

Asenkron Motor Hız Tahmininde İnterpolasyon ve Eğri Uydurma Yöntemlerinin Kullanımı

Emrah Eser^{1*}

¹Elektrik program/ Niksar MYO, Tokat Gaziosmapaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye (emrah.eser@gop.edu.tr)
*corresponding author

Özet – Sanayinin en çok tercih ettiği motorların başında gelen asenkron motorun skaler kontrolünün gerçekleştirilmesi için hız tahminlemesi yapılmıştır. Motor hızının farklı yüklerde değişmesi istenmeyen bir durumdur. Hız ve moment kontrolü için farklı kontrol yöntemleri kullanılmaktadır. Moment ve mil hızının kontrolünde özellikle vektör kontrolü tercih edilmektedir. Fakat sadece hız kontrolünün yapılacağı çalışmalarda skaler kontrol yöntemi de kullanılmaktadır. Skaler kontrol yönteminde gerilim ve frekans kontrolü birlikte yapılmaktadır. Motorun hızı ise direkt frekansla ilişkili olduğu için mil frekansının tahmin edilmesi skaler kontrol açısından önem arz etmektedir. Mil hızının tahmin edilmesinde sayısal analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada sayısal analiz yöntemlerinden olan Newton ileri doğru interpolasyon yöntemi ve Polinomla eğri uydurma yöntemleri kullanılarak mil hızı yüke göre hesaplanmaktadır. Uygulanan sayısal analiz yöntemleri ile motor mil hızının frekans değeri tahminlemesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. İnterpolasyon yönteminin eğri uydurma yöntemine göre daha yüksek doğrulukta simülasyon sonucuna yakın olduğu görülmüştür.

Anahtar kelime – Asenkron Motor, Skaler control, Sayısal analiz, Polinomla eğri uydurma, Newton ileri doğru interpolasyon

Use of Interpolation and Curve Fitting Methods in Asynchronous Motor Speed Prediction

Emrah Eser^{1*}

¹Electrical Programme/ Niksar Vocational School, Gaziosmanpaşa University, Tokat, Turkey (emrah.eser@gop.edu.tr)
*corresponding author

Abstract – Speed estimation has been performed to implement scalar control of asynchronous motors, which are among the most preferred motors in industry. It is undesirable for the motor speed to vary under different loads. Different control methods are used for speed and torque control. Vector control is particularly preferred for torque and shaft speed control. However, the scalar control method is also used in applications where only speed control is required. In scalar control, voltage and frequency control are performed together. Since the motor speed is directly related to the frequency, estimating the shaft frequency is important for scalar control. Numerical analysis methods are used to estimate the shaft speed. In this study, the Newton forward interpolation method and polynomial curve fitting methods, which are numerical analysis methods, are used to calculate the shaft speed according to the load. The applied numerical analysis methods were used to estimate the frequency value of the motor shaft speed. The results obtained are presented in a comparative manner. It was observed that the interpolation method yielded simulation results with higher accuracy compared to the curve fitting method.

Keywords – Asynchronous Motor, Scalar control, Numerical analysis, Polynomial curve fitting, Newton forward interpolation

I. GİRİŞ

Basit yapıları, ekonomik ve sağlam olmaları ve fazla bakım gerektirmemeleri Asenkron motor (ASM) tercih edilmesindeki en önemli nedenlerdendir. Fakat motor kontrolünün karmaşık olması en önemli dezavantajını da oluşturmaktadır. Doğru akım motorların kontrolü ASM'lara kıyasla oldukça kolaydır. Değişken hız uygulamaları gibi kontrol gerektiren uygulamalarda doğru akım motorları daha çok tercih edilmekteydi, fakat yarı iletken teknolojisinin 1950'li yıllardaki gelişimi ve daha sonra bilgisayar odaklı çalışmalarında gelişmesi ile ASM kontrolü üzerine yapılan çalışmalarda artmıştır. Çalışmaların ilerlemesi ile ASM'un kontrolü başarılı bir şekilde sağlanmaktadır [1,2].

Endüstriyel uygulamalarda elektrik motorlarının kontrol edilmesi amacıyla kullanılan değişken hızlı sürücüler, motor mili vasıtasıyla şebekeden yüke verilen enerjinin, moment ile hız büyüklüklerinin kontrolü sağlanmaktadır. Uygulamalarda, moment ve hız büyüklüklerinden sadece birinin kontrolü yapılarakta moment veya hız kontrolü gerçekleştirilmektedir. Sürücü moment kontrol modunda çalıştığında, hız yük tarafından belirlenir. Moment, makinedeki gerçek akım ve akının bir fonksiyonudur. Benzer şekilde sürücü hız kontrol modunda çalıştığında, moment yük tarafından belirlenmektedir. Değişken hızlı sürücüler, pompa, fan, vinç, asansör, torna tezgâhı, hadde tezgâhı, kâğıt makinesi ve sarma makinesi gibi farklı yükleri besleyen elektrik motorlarının kontrolünde endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır [3,4].

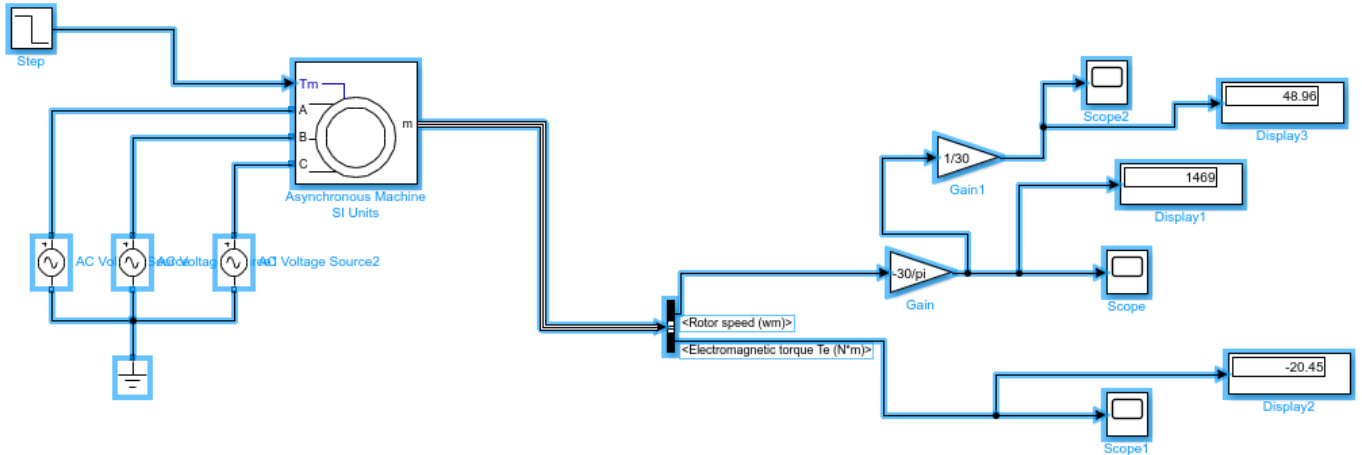
Endüstrinin temel ihtiyaçları doğrultusunda asenkron motorda özellikle kontrol edilen büyüklüklerin hız ve moment olduğu görülmektedir. Asenkron motor üzerine yapılan çalışmalarda moment kontrolü vektörel kontrol ile sağlanmakta, hız kontrolü ise hem skaler hem de vektörel kontrol ile sağlanabilmektedir[6].

ASM'lerin hız denetimlerinde klasik yöntemler (PI, PD, PID) ve tahminleme üzerine dayalı algoritmalar kullanılarak hız kontrolü sağlanmaktadır. Skaler kontrol yöntemi düşük performanslı uygulamalar da etkili olmaktadır. Fakat yüksek hızlı uygulamalar için vektörel kontrol yöntemi tercih edilmektedir. Motorların hız denetimlerinde tork, akı vb. gibi bilgiler ölçülerek kontrol sağlanmaktadır [5].

ASM'ler yüklendikleri zaman küçüğe olsa hız değişimleri yaşamaktadır. Bu durum uygulamalarda istenen bir değişim değildir. Hız değişimleri kalman filtresi, sonlu elemanlar, bulanık mantık, yapay sinir ağları gibi birçok teknik kullanılarak tahin edilmektedir ve motor istenilen hızda çalıştırılmaktadır [5].

Sayısal analiz yöntemleri sayesinde mühendislik alanında çözümü olmayan birçok problem çözülebilmektedir. Çözümü zor olan problemleri sayısal analiz teknikleri kullanarak bilgisayar yardımı ile belirli bir hata oranında çözümlemesi yapılabilmektedir[7].

Bu çalışmada sayısal analiz yöntemlerinden Newton'un ileri doğru interpolasyon yöntemi ve Polinomla eğri uydurma yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemler bilinen değerler üzerinden bilinmeyen değerleri hesaplanmaktadır.



Şekil. 1 ASM simülasyonu

A. Asenkron motorun matematiksel modeli

ASM'un kontrolünde özellikle matematiksel model kullanılmaktadır. Motorun modellenmesinde farklı işlemler uygulanmaktadır. Üç fazlı ASM'un gerilim eşitlikleri eşitlik 1-6'da verilmiştir.

$$v_{as} = R_s i_{as} + d(\Psi_{as})/dt \quad (1)$$

$$v_{bs} = R_s i_{bs} + d(\Psi_{bs})/dt \quad (2)$$

$$v_{cs} = R_s i_{cs} + d(\Psi_{cs})/dt \quad (3)$$

$$v_{ar} = R_r' i_{ar} + d(\Psi_{ar})/dt \quad (4)$$

$$v_{br} = R_r' i_{br} + d(\Psi_{br})/dt \quad (5)$$

$$v_{cr} = R_r' i_{cr} + d(\Psi_{cr})/dt \quad (6)$$

Burada Ψ d-q ekseninde stator (s) ve rotor (r) akısı, v d-q ekseninde stator (s) ve rotor (r) gerilimi, i d-q ekseninde

Matlab simulink ortamında oluşturulan simülasyon ile motor sabit hızda farklı yüklerde test edilecektir. Elde edilen değerler üzerinden ara değerlerdeki yükler için mil hızının frekans değerleri interpolasyon yöntemi ve eğri uydurma yöntemi ile hesaplanması yapılmaktadır.

II. MATERYAL VE METOT

Sanayi de yoğun bir şekilde kullanılan motorların başında gelen ASM'ların gelmektedir. Bu motorların kontrolünde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Vektör kontrolü ve skaler kontrol yöntemleri tercih edilmektedir. Skaler kontrol yöntemi basit bir yapıya sahiptir. Gerilim ve frekansın kontrol edilmesi ile motorun senkron hızı dolayısıyla da mil hızı kontrol edilmektedir. ASM'un farklı hız koşullarını analiz etmek için simülasyon programları ve matematiksel modelleri kullanılmaktadır [9].

Bu çalışmada ASM motor simülasyonu oluşturulmuş ve 6 farklı yükte analizleri gerçekleştirilmiştir. Matlab ortamında oluşturulan simülasyon şekil-1'de sunulmuştur. Matlab simulink ortamında oluşturulan simülasyon ile motor sabit hızda farklı yüklerde test edilecektir. Elde edilen değerler üzerinden ara değer yüklerdeki mil frekans değeri interpolasyon yöntemi ve eğri uydurma yöntemi ile hesaplanacaktır. Simülasyonda kullanılan ASM 4 kW, 400 V, 50Hz, bir motordur.

stator (s) ve rotor (r) akımı ve R stator ve rotor direncini ifade etmektedir.

Bazı kabuller ve işlemler yapıldıktan sonra asenkron motorun senkron hızda d-q eksen takımındaki eşitlikleri aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$A = \begin{bmatrix} v_{sd} \\ v_{sq} \\ v_{rd} \\ v_{rq} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} R_s + SL_s & -\omega_s L_s & SL_m & -\omega_s L_m \\ \omega_g L_s & R_s + SL_s & \omega_g L_m & SL_m \\ SL_m & -(\omega_s - \omega_r) L_m & R_r' + SL_r & -(\omega_s - \omega_r) L_r \\ (\omega_s - \omega_r) L_m & SL_m & (\omega_s - \omega_r) L_r & R_r' + SL_r \end{bmatrix}$$

$$A = B.C \quad (7)$$

Asenkron motorun d-q eksenindeki moment denklemi;

$$T_e = \frac{3P}{2} L_m (i_{sq} i_{rd} - i_{sd} i_{rq}) \quad (8)$$

Hız denklemleri;

$$\omega_r = \frac{p}{2} \int (T_e - T_L) \frac{1}{j} dt \quad (9)$$

$$\omega_r = 2\pi f_r \quad (10)$$

Burada ω_r Rotor hızı (elde edilen hız), L_m Karşılıklı indüktans, P Kutup sayısı, T_L Yük momenti, j Atalet momenti katsayısı ve f Frekans olarak tanımlanmaktadır.

B. Newton'un ileri doğru interpolasyon yöntemi

Newton interpolasyon yönteminde farklı çözüm yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlardan ileri interpolasyon yöntemi bu çalışma için tercih edilmiştir. Bu yöntemde ilk olarak fark tablosu hazırlanmaktadır. Hazırlanan fark tablosundan yararlanılarak eşitlikler elde edilmekte ve istenilen değer hesaplanmaktadır[7].

İleri fark operatörü eşitlik 11'de verilmiştir.

$$\Delta f(x_0) = f(x_0 + h) - f(x_0) \quad (11)$$

Fark değerleri eşitlik 12'den hesaplanmaktadır.

$$f(x_0, x_1) = \frac{f(x_1) - f(x_0)}{h} = \frac{\Delta f(x_0)}{h} \quad (12)$$

Eşitlik 11 ve eşitlik 12 kullanılarak Newton'un ileri doğru interpolasyonu eşitlik 13'teki gibi elde edilmektedir.

$$f(x) = f(x_0 + ah) = f_0 + a\Delta f_0 + \frac{a(a-1)}{2!} \Delta^2 f_0 + \dots + \frac{a(a-1)(a-2)\dots(a-m+1)}{m!} \Delta^m f_0 + R \quad (13)$$

Simülasyon sonuçları kullanılarak Newton ileri doğru interpolasyonu eşitlikleri ile ara değerler hesaplanabilmektedir.

C. Polinomla eğri uydurma yöntemi

Polinomla eğri uydurma elimizde olan veri değerlerine uygun olarak iki veya daha yüksek dereceli polinom katsayılarını elde etmektedir[7,8]. m. Dereceden bir polinom eşitliği eşitlik 14'de verilmiştir.

$$f(x) = a_m x^m + a_{m-1} x^{m-1} + a_{m-2} x^{m-2} + \dots + a_1 x + a_0 \quad (14)$$

m. dereceden olan bu polinom için m-1 dereceli bir polinom uydurulmaktadır. Verilere en uygun polinomun elde edilmesi için hata değerinin minimum olması gerekmektedir. Toplam hatanın minimum olabilmesi için hata fonksiyonun a katsayılarının türevi alınarak sıfıra eşitlenmektedir. Polinom uydurmak için gerekli olan matris eşitlik 15'te sunulmuştur.

$$\begin{bmatrix} m & \sum_{i=1}^N x_i & \dots & \sum_{i=1}^N x_i^m \\ \sum_{i=1}^N x_i & \sum_{i=1}^N x_i^2 & \dots & \sum_{i=1}^N x_i^{m+1} \\ \sum_{i=1}^N x_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i^3 & \dots & \sum_{i=1}^N x_i^{m+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sum_{i=1}^N x_i^m & \sum_{i=1}^N x_i^{m+1} & \dots & \sum_{i=1}^N x_i^{2m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N y_i \\ \sum_{i=1}^N x_i y_i \\ \sum_{i=1}^N x_i^2 y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^N x_i^m y_i \end{bmatrix} \quad (15)$$

Matrisin çözümü ile uydurulmuş olan polinom bulunmaktadır.

III. SIMÜLASYON VE SONUÇLARI

A. Simülasyondan elde edilen sonuçlar

Yapılan simülasyon ile sabit hız da farklı yük koşullarında motorun mil hızı değerleri elde edilmiştir. Simülasyon sonucu mil hız değerleri tablo-1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Simülasyon sonuçları

| n | Değişken moment sabit hız | | | |
|---|---------------------------|--------------|-------------|------------|
| | Yük torku | Referans Hız | Ölçülen Hız | Hız Hatası |
| 0 | 0 | 50 | 49,98 | 0,02 |
| 1 | %20 | 50 | 49,46 | 0,54 |
| 2 | %40 | 50 | 48,96 | 1,04 |
| 3 | %60 | 50 | 48,39 | 1,61 |
| 4 | %80 | 50 | 47,84 | 2,16 |
| 5 | %100 | 50 | 47,22 | 2,78 |

B. İnterpolasyon tekniği ile elde edilen sonuçlar

Newtonun ileri doğru interpolasyon yöntemi ile çözüm yapılırken fark tablosunun oluşturulması gerekmektedir. Tablo-2'de oluşturulan fark tablosu görülmektedir.

Tablo 2. Newtonun ileri doğru interpolasyon fark tablosu

| n | T _L | f _s | f _r | Δf | Δ ² f | Δ ³ f | Δ ⁴ f | Δ ⁵ f |
|---|----------------|----------------|----------------|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0 | 0 | 50 | 49,98 | -0,52 | 0,02 | -0,09 | 0,18 | -0,36 |
| 1 | %20 | 50 | 49,46 | -0,50 | -0,07 | 0,09 | -0,18 | |
| 2 | %40 | 50 | 48,96 | -0,57 | 0,02 | -0,09 | | |
| 3 | %60 | 50 | 48,39 | -0,55 | -0,07 | | | |
| 4 | %80 | 50 | 47,84 | -0,62 | | | | |
| 5 | %100 | 50 | 47,22 | | | | | |

Tablolardan oluşturulan Newtonun ileri doğru interpolasyon eşitliği;

$$f(x) = 49,98 + a(-0,52) + \frac{a(a-1)}{2} 0,02 + \frac{a(a-1)(a-2)}{6} (-0,09) + \frac{a(a-1)(a-2)(a-3)}{24} 0,18 + \frac{a(a-1)(a-2)(a-3)(a-4)}{120} (-0,36) \quad (16)$$

Buradan ASM tam yükün %52'si ile yüklendiği düşünülerek hesaplama yapılırsa motorun mil frekans değeri 48,6205 Hz bulunmaktadır. "Aynı yükte simülasyon sonucu 48,6393 Hz olarak bulunmaktadır.

C. Eğri uydurma tekniği ile elde edilen sonuçlar

Simülasyondan alınan sonuçlar polinomla eğri uydurma yöntemi kullanılarak çözüm yapıldığında bulunan eşitlik;

$$f(x) = 50,0314 + (-0,048629 * x) + (-0,000157 * x^2) \quad (17)$$

Buradan ASM tam yükün %52'si ile yüklendiği düşünülerek hesaplama yapılırsa motorun mil frekans değeri 48,6609 Hz bulunmaktadır.

IV. TARTIŞMA

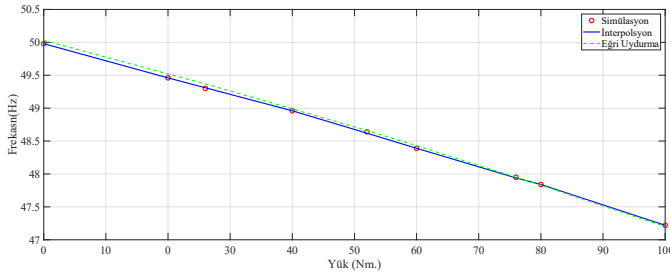
Simülasyondan elde edilen sonuçlar ve hesaplanan değerler tablo-3'de verilmektedir. Bu tabloda ara değerlerde verilmektedir.

Tablo 3. Simülasyon ve hesaplanan değerler

| n | Yük torku | Ölçülen Hız | İnterpolasyon | Eğri uydurma |
|---|-----------|-------------|---------------|--------------|
| 0 | 0,00 | 49,98 | 49,98 | 50,03 |
| 1 | %20 | 49,46 | 49,46 | 49,52 |
| 2 | %26 | 49,30 | 49,31 | 49,37 |
| 3 | %40 | 48,96 | 48,96 | 48,99 |
| 4 | %52 | 48,64 | 48,62 | 48,66 |
| 5 | %60 | 48,39 | 48,39 | 48,43 |
| 6 | %76 | 47,95 | 47,94 | 47,95 |
| 7 | %80 | 47,84 | 47,84 | 47,83 |
| 8 | %100 | 47,22 | 47,22 | 47,20 |

Tablo incelendiğinde interpolasyon yöntemi ile bulunan sonuçların simülasyon sonuçlarına daha yakın olduğu görülmektedir. Eğri uydurma yöntemi ile bulunan sonuçlarda hata ilk değerlerde fazla olmaktadır. Özellikle 6. değer itibari ile simülasyon sonuçlarına oldukça yakın değerler vermektedir.

Sonuçların karşılaştırmalı grafiği şekil-2'de görülmektedir.



Şekil. 2 Karşılaştırmalı grafik

V. SONUÇ

ASM'un hız denetimi sanayideki kullanım yoğunluğu düşünüldüğünde oldukça önemli olmaktadır. Farklı yük koşulları altında hızın sabit tutulması için önceden gerçekleştirilen tahminleme ile frekans değerleri değiştirilebilmektedir. Düşünülen çalışma ile sayısal analiz yöntemleri ile frekans tahminlemesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar motorun hız denetiminde interpolasyon yöntemi ve eğri uydurma yönteminin kullanılabilirliğini göstermiştir. Motorun mil hızının frekansı her iki yöntem ile de hesaplanabilmektedir. Fakat kullanılan teknikler itibari ile interpolasyon yönteminde bulunan değerler simülasyon sonuçlarına daha yakın çıkmaktadır. Her iki çözüm yöntemi ve diğer sayısal analiz çözüm yöntemleri karşılaştırılabilir ve en iyi sonucun elde edildiği yöntem kullanılarak hız tahminlemesi gerçekleştirilebilir. Bundan sonraki çalışmalarda sayısal analiz yöntemleri kullanılarak motor

hızının farklı yük koşullarında sabit tutulması hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] M. Kemal Sarioğlu, M. Gökaşan, and S. Boğosyan. *Asenkron makineler ve kontrolü*. Birsan Yayınevi., İstanbul Türkiye 2003.
- [2] İlten, Erdem. "Asenkron motor için adaptif kesirli kayan kipli gözlemci tasarımı." thesis Balıkesir üniversitesi, Balıkesir, Türkiye, 2019.
- [3] Smith, Andrew, et al. "Improved method for the scalar control of induction motor drives." *IET electric power applications* 7.6 2013
- [4] A. Vatansever, "AC motor kontrol yöntemlerinin incelenmesi ve bir uygulama devresi gerçekleştirilmesi" Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, Aralık,2009
- [5] Ö.Otkun, "İndüksiyon motor denetiminde interpolasyon tekniklerinin kullanımı" *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(2), 2020.
- [6] B. K. Bose, "Scalar decoupled control of induction motor. IEEE transactions on industry applications", (1), 216-225, 2008.
- [7] N. Karaboğa, *Sayısal Yöntemler ve Matlab Uygulamaları*, Nobel Kitap..İstanbul, Türkiye, 2019.
- [8] Y.Karadede, "Eğri uydurma problemlerine melez algoritma yaklaşımı" Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta Türkiye, 2014.
- [9] Paice DA. "Induction motor speed control by stator voltage control". IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 2, 585-590, 1968.