# NUCLEO F302R8 VE IHM08M1 İLE BLDC MOTOR SÜRÜMÜ

#### 1-Program Kurulumları:

#### Gerekli programlar:

- X-CUBE-MCSDK Motor Control Workbench
- STM32 CubeIDE
- STM32 CubeMX
- Motor Pilot (Workbench'in yanında otomatik olarak gelir)

## STM32 CubeMX Kurulumu

Workbench ve CubeIDE kurulumunun ardından CubeMX için gerekli yol izlenilmediği taktirde veya düşük bir sürüm yüklenildiği taktirde "STM32CubeMX not found - ver. "6.0.0" or higher is required" hatası alıncaktır.

Bu hata ile karşılaşmamak için Windows dilini English (United States) ile değiştirmek ve uygun sürümü indirmek gerekiyor. Aksi taktirde CubeMX kontrol panelinde ve uygulamalar içerisinde gözükmediği için workbench uygulamayı göremez.

CubeMX'in setup kısmında ise şekil-1 de gösterildiği bölümde install for all users olarak seçilmelidir. Aksi taktirde yine aynı hata ile karşılaşılır.



Şekil-1 CubeMX Setup

# 2- BLDC ile FOC (Field-Oriented Control)

Özellikle PMSM ve BLDC kontrolünde az gürültü ve yüksek verimlilik isteniyorsa FOC kontrolü tercih edilir. FOC, motorun dönen manyetik alanını matematiksel olarak analiz ederek, üç fazlı akımları vektör dönüşümleri ile kontrol eder. Bu dönüşümler sayesinde, motorun manyetik akı bileşeni ve tork bileşeni bağımsız olarak yönetilir.

# Kullanılacak Malzemeler:

- Nucleo 302R8
- Nucleo IHM08M1
- EC-45 Flat MAXON Motor
- DC Güç Kaynağı

# 2.1 FOC Kontrol Bağlantıları

İlk olarak IHM08M1 kartının üzerinde bulunan JP1 ve JP2 closed durumuna getirilir. JP1 ve JP2 şönt dirençler ile op-amp girişleri arasındaki bağlantıyı sağlar. FOC kontrolde akım geri beslemesine ihtiyaç duyulduğu için closed durumuna getirilir.

İkinci adımda J5 ve J6 bölümleri 3sh tarafına çekilir. Bu sayede tek şönt mü yoksa üç şönt direnç mi kullanılacağı belirlenir. Hassas bilgi ve verimli akım okunabilmesi için FOC kontrolünde üç şönt modu kullanılması daha uygundur.

Üçüncü adımda C3, C5 ve C7 kapasitörleri devre üzerinden çıkarılır. FOC kontrolde akım değişimleri gözlemlenerek ani hesaplamalar yapılır. C3, C5 ve C7 akım dalgalanmalarını yumuşatmak için kullanılır ve bu durum FOC kontrolünde gecikmelere sebep olur.

J7, J3, J9 pinleri açık durumda bıraklır. JP3 ise kapalı duruma getirilir.

Harici bir güç kaynağı ile besleme yapılacağı için Nucleo – F302R8 üzerinde JP5 pini E5V konumuna getirilir.



Şekil-2 Nucleo – 302R8



Şekil-3 Nucleo – IHM08M1

Önemli noktalar Şekil-2 ve Şekil-3 üzerinde kırmızı ile gösterilerek belirtilmiştir. Eğer six step modunda sürülecek olunursa bu bağlantılar J5, J6 1SH moduna, C3, C5, C7 lehimlenmiş, JP1 ve JP2 açık olarak güncellenmelidir.

#### 2.2 Workbench Parametreleri

Workbench üzerinde yeni bir proje açarak IHM08M1, 302R8 ve kullanacağımız motoru seçerek projeyi oluşturuyoruz. (sahip olduğunuz motor yoksa yakın bir motor seçerek parametreleri değiştirilebilir.)

**Motor Sekmesi:** Burada kullanılan motorun datasheeti kontrol edilerek uygun değerler girilmelidir. Maxon EC-45 BLDC motorundaki bilgilere göre pole pairs (kutup çifti) sayısı 6, SM-PMSM (mıknatıs konumunu belirtir), max current = 3.5Apk, max VDC 28V olarak seçilmelidir.

FOC kontrolde matematiksel akım analizi yapıldığı için HALL EFFECT modu kapalı olmalıdır. 6step sürüleceği taktirde hall effect açılır ve J3 üzerinde H1, H2, H3, GND ve VCC pinleri motora takılır. Electrical angle olarak 60 derece seçilerek ve yerleşim derecesi 120 olarak ayarlanılarak hall sensörleri verimli şekilde kullanılabilir.

Eğer bir harici encoder bulunmuyorsa QUADRATURE ENCODER modu da kapalı olmalıdır.

General Info			
Motor name:	MAXON EC-45 - 2	2	图 Save
Description:	FOC-CONTROL		
Motor parameters			
Motor magnetic structure:	SM-PMSM ∨		
Pole Pairs:	6		
Electrical parameters			
Max current:	3.5	Apk	Power board maximum rated current: 30 Apk
Max DC Voltage	28	v	Power board supported voltage range: (10 - 48 Vdc)
Rs	0.43	n	

Şekil-4 Motor Parametreleri

#### **Power Supply Sekmesi:**

Bu sekmede Max application current = 3.5 ve Bus voltage = 28 otomatik olarak gelmektedir. Herhangi bir değişim yapmaya gerek yoktur.

#### **PWM Sekmesi:**

Confla

PWM frekansı ayarlanırken 15khz tercih edilmesi uygun görülmüştür. Düşük frekanslarda gürültü ve dalgalanma etmenleri artacaktır. Yüksek frekansa geçildiğinde ise anahtarlama kayıpları ile karşılaşılacaktır.

SW-Dead Time, mosfetlerin arasında çalışmada beklenilen güvenlik süresidir. 700-1000ns arasında en orta değer 850ns seçilmesi uygundur.

Charge boot capacitor time, mosfet devresindeki kapasitörlerin şarj olma süresini belirtir 10ms bunun için yeterli bir süredir.

Charge Boot Capacitor Duty, şarj edilme süresinin pwm döngüsüne oranıdır. Mosfet kapanmalarını önlemek veya anahtarlama kayıpları ile karşılaşmamak için %50 olarak denge bir değer girilmesi uygundur.

coning			
PWM Frequency:	150	<b>≪</b> 00 Hz	from 2 kHz to 100 kHz
Driving topology:	U, V, W, Uneg	g, Vneg, Wr	neg
PWM idle state high side:	Turn off	<u> </u>	
PWM idle state low side:	Turn off	×	from 700 pc to 1000 pc
dead-time:	1000 ns		
Charge Boot Capacitor Time:		10 ms	
Charge Boot Capacitor Duty:		50 %	



## **Speed Sensing Sekmesi:**

Bir encodere sahip olunmadığı taktirde FOC kontrolde HALL sensörleri kullanılmadığı için Observer + PLL (sensorless) tercih edilmelidir. Bu sayede hiçbir sensör kullanılmadan rotor konumunu elektromanyetik alan ile belirler.

Observer + cordic tercih edilirse trigonometrik olarak hesaplama hızı artar fakat bu hızın artmasından dolayı ortaya küçük hata payları çıkacaktır.

#### **Current Sensing Sekmesi:**

Regulator Execution Time PI denetleyicinin pwm döngüsünde çalışması için geçen süreyi belirtir. PWM sayısını arttırdıkça MCU yükü düşecektir fakat tepki hızı azalacaktır. Verimli ve hızlı bir tepki beklenildiği için pwm 1 – 67us olarak ayarlanmıştır.

Önceki bölümde belirtildiği gibi üç şönt direnç seçilir. Bu durum verimi artıracaktır. Kazanç ve direnç gibi değerler bu tercihe göre default olarak ayarlanacaktır.

# **Current Sensing**

Regulator execution time:	67 µs	(1 P	WM)	×
Current reading topology:	Three Shunt I	Resistor	s	~
Amplification:	External OpAm	ps		
Shunt Resistor:	0.01	Ω		
Gain:	5.181			
T-rise:		1000	ns	(1 - 10 k ns)
T-noise:		1000	ns	(1 - 10 k ns)
Readable current range:	[-33 A, 30.69 A	J→±3	0.69	A

## Şekil-6 Current Sensing

ADC Sampling time kısmında 800-1000ns arası uygun değerdir. ADC'nin hesaplama yapacağı süreyi ifade eder ve hızlı olması FOC kontrol için önemlidir. Fakat bu süre çok kısa seçildiği zaman gürültü oluşarak ölçüm hassasiyetini bozabilir. Bu yüzden 854ns (61.5 adc clk) olarak tercih edilmiştir. En alt sekmede bulunan over current protection, güvenlik amacıyla açık ve default olarak bırakılmalıdır.

Current Sensing				
ADC:	ADC1			
Channel U (Ampl.):	ADC1_IN1 (PA0)			
Channel V (Ampl.):	ADC1_IN7 (PC1)			
Channel W (Ampl.):	ADC1_IN6 (PC0)			
Sampling time:	854 ns (61.5 adc clk) 🗸			
Max Modulation:	100 %			

Şekil-7 Sampling Time

**Bus Voltage Sensing Sekmesi:** Yüksek voltajlı girişlerin ADC girişine zarar vermemesi için kullanılan bir gerilim bölücüdür. Default olarak verilen 19.17 değerinde bırakılmıştır.

**Temparature Sekmesi**: Çalışma sıcaklığının hesaplanması ve maksimum sıcaklı değeri belirtilerek koruma sağlaması amacıyla ayarlanır. Seçilen kart için uygun sıcaklık değerleri default olarak gelecektir.

**Speed Sensing Config Sekmesi:** Bu sekme üzerinde seçtiğimiz observer + pll (sensorless) modunun hata parametreleri yer almaktadır. 3 hata sayısı seçilmiştir. Üçten fazla hatalı okuma yapıldığı zaman motor otomatik olarak kendini durduracaktır.

Parametre	Seçilen Değer	FOC İçin Anlamı
Speed Sensor Mode	Observer + PLL	Sensörsüz rotor konum tahmini
Max Errors Before Fault	3	3 hata sonrası sistem korumaya geçer
Variance Threshold	25%	Hız dalgalanmalarının hata olarak algılanma eşiği
Average Speed Depth (Speed Loop)	64	Hız döngüsünde ortalama alınacak veri sayısı
Average Speed Depth (Observer Equations)	64	Observer denklemlerinde ortalama alınacak veri sayısı
B-emf Consistency Tolerance	100%	Back-EMF sinyali doğruluk toleransı
B-emf Consistency Gain	100%	Back-EMF sinyaline uygulanacak kazanç faktörü

# Şekil-8 Speed Config

**Drive Settings Sekmesi:** Bu kısımda execution rate 1ms olarak tercih edilmiştir. PI kontrolü hesaplama hızını ifade etmektedir. Daha düşük seçildiği zaman işlemciyi yorabilir, arttırıldığı taktirde verimlilik düşecektir. Target speed döndürülmek istenen hıza göre istenildiği gibi seçilebilir. PID değerlerinin auto calculate olarak bırakılması uygundur. İstenilen verim elde edilmediği takdirde Motor Pilot içerisinden PID parametreleri değiştirilebilmektedir.

**User Interface Sekmesi:** Bu sekmede baud rate için 115200 hızı yagın olarak kullanılır ve FOC kontrol için uygun görülmüştür. Max signals to pilot 12 olarak seçilir. Bir grafik içinde 12 farklı parametrenin gösterileceğini belirtmektedir. Buffer size ise bilgilerin geçici olarak tutulduğu alandır default olarak kalabilir.

Peripheral:	USART2_TX (PA2) - USART2_RX (PA3)		
Baudrate:	115200	× _	
	🛃 Data Log	-	
Max Signals to plot:	12	× 1	
Buffer Size:	2048	~	
Shared Buffer Size			
Buffer Size:	128	×	

Şekil-9 User Interface

Parametrelerin ayarlanmasının ardından generate the project bölümüne tıklanır. Ardından run CubeMX işaretlenir ve kod generate edilir. Bu işlemlerin gerçekleştirilmesinin ardından kodun son hali STM32 CubeIDE üzerinde açılacaktır (özel bir istek olursa kodun içerisinde değişiklikler yapılabilir).

# 3. BLDC MOTOR UYGULAMASI

Tüm parametrelerin ayarlanması ve kodun başarıyla derlenmesinin ardından;

- Güç kaynağından 28V değeri J1 klemensine bağlanır.
- Nucleo 302R8 kartı usb ile bilgisayara bağlanır.
- Derlenen kod debug edilir, ardından resume tuşuna basılarak kod çalışır hale getirilir.
- Bu işlemlerin ardında Motor Pilot programının açılması gerekmektedir.
- Motor Pilot ana sekmesinde önce discover board işaretlenir ve program otomatik olarak stm32 modülünü görür.
- Motor Pilotun işlemciyi görmesinin ardından load gui denilerek FOC için gerekli olan arayüz dosyası eklenir.

Bu işlemlerin gerçekleşmesinin ardından motor pilot üzerinde uygun baud rate ve 302R8 mikrodenetleyicisinin bulunduğu COM portu seçilerek connect tuşuna basılır.





Control kısmından start'a basılarak rpm değeri isteğe göre değiştirilebilir.

Tüm adımların başarılı bir şekilde sonuçlanmasının ardından Registers kısmında motorun grafikleri elde edilebilmektedir.

Eğer motor verimi istenildiği gibi olmuyorsa Registers içerisinden PID gibi parametreler güncellenebilmektedir.







Şekil-12 Motor Hız Grafiği (yakınlaştırılmış)





#### 6-STEP

FOC kontrol için hazırlanan bu işlemleri, 6 step üzerine uygulanması için ikinci bölümde bahsedilen bağlantıların sağlanarak hall sensörlerinin kullanılması ve 3 PWM ile sürülmesi gerekmektedir. Ayrıca motorun daha verimli bir dönüş sağlaması için default gelen PI parametrelerinin biraz düşürülmesi ve küçük bir D parametresi eklenmesi verimlilik açısından tavsiye edilir.

## ETHEM IŞILDAR