

İÇİNDEKİLER

1 GİRİŞ	1
Gömülü Sistemler (Embedded Systems)	1
Kitap Hakkında	2
Kitap Kimler İçin?	2
Kitabı Takip Edebilmek İçin Gerekenler	3
Kitabın İçeriği ve Uygulamaları	4
2 ARM İŞLEMCİSİ VE MİKRO-DENETLEYİCİLER	9
Mikroişlemciler (Microprocessors)	9
Merkezi İşlem Birimi (Central Processing Unit)	10
Hafıza (Memory)	12
Giriş-Çıkış Birimi (Input-Output)	13
Mikrodenetleyiciler (Microcontrollers)	13
Analog Arayüz	14
Paralel Arayüz	14
Seri Arayüz (Serial)	14
Zaman Arayüzü (Time)	14
ARM Temelleri	15
ARM Mimarisi	16
ARM Ailesi	18
Cortex-M İşlemci Mimarisi	19
İletişim Yolları (Bus)	20
Kaydediciler (Registers)	21
Hafıza (Memory)	22
3 STM32F4 MİKRO-DENETLEYİCİSİ	23
STM32 Ailesi ve STM32F407	23
STM32 Ailesi	23
STM32 Mikrodenetleyicileri	30
Numaralandırılması	30

STM32F4 Ailesi	33
STM32F407 Teknik Kılavuzları	34
STM32F407 Datasheet İncelemesi	34
STM32F407 Reference Manual	39
İncelemesi (Referans Kılavuzu)	39
STM32F407 Errata Sheet İncelemesi (Hata Kılavuzu)	49
STM32 Geliştirme Kartları	49
STM32F4DISCOVERY Kartı (STM32F407G-DISC1)	50
ST-LINK Programlayıcısı	54
4 STM32 KOD DERLEYİCİLERİ	57
Atollic TrueSTUDIO	57
Atollic TrueSTUDIO Derleyicisi	57
Windows İşletim Sistemleri İçin Kurulumu	58
Linux İşletim Sistemleri İçin Kurulumu	64
Keil	70
Keil ve MDK-ARM	70
Windows İşletim Sistemleri İçin Kurulumu	70
Mbed Online Derleyici (Mbed OS)	74
5 STM32CUBE VE CUBEMX	77
HAL (Donanım Soyutlama Katmanı) Sürücüleri	78
Low Layer (Düşük Katman Sürücüleri -LL)	78
STM32CubeMX	79
Linux Tabanlı İşletim Sistemleri İçin CubeMX Kurulumu	80
Windows İşletim Sistemleri İçin CubeMX Kurulumu	82
6 DEBUG (HATA AYIKLAMA) VE GEREKLİ DİĞER ARAÇLAR	85
Debug (Hata Ayıklama)	85
Debug Yapmak Neden Önemlidir?	85
Debug Yöntemleri ve Araçları	86
Logic Analyzer	89

ST-LINK Utility (ST-LINK Arayüz Uygulaması)	90
Windows İşletim Sistemleri İçin Kurulumu	90
7 PROJE OLUŞTURMA VE PROJE TEMELLERİ	93
CubeMX Projesi Oluşturma	94
Atollic TrueSTUDIO Projesi Oluşturma	100
Keil Projesi Oluşturma	104
Registerlar	110
Registerlara Erişim	110
Registerlara Değer Girme ve Okuma	112
Proje Dosyaları	113
Startup (.s) Başlangıç Dosyası	113
System (.c) Kaynak Dosyası	113
Stm32f4xx (.h) Başlık Dosyası	113
Derleme, Debug ve Flash	114
Keil ve Atollic TrueSTUDIO İle Kod Derleme	114
Keil ve Atollic TrueSTUDIO İle Debug Ayarları ve Giriş	116
Keil ve Atollic TrueSTUDIO İle Derlenen Kodun Yüklenmesi (Flash)	119
8 RESET VE CLOCK CONTROL BİRİMİ	121
Reset	121
Clock	122
STM32F4DISCOVERY	124
Kartı Kristalleri	124
RCC Registerları	126
STM32F4 Clock Ayarı	148
CubeMX Üzerinden Clock Ayarı	149
Register Seviyesinde (Low Level)	150
Clock Ayarı	150
9 GENEL AMAÇLI GİRİŞ-ÇIKIŞ BİRİMİ (GPIO)	159
GPIO Özellikleri	159

Giriş ve Çıkış Modu	160
Analog Mod	160
Alternate Function (Değişmeli İşlev Modu)	161
STM32F4 Pin Listesi Ve Özellikleri	162
GPIO Registerları	169
Örnek GPIO Register Ayarı	178
10 KESME (INTERRUPT)	179
İç İç Geçmiş Vektörlü Kesme Denetleyicisi Birimi (NVIC)	180
STM32F4 Interrupt Vektörleri	180
Cortex-M4 İşlemcisi NVIC Registerları	186
Cortex-M4 NVIC Fonksiyonları	191
Interrupt Önceliği (Priority)	193
Örnek NVIC Ayarı	194
11 TEMEL SAYAÇ (BASİC TİMER)	197
Basic Timer Özellikleri	197
Çalışma Mantiği	197
Basic Timer Diyagramları	199
Basic Timer Registerları	204
12 ANALOG DİJİTAL DÖNÜŞTÜRÜCÜ (ADC)	209
ADC Genel Özellikleri	209
ADC Blok Diyagramı	209
ADC Pinleri	211
ADC Kontrol ve Clock	212
Dahili Sıcaklık Sensörü ve Pil Yönetimi İzleme	212
ADC Çalışma Grupları	213
ADC Regular (Düz) Grup	213
ADC Injected (Enjekte Edilmiş) Grup	213
ADC Modları	213
Single (Tek) Mod	213

Continuous (Sürekli) Mod	214
Scan (Tarama) Mod	214
Discontinuous Mod	214
Trigger (Tetikleme) Mod	215
Auto-Injection Mod	215
ADC Data Yönetimi	216
DMA'lı Data Yönetimi	216
DMA'sız Data Yönetimi	217
Data Örnekleme Zamanı	218
ADC Interruptları	218
Regular Grup Çevrim Sonu Interruptı	218
Injected Grup Çevrim Sonu Interruptı	218
Analog Watchdog Interruptı	219
Overrun Interruptı	219
ADC Registerları	220
13 GENEL AMAÇLI SAYAÇ TIM2...TIM5 (GENERAL-PURPOSE TIMERS)	237
Genel Özellikleri	237
Temel Çalışma Mantığı	238
Sayma Modları (Counting Modes)	238
Yukarı Sayma Modu (Upcounting)	238
Aşağı Sayma Modu (Downcounting)	240
Hizalanmış Çift Mod (Center-aligned - Up/down Counting)	241
Çalışma Modları	242
Giriş Yakalama Modu (Input Capture)	242
Çıkış Karşılaştırma Modu (Output Compare)	243
Darbe Genişlik Modülasyonu Modu (PWM)	243
Tek Darbe Modu (One-pulse)	243
Clock Kaynağı Seçimi	244
Genel Amaçlı Sayaç TIM2...TIM5 Registerları	244
14 HARİCİ KESME (EXTERNAL INTERRUPT - EXTI)	263

EXTI Genel Özellikleri	263
EXTI Blok Diyagramı	264
EXTI Hatları	265
EXTI Birimi Interrupt Vektörleri	266
SYSCFG Birimi	268
EXTI Registerları	268
EXTI Registerları	271
15 RASTGELE SAYI ÜRETECİ (RANDOM NUMBER GENERATOR / RNG)	275
RNG Genel Özellikleri	275
RNG Blok Diyagramı	275
RNG Hata Yönetimi	276
Rastgele Üretilen Sayıların Kullanım Amacı	277
RNG Registerları	278
16 GERÇEK ZAMANLI SAAT (REAL TIME CLOCK - RTC)	281
RTC Kullanımı İçin Ön Bilgiler	281
Binary Coded Decimal - BCD (İkili Kodlu Onlu Sayı)	281
Backup Domain (Yedek Etki Alanı)	282
RTC Genel Özellikleri	283
RTC Kullanım Amaçları	284
RTC Clock Seçenekleri	285
RTC Takvim (Calendar)	286
RTC Alarm	287
RTC Giriş ve Çıkışlar	287
RTC Alarm Çıkışı	287
RTC Tamper Girişi	287
RTC Kalibrasyon Clock Çıkışı	287
RTC Başlatma Ayarları	288
RTC Birimi Interrupt Vektörleri	289
RTC Registerları	290

17 EVRENSEL ASENKRON ALICI VERİCİ BİRİMİ (UART)	311
UART Genel Özellikleri	311
UART Blok Diyagramı	312
UART Pinleri	313
UART Data Frame (Veri Çerçevesi)	313
Idle Frame (Boş Damga)	314
Break Frame (Hat Kesme)	315
Parity Kontrol (Eşlik)	315
UART Oversampling - OVER8 (Yüksek Hızda Örnekleme)	316
Receiver (Alıcı)	318
Transmitter (Verici)	318
Haberleşme Hata Durumları	319
Overrun Hatası (Taşma)	319
Noise Hatası (Gürültü)	319
Frame Hatası (Veri Çerçevesi Hatası)	320
Hardware Flow Control (Donanımsal Akış Kontrolü)	320
USART Registerları	321
18 SERİ ÇEVRESEL ARAYÜZ HABERLEŞMESİ (SPI)	329
SPI Genel Özellikleri	329
SPI Blok Diyagramı	330
SPI Pinleri	330
NSS Pin Yönetimi	331
SPI Data Frame (Veri Çerçevesi)	332
SPI Clock Seçenekleri (Hız, Kutup ve Faz)	333
SPI Çalışma Modları	335
Master Mod	335
Slave Mod	336
SPI Durum Bayrakları	337
SPI Haberleşme Modları Ve Data Yönetimi	338
Full-Duplex Mod	338
Half-Duplex Unidirectional Mod (Tek Yönlü)	340

Half-Duplex Bidirectional Mod (Çift Yönlü)	341
SPI Registerları	342
19 DOĞRUDAN BELLEK ERİŞİMİ (DIRECT MEMORY ACCESS)	347
DMA Genel Özellikleri	347
DMA Blok Diyagramı	348
DMA Kanalları	348
DMA Akış Modları	350
DMA Çalışma Modları	352
DMA Dairesel Mod (Circular)	352
DMA Çift Tampon Modu (Double Buffer)	352
DMA FIFO	353
DMA Interruptları	354
DMA Registerları	354
20 GÖMÜLÜ FLASH BELLEK ARABİRİMİ (EMBEDDED FLASH MEMORY INTERFACE)	365
Flash Genel Özellikleri	365
Flash Bölümleri	367
Flash Koruması	368
Flash-Okuma (Read)	368
Flash-Yazma (Write/Program)	369
Flash-Silme (Erase)	369
Flash Interruptları	370
Flash Registerları	370
21 UYGULAMALAR	375
Uygulama-1: LED Yakıp Söndürme (Blinking LED)	375
Amaç ve Yöntem	375
CubeMX İle Projenin Oluşturulması	376
GPIO HAL Kütüphanesi ve Fonksiyonları	378
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	379

Low Level Kodlanması	382
Uygulama-2: SysTick Sayacı ve Kesmesi (SysTick Timer)	384
Amaç ve Yöntem	384
SysTick Hakkında	385
SysTick Registerları	385
CubeMX İle Projenin Oluşturulması	387
SysTick HAL Kütüphanesi Fonksiyonları	389
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	390
Low Level Kodlanması	392
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	392
Low Level Uygulamalar İçin Delay Fonksiyonu Yazılması	395
Uygulama-3:Timer7 Birimi Kesmesi	398
Amaç ve Yöntem	398
CubeMX İle Projenin Oluşturulması	399
Timer HAL Kütüphanesi ve Fonksiyonları	403
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	403
Low Level Kodlanması	405
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	405
Uygulama-4: 3 Kanal Injected Grup ADC ve Kesmesi	409
Amaç ve Yöntem	409
CubeMX İle Projenin Oluşturulması	412
ADC HAL Kütüphanesi ve Fonksiyonları	417
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	418
Low Level Kodlanması	421
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	421
Debug İle Değişkenlerin İzlenmesi	424
Uygulama-5: TIM4 İle 4 Kanal PWM	426
Amaç ve Yöntem	426
CubeMX İle Projenin Oluşturulması	428
Timer HAL Kütüphanesi ve Fonksiyonları	432
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	433

Low Level Kodlanması	435
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	435
Logic Analyzer Veya Osiloskop İle Sinyallerin İzlenmesi	439
Uygulama-6: TIM3 Tetikli ADC Kesmesi	440
Amaç ve Yöntem	440
CubeMX İle Projenin Oluşturulması	442
Gerekli HAL Timer ve ADC Fonksiyonları	450
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	451
Low Level Kodlanması	453
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	453
Uygulama-7: PWM Giriş Mod (Input Capture)	458
Amaç ve Yöntem	458
PWM Okuma Yöntemi	460
CubeMX İle Projenin Oluşturulması	462
Gerekli HAL Timer Fonksiyonları	467
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	468
Low Level Kodlanması	471
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	471
Debug İle Değişkenlerin İzlenmesi	476
Uygulama-8: Dahili Buton İle Harici Kesme Oluşturma (External Interrupt)	478
Amaç ve Yöntem	478
CubeMX İle Projenin Oluşturulması	479
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	482
Low Level Kodlanması	483
Uygulama-9: Rastgele Sayı Üretimi (RNG)	486
Amaç ve Yöntem	486
CubeMX İle Projenin Oluşturulması	487
RNG HAL Kütüphanesi ve Fonksiyonları	487
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	488
Low Level Kodlanması	490
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	490

Uygulama-10: Takvim Ve Alarm Kesmesi (RTC)	493
Amaç ve Yöntem	493
CubeMX İle Projenin Oluşturulması	494
RTC HAL Kütüphanesi ve Fonksiyonları	499
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	501
Low Level Kodlanması	502
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	502
Uygulama-11: Kesmeli UART Haberleşme Ve LED Kontrolü	511
Amaç ve Yöntem	511
CubeMX İle Projenin Oluşturulması	513
UART HAL Kütüphanesi ve Fonksiyonları	516
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	517
Low Level Kodlanması	521
UART Baud Rate Hesabı	521
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	523
Seri Port Terminal Programı	528
Windows İşletim Sistemleri İçin Terminal Programı	528
Linux Tabanlı İşletim Sistemleri İçin Terminal Programı	530
Uygulama-12: SPI İle Dahili 3 Eksenli Hareket Sensörü Haberleşmesi	533
Amaç ve Yöntem	533
LIS3DSH Modülü	535
LIS3DSH Pinleri	535
LIS3DSH Ve SPI Arayüzü	536
LIS3DSH Registerları	538
CubeMX İle Projenin Oluşturulması	545
SPI HAL Kütüphanesi ve Fonksiyonları	550
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	551
Low Level Kodlanması	557
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	557
Uygulama-13: DMA Üzerinden Çok Kanallı Regular Grup ADC	568
Amaç ve Yöntem	568

CubeMX İle Projenin Oluşturulması	569
ADC-DMA HAL Kütüphanesi ve Fonksiyonları	574
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	574
Low Level Kodlanması	576
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	576
Uygulama-14: Flash Hafızaya Yazma-Silme Uygulaması	581
Amaç ve Yöntem	581
CubeMX İle Projenin Oluşturulması	582
FLASH HAL Kütüphanesi ve Fonksiyonları	582
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	583
Low Level Kodlanması	584
Atollic TrueSTUDIO veya Keil İle Kodlama	584