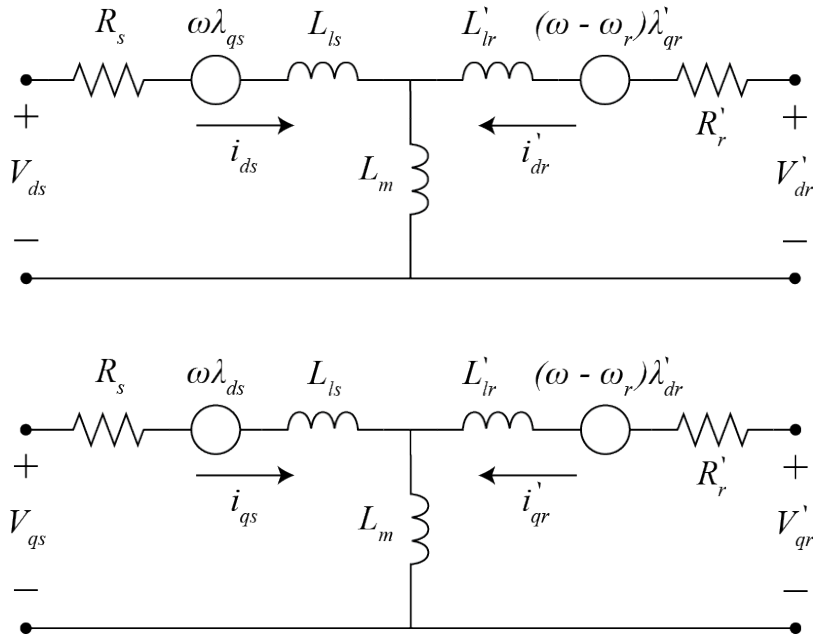


Kocaeli Üniversitesi
Mekatronik Mühendisliği

Uygulamalı Bilgisayar Programlama
2023 - 2024 Projesi

Proje 3: Asenkron Motor



Parametre	Açıklama	Değer
R_s	Stator direnci	2 $[\Omega]$
R'_r	Rotor direnci	1.7 $[\Omega]$
L_{ls}	Stator kaçak endüktansı	0.008 $[H]$
L_m	Manyetik endüktansı	0.46 $[H]$
L'_{lr}	Rotor kaçak endüktansı	0.012 $[H]$
J	Rotor atalet momenti	0.030 $[kg \cdot m^2]$
P	Kutup sayısı	2 $[-]$
B_m	Rotor viskoz sürtünmesi	0.02 $[N \cdot m \cdot s/rad]$
V_{qs}, V_{ds}	q-d eksen stator gerilimleri	- $[V]$
V'_{qr}, V'_{dr}	q-d eksen rotor gerilimleri	- $[V]$
$\lambda_{qs}, \lambda_{ds}$	q-d eksen stator akıları	- $[Wb]$
$\lambda'_{qr}, \lambda'_{dr}$	q-d eksen rotor akıları	- $[Wb]$
$i_{qs}, i_{ds}, i'_{qr}, i'_{dr}$	q-d eksen stator ve rotor akımları	- $[A]$
ω_m	Mekanik rotor hızı	- $[rad/s]$
ω	Referans d-q çerçeve hızı	- $[rad/s]$
T_e	Motorun ürettiği tork	- $[Nm]$
T_L	Yük torku	- $[Nm]$

1 Sistem denklemleri

Sistemin temel diferansiyel denklemleri Denklem 1, 2, 3, 4 ve 5'te verilmiştir.

$$V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \lambda_{qs} + \omega \lambda_{ds} \quad (1)$$

$$V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \lambda_{ds} - \omega \lambda_{qs} \quad (2)$$

$$V'_{qr} = R'_r i'_{qr} + \frac{d}{dt} \lambda'_{qr} + (\omega - \omega_m) \lambda'_{dr} \quad (3)$$

$$V'_{dr} = R'_r i'_{dr} + \frac{d}{dt} \lambda'_{dr} - (\omega - \omega_m) \lambda'_{qr} \quad (4)$$

$$J \frac{d}{dt} \omega_m = T_e - B_m \omega_m - T_L \quad (5)$$

Denklem (6-12) temel diferansiyel denklemlerde yerine yazılması gereken denklemler.

$$\lambda_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i'_{qr} \quad (6)$$

$$\lambda_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i'_{dr} \quad (7)$$

$$\lambda'_{qr} = L'_r i'_{qr} + L_m i_{qs} \quad (8)$$

$$\lambda'_{dr} = L'_r i'_{dr} + L_m i_{ds} \quad (9)$$

$$L_s = L_{ls} + L_m \quad (10)$$

$$L'_r = L'_{lr} + L_m \quad (11)$$

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{L_m}{L'_r} (\lambda'_{dr} i_{qs} - \lambda'_{qr} i_{ds}) \quad (12)$$

dq eksenleri 3 fazlı abc gerilimleri V_q ve V_d gerilimlerine dönüştürür. Bu dönüşüme Clarke-Park dönüşümü denir. Dönüşüm aşağıdaki denklemde verilmiştir. Akımlar için aynı dönüşüm uygulanabilir.

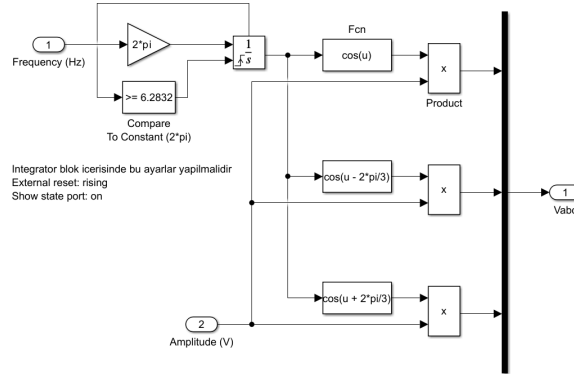
$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \\ \sin \theta & \sin \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & \sin \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (13)$$

abc gerilimlerini dq eksenlerine dönüştüren dönüşüme Ters Clarke-Park dönüşümü denir.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 1 \\ \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & \sin \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & 1 \\ \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) & \sin \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Dönüşümlerde verilen θ , referens dq eksen takımının açısıdır. $\theta = \int \omega dt$

Genliği ve frekansı ayarlanabilir 3 fazlı abc gerilimi oluşturabilmek için Simulink blok yapısı aşağıda verilmiştir. (Not, dif denklemine girilen d-q gerilimlerine dönüştürülmesi gerekir)



2 Sorular

2.1 Modelleme ve Analiz

1. Sistem doğrusal mı? Açıklayınız.
2. Kullanılan asenkron motor sincap kafesli bir asenkron motor olduğuna göre, rotor gerilimleri ne olacaktır?

3. Sistemi Simulink ortamında, 3 fazlı giriş gerilimi 50 Hz ve 325 Volt kabul ederek, başlangıç şartları 0, T_L 0 ve ω 0 kabul ederek simüle ediniz. Zamana bağlı hız, akım ve tork grafikleri gözlemleyiniz ve gösteriniz.
4. Asenkron motorun anma frekansı 50 Hz ve anma gerilimi 325 V'tur (tepe değeri). Volt ve frekans oranın sabit kaldığı kontrol yöntemine V/f kontrol denir. Sistemin girişini sadece frekans yapıp, V/f kontrolü uygulayınız. Örnek olarak: 25 Hz giriş uygulandığında, V/f oranı sabit kalması için gerilim 162.5 V olması gerekir.
5. V/f kontrolü yapıldığında, sisteme 0'dan 50 Hz'e basamak cevabı uygulayınız. Sistemin abc akımlarını gözlemleyiniz. Motorun anma akımı 6.3 A rms olduğuna göre, bu akım değerleri motor için uygun mu?
6. Bir önceki adımda basamak cevabı bloğun çıkışına 'Rate Limiter' bloğu koyunuz. Bu blok artışların eğimini (slew rate) sınırlandır. İçerisindeki 'slew rate' sınırlandırınız. Bunu motorun akımları anma değerine ulaşana kadar yapınız. Bulduğunuz slew rate nedir?

2.2 Arayüz

1. Sistemin simülasyonunu yapabilecek arayüzü tasarlayınız. Arayüzde aşağıdaki kriterler bulunmalıdır:
 - Sistem parametreleri, simülasyon zamanı, adım büyüklüğü ve sistemin girişleri arayüze verilebilmeli.
 - 'Simülasyon başlat' butonuna basıldığında, arayüze girilen değerler için simülasyon koşacaktır.
 - Tüm durumların zamana bağlı plot ekranları bulunmalıdır.
 - '3D Başlat' butonuna basıldığında, bir sonraki bölümde verilen VR ekranı açılmalıdır.

2.3 VR

- Sistemi VR world ya da Simmechanics ile Simulink ortamında tasarlayınız ve hareketi gözlemleyiniz. Dönen cisim olduğu için, dönmeye görecek şekilde şekiller ekleyiniz.
- VR ekranın çalıştığı, maksimum 5 saniyelik bir simülasyon videosu ekleyiniz.

3 Matlab dosya formatı ve raporlama

- Sisteme ait Matlab dosyaları mutlaka 'projex....' olarak başlatılmalıdır (x sayısı kapak sayfasında yazan proje sayısı). Örneğin 'projel1.app' olarak kaydedilebilir.
- Sistemin .m file halindeki simülasyonu tek bir dosyada olmalıdır. Fonksiyon ayrı scriptte olabilir, .m file çalıştırıldığında tüm gereken plot ekranları açılmalıdır.
- Tüm dosyalar tek bir zip klasörü içinde toplanıp 'projex' şeklinde yüklenmelidir. Yüklediğiniz zip dosyaları açarak farklı bilgisayarda çalıştığını kontrol ediniz.
- Rapor kapsamlı olmalıdır. Aşağıdaki şartlara dikkat edilmesi gerekir
 - Kapak sayfası olmalıdır, öğrencilerin isim ve öğrenci numaraları bulunmalıdır.
 - Tüm plotlar figure ekranından PNG uzantı ile export edilip rapora eklenmelidir. Simulink Scope ekran görüntüleri kabul edilmeyecek. Plot ekranlarında, başlık, x - y eksen anlamları, gerekirse legend gibi bilgiler verilmelidir.
 - Times New Roman yazı stili, 11 punto ile yazılmalıdır. (başlıklar daha büyük olabilir)
 - Soruları cevaplarken, proje dosyasında kullanılan numaralandırılma kullanılmalıdır.
 - Eklenen şekiller isimlendirilip, yazı içerisinde yorumlanması gerekir.
 - İş bölümü eklenmelidir. Herkes projede kendi sağladığı katkıyı açıklamalıdır.
 - Hesaplama gereken sorularda denklemler adım adım gösterilmeli ve açıklanmalıdır.
 - Rapor düzenli olmalıdır.

NOT: Ek çalışma yapmak isteyenler (örneğin kontrol, analiz gibi) raporun en son kısmına Ek Çalışmalar bölümü açarak yaptıklarını ekleyebilir. Ek çalışmaları iş bölümü kısmında kimlerin yaptığını belirtiniz. Ek çalışmanın zorluk ve doğruluğuna göre puan eklenebilir. Yapılması zorunlu değildir.