

AC-AC MOTOR SÜRÜCÜLERDE GİRİŞ GÜÇ KALİTESİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

V. Volkan Aban¹

Ahmet M. Hava²

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnönü Bulvarı, Balgat, 06531 Ankara

¹ volkanaban@gmail.com ² hava@metu.edu.tr

Öz- Bu çalışmada motor sürücü uygulamalarında kullanılan üç fazlı AC-AC güç elektroniği dönüştürücü çeşitlerinin şebeke güç kalitesi ve enerji verimliliği açısından teknik karşılaştırılması yapılacaktır. Diyotlu doğrultucu girişli bir AC-DC-AC dönüştürücünün DC barasında elektrolitik-yüksek sığalı kondansatör ve film-küçük sığalı kondansatör kullanımının şebeke güç kalitesi üzerine olan etkileri tartışılacak ve incelenecektir. Diyotlu ve darbe genişlik modülasyonu (PWM) transistör doğrultuculu AC-DC-AC dönüştürücülerin 2.2kW, 37kW, 500kW ve 1MW yüklerde benzetimi yapılacaktır. Benzetimlerde sabit güçlü ve sabit impedanslı olmak üzere iki farklı yük tipi kullanılacaktır. Tasarlanan devrelerin başarımları şebeke akımı toplam harmonik bozulma yüzdeleri, sistem kararlılığı, güç katsayısı ve enerji verimliliği açısından incelenecektir.

Anahtar sözcükler- AC/AC dönüştürücü, anahtarlama, darbe genişlik modülasyonu, doğrultucu, güç kalitesi, toplam harmonik bozulma.

I. GİRİŞ

Dünyada üretilen elektrik enerjisinin önemli bir kısmı elektrik motorlarında kullanılır. Elektrik motorları ise şebekeye motor sürücüler üzerinden bağlanır ve sürücü sayesinde sabit şiddet ve frekanstaki şebeke gerilimi, motora istenen şiddet ve frekansta gerilimle uygulanır. Böylece motorun hareket denetimi ve enerji verimliliği oldukça yükselir.

Sürücüler yarı-iletken güç elektroniği devreleri ile yüksek verimde AC/AC dönüşüm yaparlar. AC/AC dönüştürücüler iki sınıfta incelenir; AC/DC/AC olmak üzere iki katlı dönüştürücüler ve AC/AC tek katlı (doğrudan) dönüştürücüler. Uygulamada tek katlı dönüştürücüler henüz yaygınlaşmamışken, iki katlıların kullanımı oldukça yaygındır. İki katlı dönüştürücülerde çıkışta her zaman PWM anahtarlama transistörlü evirici kullanılır. Bu yapılar giriş katında ise diyotlu ve tristörlü doğrultucular günümüze kadar yaygınca kullanılmıştır. Diyotlu doğrultucu giriş katlı sürücülerde geleneksel olarak DC bara yapısında yüksek sığalı elektrolitik kondansatör kullanılır. Ancak pasif yük uygulamaları için geliştirilen birtakım yeni nesil sürücülerde DC bara yapısında küçük sığalı film kondansatörler kullanılmaktadır. Böylece gelenekselden farklı bir doğrultucu davranışı ve başarımları

söz konusu olmaktadır. Aktif yük uygulamaları için diyotlu ve tristörlü doğrultucular yetersiz kaldığından, bu uygulamalar için transistörlü doğrultucular gereklidir. Bu amaca uygun PWM anahtarlama transistörlü giriş katlı doğrultucular ise 1990'lı yıllarda geliştirilmeye başlanmıştır ve günümüzde gittikçe yaygınlaşmaktadır.

Motor uygulamalarının harcadığı toplam güç miktarının şebeke gücüne oranı yüksek olduğundan, yukarıda sözü edilen dönüştürücülerin elektrik enerji verimi ve güç kalitesi özellikleri elektrik şebekesi ve enerji ekonomisi bakımından oldukça önemlidir. Ülkemizde üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık %47,5'lük kısmı sanayi uygulamalarında tüketilmektedir. Elektrik motorlarında tüketilen enerjinin toplam tüketimdeki payı ise %40 civarındadır [1]. Sanayi uygulamalarında tüketilen enerjinin ise yaklaşık %65'lik kısmını elektrik motorları oluşturmaktadır [2]. Konunun önemi elektrik güç kalitesi ve enerji verimliliği ile ilgili olarak özellikle son 10 yılda çıkarılan kanunlar, uygulanan yaptırımlar, teşvikler, yönetmelikler oldukça kapsamlıdır. Bu konuda çıkarılmış uluslar arası EN61800-3, IEC1000-3-2, IEC1000-3-4, IEEE519 gibi standartlar bunlara kuvvetli örneklerdir [3]. Bu standartlarla çeşitli güç düzeylerine ve cihaz türlerine göre şebeke akımı harmonik miktarlarına sınırlamalar getirilmiştir. 5627 No'lu Enerji Verimliliği Kanunu ile enerjinin etkin kullanımı ve verimliliğin artırılması amaçlanmıştır [4]. Bütün bu yaptırım ve teşvikler sürücülerin enerji verimi ve güç kalitesi başarımının oldukça önemli olduğunu göstermektedir.

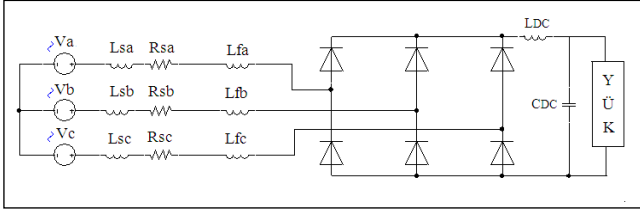
Bu çalışmada bu amaç doğrultusunda şebeke elektrik enerjisinin önemli bir kısmının üzerinden geçtiği motor sürücü yapılarının güç kalitesine olan etkileri benzetimlerle niceliksel olarak incelenecek, sayısal değerlendirmeyle karşılaştırılması yapılacaktır. Topolojilerin enerji verimliliğine ait değerlerinin üretici firmaların ürün katalogları referans gösterilerek karşılaştırılması yapılacaktır.

II. TOPOLOJİLER

i. Elektrolitik Kondansatörlü Diyotlu Doğrultucu

Bu topoloji üç fazlı 6 darbeli diyotlu bir doğrultucunun DC barasına yüksek sığalı elektrolitik kondansatör bağlanarak elde edilir. Yüksek sığalı kondansatör bulunması DC gerilimdeki kırırtıyı minimum düzeyde tutar ve yüksek güçlerde de bara kararlılığının sürdürülmesini sağlar. Hem şebeke hem de DC bara taraflarında

harmonikleri azaltmak amacıyla DC baraya indüktör süzgeç bağlanması da tavsiye edilir. Devreye alma anında kondansatör boş ve yüksek sığa etkisiyle DC baradaki impedans düşük olduğundan ilk çalıştırma anında devre yüksek ani akım çeker. Bu nedenle ön-dolum (pre-charge) devresi kullanımı gerektirir. Ekonomik, basit ve güvenilir yapıda olmasından dolayı diyotlu doğrultucu çoğu sürücü uygulamasında yaygınca kullanılır. Şekil.1'de 3 fazlı diyotlu doğrultucu genel devre şeması görülmektedir.



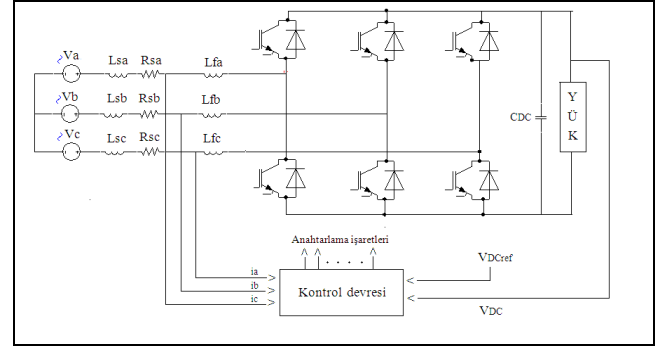
Şekil.1 Üç fazlı diyotlu doğrultucu

ii. Film Kondansatörlü Diyotlu Doğrultucu

Elektrolitik kondansatörler ısınmaya bağlı olarak yıpranır ve sürücü uygulamalarında her beş yılda bir yenilenmeleri önerilir. Fiziki boyutları büyüktür ve maliyetleri yüksektir. Film kondansatörler ise daha uzun ömürlü yapıya sahiptir [5]. DC barada düşük sığalı film kondansatör kullanılırsa DC gerilim kırıltısı artar. Fakat, bu devre yapısıyla DC baradaki gerilim kırıltılarından etkilenmeyecek yapıdaki yükler beslenebilmektedir. Bu durumda fiziki boyutları daha küçük olan ve uzun ömürlü bir devre elde edilmiş olur. Buna ek olarak, düşük sığalı film kondansatörün impedansı yüksektir ve ani akım riski yoktur. Bu nedenle ön dolum devresi gerektirmez. Devrede kullanılması gereken indüktör süzgeç boyutu da geleneksel elektrolitik kondansatörlü doğrultucuya göre oldukça küçültülmüş olur.

iii. Darbe Genişlik Modülasyonlu (PWM) Transistörlü Doğrultucu

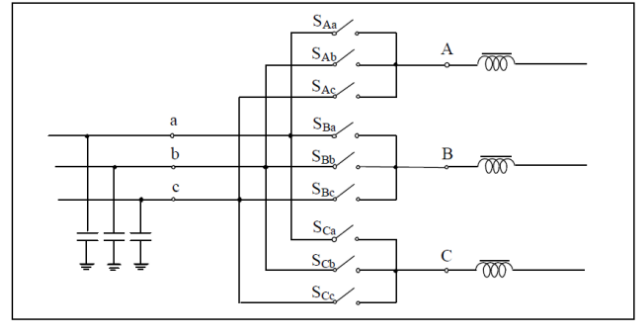
Darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucular aktif anahtarlama yöntemi ile çalışan ve kapalı çevrim kontrollü devrelerdir. Kapalı çevrim kontrolü hem kırıltısı düşük DC gerilim elde edilmesini hem de şebekeden tam sinüs dalga şekilli akım çekilmesini mümkün kılar, bu nedenle şebeke akımı toplam harmonik bozulması çok düşüktür. Diyotlu doğrultuculardan farklı olarak çift yönlü güç akışı olabilen devrelerdir, bu nedenle rejeneratif çalışabilirler [6]. Şekil.2'de darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucunun genel devre şeması görülmektedir.



Şekil.2 Darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucu

iv. Matris Dönüştürücüler

AC enerjinin, arada DC devre elemanları kullanılmadan, tekrar AC bir enerjiye çevrilmesi için geliştirilmiş olan topoloji türüdür. Kaynak, çift yönlü anahtarlar aracılığıyla doğrudan yükə bağlıdır. İstenen gerilim, uygun anahtarların anlık olarak iletme alınıp çıkarılmasıyla doğrudan sentezlenir. Bu özelliği sayesinde dolaylı çevrim yapan AC-DC-AC çeviricilerde ihtiyaç duyulan DC bara elemanları, indüktör ya da kondansatör, kullanılmaz.



Şekil.3. Matris dönüştürücü

III. TOPOLOJİLERİN GÜÇ KALİTESİ ÖZELLİKLERİ

Bir önceki bölümde özellikleri belirtilen doğrultucu topolojileri, şebeke akımı kalitesi açısından farklı başarımlara sahiptir. Bu bölümde sözü edilen doğrultucu tiplerinin şebeke güç kalitesine olan etkileri tartışılacak ve benzetimlerle desteklenecektir. Benzetimlerde, kaynak olarak üç-faz, 50-Hz, 400-V rms alçak gerilim kullanılacaktır. Kaynak impedansı olarak ODTÜ Elektrik Elektronik Müh. Bölümünü besleyen dağıtım trafosu değerleri kullanılacaktır ($L_{AC}=15\mu H$ $R_{AC}=7.4 m\Omega$) [7]. Doğrultucular 2.2kW, 37kW, 500kW ve 1MW güçlerde, sabit impedans ve sabit güçlü olmak üzere iki farklı yük tipinde çalıştırılacaktır. Sabit impedanslı yükler, çektiği akımı kaynak gerilimi ile doğru orantılı değişen yüklerdir. Fan, pompa gibi yükler bu kapsama alınabilir. Sabit güçlü yükler ise, kaynaktan çektiği akımın kaynak gerilimi ile ters orantılı olarak değiştiği, yani $V \cdot I$ çarpımını sabit tutan yük tipidir. Gerilim ve akım ters orantılı değiştiği için bu tip yükler DC barada negatif impedans etkisi yaratır [8].

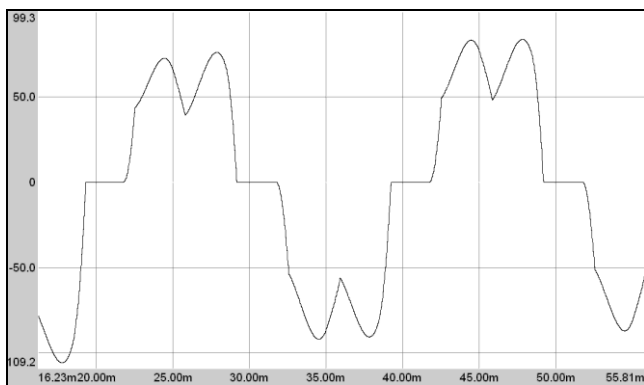
Rulo makineleri bu yüklerle örnek olarak gösterilebilir. Benzetimlerde doğrultucuların DC baralarına evirici devresi bağlanmayıp, DC baraya evirici ile aynı etkiyi gösterecek yük modelleri bağlanacaktır. Sabit impedanslı yük olarak rezistans, sabit güçlü yük olarak ise gerilim kontrollü akım kaynağı kullanılacaktır.

i. Elektrolitik Kondansatörlü Diyotlu Doğrultucu

Üç fazlı diyotlu bir doğrultucudan elde edilecek DC gerilim altı darbeli bir yapıya sahiptir. Bu nedenle AC şebekeden temel 50Hz bileşeni ile birlikte $6k \pm 1$. dereceli harmonik akımlarının da çekilmesine neden olmaktadır. Bu harmoniklere düşük dereceli harmonik adı verilmektedir. AC şebeke akımının toplam harmonik bozulma yüzdesini etkileyen unsurlardan biri çekilen akımın sürekliliğidir. DC baradan sabit büyüklükte ve sürekli bir akım çekilirse şebeke akımında da sürekli ve altı basamaklı bir dalga şekli elde edilmektedir. Bu akımın toplam harmonik bozulma yüzdesi %31.4 düzeyindedir. Süreksiz bir DC bara akımının bulunması durumunda şebeke akımının da sürekliliği bozulacağı için toplam harmonik bozulma yüzdesi yükselir. Yüksek sığalı elektrolitik kondansatör kullanımı, DC bara kararlılığını arttırırken bara akımındaki sürekliliği azaltıcı bir etkiye sahiptir. Bu durum kaliteli bir DC gerilim elde edilmesini sağlarken şebeke akımı toplam harmonik bozulma yüzdesinin yükselmesine neden olur.

Şebeke akımı harmoniklerinin süzülmesi için diyotlu doğrultucunun girişinde pasif süzgeçler kullanılabilir. Genellikle %4-10 arası büyüklükte seçilen AC şebeke reaktörü en yaygın kullanılan pasif süzgeçtir. DC barada indüktör süzgeç kullanılarak da AC şebeke süzgeci ile yakın süzme başarımı elde edilebilir. Eşdeğer DC bara süzgeci indüktansı yaklaşık olarak AC süzgecin iki katı düzeyinde olmaktadır. DC barada tek süzgeç kullanımı üç adet AC süzgeç kullanımına göre hacim olarak daha düşük yer tutar ve maliyeti düşürür. Buna ek olarak AC süzgeçte meydana gelen gerilim düşümü DC bara süzgecinde görülmeyeceği için doğrultucu çıkış geriliminde düşüşe neden olmaz.

Şekil.4'te 37kW sabit impedanslı yükte elde edilen şebeke akımı dalga şekli görülmektedir. Doğrultucuda %4 AC ve %4 DC indüktör süzgeç kullanılmıştır. ($L_{fAC}=500\mu H$, $L_{DC}=500\mu H$ $C_{DC}=7.4mF$) Elektrolitik kondansatörlü doğrultucunun DC gerilim kırıltısı % 0.06 olarak gözlemlenmiştir.



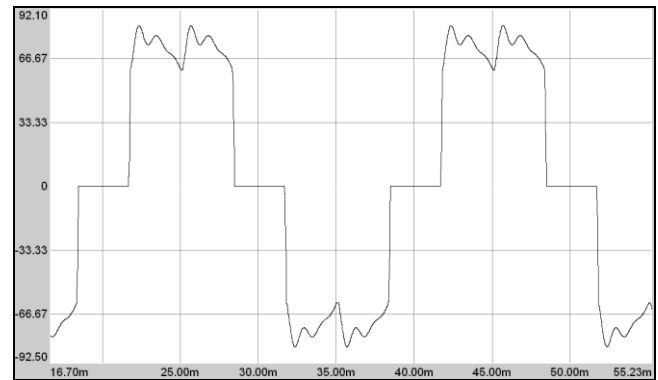
Şekil.4 Elektrolitik kondansatörlü doğrultucu şebeke akımı (50A/bölme, 5ms/bölme)

ii. Film Kondansatörlü Diyotlu Doğrultucu

Yüksek sığalı kondansatörün DC barada ve şebekede azalttığı akım sürekliliği daha düşük sığalı kondansatör kullanımı ile artar. Böylece şebeke akımı toplam harmonik bozulması da önemli derecede azalır.

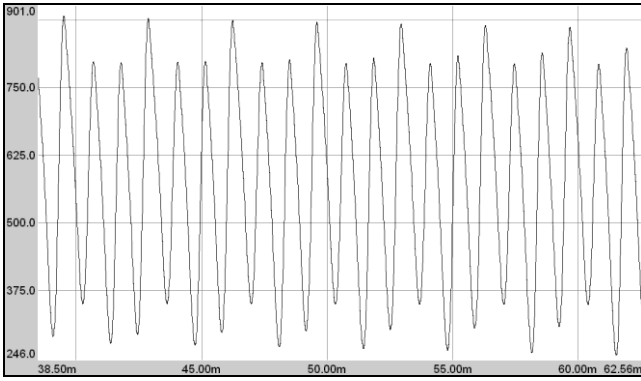
Altı darbeli diyotlu bir doğrultucunun çıkış gerilimindeki kırıltı frekansı şebeke gerilim frekansının ($\omega_s=2*\pi*fs$) 6 katıdır. Film kondansatörlü devrenin süzgeç indüktansı seçilirken altı darbeli doğrultucunun LC devresinin doğal frekansı $6*\omega_s$ ten büyük olacak şekilde bir sığa ve indüktans seçilmelidir [9].

Film kondansatörlü doğrultucunun çalışabileceği güç düzeyinin sınırlı olmasından ötürü, 37kW 'tan daha yüksek güçlü bir yük için benzetimi yapılmamıştır. Şekil.5'te 37kW sabit impedanslı yükte film kondansatörlü doğrultucunun çektiği şebeke akımı görülmektedir. ($L_{DC}=450\mu H$ $C_{DC}=72\mu F$)

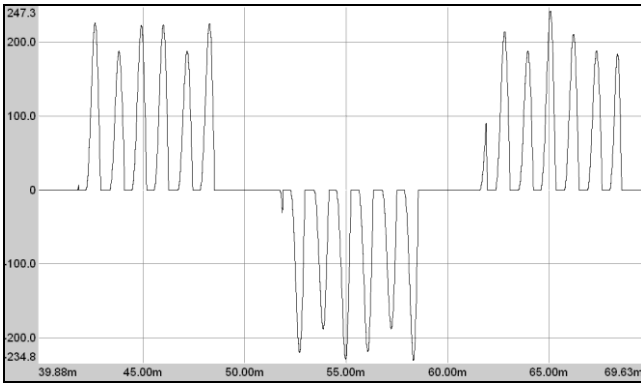


Şekil.5 Film kondansatörlü doğrultucu şebeke akımı (33A/bölme, 5ms/bölme)

Devrenin DC gerilim kırıltısı yaklaşık olarak %20 olarak saptanmıştır. Düşük sığalı film kondansatörün gerilimi tutma kapasitesi yüksek sığalı elektrolitik kondansatöre göre daha düşüktür ve DC bara geriliminin kararlılığı yük tipine bağlı olarak değişmektedir. Düşük sığalı film kondansatörlü bir doğrultucunun beslediği sabit impedanslı, pasif bir yük, doğrultucu çıkış gerilimin düştüğü noktalarda daha düşük akım çekeceği için bara kondansatörünün geriliminde aşırı bir düşüşe neden olmaz, bu nedenle DC bara kararlılığı bozulmaz. Fakat aynı güç değerinde ve aynı çalışma noktasında sabit güçlü bir yük, gerilimin düştüğü anlarda daha fazla akım çekeceği için, DC bara kondansatörünün gerilimi daha fazla düşer ve kararsızlık gözlenir. Şekil.6 ve Şekil.7'de 37kW sabit güçlü yükte 72μF film kondansatörlü doğrultucunun DC bara gerilimi ve şebeke akımı dalga şekilleri görülmektedir.



Şekil.6 37 kW sabit güçlü yükte film kondansatörlü doğrultucu DC bara gerilimi (125V/bölme, 5ms/bölme)

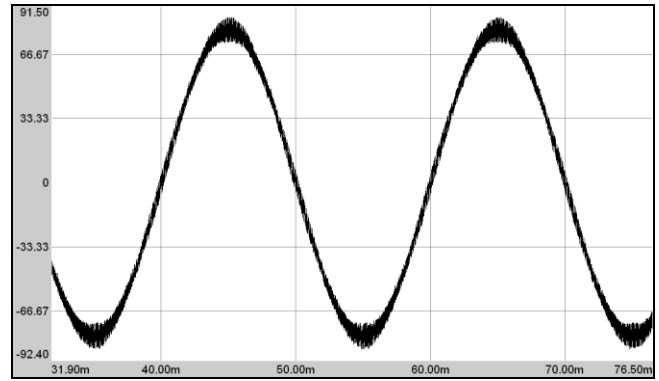


Şekil.7 37 kW sabit güçlü yükte film kondansatörlü doğrultucu şebeke akımı (100A/bölme, 5ms/bölme)

Şekil.6'da görüldüğü üzere, sabit güçlü yükte film kondansatörlü doğrultucunun DC bara gerilimindeki DC gerilim kırırtısının yükseldiği ve % 80 civarında olduğu tespit edilmiştir ve beklendiği gibi, şebeke akımında sabit impedanslı yüke oranla bozulma fazlalaşmıştır.

iii. Darbe Genişlik Modülasyonlu Transistörlü Doğrultucu

Bu topolojide aktif anahtarlama yapıldığı için, şebeke akımında anahtarlama frekansı ve tam katlarında (yüksek dereceli) harmonikler bulunmaktadır. Yüksek frekanslı harmoniklerin süzülmesi için, doğrultucunun girişine genellikle %4-10 arasında süzgeç indüktör bağlanmaktadır. Benzetimde 2.2kW ve 37kW yükleri için %4, 500kW ve 1MW yükler için %12 AC süzgeç indüktörü kullanılmıştır. (LCL süzgeç kullanılmamıştır) Şekil.8'de 37kW sabit impedanslı yük için yapılan benzetimde elde edilen şebeke akımı görülmektedir. ($L_{fAC}=500\mu H$)



Şekil.8 Darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucu şebeke akımı (33A/bölme, 10ms/bölme)

Darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucular çift yönlü güç akışına olanak sağlayan topolojiye sahiptir. Bu özellikleri sayesinde rejeneratif çalıştırılabilirler. Böylece motor sürücülerde dört kadranlı çalışmayı mümkün kılarlar.

IV. TOPOLOJİLERİN ENERJİ VERİMİ ÖZELLİKLERİ

İncelenen üç farklı topoloji farklı enerji verimliliği düzeyine sahiptir. Diyotlu doğrultucularda sadece iletim kaybı ve diyotlar üstündeki gerilim düşümüne bağlı kayıplar bulunur, bu nedenle verimleri yüksektir. Darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucular aktif anahtarlama yöntemiyle çalıştırıldığından iletim kaybına ek olarak anahtarlama kayıpları mevcuttur, bu nedenle verimleri düşüktür. Fakat çift yönlü güç akışı özellikleri ile enerji geri kazanımı sağlarlar. Çalışmada üretici firmaların benzetimlerdeki devrelerle aynı güç grubuna ait diyotlu ve darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucular için verim değerleri sunulmuştur. Diyotlu doğrultucularda %98 ve üzeri enerji verimi elde edilebilirken, darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucularda en fazla %98 verim elde edilebilmiştir [10].

Doğrultucunun arkasına evirici bağlandığı durumda toplam sistem veriminde bir miktar daha düşüş olması beklenir. Sanayide kullanılan eviricilerin ortalama %98-%98,5 civarı verimde çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle doğrultucu veriminin olabildiğince yüksek olması toplam sistem verimini yükseltir.

V. TOPOLOJİLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Tablo.1'de topolojilerin sabit impedanslı ve tam yükte, Tablo.2'de sabit güçlü ve tam yükte benzetimlerinde elde edilen şebeke akımı toplam harmonik bozulma yüzdeleri, güç katsayıları ve verim değerleri verilmiştir. Tablo.1'deki veriler incelendiğinde, film kondansatörlü doğrultucunun, kullanılan süzgeç indüktansı ve sığa değerleri daha düşük olmasına rağmen elektrolitik kondansatörlü doğrultucu ile çok yakın bir başarıma sahip olduğu görülmektedir. Tablo.2'deki sabit güçlü yük benzetimi verilerine göre ise, elektrolitik kondansatörlü doğrultucunun şebeke akımı harmonikleri, düşük sığalı film kondansatörlüye göre daha düşüktür. Darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucu tam sinüs dalga akım şekliyle en düşük toplam harmonik bozulma yüzdesi ve en yüksek güç katsayısı

değerlerine sahiptir. Diyotlu doğrultucularda darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultuculara göre daha yüksek verim değerleri gözlemlenmektedir.

Tablo.1 Sabit impedanslı tam yükte çalışan doğrultucuların benzetim sonuçları

	Elektrolitik kondansatörlü diyotlu doğrultucu				Film kondansatörlü diyotlu doğrultucu		Darbe genişlik modülasyonu transistörlü doğrultucu			
	2.2kW	37kW	500kW	1MW	2.2kW	37kW	2.2kW	37kW	500kW	1MW
Güç										
THDi %	29.74	30.55	29.4	29.4	53	30.8	2.33	4.2	4.49	4.42
Verim %	>99.3				>99.3		~98.3			
Güç katsayısı	0.93	0.93	0.93	0.93	0.88	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99
Rejeneratif çalışma	Yok				Yok		Var			
Reaktif güç üretimi	Yok				Yok		Var			

Tablo.2 Sabit güçlü tam yükte çalışan doğrultucuların benzetim sonuçları

	Elektrolitik kondansatörlü diyotlu doğrultucu				Film kondansatörlü diyotlu doğrultucu		Darbe genişlik modülasyonu transistörlü doğrultucu			
	2.2kW	37kW	500kW	1MW	2.2kW	37kW	2.2kW	37kW	500kW	1MW
Güç										
THDi %	30.04	30.4	29.6	29.6	60.25	90	2.32	4.2	4.42	4.31
Verim %	>99.3				>99.3		~98.3			
Güç katsayısı	0.93	0.93	0.93	0.93	0.85	0.63	0.99	0.99	0.99	0.99
Rejeneratif çalışma	Yok				Yok		Var			
Reaktif güç üretimi	Yok				Yok		Var			

VI. SONUÇ

Bu çalışmada elektrolitik kondansatörlü, düşük sızgı film kondansatörlü ve darbe genişlik modülasyonlu transistörlü olmak üzere üç farklı doğrultucu tipi şebeke akım kalitesi ve enerji verimliliği açısından incelenmiştir. Pasif ve düşük güçlü, (fan ve pompa gibi) yüklerde düşük sızgı film kondansatörlü diyotlu doğrultucu kullanımı şebeke akım harmoniklerini önemli ölçüde azaltmakta, süzgeç boyutunu düşürmekte ve sistemin uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Sabit güç uygulamalarında ise düşük sızgı kondansatörlü doğrultucuların kullanımı kararsız çalışmalarından dolayı önerilmemektedir. Yüksek güçlü yüklerde elektrolitik kondansatörlü diyotlu doğrultucu tercih edilebilir. Bu tip doğrultucularda şebeke akımı harmoniklerini azaltmak için şebeke ve DC taraflarında indüktans süzgeci kullanılabilir. Diyotlu doğrultucular yüksek verimde çalışmaktadır. Darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucular ise tam sinüs dalga şekilli düşük çok düşük harmonikli şebeke akımı elde edilmesini sağlamak ve rejeneratif çalışarak enerji geri kazanımı sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, "Sanayide Elektrik Motorları" http://www.eie.gov.tr/turkce/en_tasarrufu/uetm/ENVER-Motor.pdf
- [2] A. Savolainen, "Driving towards a Better Future," ABB Review 4/2004, pp.34-38.
- [3] The ABB Group - Automation and Power Technologies, *Guide to Harmonics with AC Drives*, 2002. [http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/518a84b65bb2ff40c1256d280083acbd/\\$file/technical_guide6_en.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/518a84b65bb2ff40c1256d280083acbd/$file/technical_guide6_en.pdf)
- [4] Resmi Verimliliği Kanunu, Kanun no: 5627, Kabul tarihi: 18/04/2007, Resmi gazete, sayı 26510, 2 Mayıs 2007.
- [5] J. S. Kim and S. K. Sul, "New control scheme for AC-DC-AC converter without DC link electrolytic capacitor," in *Proc. IEEE PESC*, Seattle, WA, Jun. 1993, vol. 1, pp. 300-306.
- [6] J.R. Rodriguez, J.W. Dixon, J.R. Espinoza, J. Pontt, P. Lezana, "PWM regenerative rectifiers: state of the art," *IEEE Trans Ind Electron*, vol.52, no.1, pp. 5- 22, Feb. 2005.
- [7] H. Zubi, "Lowpass Broadband Harmonic Filter Design", MS. Thesis, METU, 2005.
- [8] Wook-Jin Lee, Seung-Ki Sul, "DC-link voltage stabilization for reduced dc-link capacitor inverter," in *Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2009. IEEE*, pp. 1740-1744, 20-24 Sept. 2009.
- [9] M. Hinkkanen and J. Luomi, "Induction motor drives equipped with diode rectifier and small dc-link capacitance," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no.1 pp. 312-320, Jan. 2008.
- [10] Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corp, *TMdrive-10 Product Application Guide*, 2009. http://www.tmge.com/upload/library_docs/english/TMdrive10_Guide_2009_hires_1244728992.pdf

- [11] The Kyoto Protocol, United Nations Framework Convention on Climate Change, 11 Aralık 1997.
- [12] IEC-61000-3-2 Std., Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase), Şubat. 2009.
- [13] IEC-61000-3-12Std., Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-12: Limits - Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current > 16 A and < 75 A per phase, Kasım. 2004.