

ENDÜKSİYON MOTORLARA YOL VERME YÖNTEMLERİ

Ahmet Teke, Mehmet Tümay
ahmetteke@cu.edu.tr, mtumay@cu.edu.tr
Çukurova Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

İşletmelerde yüklerin büyük bir kısmını oluşturan endüksiyon (asenكرون) motorları ile ilgili olarak koruma, yol verme, frenleme, devreden çıkarma ve hız kontrol gibi konuların ayrı ve detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada işletmelerde mevcut olarak kullanılmakta olan geleneksel yol verme yöntemleri ve yeni nesil güç elektroniği tabanlı yöntemler detaylı olarak incelenmiş ve belirtilen yöntemler birbirleriyle kullanılabilirlik, verimlilik ve maliyet yönünden karşılaştırılmıştır. Bu çalışmayla yol verme yöntemleri teknik elemanlar tarafından anlaşılması ve ekonomik yöntemin seçilebilmesine yardımcı olunacaktır.

1 GİRİŞ

AC motorlar kendi yapısından dolayı devreye alınmaları sırasında nominal çalışma akımlarının 4-8 katı kadar akım çekerler. Bu durum zayıf şebekelerde ortak bağlantı noktasında gerilim düşümlerine ve baraya bağlı diğer yüklerde kesintilere yol açabilmektedir. Ayrıca yol alma sırasındaki bu aşırı akımlar motorlarda mekanik zorlanmalara ve sargılarda zararlara yol açabilmektedir.

Endüstride kullanılan makine türlerinin %90'ını endüksiyon motorları oluşturmaktadır. Çünkü [1-3];

- Aynı güçteki başka bir tür motora göre en ucuzudur.
- Yük altında devir sayıları çok değişmez

- Daha az bakıma ihtiyaçları vardır.
- Çalışması sırasında elektrik arki meydana gelmez.
- Momentleri yüksektir.
- Gelişen güç elektroniği teknolojisiyle devir sayısı kolaylıkla kontrol edilebilir.

Yol verme yöntemlerinde endüksiyon motorlar üzerinde durulacağından, bu motorlarla ilgili temel kavramların bilinmesi gerekmektedir. Motor gövdesinin üzerinde genellikle alüminyumdan yapılmış dikdörtgen şeklinde etiket bulunur. Etiket üzerine bazı değerler yazılmıştır ve bu değerler bize motor hakkında kapsamlı bilgi verir. Tipik bir motor etiketinde bulunan bilgiler Tablo 1'de gösterilmiştir [2], [4].

- **Seri numarası:** Üretim seri numarasıdır.
- **Motor tipi:** Motor model tipidir. Örneğin; VM 90L-2.
- **V:** Bir ya da üç fazlı, kafes rotorlu endüksiyon motor, **M:** Tam kapalı, dış yüzeyden soğutmalı, **90:** Gövde tipi, **L:** Gövde uzunluğu, uzun, **4:** Kutup sayısı
- **S1:** İşletme türüdür. Örneğin, maksimum çevre ısısı 40°C ve maksimum 1000m yükseklik.

- **Kuruluş biçimi:** IM B3
- **Mekanik koruma sınıfı:** IP 55
- **Yalıtım sınıfı:** 1.CL F
- **Fazı:** Motorun kaç fazla çalıştığını gösterir. Örneğin; 1 faz, 3 faz vb.
- **Beygir gücü oranı (hp):** Motor kW gücünün beygir gücü cinsinden karşılığını verir.
- **Hızı (rpm):** Motorun devir sayısını gösterir. Örneğin; 2840 1/min.
- **Gerilimi:** Motorun normal çalışma gerilimini gösterir. Örneğin; 380V, 220V vb.
- **Akımı:** Motorun normal çalışma akımıdır. Örneğin; 5A, 8.6A vb.
- **Frekans:** Motorun çalışma frekansıdır. Örneğin; 50 Hz.
- **Servis faktörü:** Servis faktörü 1.15 olan bir motor, kısa süreli %15 fazla yüklenmeyi kaldırabilir
- **Çalışma periyodu:** Motorun bağlantı şeklidir. Örneğin; yıldız-üçgen
- **İzolasyon sınıfı:** İzin verilen maksimum sargı ısısı
- **Ortam sıcaklığı:** Motorun çalışma ortam ısısıdır. Örneğin; -15°C-40°C.
- **Elektrik motorları standardı:** TS 3067

Tablo 1. Tipik bir endüksiyon motorun etiket bilgileri

| 3~ MOTOR | TİP VM 90L-2 | | | TSE | EFF2 |
|------------|--------------|---------|------|-------|---------|
| S1 | IM B3 | | | IP 55 | 1.CL F |
| V | Hz | A | kW | cos φ | 1/min |
| Δ220/Y 380 | 50 | 8.6/5.0 | 2.2 | 0.85 | 2840 |
| Y 440 | 60 | 5.0 | 2.54 | 0.84 | 3380 |
| Seri No. | | | | | TS 3067 |

- **Motorun güç faktörü:** $0.85 \cos$
- **Elektrik motorunun verimlilik sınıfı:** EFF2

Bu etiket bilgileri yol verme yönteminin belirlenmesinde, kullanılacak koruma cihazların seçiminde ve yol verici siparişinde belirleyici unsur durumundadır. Motorun etikette belirtilen değerlerde çalışmasının sağlanmasıyla, motorun çalışma ömrü uzayacaktır ve bakım masrafları azalacaktır.

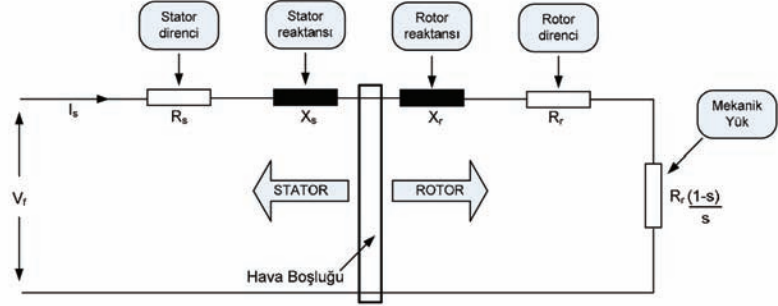
2 ENDÜKSİYON MOTORLARIN EŞDEĞER DEVRELERİNİN İNCELENMESİ

Kısa devre rotorlu endüksiyon motorlar ilk kalkınmalarında, yapısından dolayı anma akımlarının yaklaşık 4-8 katı kadar akım çekerler (sekonderi kısa devre edilmiş bir transformatöre benzedikleri için, kilitle rotor akımı). Rotor harekete geçtikten sonra bu akım azalarak normal seviyelere düşer. Akımın nominal değerlere ulaşma süresi 3-5 saniye arasındadır ve bu süre nominal devir sayısına gelinceye kadar geçen süredir. Yol verme yöntemlerinin kullanılmasındaki amaç, özellikle zayıf şebekelerdeki uygulamalarda problemleri azaltmak ve enerji tasarrufu sağlamaktır. Motorun yol alması sırasında meydana gelebilecek geçici olayların anlaşılabilmesi için Şekil 1'de gösterilen motor eşdeğer devresinin iyi bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

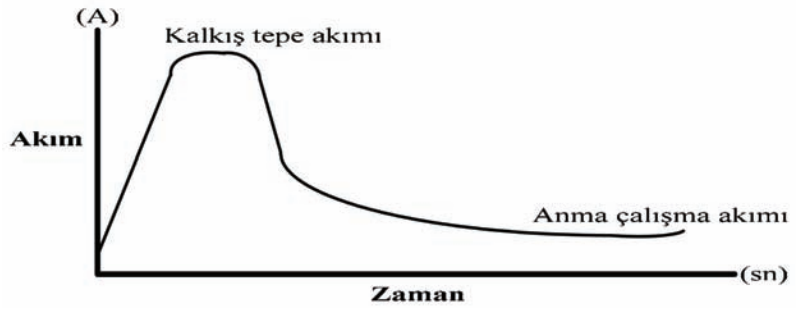
2.1 İlk Yol Alma Durumu

- İlk yol alma sırasında rotorun devri $n_r=0$ olduğundan kayma (slip) 1 olur. N_s frekans ve kutup sayısına göre hesaplanan senkron hızı göstermektedir.

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (1)$$



Şekil 1. Endüksiyon motorun eşdeğer devresi



Şekil 2. Tipik bir endüksiyon motor kalkış akımı eğrisi

- $s=1$ için, mekanik yük etkisi "0" olur. İlk kalkınma süresince çekilen akım

$$I_s = \frac{V_f}{\sqrt{(R_s + R_r)^2 + (X_s + X_r)^2}} \quad (2)$$

Diğer bir ifadeyle, rotor çubuklarını kesen manyetik akı en büyük değerde olduğundan rotor indükleme akımı ve rotor alanı en büyüktür [2]. Rotor alanının stator alanına etkisi olacağından stator manyetik akısı ve stator sargılarının zıt E.M.K.'sı en küçük değerde olur ve bu gerilim farkından dolayı şebekeden büyük bir akım çekilir.

2.2 Motor Yol Aldıktan Sonraki Durum

Motor yol aldıktan sonra, s kayması 0 ile 1 arasında değişir.

$$I_s = \frac{V_f}{\sqrt{(R_s + \frac{R_r}{s})^2 + (X_s + X_r)^2}} \quad (3)$$

Diğer bir ifadeyle, rotor harekete başlayınca rotor hızı artar [2]. Rotor

manyetik alan hızı azalır ve stator zıt E.M.K.'sı artar. Bundan dolayı gerilim farkı azalır ve motorun şebekeden çektiği akım azalmaya başlar. Bu geçici olaydan sonra motor akımı nominal değerine ulaşır. Kayma (s)'den küçük olduğundan direnç etkisini yükselir ve çekilen akım azalır.

2.3 Kalkış Akımının Karakteristiği

Kalkış akımı EMF etkisinden dolayı yüksektir. Tipik bir kalkış akımı Şekil 2'de gösterilmiştir.

Farklı güçlerdeki motorların pratikteki kalkış akımları Tablo 2'de gösterilmiştir [5]. Nominal çalışma gerilimi 460 V_{rms}'dir. Nominal akımı hesaplayabilmek için gerekli olan güç faktörü 0.8 olarak alınmıştır.

Bu tür motorların çalıştığı şebekede motorların her çalıştırılmasında gerilim birkaç saniye düşecek sonra normale dönecektir. Endüksiyon motorların ilk kalkınma anında çektikleri aşırı akımlar

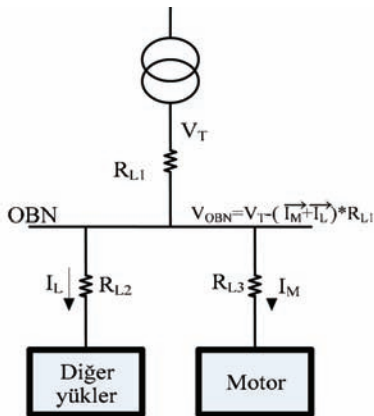
Tablo 2. Çeşitli motorların yol alma akımları

| Motor gücü (kW) | Nominal akım (A_n) | Kalkış akımı (A_k) | A_k/A_n Oranları |
|-----------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| 7,46 | 11 | 81 | 7,36 |
| 11,19 | 17 | 116 | 6,82 |
| 14,92 | 23 | 145 | 6,30 |
| 18,65 | 29 | 183 | 6,31 |
| 22,38 | 35 | 218 | 6,23 |
| 29,84 | 46 | 290 | 6,30 |
| 37,3 | 58 | 363 | 6,26 |
| 44,76 | 70 | 435 | 6,21 |
| 55,95 | 87 | 543 | 6,24 |
| 74,6 | 117 | 725 | 6,20 |
| 93,25 | 146 | 908 | 6,22 |

kendi sargılarına fazla zarar vermez. Çünkü, 3-5 saniyede motorun devri normal değerine ulaşır ve çektiği akımda normal değerine düşer. Genellikle düşük güçlü motorların yol alma (kalkış) akımlarının nominal akımlarına oranı büyük güçlü motorlarınkinden daha yüksektir.

2.4 Sistemin Tek Hat Şemasında İncelenmesi

İşletmelerde motorun yol alması sırasındaki etkilerini inceleyebilmek için, Şekil 3'de gösterilen sistemin tek hat şemasının incelenmesi gerekmektedir.



Şekil 3. Sistemin tek hat şemasının

Şekil 3'ten görüldüğü gibi motorun direkt kalkınması sırasında çekeceği kalkış akımı (demeraj akımı);

R_{L1} direnci üzerinden ortak bağlantı noktasında (OBN) gerilim düşümüne,

R_{L1} ve R_{L3} dirençleri üzerinden ısı şeklinde ortaya çıkacak enerji kayıplarına,

Diğer yüklerin durmasına veya yanlış çalışmasına,

Motor üzerinde mekanik zorlanmalara yol açabilecektir.

Yüksek kapasiteli büyük sanayi tesislerinde kullanılan elektrik motorlarının güçleri büyük seviyelerdedir. Büyük güçteki bu büyük motorların devreye girmeleri ve devreden çıkmaları sırasında bağlı oldukları şebekede bu problemlerin meydana getireceği etkilerin şiddeti de artacaktır.

3 KALKIŞ AKIMININ KONTROLÜ VE YOL VERME YÖNTEMLERİ

Yol alma sırasındaki olumsuzlukları ve ani gerilim düşümlerini önlemek için, genelde 5 kW tan büyük endüksiyon motorlara yol verme yöntemleri kulla-

nılır. Kalkış akımını kontrol etmek için ayarlanabilecek değişkenler:

- Statora uygulanan gerilimin etkin değeri

- Statora uygulanan gerilimin frekansı

- Rotor devresinin direnci

Kalkış akımlarını azaltmak için kullanılan yol verme yöntemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir [6]:

1- Doğrudan Yol Vermek (Direkt Yol Verme)

2- Düşük Gerilimle Yol Vermek

Yıldız-Üçgen Yol Verme

Oto Trafosu ile Yol Verme

Dirençle Yol Verme

Rotorlu Sargılı Endüksiyon Motorlara Yol Verme

3- Güç Elektroniği ve Mikro İşlemci Tabanlı Donanımlarla Yol Verme

Yumuşak (Soft starter) Yol Verme

Frekans değiştirici (Sürücü) ile Yol Verme

Genel olarak endüksiyon motorların ilk kalkınmada çekecekleri aşırı akımları önlemek için motorlar düşük gerilimle çalıştırılır [7-10]. Yüksek gerilimde ($>1000V_{rms}$) yol vermede kablo kesitleri küçülmekte ve özellikle uzak noktalardaki motorlara enerji taşınmasında avantajlı hale gelmektedir. Yüksek gerilimde en çok kullanılan yol verme yöntemleri: Rotorla bağlı dirençler ile yol verme, Yumuşak yol verici ve Hız kontrol cihazları (frekans konverterleri) ile yol vermedir [7-8]. Bu çalışmada alçak gerilimde yol verme yöntemleri detaylı olarak incelenecektir ($<1000V_{rms}$).

3.1 Direkt Yol Verme

Bu yöntem küçük güçlü motorlarda veya kendi enerjisini kendi üreten işletmelerde kullanılabilir. Kalkış sırasında çekilen akım nominal akımın 4-8 katı kadardır. Motorlara direkt yol verme işleminde, paket veya kollu tip mekanik şalterler veya kontaktör kombinasyonu ile oluşturulan manyetik şalterler kullanılmaktadır.

3.1.1 Normal Çalışma Durumunda Bara Gerilimi:

Bu durum Şekil 4'te sayısal bir örnekle gösterilmektedir.

Nominal çalışma süresince ortak baradan beslenen diğer yüklerin gerilimleri normal seviyededir.

3.1.2 Kalkış Süresince Bara Gerilimi:

Şekil 5'te, direk yol verme durumunda motorun kalkış akımı ve bara gerilim değerleri görülmektedir.

Pratik olarak kalkış süresince çekilecek akım Eşitlik 4'ten hesaplanabilir.

$$I_{kd} = (4-8) \cdot I_n \quad (4)$$

Direkt Yol Verme Yönteminin Avantajları:

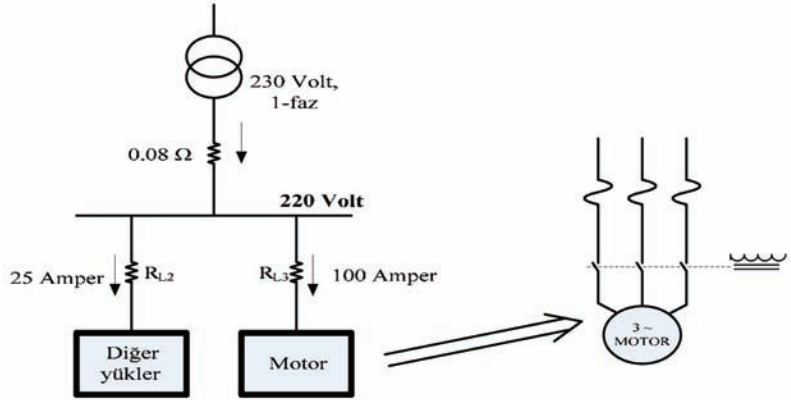
- Kurulum en az sayıda donanım ile gerçekleştirilebileceğinden en ucuz yöntemdir
- En basit yol verme yöntemidir.

Direkt Yol Verme Yönteminin Dezavantajları:

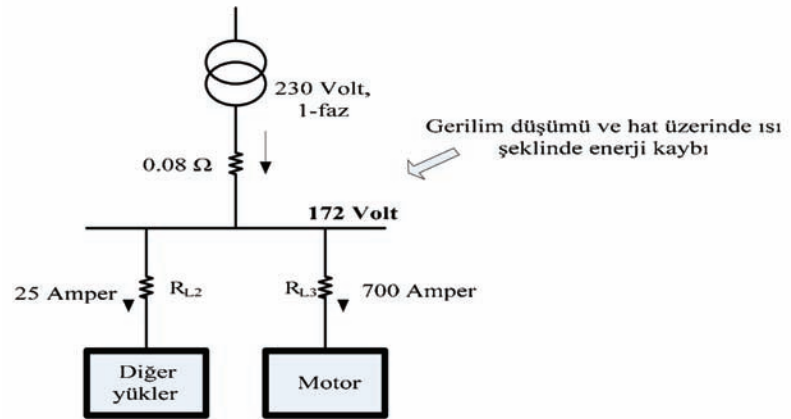
- Çekilen aşırı akım ortak baradan beslenen diğer yüklerin etkilenmesine,
- Başlangıç torku çok yüksek olduğundan; motorun bağlantı noktalarında mekanik zorlanmalara,
- Kurulum ve koruma elemanlarının yüksek seviyede seçilmesine,
- Hat empedansı üzerinde enerji kayıplarına yol açabilir.

3.2 Düşük Gerilimle Yol Verme

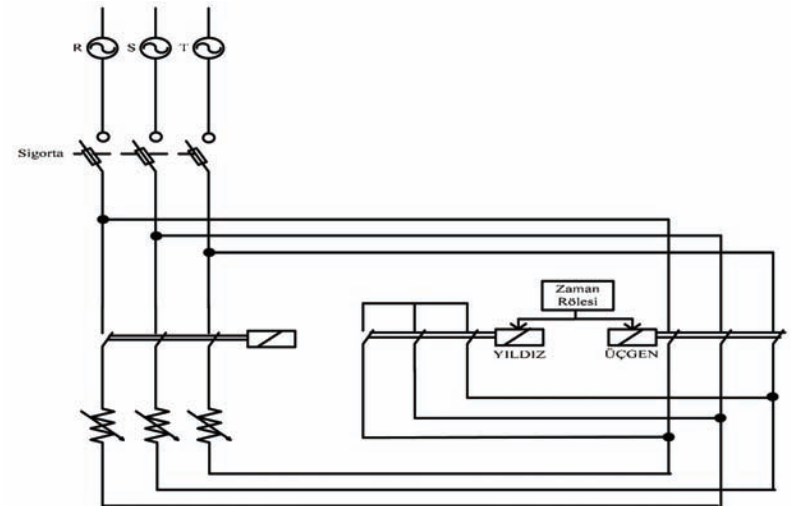
Bu yol verme yöntemi yüksüz veya çok az yüklü sistemlerde kullanılmalıdır. Tam yük altındaki kalkınan motora uygulanmaz. Çünkü motora düşük gerilim verildiğinde döndürme momenti de azalır. Yükü karşılayabilmek için motor şebekeden daha fazla akım çeker ve kalkınmaz. Bu yöntem motora nominal çalışma torkunun %50'sinden büyük değerlerde yol veremez [11].



Şekil 4. Endüksiyon motorun normal çalışma durumundaki bara gerilimi



Şekil 5. Endüksiyon motorun kalkış süresince bara gerilimi



Şekil 6. Yıldız-Üçgen yol verme güç devresi

3.2.1 Yıldız Üçgen Yol Verme:

Bir endüksiyon motorun üçgen çalışma gerilimi şebeke gerilimine eşitse rahatlıkla yıldız-üçgen yol verilebilir. Sargılar yol vermeden sonra üçgen olarak kalacağından sargıların üçgen pozisyonundaki gerilime dayanmaları gerekmektedir. Sistem; sigorta veya şalter, kablolama, zaman rölesi ve kontaktörle kurulabilir. Küçük güçlü motorlarda kalkış akımını düşürmede en ekonomik yöntemdir.

Eğer yük momenti motorun yıldız bağlantı momentinden büyükse motor yük altında hızlanamaz. Bu tür durumlarda motora boşta yol alma imkânı sağlayan donanımlar kullanılabilir. Yıldız bağlantı durumunda: normalde fazlara $380V_{rms}$ gelmesi gerekirken yıldız bağlantı sayesinde sargılara $220V_{rms}$ uygulanır (%58 gerilim). Üçgen bağlantı durumunda: sargılara $380V_{rms}$ uygulanır (normal çalışma gerilimi). Şekil 6 yıldız-üçgen bağlantı şemasını göstermektedir.

Tablo 3, 10 Ω'luk yük için yıldız ve üçgen bağlantı durumunda hattan çekilen akımları göstermektedir.

Sonuçlardan görüldüğü gibi normalde 66 amper çeken bir motor yıldız çalıştırılırsa 22 amper çeker. Buna göre bir endüksiyon motor yıldız çalıştığında üçgen çalıştığında çekeceği akımın 1/3 ü kadar akım çeker. Bu özellikten yararlanılarak endüksiyon motorlar önce yıldız sonra üçgen olarak çalıştırılır. Eğer yıldız çalışma süresi uzun olursa bu durumda motor yaklaşık 1/3 değerinde bir momentle yükü karşılama durumunda bırakılır. Eğer yükün momenti bu momentin üstünseyse motor aşırı yüklenmiş olur. Pratik olarak yıldız üçgen çalıştırmada yol alma akımı Eşitlik 5'ten hesaplanabilir.

$$I_{k\Delta} = (2-3) \cdot I_n \quad (5)$$

Yıldız Üçgen Yol Verme Yönteminin Avantajları:

- Maliyetleri yüksek değildir.

- Geç ivmelenen yükler için uygundur.

Yıldız Üçgen Yol Verme Yönteminin Dezavantajları:

- Akım ve momentin herhangi bir kontrolü yoktur. Gerilimin üçte birine karşılık gelen sabit değerler mevcuttur [12].
- Yıldızdan üçgene geçiş esnasında ani akım ve moment geçişleri olur. Bu durum mekanik ve elektrik darbeleri oluşturarak sisteme zarar verebilir
- Yıldız bağlantıdan üçgen bağlantıya geçişte fazların durumuna göre büyük bir akım darbesi meydana gelebilir (Gerilimler senkron olmadığından, yıldızdan üçgene geçişte motor nominal akımının 20 katına kadar çıkabilen anlık aşırı akımlar görülebilir).

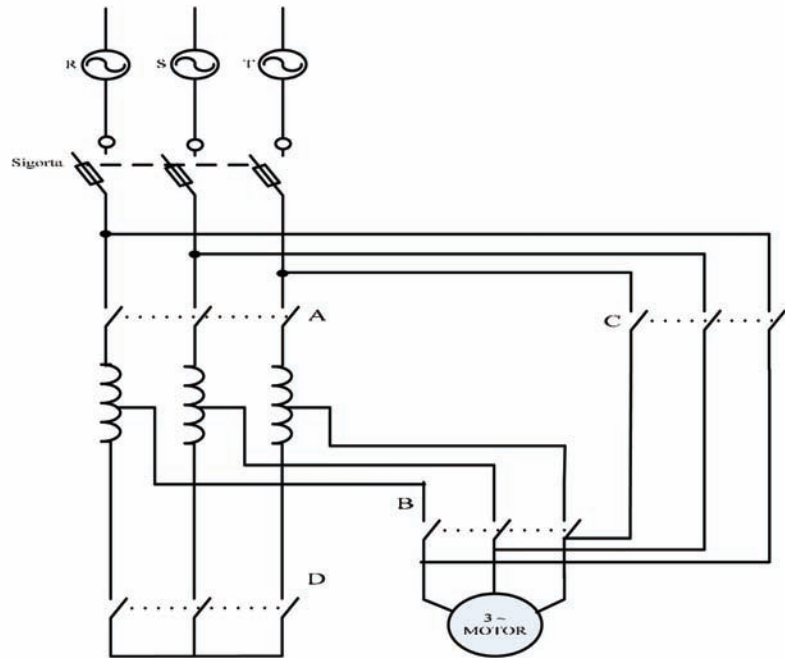
3.2.2 Oto Trafosuyla Yol Verme:

Üçgen çalışma gerilimi şebeke gerilimine eşit olmayan endüksiyon motorlara yıldız üçgen bağlama yöntemiyle yol verilemez. Bu tür endüksiyon motorlara oto trafosu yardımıyla veya başka yöntem kullanarak yol verilir. Oto trafosuyla yol vermede kademedan kademeye geçme işlemi stator sargı akımının kesilmesine sebep olur. Stator akımı sıfır olur ama motorun kısa devre rotor sargılarından geçen rotor akımı sıfır olamaz. Bu yöntem endüksiyon motorlara uygulanırsa da, genelde DC motorlara yol vermede tercih edilen bir yöntemdir.

Sistemin güç devresi Şekil 7' de gösterilmiştir. D ve A şalteri kapatılarak oto trafoya şebeke gerilimi uygulanır. B şalteri kapatıldığında motor %50 düşük

Tablo 3. Yıldız-üçgen yol verme sırasındaki hat akımları

| Bağlantı | Sargı gerilimi | Sargı akımı | Hat akımı |
|------------------|----------------|-------------|----------------------|
| Yıldız çalışmada | $220V_{rms}$ | 22 | 22 |
| Üçgen çalışmada | $380V_{rms}$ | 38 | $38 \cdot 1.73 = 66$ |



Şekil 7. Oto trafo ile yol verme güç devresi

gerilimle çalışmaya başlar. Motor normal devrine ulaşınca D şalteri açılarak oto trafonun yarı sargısı seri reaktans bobini gibi motor devresine seri bağlanır. Sonra C şalteri kapatılarak motora normal şebeke EMK uygulanır. A şalteri açılarak oto trafosu tamamen devre dışı bırakılır. Bu yöntemde motor akımı hiç kesilmediğinden yukarıda bahsedilen sakınca ortadan kaldırılmış olur.

Pratik olarak motorun kalkış akımı Eşitlik 6'dan görüldüğü gibi, uygulanan nominal gerilimin yüzdesinin karesiyle kalkış akımının çarpımına, nominal akımın %25' inin eklenmesiyle hesaplanabilir [5].

$$I_{ko} = (\%V_n)^2 * I_k + I_n * 0.25 \quad (6)$$

Oto Trafosuyla Yol Vermenin Avantajları:

- Daha randımanlı çalışırlar
- Sarım sayısından dolayı trafonun primerinden daha az akım geçer

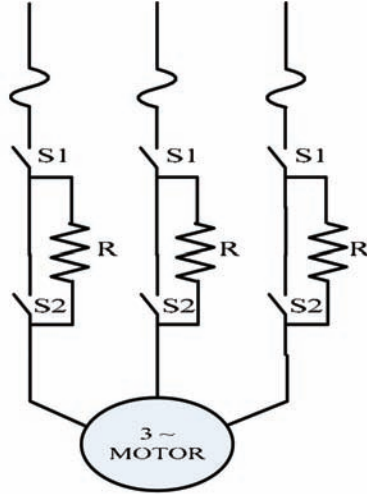
Oto Trafosuyla Yol Vermenin Dezavantajları [12]:

- Kademeli gerilim geçişlerinden kaynaklanan ani moment değişimleri olur.
- Sınırlı sayıda gerilim kademesinden dolayı ideal kalkış akımı geniş sınırlar içinde kontrol edilemez.
- Maliyet yüksektir.
- Değişken yük durumlarına uyarlama zordur.

3.2.3 Seri Dirençle Yol Verme:

Bir endüksiyon motorun statoruna seri olarak üç eşit direnç bağlanır. Motora enerji verildiğinde, dirençler stator sargılarına seri olarak devreye girer. Motorun çektiği hat akımları bu dirençlerden geçer ve dirençlerde gerilim düşümüne sebep olur. Böylece şebeke geriliminin bir kısmı dirençler üzerinde düştüğü için motora uygulanan gerilim düşük olur. Motor ilk kalkınmada aşırı akım çekmez. Sistemin bağlantı şeması Şekil 8'de verilmiştir.

Benzer şekilde direnç yerine reaktörlerde kullanılabilir. Reaktörlerle yol verme yöntemi büyük güçlü ve yüksek gerilimli motorlarda enerji kayıplarını azaltmak için tercih edilir. Standart re-



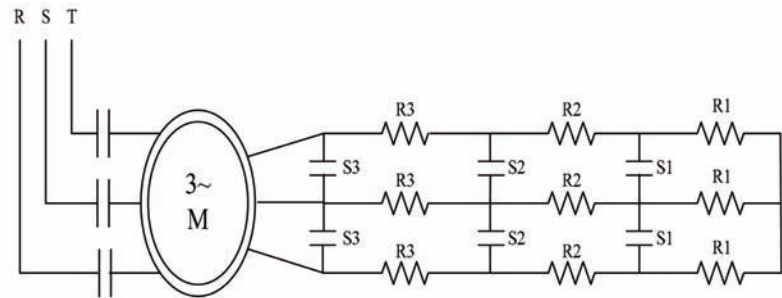
Şekil 8. Seri empedans ile yol verme güç devresi

aktans değerleri %50, %65 veya %80 gerilimler uygulanacak şekilde imal edilirler [13]. Pratik olarak motorun kalkış akımı Eşitlik 7'den görüldüğü gibi, uygulanan nominal gerilimin yüzdesiyle kalkış akımını çarparak hesaplanabilir [5].

$$I_{ko} = I_k * (\%V_n) \quad (7)$$

3.2.4 Rotoru Sargılı Endüksiyon Motorlara Yol Verme:

Bu tip motorlar genelde yüksek ataletli ya da yüksek kalkış momenti gerektiren yüklerde kullanılmaktadır. Doğru bir direnç seçimi ile, motor düşük bir akımda en yüksek momenti elde edebilmekte ve yükü yumuşak ve kolayca kaldırabilmektedir [14]. Rotoru sargılı sistemlerde yol vermede iki tip yol verici bulunmaktadır. Bunlardan biri kademeli direnç ile yol verme, diğeri ise kademesiz olarak yol vermedir.



Şekil 9. Rotoru Sargılı Motorlara Yol Verme Bağlantı Şeması

Kademeli direnç ile yol vermede, rotora Şekil 9'da gösterildiği gibi statordakine benzer sargılar yerleştirilir. Bu sargılar üçgen veya yıldız bağlandıktan sonra sırayla çıkarılarak rotor miline yerleştirilen bileziklere bağlanırsa, sargılı rotorlu endüksiyon motor elde edilir.

Bilezikli endüksiyon motora yol verirken şu işlemler yapılır [6]:

- Sisteme start verildiğinde üç fazlı reostanın bütün dirençleri üç fazlı rotor sargılarına temas eder.
- Motor aşırı akım çekmeden rotor yavaş yavaş dönmeye başlar. Zaman rölesi yardımıyla önce S1 anahtarı kapatılır.
- Belli bir süre sonra S2 anahtarı kapatılır ve rotor hızlanmaya devam eder.
- Son olarak S3 anahtarı kapatılır. Reostanın kolu son kademeye geldiğinde rotor sargıları kısa devre edilmiş olur.
- Motor durduruluncaya kadar kısa devreli endüksiyon motor olarak çalışmaya devam eder.

Kademeli yol vermede sulu yol vericiler de kullanılmaktadır. Yukarıdaki devre şemasındaki dirençlerin, su içerisinde elektrotlar ile yapılmasıyla meydana gelir. Sulu tip yol vermede akım su direncinden aktıkça elektrolit ısınır ve direnç otomatik olarak düşmeye başlar. Motor ve yük karakteristiğine göre, motora yol vermek için iki ya da üç kademe yeterlidir. Motor yol aldıktan sonra, kısa devre kontaktörü ile rotordaki bilezikler kısa devre edilir [14].

Kademesiz yol vermede de sulu yol vericiler kullanılabilir. Uygulanan bu sistemde dirençler elektrot ve iletkenliği soda ile sağlanmış sudan oluşmak-

tadır. Elektrotlar bir motor yardımı ile hareket ettirilmektedir.

Sulu Yol Vermenin Önemli Avantajları:

*Yanıcı değildir
Motor adaptasyonu yapılabilir
Basit kumanda ve Sağlamlık
Daha çok ard arda çalıştırma*

Dirençli Yol Verme Yöntemlerinin Dezavantajları:

- *Kalkış performansını optimize etmek zordur, çünkü direnç değeri yol vericinin imal edildiği sırada hesaplanır ve daha sonra değiştirilmesi zordur [12].*
- *Sık kalkış durumlarına cevap veremez. Kalkış sırasında direnç ısındığından dolayı direncin soğuması için zamana ihtiyaç vardır.*
- *Ağır yük ve sık devreye girme durumlarına iyi cevap veremez. Isınan direnç, direnç değerinin değişmesi sonucu her zaman aynı performans alınmaz.*
- *Değişken kalkış koşullarına, verimli bir gerilim düşümlü yol verici olarak cevap veremez.*

3.3 Güç Elektroniği ve Mikro İşlemci Tabanlı Donanımlarla Yol Verme

Bu yöntemlerle motorlara yol verme ilk kuruluştaki pahalı olmasına rağmen; motorların vuruş olmadan yumuşak kalkış yapmalarını ve motor devrini geniş sınırlar içinde ayarlamalarını sağladığından, son zamanlarda tercih edilen yöntemlerin başında gelmektedir. Yapısı ve çalışma prensibi mikro işlemci temeline dayanan bu elemanlar şebeke ile motor arasına bağlanır. Motorun nasıl çalışacağı mikro işlemciye girilir. Motor istenen şekilde çalışır. Motorlara yol vermede ve devir ayarında; statora uygulanan gerilimin etkin değerini ve frekansını değiştirebilmek için güç elektroniği elemanları kullanılır.

3.3.1 Yumuşak Yol Verici:

Mikroişlemci tabanlıdır. Motordaki tork akım ilişkisinin zamana bağlı olarak yavaş yavaş ayarlanması neticesinde motorun devreye girmesi ve durma-

sında şebekede ve motorda herhangi bir anormal durum oluşturmamaktadır. 560 kW'a kadar olan güçlerde vuruşlu olmayan kalkış ve duruş yapılması istenen pompa, kompresör, yürüyen merdiven ve asansör gibi uygulamalarda tercih edilmektedir. Ayrıca, kararlı hal durumunda cihazın ve motorun termik korumasının yapılması, kilitle rotor algılaması, aşırı yük vb. gibi korumaların yapılması ise hız kontrol cihazlarından daha uygun fiyata sahip olan yumuşak yol vericilerle yol verme tercih edilmelidir [15]. Yumuşak yol verici, motorun devreye girmesi sırasında şebeke gerilimini %30-100 arasında kontrol ederek motora verir. Nominal değerlere ulaşıncaya motor kontaktörle şebekeye direk bağlanır ve tristör tetikleri kesilir. Motorun durdurulması durumunda, gerilimi %100 den %30'a kadar kontrol eder. Her fazda 2 tristörden oluşan tristör köprülerinin tetikleme açılarının değiştirilmesi ile şebeke frekansı değiştirilmeden, başlangıç geriliminin kademeli olarak artırılması dolayısıyla başlangıç akımının kontrol edilmesi sağlanır [15]. Elde edilen gerilim ve sistemin güç devresi Şekil 10'da gösterilmektedir.

Yumuşak yol vericiler kontrolü tristörler yardımıyla sağlarlar.

Moment Kontrolörleri, sadece kalkış momentini düşürmeye yararlar. Sonuç olarak gelişmiş yumuşak yol vericilerde olduğu gibi kalkış akımı kontrol edilmez [12].

Açık Çevrimli Gerilim Kontrolörlerinde kalkış sırasındaki gerilim değişimi önceden ayarlanır. Kalkış akımı bu tip cihazlarda geri besleme sinyali olarak kullanılmaz. Motorun kalkış performansı, 'başlangıç gerilimi, kalkış rampa

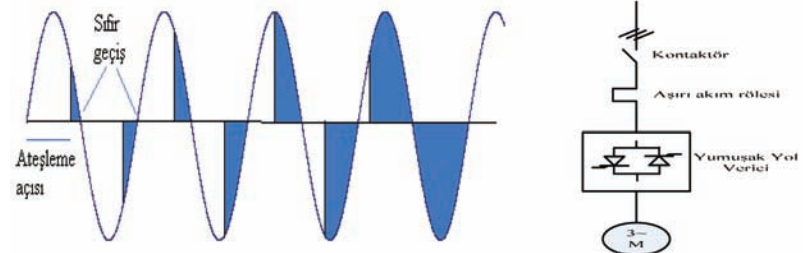
süresi' gibi parametrelerin seçimine bağlıdır. Bu tip cihazlarda genellikle yumuşak duruş özelliği de vardır [12].

Kapalı Çevrimli Gerilim Kontrolörleri, açık çevrimli olanların bir farklı modelidir. Bunlar motor kalkış akımını geri besleme olarak alırlar. Motor, kullanıcının ayarladığı akım sınır değerine eriştiğinde, gerilim sabit rampalı artışını kesip sabit gerilim de kalır. Akım değeri düştüğünde gerilimi arttırmaya aynı rampa ile devam eder. Bu tip cihazlar yumuşak kalkış/duruş özelliklerini yerine getirebilir ve motor koruma özelliğine sahiptir [12].

Kapalı Çevrimli Akım Kontrolörleri yumuşak yol vericilerin en gelişmişleridir. Kapalı çevrimli gerilim kontrolörlerinin aksine, motor akımı kalkış sırasında an ve an kontrol edilir. Temel kontrol büyüklüğü motor akımıdır. Bu yöntemin üstünlükleri hassas akım kontrolü, ayar kolaylığı ve değişken yük durumlarına cihazın kolayca otomatik şekilde uyum sağlamasıdır. Gerilim kontrolörlerinde kullanıcının ayarlaması gereken parametreler, bu cihazlarda otomatik olarak ve optimum şekilde cihaz tarafından seçilir [12].

Yumuşak Yol Vericinin Avantajları:

- *Kalkış süresince akım ve momentin esnek ve basit kontrolü [12],*
- *Gerilim ve akımın kademesiz ve ani değişimlere maruz kalmadan değişiminin sağlanması,*
- *Sık yol vermeye uygun,*
- *Değişken kalkış koşullarında çalışabilme,*
- *Yumuşak duruş özelliğinin de kullanımı ile motor duruş süresinin kontrol edilmesi,*
- *Frenleme özelliği ile motor duruş süresinin kısaltılabilmesi,*



Şekil 10. Çeşitli ateşleme durumlarında üretilen gerilimler ve bağlantı şeması

- Gelişmiş motor koruma ve operatör arabirim özellikleri.
- Yumuşak Yol Vericinin Dezavantajları:
 - Geri ödeme süresi uzundur.
 - Yol verme sırasında harmonik üretirler.
 - Motorun çalışma hızı sabittir.
 - Hızlanma ve yavaşlama zamanı yüke oldukça bağlıdır.

3.3.2 Frekans Değiştirici ile Yol Verme:

Frekans değiştirici ile yol verme pompa ve fan uygulamalarının yanı sıra, taşıyıcı bantlar gibi sabit tork kullanım uygulamalarında da kullanılabilir. Frekansla birlikte uygulanan gerilimde değiştirilirse devrilme momenti sabit kalacaktır. Eşitlik (8)'den görüldüğü gibi gerilimin frekansı değiştikçe hızda değişecektir.

$$\text{Hız} = (120 \cdot f) / p \quad (8)$$

1 faz giriş-3 faz çıkış veya 3 faz giriş-3 faz çıkış özelliğinde olabilir. Temel fonksiyonu hız kontrol olsa da, en performanslı yol alma özelliğine de sahiptir. Güç elektroniğindeki gelişmelerle birlikte azalan maliyet ve artan verimlilik, bu cihazların hem yol vermede hem de hız kontrolünde kullanımını en uygun hale getirmektedir. Sistemin çalışması Şekil 11'de özetlenmiştir.

3 fazlı 50 Hz'lik şebeke gerilimi doğrultucuda DC gerilime dönüştürülür. Elde edilen DC gerilimdeki salınımlar ve darbeler kapasite ve bobinlerden meydana gelen filtre tarafından azaltılır. Inverter DC gerilimi kontrol bölümünden gelen sinyallerle uygun AC gerilim ve frekans değerine çevirir.

Bu yöntem, motora yol vermede ve durdurmada başarıyla uygulanabilir. Fakat normal çalışma süresince yükün değişik hızlarda çalışmasına gerek yoksa bu yöntemin uygulanması ekonomik açıdan en pahalı yöntem olacaktır. Yol vermedeki problemleri en aza indirmesi yanında, motor hız kontrolü de sağlarlar. Sanayide frekans değiştirici uygulamaları, enerji tasarrufu sağlayabilecek konuların başında yer almaktadır.

Frekans Değiştirici ile Yol Vermenin Avantajları:

- Geniş sınırlar içinde hız kontrolünü sağlaması,
- Bakım giderlerini azaltması
- Enerji tasarrufu sağlaması
- Birden fazla motoru kontrol edebilir

Frekans Değiştirici ile Yol Vermenin Dezavantajları:

- İlk kurulum maliyeti yüksektir.
- Sürekli hatta olduğundan %5 kayıpları vardır.
- Düşük hızlarda motorlarda ısı artışı
- Harmonik üretmeleri

4 YOL VERME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE SEÇİMİ

Yol verme yöntemlerinin doğru bir şekilde karşılaştırılabilmesi için Hız-akım ve Hız-moment eğrilerinin, kalkış

akımlarının ve kurulum maliyetlerinin incelenmesi gerekmektedir.

4.1 Yöntemlerin Hız-Akım ve Hız-Moment Eğrileri

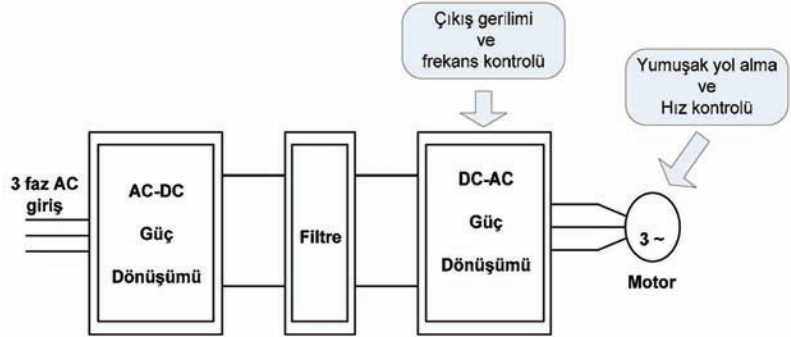
Şekil 12'te çeşitli yöntemlerin Akım-hız ve Moment-hız eğrileri görülmektedir [9].

Şekil 12'ten görüldüğü gibi her yöntemin eğrisi birbirinden farklıdır ve yüke göre bu eğrinin doğru bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir.

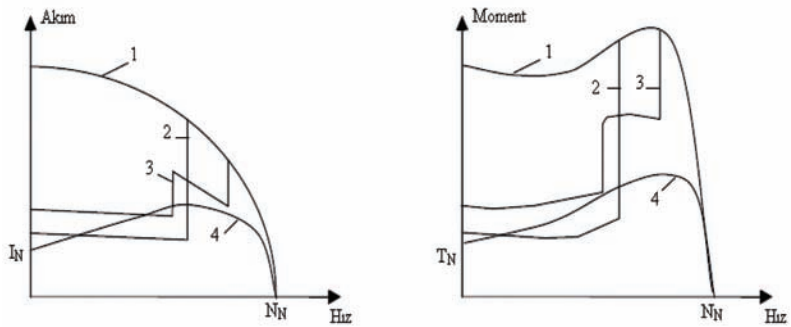
4.2 Yol Verme Yöntemleri ve Kalkış Akımları

Tablo 4' te, mevcut yol verme yöntemlerinin kalkış sırasındaki akımlarının tam yük akımları cinsinden değerleri görülmektedir.

Tablo 4'ten görüldüğü gibi motorun kalkış sırasında şebekeden çektiği akım, uygun yol verme yöntemleriyle belirli değerlere kadar düşürülebilir.



Şekil 11. İnverter Sistemin Çalışma Prensibi



1) Direkt 2) Yıldız-Üçgen 3) Oto Trafo 4) Yumuşak Yol Verici

Şekil 12. Çeşitli yöntemlerin Akım-hız ve Moment-hız eğrileri

4.3 Yol Verme Yöntemleri ve Kuruluş Maliyetleri

Tablo 5'te çeşitli yol verme yöntemlerinin kendi arasında ekonomiklik ve pratiklik yönünden karşılaştırılması verilmiştir [16].

Tablo 5'ten görüldüğü gibi kalkış akımı değeri azaldıkça kullanılacak yöntemin kurulum maliyeti artmaktadır.

4.4 Yol Verme Yönteminin Seçimi

Belli bir güçten yüksek motorlara yol verme yöntemleri uygulanmalıdır. Yol verme yöntemini seçerken yükün hangi sıklıkla devreye girip çıktığının, ne kadar sürede nominal hıza ulaşacağı ve tork karakteristiğinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Uygun yol verme yönteminin seçilmesiyle kalkış sırasında meydana gelen gerilim düşümleri engellenebilir ve motorun ömrü uzayabilir.

Motorlara Nasıl Yol Verilmeli?

Belirli bir güce kadar direkt veya yıldız-üçgen yol verme, Yüksek ataletli sabit hızlı yükler için rotoru sargılı sistemlerle yol verme, Sabit devirde çalışacak veya sıklıkla devreye girip çıkacak olan motorlara yol verme için "Yumuşak Yol Vericiler", Değişken hızlarda çalışması mümkün ya da gerekli olan yükler içinse "Hız Kontrol Cihazları" kullanılması uygun görülmektedir.

Yol verme yönteminin doğru seçilmesiyle aşağıdaki problemlerin etkisi ortadan kaldırılabılır:

Ortak bağlantı noktasındaki gerilim düşümleri,

Hat dirençleri üzerinden ısı şeklinde ortaya çıkacak enerji kayıpları, Diğer yüklerin durması veya yanlış çalışması,

Motor üzerinde mekanik zorlanmalar.

Güç elektroniği tabanlı sistemlerinin ekonomik hale gelmesiyle, ayarlanabilir hız sürücü sistemlerinin birçok motora uygulanabilirliği artmaktadır. Uygulamada dikkat edilmesi gereken bir diğer unsur, kullanılacak yöntemin amortisman süresinin doğru hesaplanabilmesidir.

Tablo 4. Yol verme yöntemleri ve kalkış akımlarının karşılaştırılması

| Yol verme yöntemi | Kalkış akımı (tam yük akımının %'si) |
|--------------------------|--------------------------------------|
| Ayarlanabilir hız sürücü | %100 |
| Yıldız üçgen | %200-275 |
| Yumuşak yol verme | %200 |
| Oto-trafo | %400-500 |
| Kısmi sargı | %400-500 |
| Doğrudan yol verme | %600-800 |

Tablo 5. Yol verme yöntemleri ve maliyetlerinin karşılaştırılması

| Yol verme yöntemi | Kontrol ve Donanımlar | Maliyet |
|------------------------|---------------------------|---------|
| Direkt yol verme | Yok | %100 |
| Yıldız-üçgen yol verme | Zaman rölesi | %150 |
| Reaktörlü yol verme | Reaktör ve zaman rölesi | %160 |
| Oto trafolu yol verme | Oto trafo ve zaman rölesi | %175 |
| Yumuşak yol verici | Yumuşak yol verici | %200 |
| Frekans değiştirici | Kompleks | %250 |

5 SONUÇLAR

Motorlar yapısı gereği yol alma sırasında nominal çalışma akımlarından çok daha yüksek akım çekerler. Bu durumda motorun kendisinde mekanik zorlanmalar ve aynı baraya bağlı diğer yüklerde meydana gelebilecek gerilim düşümleri yüzünden geçişler ve kesintiler görülebilir. Bu durumu önlemek için motorun statoruna uygulanan gerilim veya rotorundan geçen akımları sınırlayabilen yol verme yöntemleri uygulanabilir. Bu çalışmada işletmelerde mevcut olarak kullanılmakta olan yol verme yöntemleri detaylı olarak incelenmiştir. Yol verme yöntemlerinde kalkış sırasında çekilen akımlar, kalkış momentleri, enerji sarfiyatları ve kurulum maliyetleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Uygulama alanı hızla artan değişken hız sürücü sistemlerinin önemi ayrıca belirtilmiştir.

Sonuç olarak yol verme yöntemlerin, motor tipinin ve tahrik ettiği yük karakteristiğinin en iyi şekilde anlaşılmasıyla doğru yatırımlar yapılarak gereksiz harcamalar engellenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Elektrik Makineleri 1-2-3, Adem Altunsaçlı
- [2] Elektrik Motorları ve Sürücüleri, Adem Altunsaçlı
- [3] Güç Elektroniği, Adem Altunsaçlı
- [4] www.sezginersoy.com
- [5] EEMAC Authorized Engineering Information, Motor Starting Data
- [6] www.elektrikrehberi.net
- [7] www.enerjiplatformu.org
- [8] Megep Elektrik Elektronik Teknolojisi Asenkron Motorlara Yol Vermek ANKARA
- [9] Değişken Frekanslı Sürücü (Variable Frequency Drive- VFD) Teknolojisi- İşletme ve Uygulamalar Hava Koşullandırma Grubu
- [10] www.emo.org.tr
- [11] Magnus Kjellberg Sören Kling, Softstarter Handbook, ABB Automation Technology Products AB, Control February 2003
- [12] Yumuşak Yol Vericiler – TEORİ, www.vib-otomasyon.com
- [13] www.kontrolkalemi.com
- [14] Bilezikli Asenkron Motor ve Sulu Yolvericiler, www.vib-otomasyon.com
- [15] Yumuşak Yolvericiler Ne Zaman Tercih Edilmelidir?, Schneider Electric.
- [16] Low Starting Current Cage Induction Motors for the Offshore Petrochemical Industry