

# mühendislik dünyası

uygulamalar

**endüksiyon motorları için  
düşük maliyetli  
elektronik  
hız denetleyicisi**

Asenkron (Endüksiyon) motorlarının hız ayarında temel olarak üç yöntem kullanılır. Bunlardan biri (muhtemelen en işlerliği olanı) besleme frekansının değiştirilmesidir. Bütün rotor hızlarında kayma (slip) tutularak devamlı hız değişimi yapılabilir. Yazıda kısaca endüksiyon motorunda kullanılan hız denetim yöntemleri karşılaştırılmakta ve deneysel olarak gösterilmiş en uygun düşük maliyetli hız denetim sistemi planlanmaktadır.

Asenkron motorun en baştaki avantajı, diğer elektrik motorlarına göre daha ucuz olması ve yüksek güvenilirliğidir. Bundan dolayı endüstride tüm elektrik motorlarının % 90'nını bunlar oluşturur. Normal olarak asenkron motorlar tam yükteki kaymaları düşük olacak biçimde (0,05'ten az) yapıldıklarından değişmez hızlı motor sayılabilir ve hızları besleme frekansı ve kutup sayılarına göre belirlenir. Motor hızının değiştirilmesinin istendiği birçok uygulamalar vardır. Geleneksel olarak hızı kolay denetlendiğinden böyle yerlerde DA motorları kullanılmaktadır. Ancak bunlar daha pahalıdır ve değişken hızlı AA komütatör motorlarının sorunlarına sahiptirler.

## TEMEL YÖNTEMLER

Asenkron motorların hız denetiminde temel olarak üç yöntem kullanılmaktadır. 1) rotor kaymasının değiştirilmesi, 2) sargı kutuplarının değiştirilmesi, 3) frekansın değiştirilmesi.

Rotor kaymasının (slip) değiştirilmesi, rotor direncinin değiştirilmesi ya da rotordan güç çekme ile yapılabilir; ancak her iki durumda da rotorda kayma-bileziklerine (slip-ring) gerek vardır. Bu da çoğunlukta ki motorlar için bir dezavantajdır. Sincap kafesli motorlarda hız denetimi için bir başka yöntem de stator geriliminin değiştirilmesidir. Bu da % 10 gibi küçük bir hız aralığı ile sınırlandırılmıştır.

Hız denetiminde ikinci yöntem bazı özel motorların kutup sargılarını artırmaktır. Bu yön-

temde iç bağlantılar anahtarla denetlenerek kutup sayıları değiştirilir. Açıktır ki hız, kutup çiftlerinin sayılarına karşılık olan değerler için ayarlanabilir ve; motorlar da üç

basamakta hızları % 50 azalacak kadar geliştirilmiştir. Bu özellik endüstride büyük oranda kullanılan özel ve sınırlı değişkenliği olan motorlar için geçerlidir. Üçüncü, ve belki de en geçerli yöntem besleme frekansının değiştirilmesidir. Bu yöntem ile bütün rotor hızları için değişmez kayma ve yüksek verimli sürekli hız değişimi yapılabilir. Bu yöntem genel olarak sincap kafesli motorlara da uygulanabilir. Gerekli moment ve verimliliği sağlamak için çalışma sırasındaki değişmez manyetik akı (flux) koşullarının daha da iyi sürdürülmesi istenir.

Bu ise stator gerilimi frekansla değiştirilerek sağlanabilir. Değişken frekanslı stator gücü AA katı durumlu frekans çevirgecinden (solid-state frequency converter) elde edilir. Motoru tam güçte çalıştırmak için güç yarıiletkenleri (power semiconductor) iki seri devre halinde kullanılır, (AA kaynağından doğru akıma ve doğru akımdan değişken frekanslı alternatif akıma) bu da sistemin pahalı olmasına yol açar. Çok fazla bir besleme kaynağı bulma olanağı varsa, paralel yarı iletkenler kullanılarak frekans değiştirilebilir, ancak bu da pahalı ve karmaşık bir işletmedir.

Endüstrideki temel gereksinimlerden hareketle asenkron motorlarda hız ayarlayıcılarının; hız değiştirme aralığının (range) 1 : 10 olması, bütün kafes tipli motorlara uygulanması, genellikle ucuz ve güvenilir olması istenir. Bunlardan son iki nitelik denetleyicide birleştirilmelidir. Hız aralığı 10 : 1 (genellikle 3 : 1'den büyük) için geçerli ve uygun yöntem değişken frekans ve gerilim kullanma yöntemidir.

Frekans değiştirme ve gerilim çevirme olarak daha önce değinilen yöntem günümüzdeki teknoloji içinde pek ucuz sayılmaz. Buna karşın endüstriden edinilen verilerden kutup anahtarlar sistemi endüstride belli bir aralık için farklı hız

ihtiyacını karşılayabiliyor. Bu durumda tek fazlı işlev için basit bir hız denetim düzeneği bir tane güç yarı iletkeni kullanılarak gerçekleştirilebilir.

#### TEK FAZ

Tek fazlı motorlara uygulanan frekans azaltılmasında temel yöntem giriş besleme frekans ve geriliminden temel (fundamental) frekansın uygun yarı dalgalar çıkarılarak tek sayılı basamaklarla düşürülmesidir. Çıkış dalgasında DA bileşeninin sıfır olması için ardıl yarı dalgaların ters kutuplu olması gerekir, bunun için de frekansın tek tam sayılardaki katsayısı sınırlandırılmalıdır. Temel frekansın tek tam sayılarının (n) azaltılmasıyla ortalama gerilim her yarı dalgada da otomatik olarak n kadar azalacağından motor geriliminin değişmesi frekansla orantılıdır. Bu son nokta yüksek harmonikleri içerdiği ve daha fazla ayrıntıyı gerektirdiğinden oldukça karmaşıktır.

Tek fazlı hız denetiminde temel yöntem uygun yarı dalgaları seçen iki yönlü denetlenebilir silikon doğrultmaç (İDSD-Triac) kullanılmasıdır. Gerekli her yarı dalganın başlangıcında İDSD'ı çalıştıran frekans seçici devresinin işaretleri girdi frekans kumandasıyla seçilir. Bu çalıştırıcı işaretler İDSD-geçit sürücü devresiyle İDSD anahtarlayıcı düzeyine yükseltilir. Bu düzey de asenkron motor ve İDSD öz eğrileriyle belirlenir.

#### ÇOK FAZLI

Üç fazlı besleme endüstride kullanımı dolayısıyla çok fazlı sistemler içinde en uygun olanıdır. Şekil 1'de tek fazlı frekans azaltma yönteminin üç fazlı beslemeye uygulanışı görülmüyor. Şekil 1.b'den görüleceği gibi frekansı  $f/3$  olan 3 fazlı besleme, Şekil 1.a'daki besleme geriliminden uygun yarı dalgaların seçilmesiyle üretilmektedir. Temel frekansı  $f/5$  olan 3-fazlı beslemeyi elde etmek için uygun ana fazlardan Şekil 1.c'deki gibi gerekli yarı dalgaların seçilmesi gerekir. Bu yüzden, genel durumda motora bağlanan her üç faz hattıyla ana fazların yarı dalgalarının denetimi yapılabilir. Şekil 2'de bu işlevi

sağlayan bir 3-faz denetleyicisi şematik olarak gösterilmiştir. Bu durumda denetleme, çevrim seçme kumandasıyla yapılmaktadır (sayısal ya da örnek sel elektrik işareti) ancak bu basit denetleme şekli her bir geçit-sürücü devresi için toplam dokuz İDSD gerektirdiğinden karmaşıklığın ve maliyetin artmasına yol açmaktadır. 3-faz denetleme devresi pratikte gerekli girdi fazların ön seçim anahtarlaması motor hattındaki İDSD'lara bağlanarak daha da basitleştirilebilir. Bu durumda İDSD'ların ve geçit-sürücü devrelerinin sayısı üçe indirgenebilir.

Besleme frekans ve geriliminden uygun yarı dalgaların çıkartılması sonucu elde edilen dalga periyodik olmasına karşın sinüs biçimli değildir ve sinüs biçimli dalganın birçok frekansından oluşmuştur. Her dalganın ana bileşen dönüşüm sıklığı uygulanan motorun

hızını denetlediği ve harmoniklerin de motor kayıplarını artırdığı kabul edilmiştir. Harmoniklerin görece genlikleri dalganın Fourier analizi ile elde edilebilir. Bu da Şekil 3'de gösterilmiştir.

Ana bileşenin k'yıncı harmoniğinin Fourier bileşeni  $b^k$  dir. (ana bileşen için  $k=1$ 'dir). ilgili eşitlikler şunlardır:

$$b_n = 1/n \quad \text{ya da}$$

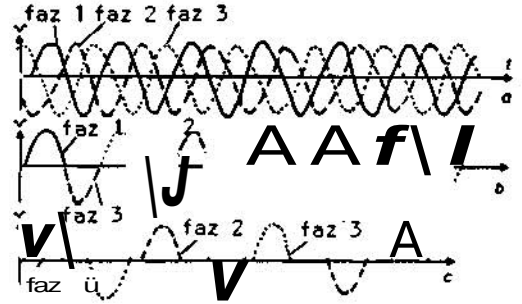
$$b_k = \frac{2n}{Tr(n^2-k^2)} \sin \frac{k\pi}{n}$$

Harmonik genliğinin ana bileşene oranı  $b_k/b_1$  ( $b_k$ ,  $k$ 'nin çift değerleri için sıfırdır). Temel frekans, besleme frekansının (f) 3 katı azaltıldığında (n=3) temel frekansın genliği 0,2 (besleme frekansının genliği -IX üçüncü harmoniğin (başlangıç besleme frekans) 0,33'tür. Normallize edilmiş genliği 0,2 olan

Şekil 1.

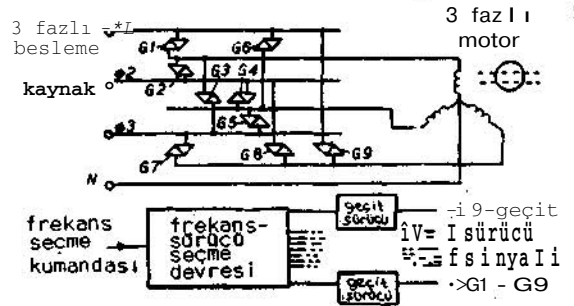
3-faz motor için uygulanan gerilim dalgaları, a) Girdi ana gerilim, frekans f,

b) Temel frekans  $f/3$ , c) Temel frekans  $f/5$



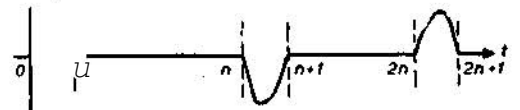
Şekil 2.

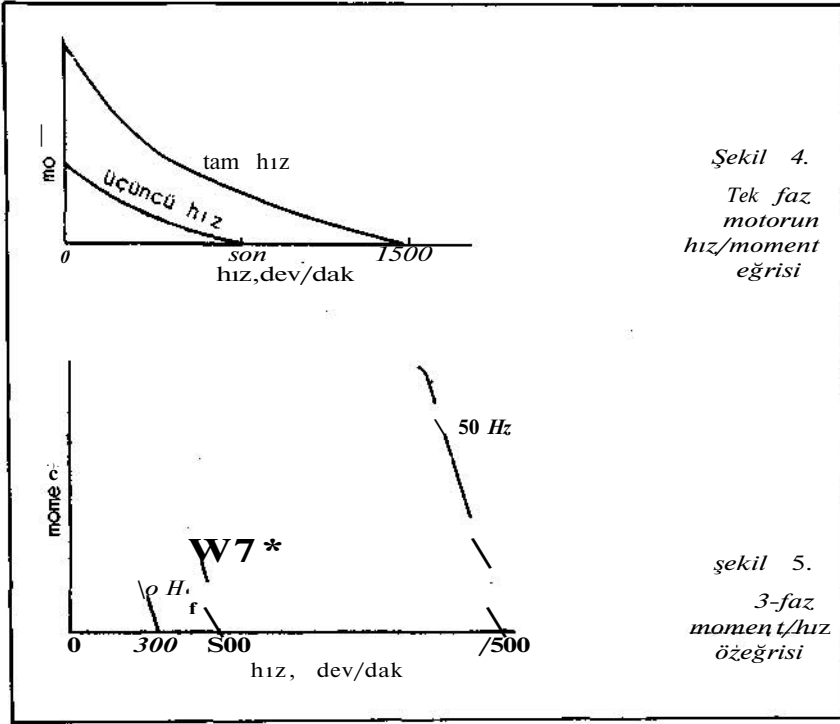
Şematik bir 3-faz hız denetleyicisi



Şekil 3.

Azaltılmış sıklık dalgalarının Fourier bileşeni





Şekil 4.  
Tek faz  
motorun  
hız/moment  
eğrisi

şekil 5.  
3-faz  
momen t/hız  
özeğrisi

temel frekans, düşürülmüş frekanstaki değişmez manyetik akıyı sağlamak için gerekli, genliği 1/3 frekans ile karşılaştırılmalıdır; Motor empedansı temel olarak endüktif kabul edilmiştir. Uygulanan gerilimdeki bu azalma momentte de bir azalmayı getirir; bu da gerilimin tam değerindeki nin 7.36'sına kadar düşmesine yol açar.

Benzer şekilde  $n = 5$  için  $f/5$  temel frekansının genliği 0,08 ve beşinci harmoniğin ise 0,2 dir. Bu da momentte beklenen azalmanın gerilimin uygulanan tam değerinin % 17 si olduğunu gösterir.  $n = 9$  için momentteki azalmada aşağı yukarı % 8 dir.

Birçok uygulamada azalan hızla beraber momentin de düşmesi kabul edilmekte ve deneyler bu konu için sınırlanmaktadır. Bununla beraber azalan momentle birlikte  $n$  nin artması istenmemektedir. Bunu düzeltmek için iki ana yöntem vardır; birincisi süzerek bazı harmonik enerjiyi ana bileşene çevirmek ve ikinci olarak yalnızca sürücü frekans seçme mantığının bir işlevi olan ana yarı dalgalardan bazılarını çıkartmak yoluyla yapılır.

#### DENEYLER

Deneyler tek faz gölgeli kutuplu (shaded pole) 0,037 kW (0,05 Hp) dan 0,56 kW (0,75 Hp) ya kadar sığaç (kondansatör) başlatmalı motorlar üzerinde yapılmıştır. Daha önceden de açıklandığı gibi her durumda temel besleme devreleri kullanılmış ve motor hızları 11 : 1 aralığında denetlenmiştir. Azalan hızla momentin düşme niteliğinin önceden tahmin edildiği gibi olduğu gösterilmiştir. Asıl gerilim (tam hızda) ve  $n=3$ 'deki gerilim için (3'ncü hız) 1 Hp den küçük güçlü gölgeli kutuplu motorların moment/hız özeğrisi Şekil 4'de gösterilmiştir. Motor kayma hızı değişmez kaldığından, motor yüklendikçe hızının azalma oranı artar.

3-faz deneyleri 18 ay süreyle 0,18 ve 0,36 kV'luk iki motor üzerinde yapılmış; her ikisinin de önceden basit olarak açıklanmış denetleme devresiy-le hızları 1 : 11 aralığında denetlenmiştir. Yüksüz durumda hızlar açık olarak saptanmış, kaymanın özeğrisine bağlı olarak hız oranı artmıştır.

Bir üç fazlı 50 .Hz ile beslenen motorun 16,7 Hz ve 10 Hz

düşük frekansla beslendiğinde hız/moment özeğrisi Şekil 5 de gösterilmiştir. Bu durumda önceden de belirtildiği gibi temel frekans azaldıkça moment de azalmaktadır.

Frekansı azaltılmış dalgaların harmonik bileşeni arttığından motorun verimliliği azalır. Verimliliği % 67 olan motorun frekansı 3 katı azaltıldığında verimlilik % 36'ya 5 katı azaltıldığında % 21'e düşmektedir.

Uygulanan gerilim dalgasının temel frekansı, kaynakta uygun yarı dalgaların çıkartılmasıyla düşürülerek tek ve üç fazlı motorların yüksüz haldeki hızları tek sayılar için (3, 5, 7...) azaltılmıştır. Hız düşürme yöntemi 11 : 1 oranında gerçekleştirilmiştir.

Temel hız denetleme yönteminin uygulanmasında, düşürülmüş hızlar yüksek harmonik bileşenleri içerdiğinden moment ve verimlilik düşer.

#### DAHA FAZLA GELİŞTİRME

Düşük hızlarda verimliliği ve momentini sağlamak için daha da geliştirmeye gereksinme vardır, tki birim verici yaklaşım olan süzme ve yarı dalgaları seçen mantığın değişmesi harmonikle ri azaltabilir.

Süzme çözümlükle 1/4 Hp kadar güçlü motorlar içindir, yarı dalgaları seçmenin değiştirilmesi de daha güçlü motorlarda çözüm olmaktadır. Bu yöntemler Surrey Üniversitesinde sanayinin desteklemeleriyle öğrenci projeleri ve sözleşmeli elektronik planlayıcılarınca geliştirilecektir.

#### SONUÇ

Asenkron motorlarda, düşük maliyetli tek sayılardan 11'e kadar hız düşürülebilien bir sistem geliştirilmiştir. Deneysel sistemlerde maliyet bileşeni tek fazlı motorlar için 2-3 Sterlin ve üç fazlı motorlar için 10-15 Sterlin'dir (Maliyetin daha fazla olması üç fazda gerilimin daha yüksek olduğundan).

Düşük hızda gerekli moment ve verimliliği artırmak için daha fazla geliştirme planlaması yapılmış; bazı endüstriyel amaçlar öngörülmüştür.

(Electronics and Power,  
20 Mart 1975)