPI haberleşme protokolünün tercih ettik. Sensör sıcaklık verilerini de hesaplama yeteneğine sahiptir.

2.9 STM Programlayıcı Tasarımı

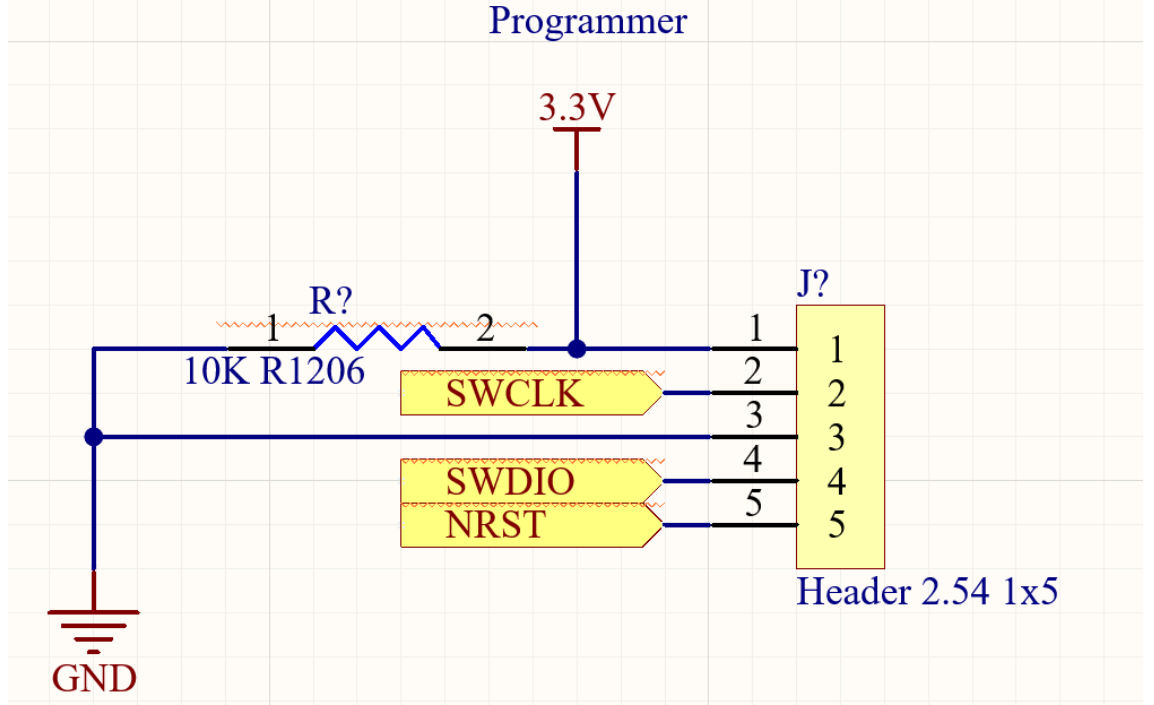
STM pinleri, programlayıcı için iki tane pin bulundurur. Bunlar; SWDIO ve SWCLK pinleridir.



Şekil 2.30 ST-LINK-V2 programlayıcı

Şekilde gösterilen programlayıcının 2x5 tipinde girişleri olduğu görülmektedir. Projemizde 1x5'lik bir başlık (header) kullanırsak ihtiyacımız olan pin miktarını karşılamış oluruz. Kullanacağımız pinler SWDIO, SWCLK, GND, 3.3V, RST pinleridir.

Başlangıçta program atmadığımızda çalışmasın istiyoruz bunun için 3.3V'luk girişin önüne bir pull-down direnci koyuyoruz.



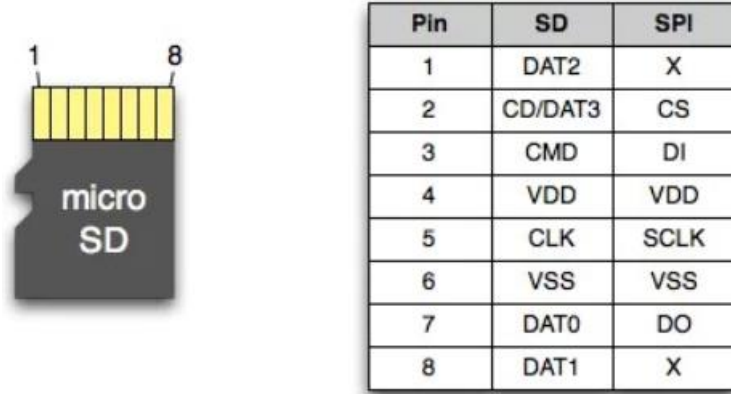
Şekil 2.31 Programlayıcı şematiği

2.10 MICRO SD Kart Tasarımı

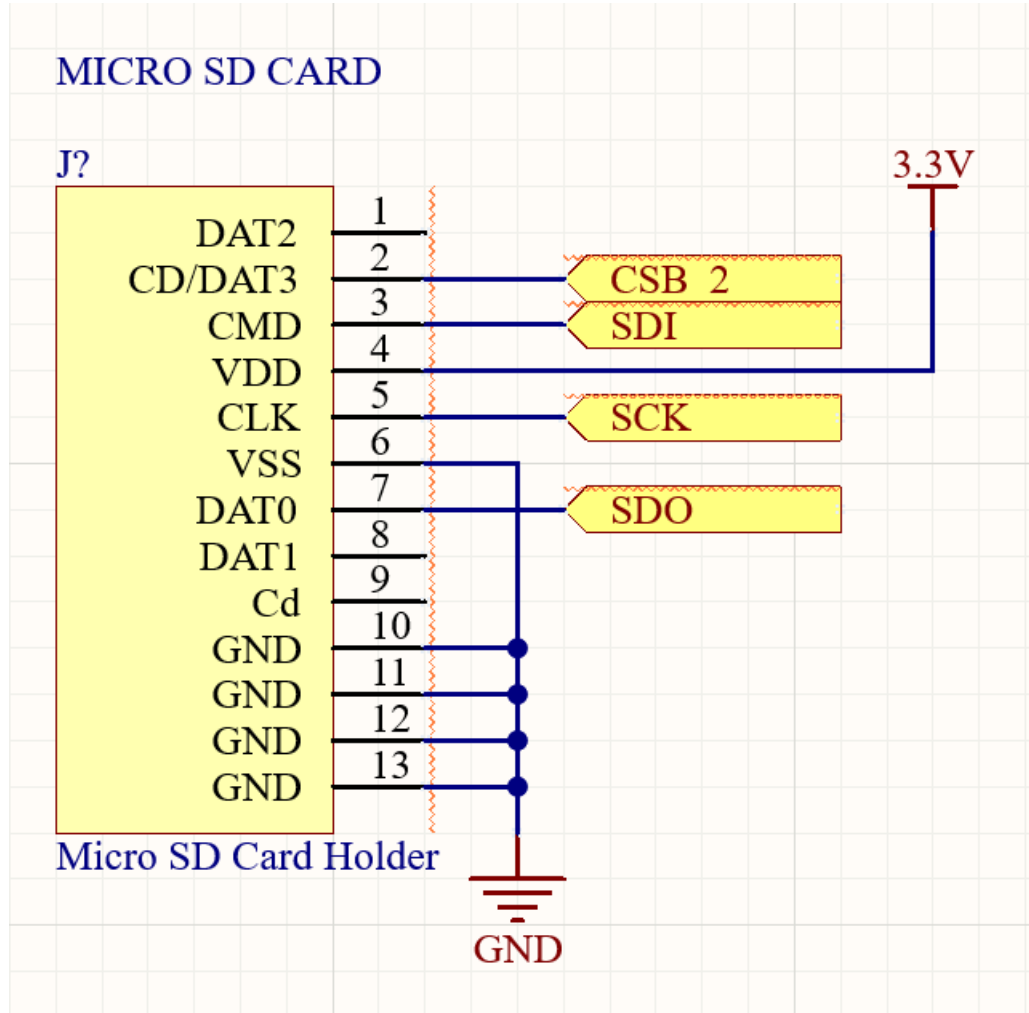
SD kartlar günümüzde oldukça yaygınlaşmış bir veri depolama aracıdır. Bir çok türü vardır. MicroSD, miniSD vb. tipleri mevcuttur. Küçük oluşları ve az enerji harcayarak çok işlem yapmaları SD kartları oldukça avantajlı hale getirmektedir. SD kartlar farklı özelliklerde farklı kapasitelerde ve farklı markalarda bulunabilir ancak marka farklı olsa da sistem daima aynıdır. SD kartlar iki tip modda çalıştırılabilir. SPI mod (seri mod) ve SD mod (paralel mod) olmak üzere iki çeşit çalışma moduna sahiptir. SD kartlar mutlaka 3.3V ile beslenmelidir aksi halde bozulurlar.

Bu projede SPI modu kullanılmaktadır dolayısıyla tasarımı bu planda gerçekleştirilecektir.

Aşağıda SD kartın pin tanımlamalarını gösteren şematik verilmiştir.

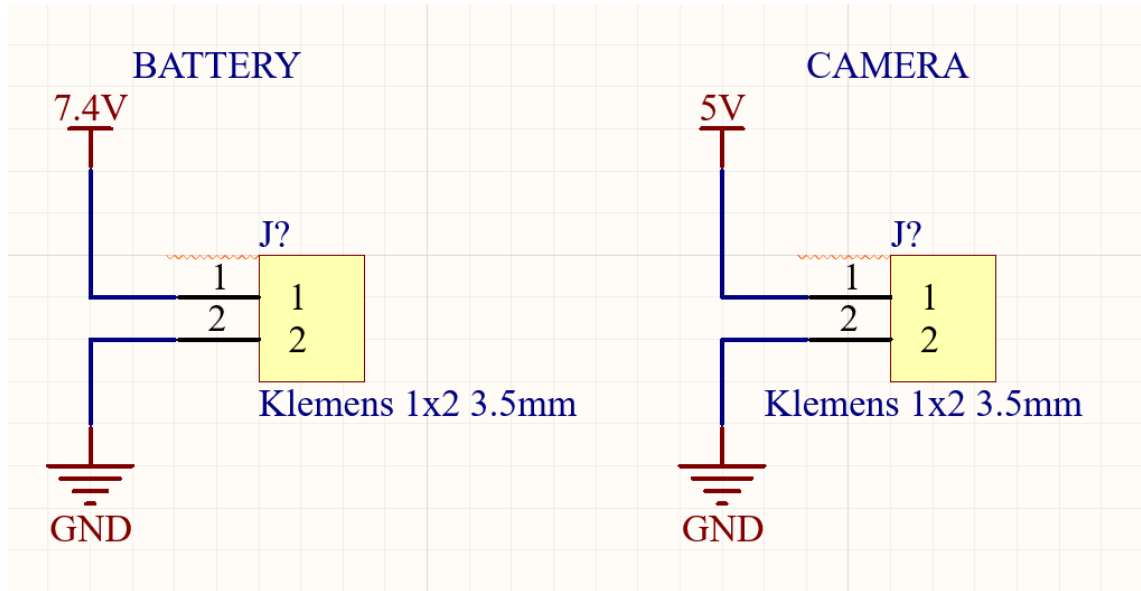


Şekil 2.32 SD kart pin tanımlamaları



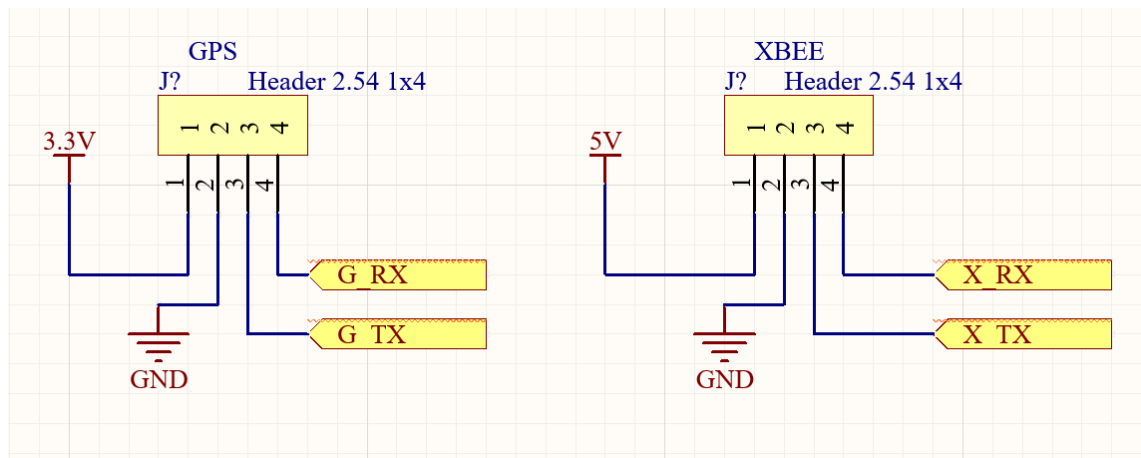
Şekil 2.33 SD kart şematığı

Projenin bundan sonraki aşamasında GPS ve kamera arayüzleri arasındaki bağlantıları sağlamak için 2 adet 1x4 tipinde başlık (header) kullanmamız gerekir. Tasarımımıza ait şematik görüntüsü aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 2.34 Kamera ve batarya bağlantı şematığı

Yukarıdaki şekillerde güvenli bağlantıyı sağlamak için klemens kullanımının batarya ve kamera için uygulaması görülmektedir. Bunlara ek olarak aşağıdaki bağlantıların da yapılması gerekmektedir.



Şekil 2.35 GPS ve XBEE bağlantı şeması

Xbee kablosuz haberleşme teknolojisini kullanan bir haberleşme modülüdür. Alıcı verici mantığıyla çalışmakla beraber ağ (mesh) yapısı kullanarak da haberleşme yapabilirler.

Buraya kadar yapılan çalışmalardan hareketle her bir parçanın özelliği ve nasıl kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Bu aşamadan sonra tüm şematik tasarımların birleştirilmesi ve bunların birbiri ile bağlantıları tanımlanmıştır. Aşağıda belirtilen mikro denetleyici temelli tasarım görselleri verilmiştir. Proje çeşitli versiyonlardan meydana gelmiştir böylelikle hem tasarım geliştirilmeye devam edecek hem de hataların tespit edilmesi ve düzeltilmesi sağlanacaktır.

Projenin diğer bir tasarım çalışmasında STM32F405 işlemcisi kullanılmıştır. Bu mikro denetleyicinin özellikleri arasında, ARM Cortex-M4 temelli, 32 bit, 1 Mb Flash bellek, 4 Kb RAM, 168 MHz'e kadar olan saat frekansı, hafıza koruma birimi, dijital sinyal işleme birimine sahip olması, 1.8V'den 3.6V'ya kadar olan çalışma gerilimi, 4 MHz'den 26 MHz'e kadar kristal osilatör, düşük güç tüketim modlarına(uyku, bekleme, durdurma) sahip olması, 3 x I2C arayüzüne sahip olması, 3 x SPI arayüzüne sahip olması, 4 x UART arayüzüne sahip olması, 2 x CAN arayüzüne sahip olması gibi vb. özelliklere sahiptir. Mikro denetleyiciye ait şema aşağıda gösterilmektedir.



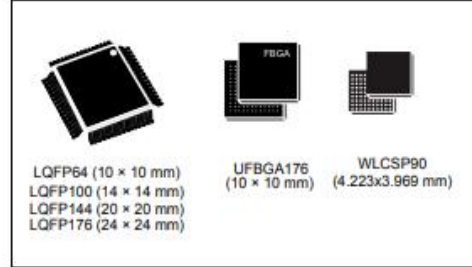
STM32F405xx STM32F407xx

Arm® Cortex®-M4 32b MCU+FPU, 210DMIPS, up to 1MB Flash/192+4KB RAM, USB OTG HS/FS, Ethernet, 17 TIMs, 3 ADCs, 15 comm. interfaces & camera

Datasheet - production data

Features

- Core: Arm® 32-bit Cortex®-M4 CPU with FPU, Adaptive real-time accelerator (ART Accelerator) allowing 0-wait state execution from Flash memory, frequency up to 168 MHz, memory protection unit, 210 DMIPS/1.25 DMIPS/MHz (Dhystone 2.1), and DSP instructions
- Memories
 - Up to 1 Mbyte of Flash memory
 - Up to 192+4 Kbytes of SRAM including 64-Kbyte of CCM (core coupled memory) data RAM
 - 512 bytes of OTP memory
 - Flexible static memory controller supporting Compact Flash, SRAM, PSRAM, NOR and NAND memories
- LCD parallel interface, 8080/6800 modes
- Clock, reset and supply management
 - 1.8 V to 3.6 V application supply and I/Os
 - POR, PDR, PVD and BOR
 - 4-to-26 MHz crystal oscillator
 - Internal 16 MHz factory-trimmed RC (1% accuracy)
 - 32 kHz oscillator for RTC with calibration
 - Internal 32 kHz RC with calibration
- Low-power operation
 - Sleep, Stop and Standby modes
 - V_{BAT} supply for RTC, 20×32 bit backup registers + optional 4 KB backup SRAM
- 3×12-bit, 2.4 MSPS A/D converters: up to 24 channels and 7.2 MSPS in triple interleaved mode
- 2×12-bit D/A converters
- General-purpose DMA: 16-stream DMA controller with FIFOs and burst support
- Up to 17 timers: up to twelve 16-bit and two 32-bit timers up to 168 MHz, each with up to 4 IC/OC/PWM or pulse counter and quadrature (incremental) encoder input
- Debug mode
 - Serial wire debug (SWD) & JTAG interfaces
 - Cortex-M4 Embedded Trace Macrocell™
- Up to 140 I/O ports with interrupt capability
 - Up to 136 fast I/Os up to 84 MHz
 - Up to 138 5 V-tolerant I/Os
- Up to 15 communication interfaces
 - Up to 3 × I²C interfaces (SMBus/PMBus)
 - Up to 4 USARTs/2 UARTs (10.5 Mbit/s, ISO 7816 interface, LIN, IrDA, modem control)
 - Up to 3 SPIs (42 Mbit/s), 2 with muxed full-duplex I²S to achieve audio class accuracy via internal audio PLL or external clock
 - 2 × CAN interfaces (2.0B Active)
 - SDIO interface
- Advanced connectivity
 - USB 2.0 full-speed device/host/OTG controller with on-chip PHY
 - USB 2.0 high-speed/full-speed device/host/OTG controller with dedicated DMA, on-chip full-speed PHY and ULPI
 - 10/100 Ethernet MAC with dedicated DMA: supports IEEE 1588v2 hardware, MII/RMII



Şekil 2.36. STM32F405 mikro denetleyicinin özellikleri

Yukarıdaki verilen mikro denetleyicide özellikler listelenmiş olup yeni tasarımıımız daha kompleks ve daha fonksiyonelli bir yapıya dönüşmüştür.

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Projemizde kullanılan kaynaklar için ilk olarak, tasarım ortamı olarak seçilen Altium Designer için çeşitli internet sitelerinde gösterilen kılavuz ve videolardır. Bunun için Altium Designer’ın resmi internet site ve video içeriklerinden faydalanılmıştır. Malzeme listesi hazırlanırken seçilen komponentlerin veri sayfaları tasarımımız için ikincil kaynak olmuştur. Bu konuda üniversite düzeyinde yapılmış makalelerden de faydalanılmıştır. Projemizin en önemli kısmı mikro denetleyici kısmıdır. Mikro denetleyicinin işlem yetenekleri projenin tasarımındaki en önemli kaynaktır. Bu mikro denetleyicinin kaynağı olarak da STM firmasının resmi internet sitesinden yararlanılmıştır.

Bir donanım tasarımı yapılırken PCB (Printed Circuit Board) üzerine yerleştirilen parçaların manyetik uyumluluk prensiplerine uygun biçimde yerleştirilmesi gerekmektedir. Bunun için çeşitli kitaplardan yararlanılmıştır. Böylelikle yapılan tasarım bir standart yapı haline getirilmiş olup uluslararası şartlara uygun hale getirilmiş olur. Bu kitaplara örnek ise, “Mark, I., M., Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance” kitabı temel alınarak proje oluşturulmuştur. Bir diğer kaynak, “A., Bruce, EMC Control with PCB Design for Working Engineers” yine bir uyumluluk kitabıdır.

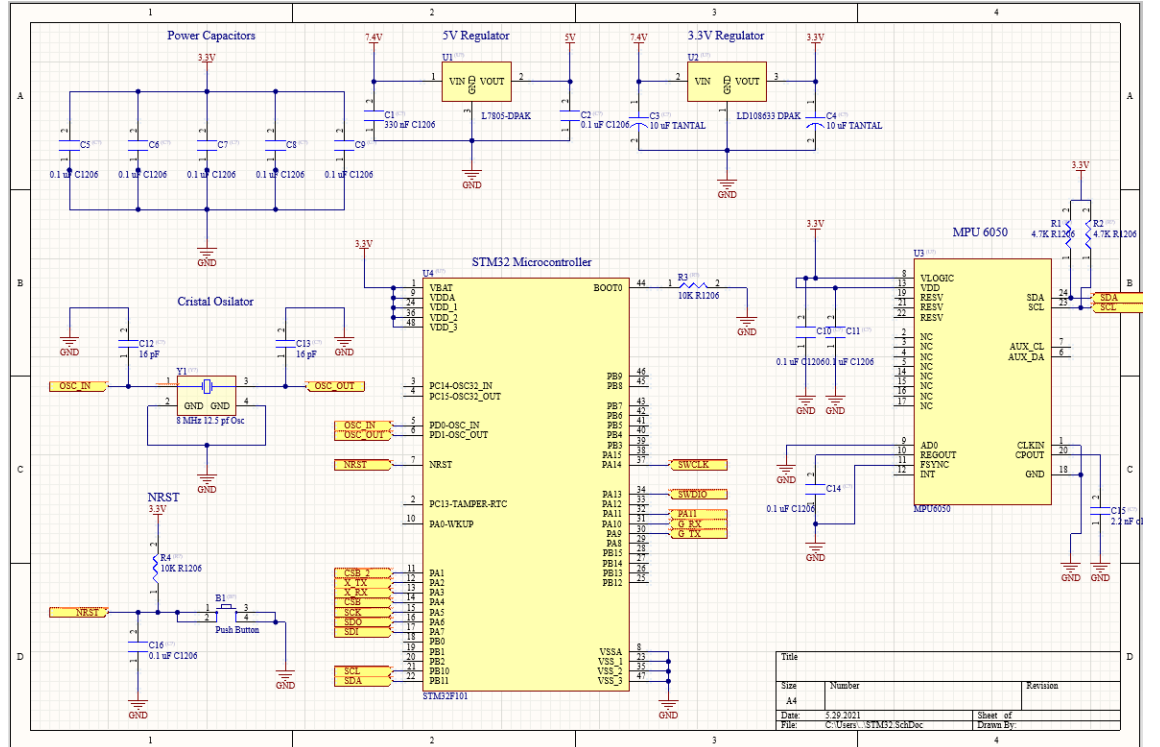
Bu konuda yazılmış makalelere örnek olarak “César A. Perdomo, Julián R. Camargo, Albeiro Cortes Cabezas, On Board Computer Module for Cubesat Compatible with QB50” ve diğer bir makale, “Duaa A. M. Osman, Sondos W. A. Mohamed, Hardware and Software Design of Onboard Computer of ISRASAT1 CubeSat” ve Pieter Johannes Botma, “The Design and Development of an ADCS OBC for a CubeSat” makaleleri projede baz alınan makalelerdir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Projemizde şuna kadar yapılan çalışmalarımızda tasarım için kullanılacak olan malzemelerin isimleri verilmiş ve bu malzemelerin teorik işlevleri anlatılmıştır. Tasarımımızın diğer bir önemli aşaması, çizilmiş ve açıklanmış şematiklerin PCB içinde yollarının belirtilmesi ve bu yolların önemli mekanik prensiplere dayandırılması vardır. Manyetik uyumluluk yasalarının uygulanması ile tasarımımız gerçeğe yakın bir hal almıştır. Uluslararası uyumluluk şartlarına uygun hale getirilmiştir. Projenin tasarımı sürekli geliştirilebilir durumdadır. Farklı varyasyon, malzeme seçimi, çok katlı tasarım teknikleri ile farklılaşma sağlanır. Bundan sonra projemizin son hali aşağıda şekildeki gibi olacaktır. İlk önce şematikteki parçaların isimlerinin otomatik olarak ayarlanması için;

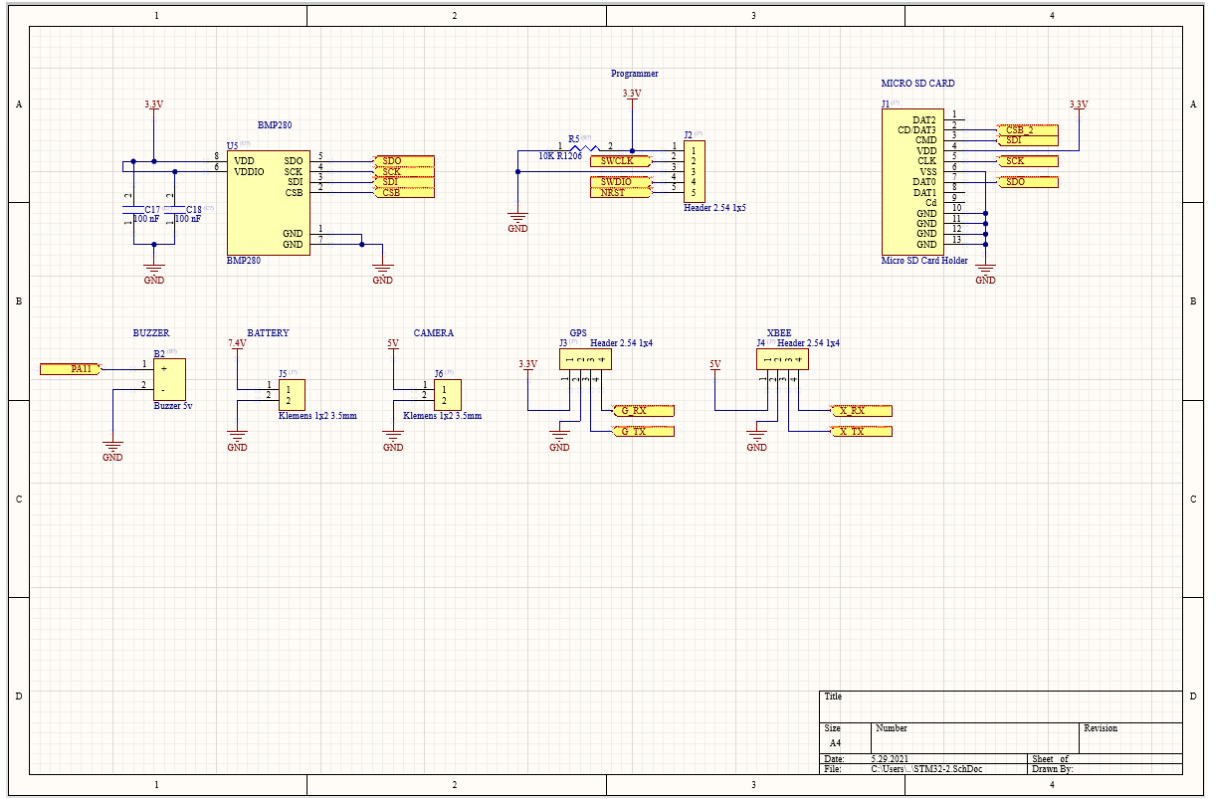
Tools → Annotation → Annotate Schematics → Quietly

yaparak isimlendirme işlemimiz gerçekleşmiş olur.



Şekil 4.1 Komponentlerin şematik dizilimi

Bir diğer şematik ise;



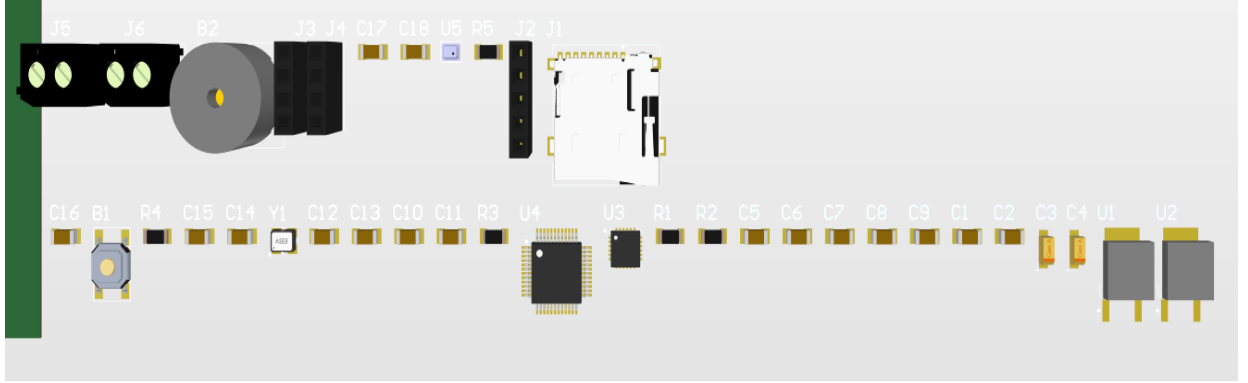
Şekil 4.2 Komponentlerin şematik dizilimi devamı

Bundan sonraki aşamada şematiklerin PCB dizinine aktarılması vardır. Bu işlem için;

Design → Update PCB Document ... → Execute Changes

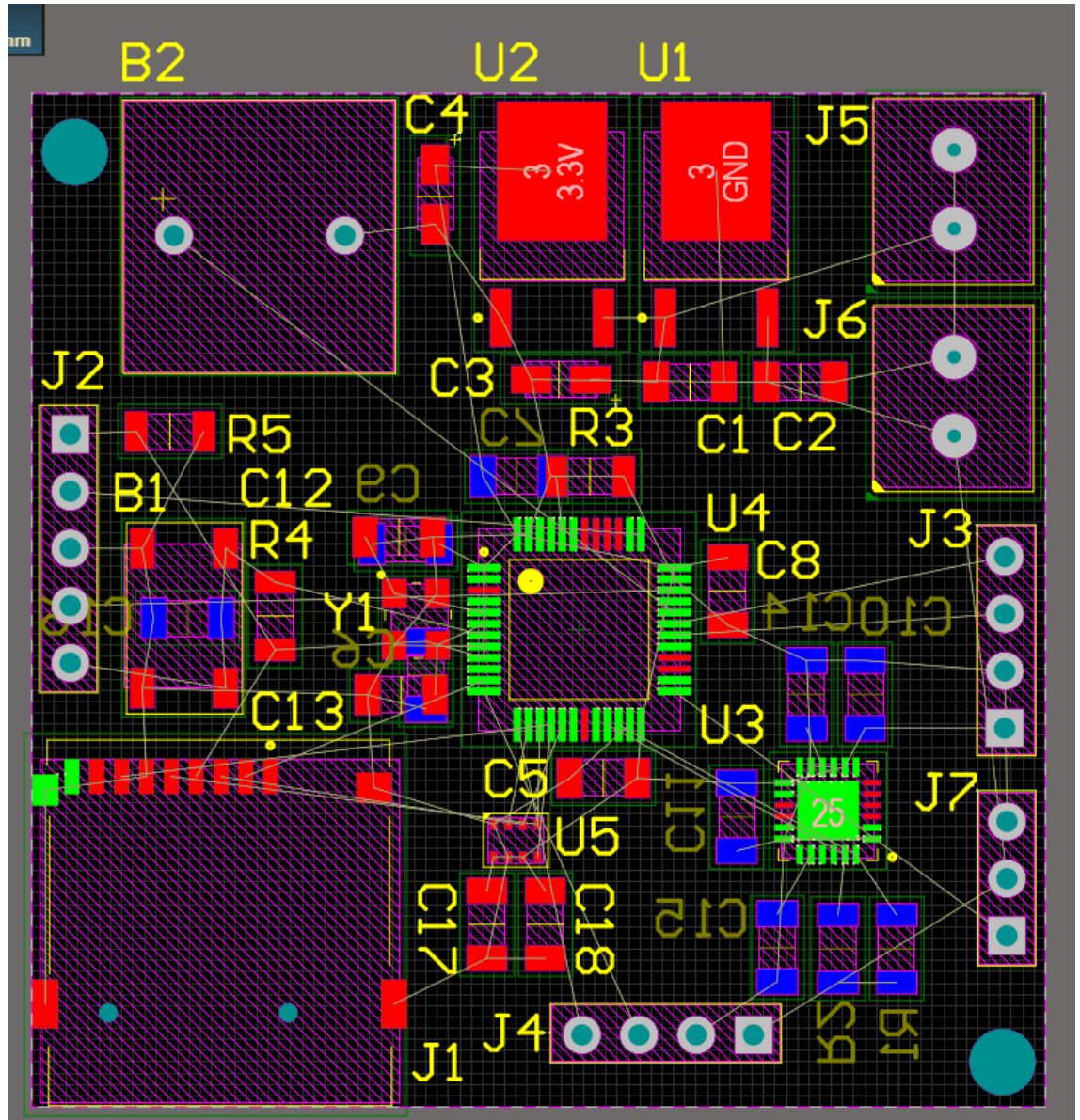
ile komponentlerin PCB'ye aktarılması sağlanır.

Programımızda tüm parçaların eklenmesi başarılı bir şekilde gerçekleşmiştir. Parçalarımızın düzenlenmemiş 3 boyutlu hali aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



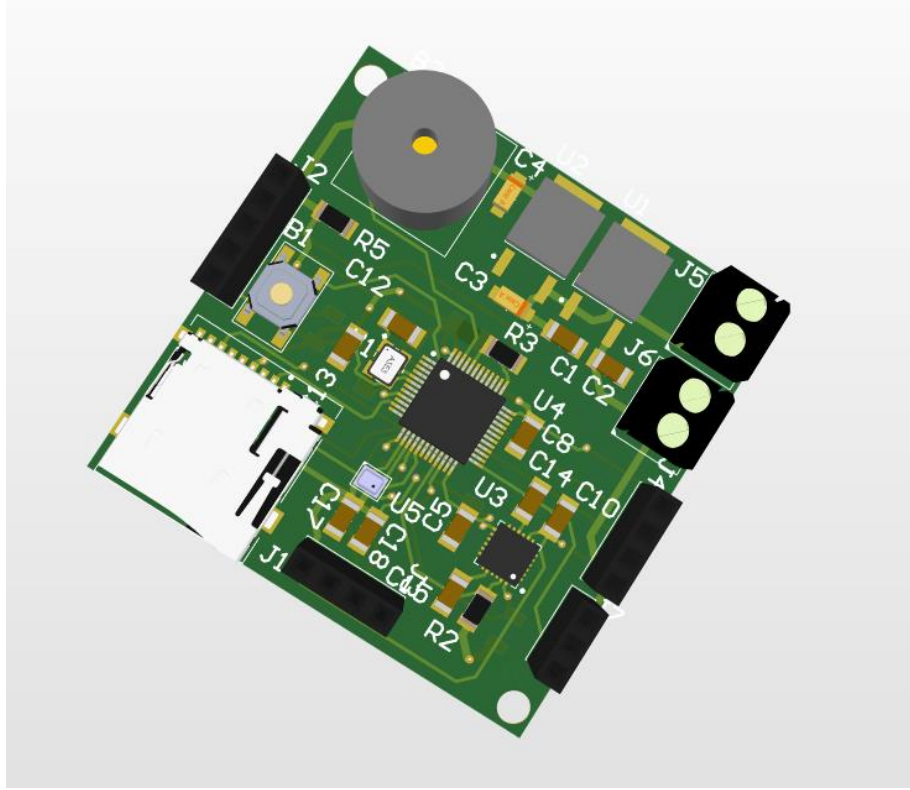
Şekil 4.3 Komponentlerin 3 boyutlu dizilimi

Yolların çizilmeden önceki şematiklerin PCB 2 boyutlu şeması aşağıda verilmiştir.

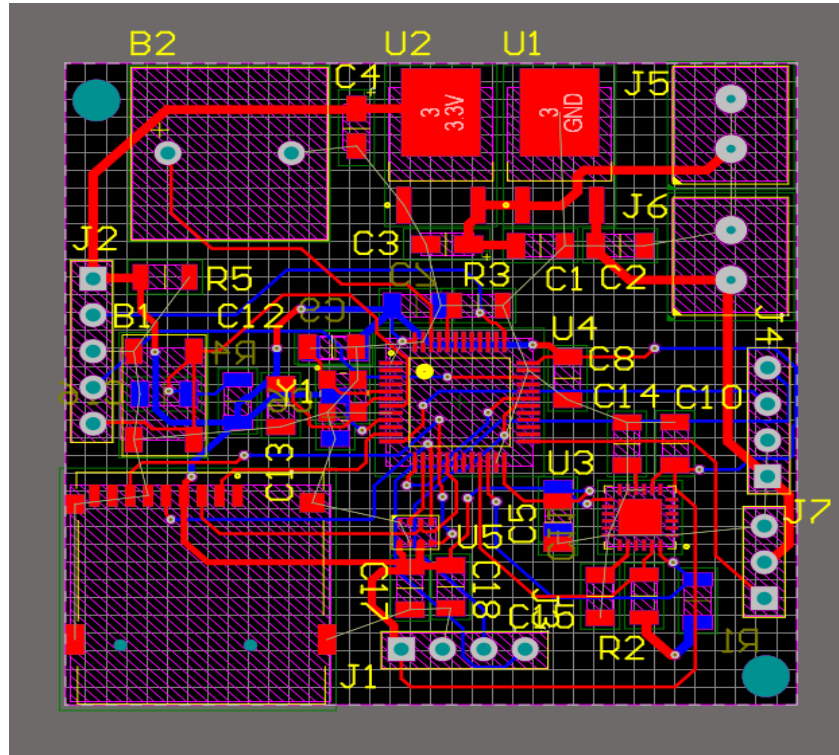


Şekil 4.4 OBC 2 boyutlu tasarım grafiği

PCB boyutumuz 45x45 mm'dir.



Şekil 4.5 OBC üç boyutlu şematiği



Şekil 4.6 OBC iki boyutlu şematiği

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada PCB kartı tasarlanırken uyulması gereken kurallarımız manyetik uyumluluk disiplini altında toplanmıştır. Manyetik uyumluluk bir parçanın ürettiği RF (Radio Frequency) enerjisinin diğer parçalara girişimine neden olabilmesi için yaydığı enerjidir. Bu girişim komponent düzeyinde veya komponentlerin çeşitli kombinasyonlarının birlikteliğinden de meydana gelebilir. Manyetik uyumluluk kurallarının doğru uygulanması tasarımı açısından güvenilirlik, uzun ömürlülük, sağlamlık, stabilite gibi önemli parametrelerinin sağlanması açısından birinci dereceden önem arz eder.

Komponentlerin bir mikro denetleyici etrafında dizilmesi tasarımcının istediği şekilde olabilir fakat mikro denetleyici çoğunlukla PCB'nin orta kısmına yerleştirilir. En basit düzeyde uyumluluk kuralı budur, diğer bir kural ise yüksek frekans içeren yollarının birbirine yakın ve zıt olması kuralıdır. Bir diğeri ise bir kapalı düğünün her zaman en kısa yola sahip olmasıdır çünkü uzun yol yüksek empedans değerine sahip olması demektir.

Projede kullandığımız sensör, kapasite, direnç, mikro denetleyici, gps, alıcı-verici (xbee) parçaların kullanımı ile komponentlerin genel kullanımının öğrenilmesi hem de ileride tasarlayacağımız projelere zemin hazırlaması açısından bu proje tasarımcının kendini geliştirmesi açısından önemlidir.

Proje tasarımcıya bir diğer kazanım, üzerinde çalışılan program hakkında bilgi edinmesinde fayda sağlamıştır. Haberleşme protokollerinin bilinmesi uygulanması açısından kritik bir öneme sahiptir. Tasarımcı için en önemli kaynak komponentlerin veri sayfalarıdır. Veri sayfalarının püf noktalarının incelenmesi tasarımcıya zaman tasarrufu sağlar.

KAYNAKÇA

“César A. Perdomo, Julián R. Camargo, Albeiro Cortes Cabezas, On Board Computer Module for Cubesat Compatible with QB50”

“Duaa A. M. Osman, Sondos W. A. Mohamed, Hardware and Software Design of Onboard Computer of ISRASAT1 CubeSat”

Pieter Johannes Botma, “The Design and Development of an ADCS OBC for a CubeSat”
SPI Block Guide V03.06 (Motorola Inc,21 Ocak 2000)

“Mark, I., M., Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance”

“A., Bruce, EMC Control with PCB Design for Working Engineers”

“P., J., Botma, The Design and Development of an ADCS OBC for a CubeSat”

“M., E., BAS, Küp Uydular için Tümüleşik Uçuş Bilgisayarı ve Haberleşme Sistemi”

URL 1.https://upsat.gr/?page_id=24 (2021)

URL2.<https://www.endurosat.com/cubesat-store/cubesat-obc/onboard-computer-obc/>
(2021)

URL3. <http://www.imtsrl.it/obc-cubesat.html> (2021)

URL4. <https://nanoavionics.com/cubesat-components/cubesat-on-board-computer-main-bus-unit-satbus-3c2/> (2021)

URL5. <https://ast.thk.edu.tr/rising> (2021)

URL6.<https://www.ercankoclar.com/2017/11/sd-kart-sd-mode-ve-fat32-mikroc-kutuphanesi> (2021)

URL7.<http://www.lojikprob.com/embedded/stm32/st-link-v2-stm32-programlayici-rehberi> (2021)

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada PCB tasarım, manyetik uyumluluk yasalarını, veri sayfalarını (data sheet) okumamı ve kullandığım parçaların çalışma mantığını öğrenmeme vesile olan Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman Günday öğretmenime,

PCB kartını tasarlamak için kullandığım Altium şirketine,
Çok teşekkür ederim.

8.ÖZGEÇMİŞ

8.1 Ahmed Melih Ulusoy

1995 yılında Malatya’da dünyaya gelmiştir. İlk ve orta öğrenimini Malatya Mehmet Emin Bitlis İlköğretim okulunda tamamlamıştır. Liseyi Kernek Anadolu Lisesinde okumuştur. 2015 yılında Uludağ Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği kazanmıştır. Şu an Uludağ Üniversitesi öğrencisi olarak aktif eğitim hayatına devam etmektedir.