

İçindekiler

Şekil Listesi	viii
Tablo Listesi	xiv
Program Listesi	xv
Ön Söz	xx
Yazarın Ön Sözü	xxii
1 STM32F4 Discovery Kartı ve Keil uVision Programı	1
1.1 STM32F407 Discovery Kartı	2
1.2 Keil uVision Geliştirme Ortamı	4
1.3 LED Yakma Söndürme Programı	4
1.3.1 Yeni Proje Oluşturma	5
1.3.2 Kodlama	7
1.3.3 Derleme ve Cihaza Yükleme	9
1.4 Buton Kontrolü	11

2	C Programlama	13
2.1	2 ve 16 Sayı Sistemi	14
2.2	İşaretli ve İşaretsiz Sayı Türleri	16
2.3	Karakter Türü ve Karakter Dizisi	20
2.3.1	String ile Sayısal Değerlerin Birleştirilmesi	24
2.4	Bit Düzeyi Programlama	24
2.4.1	Sağa ve Sola Kaydırma	25
2.4.2	VE, VEYA, XOR, DEĞİL	27
2.4.3	Biti 1 veya 0 Yapmak, Dönüştürmek, Sınamak	29
2.4.4	Bitin Değişmesini Beklemek	33
2.5	Makro Tanımlama	34
2.6	İşaretçiler	36
2.7	Tür Dönüşümü	39
2.8	Tür Tanımlama	41
2.9	Numaralandırma	41
2.10	Yapılar	43
2.11	Volatile Niteleyicisi	47
2.12	Static Tanımlamalar	47
2.13	Fonksiyon Prototipi Ekleme	48
3	GPIO: Genel Amaçlı Input Output, Kısım 1	49
3.1	STM32F407 Mikrokontrolcü Blok Diyagramı	50
3.2	Bellek Haritası	50

3.3	GPIO Çevre Birimi Çevrim Sinyali	52
3.4	GPIO Port Mod Ayarları	54
3.5	GPIO Output Veri Yazmacı	56
3.6	LED Yakma Söndürme Programı	57
3.6.1	Programın Makrolar ile Düzenlenmesi	59
3.7	Buton Kontrolü	62
4	stm32f407xx.h Başlık Dosyası	65
4.1	Başlangıç Adresi Tanımlamaları	66
4.2	Yapı Türü Tanımlamaları	67
4.3	Bit Düzey Tanımlamalar	70
5	GPIO: Genel Amaçlı Input Output, Kısım 2	73
5.1	LED Yakma Söndürme	74
5.2	Buton Kontrolü	77
5.3	LED'leri Sırayla Yakma	79
5.4	Push-Pull ve Open-Drain Modları	82
5.4.1	GPIO Port Output Tür Yazmacı ve GPIO Pull-up/Pull-down Yazmaçları	84
5.5	GPIO Port Output Hız Yazmacı	86
5.6	GPIO Alternatif Fonksiyon Yazmacı	87
6	EXTI: Haricî Kesmeler	91
6.1	NVIC	92
6.2	Haricî Kesme Kontrolcüsü	96

6.3	Haricî Kesme Programlama Adımları	98
6.4	Kesme Örnek Programlar	102
7	Zamanlayıcılar	113
7.1	SysTick Zamanlayıcı	115
7.1.1	Meşgul Bekleme ile Programlama	118
7.1.2	Yoklama Yöntemi ile Programlama	120
7.1.3	Kesme ile Programlama	121
7.2	Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM)	124
7.3	SysTick Zamanlayıcı ile PWM	125
7.4	Temel Zamanlayıcılar	132
7.4.1	Temel Zamanlayıcı Kontrolleri	136
7.5	Temel Zamanlayıcı Kesme Kontrolleri	138
7.6	Temel Zamanlayıcı Örnek Programlar	140
7.7	Genel Amaçlı Zamanlayıcılar	146
7.7.1	Yukarı Sayma Modu	149
7.7.2	Aşağı Sayma Modu	149
7.7.3	Yukarı/Aşağı Sayma Modu	151
7.7.4	Sayma Kesmeleri	153
7.7.5	Zamanlayıcı Kanalları	154
7.7.6	Input Yakalama	157
7.7.7	Input Yakalama Programlama	160
7.7.8	Output Karşılaştırma	167

7.7.9	Output Karşılaştırma Programlama	170
7.7.10	Darbe Genişlik Modülasyonu PWM	178
8	ADC: Analog Dijital Çevirici	187
8.1	ADC Kanalları	189
8.2	Örnekleme Zamanı	190
8.3	ADC Çevrim Modları	191
8.3.1	Tek Çevrim Modu	192
8.3.2	Sürekli Çevrim Modu	200
8.3.3	Tarama Modu	201
8.3.4	Süreksiz Mod	208
9	DMA: Doğrudan Bellek Erişimi Kontrolcüsü	213
9.1	Veri Yolu Matrisi	215
9.2	DMA, Akış ve Kanal Seçimi	216
9.3	DMA Programlama Adımları	217
9.4	Bellekten Belleğe Veri Aktarımı	220
9.5	Çevre Birimden Belleğe Veri Aktarımı	228
9.6	Bellekten Çevre Birime Veri Aktarımı	231
10	USART: Evrensel Senkron Asenkron Alıcı Verici	233
10.1	Veri Formatı	235
10.2	Aşırı Örnekleme	236
10.3	Baud Rate Hesaplama	237

10.4 Parite	241
10.5 Veri Gönderme	241
10.6 Veri Alma	255
10.7 Veri Alma ve Gönderme	266
11 SPI: Seri Çevrebirim Arayüzü	273
11.1 SPI Pin ve Bağlantıları	273
11.2 Saat Çevrimi Faz ve Polaritesi	276
11.3 SPI Mesgul Bekleme ile İletişim	277
11.4 SPI Kesme ile Programlama	284
12 I²C: Entegre Devreler Arası	291
12.1 Veri Akışı	292
12.2 I ² C Frekans Ayarları	295
12.3 I ² C Olay ve Kesmeleri	298
12.4 I ² C Programlama Örnekleri	301
13 DAC: Dijital Analog Çevirici	325
13.1 DHR Veri Tutma Yazmaçları	326
13.2 Veri Output Yazmacına Verinin Aktarılması	328
13.3 Tetiklemeli Dijitalden Analoga Çevrim	330
14 İşlemci Çevrim Kaynakları	343
14.1 HSE Haricî Çevrimin Kullanılması	344

14.2 Çevrim Sinyallerinin Ölçülmesi	345
14.3 PLL Faz Kilitlemeli Çevrim	348
14.4 Yüksek Frekans Bellek Ayarları	350
Kaynakça	356

Şekil Listesi

2.1	Lojik 0 ve 1	14
3.1	STM32F407 mikrokontrolcüsü blok diyagramı	51
3.2	RCC AHB1ENR çevre birim saat yazmacı	53
3.3	GPIO port mod yazmacı	54
3.4	GPIO port output veri yazmacı	57
3.5	GPIO port input veri yazmacı	63
5.1	GPIO input/output temel yapısı	82
5.2	N-MOS ve P-MOS transistörler	83
5.3	Push-pull modu ile pine 1, 0 verilmesi	83
5.4	Open-drain modunun anahtar kullanılarak gösterilmesi	84
5.5	GPIO port output tür yazmacı	85
5.6	GPIO pull-up, pull-down yazmacı	85
5.7	GPIO port output hız yazmacı	87
5.8	GPIO alternatif fonksiyon düşük yazmacı	88
5.9	GPIO alternatif fonksiyon yüksek yazmacı	88

6.1	Haricî kesme GPIO haritası	96
6.2	SYSCFG haricî kesme konfigürasyon yazmacı 1	97
6.3	RCC APB2 çevre birimi saat etkinleştirme yazmacı	97
6.4	Haricî kesme blok diyagramı	98
6.5	EXTI kesme maske yazmacı	99
6.6	EXTI yükselen tetik seçim yazmacı	100
6.7	EXTI düşen tetik seçim yazmacı	100
6.8	EXTI bekleme yazmacı	101
6.9	EXTI yazılım kesme olay yazmacı	102
6.10	EXTI olay maske yazmacı	102
7.1	SysTick yeniden yükleme değer yazmacı	115
7.2	SysTick mevcut değer yazmacı	116
7.3	SysTick kontrol ve durum yazmacı	116
7.4	%25, %50 ve %75 görev çevrimi olan PWM sinyalleri	125
7.5	PWM sinyali görev çevriminin arttırılması	128
7.6	RCC APB1 çevre birim saat etkinleştirme yazmacı	133
7.7	Zamanlayıcı çevrim sinyalleri	133
7.8	TIM6 ve TIM7 ön ölçekleyici yazmacı	134
7.9	TIM6 ve TIM7 sayıcı yazmacı	134
7.10	TIM6 ve TIM7 otomatik yeniden yükle yazmacı	135
7.11	Temel zamanlayıcı zamanlama diyagramı, PSC=3	135
7.12	TIM6 ve TIM7 durum yazmacı	136

7.13	TIM6 ve TIM7 kontrol yazmacı 1	136
7.14	ARPE bitinin saymaya etkisi	137
7.15	TIM6 ve TIM7 DMA/kesme etkinleştirme yazmacı	139
7.16	TIM6 ve TIM7 olay üretme yazmacı	139
7.17	UG bitinin set edilmesinin zamanlayıcı sayacına etkisi	140
7.18	TIMx kontrol yazmacı 1	148
7.19	Ön ölçekleyici değişiminin etkisi	148
7.20	Aşağı sayma modu zamanlama diyagramı, PSC=1	150
7.21	Aşağı sayma modu zamanlama diyagramı, PSC=0, ARR=6	152
7.22	TIMx DMA/kesme etkinleştirme yazmacı	153
7.23	TIMx durum yazmacı	153
7.24	TIMx olay üretim yazmacı	153
7.25	Genel amaçlı zamanlayıcı kanalları blok diyagramı	155
7.26	TIMx yakala/karşılaştırmaz yazmacı 1	155
7.27	Zamanlayıcı kanal blok diyagramı	156
7.28	TIMx yakala/karşılaştırmaz mod yazmacı 1	156
7.29	Input yakalama zamanlama diyagramı	157
7.30	CKD=0b01, ICxF=0b0100 olduğunda input filtreleme zaman diyagramı	159
7.31	TIMx yakala/karşılaştırmaz etkinleştirme yazmacı	160
7.32	Zamanlayıcıdan kare dalga elde edilmesi	167
7.33	Program 7.11’de üretilen OC2 ve OC3 sinyalleri	174
7.34	Kanallardan PWM sinyali elde etme	179

7.35	Yukarı, aşağı ve yukarı/aşağı sayma modlarında PWM, CCR=2 . . .	180
7.36	Program 7.13 üretilen PWM sinyalleri	182
8.1	3.3 volt referanslı 3-bit ADC çevrimi	188
8.2	ADC örnekleme zaman yazmaçları	190
8.3	ADC ortak kontrol yazmacı	191
8.4	ADC kontrol yazmacı 2	192
8.5	ADC düzenli veri yazmacı	192
8.6	ADC durum yazmacı	193
8.7	ADC düzenli sıra yazmacı 3	196
8.8	ADC kontrol yazmacı 1	196
9.1	Bus-matrix bağlantıları	215
9.2	DMA akış x konfigürasyon yazmacı	218
9.3	DMA akış x çevre birim adres yazmacı	219
9.4	DMA akış x bellek adresi yazmacı	219
9.5	DMA akış x veri sayısı yazmacı	220
9.6	DMA düşük kesme durum yazmacı	220
9.7	DMA düşük kesme bayrak temizleme yazmacı	221
10.1	USART senkron, asenkron pinler ve bağlantıları	234
10.2	USART veri çerçevesi	235
10.3	USART kontrol yazmacı 1	236
10.4	USART'lar arasında donanım akış kontrolü	237

10.5	USART kontrol yazmacı 3	237
10.6	USART baud rate yazmacı	238
10.7	Program 10.1 lojik diyagramı	244
10.8	Program 10.2 lojik diyagramı	247
11.1	SPI master-slave bağlantıları	274
11.2	SPI kontrol yazmacı 1	275
11.3	SPI kontrol yazmacı 2	275
11.4	CPOL biti ile aktif kenar ayarlama	276
11.5	CPHA=1 olduğunda veri gönderimi ve örnekleme zamanlaması	277
11.6	SPI veri yazmacı	278
11.7	SPI durum yazmacı	279
11.8	SPI master veri gönderme lojik diyagramı	281
11.9	SPI veri iletişimi MOSI, MISO	289
12.1	I ² C bağlantıları blok diyagramı	292
12.2	I ² C tek veri yazma veri akışı	293
12.3	I ² C çoklu veri yazma veri akışı	293
12.4	I ² C tek veri okuma veri akışı	294
12.5	I ² C çoklu veri okuma veri akışı	294
12.6	I ² C kontrol yazmacı 2	295
12.7	I ² C saat kontrol yazmacı	296
12.8	I ² C trise yazmacı	298

12.9 I ² C 7-bit adres, veri okuma olayları	299
12.10 I ² C kontrol yazmacı 1	299
12.11 I ² C durum yazmacı 1	300
12.12 I ² C veri yazmacı	300
12.13 I ² C 7-bit adres, veri yazma olayları	301
12.14 STM32F4 Discovery kartı, LIS3DSH sensörü şematığı	302
13.1 DAC R-2R devresi	325
13.2 DAC kontrol yazmacı	326
13.3 DAC Kanal 1 12-bit sağ hizalı veri tutma yazmacı	327
13.4 DAC çift kanal 12-bit sağ hizalı veri tutma yazmacı	328
13.5 DAC Kanal 1 veri output yazmacı	329
13.6 DAC yazılım tetik yazmacı	331
14.1 Saat frekansı kontrolü blok diyagramı	344
14.2 RCC saat kontrol yazmacı	345
14.3 RCC saat konfigürasyon yazmacı	346
14.4 RCC PLL konfigürasyon yazmacı	348
14.5 Flash ulaşım kontrol yazmacı	352

Tablo Listesi

3.1	GPIOA, GPIOD ve RCC çevre birimleri bellek haritası	50
4.1	GPIOD yazmaç adresleri ve adreslere ulaşmak için işaretçi kullanımı	70
5.1	GPIO push-pull, open-drain, pull-up, pull-down konfigürasyonları . .	86
6.1	STM32F407 vektör tablosu	93
7.1	Zamanlayıcıların genel özellikleri	114
7.2	Program 7.5 PWM görev çevriminin yüksekte düşüğe geçtiği periyotlar	132
7.3	Program 7.8 Debug modunda gözlenen bazı değerler	145
8.1	STM32F407 ADC, kanal ve pinler	189
9.1	DMA1 istek haritası	217
9.2	DMA2 istek haritası	217
9.3	Veri taşıma yönleri ve adres yazmaçları	218
11.1	SPI modları	277
14.1	CPU çalışma frekansı ve flash bellek gecikmeleri	351

Program Listesi

1.1	Kart destek kütüphanesi ile LED yakma söndürme	8
1.2	Kart destek kütüphaneleri ile buton kontrollü LED yakma söndürme	11
2.1	int türü değişken	17
2.2	unsigned int türü tanımlama ve atama	19
2.3	İşaretsiz sabit sayılar	20
2.4	char türü tanımlama	21
2.5	String tanımlama ve string.h kütüphanesi fonksiyonları	22
2.6	sprintf fonksiyonunun kullanımı	24
2.7	Sağa ve sola kaydırma operatörleri	25
2.8	İşaretli sayının sağa kaydırılması	26
2.9	Sabit sayıların sağa kaydırılması	27
2.10	VE, VEYA, DEĞİL bit düzey operatörleri	28
2.11	Set bit, clear bit, toggle bit, test bit	30
2.12	İşaretçiler	36
2.13	Tür dönüşümü	39
2.14	Tam sayıdan işaretçiye tür dönüşümü	40

2.15	Tam sayıdan işaretçiye tür dönüşümü makro tanımlaması	40
2.16	Tür tanımlama	41
2.17	false, true ifadelerinin numaralandırılması	41
2.18	Ayların numaralandırılması	42
2.19	Çalışan bilgilerinin yapı elemanlarına atanması	43
2.20	Yapı işaretçileri	44
2.21	Yapı türü tanımlaması	45
2.22	Bellek bölgelerinin struct ile isimlendirilmesi	45
3.1	İşaretçi kullanarak LED yakma söndürme	57
3.2	Makro kullanarak LED yakma söndürme	60
3.3	Bileşik atama operatörü ile LED yakma	61
3.4	Buton kontrolü LED yakma söndürme	63
5.1	Başlık dosyasında tanımlı makrolar kullanılarak LED yakma söndürme	76
5.2	Başlık dosyasında tanımlı makrolar kullanılarak buton kontrollü LED yakma söndürme	77
5.3	LED'leri sırayla yakıp söndüren program	80
5.4	Döngü ile LED'leri sırayla yakıp söndüren program	81
6.1	startup_stm32f407xx.s dosyasında tanımlı bazı vektörler	94
6.2	startup_stm32f407xx.s dosyasında tanımlı haricî kesme işleyicileri . .	94
6.3	stm32f407xx.h dosyası kesme numarası tanımlamaları	95
6.4	Kesmesi kontrollü yanıp sönen LED'ler	102
6.5	Haricî kesme ile ikilik sayıcı	105
6.6	Haricî iki butondan kesme tetikleme	108

7.1	SysTick zamanlayıcı meşgul bekleme ile LED yakma söndürme	118
7.2	SysTick zamanlayıcı kullanılarak yoklama ile LED yakma söndürme .	120
7.3	SysTick zamanlayıcı kesmesi kullanarak LED yakma söndürme	122
7.4	SysTick zamanlayıcı ile %25 görev çevrimli PWM sinyali	126
7.5	SysTick zamanlayıcı ile görev çevrimi değişen PWM sinyali	129
7.6	Temel zamanlayıcı meşgul bekleme ile LED yakıp söndürme	140
7.7	Temel zamanlayıcı kesme ile LED yakıp söndürme	142
7.8	Temel zamanlayıcı UG ve UDIS bitlerinin etkileri	143
7.9	TIM3 Kanal 1 input yakalama	162
7.10	TIM3 Kanal 1 input yakalama, versiyon 2	164
7.11	İki kanaldan 50 Hz kare sinyal üretme	171
7.12	Tek zamanlayıcı ile farklı frekansta sinyal üretme	174
7.13	TIM3 4 kanal PWM sinyali üretme	180
7.14	Görev çevrimi kademeli artan-azalan PWM sinyali	183
8.1	ADC tek çevrim modu	193
8.2	Tek çevrim modu 13. kanal ADC	195
8.3	Buton tetiklemeli tek çevrim modu ADC	197
8.4	Sürekli çevrim modu ADC çevrimi	200
8.5	Tarama modu ADC	202
8.6	Aşırı çalışma kontrollü tarama modu ADC	205
8.7	Süreksiz mod ADC	209
9.1	Verileri Flash ve SRAM'de saklama	221

9.2	DMA ile Flash bellekten SRAM'e veri taşıma	222
9.3	DMA ile Flash bellekten SRAM'e çoklu veri taşıma	224
9.4	DMA ile GPIO programlama	225
9.5	ADC verilerinin DMA ile belleğe aktarılması	228
10.1	USART ile veri gönderme	242
10.2	USART ile parite kontrollü veri gönderme	245
10.3	Kesme tetiklemeli USART ile veri gönderme	247
10.4	DMA ve USART ile veri gönderme	251
10.5	USART ile bilgisayardan gönderilen komutları işleme	255
10.6	USART kesme tetiklemeli karakter alma	259
10.7	USART DMA ile karakter alma	261
10.8	USART ile veri alma ve gönderme	266
11.1	SPI master programı	279
11.2	SPI slave programı	282
11.3	SPI master kesme ile programlama	284
11.4	SPI slave kesme ile programlama	286
12.1	I ² C meşgul bekleme ile veri yazma	302
12.2	I ² C meşgul bekleme ile veri okuma	307
12.3	I ² C meşgul bekleme ile veri yazma ve çoklu veri okuma	310
12.4	I ² C DMA ile veri okuma	315
12.5	I ² C kesme ile programlama	318
13.1	Tetiksiz DAC	329

13.2	Yazılım tetikli DAC	331
13.3	Zamanlayıcı tetikli DAC	333
13.4	Haricî pin tetiklemeli DAC	336
13.5	Zamanlayıcı tetiklemeli, DMA aktarımlı DAC	339
14.1	HSE saat çevrim sinyalinin etkinleştirilmesi ve pine atanması	346
14.2	PLL ile sistem çalışma frekansını maksimum değere ayarlama	351