



www.onxcontrol.com

Değişken Frekanslı Sürücü (VFD) Teknolojisi- İşletme ve Uygulamaları

Isıtma-havalandırma-hava koşullandırma (HVAC) uygulamalarında “Değişken Frekanslı Sürücü“ (VFD) kullanımı çarpıcı bir şekilde artıyor. VFD teknolojisi hava koşullandırıcılar, pompalar, soğutucular ve kule fanlarında yaygın olarak uygulanıyor. VFD’lerin daha iyi anlaşılması, ekipman ve HVAC sistemlerinin gelişmiş seçim ve uygulamalarına öncülük edecektir. Bu makalenin amacı, VFD terimleri, VFD işletmesi ve VFD’nin sağlayacağı yararlar ile ilgili temel kavramları aktarmak, aynı zamanda, endüstriyel standartlara göre harmonik bozulmaya ilişkin bazı temel uygulama prensiplerini tartışmaktır.

Ana (Ortak) VFD Terimleri

Hız kontrol eden donanımları tanımlamak için kullanılan bir çok terim vardır. Bu terimlerin kısaltmaları birbirlerinin yerine kullanılıyor olmakla birlikte farklı anlamları vardır.

Değişken Frekanslı Sürücü (VFD)

Bu donanım, motor giriş gücünün frekansını değiştirmek için (ki böylelikle motor hızının kontrolü sağlanır) güç elektroniğinden yararlanır.

Değişken Hızlı Sürücü (VSD)

Daha genel olan bu tanım, motor ya da bir motor tarafından tahrik edilen bir ekipmanın (fan, pompa, kompresör vb) hızını kontrol eden donanımlar için kullanılır. Bu donanımlar elektronik ya da mekanik olabilir.

Ayarlanabilir Hızlı sürücü (ASD)

Bu daha da genel bir tanımdır. Mekanik ya da elektronik hız kontrol yöntemleri için kullanılabilir.

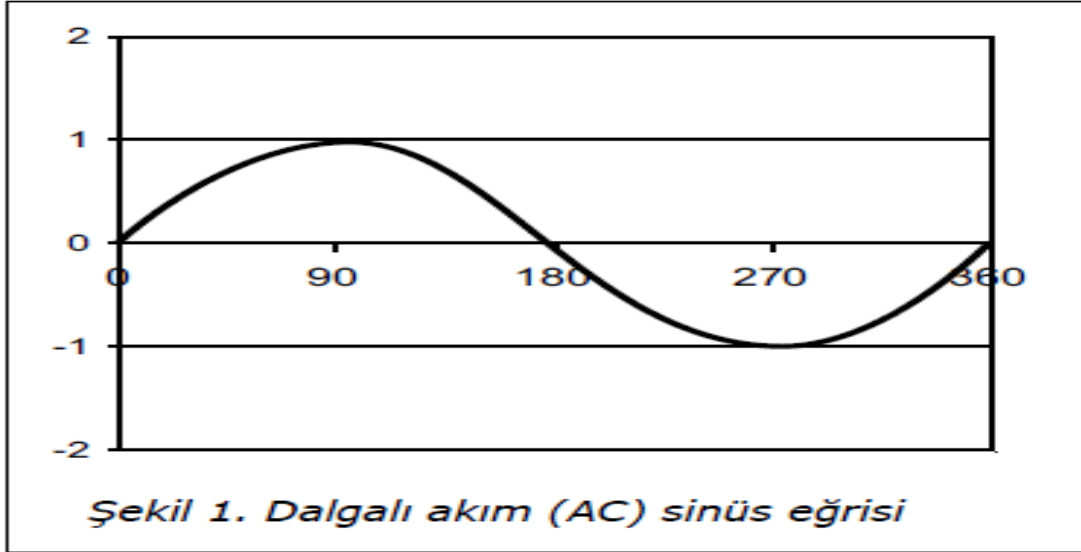
Bu makalede yalnızca Değişken Frekanslı Sürücü (VFD) ele alınacaktır.

VFD teknolojisinin temel prensibini anlamak için öncelikle VFD'nin üç temel ünitesini tanımak gerekir. Bunlar “redresör

(doğrultucu)”, “doğru akım (DC) dağıtım çubuğu (bara)” ve “inverter- evireç”dir.

Dalgalı akım (AC) güç kaynağının gerilimi sinüs eğrisi şeklinde artar ve azalır (Şekil 1).

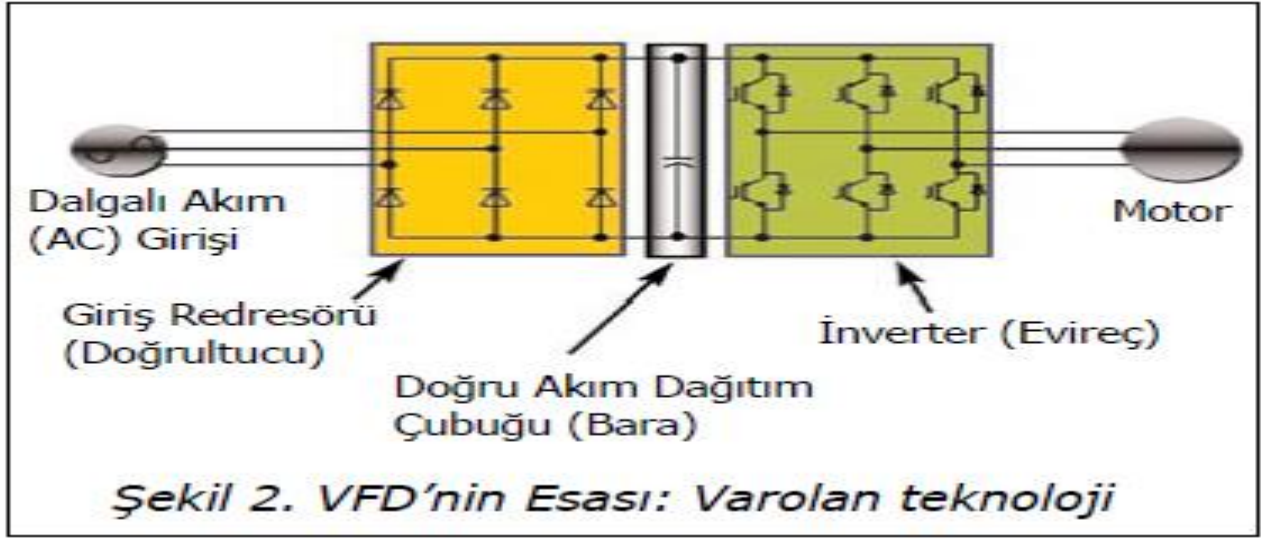
Gerilim pozitifken akım bir yönde, gerilim negatifken ters yönde akar. Bu tür güç sistemleri, büyük miktarlardaki enerjinin uzak mesafelere verimli olarak aktarılmasını sağlar.



Bir

VFD'de bulunan doğrultucu, girişteki dalgalı akım (AC) gücünü doğru akım (DC) gücüne dönüştürmek için kullanılır. Gücün her fazı için iki doğrultucuya ihtiyaç vardır. Bir doğrultucu yalnızca gerilim pozitifken, ikinci doğrultucu ise yalnızca gerilim negatifken üzerinden güç geçmesine izin verir. Büyük güç kaynaklarının çoğu üç fazlı olduğu için minimum altı doğrultucu kullanılır (Şekil 2). Altı doğrultucu olan bir sürücüyü tanımlamak için “6 darbeleri (pulse)” tanımı kullanılır.

Bir VFD her biri 6 doğrultucudan oluşan birden fazla doğrultucu bölümlerine sahip olabilir. Böylelikle VFD “12 darbeleri”, “18 darbeleri”, ya da “24 darbeleri” olabilir. Harmonik bölümünde “çoklu darbeleri” VFD'lerin yararlarına değinilecektir.



Doğrultucular, gücü doğrultmak için diyot, silikon kontrollü doğrultucu (SCR) ya da transistör kullanırlar. Diyotlar, voltajın uygun polaritede olduğu herhangi bir zamanda gücün akmasına olanak veren en basit cihazlardır. Silikon kontrollü doğrultucularda güç akmaya başladığında bir mikro işlemcinin kontrolünü mümkün kılan bir kapı devresi bulunur ve bu da bu doğrultucuların elektronik yol vericilerde de kullanılabilmesini sağlar. Bir mikroişlemcinin herhangi bir zamanda açıp kapamasını olanaklı kılan bir kapı devresi içeren transistörler bu özellikleri ile üç cihaz arasında en kullanışlı olanıdır. Doğrultucu bölümünde bir transistör kullanan bir VFD'nin "aktif ön uç" a sahip olduğu söylenir.

Doğrultuculardan geçen güç, doğru akım (DC) dağıtım çubuğunda (bara) depolanır. Bara'da doğrultmaçlardan gelen gücü tutacak, depolayacak ve daha sonra evireçe gönderecek olan kapasitörler bulunur. Bara aynı zamanda indüktör, doğru akım köprüleri ve şok bobin gibi indüktansı artırarak giriş güç kaynağını baraya süzen benzer elemanları da içerebilir. VFD'in son bölümü dalgalı redresör (evireç)'dür. Evireç gücü motora ileten transistörleri içerir. "Yalıtılmış Kapı İki Kutuplu Transistör" (IGBT) modern VFD'lerde en yaygın olarak kullanılan seçenektir. IGBT saniyede binlerce kere açılıp kapanabilir ve motora iletilen gücü çok hassas olarak kontrol eder. IGBT'de, motora istenilen frekansta akım sinüs dalgası simulasyonu için "Darbe Genlik Modülasyonu" (PWM) adı verilen bir yöntem kullanılır.

Motor hızı (d/d) frekansla bağlıdır. Motor hızını VFD çıkış frekansındaki değişim kontrol eder. Hız değişim formülü:

$$\text{Hız (d/d)} = \text{Frekans (Hertz)} \times 120/\text{Kutup sayısı}$$

Örnek:

Değişik frekanslarda 2 kutuplu motor:



$$3600 \text{ d/d} = 60 \text{ Hertz} \times 120 / 2 = 3600 \text{ d/d}$$

$$3000 \text{ d/d} = 50 \text{ Hertz} \times 120 / 2 = 3000 \text{ d/d}$$

$$2400 \text{ d/d} = 40 \text{ Hertz} \times 120 / 2 = 2400 \text{ d/d}$$

VFD'NİN SAĞLADIĞI FAYDALAR

VFD teknolojisi HVAC uygulamalarında fan, pompa, hava koşullandırıcı ve soğutucularda hız kontrolünü olanaklı kılar. Değişken frekanslı tahrik mekanizmaları aşağıda listelenen faydaları sağlar.

- Enerji tasarrufu
- Düşük motor kalkış akımı
- Kalkış sırasında motor ve kayışlardaki termal ve mekanik gerilimin azalması
- Kolay montaj
- Yüksek güç faktörü
- Düşük KVA

Bu faydaların anlaşılması, mühendis ve operatörlerin VFD'yi güvenle uygulamalarını ve büyük oranlarda işletme tasarrufları elde etmelerini sağlayacaktır.

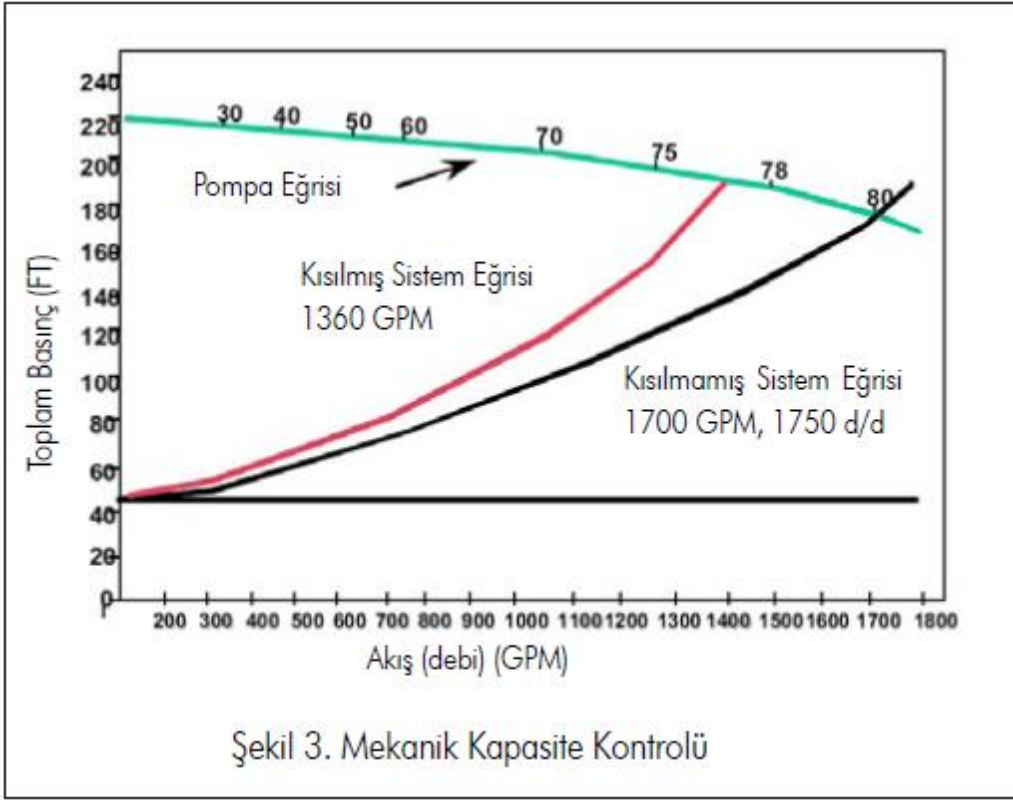
VFD Kapasite Kontrolü Enerji Tasarrufu Sağlar

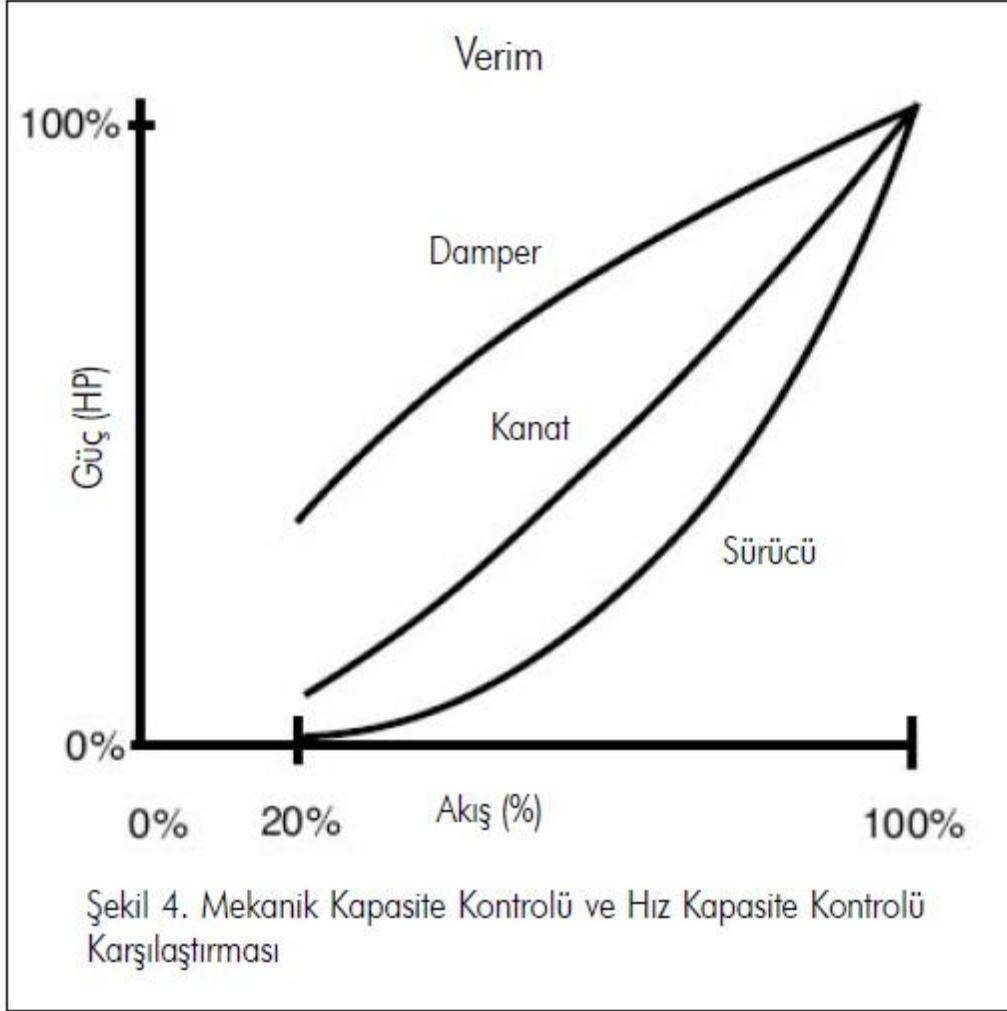
Uygulamaların büyük bir bölümünde akışkanın sabit akışına gerek duyulmaz. Cihazın kapasitesi işletme zamanının yalnızca %1'ine karşılık gelen tepe (pik) yüke göre belirlenir. İşletmenin geri kalan zamanında akışın yalnızca bir bölümüne ihtiyaç vardır. Geleneksel olarak akışı azaltmak için çıkışı kısımlı cihazlar kullanılır. Ancak, hız kontrolü ile karşılaştırıldığında bu yöntemler belirgin bir şekilde daha az verimlidir.

Mekanik Kapasite Kontrolü

Sabit hızlı bir pompa ya da fanın kapasite kontrolü için kısma vanaları, panjur ya da damperler kullanılabilir. Bu cihazlar basıncı arttırarak fan ya da pompayı eğri üzerinde daha az akışa izin verecek bir noktada çalışmaya zorlar (Şekil 3). Güç kullanımı basınç ve akışın bir ürünüdür. Çıkışın kısılması basıncı arttırırken akışı azaltır ve bir miktar enerji tasarrufu sağlar.

$$\text{Pompa gücü} \sim \text{Akış} \times \text{Basınç} / 3960^1$$





Değişken Hız Kapasite Kontrolü

Santrifuj pompa, fan ve kompresörlerde hızın akış, basınç ve güç sarfiyatını nasıl etkilediğini ideal fan (afinite) kanunları tanımlar (Tablo A).

Tablo A- Fan Hızındaki Değişimin Etkileri

Akış hızla doğru orantılı olarak değişir	$Debi_2 = Debi_1 \times (RPM_2 / RPM_1)$
Basınç hızın karesine göre değişir	$Kaldırma_2 = Kaldırma_1 \times (RPM_2 / RPM_1)^2$
Güç hızın 3.kuvvetine göre değişir	$Güç_2 = Güç_1 \times (RPM_2 / RPM_1)^3$

Hız kapasiteyi azaltmak için kullanıldığında aynı zamanda basınç ve akış da azaltılır, böylece maksimum enerji tasarrufu sağlanır. Kapasite azaltımı için mekanik ve hız kontrol yöntemleri karşılaştırıldığında (Şekil 4) değişken hızın en verimli kapasite kontrolü olduğu görülür.



Düşük Ani Deşarjlı Motor Kalkışı

Motor üreticileri zor tasarım seçenekleri ile karşı karşıya kalırlar. Düşük kalı kış akımı için optimize edilen tasarımlarda, genellikle verim, güç faktörü, kapaiste ve maliyet dikkate alınmaz. Doğrusal akım (AC) indüksiyon motorlarının kalkış sırasında 6-8 kere tam yük amperi çekmeleri oldukça normaldir. Yüklü miktarda akımın transformatörden geçmesi gerilim düşmesine neden olur ve bu da aynı elektrik sistemi üzerinde çalışan diğer cihazları olumsuz yönde etkiler. Hatta gerilim hassasiyeti olan bazı sistemlerin enerjisi kesebilir. Bu nedenle, bir çok mühendis doğrusal akım (AC) indüksiyon motorlarının kalkış akımını azaltıcı yöntemler geliştirirler.

Yumuşak Yol Vericiler

Motor kalkışı sırasındaki ani deşarjı azaltmak için yıldız-üçgen, kısmi sargı, oto-trafo ve elektronik kontrollü yol vericiler yaygın olarak kullanılır. Bu yol vericilerin hepsi gücü motora sabit frekansta iletir ve bu nedenle motora uygulanan gerilim kontrol edilerek akım belli bir sınır içinde tutulmalıdır. Yıldız-üçgen, kısmi sargı ve oto-trafo yol vericiler gerilimi düşürmek için özel elektrik bağlantıları kullanırlar. Elektronik yol vericileri ise gerilimi düşürmek için SCR'ler kullanırlar. Motorun hızlanmak için belli bir torka ulaşması gerekir ve bunun için yeterli gerilime ihtiyaç vardır. Bu nedenle gerilim düşürme ancak belli bir sınıra kadar mümkündür. Mümkün olan en fazla gerilim düşürme ile bile motor kalkış sırasında iki ya da dört kez tam yük amperi (FLA) çeker. Buna ek olarak yıldız-üçgen yol verme ile ilişkili hızlı ivmelenme kayış ve diğer güç aktarma elemanlarında aşınmaya neden olur.

Yol Verici Olarak VFD'ler

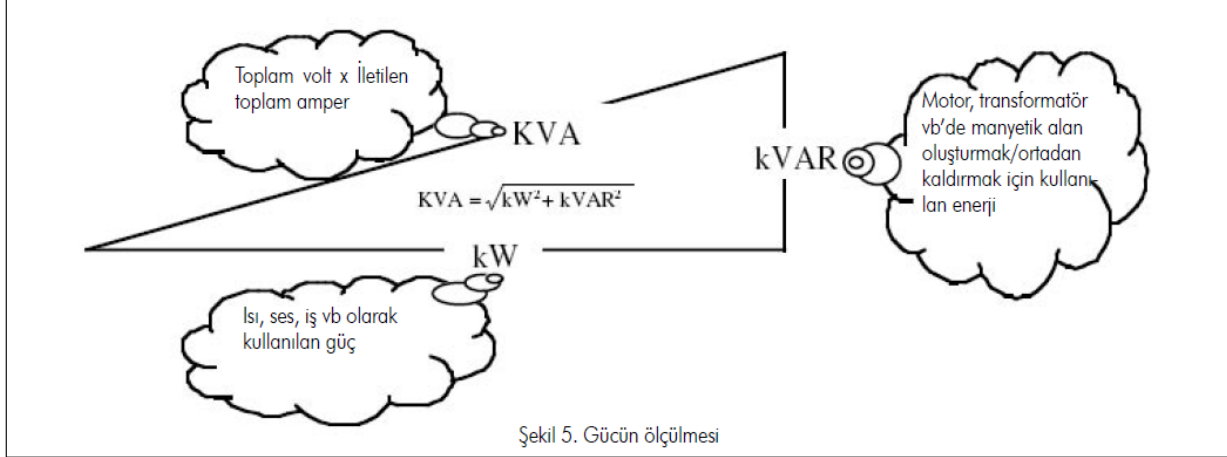
Tablo B'de de görüldüğü gibi diğer yol verici tiplerine göre en düşük ani deşarjı sağladığı için VFD en ideal yumuşak yol vericidir. Diğer bütün yol verici tiplerinin tersine, VFD frekansı motora iletilen güç ve akımı sınırlamak için kullanabilir. VFD gücü düşük frekansta göndererek motora yol verir. Bu düşük frekansta motor yüksek seviyede akıma ihtiyaç duymaz. VFD frekansı ve motor hızını istenilen hıza ulaşana kadar aşamalı olarak artırır. Yol verme sırasında motorun akım seviyesi hiçbir zaman tam yük amper değerini geçmez. Düşük kalkış akımının sağladığı yararın yanı sıra artık motor tasarımları yüksek verim için optimize edilebilir.

Kolay Montaj

Cihazların çoğu parçaları fabrikada önceden programlanmış ve sargısı yapılmış VFD'ler ile donatılmış durumdadır. Motor bağlantı kabloları, yedek aksam için kontrol gücü ve iletişim hatlarının tümü fabrika sargılıdır. Soğutucuların soğutma hattı VFD'leri de fabrika sargılıdır ve cihazın üzerine yerleştirilmiştir. Montaj elemanının yapması gereken tek şey güç hattını VFD'ye bağlamaktır.

Yüksek Güç Faktörü

Hareket, ısı, ses vb'ye dönüştürülen güç “gerçek güç” olarak adlandırılır ve “kilowatt (kW)” cinsinden ölçülür. Kondensatörleri ve manyetik alanları şarj eden güç “reaktif güç” olarak adlandırılır ve “kilovolt amper reaktif (kVAR)” cinsinden ölçülür. kW ve kVAR’ın vektörel toplamı “Toplam Güç (Enerji)”dür ve “kilovolt amper (kVA)” cinsinden ölçülür (Şekil 5). kW/KVA oranı ise “güç faktörü”dür.



Motorlar dönmeyi sağlamak için manyetik alanlarını güçlendirmek amacı ile reaktif akım çekerler. Fazla reaktif akım ek direnç kayıplarına neden olduğu, daha büyük transformatör ve sargı kullanımı gerektirdiği için tercih edilmez. Buna ek olarak, kamu kurumları da düşük güç faktörüne sahip motor kullanımını engelleyebilir. Reaktif akımı düşürmek güç faktörünü artırır.

Tablo B- Ani Deşarj Esas Alınarak Yol Verme Taleplerinin Karşılaştırılması

Yol Verme Tipi	Kalkış akımı (Tam Yük Akımının (FLA) %'si)
VFD	%100
Yıldız-Üçgen Yol Verme	%200-275
Elektronik Yumuşak Yol Verme	%200
Oto-trafo Yol Verme	%400-500
Kısmi sargı Yol Verme	%400-500
Doğrudan Yol Verme	%600-800

Tablo C- Güç faktörü ve Enerji Kullanımı

Giriş KW	Güç Faktörü	Amp	Volt	KVA
350.4	.84	502	Nominal 480	417
350.4	.99	426	Nominal 480	354

Not: KVA = Volt x Amp x 1,732

Tipik doğrusal akım (DC) motorları 0,84 ile 0,88 arasında değişen tam yük güç faktörüne sahiptir. Motor gücü azaldıkça güç faktörü de azalır. Kamu kuruluşları 0,85 ile 0,95 arasında değişen yerel güç faktörlerini zorunlu kılar ve bu kuralın uygulanması için yaptırımlarda bulunurlar. Kondensatör girişinde ölçülen reaktif akımı azaltmak ve ölçülen güç faktörünü yükseltmek için güç faktörü düzenleyicileri eklenebilir. Motora zarar vermemesi için güç faktörü düzenleyici kondensatörler seçilirken motor üreticisinin



tavsiyelerinin dışına çıkılmamalıdır. Bir çok uygulamada bu 0,90 ile 0,95 değerinde bir düzenleme sağlar.

VFD'lerin kapasitörleri doğru akım (DC) hattı üzerinde bulunur ve VFD'lerin şebeke kısmında yüksek güç faktörünü sağlamak için aynı görevi görür. Bu, motora güç düzenleyici ekipman ya da pahalı kondensatör dizisi ekleme ihtiyacını ortadan kaldırır. Buna ek olarak, VFD'ler genellikle düzeltici kapasitörle donatılmış sabit hızlı motorlara oranla daha yüksek şebeke güç faktörünü sağlarlar.

Düşük Tam Yük KVA

Toplam Güç (KVA) genellikle bir elektrikli alet ya da sistem üzerinden aktarılan enerji miktarında sınırlayıcı faktördür. Eğer bir cihaz tarafından tepe- pik ihtiyaç periyodu sırasında ihtiyaç duyulan KVA azaltılabilirse bu voltaj oynamalarının, voltaj düşmelerinin ve güç kesilmesinin azalmasına yardımcı olur. KVA'nın hesaplanmasında birim verimlilik ve güç faktörü eşit bir ağırlığa sahiptir. Bu nedenle, eşit ya da daha düşük verime, ancak daha yüksek güç faktörüne sahip olan cihazlar belirgin şekilde düşük KVA'ya sahiptirler (Tablo C).

Bu örnekte daha yüksek güç faktörüne sahip bir cihaz aynı işi yaparken %15 daha az KVA kullanır. Bu durum yeni projelerde elektrik sistemi maliyetini azaltırken mevcut sistemlerde KVA kapasitesinin ek maliyet olmaksızın artmasını sağlar.

Yedek jeneratörler yükü yaklaşık olarak karşılayabilecek büyüklükte seçilir. KVA'nın düşürülmesi daha küçük jeneratöre ihtiyaç duyulmasını sağlar. Aktif ön uçlu VFD'ler kullanıldığında güç faktörü birime (1) yakın olduğu ve VFD'ler tarafından yaratılan harmoni oldukça düşük olduğu için jeneratör büyüklüğü ideal kW/KVA oranı olan 1:1'e yaklaşır.

Düşük KVA kamu kuruluşları tarafından da istenir. Güç faktörü yükseldikçe aynı iletim cihazından daha fazla güç (kW) iletilir.

HARMONİK BOZULMA (DİSTORSİYON) VE ENDÜSTRİ STANDARTLARI

VFD'lerin yararlarına ilişkin tartışmalar çoğunlukla harmoniklerle ilgili bir soruyu gündeme getirir. VFD'ler değerlendirilirken, harmoniklerin nasıl üretildiğinin ve hangi koşullar altında zararlı olduğunun anlaşılması önemlidir.

Harmonik Tanımı

ABD'de üç fazlı AC şebeke tipik olarak 60 Hertz'le çalışır. (Bir saniyede 60 çevrim). Bu "temel frekans" olarak tanımlanır. Bir harmonik, temel frekansın tam katında bir frekansa sahip herhangi bir akım şeklidir. Örnek olarak, 60-hertz'lik güç kaynakları için harmonikler 120 hertz (2 x temel frekans), 180 hertz, 240 hertz, 300 hertz vs'dir.



Harmonik Oluşumunun Nedeni?

VFD'ler şebekeden, sadece şebeke voltajının, sürücünün içindeki DC bara voltajından yüksek olması durumunda akım çekerler. Bu durum sadece sinus dalgasının tepe noktaları yakınında ortaya çıkar. Sonuç olarak bütün akım kısa aralıklarda çekilir. Özellikle yüksek frekanslarda VFD tasarımındaki değişiklikler üretilen harmonikleri etkiler. Örneğin, DC bağlantı bobinlerine sahip bir VFD bu bobinlere sahip olmayan bir VFD'ye göre daha farklı seviyede harmonik üretir. Doğrultucu bölümünde transistor kullanılan aktif elemanlı bir VFD diyod veya tristor (Silikon Kontrollü Doğrultucu-SCR) kullanılan VFD'lere göre çok daha düşük harmonik seviyelerine sahiptirler.

Elektronik aydınlatma balastları, kesintisiz güç kaynakları, bilgisayarlar, ofis cihazları, diğer yüksek güçlü aydınlatma araçları da harmonik kaynaklarıdır. Kayalar ve Gölcükler

Açıka görüleceği gibi katkıda bulunan dalga şekillerinin genliği, bileşke dalga şekli üzerinde etkilidir. Eğer temel dalga şekli (60 Hz) çok yüksek bir genliğe (5000 amper) sahipse ve harmonik dalga şekilleri çok küçükse (10 amper) eşdeğer dalga şekli çok fazla bozulmayacak ve toplam harmonik bozulma (distorsiyon) düşük olacaktır. Eğer harmonik dalga şekli akım değeri, temel dalgaya göre bağıl olarak yüksek ise etki daha fazla olacaktır.

Doğada bu etkiyi sudaki dalgalarla görürüz. Okyanusa sürekli olarak beyzbol topu büyüklüğünde taşlar atarak yaratacağınız dalgaların sahile çarpan dalgaların şeklini değiştirmesini beklememelisiniz. Ancak aynı taşları küçük bir gölcüğe attığınızda etkilerini açıka görebilirsiniz. Bu durum elektrik dalgaları ve harmonikleri ile benzeşmektedir.

Harmonikleri hesapladığınızda, belirli bir dağıtım sistemindeki temel akım dalga şekli üzerindeki harmonik etkilerini hesaplamış olursunuz. Tahmini hesaplamalar yapabilecek bir çok program vardır. Bunların hepsi, doğrusal yüklerin (Sinüs dalgasının tamamında güç çeken yükler) doğrusal olmayan yüklere (Sinüs dalgasının sadece bir kesiminde güç çeken yükler) oranını hesaba katar. Doğrusal yüklerin doğrusal olmayan yüklere oranı ne kadar büyük olursa, doğrusal olmayan yüklerin akım dalga şekline etkisi o kadar azalacaktır.

Harmonikler Zararlı Mıdır?

2'nin katı olan harmonikler zararlı değildir, çünkü birbirlerinin etkisini yok ederler. Aynı şey 3'ün katları olan (3, 6, 9, ... , vb) harmonikler için de geçerlidir. Çünkü güç kaynağı 3 fazlıdır, 3 ve katları harmonikler her fazda birbirini yok eder. Bu durumda tartışılacak 5, 7, 11, 13, .. vb harmonikler kalır.



Tablo D- TDD ve THD(I)'nin karşılaştırılmaları

Temel Akım (d/d)	Harmonik Akım (d/d)	THD(I)	TDD
1000	50	%5	%5
800	43.8	%5.4	%4.4
600	36.3	%6.1	%3.6
400	29.7	%7.4	%3
200	20.0	%10	%2
100	13.4	%13.4	%1.3

TDD- Toplam Talep Distorsiyonu; THD(I) – Toplam Harmonik Akım Distorsiyonu

Bir VFD tarafından üretilen harmoniklerin genliği en yüksek olanları 5, 7 ve 11 gibi daha aşağı harmoniklerdir. Daha yüksek harmoniklere çıktığında (13 ve daha yukarı) süratle genlikleri düşer.

Harmonikler, elektrikli cihazlarda bazı düzensizliklere yol açar. Yüksek harmonikler duyarlı elektronik ve haberleşme cihazların çalışmasında karışıklıklara yol açarken, düşük harmonikler motorlarda, transformatör ve iletkenlerde aşırı ısınmaya neden olabilirler. Bir harmoniğin zararlı olabilmesi, içinde buldukları elektrik sistemine ve harmoniklere duyarlı cihazların aynı sisteme bağlı olup olmadığına bağlıdır.

IEEE 519'un Anlamı

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) harmonik hesaplamalarında bir öneri oluşturmuştur. IEEE-519 standardı şebeke bağlantı noktalarında ölçülen harmonik bozulma için tavsiye edilen sınırları belirler. Şebeke bağlantı noktası, kullanıcının elektrik sisteminin şebekeye bağlandığı nokta demektir.

Her ne kadar IEEE standardı hem voltaj ve hem de akım bozulması (distorsiyonu) için sınırlar önerse de özellik tanımlamalarında “% 5 harmonik sınırlama” denildiğinde genelde akım distorsiyonu kast edilir. Bir çok durumda akım distorsiyonu IEEE-519'un gerektirdiği sınırlara uygunsa voltaj bozulması da kabul edilebilir olacaktır.

IEEE-519'a uygunluk belirlemesi, sistemin çalışması sırasında gerçek bir ölçüm yapılmasını gerektirir. Uygunluk tahmini, genellikle sistemdeki bütün elektrik cihazlarının (transformatörler, kablolar, motorlar, VFD'ler vb) hesaba katıldığı bir sistem çalışmasını gerektirecektir.

Harmonik Terimlerine Giriş

Toplam Harmonik Voltaj Bozulması (Distorsiyonu)- THD(V)



Reaktans (kapasitif yük) veya dirence sahip cihazlardan harmonik akımlar aktığında bir voltaj düşümü oluşur. Bu harmonik voltajlar temel voltaj dalga şeklinde voltaj distorsiyonuna neden olur. Voltaj distorsiyonunun toplam genliği THD (V)'dir. IEEE-519 standardı 69kV ve altındaki genel sistemlerde şebeke bağlantı noktasında %5 den daha az THD(V) olmasını tavsiye eder.

Toplam Harmonik Akım Bazulması (Distorsiyonu) -THD (I)

Bu değer (bazen THID olarak gösterilir) ölçmenin yapıldığı sırada dalga şeklindeki anlık harmonik akım bozulmasını ifade eder.

Bu değer, harmonik akımın o yük noktası için ölçülen temel (harmonik olmayan) akıma oranıdır. Bu orantıdaki paydanın yükte değiştiğine dikkat edilmelidir.

Toplam Talep Bozulması (Distorsiyonu)- TDD

Toplam talep bozulması (TDD) ölçülen harmonik akımın tam yük temel akıma oranıdır. Tam yük temel akım, sistemin talep ettiği güç tepe noktasında iken sistemdeki yüklerin tamamı tarafından çekilen doğrusal olmayan akımın tümüdür. Bu orantıdaki payda yükte değişmez. TDD'nin her hangi bir çalışma noktası için ölçülmesi mümkün olmakla birlikte (tam ya da kısmi yük) TDD'nin en kötü durum değeri tam yükte oluşacaktır. Eğer tam yük TDD kabul edilebilir ise kısmi yükte ölçülen TDD de kabul edilebilir olacaktır. Taş benzetmemizi kullanırsak tam yük temel akım havuzumuzun büyüklüğü, harmonik akım ise taşın büyüklüğüdür (Tablo-D).

Kısa Devre Oranı

Kısa devre oranı, elektrik sisteminin kısa devre akım değerinin maksimum yük akımına bölünmesi ile çıkan değerdir.

Standart IEEE-519, Tablo 10.3 , sistemdeki kısa devre oranına bağlı olarak TDD'nin değişik kabul seviyelerini tanımlar. Küçük kısa devre oranlarına sahip sistemler, daha büyük kısa devre oranlarına sahip sistemlere göre daha düşük TDD gerektirirler.

Bu farklılık, düşük kısa devre oranlarına sahip elektrik sistemlerinin eşdeğer harmonik akım seviyeleri için daha büyük voltaj distorsiyonu oluşturan yüksek empedanslara sahip olmaya eğilimli olmaları gerçeğine dayanır (Tablo-E).

Harmoniklerin Bastırılması

Bazı kuruluşlar (Elektrik Dağıtım, Gaz Dağıtım vb) günümüzde şebekeye harmonik karıştırılmasına karşı bazı yaptırımlar uygularken, kullanıcıların harmonikleri azaltmasını teşvik etmektedirler. Harmonik seviyelerinin azaltılması, aynı sistemde bulunan duyarlı cihazlara gelebilecek olası zararları önleyebilir. Harmonikleri bastırmak için bir çok yöntem vardır. Yaygın kullanılan bazılarından burada bahsedilecektir.



Tablo E- Tablo 10.3'deki IEEE'nin açıklaması

I_{sc}/I_L	<11	11<7<17	17<h<23	23<h<35	35<h	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>100	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Açıklama: h= harmonik numarası; I_{sc} = PCC'deki maksimum kısa devre akımı; I_L = PCC'deki talep edilen maksimum yük akımı (Temel)

Hat Reaktörleri (Kompanzatörler)

Hat reaktörleri devreye duruma göre reaktans veya empedans eklerler. Reaktans ve empedans, sistemdeki anlık harmonik genliklerini bastırarak TDD'yi azaltmayı sağlar. Hat reaktörleri aynı zamanda cihazları kısa yükselme zamanlı büyük akım sıçramalarından da korurlar.

VFD ve motor arasına yerleştirilen bir hat reaktörü motorun akım sıçramalarından korunmasına yardımcı olacaktır. Kaynakla VFD arasına yerleştirilen bir hat reaktörü kaynağı akım sıçramalarından korumaya yardım edecektir. Tipik olarak hat reaktörleri sadece motordan 15m'den daha uzakta, ayrı çalışan bir VFD ile motor arasında kullanılır. Bu, çok hızlı yükselme zamanına sahip voltaj tepelerinden motor sargılarını korumak için yapılır.

Pasif Filtreler

Kapan filtreleri, hedeflenen frekansta toprağa düşük empedanslı bir yol sağlamak üzere bobinler, reaktörler ve kapasiteler kullanılarak tasarlanmış bir elektrik devresi içeren cihazlardır.

Akım, toprağa doğru en düşük empedanslı yolu takip edeceğinden hedeflenen frekansta harmonik akımın, sistemde yayılması engellenmiş olur. Filtreler, sürücü panolarına monte edilebilecekleri gibi ayrı bir cihaz olarak da konulabilirler. Kapan filtreleri, sistem başka bir şekilde zaten uyumlu değilse, tipik olarak IEEE-519 gerekliliklerine uygunluğu sağlayacak bir THD(I) değerini verecek şekilde belirtilir.

Aktif Filtreler

Bazı cihazlar, harmonik akımları ölçer ve hızla karşıt harmonik dalga şekilleri üretirler. İki dalga şekli birbirini yok ederek filtre çıkışında harmonik akımların gözlenmesini engeller. Bu tip filtreler genellikle mükemmel harmonik bastırma karakteristiklerine sahiptirler. Aktif filtreler jeneratör büyüklük gereksinimini de azaltırlar.

Aktif Ön Uç Teknolojisi Kullanan VFD'ler (AFE)

Bazı VFD'ler IGBT doğrultucular kullanılarak üretilmişlerdir. IGBT'lerin emsalsiz özellikleri, VFD'lerin güç girişini aktif olarak kontrol ederek harmonikleri azaltmasını, güç



faktörünü yükseltmesini ve neticede VFD'nin kaynak tarafındaki bozulmalara daha toleranslı olmasını sağlar. AFE VFD'ler herhangi bir dış filtre veya hat reaktörü gerektirmeden çok düşük harmoniklere sahip olup IEEE-519 standartlarını sağlayacak yetenekde cihazlardır. Bu, kurulum masraflarını ve jeneratör büyüklük gereksinimini anlamlı bir şekilde azaltır. Bir AFE sürücüsü, VFD'lerin kullanım avantajlarını ortaya çıkaran ve harmonikleri minimuma indiren en iyi yöntemi sağlar. Çoğul-Darbe VFD'ler (Yok Etme)

Üç fazlı bir AC VFD için en az altı doğrultucu vardır. Hatta daha fazla da olabilir. Üreticiler, 12, 18, 24 ve 30 darbe sürücüleri teklif ederler. Standart 6 darbeli sürücü, altı doğrultucuya, 12 darbeli sürücü iki tane altı doğrultucuya, 18 darbeli sürücü üç tane altı doğrultucuya sahiptir ve böyle gider. Eğer her doğrultucu setine uygulanan gücün fazı kaydırılırsa, bir doğrultucu setinin ürettiği harmoniklerin bazıları, diğer bir doğrultucu setinin ürettiği harmoniklerle zıt kutuplara sahip olacaktır. Bu iki dalga şekli, etkili bir şekilde birbirlerini yok ederek kaybolacaktır. Faz kaydırma yöntemini kullanabilmek için, çoklu sekonder sargılara sahip özel bir transformatör kullanılması gerekir. Örneğin, 12 darbeli VFD için sekonder fazların her biri 30° kaydırılmış üçgen/üçgen-yıldız transformatör kullanılmalıdır.

SONUÇ

- VFD'ler kapasite kontrolünün en yüksek enerji verimli yöntemini sağlar.
- VFD'ler başlatıcı tiplerinin arasında en düşük başlatma akımına sahip olanlarıdır.
- VFD'ler motor ve kayışlarda ısıl ve mekanik stresleri önler.
- VFD kurulumu, güç kaynağının VFD'ye bağlanmasından ibaret ve çok basittir.
- AFE teknolojisine sahip VFD'ler, en sıkı harmonik standartlarını bile karşılarken, destek jeneratör kapasitesinin küçülmesini sağlar.
- Yüksek güç faktörü sağlar ve dışarıdan bağlanacak güç faktörü düzeltme kondansatörlerine ihtiyaç duymazlar.
- VFD'ler daha düşük KVA sağlarken voltaj oynamalarının ve güç kesintilerinin azalmasına yardım eder.

REFERANSLAR

Standard 519-1992. "IEEE Recommended Practices and Requirements of Harmonic Control in Electrical Power Systems."

Rockwell Automation. "Dealing with line harmonics from PWM variable frequency drives."



John F. Hibbard, Michael Z. Lowenstein. "Meeting IEEE 519-1992 Harmonic Limits Using Harmonic Guard Passive Filters" (TRANS-COIL, INC)

Tony Hoevenaars, P. Eng, Kurt LeDoux, P.E., Matt Colosina. 2003. "Interpreting IEEE Std 519 and Meeting its Harmonic Limits in VFD Applications." (IEEE paper No. PCIC-2003-XX).

Gary Rockis, Glen Mazur, American Technical Publishers, Inc. 1997. "Electrical MotorControls."

Richard H. Smith, P.E., Pure Power. 1999. "Power Quality Vista Looks Good Thanks to IGBTs."

CARRIER'DAN KAYNAKLAR

Carrier. 1993. "Harmonics: A Brief Introduction."

Carrier. 1999. "19XRV Marketing Guide."

Carrier. 2005. "Carrier Introduces Rotary Chillers with Liquiflo2 Variable Speed Drive."

Carrier. 2005. "Carrier Variable Speed Screw WhitePaper."