

denetimli elektronik güç çevirgeçleri

yazan:

W. McMurray

çeviren:

Erol Sezer

UDK: 621.314.58:621.382.233:621.314.26

ÖZET

Artan uygulamalar için çok çeşitli elektronik güç çevirgeç (converter) devreleri vardır. Yüksek güçlü donanımlarda en çok yarıiletken tiristor ve diyotlar kullanılmaktadır. Devreler, tiristorların doğal yada zorlamalı değişle (komütasyonla) söndürülmelerine göre sınıflandırılır. Evre denetim (phase control) yada tüm çevrim (integral cycle) anahtarlamalı gerilim çevirgeçleri, AA/DA çevirgeçlerinin birçok türü ve çevrimçevirgeçler (cycloconverters) doğal değişli çevirgeçlerdir. DA/DA kıyıcılar (chopper), DA/AA evirgeçlerin (inverter) çeşitli tipleri ve doğrudan AA/AA sıklık (frekans) değiştiriciler zorlamalı değişli çevirgeçlerdir. Birçok uygulamada iki yada daha çok çevirgeç ardarda bağlanarak kullanılır. Bu yazıda her tür çevirgeç ve uygulamaları örneklerle sunulmuştur.

SUMMARY

A large variety of electronic power converter circuits are available for use in a growing number of applications. For high-power equipment, semiconductor thyristor and diode devices are most often used. The circuits are conveniently classified according to whether the thyristors are turned off by natural or forced commutation. Naturally commutated converters include ac voltage controllers using phase control or integral cycle switching, ac/dc converters of many types, and cycloconverters. In the category of forced-commutated converters are dc/dc choppers, dc/ac frequency changers. In many applications, two or more converters are cascaded to form a linked system. Examples of each type of converter and their applications are presented.

W. McMurray, GEC, New York
Erol Sezer, Asst., ODTÜ

1. GİRİŞ

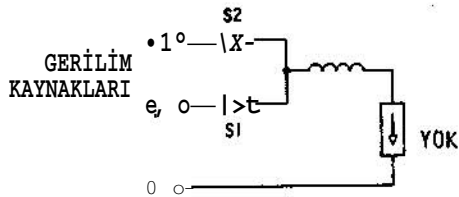
Bu yazıda ağırlık denetim aygıtı olarak tiristor kullanılan güç çevirgeç devrelerindedir. Çünkü tiristor kullanılan çevirgeçler tranzistor yada başka denetimli yarıiletken aygıtların kullanıldığı çevirgeçlerden daha güçlü, dolayısıyla yüksek güç donanımında daha yaygındır. Yazıda, kullanılmakta yada geliştirilmekte olan birçok çevirgeç türlerini içeren temel güç devreleri ele alınacak, çeşitli uygulamaları ve davranış özellikleri incelenecektir. Yazının, özel bir güç denetim dizgesinde istenen çevirme işlemini en verimli biçimde gerçekleştirecek aygıtların seçiminde yardımcı olacağını sanıyoruz.

Tiristorun ortaya çıkışından ve bu aygıtın kullanıldığı çevirgeçlerin geliştirilmesinden sonra, yazıda, tiratron vb. aygıtları kapsayan benzer çevirgeç devreleri üzerinde yapılan eski çalışmalara ek olarak, çok sayıda yeni çalışmaya rastlanmaktadır. Bu yazıda, bütün bu çalışmaları kapsayan genel bir araştırma yerine, daha az bilinen aygıt yada devrelerle ilgili birkaç yeni çalışmaya yer verilmiştir. Daha genel çevirgeç tiplerine ilişkin bilgi için son yıllarda basılan kitaplara [1 - 15] yada yarıiletken yapımcılarından sağlanacak el kitaplarına başvurulabilir.

2. ELEKTRONİK GÜÇ AYGITLARINDA DEĞİŞ

Günümüzde, yüksek güç uygulamalarında en önemli denetimli elektronik aygıt tiristor, daha özel olarak da ters tutucu (*reverse blocking*) triyot tiristor yada denetimli silisyum doğrultmaçlardır. Anot katottan daha yüksek gerilimde iken geçite küçük bir denetim gerilimi uygulanırsa, tiristor kesim durumundan iletim durumuna geçer, öte yandan, özel olarak tasarlanmış aygıtlar dışında, tiristordan geçen akım geçit denetimi ile durdurulamaz. Tiristorun çalıştığı devrenin herhangi bir yolla akımı durdurması ve ön gerilimin yeniden uygulanmasından önce kısa bir süre ters gerilim uygulaması gerekir. Bu dışsal işlem değişim olarak bilinir ve doğal yada zorlamalı değişim olarak sınıflandırılır.

Doğal ve zorlamalı değişim arasındaki fark Şekil 1'de görülen ilkel düzenleme yardımıyla açıklanabilir. Şekilde bir yük, S₁ ve S₂ tiristorları üzerinden, e₁ ve e₂ gerilim kaynakları ile beslenmektedir. Başlangıçta S₁ in iletimde olduğunu varsayalım. Eğer ansal olarak e⁺ e₁ den daha yüksek ise, S₂ iletime geçirildiğinde akım doğal olarak, S₁ den S₂ ye değişmiş olacaktır. Bu durumda, daha önce S₂ üzerinde düşen e₂ - e₁ ön gerilimi, S₁ üzerinde ters gerilim olarak görülür.



Şekil 1. İlkel bir çevirgeç.

(Öte yandan, eğer e₁ e₂ den daha yüksek olsaydı, ya S₂ tiristoru ateşlendiğinde ters gerilimlenmiş olacak, dolayısıyla iletime geçemeyecekti; yada S₂ nin çift yönlü bir aygıt olması durumunda gerilim kaynakları kısa devre yapılmış olacaktı. Bu nedenle, S₂ nin iletime geçmesinden önce S₁ in devrede gösterilmeyen bir düzenleme ile kesime sokulması gerekecekti). Şimdi de, değişim yönünden, durum tersine dönmüştür. Yukarıda sözü edilen S₁ den S₂ ye değişim sorunu, bu kez S₂ den S₁ e değişimde ortaya çıkmaktadır. Yani, S₁ den S₂ ye değişim doğalsa, S₂ den S₁ e değişim zorlamalı (yada tersi) olmalıdır. Gerilim kaynaklarının her ikisi de AA ve devre çevrimsel gerilim tersimelerinin (*cyclic voltage reversals*) sınırları içinde çalışıyorsa her iki aygıt da doğal değişimle çalışabilir. DA kaynakları ile çalışmada, yükün herhangi bir biçimde akımı sıfırlamaması durumunda, aygıtlardan en az biri zorlamalı değişimle çalışmalıdır. Bu son durum, kişinin bakış açısına bağlı olarak, doğal değişim bir başka türü, yük zorlamalı değişim, olarak değerlendirilebileceği gibi, "özsalınımlı kendiliğinden değişim" olarak da adlandırılabilir.

Yukarıda sözü edildiği gibi, zorlamalı değişim ek devre öğeleri gerektirdiğinden, uygulama amaçları sağlanmak koşuluyla, doğal değişim çevirgeçler her zaman yeğlenir. Zorlamalı değişim gerekli olduğu durumlarda, taban akımını kesmek yada ters akım uygulamakla kesime sürülebilir güç tranzistorları kullanılarak, ek devre öğelerinden kaçınılabilir. Bununla birlikte, tranzistorların güç değerlerinin sınırlı oluşu, tranzistor kullanılan çevirgeçlerin uygulama alanını daraltmaktadır.

Anahtarlama (*switching*) tranzistorlu çevirgeç devreleri, yapısal olarak, tiristorlu çevirgeçlere benzerler; şu farkla ki, tiristorlu çevirgeçlerde kullanılan birçok yardımcı devre öğesi atılmıştır. Tranzistorlu çevirgeçlerin tasarımında, genellikle, uygun taban sürücü imlerin yaratılması ve anahtarlama kayıplarının azaltılması ile uğraşılır. Tiristorlu çevirgeçlerde olduğu gibi, açma kayıplarının azaltılması için küçük değerli bir endüktans, kapama kayıplarının azaltılması için bir sığaç kullanılır.

Güç çevirgeçlerinde, tiristor ve güç tranzistoru dışında, denetimli olmayan diyot doğrultmaçlarla birlikte çeşitli denetimli yarıiletken aygıtlar da kullanılabilir. Bu aygıtlardan bazıları, işlevsel olarak, bir temel aygıt çiftinin eşdeğeri; dolayısıyla çevirgeç devrelerinde bu çiftin yerine kullanılabilir. Örneğin, çift yönlü triyot tiristor (triyak), ters koşut bağlı bir tiristor çiftine eşdeğerdir.

Triyaklı çevirgecin tasarımı, geçit sürücü devrenin uygun bir biçimde düzeltilmesi, dv/dt sınırlandırmasına ve benzeri ufak farklılıklara dikkat edilmesi koşuluyla, tiristorlu çevirgeç tasarımının aynıdır.

Benzer biçimde, ters iletimli (*reverse conducting*) bir triyot tiristor, ters koşut (*anti-parallel*) bağlı bir diyot ve tiristor bileşimi yerine kullanılabilir [16]. Ayrıca, çeşitli türde diyot tiristorlar geliştirilmiştir [17]. Bunlar, özel bir yöntemle tetiklenmeleri dışında, benzerlerinin işlevsel olarak eşdeğerleridir. Son olarak, eski

tüp biçimli elektronik anahtar lama aygıtlarının (tiratron, ignitron, cıva ark doğrultmaç) davranışları yönünden tiristorlara benzediğini ve birçok çevirgeç devrelerinde kullanıldığını söylemek gerekir.

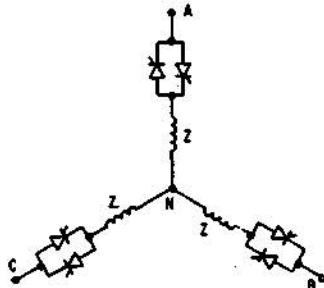
3. GÜÇ ÇEVİRGEÇ DEVRELERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Değiş biçimine ve kullanılan aygıtlara göre yapılan ayırmalardan başka, çevirgeç devreleri çevirme işlevlerine göre de sınıflandırılabilir. Giriş ve çıkışlarının AA yada DA olmalarına göre çevirgeçler AA/DA, DA/AA, AA/AA ve DA/DA olmak üzere dört küme ayrılabilirler. Bunlardan güç çevirmesini bir basamakta yapanlar doğrudan çevirgeçler (*direct converters*), iki yada daha çok çevirgeç kullanarak yapanlar da ara bağlantılı çevirgeçler (*intermediate link converters*) olarak adlandırılır. AA/AA çevirgeçlerinde gerilim çevirmesi, sıklık çevirmesi yada her ikisi birden yapılabilir. Ayrıca, güç akışının tek yönlü (kaynaktan yüke) yada çift yönlü (yükün de güç üretmesi durumu) oluşuna göre, yada güç tersimesinin oluş biçimine göre (DA bağlantısında gerilim yada akımın yönünün değiştirilmesi) çevirgeçler sınıflandırılabilir. Bunlardan en çok kullanılanlar örnek ve uygulamalarla tartışılacaktır.

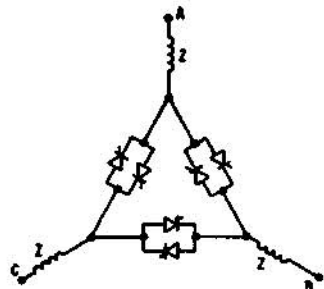
4. DOĞAL DEĞİŞLİ ÇEVİRGEÇLER

4.1. AA Evre Denetimli Çevirgeçler

Bu tür çevirgeçlerin en yalın biçimde, ters kusut bağlı bir çift tiristor (yada bir triyak) AA kaynağı ile seri bağlanır. Yük direnç, endüktif yada karşıt gerilim olabilir. Yüke uygulanan gerilim tiristorların ateşleme açısı ayarlanarak



Şekil 2.
Y-bağlı
tiristorlarla
evre denetimi.



Şekil 3.
L-bağlı
tiristorlarla
evre denetimi.

denetlenir. Doğal değiş, kaynak geriliminin bir sonraki yarım çevrimde yön değiştirerek akımı sıfırlaması ile gerçekleşir. Burada, denetimin yapılabilmesi için akımın süresiz olması, yani ters yönlü gerilim vuruşlarının akımın sıfır olduğu aralıklarla ayrılması gerekir.

Üç fazlı AA gerilim denetleçleri Şekil 2 ve 3'te görülmektedir. Şekillerde Z empedansı yükü göstermektedir. Bu denetleçlerin uygulama alanlarından bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- düşük hızlarda küçük dönme momenti gerektiren (dolayısıyla yüksek kayma (*high-slip*) kayıpları fazla olmayan) asenkron motorların hız denetimi (bu tür motorlar genellikle pompa ve vantilatörlerde yada başka sürücülerin başlatılmasında kullanılır),
- endüksiyonla ısıtma denetimi,
- tepkin gücün karşılanması için sığaçlarla birlikte kullanılan ayarlanabilir endüktif yük gerçekleştirilmesi (sığasal yükler evre denetimine uygun değildir),
- diyot doğrultucuları besleyen dönüştürgeçlerin birincil sargılarına uygulanan gerilimin denetiminde kullanılan DA güç kaynakları (özellikle DA gerilimi düşük olduğunda),
- dirençle ısıtma denetimi,
- lamba zayıflatıcılar.

Maliyeti düşürmek için bakımsız düzenlemeler (örneğin, Şekil 2'deki devrede yalnız bir yada iki fazın denetimi, yada her fazda t iris torlardan biri yerine diyot kullanılması; Şekil 3'deki devrede her çiftten bir tiristorun çıkarılması) kullanılabilirse de bunların nitelikleri iyi değildir. Bu düzenlemelerde akımın harmonik bileşenleri oldukça büyüktür. Ayrıca, toplam tiristor güçleri bakımsızlı düzenlemedekinden daha az olmaz.

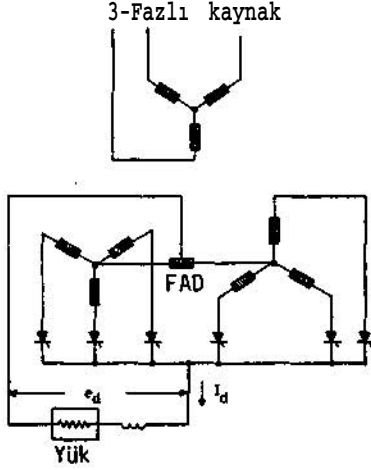
4.2. AA Anahtarlamalı Çevirgeçler

Şekil 2 ve 3'teki evre denetiminde kullanılan güç devreleri duruk anahtar yada devre kesici olarak da kullanılabilirler. Anahtarı kapamak için tiristorlar gecikmesiz ateşlenirler; açma, geçitiminin kaldırılmasından sonraki ilk akım sıfırında gerçekleşir.

Dirençli ısıtıcılar ve benzeri yükler için gücün oransal denetiminde, anahtar birkaç çevrim kapalı, sonraki birkaç çevrim için açık tutulur ve bu işlem yinelenir. Ortalama güç, anahtarın kapalı kaldığı çevrimlerin işlem dönemindeki toplam çevrim sayısına oranı ile orantılıdır. "Tümlemeli çevrim denetimi" olarak adlandırılan bu tekniğe, evre denetiminde görülen dik dalga önlerinin oluşturduğu elektromagnetik karışma görülmez. Bununla birlikte, güç hatlarında, ışık kıpırdanmalarına yol açan, düşük frekanslı harmonikler oluşur.

AA anahtarlamalı denetleçlerin başlıca uygulamaları;

- motor başlatma ve ters yönde işletme (fazları değiştirerek).
- dirençle ısıtma,
- dönüştürgeçlerde uç değiştirme,



Şekil 4. Fazlararası dönüştürgeç (FAD) ile bağlanmış ikili -Y- bağlı AA/DA çevirgeç.

- genel amaçlı anahtarlama ve devre kesme (özellikle, kesintisiz güç kaynakları gibi hızlı tepke gerektiren dizgelerde),
- tepkin gücün karşılanması için sığaç anahtarlama,
- duyarlı yükleri geçici aşırıgerilimlere karşı korumak için, güç hatlarına küçük bir empedans bağlama.

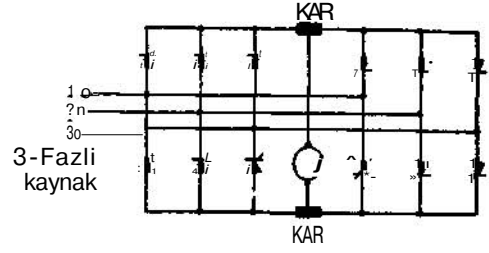
4.3. Evre Denetimli AA/DA yada DA/AA Çevirgeçleri

Denetimli elektronik güç çevirgeçlerinin yaygın bir türü doğal değişli evre denetimli doğrultuculardır. Şekil 1'deki devrede e_1 ve e_2 gerilimleri orta uçlu bir dönüştürgeçle (transformatör) sağlandığında, tek fazlı bir doğrultucu elde edilir. Şekil A'te üç fazlı bir doğrultucu ve Şekil 5'te üç fazlı bir köprü devresi görülmektedir.

Şekil 4'teki tiristor bağlantılarında da görüldüğü gibi doğru akım yön değiştiremez, öte yandan, ateşleme açısı 90° yi aştığında doğru gerilim yön değiştirir ve çevirgeç doğal değişli bir evirgeç olarak çalışır. Doğal değiş ek aygıtlar gerektirmemekle birlikte, ileride tartışılacağı gibi bu düzenek AA kaynağından tepkin güç çektiği için kullanma maliyetini artırır.

Güç kaynağı olarak genellikle şebeke kullanılmakla birlikte, evirgeçle beslenen senkron motorlarda olduğu gibi karşıt gerilimden de yararlanılabilir. Uygulamaları arasında

- genel amaçlı DA güç kaynakları,
- biriktirgeç (battery) doldurucuları,
- kimyasal işlemler için güç kaynakları,
- DA motor beslemeleri,
- üreteçler için duruk uyarıcılar,
- YGDA (HVDC) iletim çevirgeçleri,
- ardarda bağlı çevirgeç dizgeleri (ilk basamak olarak),
- AA dizgeleri için ayarlanabilir tepkin yükler, sayılabilir.



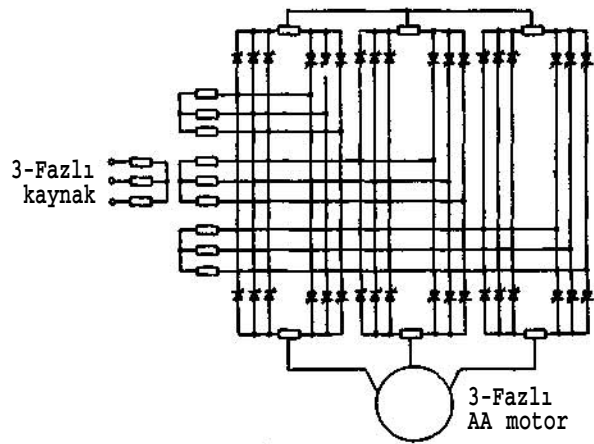
Şekil 5. Kümelerarası reaktörle (KAR) bağlı AA/DA çiftes-köprü çevirgeç.

4.4. Çiftes Çevirgeçler

Evre denetimli çevirgeçlerde, iki yönlü doğru akım elde etmek için tiristorları ters kutuplu ikinci bir çevirgeç gerekir. Böyle bir çevirgeç ikilisi "çiftes çevirgeç" olarak adlandırılır ve genellikle çift yönlü çalışan DA motorlarının armatür güç kaynağı olarak kullanılır. Tiristorlar ters koşut cifler olarak bağlanabilirse de, genellikle, Şekil 5'te görüldüğü gibi, bir reaktörle herbiri bir yönde doğru akım sağlayan iki kümeye ayrılırlar. Reaktör kullanılmadığında dizgenin çalışması, kümeler arasında akım dolaşması olmayan bir çalışma alanına kısıtlanmış olur. Bu çalışma durumunda, geçiş bölgesindeki sürekli akım vuruşları, denetim zorlukları çıkaran kazanç değişmelerine yol açar. Kümeler arasında reaktörle sınırlandırılmış bir akım dolaşarsa, akımdaki yön değiştirmeler daha yumuşak olur.

4.5. Çevrimçevirgeçler

Bir çiftes çevirgecin gerilimi uygun bir biçimde modüle edilirse, ayarlanabilir düşük frekanslı AA çıkışı elde edilir. Bu tür doğrudan AA/AA çevirgeçler çevrimçevirgeç olarak adlandırılır. Üç fazlı yükler için, Şekil 6'daki motor besleme dizgesinde olduğu gibi, üç ayrı çevirgeç gereklidir. Tiristorların evre denetim açısı modüle edilerek yaklaşık sinüs çıkışı, yada aşırı modülasyonla kare dalga çıkışı elde edilebilir (Kare dalga çıkışı ile daha yüksek güç verir ve güç çarpanını iyileştirir). Yükte görülen üçüncü harmonikler uygun bağlantılarla yok edilebilir.



Şekil 6. AA motoru sürmede kullanılan AA/DA çevrimçevirgeç.

Çevrimçevirgeçlerin çıkış frekansı kaynak frekansından daha düşük olduğundan, uygulamaları sınırlıdır. Bununla birlikte, değişmez bir frekans oranı elde edilebilirse, bu sınırlama özel teknikler kullanılarak kısmen kaldırılabilir. Değişmez frekans oranı, ayrıca, sinüse yakın bir çıkış sağlayan (özel bir dönüştürgeç bağlantısı ile) "zarf (envelope)" türü çevrimçevirgeçlerin kullanılmasına olanak sağlar.

Bir çevrimçevirgecin dört önemli çalışma durumu ve bunların başlıca uygulamaları aşağıda özetlenmiştir:

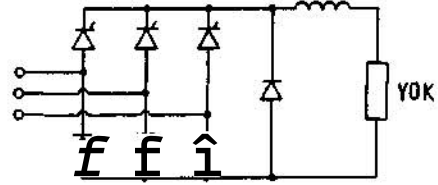
1. Güç dağıtım dizgelerini bağlamakta kullanılan, yaklaşıklık değişmez frekans ve gerilim oranlı çevrimçevirgeçler,
2. Değişmez frekanslı bir yükü değişken frekanslı bir kaynaktan besleyen çevrimçevirgeçler. Bu dizge, örneğin uçaklarda, değişken hızlı uçak motoru ile sürülen bir üreteçten 400 Hz lik değişmez frekanslı güç elde etmede kullanılır.
3. Değişmez frekanslı kaynak ile ayarlanabilir frekanslı yük arasında kullanılan çevrimçevirgeçler. Örneğin, şebekeden beslenen ayarlanabilir hızlı sürücüler.
4. Değişken frekanslı bir kaynaktan ayarlanabilir frekanslı bir yükü besleyen çevrimçevirgeçler. Bu dizge genellikle, elektrikli lokomotiflerle dizel motorlu yada türbinli taşıt araçlarında kullanılır.

4.6. Doğal Değişil Çevirgeçlerde Tepkin Gücün Azaltılması

AA/DA çevirgeçlerin ve çevrimçevirgeçlerin gereksindiği tepkin güç iki bileşenden oluşur. Bunlar, güç kaynağından çekilen akımla aynı frekansta, geri kalmış (lagging) akım bileşeni ve harmonik bozulma bileşenidir. Harmonik bozulma bileşeni, devrenin vuruş sayı artırırlarak azaltılabilir (Bu durumda, kaynağın faz sayısını artırmak için uygun dönüştürgeç bağlantıları kullanılır). Uygulamada bir başka seçenek de, yaygın 6 vuruşlu düzenek yerine 12 vuruşlu düzenek kullanmaktır. Vuruş sayısını daha da artırmanın katkısı az olmaktadır. YGDA (HVDC) gibi yüksek güçlü dizgelerde harmonik akımlar için süzücü devreler kullanılır.

Kaynak gerilimi ile akımın aynı frekanstaki bileşeni arasındaki evre farkı yaklaşık olarak ateşleme açısına eşittir. Dolayısıyla, ateşleme açısı 90° olduğu zaman tepkin güç en büyük değerdedir (Bu durumda DA çıkış gerilimi düşüktür). Tepkin gücün azaltılması için etkili ve yalın bir yöntem, Şekil 7'de görüldüğü gibi bir düzenteke diyot (freet/healing diode) kullanmaktır. Düzenteke diyot, kaynak geriliminin eksiye geçişinde yükteki akımı üzerine almakta ve o anda yükü beslemekte olan tiristoru söndürmektedir. Tiristor yeniden ateşlendiğinde, diyottaki akım artı gerilimden dolayı durmakta ve yük kaynaktan beslenmektedir. Yükteki doğru gerilim eksi olmayacağı için çevirgeç evirgeç olarak çalışamaz, yalnızca denetimli doğrultma yapar.

Güç çarpanının düzeltilmesi için uygulanan bir başka teknik de, tiristorların bakışsız olarak



Şekil 7. Düzenteke diyotlu denetimli doğrultucu.

ateşlenmeleridir. Bakışsız ateşlemede, bir değiş kumesinde ilerletilmiş bir ateşlemeyi bekletilmiş bir ateşleme izler ve bu işlem yinelenir. Böylece, Uç vuruşlu (yada başka herhangi bir tek sayıda vuruşlu) bir kümede, aynı tiristorun birbirini izleyen iletim dönemleri farklı evre açılarında başlar. Bu tekniğin ayrıntıları biraz karışık olduğundan tepkin gücün bu yöntemle nasıl azaltıldığı açıklanmayacaktır.

tki yada daha çok değiş kumesinin dizi bağlandığı çevirgeçlerde (örneğin, üç faz köprü devresi), iki kümenin bakışsız denetlenmesi de güç çarpanını düzeltir. Her kümede bakışsız ateşleme sırası korunmakla birlikte, kümelerden birinin tiristor lan tümüyle ilerletilmiş olarak ateşlenmekte (evirgeçlerde tersi), öteki küme ise evre denetimli tutulmaktadır. Bu teknik sıralı denetim olarak adlandırılır [18]. Tepkin gücün azaltılması, çıkıştaki harmoniklerin artırılması ve başka kayıplar pahasına gerçekleştirilmektedir ki, bu sorunlar özellikle üç faz köprü devrelerinde önem kazanır, öte yandan, iki tane köprü devresi gerektiğinde, 12 vuruşlu bakışsız çevirgeç bir seçenek olarak sıralı denetim tekniği kullanılabilir. Sıralı denetimde bir kümenin tiristorları diyotlarla değiştirilirse (Şekil 7), bu küme tamamen ilerletilmiş durumda çalışır. Bu durumda çevirgeç, evirgeç olarak çalışamaz. Güç çarpanları geliştirilmiş ve fiyatları düşük olduğu için bu tür yarı çevirgeçler doğrultucularda çok sık kullanılırlar.

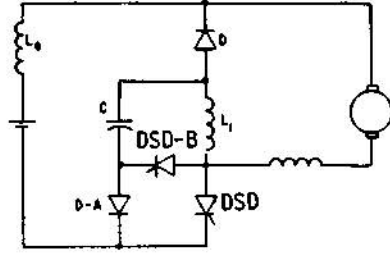
5. ZORLAMALI DEĞİŞİLİ ÇEVİRGEÇLER

5.1. Doğrudan DA/DA Kıyıcı Çevirgeçler

Şekil 1'deki devrede, e₁ kaynağı DA, e₂ kaynağı sıfır olarak seçilirse bir DA kıyıcı çevirgeç elde edilir. Bu durumda S₂ tiristoru bir diyotla değiştirilmeli ve zorlamalı değiş gerçekleştirilmek için S₁ tiristoruna bazı aygıtlar eklenmelidir. Yüke uygulanan ortalama gerilim, e₁ geriliminin, S₁ tiristorunun iletimde olduğu zamanın toplam döneme oranı ile orantılı bir bölümüdür. Gerilim düşürücü olan bu kıyıcı, kolayca gerilim yükseltici bir kıyıcıya dönüştürülebilir.

Yükten iki yönlü akım geçirilmek istendiğinde S₁ ve S₂ ile birlikte ters kutuplu aygıtlar kullanılmalı ve her iki anahtar zorlamalı değiş gerçekleştirilmelidir. Bu durumda devre yarım-köprü evirgece benzer. Benzer biçimde, vuruş genişlik modülasyonlu (Ptm) tam köprü bir evirgeçte, modülasyon frekansı sifıra yakın seçilirse, yükteki akım ve gerilim iki yönde denetlenebilir.

DA/DA kıyıcıların başlıca kullanıma alanları:



Şekil 8.

DA motoru için
DA/DA kıyıcı.

- DA motor beslemesi (Şekil 8),
- düzenlenmiş DA güç kaynakları,
- güç yükselteçleri,
- duruk DA anahtarları.

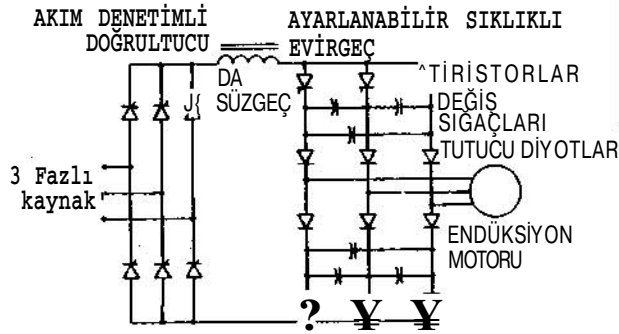
5.2. Doğrudan DA/AA Çevirgeçler (Evirgeçler)

Zorlamalı değişim gerçekleştirilmesi için değişik yöntemlerin uygulandığı çok çeşitli DA/AA çevirgeçler vardır. Bu devreler çeşitli yönlerden sınıflandırılabilir. En belirgin ayırım, evirgeçlerin, akım beslemeli, gerilim beslemeli ve özsalımlı (rezonant) yüklü olarak sınıflandırılmasında görülür. Akım beslemeli evirgeçlerde akım yönü değişmez, güç akışının yön değiştirmesi için gerilimin yönü değiştirilir. Gerilim beslemeli çevirgeçlerde ise durum tersinedir.

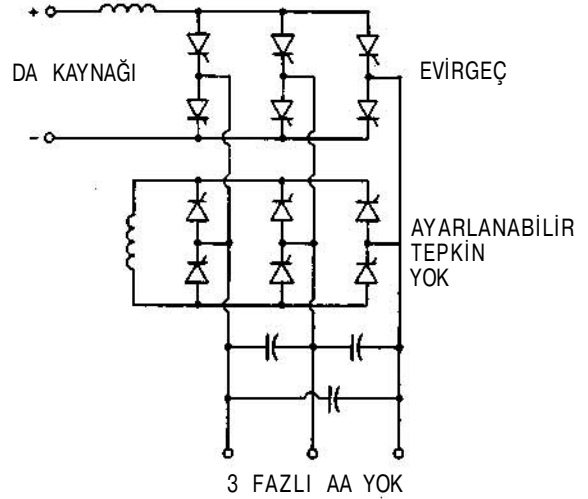
5.2.1. Akım beslemeli evirgeçler

Akım beslemeli evirgeçler, doğal değişli evre denetimli evirgeçlerin, AA tarafında her güç çarpanında çalışmayı olanaklı kılan geliştirilmiş bir biçimi olarak düşünülebilir. AA tarafında akım bir yarı-kare dalgadır. Akım beslemeli evirgeçler denetlenebilir bir DA kaynağı gerektirdiğinden, yalnızca ardarda bağlanmış çevirgeç dizgelerinin bir parçası olarak kullanılırlar. Birincil kaynak AA ise, evirgeç, akım-düzenlemeli evre denetimli bir çevirgeçle beslenir; biriktirgeç ile besleme de, bir DA kıyıcı kullanılabilir.

Akım beslemeli evirgeçlerin en önemli uygulaması, Şekil 9'da bir örneği verilen, ayarlanabilir sıklıklı AA motor besleme dizgeleridir. Senkron motorlarda, başlatmada değiş sığaçlarını bağlamak için yardımcı tiristorlar içeren bir evirgeç kullanılabilir; normal çalışmada, motor doğal değişe olanak sağlar ve yardımcı tiristorlar devreden çıkarılır. Akım beslemeli zorlamalı değişli evirgeçlerin, YGDA (HVDC) dizgelerinde tepkin güç tüketimini azaltmak üzere kullanılması düşünülmekte ise de, henüz uygulamaya geçilmemiştir.



Şekil 9. Endüksiyon motoru sürmede kullanılan akım beslemeli evirgeç.



Şekil 10. Ayarlanabilir tepkin yüküyle birlikte akım beslemeli evirgeç.

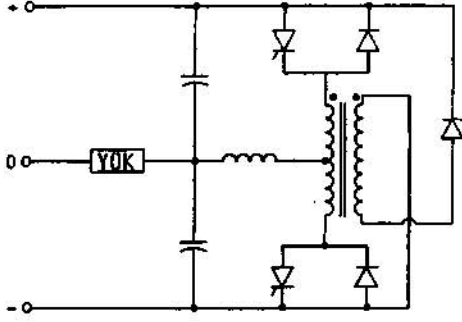
timini azaltmak üzere kullanılması düşünülmekte ise de, henüz uygulamaya geçilmemiştir.

Değişmez bir DA gerilim kaynağından beslenen bir evirgeç, denetimli tepkin bir yük kullanılarak, bir giriş şoku (choke) ve tekyön anahtarları yardımı ile akım-besli evirgeç olarak çalıştırılabilir. Bunun için, değişmez yada anahtarlanan sığaçlardan oluşan bir tank devresi ve denetimli bir endüktans gereklidir [19]. Endüktans, Şekil 2'de görüldüğü gibi AA evre denetimli olabileceği gibi, Şekil 10'daki gibi bir AA çevirgeçini kısa devre yapan bir DA şoku da bu amaçla kullanılabilir. Bu düzenlemenin bir seçeneği de, tank devresinin uygun bir biçimde denetlenmesi ile oluşturulan ve böylece evirgecin doğal değişini sağlayan yapay bir karşı gerilimden yararlanmaktır. Bu örnekten de görüldüğü gibi doğal ve zorlamalı değişim sınırları kesinlikle ayrılmış değildir.

5.2.2. Gerilim beslemeli evirgeçler

"Gerilim beslemeli" deyi mi, değişmez yada ayarlanabilir bir doğru gerilim kaynağından beslenen (arada önemli büyüklükte bir şok bulunmaksızın), zorlamalı değişli evirgeçlerin geniş bir sınıfını niteler. Tepkin AA yükleri yada AA'da yeniden üretimi (regeneration) için gerekli olan ters yönde güç akışını sağlamak üzere, evirgeç tiristorları ile koşut bağlı geribesleme doğrultmaçları (genellikle diyot) kullanılır. Diyotlar ya doğrudan, yada küçük bir endüktansla birlikte bağlanırlar. Devreler ayrıca, kullanılan özel değiş yöntemine göre altkümelere ayrılabilir.

Değiş işlemi, değiş sığaçlarında enerji depolanmasını gerektirir. Bu sığaçlar, iletimdeki tiristordan geçen akımı durdurmak, ve aygıtı toparlanma (recovery) süresince ters öngerilim uygulamak için belirli zamanlarda anahtarlanırlar. Tek evreli bir evirgeçte, iki yük tiris toru, herbiri ötekini kesime sürecek bir anahtar gibi çalışacak biçimde düzenlenebilir. Bu tür değiş, tümler değiş olarak bilinir. Bu tür devrelere bir örnek Şekil 11'de görülmektedir, öte yandan, her değişten sonra tepkin yardımcı öğelerde önemli miktar-



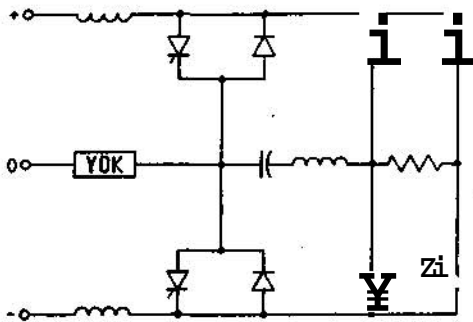
Şekil 11. Tümler değişikli evirgeç.

da enerji depolanabilir ki, bu enerjinin harcanması verimliliği azaltır. Tümler değişik, tek fazlı öğelerden oluşturulan çok fazlı evirgeçlerde de kullanılabilir. Bir başka seçenek de, evre denetimli doğrultucuda olduğu gibi, çok fazlı evirgeçlerin, değişik sırayla gerçekleştiği Uç vuruşlu kümeler biçiminde düzenlenmesidir.

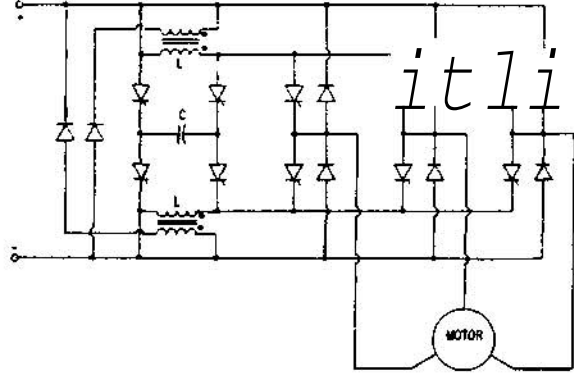
Yük tiristorlarına bağlı değişik sığaçlarını anahtarlamada tiristor kullanılacaksa, bu çok çeşitli biçimlerde yapılabilir. DA kıyıcıda olduğu gibi, her ana tiristor için ayrı değişik öğeleri kullanılabilir; yada, tümler değişikteki gibi, reaktanslar bir çift ana tiristor tarafından paylaşılabilir. Şekil 12'de görülen düzenleme bu türdendir. Sığaçlar devreye doğrudan, yada bir başlatıcı dönüştürgeç yardımıyla bağlanabilir. Uç fazlı devrelerde, DA kaynağının bir kutbuna bağlı tiristorların aynı anda kesildiği, öteki kutba bağlı tiristorların ise aynı anda yada değişen sırayla kesildiği, DA tarafı değişik uygulanabilir. Böyle bir evirgeç Şekil 13'de görülmektedir.

Değiş aralıkları gözönüne alınmazsa, bu evirgeçlerin AA uçları DA kaynağının ya artı yada eksi kutbuna bağlıdır. Uçların, kaynağın artı ve eksi kutuplarına bağlı kaldığı süreler eşitse, AA ucundaki gerilim bir kare dalgadır. Bu gerilimde harmonikler oldukça fazladır ve ana bileşen doğru gerilimle orantılıdır. Çıkış dalgabıçımı AA süzgeçler yada aşağıdaki temel yöntemlerden biri yada her ikisi birden kullanılarak düzeltilebilir:

1. Bir evre farkıyla çalışan iki evirgeç doğrudan (bir köprü düzeneği ile) yada evrelerarası dönüştürgeç yardımıyla bağlanarak çıkışta merdiven dalga elde edilir.



Şekil 12. Yardımcı vuruş değişikli evirgeç.



Şekil 13. DA tarafında değişikli 3 fazlı köprü evirgeç.

2. Çoklu vuruş genişlik modülasyonlu (*multiple pulsewidth modulation*) yada "altharmonik" denetimi uygulanır. Bu yöntemde, AA ucun DA kutuplarına bağlı kaldığı zaman aralıkları modüle edilerek, kare dalganın anahtarlamaya hızı istenen çıkış sıklığının üstüne çıkarılır. Böylece çıkışta, yalnızca yüksek sıklıklı taşıyıcıyı süzecek küçük bir süzgeç kullanılarak, sinüs biçimli bir dalga elde edilir. Bu tür bir evirgeçe modüle edilmiş tersiner DA/DA çevirgeç olarak da bakılabilir.

Gerilim beslemeli evirgeçlerin AA çıkışının ayarlanmasında yada düzenlenmesinde aşağıdaki yöntemler kullanılır:

1. DA giriş gerilimini evre denetimli bir doğrultucu (şebekeden besleme durumunda) yada bir DA kıyıcı (biriktirgeç ile besleme durumunda) kullanarak ayarlamak. Bu durumda, genellikle, değişik sığaçlarını doldurmak için ayrı bir gerilim kaynağına gerek vardır.
2. Çıkış gerilimini evre denetimi ile ayarlamak yada değişmez gerilimli dönüştürgeçle düzenlemek.
3. Ayarlanabilir bir evre farkı ile çalışan iki yada daha çok kare dalga evirgeç kullanmak. Bu durumda çıkışlar, harmonikler yok edilecek biçimde bağlanmalıdır.
4. Vuruş genişlik modülasyonlu bir evirgecin modülasyon katsayısını ayarlamak. Vuruş genişlik modülasyonu, DA tarafında değişikli (*de side commutated*) çokevrelili evirgeçlerde, çıkışı denetlemekle birlikte sinüs biçimi sağlamaz. Böyle bir devrenin çıkışı, süzülmemiş bir DA kıyıcı ile beslenen, yüksek sıklıkta çalışan bir kare dalga evirgecin çıkışına benzer.

Gerilim beslemeli evirgeçlerin uygulamaları başlıca iki sınıfa ayrılır.

1. Ayarlanabilir sıklık ve gerilimli AA motor sürücüleri,
2. Değişmez sıklık ve gerilimli kesintisiz güç kaynakları.

Bu iki uygulama için tümüyle farklı tasarım yöntemleri kullanılırsa da, sonuçta benzer devreler elde edilir.

5.2.3. Özsallınlı kendiliğinden değişli evirgeçler

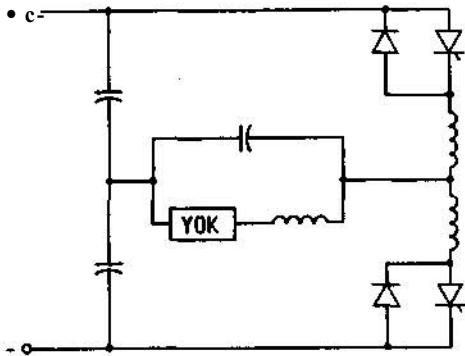
Akım ve gerilim beslemeli evirgeçlerin kare dalga biçimli akım yada gerilim üretmelerine karşın, özsallınlı evirgeçleri yaklaşık sinüs biçimli dalga üretirler. Dalgalar, hem süzgeç hem de değiş devresi olarak çalışan tepkin öğelerce (sığaç, bobin) oluşturulur. Tepkin devrenin doğal özealınım sıklığı, AA çıkış sıklığına çok yakındır. Bu sıklıktaki salınımlar uygun tiristor ateşleme denetimi ile güçlendirilirler. Genellikle yardımcı tiristor kullanılmaz, her tiristor kendi ürettiği akım vuruşunun geri salınımı ile kendiliğinden söner.

Sığaç ve bobinin tepkin gücü, yük gücüne eşit yada daha büyük olduğundan, bu tür evirgeçler yüksek sıklıklarda çalışmaya elverişlidir. Düşük sıklıklarda çalışma için tepkin öğeler yeterince büyük seçilmelidir. Tepkin öğelerin yada geribesleme diyotları gibi öteki yardımcı öğelerin yerleşimi çevirgeçten beklenen davranış özelliklerine bağlıdır. Sığaç, yükü dizi yada koştut bağlanabilir yada Şekil 14'te görüldüğü gibi yükü dizi bağlı ve koştut bağlı sığaçlar birlikte kullanılabilir. Bu tür evirgeçlerin belli başlı kullanım alanları arasında

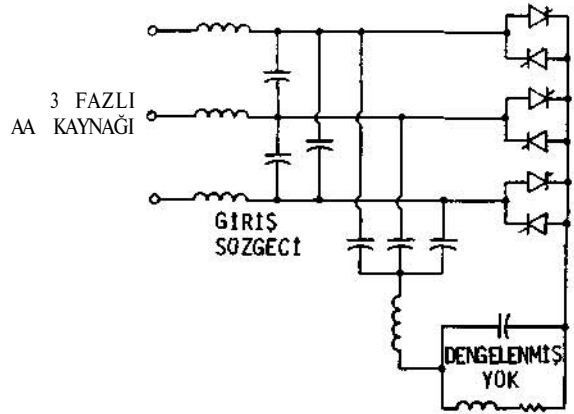
- endüksiyonla ısıtma
 - ultrasonik üreteçler yada sonar göndermeçleri
 - florışınla aydınlatma
- sayılabilir.

5.3. Doğrudan AA/AA Sıklık Yükseltici Çevirgeç

Endüksiyonla ısıtmada olduğu gibi şebeke sıklığının daha yüksek bir sıklığa çevrilmesinde kullanılan çevirgeçler, tiristorlarda zorlamalı değiş gerektirirler, örnek bir düzenleme Şekil 15'te görülmektedir [2]j. Değiş için gerekli tepkin gücü sağlamak üzere yükü koştut bağlı bir sığaç kullanılır; böylece yükün sığasal olması sağlanır. Çıkış sıklığı, genellikle, tiristorların ateşlenmesi denetlenerek ayarlanır. Bu tür sıklık çevirgeçlerine "çevirimevirgeç (cycloinverter)" denir. Böyle bir çevirgeç, yüksek sıklıklı bir yapay karşıt gerilimin üretildiği bir çevirimevirgeç olarak da düşünülebilir. Çıkış sıklığının, giriş sıklığının tam katı olması gerekmez; eğer böyle ise, devre sıklık çarpıcısı olarak adlandırılır.



Şekil 14. Özsallınlı kendiliğinden değişli evirgeç.



Şekil 15. AA/AA sıklık yükseltici.

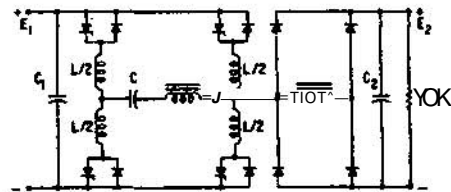
6. BAĞLANTILI YADA ARDARDA BAĞLI ÇEVİRGEÇ DİZGELERİ

Birçok uygulamada, elektronik güç çevirgeçleri değişik bir güç türünde bir ara bağlantı ile ardarda bağlanırlar. Birincil güç kaynağından kullanılma biçimine doğrudan çevirme genellikle daha verimli olmakla birlikte, uygulamada bağlantılı bir dizge kullanılması gerekebilir. Aşağıda önemli yada ilginç bağlantılı dizgelerden söz edilmektedir.

6.1. DA Bağlantılı Dizgeler (AA/DA/AA çevirgeçler)

Bilinen YGA iletim dizgesi bu sınıftandır. Gönderme ucundaki evre denetimli doğrultucu, DA iletim hattı ile, alma ucundaki evre denetimli evirgeci besler. Akım, doğrultucu tarafından düzenlenir; gerilim değeri ise evirgeç açısı denetlenerek saptanır. Gönderme ve alma uçlarının çalışması, iki AA dizge arasında istenen güç iletimi sağlanacak biçimde koordine edilir.

DA bağlantılı dizgelerin bir başka uygulama alanı da şebeke beslemeli ayarlanabilir hızlı AA motor sürücüleridir. Şekil 9'daki devre bu tür sürücülere iyi bir örnektir. Bu devrede, evre denetimli bir doğrultucu, akım düzenleyici bir DA bağlantısı üzerinden, zorlamalı değişli bir evirgeci beslemektedir. Böyle bir düzenleme tek bir motor sürmeye uygundur ve yeniden üretim (regeneration) için ek donanma gerek göstermez. Çoklu motor sürücülerini olarak, daha çok, değişmez gerilimli bir DA kaynağından (diyot doğrultucu) yada düzenlenmiş gerilimli bir DA kaynağından (evre denetimli doğrultucu) beslenen evirgeçler kullanılır. Yükün üreteç olarak da çalışabildiği du-



Şekil 16. AA ara bağlantılı DA/DA çevirgeç.

rumlarda ise gücün şebekeye ulaştırılabilmesi için benzer bir çevirgeç kullanılmalıdır.

Kesintisiz güç kaynakları, şebeke gücü kesildiği zaman DA/AA evirgeçleri olarak çalışırlarsa da, normal çalışmada güç bataryayı dolduran doğrultucu üzerinden akar; dolayısıyla dizge DA bağlantılı bir çevirgeç olarak iş görür.

6.2. AA Bağlantılı Dizgeler (DA/AA/DA çevirgeçler)

Bu tür dizgelerin kullanılmasında başlıca amaç çıkış gerilimini bir dönüştürgeç yardımıyla değiştirebilmek yada girişle çıkış arasında yalıtım sağlamaktır. Küçük bir dönüştürgeç kullanabilmek için yüksek sıklıklı AA bağlantısı yeğlenir. Güç akışı genellikle tek yönlü olduğu için, çıkışta şekil 16'da görüldüğü gibi bir diyot doğrultucu kullanılması yeterlidir. Çıkış gerilimi girişteki evirgeç denetlenerek düzenlenebilir.

AA bağlantılı DA/DA çevirgeçleri en çok uçak ve uzay araçlarında kullanılırlar.

6.3. Öteki Bağlantılı Dizgeler

Elektronik aygıtları besleyen güç kaynaklarında kullanılan dönüştürgeç ve süzgeçler, genellikle

aygıtın en büyük parçalarıdır. Yüksek sıklıkta çalışan küçük bir dönüştürgeçle aynı işi görebilmek için, bundan önce sözü edilen DA/AA/DA çevirgeç dizgesinin önüne bir diyot doğrultucu eklenebilir. Böyle bir AA/DA/AA/DA dizgesinde büyüklük, verimlilik ve maliyet arasında uygun bir dengelemeye gidilmesi gerekir.

Elektronik dönüştürgeç [22] ve evirgeç-çevrimçevirgeç dizgesi bağlantılı dizgelere örnek olarak gösterilebilir.

7. SONUÇ

Duruk elektronik güç çevirgeçleri ile hemen her tür elektriksel güç çevirimi gerçekleştirilebilir.

Şimdilik, doğal değişli çevirgeçler uygulamada en geniş alanı kapsamaktadır. Güç denetimi konusunda öteki seçeneklerle bir yarış içinde olan zorlamalı değişli çevirgeçler ise ancak kendi üstünlüklerinin özellikle gerekli olduğu alanlarda kullanılmaktadır. Çevirgeçler ve güç çevirimi konusunda çabaların büyük çoğunluğu, maliyetin düşürülmesi ve güvenilirliğin artırılmasına yönelmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Gentry, F.E., F.W. Gutzwiller, N. Holonyak ve E.E. VonZastrow/, Semiconductor Controlled Rectifiers, Prentice-Hall, 1964.
- [2] Bedford, B.D. ve R.G. Hoft, Principles of Inverter Circuits, John Wiley ve Sons, 1964.
- [3] Schaefer, J., Rectifier Circuits: Theory and Design, John Wiley ve Sons, 1965.
- [4] Lecorguillier J., Les Vannes Electroniques, Dunod, 1966.
- [5] «eyer, M., Thyristören in der technischen Anwendung, Band 1: Stromrichter mit erzvungener Kommutierung, Siemens Co., 1967.
- [6] Moltgen, G., Thyristoren in der Technischen Anwendung, Band 2: Netzgeführte Stromrichter, Siemens Co., 1967.
- [7] Takeuchi, T.J., Theory of SCR (Thyristor) Circuit and Application to Motor Control, Tokyo Electrical Engineering College Press, 1968.
- [8] Heumann, K. ve A.C. Stunpe, Thyristoren, AEG, 1969.
- [9] Kusko, A., Solid-State DC Motor Drives, The M.I.T. Press, 1969.
- [10] Pelly, B.R., Thyristor Phase-Controlled Converters and Cycloconverters, John Wiley ve Sons, 1971.
- [11] Davis, R.M., Power Diode and Thyristor Circuits, Cambridge University Press, 1971.
- [12] McMurray, W., The Theory and Design of Cycloconverters, The M.I.T. Press, 1972.
- [13] Ramshat/, R.S., Power Electronics, Chapman and Hail, 1973.
- [14] Mazda, F.F., Thyristor Control, John Wiley and Sons, 1973.
- [15] Murphy, J.M.D., Thyristor Control of AC Motors, Pergamon Press, 1973.
- [16] Tsuboi, T., Newly Developed Thyristor Chopper Equipment for Electric Railcars, IEEE Trans. Industry Applications, Cilt IA-9, No. 3, Mayıs/Haziran 1973, s.294-300.
- [17] Chu, C.K., R.R. Shaw, J.E. Johnson ve J.B. Brevster, 1000 Volt and 800 Amp Peak Reverse Switching Rectifier, Conf. Rec. IEEE-IAS 8th Annual Meeting (1973) s.267-282.
- [18] McMurray, W., A Study of Asymmetrical Gating for Phase-Controlled Converters, IEEE Trans. Industry Applications, Cilt IA-8, No.3, Mayıs/Haziran 1972, s.289-295.
- [19] Thorborg, K., A Three-Phase Inverter with Reactive Power Control, IEEE Trans. Industry Applications, Cilt IA-9, No. 4, Temmuz/Ağustos 1973, s.473-481.
- [20] Abraham, I, ve F. Koppelman, Die Zvanskommütierung, ein neuer Zweig der Stromrichter-technik, ETZ-A, Bd. 87, H.18, 1966, s.649-658.
- [21] Hasumi, T., H. Kas ahara, ve T. Tanaka, Design of a Thyristor Frequency Ccmverter Aided by Computer Simulation, Proc. IEEE Power Electronics Specialist Conf., 1974, bildiri No. 5.1.
- [22] McMurray, W., The Thyristor Electronic Transformer A Power Converter Using a High Frequency Link, IEEE Trans. Industry and General Applications, Cilt IGA-7, No. 4, Temmuz/Ağustos 1971, s.451-457.