

PARAMETRE DEĞİŞİMLERİNİN ALAN YÖNLENDİRMELİ DENETİMDEKİ AKI TAHMİN MODELLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Hanifi Güldemir

Fırat Üniversitesi

Teknik Eğitim Fakültesi

Elektronik-Bilgisayar Bölümü

Elazığ

hguldemir@firat.edu.tr

Özet

Bu çalışmada indüksiyon motorun alan yönlendirmeli denetimi için gerekli olan akının çeşitli akı tahmin modelleriyle elde edilmesi ve parametre değişimlerinin bu akı tahmini üzerine olan etkileri incelenmiş ve benzetim sonuçları verilmiştir. Akı tahmin modellerinde kullanılan inegratör çıkışında oluşan sürüklenmenin ortadan kaldırılması için değişik modellerin benzetimi yapılmış ve birleştirilmiş akı tahmin modeli yada akı gözetleyicisi kullanılması durumunda parametre değişimlerinin etkilerinin azaldığı bu modellerin benzetimi yapılarak ortaya konulmuştur.

1 Giriş

Elektrik sürücülerinin modern endüstriyel uygulamaları özellikle hız ve konum kontrolü içeren uygulamalar, sürücü düzeneğinin istenen referansa çok hızlı ve doğru bir şekilde cevap vermesini gerektirmektedir. Elektrik makinalarının manyetik zaman sabitinin çok büyük olması yük momentindeki değişikliklerin makinadaki manyetik alanı etkilememesini gerekli kılmaktadır. Doğru akım makinalarının yapıları gereği alan ve moment ayarı birbirinden bağımsız olarak yapılabilirdiğinden değişken hızlı sürücü düzeneğinde yaklaşık 15 yıl öncesine kadar doğru akım (da) motorları kullanılmaktaydı. Ancak güç elektroniği ve yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler alternatif akım (aa) motorlarının geniş sınırlar içerisinde hız ayarlarının yapılabilmesini mümkün kılmış ve basitliği, ucuzluğu, kayan kontakların olmaması, sağlamlığı ve bakım gerektirmeme gibi özellikleri nedeniyle değişken hızlı sürücü sistemlerinde aa motorları da motorlarına tercih edilmeye başlamıştır.

Elektronik anahtarlamalı güç dönüştürücülerinin geliştirilmeleri aa motor sürücüleri için yeni bir çağ açmış ve değişken hızlı indüksiyon motor sürücü

sistemlerinin kontrolü için bir çok yöntemler geliştirilmeye başlamıştır.

Alternatif akım sürücülerin sabit moment olmak şartıyla frekansları değiştirilerek hız kontrolü açık çevrimli olarak yapılabilmektedir. Ancak açık çevrimli kontrolde yük momentindeki değişiklikler motor hızında değişikliklere sebep olmakta dinamik performans zayıf ve osilasyon gibi problemler oluşmaktadır.

Sürücü sistemi hızlı dinamik cevap ve hassas hız kontrolü yapılmasını gerektirdiğinde açık çevrimli kontrol yetersiz kalmaktadır [1]. Bu durumda sistemin kapalı çevrimli kontrolünün yapılması gerekmektedir.

Sürücü düzeneğin yüksek performansa sahip olması için indüksiyon motorun alan yönlendirmeli kontrolü yapılır. Alan yönlendirmeli kontrol, indüksiyon motoru sabit uyarımlı bir doğru akım motoruna benzeterek momentin birbirinden bağımsız olarak denetlenebilen bileşenlerden oluşturulmasını sağlamaktır. Böylece indüksiyon motor serbest uyarımlı bir da motoru gibi kontrol edilmektedir. Alan yönlendirmeli kontrol ile indüksiyon motor sürücüleri, yüksek performanslı uygulamalarda, da motorlarıyla yarışmaya başlamıştır.

2 Alan Yönlendirmeli Kontrol

Önceki bölümde de bahsedildiği üzere alan yönlendirmeli kontrolde asenkron motor serbest uyarımlı bir dc motora benzetilerek stator akımı bir dönüşüm kullanılarak birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilen iki bileşene ayrıştırılır. Bu akım bileşenlerinden bir tanesi motorun manyetik akısını diğeride makinanın oluşturacağı momentin kontrol edilmesini sağlar. Alan yönlendirmeli kontrol, stator yada rotor akısı ve konumunun tam olarak bilinmesini gerektirmektedir. Akı bilgisinin elde edilmesi ve yöntemine göre alan yönlendirmeli kontrol doğrudan alan yönlendirmeli kontrol yada dolaylı alan yönlendirmeli kontrol olmak üzere isimler alırlar. Yine

Alan yönlendirme yöntemi stator yada rotor akısı kullanılmasına göre stator alan yönlendirme yada rotor alan yönlendirme olarak isimlendirilirler.

Doğrudan alan yönlendirmeli kontrol, akının çeşitli düzenekler kullanılarak doğrudan ölçülmesi temeline dayanır. Bunun bir örneği stator oyuklarına bobinler yerleştirilerek akının ölçülmesidir [2]. Bu yöntemde 0.5 Hz e kadar olan akılar ölçülebilmektedir [3]. Diğer bir yöntem ise Hall etkili algılayıcılar kullanmaktır [4]. Ancak bu yöntem özel olarak üretilmiş bir motor yada standart bir motorda değişiklikler yapılmasını gerektirmektedir.

Akının doğrudan ölçülmesine alternatif olarak çeşitli akı tahmin modelleri kullanılmakta olup, bu yöntem motor akısının doğrudan ölçülmesini gerektirmez. Dolayısıyla özel olarak üretilmiş asenkron motora yada standart bir asenkron motorda değişiklikler yapılmasına ihtiyaç yoktur. Bu yöntemde gerekli olan akı bilgisi motorun akım ve gerilimleri ölçülerek elde edilmektedir. Bu yöntemin dezavantajı elde edilen akı bilgisinin makine parametrelerine bağlı olmasıdır. Bu parametreler sıcaklık ve frekansa bağlı olarak değiştiğinden gerçek motor parametreleri ile kontrol yönteminde kullanılan parametreler arasındaki küçük farklılıklar sürücü sistemin dinamiğinde büyük farklılıklar meydana getirir.

Bu çalışmada doğrudan stator alan yönlendirme için gerekli stator akısının elde edilmesinde kullanılan değişik akı tahmin modelleri, bu modellerin avantaj ve dezavantajları ve parametre değişimlerinin bu akı üzerine etkisi incelenecektir.

3 Alan Yönlendirme Yönteminde Akı Hesaplanması.

İndüksiyon makine sürücü düzeniğinin dinamik performansının hızlı ve hassas olması makinadaki akının doğru bir şekilde bilinmesini gerektirmektedir. Akının doğrudan ölçülmesi zor ve pahalı olduğundan akıyı doğrudan ölçme işlemi yerine kolaylıkla ölçülebilen akım, gerilim, hız bilgileri kullanılarak akının hesaplanması yoluna gidilir. Akıyı bu şekilde hesaplamak için kullanılan matematiksel modellere akı tahmin modelleri yada akı gözetleyicisi denilmektedir.

4 İndüksiyon Motor İçin Akı Tahmin Modelleri

4.1 Gerilim Modeli

İndüksiyon motorların dinamik modellerinin elde edilmesi birçok kitap ve makalelerde detaylı olarak verildiğinden bu modellerin elde edilmesi burada tekrar verilmeyecektir. Asenkron motorun dinamik davranışını modelleyen diferansiyel denklemler, rotor akımı sıfır kabul edilerek duran stator eksen sisteminde

$$V_{sa,\beta} = R_s i_{sa,\beta} + \frac{d\psi_{sa,\beta}}{dt} \quad (1)$$

olarak verilir. Burada R_s stator direnci i_s stator akımı, V_s stator gerilimi ψ_s ise stator akısıdır.

Denklem (1) kullanılarak stator akısına ilişkin durum denklemleri

$$\frac{d\psi_{sa,\beta}}{dt} = V_{sa,\beta} - R_s i_{sa,\beta} \quad (2)$$

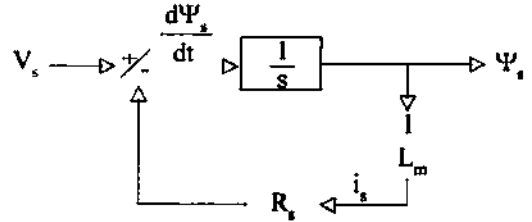
olarak elde edilir.

$$i_{sa,\beta} = \frac{\psi_{sa,\beta}}{L_m} \quad (3)$$

olarak yerine konulduğunda

$$\frac{d\psi_{sa,\beta}}{dt} = V_{sa,\beta} - \frac{R_s}{L_m} \psi_{sa,\beta} \quad (4)$$

elde edilir. Bu denklemden akının elde edilebileceği blok diyagramı şekil (1) de verilmiştir.

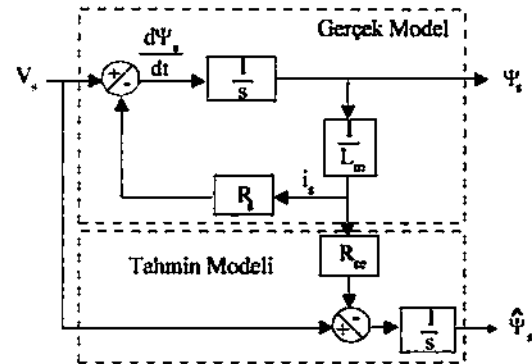


Şekil 1: Stator akısının elde edilmesi

Şekil 1 den de görüldüğü üzere stator akısı motor gerilimi ve akımından elde edilebilmektedir. En basit hali ile bir akı tahmin modeli denklem (4) kullanılarak

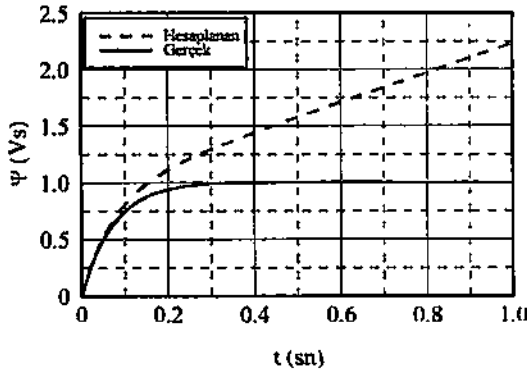
$$\hat{\psi}_{sa,\beta} = \int (V_{sa,\beta} - R_{se} i_{sa,\beta}) dt \quad (5)$$

olarak elde edilir. Bu şekilde elde edilen akı tahmin modelinin blok şeması Şekil 2 de verilmiştir.



Şekil 2: Stator akısı gerilim tahmin modeli

Şekil 2 stator akısının tahminine ilişkin blok diyagramını göstermektedir. Blok diyagramından görüldüğü üzere stator akısı motorun stator direnci ve karşılıklı indüktansına bağlıdır. Bu blok diyagramında kullanılan stator direnci ile motorun gerçek stator direnci aynı ise ve ölçülen akım ve gerilim değerlerinde bozucu ve gürültüler yok ise bu tahmin modelinin çıkışı stator akısının aynısı olacaktır. Ancak tahmin modelinde kullanılan stator direnci ile motorun gerçek stator direnci arasındaki küçük farklılık tahmin modelinden elde edilen stator akısı $\hat{\psi}_s$ ile gerçek stator akısı ψ_s arasında büyük farklılıklar meydana getirmektedir.



Şekil 3: Akı tahmin modelinin simülasyonu
 $R_{se}=0.95R_s, f=0$ Hz.

Şekil 3 tahmin modelinde kullanılan stator direnci R_{se} ile gerçek stator direnci R_s arasında %5 lik bir fark bulunması halinde tahmin modeli çıkışı $\hat{\psi}_s$ ile gerçek akı ψ_s arasındaki farkı açıkça göstermektedir.

Şekil 3 te görüldüğü üzere stator direncindeki hata sadece düşük frekanslarda etkisini göstermekte frekans arttıkça bu hatanın etkisi azalmakta ve tahmin modelinden elde edilen akı ile gerçek akı arasındaki farklılık azalmaktadır. Bu durum Şekil 4 de görülmektedir. Bu şekilde frekans 5Hz. olup R_s ile R_{se} arasında yine %5 lik bir fark bulunmaktadır.

Şekil 4: Akı tahmin modelinin simülasyonu
 $R_{se}=0.95R_s, f=5$ Hz.

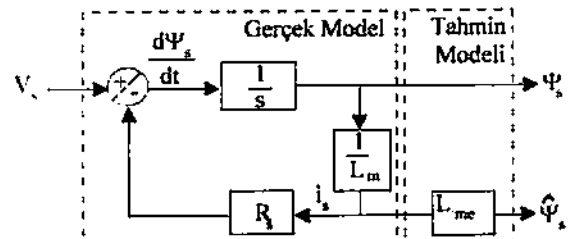
Bu model ile akı tahmininde stator direncindeki farklılaşmalar özellikle düşük hızlarda önemli olmaktadır. Ayrıca model akım ve gerilim ölçmelerine dayandığından akım ve gerilim ölçücülerindeki offsetler ise bütün frekanslarda integral çıkışında sürüklenmelere yol açtığından bu tür bir akı tahmin modelinin pratik olarak kullanılması olanaksız olmaktadır.

4.2 Akım Modeli

İntegral çıkışındaki sürüklenmeyi ortadan kaldırmanın bir yolu, denklem (2) kullanılarak akımın

$$\hat{i}_{s\alpha,\beta} = i_{s\alpha,\beta} L_{me} \quad (6)$$

olarak tahmin edilmesidir. Bu model Şekil 5 den de görüldüğü gibi akı tahmin modeline giriş olarak sadece stator akımı uygulandığından akım modeli olarak da adlandırılır.



Şekil 5: Stator akısı akım tahmin modeli

Bu akı tahmin modelinde tahmin edilen akımın gerçek akı ile farklılık göstermemesi karşılıklı indüktansın doğru olarak elde edilmesine bağlıdır. Ancak manyetik saturasyondan dolayı indüktans değişeceğinden bu parametrenin doğru olarak elde edilmesi güçtür. Şekil 6, gerçek indüktans ile akı tahmin modelinde kullanılan indüktans arasında %5 lik bir fark bulunması durumunda gerçek akı ile tahmin modelinden elde edilen akıları göstermektedir.

Şekil 6: Akı tahmin modelinin simülasyonu
 $L_{me}=0.95L_m, f=0.1$ Hz.

4.3 Birleştirilmiş Akım Gerilim Modeli

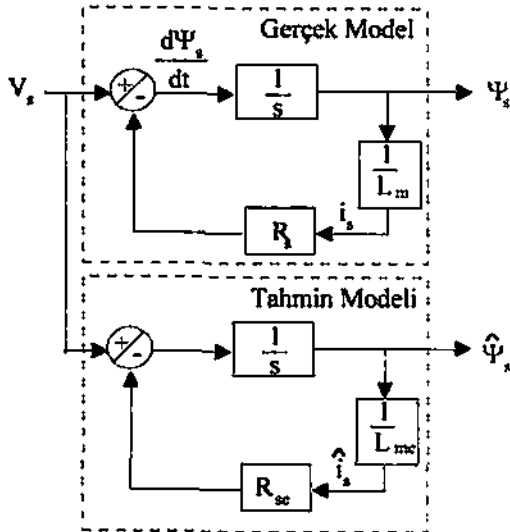
İntegral çıkışındaki sürüklenmeyi yok etmenin diğer bir yolu ise stator akımının ölçülmesi yerine tahmin edilmesidir. Bu durumda rotor akımı sıfır kabul edilerek

$$\dot{\psi}_{s\alpha,\beta} = \int (V_{s\alpha,\beta} - R_{se}\hat{i}_{s\alpha,\beta}) dt \quad (7)$$

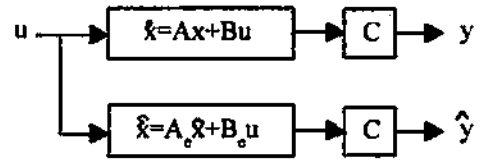
$$\hat{i}_{s\alpha,\beta} = \frac{\hat{\psi}_{s\alpha,\beta}}{L_{me}} \quad (8)$$

olur ki buradaki akımın elde edilmesine ait blok diyagramı Şekil 7 de verilmiştir.

Şekil 2 deki tahmin modelindeki integratörün oluşturduğu sürüklenme bu tahmin modelinde ortadan kalktığı Şekil 8 de açıkça görülmektedir. Yine burada gerçek ve tahmin modelindeki stator dirençleri arasında %5 lik fark olduğu kabul edilerek akılar hesaplanıp çizdirilmiştir. Bu farklılık şekilden görüldüğü üzere sürekli rejim hatasına sebep olmuştur. İndüktansdaki farklılık yine sürekli rejim hatasını etkilemektedir.



Şekil 7: Stator akısı gerilim ve akım tahmin modeli



Şekil 9: Gözetleyici blok diyagramı

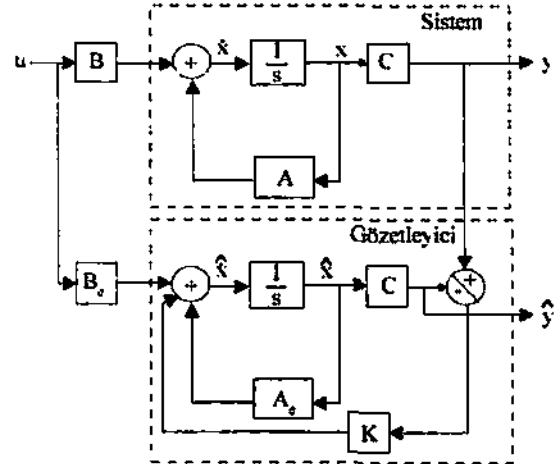
Ancak bu gözetleyicideki parametre hataları çıkışta sürüklenmelere yol açacağından x ve \hat{x} arasındaki fark geribesleme olarak kullanılarak bu farkın sifıra indirgenmesi yoluna gidilir. Bu durumda gözetleyici durum denklemi [5]

$$\dot{\hat{x}} = A_o \hat{x} + B_o u + K(y - \hat{y}) \quad (13)$$

olarak bulunur. (10) ve (12) nolu denklemlerden y ve \hat{y} (13) nolu denklemde yerine konulduğunda

$$\dot{\hat{x}} = A_o \hat{x} + B_o u + Kc(x - \hat{x}) \quad (14)$$

olarak bulunur. Burada K gözetleyici kazancı olarak bilinmektedir. Bu gözetleyiciye ilişkin blok diyagramı Şekil 10 da verilmiştir.



Şekil 10: Gözetleyici

Şekil 8: Akı tahmin modelinin simulasyonu

$$R_{se} = 0.95R_s, f = 0 \text{ Hz}$$

Şekil 3, 4, 6 ve 8 den görüldüğü üzere dolaylı akı uyarlamalı kontrol yönteminde akıların akı tahmin modelleriyle hesaplanmalarında akım ve gerilim ölçütülerindeki ve parametrelerdeki hatalar integral sonucunu yanlış etkilemekte ve integratör çıkışında sürüklenmelere yol açmaktadır. Tahmin modelleri üzerinden akı hesaplanmasında parametre etkilerinin azaltılması için, düşük hızlarda bir model yüksek hızlarda ise ikinci bir model kullanılmaktadır.

4.4 Akı Gözetleyicisi

Akı bilgisinin elde edilmesinde kullanılan diğer bir yol ise gözetleyici üzerinden yapılan tahmindir. Durum denklemi

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (9)$$

$$y = cx \quad (10)$$

olarak verilen bir sistem için gözetleyici denklemleri

$$\dot{\hat{x}} = A_o \hat{x} + B_o u \quad (11)$$

$$\hat{y} = c\hat{x} \quad (12)$$

olarak yazılabilir. Şekil 9 böyle bir sistemin blok şemasını göstermektedir.

Bu gözetleyici için

$$x = \psi_s$$

$$y = i_s$$

$$A_o = -R_{sc}/L_{mc}$$

$$\dot{\hat{x}} = \dot{\psi}_s$$

$$u = V_s$$

$$B_o = 1$$

$$c = 1/L_{mc}$$

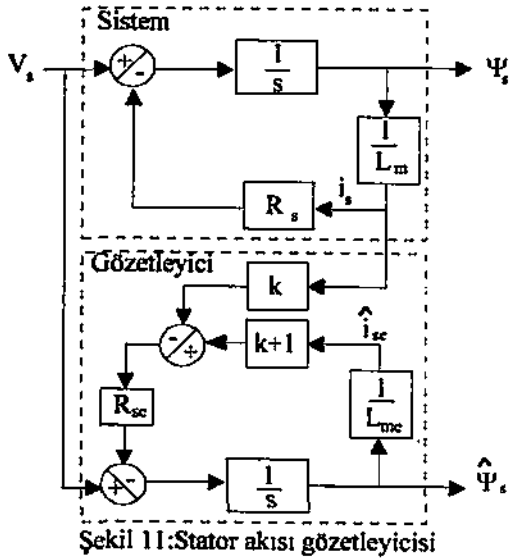
olarak alınıp (14) no lu denklemde yerine yazıldığında

$$\dot{\psi}_s = V_s - \frac{R_{se}}{L_{me}} \hat{\psi}_s + K \left(\frac{\psi_s}{L_m} - \frac{\hat{\psi}_s}{L_{me}} \right) \quad (15)$$

$k = K/R_{sc}$ olarak alınıp akılar da akım cinsinden ifade edilip düzenlendiğinde (15) nolu denklem

$$\dot{\psi}_s = V_s - R_{se} \left[(1 + k) \hat{i}_s - k i_s \right] \quad (16)$$

olacaktır. Bu denklemin blok diyagramı olarak gösterilimi Şekil 11 de verilmiştir.



Bu gözetleyicinin kutbu, karakteristik denkleminde [6]

$$[(A_e - kC) - s] = 0 \quad (17)$$

motor parametreleri cinsinden ise

$$\left[\left(-\frac{R_{se}}{L_{me}} - kR_{se} \frac{1}{L_{me}} \right) - s \right] = 0 \quad (18)$$

ve

$$s = -\frac{R_{se}}{L_{me}} (k + 1) \quad (19)$$

olarak bulunur. Bu kutup görüldüğü üzere k ya bağlı olarak değişmekte olup bu değişim k nın -1 değeri için Şekil 12 de verilmiştir.

Şekil 12: : Gözetleyici simülasyonu, $k=-1$

Şekil 12 den görüldüğü üzere $k \leq -1$ olduğunda gözetleyici kararsız olmakta k , -1 den itibaren artırıldığında sürekli rejime ulaşma hızı artmaktadır.

Şekil 13, 14 ve 15 k nın 0 , 1 ve 5 olduğunda gözetleyiciden elde edilen ve gerçek akıları göstermektedir. Görüldüğü üzere gözetleyici kazancı k

nın artırılması sürekli rejim hatası azaltmaktadır. Gözetleyici kazancının çok büyük seçilmesi, sürekli rejim hatasını çok küçük yapacak, sistem parametre değişimlerinden daha az etkilenecek ve daha çok kararlı olacaktır. Ancak kazancın istenildiği kadar artırılması pratikte mümkün değildir. Kazancın artırılması ölçülen akıdaki gürültüyü de beraber artıracığından gözetleyici gürültüden etkilenir hale gelecektir.

Şekil 13: Gözetleyici simülasyonu, $k=0$

Şekil 14: Gözetleyici simülasyonu, $k=1$

Şekil 15: Gözetleyici simülasyonu, $k=5$

4.5 Bant Geçiren Filtre

İntegratörün oluşturduğu sürüklenmeyi önlemenin bir başka yolu ise integratör yerine transfer fonksiyonu

$$T(s) = \frac{s}{(s + 2\pi f_1)(s + 2\pi f_2)} \quad (20)$$

olan bant geçiren filtre kullanılmasıdır. Bu transfer fonksiyonundaki f_1 ve f_2 filitrenin köşe frekanslarıdır. Frekansın filtre köşe frekanslarından daha büyük değerlerinde bu filtre bir integratör olarak çalışacak ancak gerilim ve akımdaki offsetler bu filtreden geçemeyecektir. Ancak 0 ile f_2 arasındaki frekanslarda sistem çıkışında belirli bir düşme meydana gelecektir.

5 Sonuç

Bu çalışmada indüksiyon motorun alan yönlendirmeli denetiminin yapılmasında gerekli akının elde edilmesi için kullanılan çeşitli akı tahmin modelleri incelenmiş bu modellerin benzetimi yapılarak parametre değişimlerinin bu akı tahmin modelleri üzerine olan etkileri gösterilmiştir. Benzetim sonuçlarından da görüldüğü gibi bir akı tahmin modeli düşük hızlarda diğer akı tahmin modeli ise yüksek hızlarda iyi sonuç vermektedir. Bu akı tahmin modellerinin avantajlı yönlerinin kullanılması bakımından bu modeller birleştirilerek düşük hızlarda bir model yüksek hızlarda ise diğer bir model kullanılarak parametre değişimlerinin akı tahmin modeli üzerine olan etkisinin azaldığı benzetim sonuçlarından görülmüştür.

6 Referanslar

- [1] Leonhard, W., "Control of Electrical Drives", Springer Verlag, Berlin, 1985.
- [2] Zinger, P., Profumo, F., Lipo, TA., Novonty, DW., "A Direct Field Oriented Controller of Induction Motor Drives Using Tapped Stator Windings", Proceedings of the IEEE Power Electronics Specialist Conference, Kyoto, pp.855-861. 1988.
- [3] Gabriel, R., Leonhard, W., Nordby, CJ., "Field Oriented Control of a Standart Ac Motor Using Microprocessors", IEEE Transaction on Industrial Applications, Vol:1A-16, 1980, pp. 186-192.
- [4] Blaschke, F., "The principle of Field Orientation as Applied to the New Transvector Closed Loop Control of Rotating Machines", Siemens Revolutions , Vol. 35. No. 5, pp. 217-220, 1972.
- [5] Ogata, K., "Modern Control Engineering", Prentice Hall, New Jersey, 1990.
- [6] Narendra, K.S., Annaswamy, A.M., " Stable Adaptive Systems", Prentice Hall, New Jersey, 1989.