

ASENKRON MOTORUN ADAPTİF HİSTEREZİS BANDLI DOĞRUDAN MOMENT KONTROLÜNDE İNVERTER SABİT ANAHTARLAMA FREKANSININ ELDE EDİLMESİ

Mustafa AKTAŞ¹

H. İbrahim OKUMUŞ²

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi Ordu MYO, Ordu

²Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Trabzon

¹e-posta:mustafa_aktas71@hotmail.com ²e-posta:okumus@ktu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Asenkron Motor, Doğrudan Moment Kontrol, Adaptif Histeresis Band

ÖZET

Günümüzde inverter beslemeli Asenkron motor bir çok endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Asenkron motor kontrolündeki son gelişme ise Doğrudan Moment Kontrol (DMK) tekniğidir. Bu yöntemde, evirici anahtarlama değiştirilerek doğrudan gerçekleştirilmektedir. DMK akı ve momentin histeresis band genişliğinin ayarlanmasına izin verir, böylece bu kontrol yönteminin bir çok farklı sürücü uygulamalarında kullanımı mümkün hale gelir. DMK'da moment ve stator akısı histeresis bandının genişliği evirici anahtarlama frekansına etki eder. Bu çalışmada, giriş geriliminin açısız frekansının küçük olduğu durumlarda anahtarlama sayısının azalması ve giriş gerilimi açısız frekansının büyük olduğu durumlarda anahtarlama sayısının artmasını engelleyecek bir yöntem olan değişebilen band genişliği uygulanmıştır. DMK sürücü, moment anahtarlama frekansını, önerilen adaptif histeresis band ile birleşerek hemen hemen sabit tutacaktır. Simülasyon sonuçları önerilen çözüm yönteminin kullanışlı ve mantıklı oluşunu göstermektedir.

1. GİRİŞ

DMK yöntemi, güçlü moment tepkisi ve hız sensörsüz makine parametre değişimlerine karşı güçlüdür. Moment ve akı kontrolü için iki anahtarlama vektörü tablosu ve sadece iki histeresis karşılaştırıcıya ihtiyaç duyduğu için DMK'nın uygulaması da oldukça basittir. Bu nedenle, histeresis bandın genişliği de ayarlanabilmesi bir kazançtır. Histeresis bandın genişliğinin moment ve akı dalgalanmalarına, inverter anahtarlama frekansına ve akım harmoniklerine etkisi büyüktür. Histeresis bandın etkisi hakkında çok az çalışma bulunmaktadır. Akı ve moment histeresis bandının sistemin performansına etkisi [1] ve [2] da gösterilmektedir.

ASM'nin DMK'sında, histeresis band sabit bir değer olsa bile, motor hızı, akı seviyesi ve çıkış moment gibi işlem şartlarına göre anahtarlama frekansı değişir. Inverter anahtarlama frekansının donanım ısı üst sınırı aşmamak için histeresis band yeterince büyük yapılmalıdır [3]. Bunun için histeresis band sabitlendiğinden sistem performansı özellikle düşük hızlarda bozulur. Bu çalışmada, özellikle düşük hızlarda akı yörüngesinin daireselden uzak olmasının

önüne geçebilmek ve anahtarlama frekansını sabitlemek için moment histeresis band genişliğinin değiştirilmesi önerilmektedir.

2. DMK ALGORİTMASI İÇİN AKI VE MOMENT EŞİTLİKLERİ

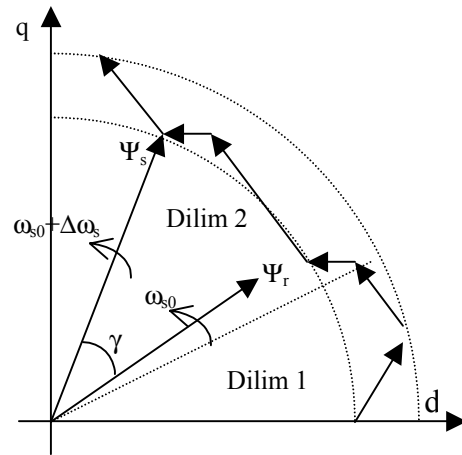
Genellikle, simetrik üç fazlı ASM'de, ani moment stator ve rotor akı bağlantı uzay vektörünün veya stator akımı uzay vektörü ve stator akı bağlantısı uzay vektörünün çarpımı ürünüdür.

$$T_e = \frac{3}{2} P \Psi_s \times I_s \quad (1)$$

burada Ψ_s stator akı bağlantı uzay vektörüdür ve I_s ise stator akımı uzay vektörüdür. $\Psi_s = L_s I_s + L_m I_m'$ ve $\Psi_r = L_r I_r + L_m I_s$ eşitlikleri dikkate alınarak, burada ilk rotor büyüklükleri sabit referans ekseninde açıklanır, ardından $I_s = \Psi_s / L_s - [L_m / (L_r L_s)] \Psi_r'$ gelir. Böylece (2) eşitliği aşağıdaki denklemleri verir,

$$T_e = \frac{3}{2} P \frac{L_m}{L_s L_r} |\Psi_r'| |\Psi_s| \sin \gamma \quad (2)$$

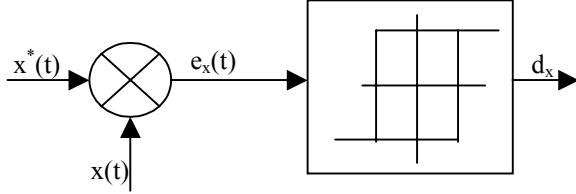
Moment, stator ve rotor akı bağlantı uzay vektörleri arasındaki açı γ 'nın bir fonksiyonudur. Stator akısının büyüklüğü normalde sabit tutulur ve motor momenti γ açısı vasıtasıyla kontrol edilir. Şekil 1'de stator akısı ile rotor akısı karşılaştırmasını gösterir. Basamak değişimi sonucunda stator titreşimi, $\omega_{s0} = \omega_{s0} + \Delta\omega_s$, ω_{s0} ile başlangıç değişimi ve $\Delta\omega_s$ basamak tepkisidir [4].



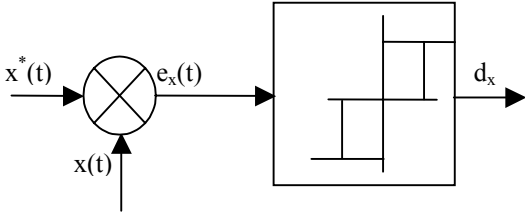
Şekil 1 Moment kontrolünde en uygun gerilim vektörü

3. HİSTERİZİS BAND KONTROL

Histerizis band kontrolü, kapalı döngü kontrolden daha yaygın ve basittir. İki seviyeli ve üç seviyeli histerizis band kontrol metodu için blok diyagramı Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmektedir. Referans $x^*(t)$ ve gerçek $x(t)$ arasındaki hata $e(t)$, durum değişkeni değeri histerizis bandın $\pm\Delta/2$ genişliği içinde tutmak için histerizis birimin durumuyla kontrol edilebilir. Ayrıca, hızlı tepkisi, doğal akım ani yükselmelerini sınırlama kapasitesi ve mükemmel dinamik performansı vardır. Bu yöntemde, motor parametrelerinin tam olarak bilinmesine ihtiyaç yoktur



Şekil 2 İki seviyeli histerizis band kontrolünün blok diyagramı



Şekil 3 Üç seviyeli histerizis band kontrolünün blok diyagramı

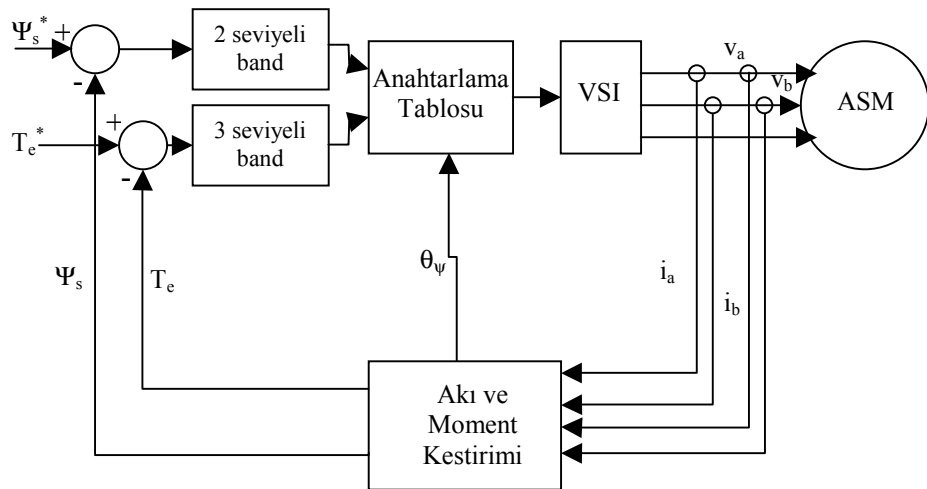
DMK'nın şeklinde, amaç, histerizis karşılaştırıcı kullanarak stator akısı ve moment hatasının her ikisini de sifıra indirmek için en uygun anahtarlama vektörünü seçmektir. Histerizis karşılaştırıcı DMK'nın merkezi konumundadır ve sadece anahtarlama için en uygun gerilim vektörü belirlenmesinden sorumlu değil, aynı zamanda seçilen vektörün ve hareketin ne kadar süre kalacağına belirlenmesinde de rol oynar.

Bu çalışmada, Şekil 2'de gösterildiği gibi iki seviyeli histerizis karşılaştırıcı, stator akı referans kontrolör tarafından üretilen dahili referans değeriyle stator akısının gerçek değerini karşılaştırmak için DMK'da kullanılır. Benzer şekilde, Şekil 3'de gösterildiği gibi üç seviyeli histerizis karşılaştırıcı, hız moment referans kontrolör tarafından üretilen dahili referans değeriyle momentin gerçek değerini karşılaştırmak için DMK'da kullanılır. Şekil 4'de ise DMK'nın genel blok şeması verilmektedir [4].

4. AKI VE MOMENT HİSTERİZİS BAND GENİŞLİĞİNİN DMK SÜRÜCÜ PERFORMANSINDAKİ ETKİSİ

DMK şemasında, sabit moment band genişliği ΔT_e için, inverter anahtarlama frekansı akı histerizis band genişliği $\Delta\psi$ ile ilgilidir. Küçük akı histerizis band genişliği yüksek anahtarlama frekansı sonucunu ortaya çıkarır, stator akı vektörü yörüngesini dairesele yaklaştırır ve faz akım dalga şeklini sinüzoidale yaklaştırır. Bu işlem şartlarında, inverterdeki anahtarlama kayıpları yüksek iken makinedeki düşük harmonikte bakır kayıpları ortaya çıkar. Diğer yandan, stator akısı için büyük histerizis band genişliği anahtarlama frekansını azaltır ve stator akı vektör yörüngesini altıgen yapar. Bu durumda makinede harmonik bakır kayıpları artarken inverterde anahtarlama kayıpları azalmaktadır.

Motorun moment üretiminde, histerizis band genişliğinin etkisi DMK çalışmada dikkate alınmalıdır. Moment dalgalanmaları momentin histerizis band genişliği ile ilgilidir. İnverterdeki anahtarlama frekansı ve dolayısıyla anahtarlama kayıpları moment histerizis band tarafından genelde etkilenmektedir. Bir çalışmada, sabit anahtarlama frekanslı bir moment dalgalanmalarını azaltma tekniği, ASM'nin DMK için geliştirilmektedir. Örneğin, uygun moment histerizis band değeri, referans moment değerinin %5'i olarak seçilebilir [4].



Şekil 4 DMK'nın blok şeması

5. ANAHTARLAMA VEKTÖR SEÇİMİ

DMK'da en uygun anahtarlama vektör seçimi temeldir. Gerilim vektörleri seçim tablosu en uygun bir gerilim anahtarlama vektörünü, tüm muhtemel stator akı bağlantı uzay vektör konumları için anahtarlama vektörlerinin en uygun olanını verir [4]. Stator akı değişimi ile iki seviyeli akı histeresis karşılaştırıcının çıkış sinyali d_ψ aşağıdaki gibi elde edilebilir, burada

$$\begin{aligned} d_\psi &= 1, \quad \left| \overline{\Psi}_{sref} \right| - \left| \overline{\Psi}_s \right| \geq \Delta\Psi / 2 \\ d_\psi &= 0, \quad \left| \overline{\Psi}_{sref} \right| - \left| \overline{\Psi}_s \right| \leq -\Delta\Psi / 2 \end{aligned} \quad (3)$$

Moment değişimi ile üç seviyeli moment histeresis karşılaştırıcının çıkış sinyali d_t aşağıdaki gibi elde edilebilir, burada saat yönü tersinde dönme (ileri yön) için,

$$\begin{aligned} d_t &= 1, \quad \left| T_{eref} \right| - \left| T_e \right| \geq \Delta T_e / 2 \\ d_t &= -1, \quad T_e \geq T_{eref} \end{aligned} \quad (4)$$

ve saat yönü dönme için (geri yön)

$$\begin{aligned} d_t &= -1, \quad \left| T_{eref} \right| - \left| T_e \right| \leq -\Delta T_e / 2 \\ d_t &= 0, \quad T_e \leq T_{eref} \end{aligned} \quad (5)$$

DMK'nın ilkelerine göre, moment dalgalanmaları sadece moment histeresis band genişliğinden etkilenmekte, akı histeresis band genişliğinden ise bağımsızdır. Moment histeresis bandı genellikle anahtarlama frekansını ve anahtarlama kayıplarını etkilemektedir [4].

6. SABİT ANAHTARLAMA FREKANSI

Histeresis karşılaştırıcı tabanlı bir DMK sürücü, çalışma hızına, yük şartlarına ve ASM'nin parametrelerine bağlı olan anahtarlama frekansı değişimlerinden dolayı verimi düşebilir. Band genişliği ile artan ve moment histeresis band genişliği tarafından güçlü bir şekilde etkilenen ortalama anahtarlama frekansının üzerinde durulmaktadır [4]. Moment titreşimleri histeresis bandın genişliği ile ilgilidir. Anahtarlama frekansı da motorun hızıyla değişir. Farklı çalışma şartlarında anahtarlama frekansındaki değişim, çalışma şartlarıyla değişen moment eğimine göredir. Gerilim vektörlerinin seçimi, moment hata durumuna göre belirlendiği için moment anahtarlama frekansı inverter anahtarlama frekansına doğrudan etki eder. Sabit referans ekseninde (k+1) inci örnekleme anında, stator ve rotor örnekleme periyodunun küçük değerleri için şu şekilde hesaplanır;

$$\overline{\Psi}_{s,k+1} = \overline{\Psi}_{s,k} + \frac{d\overline{\Psi}_{s,k}}{dt} \Big|_k \Delta t \quad (7)$$

$$\overline{\Psi}_{r,k+1} = \overline{\Psi}_{r,k} + \frac{d\overline{\Psi}_{r,k}}{dt} \Big|_k \Delta t \quad (8)$$

Önerilen adaptif histeresis band yöntemi DMK ile birleştirilince, yaklaşık sabit anahtarlama frekansı elde edilmektedir. Ortalama inverter anahtarlama frekansı

f_s aşağıdaki gibi tanımlanır,

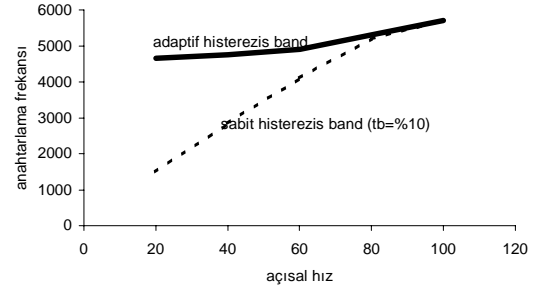
$$f_s = N_s / T_f \quad (9)$$

burada, N_s bir ana periyod süresi T_f 'de inverterin bir bacağına anahtarlama sayısını gösterir. Herhangi bir ana periyoddaki anahtarlama sayısı bir önceki periyoddaki anahtarlama sayısını referans değer olarak girilen anahtarlama sayısı ile karşılaştırarak moment histeresis band genişliğini elde etmek mümkündür. Düşük hızlarda meydana gelen akı yörüngesinin bozulmalarına karşı band genişliğini değiştirilmesi bir çözüm olmaktadır.

$$\begin{aligned} e_f &= f_{ref} - f_s(k) \\ de_f &= f_s(k) - f_s(k+1) \end{aligned} \quad (10)$$

7. SONUÇLAR

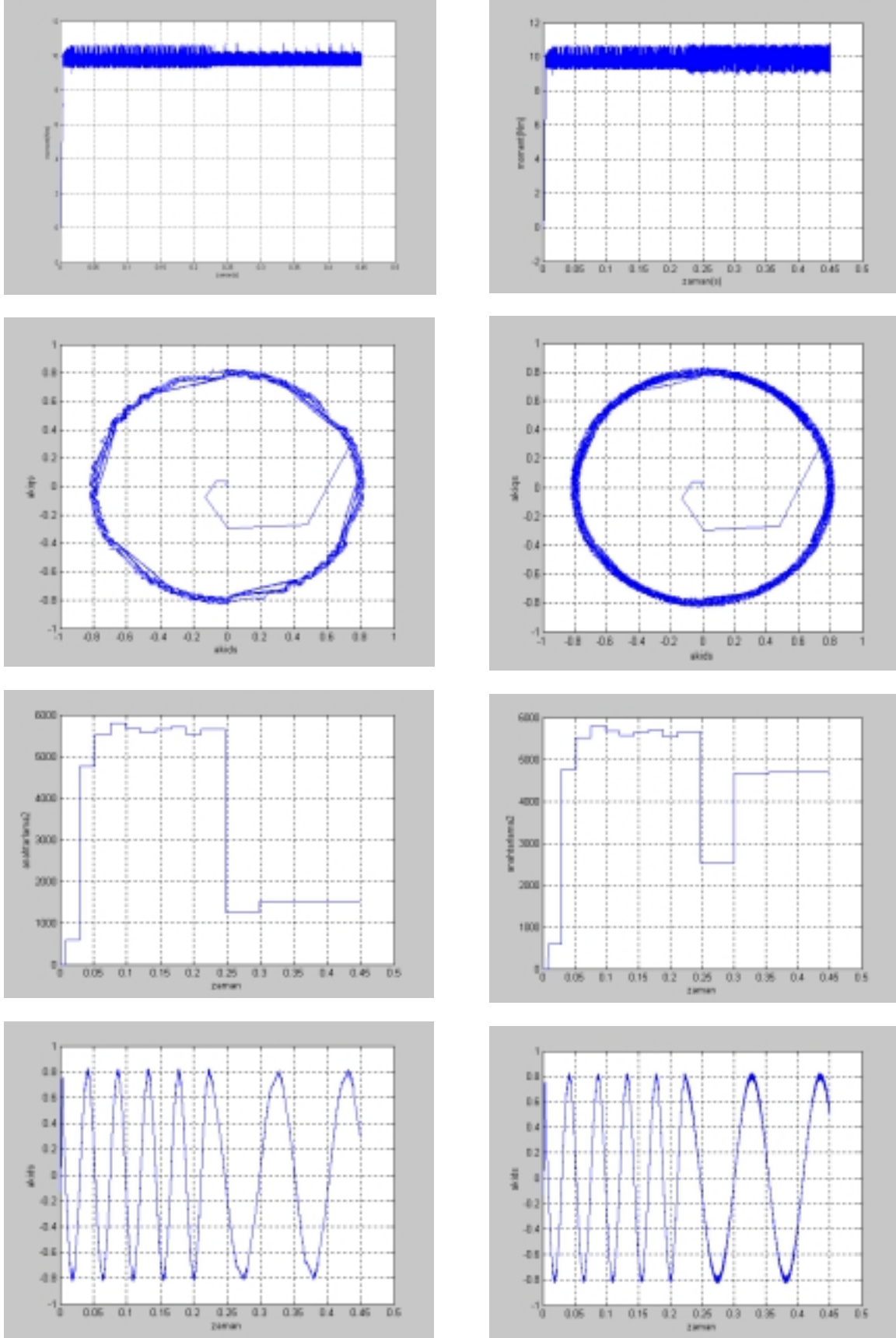
Adaptif histeresis band ile inverter anahtarlama frekansı sabit hale getirilmektedir. Ayrıca, düşük hızlarda küçük değerde olan anahtarlama frekansı, moment histeresis band değeri düşürülerek artırılmakta ve akı yörüngesi bu sayede dairesel olmaktadır. Düşük frekanslarda, sabit histeresis band ile elde edilen farklı anahtarlama frekansının adaptif histeresis band ile sabit hale getirildiği Şekil 5'de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmalı olarak Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 5 Adaptif histeresis bandın anahtarlama frekansına etkisi

KAYNAKLAR

- [1] Noguchi T. and Takahashi I, High frequency switching operation of PWM inverter for DTC of Induction motor, IN CONF. REC. IEEE-IAS ANNU. MEETING, 1997, pp.775-780
- [2] Kazmierkowski M.P. and Kasprowicz A. B., Improved direct torque and flux vector control of PWM inverter-fed induction motor drives, IEEE TRANS. IND. ELECTRON., vol 42, pp. 344-350, Aug. 1995
- [3] Kang J. and Sul S., Analysis and Prediction of Inverter Switching Frequency in DTC of Induction Machine Based on Hysteresis Bands and Machine Parameters, IEEE TRANS. ON IND. ELECTRONICS, vol. 48, No.3, pp. 545-553, June 2001
- [4] Okumuş H. İ., Improved Direct Torque Control of Induction Machine Drives Phd Thesis, UNIVERSITY OF BRISTOL, UK, July 2001



(a) sabit histerezis band (tband=%10)

(b) adaptif histerezis band

Şekil 6. DMK'lı Asenron Motora sabit histerezis band ve adaptif histerezis band uygulanarak elde edilen sonuçlar (grafikler sırasıyla, moment-zaman, akı yörüngesi, anahtarlama frekansı-zaman, stator akışı-zaman)