

Editor

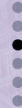
Doç. Dr. Mustafa Altın

EĞİTİM
yayınevi

Mühendislik

Alanında Uluslararası Araştırmalar IV

2022
Nisan



Editör:

Doç. Dr. Mustafa Altın

Mühendislik

Alanında
Uluslararası Araştırmalar IV

EĞİTİM
yayınevi

MÜHENDİSLİK ALANINDA ULUSLARARASI ARAŞTIRMALAR IV

Editör: Doç. Dr. Mustafa Altın

Genel Yayın Yönetmeni: Yusuf Ziya Aydoğan (yza@egitimyayinevi.com)

Genel Yayın Koordinatörü: Yusuf Yavuz (yusufyavuz@egitimyayinevi.com)

Sayfa Tasarımı: Eğitim Yayinevi Grafik Birimi

Kapak Tasarımı: Eğitim Yayinevi Grafik Birimi

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı

Yayıncı Sertifika No: 47830

ISBN: 978-625-8108-78-1

1. Baskı, Nisan 2022

Baskı Cilt

Bulut Dijital Matbaa Sanayi Ticaret Limited Şirketi

Musalla Bağları Mah. İnciköy Sok. 1/A Selçuklu / KONYA

Matbaa Sertifika No: 48120

Kütüphane Kimlik Kartı

MÜHENDİSLİK ALANINDA ULUSLARARASI ARAŞTIRMALAR IV

Editör: Doç. Dr. Mustafa Altın

126 s., 135x215 mm

Kaynakça var, izin yok.

ISBN: 978-625-8108-78-1

Copyright © Bu kitabın Türkiye'deki her türlü yayın hakkı Eğitim Yayinevi'ne aittir. Bütün hakları saklıdır. Kitabın tamamı veya bir kısmı 5846 sayılı yasanın hükümlerine göre kitabı yayımlayan firmanın ve yazarlarının önceden izni olmadan elektronik/mechanik yolla, fotokopi yoluyla ya da herhangi bir kayıt sistemi ile çoğaltılamaz, yayımlanamaz.

EGİTİM

yayinevi

Yayinevi Türkiye Ofis: İstanbul: Eğitim Yayinevi Tic. Ltd. Şti., Atakent mah. Yasemen sok. No: 4/B, Ümraniye, İstanbul, Türkiye

Konya: Eğitim Yayinevi Tic. Ltd. Şti., Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye
+90 332 351 92 85, +90 533 151 50 42, 0 332 502 50 42
bilgi@egitimyayinevi.com

Yayinevi Amerika Ofis: New York: Eğitim Publishing Group, Inc.
P.O. Box 768/Armonk, New York, 10504-0768, United States of America
americaoffice@egitimyayinevi.com

Lojistik ve Sevkiyat Merkezi: Kitapmatik Lojistik ve Sevkiyat Merkezi, Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye
sevkiyat@egitimyayinevi.com

Kitabevi Şubesi: Eğitim Kitabevi, Şükran mah. Rampalı 121, Meram, Konya, Türkiye
+90 332 499 90 00
bilgi@egitimkitabevi.com

İnternet Satış: www.kitapmatik.com.tr
+90 537 512 43 00
bilgi@kitapmatik.com.tr



İÇİNDEKİLER

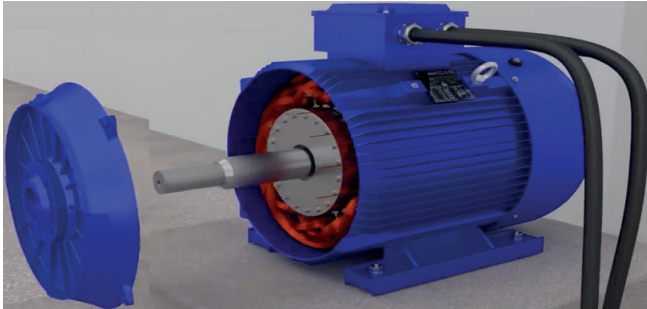
YANGIN ETKİSİNDE BETONARME KOLONLARDA NORMAL KUVVET KAPASİTE DEĞİŞİMİN DENEYSEL OLARAK İRDELENMESİ	5
Hüsna AÇIKEL ALTUNKARA, Musa Hakan ARSLAN, Mustafa ALTIN	
ATIK LASTİK MODİFİYELİ ASFALT KAPLAMALARIN KAYMA VE SÜRTÜNME DİRENCİ PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ	31
Kadir Berkhan AKALIN, Abdulkadir ÖZDEN, Çağdaş KARA, Murat KARACASU	
DEĞİŞKEN FREKANSLI SÜRÜCÜ SİSTEMİ KULLANARAK ÜÇ FAZLI ASENKRON HIZ KONTROLÜ VE HARMONİK ANALİZİ	47
Süleyman ADAK	
HİDROLOJİK VE METEOROLOJİK VERİLERE EN UYGUN DAĞILIM MODELİNİN BELİRLENMESİ	81
Zeynep Özge KURT, Sefa Nur YEŞİLYURT, Hüseyin Yıldırım DALKILIÇ	
BITÜMÜN MODİFİKASYONU	97
Mehmet Ali LORASOKKAY	
DİYABET HASTALARI İÇİN YAPAY PANKREAS VE KESİRLİ DERECELİ DENETLEYİCİ İLE İNSÜLİN KONTROLÜ	111
Münevver Mine ÖZYETKİN	

DEĞİŞKEN FREKANSLI SÜRÜCÜ SİSTEMİ KULLANARAK ÜÇ FAZLI ASENKRON HIZ KONTROLÜ VE HARMONİK ANALİZİ

Süleyman ADAK¹

1. GİRİŞ

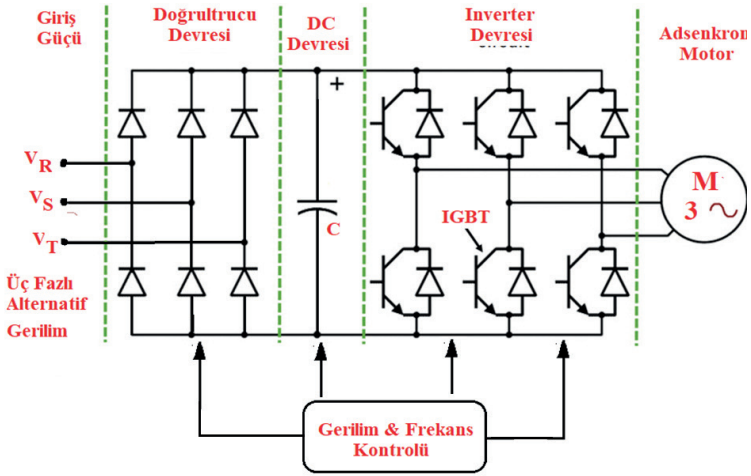
Asenkron motorların yapılarının basit olması, alternatif gerilimde çalışmaları, arıza yapmamaları ve ucuz olmalarından dolayı endüstride yoğun bir şekilde kullanım alanı bulmaktadırlar. Asenkron makinalarda rotor hızı döner manyetik alan hızından küçüktür. Bu motorların hızının senkron hıza yaklaşması ancak boşa çalışmada mümkündür. Motor milindeki sürtünmeden dolayı boşa çalışmada bile rotor hızı senkron hızdan devamlı düşüktür.



Şekil 1. Asenkron motorun perspektif görünüşü

¹ Dr.Öğr.Üyesi, Mardin Artuklu Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, ORCID: 0000-0003-1436-2830 sulaymanadak@yahoo.com

Değişken frekanslı sürücülerde (VFD) genellikle 6 darbeli doğrultucular kullanılır. Bu doğrultucuların yanı sıra 12 darbeli, 18 darbeli ve 24 darbeli doğrultucularda kullanılabilir. Darbe sayısı yüksek doğrultucular kullanıldığında harmonik bileşenlerin yok edilmesini sağlar (Malekpour, vd., 2020;1).



Şekil 2. Değişken frekanslı sürücü ile asenkron motorun hız ayarı

Doğrultucularda alternatif akımı (AC) doğru akıma (DC) dönüştürmek için diyot, tristör ya da güç transistörleri kullanılır. Elektronin devre elemanlarından diyotlar, gerilimin artı polaritede olduğu bir zamanda akımın akmasına sağlayan tek yönlü devre elemanlarıdır. Kontrollü doğrultucularda tetikleme sonrası güç iletimi başladığında bir mikro işlemcinin kontrolünü mümkün kılan tetikleme için olanaklı kılan devreler vardır (Liang, ve Xu, 2013, 1; Rashid, 2014). Değişken frekanslı sürücünün doğru akım ünitesinden akan akım DC bara'sında depolanır. DC bara'da gücü tutacak, depolayacak ve daha sonra sürücü inverterine gönderecek olan kondansatörler bulunur (Dickson, ve McClain, 1982:18; Cu1, vd 2019:1). Baraya aynı zamanda endüktans doğru akım köprüleri ve şok bobini gibi indüktans değerini arttırarak giriş güç kaynağını baraya süzen benzer

devre elemanlarını da içerebilir. VFD'in son bölümünde DC yi AC dönüştüren sürücü inverteri bulunur. İzole edilmiş kapılı, iki kutuplu güç transistörü (IGBT) modern VFD'lerde en yaygın olarak kullanılan güç elektroniği tabanlı bir devre elemanıdır. Bu elemanlar motora iletilen gücü hassas olarak kontrol ederler. IGBT'de, asenkron motora istenilen frekansta simulasyonu sağlamak için genlik darbe modülasyonu (PWM) kullanılır (Boudouda, vd., 2012;1, Latt, ve Win, 2009:).

VFD'li sürücü sistemlerinin çıkış sinyalleri tam sinüs formunda değildir. Tam sinüs formu için hem anahtarlamaya frekansı hemde sürekli olarak besleyebilecek güç kartına ihtiyaç vardır. Sürücüde kullanılan inverterlerin sürekli 0-50 Hz aralığında çalışmazlar. Bazı durumlarda 1000 Hz çıkış frekansına bile gerek olabilir. Bu tür durumlarda sinüse formuna yaklaşmak oldukça zorlaşır. Sinüs eğrisinden uzaklaşma ile orantılı bir şekilde harmonik bileşenler sürücü sistemde oluşur (Bhende., vd. 2016;17, Latt, Win, 2009:1).

AC sürücüler endüstriyel ve ticari uygulamalarda hızlanma, akış, izleme, basınç, hız, sıcaklık, gerilim ve torkta süreç ve kalite iyileştirmeleri sağlamak için kullanılır. AC sürücüler, mekanik ve elektriksel stresi azaltmak, bakım ve onarım maliyetlerini azaltmak ve motorun ve çalıştırılan ekipmanın ömrünü uzatmak için motoru kademeli olarak çalışma hızına yükseltir (Ozdemir ve Ferikoglu, 2004:1, Xiong, vd., 2010;1). Değişken hızlı sürücüler, mekanik ve elektriksel stresi daha da azaltmak için bir motoru özel modellerde çalıştırabilir. Bir sürücü, 4 kHz'lik varsayılan bir anahtarlamaya frekansı ayarı kullanır. Sürücünün anahtarlamaya frekansının (taşıyıcı frekansı) azaltılması, IGBT'ler tarafından üretilen ısıyı azaltır (Yılmaz, vd.A. S., 2008;78).

Bir PWM VFD'nin taşıyıcı frekansı darbeleri çıkış gerilimi, iletim hattı etkilerinin dikkate alınması gereken bu darbelerde hızlı yükselme sürelerine neden olur. Kablonun ve motorun iletim hattı empedansı farklı olduğundan, darbeler motor

terminallerinden kabloya geri yansıma eğilimindedir (Rüstemli vd. 2015; 6, Arifoğlu, 2016;1). Ortaya çıkan yansımalar, uzun kablolar için DC bara voltajının iki katına veya nominal hat voltajının 3,1 katına eşit aşırı voltajlar üretebilir, bu da kablo ve motor sargıları üzerinde yüksek stres ve nihai yalıtım hatası oluşturur. 230 V veya daha düşük dereceli üç fazlı motorlar için yalıtım standartları, bu tür uzun uçlu aşırı gerilimlere karşı yeterli koruma sağlar (Liang vd. 2007;1, Valan vd. 2013;52). 3'üncü nesil 0,1 mikrosaniye yükselme zamanlı IGBT'lere sahip 460 V veya 575 V sistemlerde ve inverterlerde, VFD ile motor arasında önerilen maksimum kablo mesafesi yaklaşık 50 m dir.

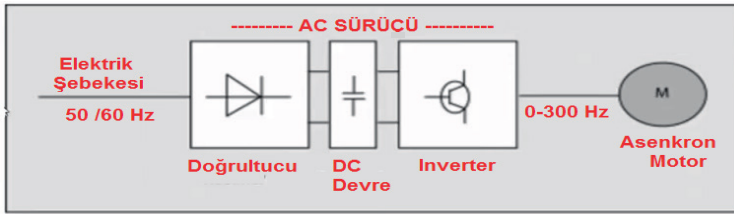
PWM anahtarlama aralıklarını oluşturmak için istenen çıkış frekansının en az on katı bir taşıyıcı frekansı kullanılır. 2.000 ila 16.000 Hz aralığında bir taşıyıcı frekansı, LV [düşük voltaj, 600 Volt AC altında] VFD'ler için ortaktır. Daha yüksek bir taşıyıcı frekansı daha iyi bir sinüs dalgası yaklaşımı üretir ancak IGBT'de daha yüksek anahtarlama kayıplarına neden olarak genel güç dönüştürme verimliliğini düşürür (Enemuoh vd. 2013;3, Andresen ve Keller, 1997:80). Bazı sürücüler, anahtarlama frekansına rastgele bir değişiklik getirmek için açılabilen bir gürültü yumuşatma özelliğine sahiptir. Bu, tepe gürültü yoğunluğunu azaltmak için akustik gürültüyü bir dizi frekansa dağıtır.

MOSFET tahrikli sürücüler için, 3 metreye kadar kısa kablo uzunluklarında önemli aşırı gerilimler gözlemlenmiştir. (Naveenkumar vd., 2015;1). Uzun kablo uzunluklarının neden olduğu aşırı gerilimlere yönelik çözümler arasında kablo uzunluğunun en aza indirilmesi, taşıyıcı frekansının düşürülmesi, dV/dt filtrelerinin kurulması, invertör görev dereceli motorların kullanılması (yükselme süresi daha az veya buna eşit olan darbe katarlarına dayanacak şekilde 600 V olarak derecelendirilmiştir) yer alır. 0,1 mikrosaniye, 1600 V tepe büyüklüğü ve LCR düşük geçişli sinüs dalgası filtrelerinin takılması (Azizipanah vd.

2019;2). AC sürücüler için optimum PWM taşıyıcı frekansının seçimi, dengeleme gürültüsü, ısı, motor yalıtım stresi, ortak mod voltaj kaynaklı motor yatak akımı hasarı, düzgün motor çalışması ve diğer faktörleri içerir. LCR alçak geçiren sinüs dalgası filtresi veya dV/dt filtresi kullanılarak daha fazla harmonik zayıflaması elde edilebilir (Sekkeli ve Tarkan, 2013:44, Kashif vd., 2011;38). Doğrultucular, sürücü inverterleri, motor kontrol kartları, anahtarlama prensibine göre çalışan güç kaynakları ile güç elektroniği tabanlı devre elemanları non-linear karakteristiğe sahiptirler [İzgi vd. 2012;86, Lee vd., 2018;1).

2. VFD İLE ASENKRON MOTORLARIN HIZ AYARI

VFD'ler mikroişlemci kontrollü çalışabilen diğer güç sistemleri ile entegre çalışabilen cihaz türleridir. VFD'li cihazların donanımlarını tanımak için kullanılan değişik teknik terimler bulunmaktadır. VFD'lerin motor giriş gücünün frekansını değiştirmek için temel güç elektroniği tabanlı devre elemanlarından faydalanılır (Lozanov vd., 2019;1).



Şekil 3. Değişken frekanslı sürücü prensip şeması

Değişken frekanslı sürücü daha genel anlamda asenkron motorlar tarafından tahrik edilen fan, pompa, kompresör ve benzeri iş makinelerinin hızını kontrol eden mikroişlemciler bulunmaktadır. Bu cihazların donanımları elektronik ya da

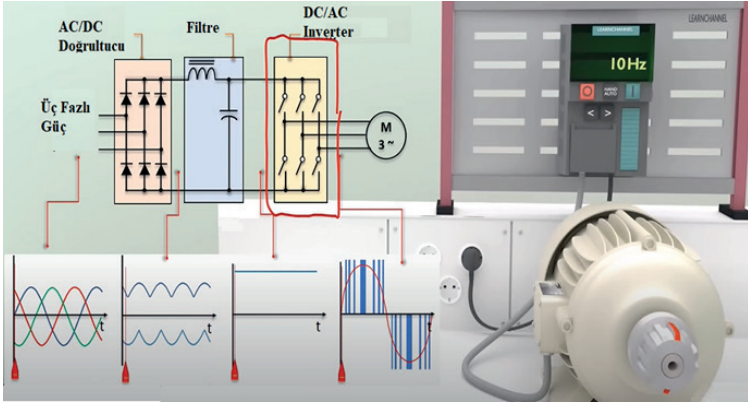
mekaniki olabilir (Kocatepe vd. 2003;1, Mujahid vd., 2020;1). VFD sürücü sistemini kullanıp anlamak için öncelikle VFD'nin temel ünitelerini tanımak gerekir. Bu üniteler:

- Doğrultucu ünitesi, bu ünite alternatif akımı doğru akıma çevirir.
- Doğru akım ünitesi, bu üniteye doğru akım bara toplanmıştır.
- Sürücü inverter ünitesi, bu üniteye doğru akım alternatif akıma dönüştürülür.

Alternatif akım güç kaynağında gerilimi sinüs olan dalga formu artar veya azalır. Güç sistemlerinde gerilim değeri pozitifken akım bir yönde, gerilimin değeri negatifken zıt yönde akar (Kasule ve Ayan 2019:44). Asenkron motorlarda hız ayarı ısıtma-havalandırmalarda, pompalarda, soğutucularda, uzun mesafelerde, güç iletiminde kullanılan değişken frekanslı sürücü kullanımı sürekli artmaktadır. VFD sürücüler temelde 3 ana ünitelerden oluşurlar;

- Giriş alternatif geriliminin doğrultulduğu ünite
- Elde edilen DC gerilimin düzgün hale getirildiği ünite
- DC gerilimin PWM yoluyla şekillendirildiği ünite

VFD ile kontrol edilen asenkron motorlardan gelen gürültülü ses PWM'nin taşıma frekansından kaynaklanmaktadır. Asenkron motorun hızı frekans ile doğru orantılıdır. Motor hızını VFD çıkış frekansındaki değişimler kontrol etmektedir. Aşağıda Şekil 4'de VFD genel çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 4. VFD ile asenkron motorun hız kontrolü

VFD’de bulunan doğrultucu, girişteki alternatif akımı doğru akıma dönüştüren ünedir. Doğrultma işleminde her bir faz için iki doğrultucu ihtiyacı bulunmaktadır. Bir doğrultucu takımı gerilim pozitifken buna karşılık ikinci doğrultucu takımının gerilimi negatif olması durumunda iletimde olur. Güç kaynaklarının çoğu büyük güçlü olduklarında üç fazlı olarak tasarlanırlar. Bundan dolayı bunlarda minimum altı adet darbeli doğrultucu kullanılır. Bunun yanısıra doğrultucu çıkışındaki dalgalanmayı en aza indirmek için 12 darbeli, 18 darbeli, 24 darbeli ve 30 darbeli doğrultucularda kullanılır.

VFD’ler güç elektroniği tabanlı cihazlardır. Temel sabit frekanslı, sabit gerilimli sinüs dalga gücünü endüksiyon motorlarının hızını kontrol etmek için kullanılan değişken frekanslara dönüştürür. Motora verilen gücün frekansını ve gerilimini kontrol ederek üç fazlı endüksiyon motorun hızını düzenler.

$$n_s = \frac{120f}{p} \quad (1)$$

Burada, p kutup sayısı sabit olduğundan asenkron motorun senkron hızı sürekli frekansla değiştirilebilir. Değişken frekans sürücüleri yükün durumuna uygun hız seviyesini ayarlayarak

çalışırlarlar. VFD'nin hızdaki ufak bir değişiklik bile enerji tüketimini azalması üzerinde oldukça etkilidir. Su pompasının VFD sürücüsü tarafından kontrol ettiğini tasarlayalım. VFD kullanılmadığında su pompası her türlü koşulda tam hızla çalışır. VFD kullanıldığında ise suyun debisine göre asenkron motorunun hızı ayarlanarak enerji tasarrufu sağlanır. Üretilen elektrik enerjisinin büyük bir kısmı asenkron motorlarda tüketildiğini düşünürsek VFD lerin motor uygulamalarında verimli bir şekilde kullanılmasıyla %10 enerji tasarrufu sağlanır.

VFD sürücülerle ile asenkron motorlarda yol alma akımını sınırladıkları için asenkron motor mekanik zorlanmaları en aza iner. VFD'li sürücülerin kullanılması sonucunda hem motorun ömrü uzar hemde bakım masrafları o nispette azalır. Asenkron motorun güvenli bir şekilde yumuşak olacak bir şekilde durması sağlanır. Doğru gerilimi alternatif gerilime dönüştüren inverterin kontrol ünitesi tarafından üretilen sinyaller ile genliği ayarlanabilen gerilim ve frekanslar üretilir. Bu gerilim ve frekans ile asenkron motor geniş bir hız sınırları içinde verimli olarak çalıştırılabilir. Mikro işlemcilerle motor hız kontrol sürücüsü kullanımı sürekli artmaktadır. Değişken frekans sürücülerini haberleşme üniteleri sayesinde otomasyon sistemlerine kolayca uyumları sağlanır. Asenkron motor türlerinde uygulama fark etmeksizin kullanıma uygundur. Değişken frekans sürücülerini kullanmanın birçok yararları vardır. Bunlar aşağıda sıralandığı gibidir:

- Endüstride VFD'ler ile enerji tasarrufu sağlamaktadır. Enerji tasarrufu ile birlikte sorunsuz kontrol, değişken hızlı motor tahrik sistemi, valfler, türbinler, hidrolik şanzımanlar, damperler vb. Dahil tüm diğer akış kontrol yöntemlerinden daha verimlidir. Enerji maliyeti tasarrufu, yükün tork ve gücünün olduğu değişken tork ve pompa uygulamalarında daha belirgin hale gelir sırasıyla hızın karesi ve küpü ile doğru orantılıdır.

- VFD'ler ile asenkron motor tahrik sistemlerinde artan güvenilirlik sağlanmaktadır. Hız ve akışı kontrol işlemlerinde vana, dişli, panjur veya türbin kullanımı gibi geleneksel mekanik yaklaşımlardan daha güvenilirdir. Mekanik kontrol sisteminden farklı olarak hareketli parçaları yoktur, dolayısıyla güvenilirdirler.
- Enerji tasarrufunun ötesinde, kırıcılar, konveyörler ve öğütme değirmenleri, en uygun hız değişikliklerini sağlamak için motor ve VFD paketlerini kullanabilir. Bazı önemli uygulamalarda, sabit frekanslı güç kaynağına sahip bir motorun sağlayamadığı çalışma hızı aralığı geniş olabilir. Konveyör ve değirmenlerde VFD ve motor sistemi, ek tahrik ihtiyacını ortadan kaldıran “sürtünme” hızının düşmesini sağlayabilir.
- Değişken frekans sürücüler ile büyük asenkron motorları çalıştırıldığında yüksek yol alma akımı, aşırı ısınma ve gerilim düşümü ortadan kaldırılır. Bu, yolla sargı hasarı azaltılır ve motor ömrü uzatılır.
- VFD'ler ile kontrolde ekipmanların ömrü uzar ve bakım maliyetleri düşer. Optimum gerilim ve frekans kontrolü sayesinde, elektro termik aşırı yüklenme, faz arızaları, aşırı gerilim vb. gibi hususlara karşı asenkron motorda daha iyi koruma sağlar.
- VFD'ler ile güç sisteminde yüksek güç faktörü elde edilir. Güç faktörü KW/KVA oranıdır. Tipik AC motorlarda güç faktörü 0,7 ile 0,8 arasında değişir. Motor yükü azaldıkça, güç faktörü düşük olur. VFD'leri kullanmanın avantajlarından biri değişken Frekanslı Sürücülerde hat tarafında yüksek güç faktörünü sağlayan DC barada kondansatör içerir. Buda ilave pahalı kapasitör bankları ihtiyacını ortadan kaldırır.

Son yıllarda, güç elektroniği teknolojisindeki gelişmeler VFD maliyetini ve boyutunu küçültmüştür. Kontrol donanımı

ve yazılımındaki gelişmeler sayesinde performans artırıldı. Diğer iki sürücü kontrol platformu, vektör kontrolü ve doğrudan moment kontrolü, motorun manyetik akısını ve mekanik momentini tam olarak kontrol etmek için motor gerilim büyüklüğünü ve frekansını ayarlar. Uzay vektörü darbe genişlik modülasyonu (SVPWM) giderek daha popüler hale gelmesine rağmen sinüzoidal PWM (SPWM), sürücülerin motor gerilimini (veya akımını) ve frekansını değiştirmek için kullanılan en basit yöntemdir. SPWM kontrolü çalışma frekansındaki sinüzoidal gerilim sinyali testere dişli bir taşıyıcı sinyal ile kesişme noktalarından oluşur.

3. DEĞİŞKEN FREKANSLI SÜRÜCÜLERDE HARMONİK ANALİZİ

Değişken frekans sürücüsünden asenkron motorlara gelen akımın neden olduğu harmonikli gerilim ve akımların etkilerin sonucunda demir ve bakır kayıpları artar. Bunlara ek olarak harmonik bileşenler, asenkron motorun verimini ve momentini etkilerler. Aynı zamanda motorun aşırı ısınmasına neden olurlar. Elektrik makinelerinde ısınmaya sebep olan harmonik bileşenler asenkron motoru oluşunun hava aralığına en yakın kısmında birikirler. Sonuç olarak asenkron motorun devir sayısını azaltırlar. Bu problemden kurtulmak için değişken frekanslı sürücüler ile tahrik edilen motorlarda rotorlar çift kafesli imalatı yerine tek kafesli imal edilenler seçilmelidir.

VFD'lerin faydalarına ait tartışmalarda çoğunlukla harmonik bileşenler ile ilgili sorunlar gündeme getirir. VFD'ler analizinde harmonik bileşenlerin nasıl üretildiğinin ve zararlarının anlaşılması önemlidir. AC şebekede tipik olarak 50 Hertz'le frekansla çalışır. Buna temel frekans adı verilir. Güç siseminde harmonik bileşenler temel frekansın tam katları frekanslara sahiptirler. Değişken frekans sürücüsünün frekans değeri artırıldıkça VFD üretilen harmonik bileşenlerin genliğini etkiler. DC bağlantılı endüktansa sahip bir VFD bu endüktansa

sahip olmayan bir VFD'ye göre ürettiği harmonik bileşenler birbirlerinden farklıdır. Temel dalga formu (50 Hz) yüksek bir genlik değerine (4000 amper) sahipse buna karşılık harmonik bileşenlerin dalga genlikleri çok küçükse (20 amper) eşdeğer dalga şekli çok fazla bozulmayacak ve bu bağlamda toplam harmonik distorsiyonu da düşük olacaktır. Harmonik dalga formu temel dalga bileşenine göre bağlı olarak yüksek ise etkisi o oranda daha fazla olacaktır.

Harmonik bileşenleri hesapladığımızda sistemindeki temel akım dalga formu üzerindeki harmonik etkilerini de hesaplanmış olunur. Yaklaşık hesaplamaları yapabilecek değişik program mevcuttur. Lineer yüklerin lineer olmayan yüklere oranı ne kadar yüksek olursa, nonlineer yüklerin akım dalgası formu üzerindeki azalır. Değişken frekanslı sürücülerde oluşan 2'nin katı olan harmonik bileşenler oluşur. Bunlar güç sistemine bir zararları yoktur, çünkü bunların güç sisteminde her fazda birbirlerinin etkisini karşılıklı olarak yok ederler. Aynı şey 3'ün ve üçün katları olan (3, 6, 9, ... , vb) harmonik bileşenler için de bu durum geçerlidir. Çünkü bu sistemlerde güç kaynağı üç fazlı olup, üç ve katları olan harmonik bileşenler her bir fazda birbirini karşılıklı olarak birbirlerini yok ederler. Sonuç olarak güç sisteminde etkin harmonik bileşenler 5, 7, 11, 13, ... $kq \pm 1$, bulunur. Bu formülde k =tamsayı, q = dönüştürücüdeki darbe sayısını göstermektedir.

Diğer iki harmonik azaltma tekniği, veri yolunda en az bir VFD branşman yükü olan ortak bir veriyoluna bağlı pasif veya aktif filtreleri kullanmaktır. Pasif filtreler, bir veya daha fazla düşük geçişli LC filtre kullanılır. VFD'ler tarafından üretilen harmonik bileşenler genliği en yüksek olanları 5, 7 ve 11 gibi harmoniklerdir. Yüksek harmoniklerde (13 ve daha yukarı) genlikler düşer. Harmonik bileşenler elektrikli çalışan cihazlar üzerinde birtakım olumsuzlukları vardır. Yüksek harmoniklere duyarlı elektronik cihazların çalışmasında parazitlere yol

açarken, buna karşılık düşük harmonik motorlarda, transformatör ve iletim hatlarında ısıl kayıplara sebep olur. Bu harmonik bileşenlerin zararlı olması için güç sistemine ve harmonik bileşenlere duyarlı cihazların güç sisteme bağlı olup olmadığına bağlıdır. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) harmoniklerin sınırlandırılmasında kullanıcının elektrik sistemine bağlantı noktası için limit değerler getirmiştir. Toplam harmonik gerilim bozulması (THD_V).

Gerilime ait toplam harmonik distorsiyonunu (THD_V) değerine standartlar tarafından bir limit değer getirilmiştir. IEEE-519 standartı 69 kV gerilim seviyesi altındaki gerilim değerleri için şebeke bağlantı noktasında THD_V %5 den daha az olması önerilmiştir. Toplam harmonik akım bozulması (THD_I). Bu değer ölçmenin yapıldığı esnada dalga formunda anlık harmonik akım bozulmasını ifade eder. Bu değer, harmonik akımı bileşenlerin karaların karakök değerinin o yük noktasında ölçülen temel bileşen akımına oranıdır. Özellikle bu orantıdaki paydanın yükü olan değişimine dikkat edilmelidir. Harmonik bileşenlerin temel bileşene göre değerini ifade etmekte kullanılan en önemli parametredir. Sinüsoidalden uzaklaşmanın diğer bir deyişle bozulmanın miktarını belirtir. Bu parametreler harmonikli dalga formunun sinüs eğrisinden uzaklaşmasının bir ölçüsüdür. Aynı zamanda enerji kalitesi ile alakalı büyüklüklerdir. Bu parametreler değerleri küçük olursa olduğu mertebede güç sisteminde akım ve gerilim dalga formu sinüs eğrisine daha yakındır. Tam sinüs eğrisi formunda harmonik bileşen olmayacağına THD_I parametresinin değeride de sıfır olur. Gerilim ve akım için bu parametrelerin formülleri aşağıda verildiği gibidir.

$$\%THD_V = \frac{\sqrt{\left(\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2\right)}}{U_2} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Elektrik enerjisinin dağıtımı aşamalarında akım ve gerilimin dalga formları sinüs formunda olması gereklidir. Bu durum güç sistemlerinde devamlı olarak gerçekleşmeyebilir. Enerji sistemindeki non-lineer yükler sebebi ile sistemde çeşitli frekansta sinüs formunda dalgalar oluşur. Toplam harmonik akım bazılması bu değer ölçmenin yapıldığı sırada akımın sinüs dalga formundaki bozulmasını ifade eder.

$$\%THD_I = \frac{\sqrt{\left(\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2\right)}}{I_1} \quad (3)$$

Bu parametre, harmonik akımın o yük noktasına ölçülenin temel bileşen akıma oranıdır. Bu orantıdaki değerinin paydanın yük değeri değiştiğine dikkat edilmelidir. Başka bir enerji kalitesinde kullanılan parametre, toplam talep bozulması (TDD)'dir. Bu parametre harmonik akım bileşenlerinin karalarının karakökünün tam yük akıma oranı şeklinde tanımlanır. Tam yük akımı, sistemin talep gücü maksimum iken güç sistemindeki yükler tarafından çekilen non-lineer akımların bileşkesidir. TDD parametresinin en kötü numerik değeri güç sisteminin tam yük değerinde oluşur. TDD değerinin formüsel karşılığı aşağıda verilmiştir.

$$\%TDD = \frac{\sqrt{\left(\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2\right)}}{I_L} * 100 \quad (4)$$

Burada I_L akımı yük tarafından sisteminin ortak bağlantı noktasından çekilen temel frekanstaki maksimum akımdır. Harmonik bileşenlerin içeriği değerlendirmek için THD ve TDD parametrelerinden faydalanılır. Toplam talep distorsiyonu (THD), THD'yi hesaplamakla aynıdır, ancak temel bileşen akıma yerine, tam yükün anma akımı olan I_L akımı değerlendirmeye

alınır. TDD değeri küçük kısa devre oranlarına sahip güç sistemlerinde daha yüksek kısa devre oranlarına sahip güç sistemlerinden daha düşüktür. Düşük kısa devre akımı oranına sahip güç sistemlerinin eşdeğer harmonik akım seviyeleri için daha yüksek gerilim distorsiyonu oluşturan yüksek empedanslara sahip olurlar. Güç sisteminde kullanılan hat reaktörleri kısa yükselme zamanlı büyük akım sıçramaları tehlikelerine karşı da korumayı sağlarlar. Doğrultucu ünitesinde transistör kullanılan bir VFD diyod veya tristor kullanılan VFD'lere göre THD değeri daha düşüktür.

Güç sistemlerinde çeşitli non-lineer yüklerden dolayı sistemde çeşitli frekansta sinüsoidal dalga formları görülür. Harmonik bileşenler genelde güç sisteminde non-lineer devre elemanları veya non-sinüsoidal kaynaklardan dolayı oluşurlar. Eğer devrede non-lineer devre elemanları veya non-sinüsoidal kaynaklardan biri varsa veya bunların ikisinin güç sisteminde bulunması durumunda harmonik bileşenler oluşurlar. Bunun sonucunda enerji sistemindeki sinüsoidal dalga formu bozulur. Bu bozuk dalgalar non-sinüsoidal dalga olarak adlandırılırlar. Non-sinüsoidal dalga biçimleri, periyodik olmakla birlikte sinüsoidal dalga formu ile frekans ve genliği farklı diğer sinüsoidal dalgaların toplamıdır. Temel dalga haricindeki sinüsoidal dalgalara harmonik bileşenler adı verilir. Harmonik dalga formu akım değeri temel bileşen dalga formuna göre yüksek ise etki daha fazla gözüktür. Harmonik distorsiyonun azaltılması, aynı sistemde bulunan hassas cihazlara gelebilecek olası zararları da azaltır. Harmonik distorsiyonunu azaltmak için birçok metod vardır. Endüstride yaygın bir şekilde kullanılan yöntemler şunlardır:

- Kompanzatörler güç sistemine ihtiyaç durumuna göre reaktans veya empedans eklerler. Sisteme eklenen reaktans ve empedanslar sistemdeki harmonik bileşenlerin genliklerini bastırır bunun sonucunda TDD değerinin

azaltmasını sağlar. Kompanzatörler aynı zamanda değişken frekanslı sürücülerini kısa yükselme zamanlı büyük akım sıçramalarına karşıda korurlar. VFD ve asenkron motor arasına konan bir hat reaktörü asenkron motorun akım sıçramalarından korunmasını sağlar. Aynı bağlamda kaynakla VFD arasına konan bir hat reaktörü kaynağı akım sıçramalarına karşı korur. Reaktörler VFD ile asenkron motor arasına asenkron motordan 15m'den bir yere konur. Çok hızlı yükselme zamanına sahip gerilim maksimum değerlerine karşı motor sargılarını korur.

- Pasif harmonik filtreler hedeflenen harmonik bileşenin nütürleşmesini sağlamak üzere bobinler, reaktörler ve kapasiteler kullanılarak tasarlanan devrelerden oluşur. Harmonik bileşen akımı en düşük empedanslı yolu takip ederek uygun bir topraklama nütürleştirilir. Pasif harmonik filtreler sürücü panolarına monte edilebilecekleri gibi ayrı bir panoda da monte edilebilirler. Pasif harmonik filtreler tipik olarak IEEE-519 belirtilen limit değerleri sağlayacak bir THDI değeri verecek şekilde tasarlanırlar. Aktif harmonik filtreler ise harmonik bileşenlere ait akımları ölçer ve hızla zıt harmonik bileşen dalgasını üretirler. İki dalga formu birbirini yok ederek aktif harmonik filtre ile filitreleme sonunda harmonik bileşen akımlarının gözlenmediği düşük bir harmonik distorsiyon değeri sağlarlar. Aktif harmonik filtreler mükemmel harmonik bileşen elimine etme karakteristiklerine sahiptirler.

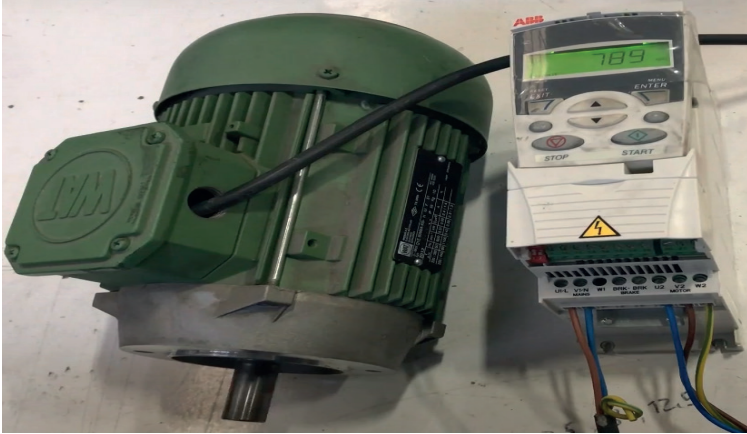
Gerilim harmoniklerinden kaynaklanan distorsiyon nedeniyle normal sabit hızlı AC motorlar gibi diğer yüklerdeki kayıplar artar. Bu durum aşırı ısınmaya ve daha kısa çalışma ömrüne neden olabilir. Ayrıca trafo merkezi trafoları ve kompanzasyon kapasitörleri de olumsuz etkilenir. Özellikle kapasitörler, harmonik seviyelerini kabul edilemez şekilde büyütebilen rezonans koşullarına neden olabilir. Gerilim bozulmasını

sınırlamak için, VFD yük sahiplerinin harmonik bozulmayı kabul edilebilir sınırların altına düşürmek için filtreleme ekipmanı kurması gerekebilir. Alternatif olarak, yardımcı kuruluş, kullanılan büyük miktarda VFD ekipmanından etkilenen trafo merkezlerinde kendi filtreleme ekipmanını kurarak bir çözüm benimsenebilir.

4. DEĞİŞKEN FREKANS VE GERİLİMLERDE ASENKRON MOTORUN ANALİZİ

Üç fazlı asenkron motorun değişik hızlarda dönmesi için değişken frekanslı inverter kullanılmalıdır. Asenkron motorlarda hız ayarının değişken frekanslı sürücülerle gerçekleştirilmesinin bazı avantajları mevcuttur. Büyük güçlü asenkron motorlar yüksek enerji harcamaktadırlar. Bu enerji tüketimini azaltmak ve asenkron motorların her durumda istenilen devirde dönmesini temin etmek için değişik frekanslar üretilerek asenkron motorun istenilen sabit hızda çalışmasını sağlayan frekans inverterleri üretilmiştir. Frekans kontrollü panolar asenkron motorları gerektirdiği hız seviyesini optimum koşullarda ayarlayarak çalıştırmalar. Asenkron motor hızdaki küçük bir değişiklik bile enerji tüketimini oldukça azaltabilir. Motorlarda değişken frekanslı sürücü kullanılmadığında pompa her durumda tam hızla çalışır. Frekans kontrollü panolar kullanıldığında ise suyun ihtiyacı düştüğü sürelerde pompa motorunun hızını azaltılarak enerji tasarrufu sağlanabilir.

IGBT, MOSFET, GTO veya SCR, güç elektroniği anahtarlama elemanları istenen yeni frekansta bir akım veya voltaj dalga formu üretmek için DC gücünü doğrultucuda açar ve kapatır. Gerilim kaynağı inverterlerin çoğu, darbe genlik modülasyonunu (PWM) kullanmaktadır, çünkü bu şemadaki çıkıştaki akım ve gerilim dalga formu yaklaşık olarak bir sinüs dalgasıdır. İnverterlerde çıkış gerilimi, inverterin kazancı değiştirilerek değiştirilir. Çıkış frekansı yarım döngü başına darbe sayısı değiştirilerek veya zaman döngüsü için süreyi değiştirilerek ayarlanır.



Şekil 5. VFD ile asenkron motorun hız ayarı

Bir asenkron motoru başlatırken, bir VFD başlangıçta düşük bir frekans ve voltaj uygular, böylece doğrudan çevrimiçi başlatma ile ilişkili yüksek ani akımdan kaçınır. VFD'nin başlamasından sonra, yükü hızlandırmak için uygulanan frekans ve gerilim kontrollü bir oranda artırılır veya rampalanır. Bu başlatma yöntemi tipik olarak bir motorun nominal torkunun %150'sini geliştirmesine izin verirken, VFD düşük hız aralığında ana şebekeden nominal akımının %50'sinden daha azını çeker. Bir VFD durma anından tam hıza kadar sabit bir %150 başlangıç torku üretecek şekilde ayarlanabilir. Bununla birlikte, motor soğutması bozulur ve hız azaldıkça aşırı ısınmaya neden olabilir, öyle ki, ayrı motorlu fan havalandırması olmadan önemli torkla uzun süreli düşük hızda çalışma genellikle mümkün değildir. Bir değişken frekanslı inverterinin ana amacı bir asenkron motorun hızını kontrol etmektir. Motorun hızı, giriş gerilimi ile birlikte frekansının da sabit bir oranda değiştirilir. Böylece motor düşük hızlarda çalışsa bile sabit bir moment sağlar.

Bir VFD ile durdurma sırası, başlama sırasının tam tersidir. Motora uygulanan frekans ve gerilim kontrollü bir oranda düşürülür. Frekans sıfıra yaklaştığında motor kapatılır. Yükün, motorun basitçe kapatılıp serbest kalmasına izin verildiğinde

duracağından biraz daha hızlı yavaşlamasına yardımcı olmak için az miktarda frenleme torku mevcuttur. Frenleme enerjisini dağıtmak için bir fren devresi (bir transistör tarafından kontrol edilen direnç) eklenerek ilave frenleme torku elde edilebilir. Dört çeyrek doğrultucu (aktif ön uç) ile VFD, ters moment uygulayarak ve enerjiyi AC hattına geri enjekte ederek yükü frenleyebilir.

Asenkron motorlarda dielektrik dayanımı motorda kullanılan verniğin kalitesine, motor sarımında kullanılan sargı geometrisine, motor çalışma sıcaklığına ve ortam nemine bağlıdır. Ortamdaki nem oranı arttıkça dielektrik dayanımı da o nispette azalır. Yüksek ortam sıcaklıklarında motor dielektrik dayanımı azalır. İnverter ile beslenen bir asenkron motorun ömrü % 75 kadar azalır. Bu nedenle düşük THD değerine sahip bir inverter ile birlikte, düşük iç sıcaklık dağılımına sahip asenkron motorlar kullanılmalıdır. Değişken frekans sürücü ile beslenen asenkron motorlar nominal hız ve yükte, 15 °C tan daha fazla sıcaklık artışına sahiptirler. VFD teknolojileri fan, pompa, soğutucularda asenkron motor hız kontrolünü olanaklı kılar. Değişken frekanslı sürücüler tahrik sistemlerinde kullanıldıklarında aşağıdaki faydaları sağlar:

- Güç sisteminde enerji tasarrufu sağlarlar
- Asenkron motorlarda düşük motor yolalma akımı
- Yol alma esnasında asenkron motorda mekaniki zorlanmalar azalır
- Montajda kolaylıklar
- Güç sisteminde yüksek bir güç faktörü
- Düşük zahiri güç (KVA)

Asenkron motorların kalkış anında şebekeden nominal akımlarının 6-8 katı yük akımı çekerler. Bu oranda akımın akması gerilim düşümlerine neden olur. Bu da aynı elektrik sisteminden beslenen diğer cihazları olumsuz yönde etkiler. Gerilime karşı

duyarlı olan bazı cihazlar devre dışı kalabilir. Bu nedenle asenkron motorlarının yol alma akımını azaltıcı yöntemler geliştirilmiştir. Yumuşak yol vericiler, yıldız-üçgen yol verme, oto-trafosu ile yol verme ve elektronik kontrollü yol vericiler endüstride yoğun bir şekilde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yol vermelerin hepsinde güç asenkron motora sabit frekansta iletir ve bu yöntemde motora uygulanan gerilim kontrol edilerek akım belli bir sınır içinde tutulur. VFD sürücülerinde inverterler girişlerindeki DC gerilimini, çıkışında istenen genlik ve frekansta AC gerilime çevrilir. VFD'ler asenkron motorlara yol vermede, elektrikle tahrik sistemlerinde, kesintisiz güç kaynaklarında ve yenilenebilir enerji kaynaklarında büyük yoğunlukta kullanılmaktadırlar.

Asenkron motorlar çalışmaları için şebekeden manyetik alanlarını oluşturmak için reaktif güç çekerler. Fazladan çekilen reaktif akımlar ek dirençlerde ek güç kayıplarına sebep olduğundan daha yüksek güçlü transformatör gerektirdiği için bu yöntem pek tercih edilmez. Reaktif akımı sınırlamak ve güç katsayısını yükseltmek gerekir. Asenkron motorlar güç faktörü 0,84 ile 0,88 arasında değişir. Asenkron motorun gücü azaltıldıkça güç faktörü de azalır. Reaktif akımı azaltmak ve güç faktörünü yükseltmek için kondansatörler güç sistemine eklenerek kompanzasyon işlemi gerçekleştirilir. Asenkron motorlara zarar vermemesi için kompanzasyon kondansatörleri seçilirken üretici firmaların kataloglarından faydalanılır. Kompanzasyon işlemi sonucunda güç faktörünün değeri 0,96 değerine kadar yükseltilir. VFD'lerde bulunan kapasitörler doğru akım hattı üzerinde bulunurlar. VFD'lerin şebeke kısmında yüksek güç faktörü sağlarlar. Bu kondansatörlerin VFD'lerde bulunması asenkron motora güç düzenleyici kondansatör dizisi ekleme ihtiyacını ortadan kaldırmaz.

Bunlara ek olarak yıldız-üçgen yol vermedeki gözlenen sorunlar, hızlı ivmelenme kayış ve diğer güç aktarma

elemanlarındaki aşınmalardır. VFD'ler Tablo 1'de de görüldüğü gibi diğer yol verici türlerine göre üstünlük sağladığı gözlenmektedir. Bütün yol verici tiplerinin aksine VFD frekansı ayarlanarak asenkron motorlara iletilen güç ve akım sınırlandırılabilir. VFD'ler düşük frekans ile asenkron motorlara yol verir. Asenkron motorlar düşük frekansta yüksek miktarda akıma ihtiyaç duymazlar. VFD'lerde frekans asenkron motor hızını belirlenen hız değerine erişene kadar aşamalı bir şekilde artırılır. Yol verme sırasında motorun akım miktarı hiçbir zaman tam yük akım değerini geçemez. Düşük bir şekilde yol alma akımının sağladığı yararlarının yanı sıra asenkron motorların tasarımları yüksek verim sağlayacak şekilde optimize edilmelidir.

Tablo 1. Asenkron Motorlara Çeşitli Yol Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Asenkron motora yol verme türü	Asenkron motorun yol alma akımı (Motorun tam yük akımının %'si olarak)
Asenkron motora değişken frekanslı sürücü ile yol verme	% 100
Asenkron motora Yıldız-Üçgen yol verme	% (200 den 275 şe kadar.)
Asenkron motora yumuşak yol verme	% 200
Asenkron motora oto-trafusu ile yol verme	% (400 den 500 ze kadar)
Asenkron motora reaktans bobini yol verme	% (400 den 500 ze kadar)
Asenkron motora direkt yol verme	% (600 den 800 ze kadar)

Harmonik bileşenlerin pasif filtreler hedeflenen harmonik bileşen frekansının nötürleştirilmesi için düşük empedanslı bir yol sağlar. Bunun için bobinler, reaktörler ve kapasitörler kullanılır. Harmonikli akım toprağa doğru en düşük empedanslı yolu takip edeceğinden hedeflenen frekansta harmonikli akımın, güç sistemde yayılması engellenir. Harmonik filtreleri değişken frekanslı sürücü panolarına monte edilebilecekleri gibi bunlar ayrı bir cihaz şeklinde de konulabilirler. Harmonik filtreleri güç sisteminde tipik olarak IEEE-519 önerdiği limit değerlere

uygunluğu sağlayacak bir THDI değerini verecek şekilde tasarlanırlar. Aktif filtreler, harmonik bileşenlere ait akımları ölçer ve hızlı bir şekilde zıt harmonik dalga üretirler. Bu iki zıt formulu dalgalar birbirini yok ederler. Bu işlemin sonunda filtre devresi çıkışında harmonik bileşen akımları gözlenmez. Aktif filtreler mükemmel harmonik bileşen bastırma özelliğine sahiptirler. Aktif filtreler tesiste büyük ölçekli jeneratör büyüklük ihtiyacını da azaltırlar. Yine bu bağlamda IGBT'lerin üstün özellikleri sayesinde VFD'lerin güç girişini aktif olarak kontrol ederler ve harmonik bileşenlerin azaltmasını, güç faktörünü yükseltmesini sağlarlar. Sonuç olarak IGBT anahtarlama elemanı VFD'nin kaynak kısmındaki bozulmalara daha toleranslı olmasını sağlar.

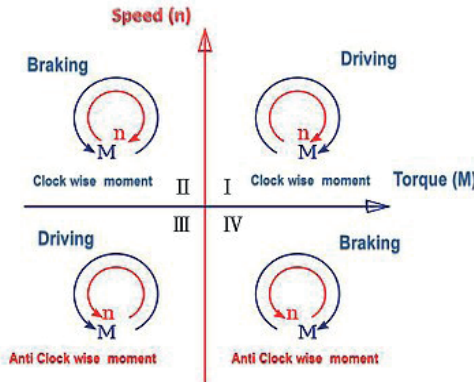
Üç fazlı VFD'lerin doğrultma ünitelerinde en az altı darbeli doğrultucu vardır. Hatta bu doğrultuculardaki darbe sayısı daha fazla da olabilir. VFD üretici firmaları 12, 18, 24 ve 30 darbeli sürücülerini üretmişler. VFD sürücülerde 6 darbeli sürücü, altı doğrultucuya, 12 darbeli sürücü iki tane altı darbeli doğrultucuya, 18 darbeli sürücü ise üç tane altı darbeli doğrultucuya sahiptir ve bu dizin böyle gider.

Eğer doğrultucu setlerine uygulanan gücün faz açısı kaydırılırsa, bir doğrultucu setinin ürettiği harmonik birleşenlerin bazıları, diğer bir doğrultucu setinin ürettiği harmonik birleşenlere zıt kutupta olacaktır. Birbirine zıt olan bu iki dalga formu etkin bir şekilde birbirlerini yok ederler. Harmonik bileşenleri faz kaydırma yöntemini ile yok etmek için kullanılacak transformatörün çoklu sekonder sargılara sahip olması gerekir. 12 darbeli VFD için kullanılacak transformatörün sekonder fazlarının her biri 30° kaydırılmış Üçgen/Üçgen-Yıldız olması gerekir. Asenkron motorların hız kontrolünde kullanılan VFD'lerin sağladığı avatajlar aşağıda sıralandığı gibidir:

- VFD'ler kapasite kontrolünü en yüksek enerji verimliliği yöntemi ile sağlar.

- VFD'ler motor ve kayış sistemlerde oluşan ısıl ve mekanik gerilmeleri engeller.
- VFD sürücünün kurulumu ve asenkron motorun VFD'ye irtibatlanmasından ibaret olup oldukça basittir.
- Değişken frekanslı sürücüler ile sistemde yüksek güç faktörü sağlarlar. Güç sisteminde güç faktörü düzeltme amaçlı kullanılan kondansatörlere gerek kalmaz.
- VFD'ler daha düşük görünen güç sağlarken güç sisteminde gerilim değişimleri ve güç kesintilerinin azalmasına olanak tanırırlar.

Sürücü inverterlerde kullanılan anahtarlama elemanı olarak IGBT'ler kullanılır. Bu anahtarlama elemanlarının düşük anahtarlama güç kayıpları ve yüksek anahtarlama hızları sayesinde güç sisteminin performansını arttırmaktadırlar. Bir periyod boyunca güç sisteminde yüzlerce defa ilettime giren IGBT'ler, güç sisteminde PWM ile kontrol tekniğinin uygulanmasına imkan sağlamaktadırlar. 500 A ve 2000 V'lara kadar akım ve gerilim değerlerinde üretilen IGBT'lerde yaklaşık olarak 2 ile 4 V arasında gerilim düşümü ve 0,5 ile 1,5 mikrosaniye zaman aralığında anahtarlama sürelerine sahiptirler. VFD'li sürücülere ait dört bölgeli çalışma diyagramı aşağıda verildiği gibidir.



Şekil 6. Dört kadranlı sürücü uygulamaları tek kadranlı

Sürücü uygulamaları tek kadranlı, iki kadranlı veya dört kadranlı olarak kategorize edilebilir; grafiğin dört çeyreği şu şekilde tanımlanır:

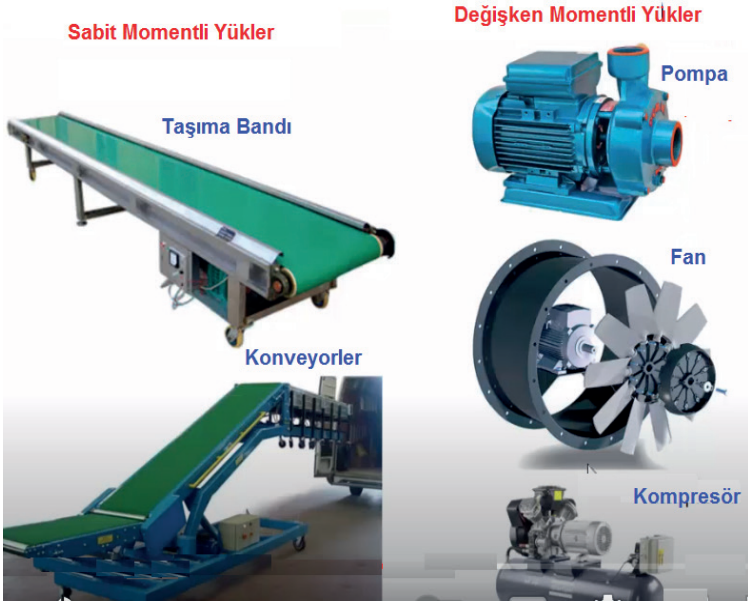
- Kadran I - Sürüş veya otomobil kullanma, ^[28] pozitif hız ve tork ile ileri hızlanan kadran
- Kadran II - Pozitif hız ve negatif tork ile üretim veya frenleme, ileri frenleme- yavaşlama kadran
- Kadran III - Sürüş veya otomobil kullanma, negatif hız ve tork ile ters hızlanma kadran
- Kadran IV - Negatif hız ve pozitif tork ile üretme veya frenleme, ters frenleme-yavaşlama kadran.

Çoğu uygulama, değişken torklu (örn. santrifüj pompalar veya fanlar) ve belirli sabit torklu (örn. ekstrüderler) yükler gibi, kadran I'de çalışan tek kadranlı yükleri içerir. Bazı uygulamalar, hızın pozitif olduğu, ancak bir fanın doğal mekanik kayıplardan daha hızlı yavaşlaması durumunda olduğu gibi torkun polariteyi değiştirdiği I ve II kadranlarında çalışan iki kadranlı yükleri içerir. Bazı kaynaklar, iki kadranlı sürücüleri, hız ve torkun her iki yönde aynı (pozitif veya negatif) polariteye sahip olduğu I ve III kadranlarında çalışan yükler olarak tanımlar. Bazı yüksek performanslı uygulamalar, asansörler, asansörler ve yokuşlu konveyörler gibi hız ve momentin herhangi bir yönde olabileceği dört kadranlı yükleri (I ila IV çeyrekleri) içerir.

Asenkron motorunda, kayma frekansa ve hava boşluğu akısına orantılıdır. Terminal gerilimi, stator düşmesi ihmal edilirse kayma frekansı ve akı ürünüyle orantılı olarak kabul edilebilir. Besleme frekansında terminal voltajında bir değişiklik olmadan herhangi bir azalma, hava boşluğu akışında bir artışa neden olarak motorun manyetik doygunluğuna neden olur. Ayrıca motorun moment kapasitesi de azalır. Motorların nominal etiket hızının (temel hız) üzerinde çalıştırılması mümkündür, ancak motorun etiket değerinden daha fazla güç gerektirmeyen

koşullarla sınırlıdır. Buna bazen “alan zayıflaması” denir ve AC motorlar için, nominal V/f ‘den daha düşük ve nominal etiket hızının üzerinde çalışma anlamına gelir. Sabit mıknatıslı senkron motorlar, sabit mıknatıslı akı bağlantısı nedeniyle oldukça sınırlı alan zayıflama hız aralığına sahiptir. Sargı rotorlu senkron motorlar ve asenkron motorlar çok daha geniş hız aralığına sahiptir.

Daha yüksek hızlarda, motorun koparma momentinin düşürülmesi nedeniyle asenkron motorun momenti daha da sınırlandırılmalıdır. Bu nedenle, nominal güç, tipik olarak, nominal etiket hızının yalnızca %130-150’sine kadar üretilebilir. Sargı rotorlu senkron motorlar daha da yüksek hızlarda çalıştırılabilir. Haddehane tahriklerinde genellikle temel hızın %200-300’ü kullanılır. Rotorun mekanik gücü motorun maksimum hızını sınırlar. Doğrudan AC hat gücünden beslenen birçok sabit hızlı motor yükü uygulaması, VFD aracılığıyla değişken hızda çalıştırıldıklarında enerji tasarrufu sağlayabilir. Bu tür enerji maliyeti tasarrufları, yükün torku ve gücünün sırasıyla hızın karesi ve küpü ile değiştiği değişken torklu merkezkaç fan ve pompa uygulamalarında özellikle belirgindir. Bu değişiklik, hızda nispeten küçük bir azalma için sabit hızlı çalışmaya kıyasla büyük bir güç azalması sağlar.



Şekil 7. Sabit ve değişken momentli yükler

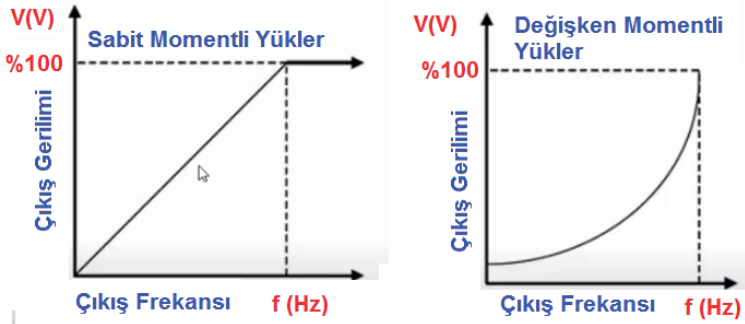
Rejenerasyon, yalnızca sürücü voltajının büyüklüğü motor geri EMF'sinden daha küçük olduğunda ve sürücü gerilimi ile geri elektromotor kuvvet (EMF) aynı polariteye sahip olduğunda sürücünün DC barasında gerçekleşebilir. VFD'lerde kontrol sisteminin fonksiyonu, çıkış gerilimini kontrol etmektir. Sabit momentli yüklerde gerilim / frekans oranını,

$$\frac{U}{f} = k \quad (5)$$

sabit tutulur. Değişken momentli yüklerde,

$$\frac{U}{f^2} = k \quad (6)$$

oranı sabit tutulmalıdır. Tahrik edilen motordan geri besleme bilgisi alan ve çıkış gerilimini veya frekansını istenen değerlere ayarlayan elektronik devreden oluşur.



Şekil 8. Sabit ve değişken momentli yüklerin frekansla değişimi

Kontrol sistemi sinüs dalgası genlik darbe modülasyonu (SPWM), uzay vektörü genlik darbe modülasyonu (SVPWM) veya bazı yumuşak hesaplama tabanlı algoritmalar baz olarak alınabilir.

Bir VFD'nin hızı kontrol etmenin iki ana yolu vardır; ağ bağlantılı veya kablolu. Ağ bağlantılı, amaçlanan hızın Modbus, Modbus / TCP, EtherNet/IP gibi bir iletişim protokolü üzerinden veya bir tuş takımı aracılığıyla ekran seri arayüzü kullanılarak iletilmesini içerirken, kablolu bağlantı tamamen elektriksel bir iletişim aracını içerir. Tipik kablolu iletişim araçları şunlardır: 4-20mA, 0-10VDC veya bir potansiyometre ile dahili 24VDC güç kaynağı kullanılır. Modele bağlı olarak bir VFD'nin çalışma parametreleri şu şekilde programlanabilir: özel programlama yazılımı, dahili tuş takımı, harici tuş takımı veya SD kart. VFD'ler genellikle çalışırken çoğu programlama değişikliğini engeller. Ayarlanması gereken tipik parametreler şunları içerir: motor isim plakası bilgisi, hız referans kaynağı, açma/kapama kontrol kaynağı ve fren kontrolü. VFD'lerin hata kodları ve giriş sinyallerinin durumları gibi hata ayıklama bilgilerini sağlaması da yaygındır.

Operatör arayüzü, bir operatörün motoru çalıştırması ve durdurması ve çalışma hızını ayarlaması için bir araç sağlar. VFD, Modbus veya başka bir benzer arabirim aracılığıyla

programlanabilir bir mantık denetleyicisi tarafından da kontrol edilebilir. Ek operatör kontrol işlevleri, tersine çevirmeyi ve manuel hız ayarı ile harici bir proses kontrol sinyalinde otomatik kontrol arasında geçiş yapmayı içerebilir. Operatör arayüzü, genellikle, sürücünün çalışması hakkında bilgi sağlamak için bir alfanümerik ekran veya gösterge ışıkları ve sayaçları içerir. Yukarıdaki fotoğrafta gösterildiği gibi, genellikle VFD denetleyicisinin ön tarafında bir operatör arabirimi tuş takımı ve görüntüleme birimi sağlanır. Tuş takımı ekranı genellikle kabloyla bağlanabilir ve VFD denetleyicisinden kısa bir mesafeye monte edilebilir. Çoğu aynı zamanda basmalı butonları, anahtarları ve diğer operatör arabirim cihazlarını veya kontrol sinyallerini bağlamak için giriş ve çıkış (I/O) terminalleri ile sağlanır. VFD'nin bir bilgisayar kullanılarak yapılandırılmasına, ayarlanmasına, izlenmesine ve kontrol edilmesine izin vermek için genellikle bir seri iletişim bağlantı noktası da mevcuttur.

PWM sürücülere, motor yataklarında soruna neden olabilecek yüksek frekanslı ortak mod gerilimleri ve akımları ile doğal olarak ilişkilidir. Bu yüksek frekanslı gerilimler bir yatak üzerinden toprağa giden bir yol bulduğunda kıvılcımları oluşur. Bu kıvılcımlar motorda aşınmaya neden olur. Büyük motorlarda, sargıların kaçak kapasitansı, motor mili uçlarından geçen yüksek frekanslı akımlar için yollar sağlar ve bu da dolaşan tipte bir yatak akımına yol açar. Kötü topraklanmış tahrikli ekipmana sahip küçük motorlar, yüksek frekanslı yatak akımlarına karşı hassastır. Yüksek frekanslı yatak akımı hasarının önlenmesi için standart 2 seviyeli inverter sürücüler yerine 3 seviyeli inverter sürücüler veya matris dönüştürücüler kullanılmalıdır. 5 kHz üzerindeki taşıyıcı frekansları, koruyucu önlemler alınmadığı takdirde, rulman hasarına neden olabilir. Sürücü tarafından üretilen moment asenkron motorun kaymadan daha az senkron hızda çalışmasına neden olur. Yük, motoru senkron hızdan daha hızlı sürüyorsa, motor bir generatör görevi görerek mekanik gücü tekrar elektrik gücüne dönüştürür.

Bir gömülü mikroişlemci VFD kontrolörün genel çalışmasını kontrol eder. Mikroişlemcinin temel programlaması, kullanıcı tarafından erişilemeyen bellek olarak sağlanır. VFD, motor ve tahrik edilen ekipmanı kontrol etmek, korumak ve izlemek için ekran, değişken ve fonksiyon bloğu parametrelerinin kullanıcı tarafından programlanması sağlanır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

VFD sürücüler üç fazlı asenkron motorlar kontrol edilirken hem gerilimi hemde frekansı değerleri değiştirebilen cihazlardır. Bu sürücüler ile küçük ev aletlerinden sanayide kullanılan büyük güçlü motorlara kadar geniş bir yalpazede kullanılmakta VFD'li sürücüler sadece motorları kontrol etmeleri yanında birçok değişik işlevleri üstlenmiş durumdadırlar. VFD'li kontrol cihazlarının en önemli özelliklerinden biride enerji tasarrufu sağlamaktır. Bundan dolayı işletmeler için sürücülü inverter kullanılması şarttır. Bu çalışmanın amacı, VFD kullanmasının sağlayacağı yararlar ilgili temel kavramları açıklamak ve aynı zamanda standartlara göre harmonik bozulmaya ilişkin bazı temel uygulama prensiplerini tartışmaktır. Bu çalışmanın sonucunda aşağıdaki öneri ve tavsiyelerde bulunulabilir:

- Değişken frekanslı sürücüler ile asenkron motorların hızı düşürüldüğünde buna bağlı olarak soğutma kapasitesi de düşmektedir Değişken frekans sürücüler ile sürülen asenkron motorlarda oluşan harmonik bileşenler motorda aşırı sıcaklık oluşturduğu için hem soğutma ihtiyacının karşılanması hem de frekans konvertörünün oluşturduğu aşırı sıcaklığın yok edilmesi için asenkron motorlar cebri fan ile soğutulmalıdırlar. Değişken frekans sürücü ile çalıştırılan motorlarda oluşan harmonikler bileşenler nedeniyle motorun gürültü seviyesi artmaktadır. Motor nominal gücünde çalıştırıldığında bu gürültü oluşan harmonikler nedeniyle gürültü seviyesi 2,0 ile 15,0 dB arasında artmaktadır.

- Sürücülerde kullanılan inverterler non-linear özellik gösterdiklerinden güç sistemlerinde yüksek bir harmonik kirliliğe neden olmaktadır. Bunun sonucunda asenkron motora iletilen enerjinin kalitesini düşürmektedirler. Güç sisteminin kararlı bir biçimde çalışmasını sağlamak için, tasarım aşamasında non-linear elemanların veya non-sinüsoidal kaynakların meydana getirdiği harmonik bileşenlerin büyüklükleri hesaplanarak veya ölçülerek belirlenmesi gerekir. Güç sistemdeki harmonik bileşenler mutlak sürette filtre devreleri ile elimine edilmelidirler.
- Elektrik enerjisine talep günbegün artmaktadır. Kaliteli bir enerji için, güçlü non-linear elemanlar içeren kesintisiz güç kaynakları, değişken frekanslı motor sürücüleri gibi cihazlara ait yılda birkaç kez harmonik distorsiyonu ölçümü yapılmalıdır. Bu tür tesislerin yıllık harmonik bileşenlerine ait yük eğrileri çıkarılmalı ve bu tesislerde harmonik bileşenlerin genlikleri düşük seviyede olmaları sağlanmalıdır. Güç sistemlerinde aktif veya filtre harmonik filtre kullanımı mecbur tutulmalıdır. Darbe sayısı yüksek doğrultucular ile çok seviyeli inverterleri kullanılmalıdır. Bunun sonucunda kaliteli ve daha güvenli bir enerji temini mümkün kılınmalıdır. Enerji tesisinin güvenilir ve kararlı bir biçimde çalışmasını sağlamak için, tasarım ve işletme aşamasında non-linear eleman özelliği gösteren sürücü inverterlerin veya non-sinüsoidal kaynakların oluşturduğu harmonik bileşenlere ait büyüklüklerinin hesaplanması veya ölçülerek tesbit edilmesi gerekir.
- Non-linear eleman özelliği gösteren sürücülerde kullanılan inverterler düşük güçlü olsalar bile güç sistemlerinde sinüsoidal olan akım ve gerilimin dalga formunu bozarlar. Enerji sistemine bağlanan birçok inverteri bulunduğu hesaplandığında elektrik tesisinde toplam harmonik distorsiyon yükselir. Harmonik

distorsiyonun giderilmesi enerjinin kalitesi açısından çok önemlidir. Nonlinear devre elemanları iletim ve dağıtım sistemlerinde ciddi harmonik kirlilik oluşturmaktadırlar. Bu da tüketiciye sunulan enerjinin kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Güç sistemlerinde daha kaliteli bir enerji için harmonik distorsiyon seviyesinin hesaplanması ve harmonik bileşenlerin elimine edilmesi gerekir.

- VFD'ler, küçük cihazlardan büyük kompresörlere kadar değişen uygulamalarda kullanılırlar. Dünyadaki elektrik enerjisinin yaklaşık %70'i endüstriyel uygulamalarda asenkron motorları tarafından tüketilmektedir. VFD'leri kullanan sistemler, pompalı sistemler ve fanlar için damper kontrolü gibi sıvı akışının kısma kontrolünü sağlayan sistemlerden daha verimlidirler. Ancak, VFD'lerin tüm üstünlüklerine rağmen küresel pazara girişleri nispeten küçüktür. Değişken frekans sürücüsünde taşıyıcı frekans değerine bağlı olarak, motor bağlantı klemensinde pik gerilimler oluşur. Klemenslerde saniyede 2.000 ile 20.000 arasında tekrarlanan gerilim pikleri, koronaya sebep olmakta ve kısmi boşalmalar oluşmaktadır. Bunun sonucunda sargıların dielektrik direncinin zayıflamasına ve sonuçta asenkron motorun yanmasına sebep olmaktadır.
- Frekans konverterlerinde anma frekans üstündeki frekanslarda asenkron motorun verim ve momenti düşer. Asenkron motorun iş makinesini tahrik edebilmesi için motorda güç artırımına gidilmesi gerekir. Bu durumda motor gücü nominal gücünün bir seviye üstünde seçilmelidir. Çok yüksek frekanslarda yapılan hız ayarlarında bir takım olumsuzluklarla karşılaşacağı bilinmelidir. Motor anma momenti ile yüklenemez. Yüksek frekanslarda motor hızı yükselir bunun sonucunda rüzgâr ve sürtünme kayıpları artar. Sonuç olarak motorun verimi düşer.

- Değişken frekanslı çeviricilerde frekans ayarı 0,5-2000 Hz aralığında yapılabilmektedir. Bu frekans değerinde çeviricilerinde önce şebeke gerilimi doğrultulur. Üretilen bu doğru gerilim ara devreli bobin ve kondansatörlerle tarafından filitrelenir. Bu filitrelenmiş doğru gerilim inverter kontrol ünitesinde tarafından ayarlanabilir gerilim ve frekans üretilir. Bu gerilim ve frekans destekli asenkron motorların hız ayarı gerçekleştirilir. Değişken frekanslı çeviricilerde anma frekansın üzerindeki çalışmada asenkron motorun verim ve momentü düşer. Bu durum dikkate alındığında asenkron motorun seçiminde güç bir üst değerde seçilmelidir.

KAYNAKLAR

- Malekpour, M., Azizipanah-Abarghoee, R., Teng, F., Strbac, G., Terzija, V., (2020) Fast Frequency Response From Smart Induction Motor Variable Speed Drives, in *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 35, no. 2, pp. 997-1008, doi: 10.1109/TPWRS.2019.2936970.
- Liang, X., Xu, W. (2013). Modeling variable frequency drive and motor systems in power systems dynamic studies, *2013 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, Vol.1, pp. 1-11, doi: 10.1109/IAS.2013.6682607.
- Boudouda, A., Boudjerda, N., Melit, M., Nekhoul, B., El Khamlichi Drissi, K., Kerroum, K., (2012). Optimized RPWM technique for a Variable Speed Drive using induction motor, *International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE*, pp. 1-6, doi: 10.1109/EMCEurope.2012.6396741.
- Rashid, H.M. (2014). *Power Electronics, Circuits, Devices, and Applications*, Perason Press.
- Dickson, W.D., McClain, J.E. (1982) Microcomputer Control of Variable Frequency Drives Using the Submersible Motor as an Instrument, in *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. IA-18, No. 4, pp. 373-381, July 1982, doi: 10.1109/TIA.1982.4504096.
- Cui, X., Li, B., Kou, ZÇ, Qıao, Y., (2019). Measurement and control system for variable-frequency speed regulating of motor based on PLC and HMI, *2019 IEEE 8th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC)*, pp. 1169-1173, doi: 10.1109/ITAIC.2019.8785791.
- Bhende, C.N., Kalam, A., ve Malla, S.G. (2016). Mitigation of Power Quality Problems in Grid-Interactive Distributed Generation System, *DE Gruyter: International Journal of Emerging Electric Power Systems*, Vol. 17, pp. 165-172.

- Ozdemir, A., Ferikoglu, A. (2004). Low cost mixed-signal microcontroller based power measurement technique - *IEE Proceedings-Science Measurement And Technology*, 151,1350-2344. doi : 10.1049/ip-smt:20040242
- Latt, A.Z., Win, N.N. (2009). Variable Speed Drive of Single Phase Induction Motor Using Frequency Control Method, 2009 *International Conference on Education Technology and Computer*, pp. 30-34, doi: 10.1109/ICETC.2009.72.
- Xiong, Q., Zhang, Z., Liu, J., Yin, X. (2010). The protection technology of high voltage variable frequency drive system, *Proceedings of the 2010 International Conference on Modelling, Identification and Control*, pp. 722-727, doi: 10.1109/iCECE.2010.1077.
- Yilmaz, A. S., Alkan, A., ve Asyali, M. (2008), Applications of parametric spectral estimation methods on detection of power system harmonics, *Electric Power Systems Research*, 78, Issue 4, , pp 683-693, April.
- Enemuoh F. O.1, Okafor E. E., Onuegbu J. C., Agu V. N. (2013),Modelling, Simulation and Performance Analysis of A Variable Frequency Drive in Speed Control Of Induction Motor, *International Journal of Engineering Inventions*, e-ISSN: 2278-7461, p-ISSN: 2319-6491, Volume 3, Issue 5 (December 2013) PP: 36-41, www.ijejournal.com
- Andresen, E.C., Keller, R. (1997), Variable speed drive with current source inverter supply and permanent magnet synchronous motor compared with cage induction motor. *Electrical Engineering* 80, 375–381 (1997). <https://doi.org/10.1007/BF01232927>
- Rüstemli, S., Okuducu, E., ve Efe, S.B. (2015), Elektrik Tesislerinde Harmoniklerin Pasif Filtre Kullanılarak Azaltılması ve Simülasyonu, EVK2015: 6. 2015, *Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu*, pp120-124, 4-6 Haziran, Sakarya.
- Liang, X., Laughy, R., Liu, J. (2007). Investigation of Induction Motors Starting and Operation with Variable Frequency Drives, 2007 *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, pp. 556-561, doi: 10.1109/CCECE.2007.144.
- Arifoğlu, U. Matlab 9.1- *Simulink and Engineering Applications*. Alfa Yayıncılık, İstanbul, Turkey, 2016.
- Valan Rajkumar, M. Manoharan, P.S. Ravi, A.(2013). Simulation and an Experimental Investigation of SVPWM Technique on a Multilevel Voltage Source Inverter for Photovoltaic Systems, *Electrical Power and Energy Systems*, Vol: 52, pp, 116–131.
- Naveenkumar, M., Munjal, A., Srinivasan, S., Prasad, D. (2015). Design and implementation of a variable frequency drive for single-phase induction motor, 2015 *IEEE International WIE Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE)*, pp. 239-242, doi: 10.1109/WIECON-ECE.2015.7443907.

http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Do%C4%9Frultucu%20Ve%20Evirici%20Devreleri.pdf.

Azizipanah-Abarghooee, R., Malekpour, Dragicevic, M., Blaabjerg, F., Terzija, V.(2019). A linear inertial response emulation for variable speed wind turbines, *IEEE Trans. Power Syst., to be published*, doi: 10.1109/TPWRS.2019.2939411.

Sekkeli, M., ve Tarkan N. (2013). Development of a novel method for optimal use of a newly designed reactive power control relay. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems* 2013;44:736-742.

Kashif S.A.R. M.A. Saqib M.A, Zia, S. (2011). Implementing the induction motor drive with four switch inverter An application of neural networks, Expert Systems with Applications: *An International Journal Volume*, Vol. 38(9), pp. 111-37 11148.

İzgi E.; Öztopal A.; Yerli B.; Kaymak M.K.; Şahin A.D. (2012). Short-mid-term solar power prediction by using artificial neural networks. *Solar Energy*, Vol. 86, pp. 725-733.

Lozanov, Y., Tzvetkova, S., Petleshkov, A., (2019). Study of the effectiveness of a variable frequency drive of an induction motor, *2019 11th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF)*, pp. 1-6, doi: 10.1109/BulEF48056.2019.9030775.

Lee K., Zhai P., Ruchti T., Haberkorn B., Zhou J., (2018). Optimal Energy Efficiency Evaluation in Induction Machines Driven by Adjustable Speed Drives under EN 50598–2 and IEC 61800-9-1 Standards, *2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, DOI 10.1109/ECCE.2018.8558445.

<https://www.alarko-carrier.com.tr>

Kocatepe C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., (2003). *Elektrik Tesislerinde Harmonikler*, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Mujahid, T., Tahir, A., Awais, M., Kamal, A., Hayyat, U. (2020). Design and Implementation of Variable Frequency Drive by Using Scalar Control Technique, *2020 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET)*, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICEET48479.2020.9048192.

Kasule A., Ayan K. (2019). Forecasting Uganda's Net Electricity Consumption Using a Hybrid PSO-ABC Algorithm, *Arabian Journal For Science And Engineering*, Vol.44 (4), pp. 3021-3031. doi. 10.1007/s13369-018-3383-z



Tüm kategorilerde

Ara

kitap adı / yazar / yıl

[Anasayfa](#) > [ULUSLARARASI YAYIN BİLGİSİ](#)

ULUSLARARASI YAYIN BİLGİSİ

2022 Güncel makam yazısı için tıklayınız>>

Eğitim Yayınevi, Üniversitelerarası Kurul Başkanlığı (ÜAK) 2022 Doçentlik Başvuru Şartları ve Akademik Teşvik Kriterlerinde belirtilen tanıma göre "Tanınmış Uluslararası Yayınevi" statüsündedir

1998 yılında yayın hayatına başlamış olup 24 yıldır düzenli bir şekilde sektörde üretmiş olduğumuz 1000'in üzerinde eser ile yayın hayatına devam etmekteyiz ve her kategoride 20 ve üzeri sayıdaki eserimiz bulunmakta olup Türkçe dışında diğer dillerde 50'nin üzerinde eser başlığımız bulunmaktadır. Tüm eserlerimiz ulusal ve uluslararası yayın kriterlerine (YÖK yönetmeliği, teşvik yönetmeliği ve ÜAK kriterlerini) uygun olarak yayımlanmaktadır. Ayrıca yayınlarımız hem dünya hem Türkiye kütüphane, üniversite ve tarama araçlarında kataloglanmaktadır. (Harvard University Library, Stanford University Library, Cornell University Library, Columbia University Library, Princeton University Library, Mainz University Library, University of California Berkeley Library, Michigan University Library, Worldcat, Google Scholar, Kütüphaneler ve Yayınlar Genel Müdürlüğü Kütüphanesi, Beyazıt Devlet Kütüphanesi ve daha fazlası)

Eser yayını noktasında Harvard University Press, Pearson Publishing, Routledge (Taylor & Francis Group), Wiley Publishing, Hachette Book Group, Penguin Book Brand, Amazon Publishing, Palgrave Macmillan, Springer, Hay House, Harper Collins Publishg Group, Bloomsbury ve daha fazla global marka ile üst seviye çalışma ortaklığımızı uluslararası yayın çerçevesinde sözleşme ile sabit olarak yürütmekteyiz. Fellowship gibi toplantılar vasıtası ile de yayınlarımızın telif satışını tüm dünya ülkelerine satmaya devam etmekteyiz.

Uluslararası Üniversite ve kütüphanelerde taranan eserlerimiz:

[Harvard University \[İNCELEMEK İÇİN TIKLAYINIZ\]](#)

[Stanford University \[İNCELEMEK İÇİN TIKLAYINIZ\]](#)

[Cornell University \[İNCELEMEK İÇİN TIKLAYINIZ\]](#)

[Columbia University \[İNCELEMEK İÇİN TIKLAYINIZ\]](#)

[Princeton University \[İNCELEMEK İÇİN TIKLAYINIZ\]](#)



Mainz University [İNCELEMEK İÇİN TIKLAYINIZ]

X

University of California Berkeley [İNCELEMEK İÇİN TIKLAYINIZ]

Michigan University [İNCELEMEK İÇİN TIKLAYINIZ]

Worldcat [İNCELEMEK İÇİN TIKLAYINIZ]

Google Scholar [İNCELEMEK İÇİN TIKLAYINIZ]

Müşteri Hizmetleri

Hakkımızda

Kargo ve Teslimat

Gizlilik ve Güvenlik

Sipariş Koşulları

Üyelik Koşulları

İletişim

Yazarlar

Cliffort T. Morgan

M. Şerif Şimşek

Adnan Çelik

Metin Işık

Aynur Elhankızı

Yaşar Bedirhan

Kategoriler

Eğitim Bilimleri

Ekonomi

Bilgisayar Bilimi

Psikoloji

Sosyoloji

Sanat

Yayınevleri

Eğitim Yayınevi

Eğitim Yayınevi -

Ders Kitapları

Eğitim Yayınları -

Bilimsel Eserler

EĞİTİM YAYINEVİ TİC. LTD. ŞTİ.
SAHİBATA MAH. BAŞARALI CAD.
NO:6. RAMPALI 107,
MERAM/KONYA EĞİTİM
YAYINEVİ GRUBU MERKEZ OFİS
BİNASI: Fevzi Çakmak mah.
10721 sok. B Blok, No: 16/B,
Safakent, Karatay/KONYA
+90 (332) 351-92-85 +90 (533)
151-50-42

Bizi takip edin



EĞİTİM
yayınevi

© 2022 egitimyayinevi.com Tüm hakları saklıdır.

E-ticaret **dokuzyazılım**

