

Üç Fazlı Güç Faktörü Düzeltme Devrelerinin İncelenmesi

A Review of Three Phase Power Factor Correction Circuits

Hacı BODUR¹, Erdem AKBOY², İsmail AKSOY³

^{1,2,3}Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yıldız Teknik Üniversitesi

bodur@yildiz.edu.tr, eakboy@yildiz.edu.tr, iaksoy@yildiz.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, üç fazlı Güç Faktörü Düzeltme (GFD, PFC) devre veya uygulamaları incelenmiş ve bunların bir karşılaştırması yapılmıştır. Üç fazlı PFC devreleri, temel düşürücü, yükseltici ve düşürücü-yükseltici DC-DC dönüştürücüler ile izoleli olan CUK ve SEPIC türü DC-DC dönüştürücüler kullanılarak geliştirilmektedir. Bu üç fazlı PFC devreleri, güç faktörü, çıkış gerilimi regülasyonu, çıkış gerilimi izolasyonu, anahtar sayısı, trafo kullanımı, kontrol yapısı v.b. açılardan incelenmekte ve analiz edilmektedir. Bu çalışmada, üç fazlı PFC devreleri literatüre dayalı olarak incelenmiş ve çeşitli açılardan karşılaştırılmıştır.

Abstract

In this study, three phase power factor correction (PFC) circuits or their applications have been investigated and a comparison for them has been implemented. Three phase PFC circuits have been improved by using basic buck, boost and buck-boost DC-DC converters, and isolated SEPIC and CUK DC-DC converters. In these three phase PFC circuits, the basic features of power factor, output voltage regulation, output voltage isolation, number of switches, control structure e.t.c. have been investigated and analyzed. In this study, three phase PFC circuits have been investigated based on literature and compared each other with regard to various features.

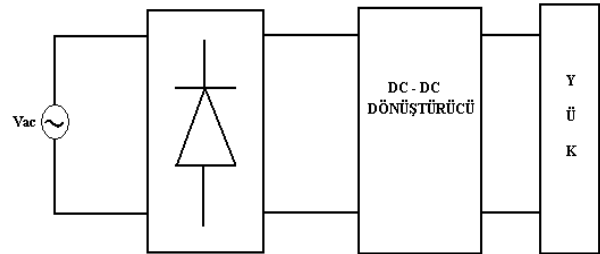
1. Giriş

Gelişen teknoloji ve toplumların yükselen refah düzeyleri nedeniyle, elektrikli cihazların kullanımı giderek artmakta ve daha fazla enerji tüketilmektedir. Aynı zamanda, dünyamızın enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Bu nedenle enerjinin daha verimli kullanılması gerekmektedir. Ayrıca, günümüzde sıkça kullanılan kesintisiz ve anahtarlama güç kaynakları, elektronik balastlar, akümülatör şarj sistemleri gibi lineer olmayan yükler, şebekeden harmonik akımlar çekmekte ve şebekeyi bozmaktadır. Bu harmonikler, aynı şebekeye bağlı olan bilgisayar, mikroişlemciler gibi hassas cihazlarda hata ve bozulmalara sebep olmaktadır. Bu nedenle enerjinin daha kaliteli kullanılması da oldukça önemlidir. Kullanılan enerjinin verim ve kalitesi açısından, güç faktörünün iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, ulusal ve uluslararası düzeylerde, güç faktörü ve harmonik akımlar için

sınırlamalar ve standartlar geliştirilmiştir. İstenen verim ve kalitenin sağlanabilmesi için, Güç Faktörünün Düzeltilmesi (GFD, PFC) olarak bilinen farklı yöntemler kullanılmaktadır. Güç faktörü, yıllardır oldukça hantal ve pahalı olan pasif filtreler veya oldukça karmaşık ve pahalı olan aktif filtreler ile düzeltilmektedir. Ancak, son zamanlarda bu konuda yapılan akademik ve endüstriyel çalışmalar, pek çok avantaja sahip olan yüksek frekanslı AC-DC dönüştürücü temelli PFC devreleri üzerinde yoğunlaşmaktadır [1-3].

Düşük güçlerden orta güçlere kadar uygulamalarda tek fazlı GFD devreleri, basit devre yapısı, eleman sayısının az olması, elemanların akım ve gerilim streslerinin düşük olması, kontrol kolaylığı v.b. nedenlerle yaygın olarak kullanılmaktadır.

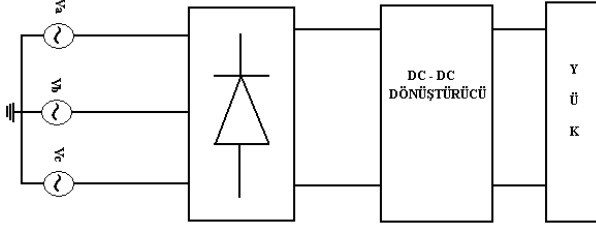
Şekil 1'de verilen tek fazlı genel GFD devresinde, DC-DC dönüştürücü bloğu, güç faktörünü düzeltme ve çıkış gerilimi regülasyonu işlemlerine bağlı olarak, tek aşamalı veya iki aşamalı olarak gerçekleştirilir. İki aşamalı uygulamalarda, güç faktörünün düzeltilmesi ve çıkış gerilimi regülasyonu ayrı ayrı kontrolörler tarafından gerçekleştirilir. Bu devrelerde, güç çıkışa iki defa işlenerek aktarılır ve verim oldukça düşüktür. Tek aşamalı uygulamalarda ise, güç faktörünün düzeltilmesi ve çıkış gerilimi regülasyonu için, genellikle bir güç elemanı veya bir kontrolör kullanılır. Bu devrelerde, gücün bir kısmı doğrudan çıkışa aktarılarak, kalan kısmı ile çıkış gerilimi regülasyonu sağlanabilir. Ayrıca, bu devrelerde daha düşük bir maliyet ve daha yüksek bir verim elde edilebilir [2, 3].



Şekil 1: Tek fazlı genel GFD devresi

Gücün yüksek olduğu uygulamalarda, tek fazlı GFD devreleri, elemanların akım ve gerilim stresleri açısından tercih edilmez. Bu durumda, genel blok şeması Şekil 2'de verilen üç fazlı GFD devreleri kullanılır. Bu devrelerde, DC-DC dönüştürücü

bloğu, tek fazlı yapılarda olduğu gibi tek aşamalı veya iki aşamalı olarak gerçekleştirilebilir. Üç fazlı uygulamalarda, iki aşamalı yapılar kullanıldığında, gücün yüksek olmasından dolayı verim oldukça düşmektedir. Bu sebeple, üç fazlı GFD devreleri genellikle tek aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir [4-9].



Şekil 2: Üç fazlı genel GFD devresi

Tek aşamalı üç fazlı GFD devrelerinde, DC-DC dönüştürücü olarak düşürücü, yükseltici, düşürücü-yükseltici, CUK ve SEPIC türü dönüştürücüler kullanılabilmektedir. Yükseltici dönüştürücüler, endüktansın giriş tarafında olmasına bağlı olarak, GFD devrelerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çıkış geriliminin düşük olduğu uygulamalarda düşürücü türü devreler tercih edilirken, çıkış geriliminin yüksek veya düşük olduğu uygulamalarda düşürücü-yükseltici dönüştürücüler kullanılmaktadır. CUK ve SEPIC türü dönüştürücüler, diğer devrelere göre daha karmaşık bir yapıya sahip oldukları için, uygulamalarda sıklıkla kullanılmaz. Ancak, bu devreler izolasyonun kolay sağlanması ve Kesintili İletim Modu (KİM, DCM) ile kolay çalışabilme gibi avantajlara sahiptir [8]. Temel DC-DC dönüştürücü devreleri ile rezonans tekniğinin birlikte kullanıldığı uygulamalar da mevcuttur. Bu tür topolojilerde, rezonans sayesinde ana anahtar ve diyot için Yumuşak Anahtarlama (YA, SS) da sağlanabilmektedir [10].

2. Üç Fazlı Güç Faktörü Düzeltme Devreleri

Harmonikler ve güç faktörü için istenilen ulusal ve uluslararası sınırlama ve standartlara bağlı olarak, güç faktörü düzeltme devrelerinin önemi hem akademik hem de endüstriyel açıdan gün geçtikçe artmaktadır. Yüksek güçlü uygulamalarda bu sınırlama ve standartların sağlanmasında, ilgi üç fazlı GFD devreleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Burada temel DC-DC dönüştürücüler kullanılarak oluşturulan üç fazlı GFD devreleri incelenmiştir [11].

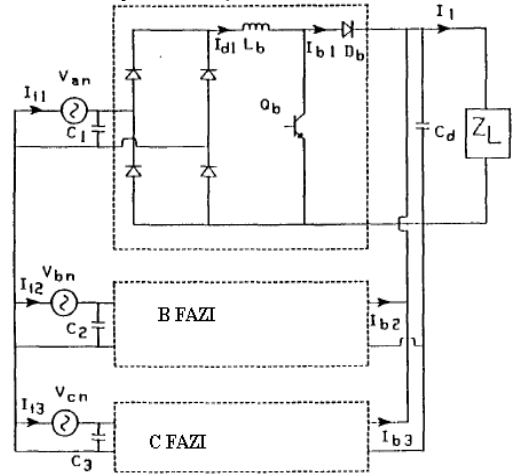
2.1. Yükseltici Tür Üç Fazlı GFD Devreleri

Şekil 3'te verilen devre, yıllardır üç fazlı GFD devresi olarak kullanılmaktadır. Bu devrede, GFD amacıyla her bir faz için yükseltici türü bir dönüştürücü kullanılmıştır. Bu tür devreler, aşağıda sıralanan dezavantajlara sahiptir [4].

- Giriş gerilimlerinin ayrı ayrı okunmasına bağlı olarak, karmaşık bir senkronizasyon kontrol çevrimi mevcuttur.
- Girişten çekilen akımda üç ve üçün katları şeklinde numaralı olan harmonikler mevcuttur.
- Anahtarlama frekansı yüke bağlı olarak değişir.
- Her bir faz için ayrı bir GFD devresi oluşturulduğundan, eleman sayısı fazladır.

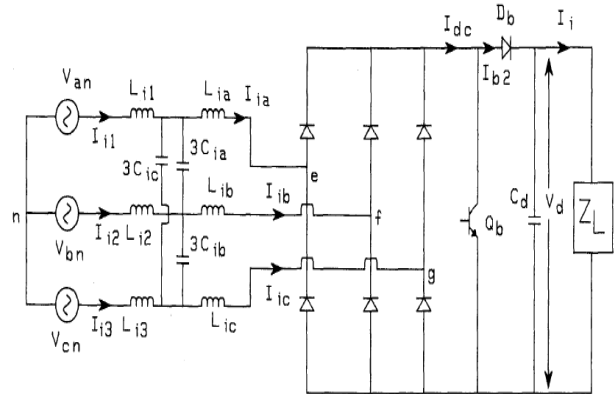
Yukarıda sıralanan dezavantajları ortadan kaldırmak üzere, Şekil 4'te yine yükseltici dönüştürücü temelli yeni bir GFD devresi sunulmuştur. Sunulan devre, yükseltici endüktansları,

diyot köprüsü, yükseltici anahtarı ve diyodu, çıkış kondansatörü ve yükten oluşmaktadır.



Şekil 3: Tek fazlı GFD devreleri ile oluşturulan temel üç fazlı GFD devresi [4]

Sabit frekans ve değişken doluluk oranında çalışan bu devre aynı zamanda DCM çalışma şartlarını da sağlamaktadır. Böylece devrede ana anahtar Sıfır Akımda Anahtarlama (SAA, ZCS) ile yumuşak bir şekilde iletme girmektedir. Ayrıca, yükseltici endüktansları giriş katında bulunduğu için nüveler iki yönlü olarak kullanılabilmektedir.



Şekil 4: Üç fazlı yükseltici tür dönüştürücü temelli GFD devresi [4]

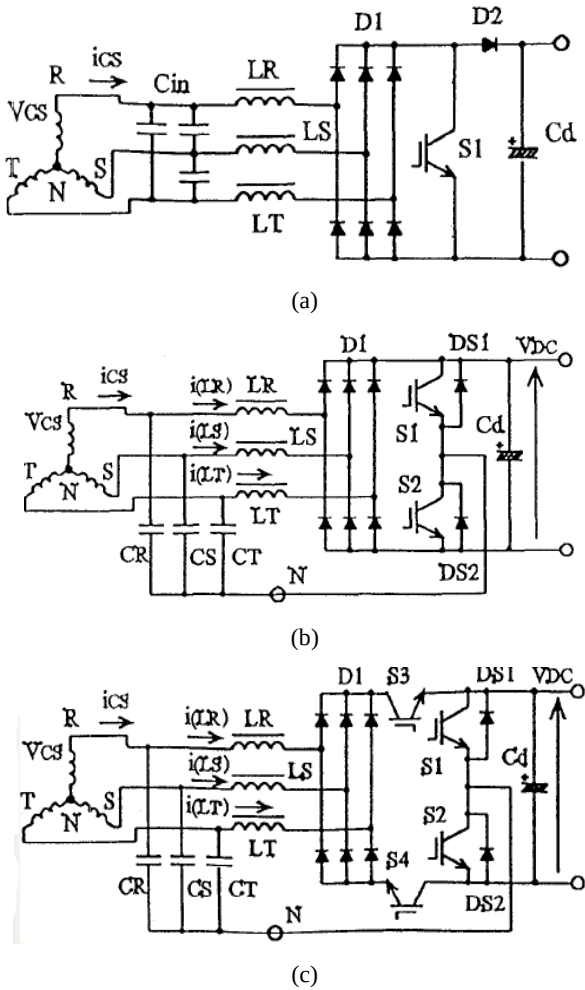
Şekil 4'te verilen devrede ana anahtarın akım stresi oldukça yüksek olup, 5. harmonik ile yüksek frekanstaki harmoniklerin etkileri oldukça yüksektir. Aynı zamanda yüksek frekansta DCM çalışan devrede gürültü ve Elektromanyetik Girişim (EMG, EMI) değerleri de yüksek olmaktadır. Ayrıca, çıkış kondansatöründe ana frekansın iki katı frekansta dalgalanmalar oluşmaktadır.

Harmonikler açısından üç fazlı üçgen bağlı sistemlerde üç ve üçün katları şeklinde numaralı olan harmonikler oluşmaz. Bununla beraber üç ve üçün katları şeklinde numaralı olan harmonikler, generatörlerde manyetik alan oluşturmaz ve üretilen gerilimin dalga şeklini bozmaz. Böylece üç fazlı sistemlere bağlı anahtarlama güç kaynaklarında üç ve üçün katları şeklinde numaralı olan harmoniklerin etkileri oldukça düşüktür. Bu yüzden harmonikler açısından üç fazlı

sistemlerde üç ve üçün katları dışındaki numaralı olan harmonikler etkili olup, ilgili denklem (1)'de sunulmuştur. Uygulamalarda bu değer, anahtarlamalı güç kaynakları için en fazla %5 olmalıdır [5].

$$I_{\text{neg}} = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^{n=3k} \left\{ \sqrt[4]{\frac{n}{2}} (I_{n-1} + I_{n+1}) \right\}^2}}{\sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}} \quad (1)$$

Şekil 5 (b) ve (c)'de sunulan devreler ile, Şekil 4'de verilen devrenin harmonik açıdan dezavantajlarını ortadan kaldıran ve daha az harmonik içeriğe sahip olan, üç ve üçün katları dışındaki numaralı olan harmoniklerin etkisini azaltan yeni yükseltici tür üç fazlı GFD devreleri sunulmuştur.

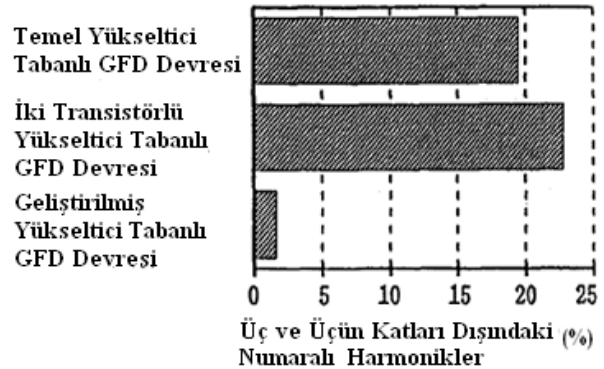


Şekil 5: (a) Temel, (b) iki transistörlü ve (c) geliştirilmiş üç fazlı yükseltici tür GFD devreleri [5]

Şekil 5 (a)'da gösterilen genel yükseltici tür üç fazlı GFD devresinde 5. harmoniğin etkisi %14,6 ve üç ve üçün katları arasındaki numaralı olan harmoniklerin oranı ise %19,5 olup oldukça yüksektir. Bu sebeple bu devre önceden bahsedildiği üzere anahtarlamalı güç kaynakları için uygun değildir [5].

Şekil 5 (b)'de gösterilen devrede S1 anahtarına seri 180° faz farkı ile anahtarlama yapan S2 anahtarı ilave edilmiş, ayrıca giriş filtre kondansatörleri yıldız bağlanmıştır. Oluşturulan yeni devre ile 5. harmoniğin etkisinin azaltılması hedeflenmiştir. Geliştirilen devrede aralıklar, endüktanslara fazlar arası veya faz gerilimi ile DC çıkış geriliminin uygulanması ile birbirine seri bağlı endüktanslara faz gerilimleri ile DC gerilimin uygulanmasına bağlı olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu durumda devrede 5. harmoniğin etkisi %12,6'ya inerken üç ve üçün katları dışındaki numaralı harmoniklerin etkisi %22,8 olmaktadır. Bu sebeple oluşturulan yeni yapı, 5. harmoniğin etkilerini azaltmasına rağmen, anahtarlama güç kaynakları için belirlenen üç ve üçün katları dışındaki numaralı harmoniklerin sınırlamasını sağlamadığı için uygun değildir [5].

Şekil 5 (c)'de geliştirilmiş üç fazlı yükseltici tür GFD devresi sunulmuştur. Şekil 5 (b)'de sunulan devrede birbirine seri bağlı endüktanslara faz gerilimleri ile DC çıkış geriliminin uygulanmasına bağlı olarak oluşan aralıklar, üç ve üçün katları dışındaki numaralı harmoniklerin artmasına sebep olmaktadır. Geliştirilen yeni devre ile tüm aralıklarda her bir endüktansa faz veya fazlar arası gerilimler ile DC çıkış geriliminin uygulanması sağlanmıştır. Böylece üç ve üçün katları dışındaki numaralı harmonikler ile 5. harmoniğin etkisinin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Buna göre Şekil 5 (b)'de gösterilen devreye S3 ve S4 anahtarları ilave edilmiştir. Oluşturulan yeni devre ile 5. harmoniklerin oranı %0.9 ve üç ve üçün katları dışındaki numaralı harmoniklerin oranı %1.7 olmaktadır. Böylece oluşturulan yeni yapı harmonik açısından anahtarlamalı güç kaynakları uygulamaları için uygundur. Şekil 6'da Şekil 5'de gösterilen devrelerin negatif sıra akım harmonikleri açısından karşılaştırılması sunulmuştur [5].



Şekil 6: Temel, iki transistörlü ve geliştirilmiş üç fazlı yükseltici tabanlı GFD devrelerinin üç ve üçün katları dışındaki numaralı harmonikler bakımından karşılaştırılması

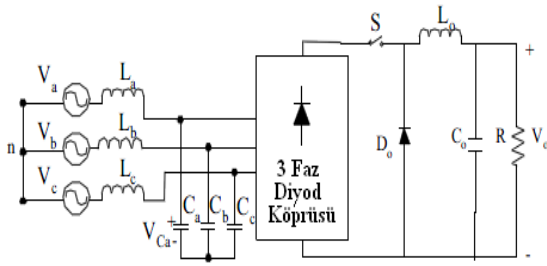
Üç fazlı GFD devreleri girişten çekilen akıma bağlı olarak DCM veya Sürekli İletim Modu (SİM, CCM) çalışma şartlarında çalışır. Şekil 5'te gösterilen devrelerin tamamı DCM çalışma şartlarını sağlamaktadır. DCM çalışma sayesinde kontrol ve uygulama kolaylığı ile ZCS sağlanabilmektedir. CCM çalışma şartlarında giriş akımının her an izlenmesine ve geri beslemenin gerekliliğine bağlı olarak kontrol yapısı ile uygulaması oldukça zor ve pahalıdır. Böylece üç fazlı GFD devrelerinde DCM çalışma şartlarına olan ilgi artmaktadır [5].

2.2. Düşürücü Tür Üç Fazlı GFD Devreleri

Düşük çıkış geriliminin istendiği yüksek güçlü uygulamalarda üç fazlı düşürücü tabanlı güç faktörü düzeltme devrelerine olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır.

Şekil 7'de gösterilen temel düşürücü tabanlı üç fazlı GFD devresinde güç faktörünün düzeltilmesi, Ayrık Gerilim Modu (AGM, DVM) kontrol tekniğinin uygulanmasıyla sağlanmaktadır. DVM tekniği, girişte bulunan kondansatör gerilimlerinin her bir anahtarlama periyodu sonunda sıfıra inmesini garanti etmektedir. Bunun yanı sıra bu tür devrelerde kontrol tekniğine bağlı olarak ana anahtar yüksek gerilim streslerine maruz kalmaktadır [6].

Temel düşürücü tabanlı GFD devresinin çalışması, üç ana aralıktan oluşmaktadır. S anahtarının iletme girmesi ile başlayan ilk aralıkta dolu olan kondansatörler enerjilerini çıkışa ve endüktansa aktarmaktadır ve bu aralıkta düşürücü diyodu kesimdedir. Kondansatörlerin enerjilerini tamamen aktarması ile ikinci aralık başlar. Bu aralıkta çıkış ve endüktans, sadece şebeke tarafından enerjilenmektedir. S anahtarının kesime ve düşürücü diyodunun iletme girmesi ile yeni bir aralık başlar. Oluşan yeni ve son aralıkta giriş kondansatörleri, şebeke tarafından şebeke geriliminin ani değerine dolarken düşürücü endüktansı enerjisini çıkışa aktarmaktadır [6].



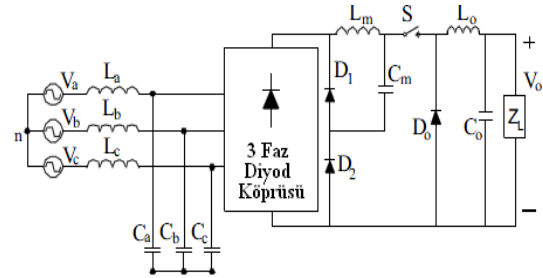
Şekil 7: Temel düşürücü tabanlı üç fazlı GFD devresi [6]

Şekil 7'de verilen temel düşürücü tabanlı üç fazlı GFD devresinde, gerilim stresleri, değişken frekans kontrolü tekniği ile minimize edilebilmektedir. Ancak, değişken frekansa bağlı olarak kondansatör ve endüktans değerlerinin seçimi zorlaşmaktadır. Bu sebeple frekansa bağlılığı az yeni bir düşürücü tabanlı GFD devresi geliştirilmiştir [6].

Şekil 8'de verilen devrede, Sınır Gerilim Modu (SGM, BVM) tekniği ile çalışan iki adet düşürücü birbirine seri olarak bağlanmıştır. Böylece çıkış gerilimi, klasik düşürücülerden farklı olarak doluluk oranının karesine bağlı olmaktadır. Böylece çıkış geriliminin değişimi, giriş gerilimindeki değişimlere bağlı olarak geliştirilmiş düşürücülerde daha az olmaktadır. Bu durum, geliştirilmiş düşürücülerde frekansa bağlılığın daha az olmasını sağlamaktadır.

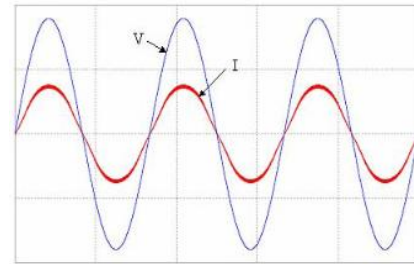
Şekil 8'de verilen devre temel olarak üç ana aralıktan oluşmaktadır. S anahtarının iletme girmesi ile başlayan ilk aralıkta giriş kondansatörleri enerjilerini L_o ve L_m endüktansları ile çıkışa ve C_m kondansatörü enerjisini çıkış ile L_o endüktansına aktarmaktadır. Giriş kondansatörlerinin enerjilerini tamamen aktarmaları ile bu aralık sona ermektedir. Oluşan ikinci aralıkta C_m kondansatörü ile şebeke tarafından

çıkış ve L_o endüktansına enerji aktarılırken, L_m endüktansı şebeke tarafından enerjilenmeye devam eder. S anahtarının kesime ve D_o diyodunun iletme girmesi ile başlayan yeni ve son aralıkta L_m enerjisini C_m kondansatörüne ve L_o endüktansı enerjisini çıkışa aktarmaktadır [6].

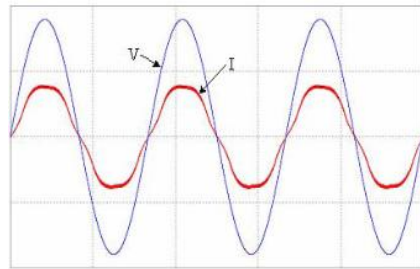


Şekil 8: Geliştirilmiş düşürücü tabanlı GFD devresi [6]

Şekil 9'da, temel ile geliştirilmiş düşürücü tabanlı üç fazlı güç faktörü düzeltme devrelerine ait 2 kW gücüne sahip prototip uygulama devresinden alınmış giriş gerilimi ile akımının dalga şekilleri sunulmuştur. Buna göre klasik düşürücülerde, geliştirilmiş düşürücü yapısına göre frekansa bağlılık fazla olmasına rağmen güç faktörü oldukça yüksek olmaktadır [6].



(a)



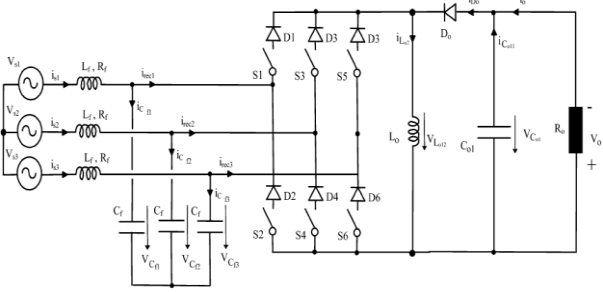
(b)

Şekil 9: (a) Temel ve (b) geliştirilmiş düşürücü tabanlı GFD devrelerine ait giriş akım ve gerilim dalga şekilleri [6]

2.3. Düşürücü – Yükseltici Tür Üç Fazlı GFD Devreleri

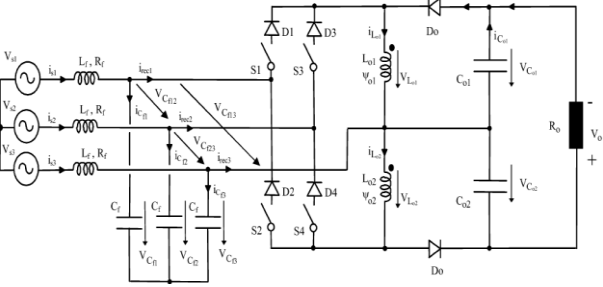
Düşürücü-yükseltici temelli üç fazlı GFD devreleri, gücün yüksek olduğu ve çıkış geriliminin düşük veya yüksek olmasının istenildiği uygulamalarda kullanılmaktadır. Yükseltici temelli dönüştürücülere nazaran harmonik içerik açısından daha iyi sonuçlar vermesine rağmen, elemanların akım ve gerilim streslerinin yüksek olması düşürücü-yükselticilerin en önemli dezavantajı olmaktadır [7].

Şekil 10'da temel düşürücü-yükseltici tabanlı üç fazlı GFD devresi sunulmuştur. Bu devrede altı adet anahtar kullanılması ile devrenin kayıpları artmakta ve verim oldukça düşmektedir. Bu sebeple eleman sayısının azaltılmasına yönelik çalışmalara olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Böylece hem kontrol yapısı hem de uygulaması basit devre topolojileri gerçekleştirilmektedir [7].



Şekil 10: Temel düşürücü-yükseltici tabanlı GFD devresi [7]

Şekil 11'de genel düşürücü-yükseltici temelli dönüştürücülerin verimlerini artırmak amacıyla, her bir anahtarlama aralığında akımın tek bir anahtardan geçmesini sağlayan yeni bir düşürücü-yükseltici devresi sunulmuştur. Aynı zamanda geliştirilen yeni devre ile eleman sayısı azaltılmıştır. Sunulan yeni devrede kontrol tekniği olarak kayan mod kontrol tekniği uygulanmıştır. Bu kontrol yöntemi ile güç faktörü düzeltme ve çıkış gerilimi regülasyonu birlikte yapılmaktadır. Çıkış gerilimi regülasyonu PI kontrolü ile sağlanmakta ve aynı kontrolör ile akım kontrolü için referans sinüs akımı üretilmektedir. Böylece üretilen referans sinüzoidal akıma bağlı olarak girişten sinüzoidal akım çekilmesi hedeflenmektedir. Bunun için kayan mod kontrole bağlı olarak uzay vektör modülasyonu kullanılmaktadır [7].



Şekil 11: Geliştirilmiş düşürücü-yükseltici temelli üç fazlı GFD devresi [7]

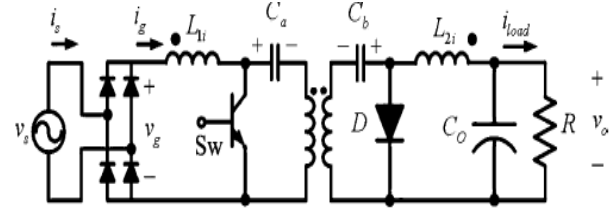
Geliştirilen yeni düşürücü-yükseltici devresi temel olarak yedi aralıktan oluşmaktadır. İlk olarak S1 anahtarı iletime girer ve L01 endüktansı giriş üzerinden enerjilenmeye başlar. Endüktans akımı giriş filtre akımından büyük olmaya başladığında Cf kondansatörü de L01 endüktansına enerji aktarır. S1 anahtarının kesime ve S3 anahtarının iletime girmesiyle aynı aralık ikinci faz için gerçekleşir. S1 ve S2 anahtarlarının iletime girmesi ile bu aralık biter ve endüktans enerjisi bu aralıkta sabit kalır. Aynı zamanda bu aralıkta giriş endüktans akımı ve kondansatör gerilimleri şebeke gerilimine bağlı olarak değişmektedir. S1 ve S2 anahtarlarının kesime S3 ve S4 anahtarlarının iletime girmesiyle aynı aralık devam eder.

S3 ve S4 anahtarlarının kesime girmesi ve S2 anahtarının iletime girmesi ile L02 endüktansı negatif gerilim ile enerjilenmeye başlar. S2 anahtarının kesime ve S4 anahtarının iletime girmesi ile aynı aralık ikinci faz için devam eder. Tüm anahtarların kesime girmesi ile birlikte endüktanslarda depolanan enerjiler çıkışa aktarılır. Böylece bir anahtarlama periyodu tamamlanmış olur [7].

2.4. Cuk Türü Üç Fazlı GFD Devreleri

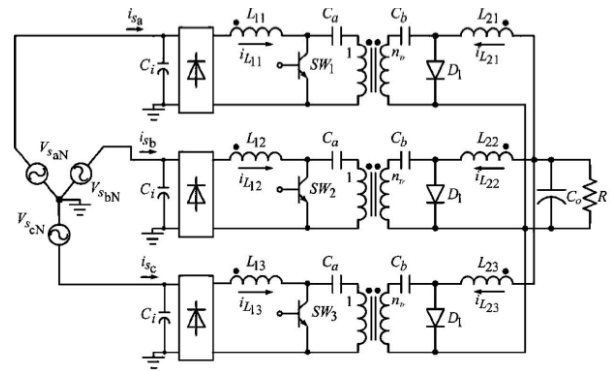
Temel yükseltici, düşürücü ve düşürücü-yükseltici tür dönüştürücülerin dışında CUK ve SEPIC türü DC-DC dönüştürücüler de üç fazlı GFD devrelerinde kullanılmaktadır. İzoleli olarak kolayca uygulanabilmesi bu tür devrelerin önemli bir avantajı olmasına rağmen uygulamalarda sıkça kullanılmazlar. CUK tür dönüştürücülerde endüktans akımları DCM çalışma şartlarında olsa bile giriş akımı CCM çalışma şartlarında olabilmektedir.

Şekil 12'de sunulan temel bir fazlı CUK türü dönüştürücü temelli GFD devrelerinin üç fazlı sistemlere uygulanması ile üç fazlı GFD devreleri oluşturulmaktadır. Burada CUK dönüştürücüde kullanılan trafonun primeri yükseltici, sekonderi ise düşürücü tür dönüştürücü özelliği taşımaktadır. Böylece bu tür devreler çıkış geriliminin düşük veya yüksek olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır [8, 9].



Şekil 12: CUK tür tek fazlı GFD devresi [8]

Şekil 13'de sunulan üç fazlı CUK tür dönüştürücü devresinde asıl amaç, aşama sayısının azaltılması ile tek aşamalı olarak, hızlı dinamik cevap, sıkı çıkış gerilimi regülasyonu ile yüksek güç faktörünü sağlamaktır [8].



Şekil 13: CUK tür dönüştürücü temelli üç fazlı GFD devresi [8]

Şekil 13'de verilen yeni dönüştürücü yapısında kontrol olarak güç dengesi kontrol tekniği kullanılmıştır. Kontrol parametreleri, devrenin küçük sinyal modeli kullanılarak

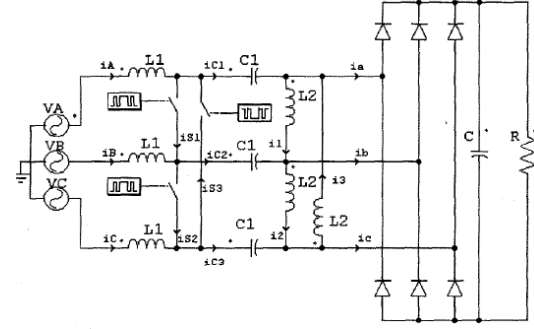
gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen yeni yapıda kontrol yapısı çıkış gerilimi regülasyonu ile giriş akımının sinüzoidale yaklaştırılmasını kapsamaktadır [8].

2.5. SEPIC Türü Üç Fazlı GFD Devreleri

Gücün yüksek olduğu ve giriş ile çıkış arasında izolasyon gerektiği uygulamalarda CUK dönüştürücünün dışında SEPIC tür dönüştürücüler de sıklıkla tercih edilmektedir.

Klasik yükseltici tür dönüştürücülerde karşılaşılan DCM şartlarda izolasyonun yapılamaması, yumuşak yol alamama, geçici halde ve ağır yüklerde aşırı akımların kontrol edilememesi, harmonik açıdan etkili olan 5. ve 7. harmoniklerin minimize edilmesi için yüksek doluluk oranlarında çalışması gibi dezavantajlar, SEPIC tür dönüştürücülerde bulunmamaktadır. Bunun dışında anahtarların yüksek akım ve gerilim streslerine maruz kalması ve ilave kondansatör gerektirmesi SEPIC tür dönüştürücülerin en önemli dezavantajıdır [9].

Şekil 14'de sunulan üç anahtarlı üç fazlı SEPIC temelli GFD devresi, DCM çalışma şartlarını sağlamaktadır. Bu durum EMI değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Geliştirilen devrede SEPIC devre yapısı köprü doğrultucunun önüne alınmıştır. Böylece endüktansların iki yönlü kullanılması sağlanmıştır. Bunun yanı sıra anahtarların yıldız bağlanarak ortak emitere sahip olması sağlanmıştır [9].



Şekil 14: Üç fazlı üç anahtarlı SEPIC temelli GFD devresi [9]

Şekil 14'de sunulan devre ile yüksek güç faktörü ve sıkı çıkış gerilimi regülasyonu sağlanmaktadır. Bunun yanı sıra devre sabit frekans ve doluluk oranında DCM ile çalışmaktadır. Böylelikle izolasyonun gerekli olduğu uygulamalarda yumuşak geçici aralığa sahip olması ile SEPIC tür dönüştürücüler ideal bir seçimdir.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada temel yükseltici, düşürücü, düşürücü-yükseltici, CUK ve SEPIC tür DC-DC dönüştürücüler kullanılarak oluşturulan üç fazlı güç faktörü düzeltme devreleri ve geliştirilmiş uygulamaları incelenmiştir. Sunulan devrelerin etrafı analizi yapılmış olup, avantajları ve dezavantajları açıkça belirtilmiştir. İncelenen devrelerin uygulama alanları ile çalışma modları ve önemli özellikleri açıkça vurgulanmıştır.

Çizelge 1: Sunulan devrelerin karşılaştırılması

	1[5]	2[6]	3[7]	4[8]	5[9]
Anahtar sayısı	4	1	4	3	3
Giriş akımının dalga şekli	Sinüzoidal	Sinüzoidal	Sinüzoidal	Sinüzoidal	Sinüzoidal
Giriş Gerilimi	200V	208V	110-230V	220V	208V
Çıkış Gerilimi	390V	50V	50-140V	-48V	600V
Güç faktörü	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	0.99	0.99	Belirtilmemiş
Harmonik Standartlar	Sağlanmış	Sağlanmış	Sağlanmış	Sağlanmış	Sağlanmış
Çıkış gücü	6.479 kW	2 kW	Belirtilmemiş	750 W	6.15 kW
Frekans	2 kHz	59-84 kHz	10 kHz	25-30 kHz	25 kHz
İzolasyon	Yok	Yok	Yok	Var	Yok
Kontrol yapısı	Kolay	Kolay	Zor	Basit	Basit

4. Kaynaklar

- [1] Bodur, H., Akboy, E. ve Aksoy, İ., "Tek Fazlı Güç Faktörü Düzeltme Devrelerinin İncelenmesi", *FEBB*, 2011, 168-172.
- [2] Y. Jiang ve F. C. Lee, "Single-Stage Single-Phase Parallel PFC Scheme", *Power Electronics Specialists Conference (PESC)*, 1994, 1145-1151.
- [3] O.Garcia, J. A. Cobos, R. Prieto, P. Alou ve J. Uceda, "Single Phase Power Factor Correction: A Survey", *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 18, no.3, 749-755, 2003.

- [4] Prasad, A. R., Ziogas, P. D. ve Manias, S., "An Active Power Factor Correction Technique for Three-Phase Diode Rectifiers", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 6, no.1, 83-92, 1991.
- [5] Hirachi, K., Nishimura, K., Kurokawa, M. ve Nakaoka M., "An Improved Circuit Configuration of Three-Phase PFC Converter", *Power Electronics and Drive Systems*, 1997, 596-604.
- [6] Bassan, S. ve Moschopoulos, G., "A Comparative Study of Three-Phase Single-Switch Buck Converters", *Electrical and Computer Engineering*, 2008, 317-320.
- [7] Pires, V. F. ve Silva, J. F., "Three-Phase Single-Stage Four-Switch PFC Buck-Boost-Type Rectifier", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.52, no.2, 444-453, 2005.

- [8] Kammarn, U. ve Chunkag, V., "Analysis and Design of A Modular Three-Phase AC-to-DC Converter Using CUK Rectifier Module With Nearly Unity Power Factor and Fast Dynamic Response", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.24, no.8, 2000-2012, 2009.
- [9] Carlton, D., Dunford, W. G. ve Edmund, M., "SEPIC 3-Phase 3-Switches Power Factor Correction Circuit Operating in Discontinuous Conduction Mode", *IEEE Industrial Electronics (ISIE)*, 1998, 81-86.
- [10] Weng, D. F. ve Yuvarajan, S., "Resonant-Boost-Input Three-Phase Power Factor Corrector", *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 14, no.6, 1149-1155, 1999.
- [11] Mao, H., Lee, F. C., Boroyevich, D. ve Hiti, S., "Review of High Performance Three-Phase Power-Factor Correction Circuits"