

Bir Fazlı Asenkron Motor V/f Hız Kontrolü

Zeynep Bala DURANAY, Hanifi GÜLDEMİR

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Elazığ
zbduranay@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 14.04.2017; Kabul/Accepted: 06.06.2017)

Özet

Bir fazlı asenkron motorlar küçük güç gerektiren ev aletleri ve üç fazın olmadığı endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Değişken hız gerektiren uygulamalarda bu motorların hızlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada bir fazlı asenkron motorların yapıları dikkate alınarak hızlarının ne şekilde değiştirilebileceği detaylı olarak ortaya konulmuş ve hangi yöntemlerle değiştirilebileceği incelenmiştir. Bir fazlı motorun yardımcı sargı ve yardımcı sargı olmadan ürettiği hız-moment karakteristiği elde edilmiş ve verilmiştir. Motora uygulanan gerilimin değiştirilmesi, uygulanan geriliminin frekansının değiştirilmesi ile motor hızının nasıl değiştiği ile ilgili benzetimler yapılmıştır. Son olarak V/f kontrolü yapılarak performansı incelenmiş ve benzetimi yapılarak sonuçlar verilmiştir. Benzetim sonuçlarından V/f kontrollü bir fazlı motorun verilen referans hızı iyi bir şekilde takip ettiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Bir Fazlı Motor, V/f Kontrolü, Frekans Kontrolü, Gerilim Kontrolü, Eşdeğer Devre, Döner Alan

V/f Speed Control of Single Phase Induction Motor

Abstract

Single-phase induction motors are widely used in low power industrial and domestic applications where tri phase is unavailable. It is required to control the speed of the motor when the application need variable speed. In this study, how the speed of a single phase induction motor is examined and the methods for speed change is given by considering its structure. Torque-speed characteristics of single phase induction motor both with and without auxiliary winding are obtained and presented. Simulations are done on changing speed by changing input voltage, changing frequency of the input voltage. Finally the performance of V/f controlled single phase induction motor is examined. Simulations are made with different speed references and results are presented. The results show that the V/f controlled single phase induction motor has a good speed tracking performance. Simulations are realized in MATLAB/Simulink environment.

Keywords: Single-Phase Induction Motor, V/f Control, Frequency Control, Voltage Control, Equivalent Circuit, Rotating Field.

1. Giriş

Asenkron motorlar basit yapısı ve sağlam oluşundan dolayı yerleşim yerlerinde, endüstride ve ticari alanlardaki birçok uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanım alanı bulmaktadır. Bu uygulamalarda kullanılmalarının başlıca sebepleri sağlam bir yapıya sahip olması, bakım gerektirmemesi, sık arıza yapmamlarından dolayı işletme maliyetlerinin de oldukça düşük olmasıdır [1].

Bu motorların bir fazlı olanları ise, havalandırma, klima, pompa ve ısıtma gibi ev aletlerinde ve endüstriyel kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [2]. Bu tür

uygulamaların çoğu sabit bir hız gerektirmektedir [3].

Bir fazlı motorların kullanıldığı değişken hızlı sürücü sistemlerinin denetimi için birçok denetim yöntemi geliştirilmiştir [4-9]. Bunlar arasında skaler kontrol yöntemi olarak adlandırılan V/f kontrolü basitliği ve etkinliği bakımından en yaygın kullanılan yöntemlerden birisidir [1, 10].

Bu çalışmada, evirici üzerinden beslenen tek-fazlı asenkron motorun V/f kontrol tekniği kullanılarak hız kontrolünün gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Tek fazlı motorun farklı referans hız değerlerinde ve farklı yüklerdeki performansı Matlab/simulink benzetim programı ile incelenmiş ve benzetim sonuçları verilmiştir.

2. Bir Fazlı İndüksiyon Motor

Çalışması, senkron hızla dönen manyetik alanların rotoru etkilemesiyle üretilen momentin rotoru döndürmesi prensibine dayanmaktadır. Üç fazlı indüksiyon motorlarda, dönen manyetik alan, 120° faz farklı akımların, 120° faz farkıyla yerleştirilmiş sargılara uygulanması ile oluşturulmaktadır. Ancak bir fazlı motorlarda tek sargı ile döner manyetik alan oluşturulamadığından başlangıç döndürme momenti de oluşmamaktadır.

2.1 Döner alan teorisi

Bir fazlı asenkron motorlar genel olarak çift döner alan teorisi kullanılarak modellenmektedir [11]. Bir fazlı asenkron motorun stator sargısına sinüzoidal bir akım $I = I_m \sin wt$ uygulandığında bu gerilimin oluşturduğu değişken akım sargı düzlemine dik ekseninde bir manyetik alan meydana gelir. Bu durumda oluşan manyetomotor kuvvetin ifadesi,

$$F = \frac{2}{\pi} NI \sin\left(\frac{P}{2}\theta\right) \quad (1)$$

olarak verilmiştir [11]. Sargıya uygulanan akımın değeri yerine konulduğunda,

$$\begin{aligned} F &= I_m \sin wt \sin\left(\frac{P}{2}\theta\right) \\ &= F_m \sin wt \sin\left(\frac{P}{2}\theta\right) \end{aligned} \quad (2)$$

manyetomotor kuvvet (mmk) oluşur. Trigonometrik eşitlik,

$$\sin x \sin y = \frac{1}{2} \cos(x - y) - \frac{1}{2} \cos(x + y) \quad (3)$$

kullanılarak,

$$\begin{aligned} F &= F_f + F_b \\ &= \frac{1}{2} F_m \left[\cos\left(wt - \frac{P}{2}\theta\right) - \cos\left(wt + \frac{P}{2}\theta\right) \right] \end{aligned} \quad (4)$$

elde edilir. Böylece sargıda birbirine zıt yönde dönen pozitif ve negatif değerler olarak değişen iki eşit genlikli manyetik alan meydana gelir.

$$s_f = \frac{w_{sf} - w_m}{w_{sf}} \quad (5)$$

$$s_b = \frac{w_{sb} - w_m}{w_{sb}} = \frac{-w_{sf} - w_m}{-w_{sf}} \quad (6)$$

olarak ileri ve geri yönde dönen alanların her biri için kayma denklemi yazıldığında (s_f , s_b) ve denklem (5)'den w_m çekilip denklem (6)'da yerine konulduğunda,

$$s_b = 2 - s_f \quad (7)$$

olarak bulunur.

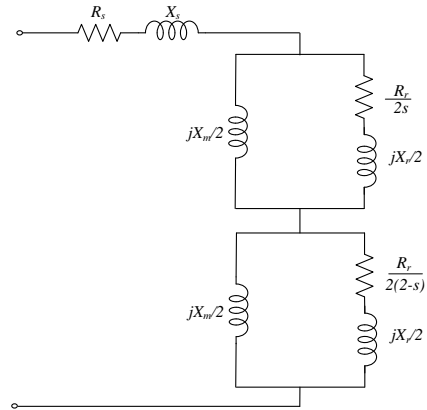
Bu ifadelerdeki w_{sf} , w_{sb} , w_m sırasıyla rad/s cinsinden ileri yönde hareket eden alanın senkron hızı, geri yönde hareket eden alanın senkron hızı ve mekanik hızdır. Bu durumda ileri yönde hareket eden dalga için kayma s olarak alındığında geri yönde hareket eden dalga için kayma değeri $2-s$ olarak elde edilir.

Bu alanlar ile rotor çubuklarında indüklenen akım birbirinin tersi yönde momentler üretir (T_f , T_b). Sargının oluşturduğu toplam moment ise,

$$\begin{aligned} T &= T_f + T_b = \frac{P_f}{w_{sf}} + \frac{P_b}{w_{sb}} \\ &= \frac{1/2(I_f^2 R_r / s_f)}{w_m} - \frac{1/2(I_f^2 R_r / (2-s_f))}{w_m} \end{aligned} \quad (8)$$

dir. Burada P_f ve P_b ileri ve geri yöndeki alanların oluşturduğu güç ve R_r ise rotor sargı direncidir.

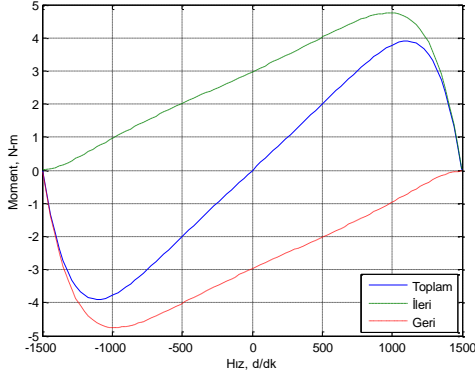
Bu döner alan teorisine göre bir fazlı asenkron motorun eşdeğer devresi Şekil 1'de verilmiştir [12].



Şekil 1. Bir fazlı indüksiyon motor eşdeğer devresi

İleri ve geri yöndeki akımların oluşturduğu moment ifadeleri ile toplam moment ifadesinin hıza göre değişimi Şekil 2'de çizdirilmiştir. Şekil 2'den görüldüğü üzere sargının oluşturduğu toplam moment sıfır olduğundan motor döndürme momenti üretmez. Bu durum (8) ifadesinde $s=1$ ($w_m=0$) konularak da görülmektedir.

Başlangıç anında döndürme momenti oluşmadığından bir fazlı asenkron motorlar sadece ana sargı ile kalkmazlar.



Şekil 2. Bir fazlı indüksiyon motorda ileri ve geri dönen alanların oluşturduğu hız-moment karakteristiği

Motorun herhangi bir müdahale olmadan kendi kendine dönebilmesi için motora ikinci bir sargı (yardımcı sargı) eklenir. Bu durumda hava aralığında oluşan mmf her bir sargı için,

$$F_a = \frac{2}{\pi} N I_a \cos\left(\frac{P}{2}\theta\right) \quad (9)$$

$$F_y = \frac{2}{\pi} N I_b \cos\left(\frac{P}{2}\theta\right) \quad (10)$$

$$F_g = F_a + F_y \quad (11)$$

Bu sargılara aynı genlikli 90° faz farklı akımlar uygulandığında,

$$\cos(x - y) = \cos x \cos y + \sin x \sin y \quad (12)$$

trigonometrik eşitliği kullanılıp,

$$F_m = \frac{2}{\pi} N I_m \quad (13)$$

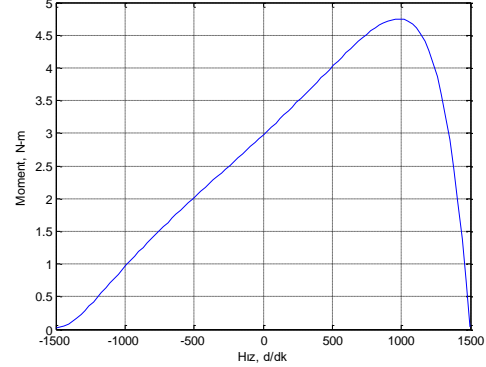
alındığında,

$$F_g = F_m \cos\left(\omega t - \frac{P}{2}\theta\right) \quad (14)$$

elde edilir. Bu ifade sabit genlikli hareket eden bir manyetik alan ifadesidir. Böylece ikinci bir sargı eklenerek döner bir manyetik alan oluşması sağlanmaktadır.

Sonuç olarak ana ve yardımcı sargı ile iki fazlı bir sistem elde edilir. Bu durumda statordaki iki fazlı sargılar döner manyetik alan meydana getirir. Oluşan manyetik alan rotor kısa devre çubuklarını keserek rotorda bir gerilim indükler. Rotor çubuklarından akan kısa devre akımları ile etkileşen manyetik alan bir moment üreterek motorun kendi kendine dönebilmesini

sağlamış olur. Şekil 3'de ana ve yardımcı sargıları bulunan bir fazlı asenkron motorun hız moment grafiği verilmiştir. Başlangıç anında ($n=0$) motorun döndürme momenti ürettiği görülmektedir.



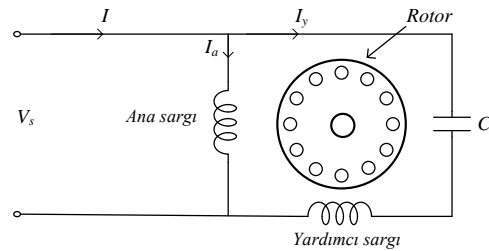
Şekil 3. Yardımcı sargılı bir fazlı indüksiyon motor hız-moment karakteristiği

Bir fazlı indüksiyon motorların kendi kendine dönebilmesini sağlayabilmek için başlatma yöntemine göre değişik tipleri vardır.

i-) Yardımcı sargılı bir fazlı indüksiyon motor: Bu tip bir fazlı indüksiyon motorun ana ve yardımcı sargı olmak üzere iki stator sargısı bulunmaktadır. Bu sargılar bir birlerine 90 derece faz farkıyla yerleştirilmişlerdir. Kendi kendine yol alabilmektedir.

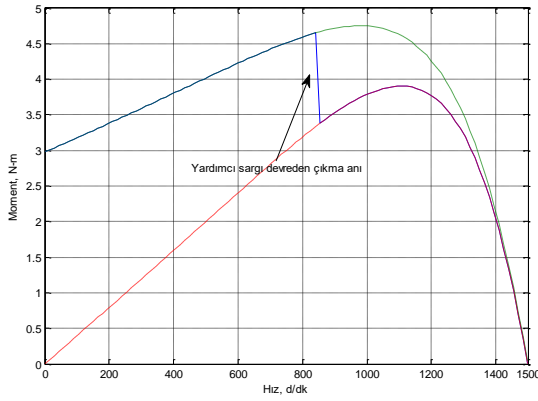
ii-) Kondansatör başlatmalı bir fazlı indüksiyon motor: Bu tip motorda ana sargı ile yardımcı sargı akımları arasındaki faz farkını artırmak için kondansatör kullanılır. Motor belirli bir hıza ulaştığında kondansatör ile yardımcı sargı devreden çıkarılır.

iii-) Sürekli kondansatörlü bir fazlı indüksiyon motor: Bu tür motorların iki çeşidi vardır. Birinde, Şekil 4'de olduğu gibi, yardımcı sargı ile kondansatör sürekli devrededir. Diğerinde ise yardımcı sargı ile birlikte iki adet kondansatör kullanılır. Bunlardan bir tanesi motoru başlatma anında diğeri ise hem başlatma anında hem de motor çalışırken devrededir.



Şekil 4. Bir fazlı indüksiyon motor

Yardımcı sargı ile kondansatör motorun başlangıç anında bir döndürme momenti üreterek motorun dönebilmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Motor dönmeye başladıktan sonra artık bunlara gerek kalmamaktadır. Bu yüzden yardımcı sargı ve kondansatör motor hızının belirli bir dereceye ulaşması ile çeşitli yöntemlerle devreden çıkartılır. Yardımcı sargılı bir fazlı motorun hız moment diyagramı Şekil 5’de verilmiştir. Şekildeki mavi eğri yardımcı sargı ile ana sargının birlikte ürettiği momenti, kırmızı tek başına ana sargının ürettiği momenti göstermektedir. Yardımcı sargının devreden çıkarılmasından itibaren motor sadece ana sargının ürettiği momentle çalışmasını sürdürmektedir.



Şekil 5. Bir fazlı yardımcı sargılı indüksiyon motor hız-moment karakteristiği

Bütün bu motor tiplerinde ana sargı ile yardımcı sargı akımları arasında faz farkı oluşturularak dönen manyetik alan üretilir. Bunun yerine kondansatör kullanmadan, inverterler kullanılarak sargılara aralarında 90 derece faz farkı bulunan akımlar uygulanarak da, motorun dönebilmesi için gerekli olan döner manyetik alan üretilmektedir.

3. Hız Kontrol Yöntemleri

Sincap kafesli asenkron motorların sürekli hal eşdeğer devresinden,

$$Z_f = j \frac{X_m}{2} \left\| \left(\frac{1}{2} \frac{R_r}{s_f} + j \frac{1}{2} X_r \right) \right\| \quad (15)$$

$$Z_b = j \frac{X_m}{2} \left\| \left(\frac{1}{2} \frac{R_r}{2-s_f} + j \frac{1}{2} X_r \right) \right\| \quad (16)$$

$$Z_s = R_s + jX_s \quad (17)$$

$$Z_{in} = Z_s + Z_f + Z_b \quad (18)$$

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{V}_1}{Z_{in}} \quad (19)$$

ve

$$\bar{I}_f = \frac{j \frac{1}{2} X_m}{Z_f + j X_m} \bar{I}_1 \quad (20)$$

$$\bar{I}_b = \frac{j \frac{1}{2} X_m}{Z_b + j X_m} \bar{I}_1 \quad (21)$$

Bu durumda üretilen moment

$$T = T_f + T_b = \frac{P_f}{\omega_{sf}} + \frac{P_b}{\omega_{sb}} \\ = \frac{1/2(I_f^2 R_r / s_f)}{\omega_m} - \frac{1/2(I_b^2 R_r / (2-s_f))}{\omega_m} \quad (22)$$

I_f ile I_b ifadelerindeki I_1 yerine (19) ifadesi yazıldığında,

$$T = \frac{1}{2} R_r p \left[\frac{1}{s \omega_s} - \frac{1}{(2-s) \omega_s} \right] I_f^2 \quad (23)$$

olarak elde edilir. Bu ifadeden motorun hızının değiştirilmesi

- Motorun kutup sayısının değiştirilmesi
- Motora uygulanan gerilimin değiştirilmesi
- Motora uygulanan gerilimin frekansının değiştirilmesi ile mümkün olabilmektedir.

3.1 Motorun kutup sayısının değiştirilmesi

Alternatif akım ile çalışan elektrik motorlarında senkron hız ve nominal hız olmak üzere iki hız kavramı kullanılmaktadır. Senkron hız motorun ürettiği elektromanyetik alanın hızı olup motorun yüksüz ve sürtünmesiz çalışması durumundaki teorik hızdır.

Senkron hızı etkileyen iki faktör vardır. Bunlar, motorun beslediği kaynağın frekansı ve motorun stator sargılarının kutup sayısıdır. Senkron hız,

$$n_s = \frac{120f}{p} \quad (24)$$

şeklinde verilmektedir. Burada f , kaynak frekansı p ise kutup sayısıdır.

Kutup sayısı ile senkron hız ters orantılıdır. Kutup sayısını değiştirerek hız kontrolü ancak kademeli olarak yapılabilmektedir. Bunun da yapılabilmesi için motor sargıları kutup sayısının değiştirilebilmesini sağlayacak şekilde özel

olarak oluşturulmalıdır. Bu şekildeki hız ayarı ancak birkaç kademe ile sınırlıdır.

3.2 Motora uygulanan gerilimin değiştirilmesi

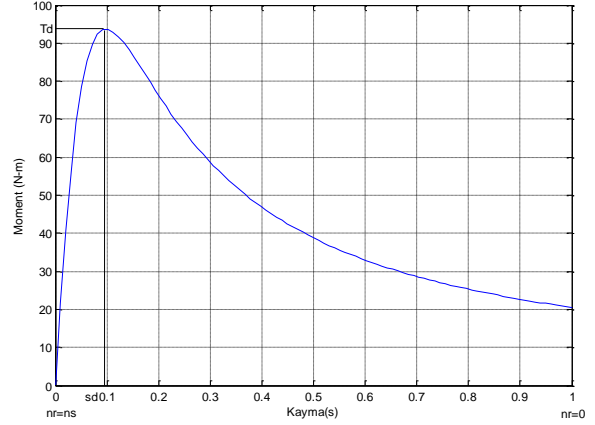
Asenkron motorun hızının kontrol edilmesinde, basitliği, ucuzluğu sebebiyle yaygın kullanılan yöntem motora uygulanan gerilimin kontrol edilmesidir.

Motorun rotor hızı döner manyetik alanın hızından farklıdır. Motor hızı senkron hız değerine ancak boş çalışma durumunda yaklaşabilmektedir. Boş çalışma durumunda dahi motor milindeki sürtünmeden dolayı rotor hızı senkron hızın altındadır. Motorun, yük altındaki rotor hızı ya da mil hızı her zaman senkron hızdan daha düşüktür. Senkron hız ile rotor hızı arasındaki yüzde cinsinden ifade edilen fark kayma olarak adlandırılmakta olup

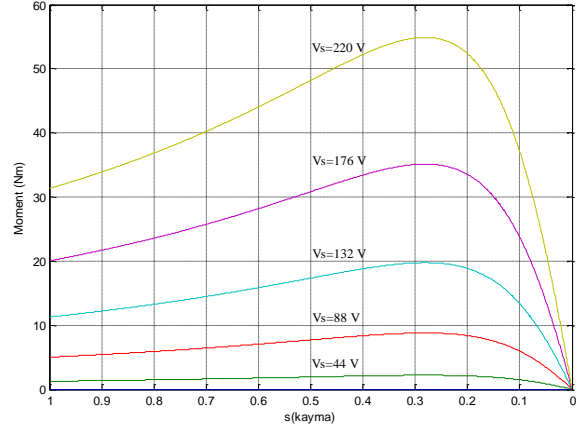
$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (25)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada n_s , senkron hızı, n_r , rotor hızını ve s ise kaymayı ifade etmektedir.

Asenkron motorun moment ve hız ifadeleri dikkate alındığında nominal gerilim ve frekansla beslenen motorun ürettiği momentin kaymaya bağlı olarak değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Motorun karalı çalışma bölgesi senkron hıza karşılık gelen $s=0$ ile maksimum momente karşılık gelen devrilme momenti (s_d) arasındaki doğrusal bölgedir. Motora uygulanan gerilimin değiştirilmesi ile motor hızı ancak bu dar alanda değiştirilebilmektedir. Motora uygulanan gerilimin değiştirilmesi ile motor hızı ancak bu dar alanda değiştirilebilmektedir. Motorun oluşturduğu moment uygulanan gerilimin karesi ile değişmektedir.



Şekil 6. Asenkron motor hız-moment karakteristiği



Şekil 7. Farklı gerilimler ile elde edilen hız-moment karakteristiği

Motora uygulanan gerilimin azaltılması momentte büyük bir düşüşe neden olmaktadır. Buna karşılık gerilimin değiştirilmesinin senkron hız ve maksimum momentin üretildiği devrilme kayması üzerine bir etkisi yoktur. Bu durum Şekil 7'de değişik gerilimler için verilen hız-moment karakteristiğinden de görülmektedir.

Bu nedenlerden dolayı sabit yük momenti durumunda motorun hızı çok küçük bir aralıkta yapılabilmektedir.

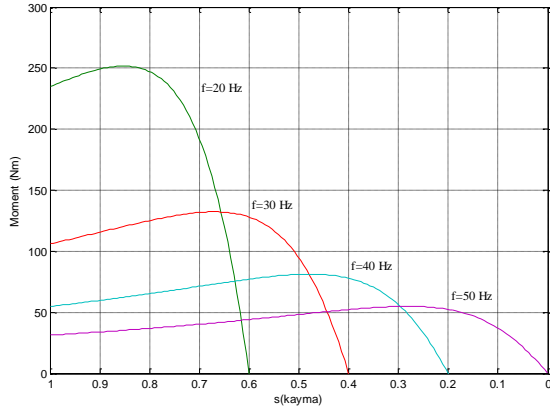
3.3 Motora uygulanan gerilimin frekansının değiştirilmesi

Yukarıdaki ifadeden motor hızının frekansla doğru orantılı, kutup sayısı ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Bir motorun kutup sayısı, motorun tasarımı aşamasında belirlenip sabit olduğundan, motorun hızının değiştirilmesi

kaynak frekansının değiştirilmesiyle mümkün olmaktadır.

Nominal gerilim ve şebeke frekansı ile çalışan tam yükteki motor hızı baz hız olarak alındığında, frekansın, şebeke frekansının altında veya üzerinde değiştirilmesiyle motor hızı, baz hızın altında veya üzerinde değiştirilebilmektedir.

Motorun hızını senkron frekans ile motorun beslediği yük belirlemektedir. Motor hızı, senkron hız ile maksimum momentin olduğu devrilme hızı arasında değiştirilebilmektedir. Motor hızını azaltmak için, motora uygulanan gerilimin frekansı düşürüldüğünde makinanın maksimum momentinin arttığı görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Farklı frekanslar ile elde edilen hız-moment karakteristiği

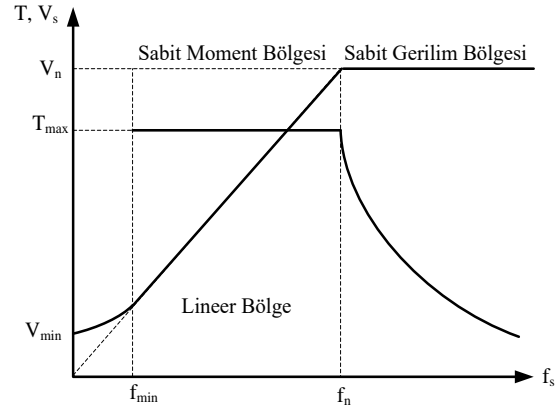
Frekansın azalması ile maksimum momentin artması, motorun bu kapasiteyi kullanabilecek bir yükte yüklenemeyeceğinden bir fayda sağlamaz. Motorun şebekeden gereksiz yüksek akım çekmesine neden olur. Bu akımlar düşük hız seviyelerinde çok büyük değerlere ulaşmaktadır. Bu nedenlerden dolayı frekansın değiştirilerek yapılan hız kontrolünde hız senkron hız ile sıfır hız arasında geniş bir aralıkta yapılabilmesine rağmen düşük hıza inildikçe artan akımlar ve bunların sebep olduğu doyum ve kayıplar nedeniyle kullanılmamaktadır.

4. Gerilim/Frekans (V/f) Hız-Moment Eğrileri

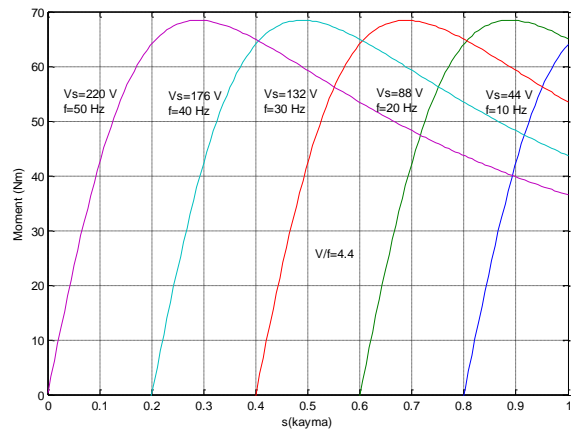
Asenkron motorun sürekli rejimdeki moment ifadesindeki gerilim/frekans oranı sabit tutulduğunda, motorun hızı, düşük hızlar hariç, geniş bir aralıkta kontrol edilebilmektedir. Bu durumda maksimum moment değeri hız kontrol

aralığında sabit kalmakta ve belli bir yük için makinanın çektiği akım da değişmemektedir.

Düşük hızlarda stator sargı direnci üzerindeki gerilim düşümü önemli olduğundan, düşük hızlarda uygulanan gerilim, bu gerilim düşümünü de karşılayacak şekilde belirlenen gerilim/frekans oranından büyük seçilmektedir. Şekil 9, V/f kontrol tekniğinin temeli olan gerilim/frekans değişim eğrisini göstermektedir. Şekil 10'da V/f oranı sabit tutularak farklı gerilim ve frekanslar için motorun hız moment değişimi verilmiştir. Düşük hız aralığı dışında gerilim/frekans oranı doğrusal olarak alınmaktadır. Senkron hız değeri üzerinde hız ayarı yapılabilmesi frekansın nominal frekansın üzerine çıkarılması ile olur. Ancak V/f oranının sabit kalması için uygulanan gerilimin de nominal gerilimin üzerine çıkarılması gerekir.



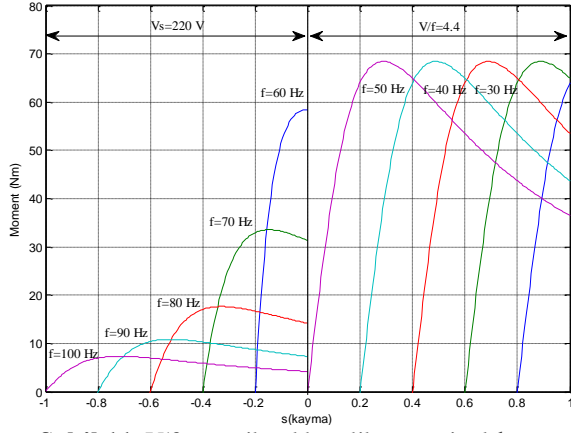
Şekil 9. Gerilim/frekans değişim eğrisi



Şekil 10. Sabit V/f oranı ile elde edilen hız-moment karakteristiği

Gerilimin nominal gerilim değerinden yüksek olması sargılar açısından problem

oluşturacağından, nominal frekanslar üzerindeki frekanslarda gerilim sabit tutulur (Şekil 11).

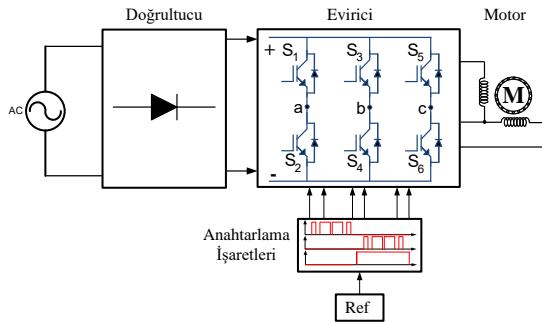


Şekil 11. V/f oranı ile elde edilen nominal hızın altında ve üstünde hız-moment karakteristiği

5. V/f Hız Kontrolü

Bir fazlı bir asenkron motorun hızının değiştirilmesinin en basit yolu motor sargılarına uygulanan gerilimin değiştirilmesidir. Ancak bu durumda hız çok dar bir alanda değiştirilebilmektedir [13]. Hızın geniş sınırlar içerisinde değiştirilmesi motor sargılarına uygulanan gerilimin frekansının değiştirilmesi ile sağlanabilmektedir.

Şekil 12'de bir motorun kaynak frekansının değiştirilerek, hızının elektronik olarak kontrol edilmesine yönelik blok diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 12. Değişken Hızlı Sürücü Blok Diyagramı

Doğrultucu kısmı, sabit frekanslı kaynak gerilimini doğru gerilime dönüştürerek doğrultulmuş gerilimin dalgalanmalarını giderip daha düzgün ve kararlı bir doğru gerilim sağlar. Evirici ise girilen referans değere göre frekansını değiştirilebilen bir alternatif gerilimi motor için üretir.

Bir alternatif akım motoru, dönen manyetik alanın akı etkisiyle bir moment üretmektedir. Akı sabit tutularak tam yük momentini üretilir. Frekansın değiştirilmesiyle hız kontrolünde nominal hızın altında, akıyı sabit tutmak için sabit bir gerilim-frekans oranı (V/f) motora uygulanır.

Motor hızının düşürülmesi için, frekans düşürüldüğünde bu oran artacağından motor akımı da artar ve aşırı bir artış olabilir. Frekans artırılarak bu oran düşürüldüğünde, motorun momentinde düşüş meydana gelir. Nominal hız üstünde sabit gerilim (nominal gerilim) uygulandığında bu oran azalmaktadır. Bu durumlarda, nominal hızın üzerinde motorun momentini azalmaktadır.

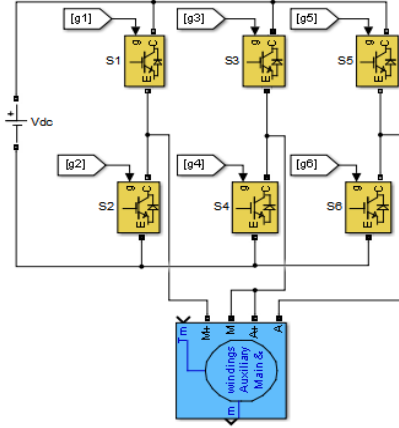
Nominal hız ve altında, motor hafif yüklü iken, gerilim-frekans oranı (V/f) ayarlanarak motor akımının azaltılıp minimum olması sağlanır. Bu ayarlama, motora uygulanan gerilimi azaltır ve motorun mıknatıslanma akımını düşürür. Sonuç olarak motor daha düşük moment üretir. Motor yükünün tipine bağlı olarak, özellikle sifra yakın hızlarda, motorun yeterli momentini üretebilmesi için, motor gerilimi artırılabilir. Bu ayarlama gerilim-yükseltimesi olarak adlandırılır. Bu kontrol yöntemi popüler bir yöntem olup, sabit V/f kontrolü olarak adlandırılır. Kondansatörlü bir fazlı asenkron motorlarda frekans değiştiğinde motorun kapasitif reaktansı da değişeceğinden V/f tekniği ile hız kontrolü uygulanmamaktadır.

V/f hız kontrol yönteminde motorun oluşturduğu manyetik alanın sabit kalması sağlanmaktadır. Genel olarak motora uygulanan gerilimin frekansa oranı (V/f) sabit tutulduğunda motorun ürettiği manyetik alan da sabit kalmaktadır. Bu işlem skalar kontrol yöntemi olup V/f kontrolü olarak adlandırılmaktadır.

Bu hız kontrol tekniğinde, darbe genişlik modülasyon kontrollü bir eviriciden üretilen değişken frekanslı bir gerilim motora uygulanır (Şekil 13).

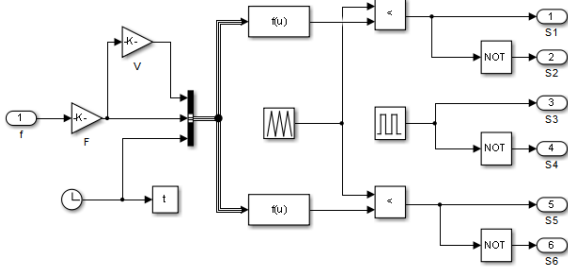
Çalışma aralığında sabit bir moment elde edilmesini sağlamak için motora uygulanan gerilimin frekansa oranı (V/f) sabit tutulur. Bu hız kontrol tekniği oldukça basit ve aynı zamanda ekonomik olduğunda özellikle açık çevrim sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Böyle bir sistemde uygun anaharlama işaretleri üretilerek, üç kollu bir

inverter ile ana ve yardımcı sargılar beslenecek şekilde bağlanmaktadır. Ana sargı ile yardımcı sargı anahtarlamaları arasına kısa bir gecikme süresi konularak başlangıç momenti elde edilmektedir.

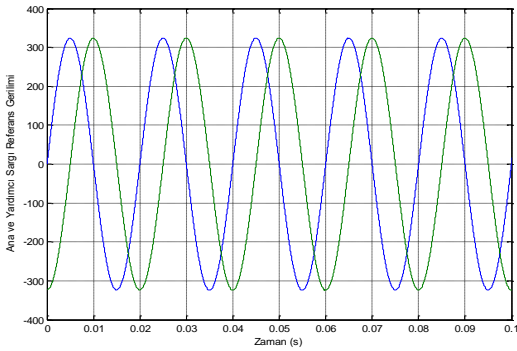


Şekil 13. Üç kollu evirici

Ana ve yardımcı sargılara uygulanacak anahtarlama işaretlerinin üretilmesi için V/f bloğundan V/f oranına bağlı olarak elde edilen referans gerilim ve anahtarlama işaretlerinin üretilmesine ilişkin simülük bloğu Şekil 14'de ve bu bloktan elde edilen referans gerilimler Şekil 15'de verilmiştir.



Şekil 14. V/f oranına bağlı anahtarlama işaretleri üretimi Simülük Programı

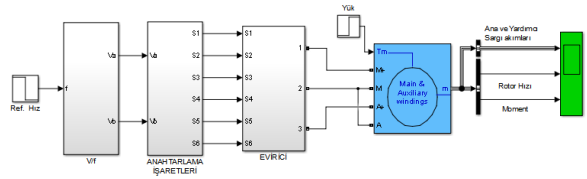


Şekil 15. V/f oranına bağlı olarak üretilen referans gerilimler

V/f oranından elde edilen frekans ile faz sargılarına uygulanacak referans 90° faz farklı gerilimler bir taşıyıcı dalga ile karşılaştırılarak üretilen anahtarlama işaretleri, sargıların bağlı olduğu evirici koluna; taşıyıcı dalganın yarım periyodunda iletimde, diğer yarım periyodunda kesimde olacak şekilde üretilen anahtarlama işareti ise, sargıların diğer uçlarının ortak bağlı olduğu diğer kola uygulanmıştır.

6. Benzetim Çalışmaları

Hız kontrol sistemi genel blok diyagramı Şekil 16' da verilmiştir. V/f bloğu içerisinde referans bir hız değerine bağlı olarak sabit bir V/f oranı sağlanıp bu orana bağlı olarak genlik ve frekansı belirlenen birbirinden 90° faz farklı sinüzoidal işaretler oluşturulmaktadır. Buradaki değişim, anahtarlama elemanlarına uygulanacak anahtarlama işaretlerinin görev oranını değiştirmektedir. V/f oranına göre üretilmiş olan anahtarlama işaretleri evirici bloğu içerisindeki anahtarlama elemanlarına uygulanmıştır.



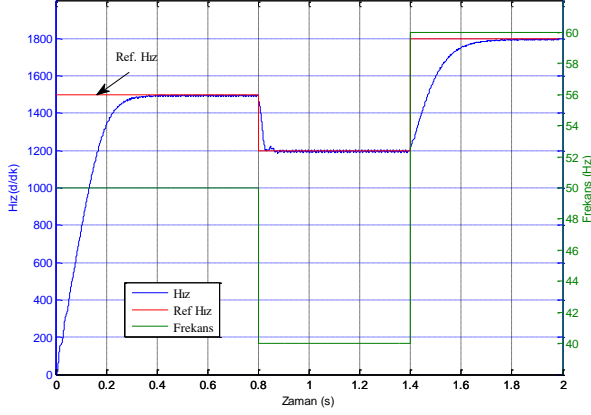
Şekil 16. V/f Hız kontrol sistemi Simülük Programı

V/f oranındaki değişim anahtarlama işaretlerinin görev oranını değiştirdiğinden buna bağlı olarak evirici çıkış gerilimi de değişmektedir.

Şekil 17'de değişik referans hız değerleri için motorun hızının değişimi verilmiştir. Burada $t=0$ anında 1500 d/dk olarak verilen referans hız değeri $t=0.5$ saniyede 1200 d/dk 'ya düşürülmüş ve $t=1$ saniyede ise 1800 d/dk 'ya yükseltilmiştir. Bu değişimlere karşılık olarak frekans da değişmiş ve aynı şekil üzerinde rotor hızı ile birlikte verilmiştir. V/f oranı değiştirilerek motorun hızının değiştiği görülmektedir. Benzetimde kullanılan motorun ana ve yardımcı sargılarına ilişkin parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

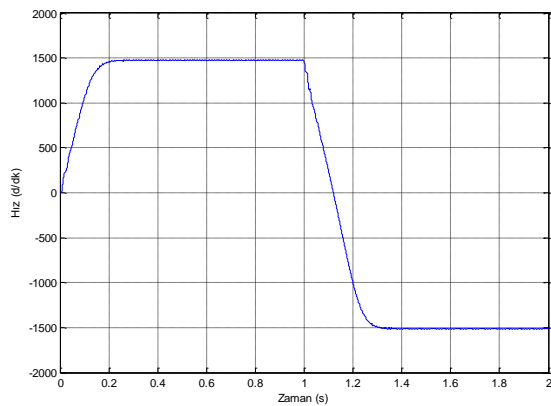
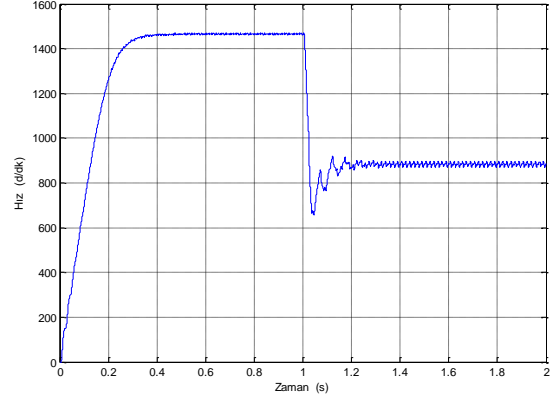
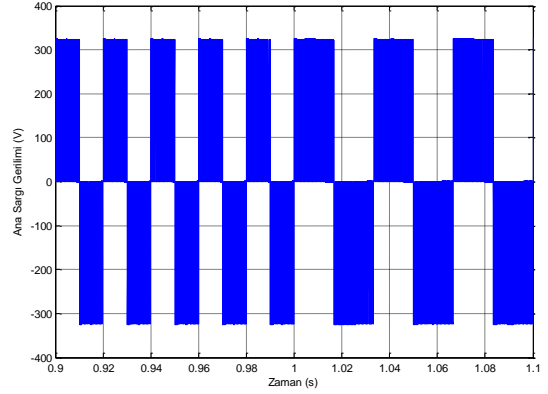
Tablo 1. Benzetimde kullanılan motor parametreleri

Ra (Ω)	La(mH)	Ry(Ω)	Ly(mH)	Lm(H)
2.02	7.4	7.14	8.5	0.17

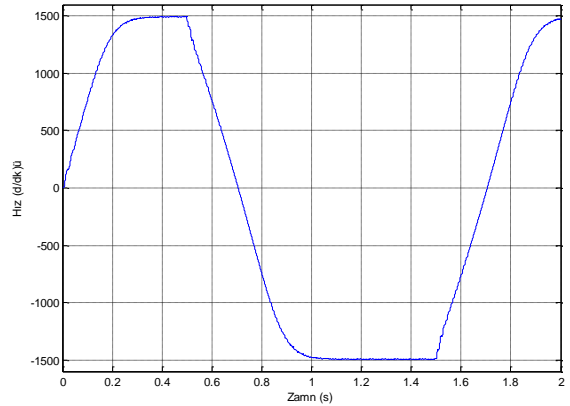
**Şekil 17.** Farklı referans hız değerleri için elde edilen hız ve karşılık gelen frekans değişimi

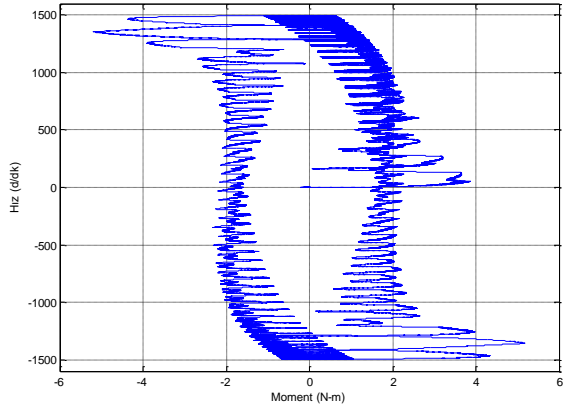
Şekil 18'de ise başlangıç anında 1500 d/dk olarak belirlenen Referans hız değeri $t=1$ saniyede -1500 d/dk olarak değiştirilmiş ve buna karşılık motor ters yönde belirlenen hız değeri ile dönmeye başlamıştır.

Şekil 19'de referans hızın 1500 d/dk'dan 900 d/dk'ya düşürülmesi ile elde edilen hız grafiği ve buna karşılık gelen evirici çıkış gerilimi ise Şekil 20'de büyütülerek verilmiştir. Burada $t=1$ anından önce ve sonraki işaretlerin frekanslarının farklı olduğu açıkça görülmektedir.

**Şekil 18.** Referans hızın $t=1$ s de 1500'den -1500 d/dk'ya düşürülmesi ile elde edilen hız cevabı**Şekil 19.** Referans hızın $t=1$ s de 1500'den 900 d/dk'ya düşürülmesi ile elde edilen hız cevabı**Şekil 20.** Ana sargıya uygulanan evirici çıkış gerilimi

V/f kontrollü sistemin dört bölge çalışmasını test etmek için hız referansı ± 1500 d/dk olarak değiştirilmiş ve elde edilen sonuçlar hız değişimi ile hız-moment değişimi Şekil 21 ile Şekil 22'de verilmiştir. Motorun dört bölgede çalışması bu şekillerden açıkça görülmektedir.

**Şekil 21.** Dört bölge çalışma



Şekil 22. Dört bölgeli çalışma hız-moment eğrisi

7. Sonuç

Endüstride ve evlerdeki birçok elektrikli cihazlarda sağlamlığı ve ucuzluğu nedeniyle bir fazlı asenkron motorlar kullanılmaktadır. Bu motorların kullanıldığı uygulamaların bazılarında değişken hız gerekmektedir.

Bu motorların ürettiği manyetik alanın değiştirilmeden hızının değiştirilmesinin en basit ve ucuz yöntemlerinden biri motora uygulanan gerilim/frekans oranının sabit tutulmasıyla sağlanmaktadır. Bu çalışmada motora uygulanan gerilim/frekans oranı (V/f) kontrol edilerek motorun hızının kontrol edilmesi gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla oluşturulan Simulink benzetim programı değişik V/f oranlarında çalıştırılarak motorun hız değişimleri elde edilmiş ve sonuçlar verilmiştir. Benzetim sonuçlarından, V/f kontrollü bir fazlı asenkron motorun iyi bir performans gösterdiği görülmüştür.

8. Kaynaklar

1. Latt, A.Z., Win, N.N. (2009). Variable speed drive of single phase induction motor using frequency control method. IEEE International Conference on Education Technology and Computer, ICETC'09, 30-34.

2. Analysis of Energy Conservation Standards for Small Electric Motors. Building Technologies, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy, 2003.

3. Blaabjerg, F., Lugeanu, F., Skaug, K., Tonnes, M. (2004). Two-phase induction motor drives. IEEE Industry Applications Magazine, 10 (4): 24-32.

4. Correa, M.B.R., Jacobina, C.B., Silva, E.R.C., Lima A.M.N., (2004). Vector control strategies for single-phase induction motor drive systems. IEEE Tran.on Industrial Electronics, 51 (5): 1073-1080.

5. Jemli M., Azza H.B., Bousak M., Gossa M., (2009). Sensorless indirect stator field orientation speed control for single-phase induction motor drive. IEEE Tran. on Power Electronics, 24 (6): 1618-1627.

6. Jang, D.H., Won, J.S. (1994). Voltage, frequency, and phase difference angle control of PWM inverter-fed two-phase induction motors. IEEE Trans. on Power Electronics, 9: 377-383.

7. Rocha, R., L. de Siqueira Martins, and J. C. D. de Melo (2005). A speed control for variable-speed single-phase induction motor drives. Industrial Electronics, ISIE 2005. Proceedings of the IEEE International Symposium, 43-48.

8. Kohlrusz, G., Fodor, D. (2011). Comparison of scalar and vector control strategies of induction motors. Hungarian Journal of Industry and Chemistry, 39 (2): 265-270.

9. Gajare, A.M., Bhasme, N.R. (2012). A Review on Speed Control Techniques of Single Phase Induction Motor International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering (IJCTEE) 2 (5): 33-39.

10. Sampathkumar, A. (2013). Speed control of single phase induction motor using V/f technique. Middle-East Journal of Scientific Research, 16 (12): 1807-1812.

11. Veinott, C.G. (1959). Theory and Design of Small Induction Motors. Mc. Graww Hill.

12. The Induction Machine Handbook. CRC Press LLC, ch 23, 2002.

13. Julian, A., Wallace, R., Sood, P. (1995). Multi-speed control of single-phase induction motors for blower applications. IEEE Trans. on Power Electronics, 10: 72-77.