

BİR FAZLI GÜÇ FAKTÖRÜ DÜZELTMELİ KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAĞI TASARIMI

Ömer Faruk BAY, İsmail ATACAĞ
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Bilgisayar Eğitimi Bölümü
06500Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Elektrikli cihazları besleyen güç kaynaklarının giriş akımlarındaki harmonik bileşenlerin, yeni Avrupa normları ve uluslar arası standartlara göre sınırlandırılması gerekmektedir. Bu standartlar bu tür güç kaynaklarının girişine, bir güç faktörü düzeltme devresinin eklenmesini gerektirmektedir. Kesintisiz güç kaynakları (KGK) elektrikli cihazlara yüksek kalitede ve kararlı bir enerji sağlamaktadır. Bu çalışmada, bir fazlı beklemesiz (on line), güç faktörü düzeltmeli (GFD) bir KGK tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan KGK'da GFD ünitesi yarım köprü tipi AA/DA bir gerilim yükselten (boost) dönüştürücü (converter) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan KGK; GFD katmanı, gerilim düşüren/yükselten (buck/boost) dönüştürücü katmanı ve çıkış evirici (inverter) katmanı olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. KGK'nın GFD, gerilim düşüren/yükselten dönüştürücü ve çıkış evirici katmanında kullanılan çeşitli kontrol tekniklerinin de analizi yapılarak, yapılan simülasyon çalışmalarının neticelerine göre her bir kontrol tekniğinin avantajları ve dezavantajları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güç faktörü düzeltimi, Kesintisiz güç kaynağı

DESIGN OF A SINGLE PHASE POWER FACTOR CORRECTED UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY

ABSTRACT

The new European norms and the international standards will impose a limit on the harmonic contents of the input current of the power supplies. This requires the addition of a power factor corrector (PFC) at the input of many types of power supplies used for electronic equipments. Uninterruptible Power Supplies (UPS) are required to provide a source of electrical energy with high quality and stability. In this study, single phase, on line UPS including power factor corrector are designed. The PFC unit is designed using a half bridge boost type AC/DC converter which is the most popular topology. The designed UPS has three stages. They are the PFC stage, the buck/boost converter stage and the output inverter stage. Control techniques used in the PFC, buck/boost converter and output inverter are also analyzed, and the simulation results showing the advantageous and drawbacks of the control techniques are presented.

Key Words: Power factor correction, Uninterruptible power supply

1. GİRİŞ

Kesintisiz Güç Kaynakları; bilgisayar, tıbbi sistemler, iletişim sistemleri, endüstriyel kontrol sistemleri gibi kritik yüklerle kesintisiz ve temiz bir kaynak gücü aktarma amaçlı kullanılmaktadırlar(1). Endüstrileşmiş ülkelerde şebeke gerilimi elde edilebilirliği ve kalitesi kabul edilebilir seviyede olmasına rağmen sabit gerilim ve frekanslı sinüsoidal dalga formu elde etmek oldukça zordur. Kaynaktan gelen sinüsoidal dalga formu bozulmuş güç ya da güç kesintileri kritik yükleri olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Hatta bu tür problemler yükün bozulması gibi bir sonuca sebep olabilmektedir. Bu tür sebeplerden dolayı sistemlerin sağlıklı bir şekilde çalışmasını temin edecek KGK'ların tasarım ve üretimine ihtiyaç duyulmaktadır(2,3).

Günümüzde farklı tipte KGK' lar olmasına rağmen bunların hepsinden istenen bir takım temel özellikler vardır. Bunların en önemlileri regülas-

yon, gerilim kararlılığı, yüke karşı regülasyon ve frekans kararlılığı olarak sıralanmaktadır. Kesintisiz güç kaynaklarında bu özelliklerin istenilen nitelikte olması, bu sistemlerde kullanılan kontrol metotları ile belirlenmektedir(4). KGK'larında bu özellikleri sağlamak için farklı kontrol teknikleri kullanılmaktadır. KGK' nın güç faktör düzeltme katmanında farklı, diğer katmanlarında farklı bir kontrol stratejisi izlenmektedir. Güç faktör düzeltme katmanında ortalama akım kontrol tekniği (OAKT), histerisiz kontrol tekniği (HKT), tepe akım kontrol tekniği (TAKT) gibi temel güç faktör düzeltme teknikleri kullanılırken, diğer katmanlarında (akü şarj katı, akü gerilim yükselten dönüştürücü katı ve evirici katı) ise uygulamada sıkça karşılaşılan akım mod ya da gerilim mod teknikleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, güç faktörü düzeltmeli bir KGK'nın tasarımını yapmak için, KGK'ların kontrolünde kullanılan kontrol teknikleri karşıla-

tırmalı olarak incelenmekte ve en uygun kontrol tekniği seçilerek tasarım tamamlanmaktadır. İkinci bölümde KGK' lar da kullanılan kontrol teknikleri üzerinde durulmaktadır. Üçüncü bölümde KGK'nın modelinin elde edilmesi anlatılmaktadır. Dördüncü bölümde KGK'nın kontrol basamağının oluşturulması açıklanmaktadır. Beşinci bölümde yapılan simülasyon çalışmaları verilmekte ve alınan sonuçlar değerlendirilmektedir.

2. KGK' LARDA KULLANILAN KONTROL TEKNİKLERİ

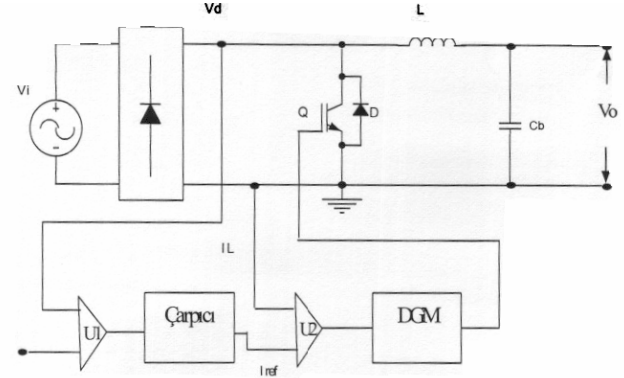
KGK'lara ait katmanların kontrolünde kullanılan teknikler iki bölüm halinde ele alınmaktadır. Bunlar GFD katmanında kullanılan GFD kontrol teknikleri ve diğer katmanlarda (akü şarj katmanı, akü gerilim yükselten dönüştürücü katmanı ve evirici katmanı) kullanılan kontrol teknikleri olarak verilmektedir.

KGK'larda birim güç faktör düzeltmesini başarmak için bir çok dönüştürücü topolojisi mevcuttur. Bunlar arasında sabit anahtarlama frekanslı gerilim yükselten dönüştürücü topolojisi, aşağıda verilen avantajlarından dolayı uygulamada sıkça kullanılmaktadır.

1. Giriş akımının daha düzgün bir dalga formuna sahip olması giriş filtreleme gerekliliklerini de azaltmaktadır.
2. Güç anahtarları üzerinde akımın baskısı daha azdır.
3. Gerilim yükselten dönüştürücüdeki bobin akımı giriş akımı olup kolay bir şekilde programlanabilmektedir.
4. Çıkış DA geriliminin giriş geriliminin tepe değerinden daha yüksek olması çıkış kondansatörünün daha fazla enerji depolamasını sağlamaktadır. Bu ise tutma zamanını artırmaktadır.

Günümüzde gerilim yükselten tipi GFD dönüştürücüler; tasarımı kolaylaştırmak, karmaşıklığı azaltmak ve maliyeti düşürmek için standart dönüştürücüler olarak üretilmektedir. Şekil 1'de bu kontrol topolojisine ait temel devre şeması görülmektedir. Bu tip dönüştürücülerde giriş geriliminin tüm aralığında güç faktör düzeltmesi yapabilmek için dönüştürücünün çıkış gerilimi giriş geriliminin üstünde olacak şekilde tasarlanmaktadır. V_o çıkışı GFD kontrol devresi aracılığı ile kontrol edilmektedir. Algılanmış V_d giriş sinyalinin değeri AA geriliminin ani değerini yansıtmaktadır. Bu sinyal, arzu edilen çıkış gerilimi ile orantılı bir gerilimi

formüle etmek için V_o hata gerilimi ile birlikte çarpıcının girişine uygulanmaktadır. Çarpıcının çıkışı dönüştürücünden algılanan akımla karşılaştırılarak Q_1 anahtarını süren sinyal elde edilmektedir



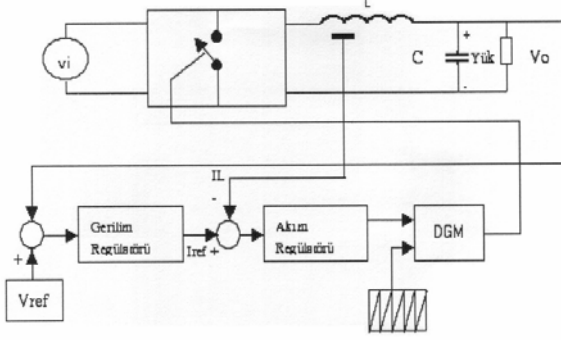
Şekil 1. Gerilim yükselten dönüştürücü kullanılarak gerçekleştirilmiş GFD topolojisi

Gerilim yükselten dönüştürücü topolojisinde kullanılan bir çok kontrol tekniği bulunmaktadır. Bunların bazıları tepe akım kontrol tekniği, ortalama akım kontrol tekniği ve histerisiz kontrol tekniği şeklinde verilmektedir.

Tepe akım kontrol tekniğinde, anahtar üzerinden geçen akım kontrol edilmektedir. Anahtar, anahtar akımı ve rampa değerinin toplamı referans akım değerine ulaşana kadar kapalı konumda kalmaktadır. Bu değer referans akım değerine ulaştığı anda anahtar açılmaktadır. Bu teknikte görev saykıl oranı %50' nin üzerine çıktığı zaman giriş akımında istenmeyen harmonikler oluşmaktadır. Bu sebepten kontrol tepkisi diğer tekniklere göre daha yavaş kalmaktadır. Ortalama akım kontrol tekniğinde bobin akımı kontrol edilmektedir. Dış gerilim kontrol döngüsü çıkış gerilimini referans gerilim seviyesinde tutarak çarpıcı girişine referans akımı üretecek sinyali göndermektedir. İç akım kontrol döngüsü ise bobin üzerinden geçen akımı referans akım seviyesine çekmektedir. Histerisiz kontrol tekniğinde ise bobin akımının alt ve üst sınır değerleri için iki referans akım üretilerek bobin akımı kontrol edilmektedir(5).

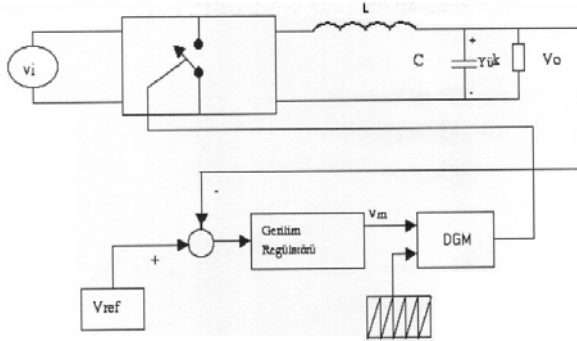
KGK' ların diğer katmanlarında ise akım mod kontrol tekniği ve gerilim mod kontrol tekniği olmak üzere genel olarak iki tip teknik kullanılmaktadır. Akım mod kontrol tekniği, Şekil. 2' de görüldüğü gibi iki geri besleme döngüsüne sahiptir. Bu döngülerden dış kontrol döngüsü anahtarın bulunduğu devrenin çıkış gerilimini referans gerilimi ile karşılaştırarak devre için gerekli olan referans akımını elde etmektedir. Diğer döngü ise

anahtarlama elemanına bağlı bobin akımı ile üretilen referans akımı karşılaştırarak darbe genişlik modülasyonu (DGM) katmanını için gerekli olan referans sinyali üretmektedir. DGM katmanını akım regülatörünün ürettiği referans dalga formu ile taşıyıcı üçgen dalga formunu karşılaştırarak anahtarın çalışma durumunu belirleyen gerekli görev saykıl oranını üretmektedir.



Şekil. 2. Akım mod kontrol tekniği prensip şeması

Gerilim Mod Kontrol Tekniğine ait şema Şekil.3' te görülmektedir. Bu tekniğe göre çıkış gerilimi ile referans gerilim arasındaki fark alınarak sonucu gerilim regülatörüne gönderilmektedir. Gerilim regülatörü çıkışındaki sinyal DGM katı için gerekli olan referans dalga formunu temsil etmektedir. DGM katı bu sinyal ile üçgen taşıyıcı dalgayı karşılaştırarak anahtarın konumu için gerekli olan görev saykıl oranını üretmektedir(6).

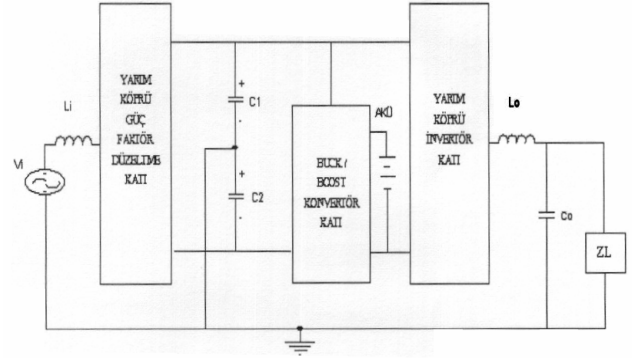


Şekil.3. Gerilim mod kontrol tekniğinin prensip şeması

3. KGK MODEL DENKLEMLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Şekil 4' te tasarlanan KGK' na ait blok diyagramı görülmektedir. Sistem temel olarak üç katmandan oluşmaktadır. İlk katman AA/DA yarım köprü tipi bir gerilim yükselten dönüştürücüdür. Bu katman iki görevi yerine getirmektedir. İlk görevi 220 V ' luk AA gerilimi 400 V' luk DA hat

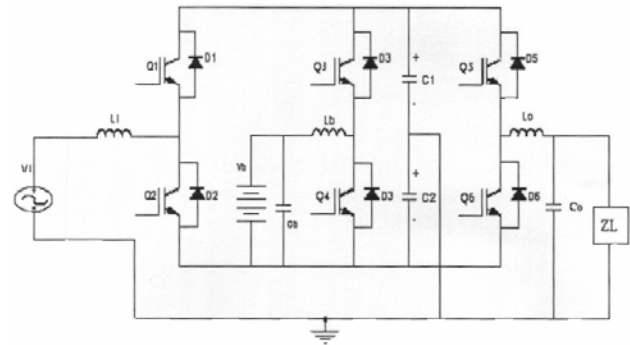
gerilimine dönüştürmektir. İkinci görevi ise giriş güç faktör düzeltmesini gerçekleştirmektir.



Şekil 4. Tasarlanan kesintisiz güç kaynağının blok diyagramı

Gerilim düşüren /gerilim yükselten dönüştürücü katmanı; gerilim düşüren ve gerilim yükselten dönüştürücü olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Gerilim düşüren dönüştürücü 400 V' luk DA hat gerilimini 50 V' luk akü gerilimi seviyesine çevirmektedir. Gerilim yükselten dönüştürücü katmanı ise 50 V' luk akü gerilimini 400 V' luk DA hat gerilimine dönüştürmektedir. Sistemdeki son katman yarım köprü tipi bir evirici devresi olup 400 V' luk DA hat gerilimini 220 V / 50 hz' lik AA yük gerilimine çevirmektedir.

Şekil 5' te ise bu sistemi temsil eden prensip devre şeması verilmektedir. Q₁ - Q₂ transistörleri, C₁-C₂ hat kondansatörleri ve L_i bobininden oluşan blok güç faktör düzeltme katmanını,



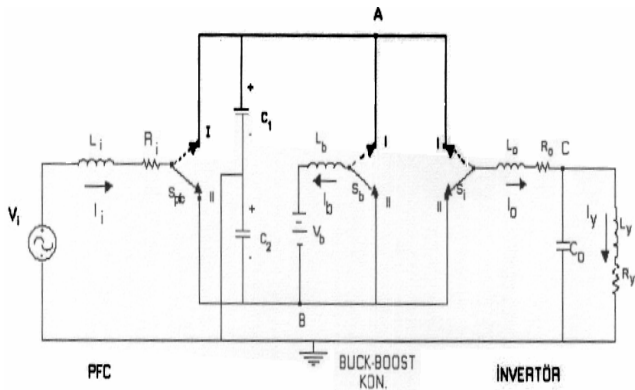
Şekil 5. Tasarlanan kesintisiz güç kaynağına ait temel devre şeması

Q₃ IGBT' si L_b bobini ve C_b kondansatöründen oluşan blok akü şarj katmanını, Q₄ IGBT' si L_b bobini ve C₁-C₂ kondansatörlerinden oluşan blok akü gerilim yükselten dönüştürücü katmanını, Q₅-Q₆ IGBT' leri ile L₀ bobini ve C₀ kondansatöründen oluşan blok ise evirici katmanını göstermektedir.

Devre denklemlerinin elde edilebilmesi için KGK' na ait devre şeması Şekil 6' da görüldüğü gibi basitleştirilmiştir. Burada kullanılan anahtarlar KGK' da kullanılan IGBT' leri temsil etmektedir. Aynı modüllerdeki IGBT' ler eş zamanlı olarak iletimde olmayacağından her bir modül tek bir anahtarla ifade edilmiştir. İlk IGBT iletimde iken anahtar I konumunda, kesimde iken ise anahtar II konumunda olacaktır. Aynı modüldeki ikinci IGBT için ise tersi bir durum oluşacaktır. Sistem iki farklı modda test edilmektedir. İlk modda KGK hat geriliminden yararlanarak yükü beslemektedir. Bu modda GFD katmanı, akü şarj katmanı ve evirici katmanı eş zamanlı olarak çalışmaktadır. İkinci mod hat geriliminde % 30' un üzerinde bir değişim ya da hatta bir kesinti olduğu zaman devreye girmektedir. Bu durumda yüke enerji, Akü tarafından gerilim yükselten dönüştürücü ve evirici devresinin eş zamanlı çalıştırılması ile sağlanmaktadır. Her iki mod için de IGBT' lerin çalışma durumunu gösteren tablo aşağıda verilmektedir.

Tablo 1. Çalışma modlarına göre IGBT' lerin durumları

| IGBT | MOD 1 | | MOD 2 | |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Pozitif Alternans | Negatif Alternans | Pozitif Alternans | Negatif Alternans |
| Q ₁ | İletim | Kesim | Kesim | Kesim |
| Q ₂ | Kesim | İletim | Kesim | Kesim |
| Q ₃ | İletim | Kesim | Kesim | Kesim |
| Q ₄ | Kesim | Kesim | İletim | Kesim |
| Q ₅ | İletim | Kesim | İletim | Kesim |
| Q ₆ | Kesim | İletim | Kesim | İletim |



Şekil 6. Kesintisiz güç kaynağının eşdeğer devresi

Şekil 6' daki devrede MOD 1 konumunda 4 göz oluşmaktadır. I. gözü V_i, L_i, R_i, C₁ ve C₂ elemanları, II. gözü V_b, L_b, C₁ ve C₂ elemanları, III. gözü C₁, C₂, L_o, R_o ve C_o elemanları, IV. gözü ise C_o, L_y, R_y elemanları temsil etmektedir. Bu gözlerle Kirchoff'un gerilimler kanunu uygulanarak

I_i, I_b, I_o ve I_y' ye ait denklemler sırası ile aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\frac{\partial I_i}{\partial t} = \frac{V_i - I_i R_i - S_{pfc} V_{c1} + (1 - S_{pfc}) V_{c2}}{L_i} \quad (1)$$

$$\frac{\partial I_b}{\partial t} = \frac{(V_{c1} + V_{c2}) S_b - V_b}{L_b} \quad (2)$$

$$\frac{\partial I_o}{\partial t} = \frac{V_{c1} S_i - V_{c2} (1 - S_i) - I_o R_o - V_{co}}{L_o} \quad (3)$$

$$\frac{\partial I_y}{\partial t} = \frac{V_{co} - I_y R_y}{L_y} \quad (4)$$

A,B ve C düğüm noktalarına Kirchoff'un akımlar kanunu uygulanarak V_{c1}, V_{c2} ve V_{co}' ya ait denklemler sırası ile aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\frac{\partial V_{c1}}{\partial t} = \frac{I_i S_{pfc} - I_b S_b - I_o S_i}{C_1} \quad (5)$$

$$\frac{\partial V_{c2}}{\partial t} = \frac{-I_i (1 - S_{pfc}) - I_b S_b + I_o (1 - S_i)}{C_2} \quad (6)$$

$$\frac{\partial V_{co}}{\partial t} = \frac{I_o - I_y}{C_o} \quad (7)$$

MOD 2 konumunda ise 3 göz oluşmaktadır. I. gözü V_b, L_b, C₁ ve C₂ elemanları, II. gözü C₁, C₂, L_o, R_o ve C_o elemanları, III. gözü ise C_o, L_y, R_y elemanları oluşturmaktadır. Bu gözlerle Kirchoff'un gerilimler kanunu uygulanarak I_b, I_o ve I_y' ye ait denklemler aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\frac{\partial I_b}{\partial t} = \frac{V_b - S_b (V_{c1} + V_{c2})}{L_b} \quad (8)$$

$$\frac{\partial I_o}{\partial t} = \frac{V_{c1} S_i - V_{c2} (1 - S_i) - I_o R_o - V_{co}}{L_o} \quad (9)$$

$$\frac{\partial I_y}{\partial t} = \frac{V_{co} - I_y R_y}{L_y} \quad (10)$$

A,B ve C düğüm noktalarına Kirchoff'un akımlar kanunu uygulanarak V_{c1}, V_{c2} ve V_{co}' ya ait denklemler sırası ile aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\frac{\partial V_{c1}}{\partial t} = \frac{I_b - I_o S_i}{C_1} \quad (11)$$

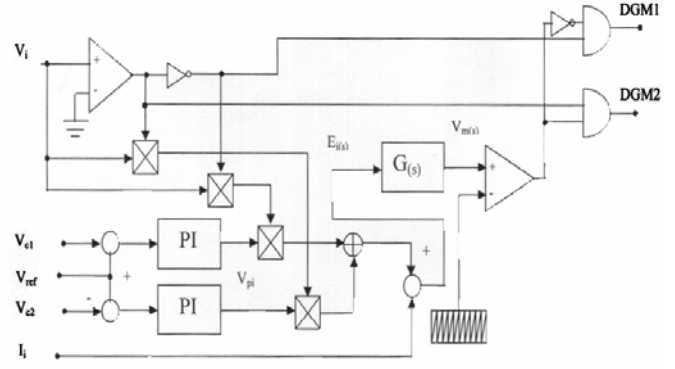
$$\frac{\partial V_{c2}}{\partial t} = \frac{I_b + I_o(1 - S_i)}{C_2} \quad (12)$$

$$\frac{\partial V_{co}}{\partial t} = \frac{I_o - I_y}{C_o} \quad (13)$$

Bu denklemlerde S_{pfc} PFC katmanına ait IGBT' leri, S_b gerilim düşüren/yükselten dönüştürücü katmanına ait IGBT' leri ve S_i evirici katmanına ait IGBT' leri temsil eden anahtarları göstermektedir. Bu parametreler Şekil 6' da görülen devredeki anahtarlar I konumunda iken 1 değerini almakta, anahtarlar II konumunda iken 0 değerini almaktadırlar. V_i giriş AA hat gerilimini, V_{C1} ve V_{C2} DA hat kapasitör gerilimlerini, V_b akü terminal gerilimini, V_{CO} KKG çıkış gerilimini, I_y KKG çıkış akımını, I_o evirici katmanı filitre bobini akımını, I_b ise akü terminal akımını temsil etmektedir

4. KONTROL BASAMAĞININ OLUŞTURULMASI

Tasarlanan KKG' da kontrol basamağı iki bölüm halinde oluşturulmuştur. İlk bölümde GFD katmanında kullanılan ortalama akım kontrol tekniği ve histerisiz kontrol tekniği yarım köprü tipi bir AA/DA gerilim yükselten dönüştürücü için uyarlanmıştır. Şekil 7' de yarım köprü tipi AA/DA gerilim yükselten dönüştürücü için uygulanmakta olan ortalama akım kontrol tekniğini gösteren prensip şema verilmektedir. Bu kontrol tekniğinde gerilim denetleyicisi ve akım denetleyicisi olmak üzere iki denetleyici kullanılmaktadır. Bu denetleyiciler PI denetleyici kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Gerilim denetleyicisi akım denetleyicisine göre daha yavaş bir döngü olup kondansatörler üzerindeki gerilimleri 400 V' ta sabit tutmak ve giriş referans akımını elde etmek için kullanılmaktadır. Aynı fazda referans akım elde etmek için ilk işlem olarak V_i giriş geriliminin pozitif ve negatif alternansı bir işlemsel yükselteç devresi kullanılarak tespit edilmektedir. Elde edilen bu değer çarpıcıların girişine gönderilmektedir. Çarpıcının girişine gelen bir diğer sinyal gerilim denetleyicisinin çıkışından gelen sinyaldir. Çarpıcı bu iki sinyali çarpılarak referans akım değerini elde etmektedir. Akım denetleyicisi ise referans akımla giriş akımını karşılaştırarak giriş akım ve geriliminin aynı faza getirme işlevini yerine getirmektedir.



Şekil 7. Ortalama akım kontrol ünitesi

Gerilim denetleyicisinde kullanılan PI denetleyicilere ait denklemler Eşitlik.14' te verilmektedir.

$$G_{VPI}(s) = \frac{Vp_i(s)}{Ec(s)} = Kvp + \frac{Kvi}{s} \quad (14)$$

Eşitlik.14'teki K_{vp} , gerilim denetleyicisi oransal kazancını, K_{vi} ise gerilim denetleyicisi integral kazancını temsil etmektedir.

Akım denetleyici ise G kazançlı bir kontrol ünitesi ile temsil edilmekte olup transfer fonksiyonu Eşitlik.15' te verilmektedir.

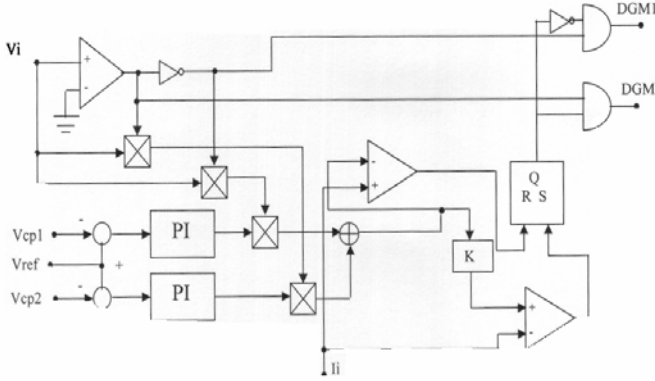
$$G_I(s) = \frac{Vm(s)}{Ei(s)} = \frac{Ki * (s + a)}{s * (s + b)} \quad (15)$$

Eşitlik.15' teki Ki GFD katmanı akım denetleyicisi oransal kazancını temsil etmektedir

İkinci yöntem histerisiz kontrol tekniğidir. Şekil 8' de yarım köprü tipi AA/DA gerilim yükselten dönüştürücü için uygulanmakta olan histerisiz kontrol tekniğini gösteren prensip şema verilmektedir. Bu kontrol tekniği gerilim denetleyicisi, fark alıcısı ve R-S filip-floptan oluşmaktadır. Gerilim denetleyicisi olarak PI denetleyici kullanılmıştır. Bu denetleyici girişine gelen hata sinyali ile orantılı olarak bir çıkış değeri üretmektedir. Bu değer ile oranlanmış V_i giriş sinyali bir çarpıcı vasıtasıyla çarpılarak histerisiz akım bandının üst sınırını temsil eden akım değeri (I_{pref}) elde edilmektedir. Bu değer K gibi bir değerle oranlanarak bandın alt sınır değeri bulunmaktadır. Her iki değer I_i giriş akımı ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırıcının çıkışı filip-flop' u tetikleyerek anahtarlar için gerekli olan sinyaller elde edilmektedir. Denetleyicinin çalışması aşağıda verilen iki temel prensip dahilinde özetlenebilir:

- Bobin üzerinden geçen akımın değeri I_{vref} değerinin altına düşerse anahtar iletime geçmektedir.
- Bobin üzerinden geçen akımın değeri I_{pref} değerinin üzerine çıkarsa anahtar kesime gitmektedir.

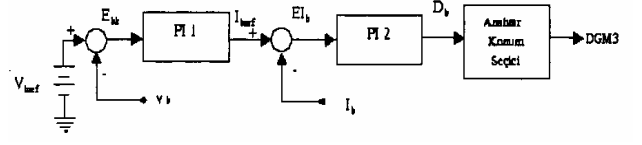
Denetleyicide kullanılan PI denetleyicilere ait denklemler ortalama akım tekniğinde verilen denklemlerle aynıdır



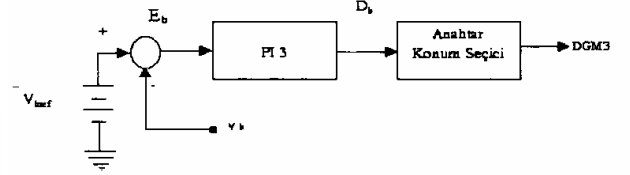
Şekil 8. Histerisiz kontrol tekniği

Kontrol basamağının ikinci bölümünde KGK'nın diğer katmanlarının denetlenmesinde kullanılmakta olan denetleyiciler oluşturulmaktadır. Akım mod denetleyiciler dış kontrol döngüsü ve iç kontrol döngüsü olmak üzere iki PI denetleyici kullanılarak gerçekleştirilirken, gerilim mod denetleyici tek PI denetleyici kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Şekil 9'da akü şarj katmanında kullanılan akım mod kontrol tekniğine ait blok diyagram görülmektedir. Burada PI1 akım mod denetleyicinin gerilim regülatörünü ve PI2 akım regülatörünü temsil etmektedir. Şekil 10.'da akü şarj katmanında kullanılan gerilim mod kontrol tekniğine ait blok diyagramı verilmektedir. PI3 denetleyicisi, gerilim mod denetleyicinin gerilim regülatörünü göstermektedir. Akü şarj katmanının denetlenmesinde kullanılan parametreler olarak; akım mod denetleyici için akü gerilimi (V_b) ve akü akımı (I_b), gerilim mod denetleyici için akü gerilimi alınmıştır. Her iki kontrol metodunda kullanılan PI1, PI2 ve PI3 denetleyicilerine ait transfer fonksiyonları Eşitlik 14'deki gibi tanımlanabilir.

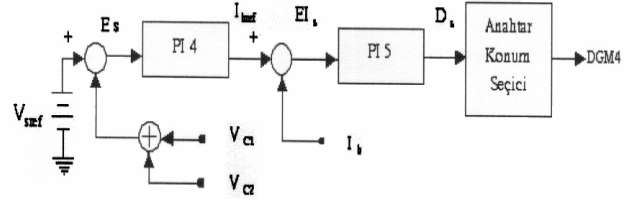


Şekil 9. Akü şarj katmanı akım mod denetleyicisi



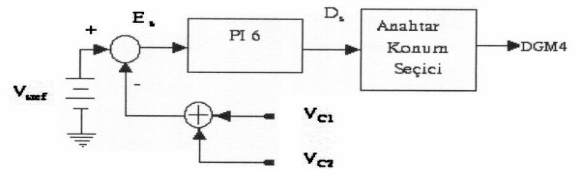
Şekil 10. Akü şarj katmanı gerilim mod denetleyicisi

Şekil 11 akü gerilim yükselten dönüştürücü katmanında kullanılan akım mod kontrol tekniği blok diyagramını göstermektedir. PI4 denetleyicisi akım mod denetleyicinin gerilim regülatörünü, PI5 denetleyicisi akım regülatörünü temsil etmektedir.



Şekil 11. Akü gerilim yükselten dönüştürücü katmanı akım mod denetleyicisi

Şekil 12 ise gerilim mod denetleyicinin blok diyagramını vermektedir. PI6 gerilim mod denetleyicinin gerilim regülatörünü temsil etmektedir.

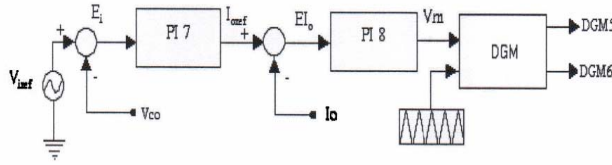


Şekil 12. Akü gerilim yükselten dönüştürücü katmanı gerilim mod denetleyicisi

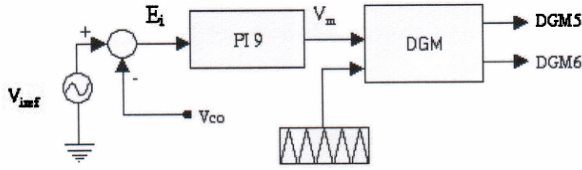
Akü gerilim yükselten dönüştürücü devresinin denetlenmesinde kullanılan parametreler olarak; akım mod denetleyici için DA hat gerilimi ($V_{dc}=V_{C1} + V_{C2}$) ve akü akımı (I_b), gerilim mod denetleyici için DA hat gerilimi alınmıştır. Akım mod ve gerilim mod denetleyicilerde kullanılan PI4, PI5 ve PI6 denetleyicilerine ait

transfer fonksiyonları Eşitlik 14'deki gibi tanımlanabilir.

Şekil 13' te evirici katmanında kullanılan akım mod kontrol tekniği blok diyagramı ve şekil 14 'te ise gerilim mod kontrol tekniği blok diyagramları görülmektedir. PI7 akım mod denetleyicinin gerilim regülatörünü, PI8 akım regülatörünü ve PI9 gerilim mod denetleyicinin gerilim regülatörünü temsil etmektedir. evirici devresinin denetlenmesinde kullanılan parametreler olarak; akım mod denetleyici için çıkış gerilimi (V_{co}) ve filtre bobini akımı (I_o), gerilim mod denetleyici için çıkış gerilimi alınmıştır. Denetleyicilerde kullanılan PI7, PI8 ve PI9 denetleyicilerine ait transfer fonksiyonları Eşitlik 14'deki gibi tanımlanabilir.



Şekil 13. Evirici katmanı akım mod denetleyicisi



Şekil 14. Evirici katmanı gerilim mod denetleyicisi

Akım mod denetleyicisinin akım döngüsü için anahtarlama frekansı 20 KHz seçilirken gerilim döngüsü için bu frekans değeri 10 kHz olarak alınmıştır. Gerilim mod denetleyici için ise anahtarlama frekansı 10 kHz olarak belirlenmiştir. Denetleyicilerde kullanılan oransal ve integral katsayıları bir bütün olarak Tablo 2'de verilmektedir.

5. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

KGK'nın simülasyon çalışması Tablo 3' te verilen değerler kullanılarak yapılmıştır. GFD katmanında ortalama akım kontrol tekniği ve histerisiz tekniği kullanılarak bu tekniklerin GFD'

deki performansları değerlendirilmektedir. KGK'nın; akü şarj katmanı, akü gerilim yükselten dönüştürücü katmanı ve evirici katmanı ise akım mod ve gerilim mod teknikleri kullanılarak kontrol edilmektedir.

Şekil 15' te ortalama akım kontrol tekniği kullanılarak yapılan GFD katmanına ait simülasyon sonuçları görülmektedir. Akım ve gerilim dalga formlarının aynı fazda olduğu gözlenmektedir. Bununla birlikte sıfır geçiş noktalarında akımın formunda bir bozulma olduğu görülmektedir.

Şekil 16' da histerisiz kontrol tekniği kullanılarak yapılan GFD katmanına ait simülasyon sonuçları görülmektedir. Akım ve gerilim dalga formlarının aynı fazda olduğu gözlenmektedir. Sıfır geçiş noktalarında ise akımın formundaki bozulmanın ortalama akım kontrol tekniğine göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Akım mod denetleyicisi kullanılan gerilim düşüren dönüştürücü için; Şekil 17 de akü gerilim düşüren dönüştürücü çıkış gerilimini ve çıkış akımını, Şekil 18 ise akü gerilim düşüren dönüştürücünün çıkış yük değerinin 12.5 ohm'dan 5 ohm'a düşürüldüğü durum için dönüştürücü çıkış gerilimindeki değişimi ve bu durum için yük üzerinden geçen akımın değişimini vermektedir. 12.5 ohm' luk çıkış yükünde dönüştürücünün çıkış gerilimini 1.2 ms' lik zaman zarfında 50 V değerine sabitlediği gözlenmektedir. Dönüştürücü çıkış yük değeri 5 ms sonra 5 ohm'a düşürüldüğünde 38 V' a düşen dönüştürücü yük gerilimini 0.5 ms' lik bir zaman diliminde tekrar 50 V' a düzeltmektedir.

Gerilim mod denetleyicisi kullanılan gerilim düşüren dönüştürücü için; Şekil 19 akü gerilim düşüren dönüştürücü çıkış gerilimini ve çıkış

akımını, Şekil 20 ise akü gerilim düşüren dönüştürücünün çıkış yük değerinin 12.5 ohm'dan 5 ohm'a düşürüldüğü durum için dönüştürücü çıkış gerilimindeki değişimi ve bu durum için yük üzerinden geçen akımın değişimini vermektedir. 12.5 ohm' luk çıkış yükünde dönüştürücünün çıkış gerilimini 1.9 ms' lik zaman diliminde 50 V sabitlemektedir. Dönüştürücü çıkış yük değeri 5

Tablo 2. PI denetleyici katsayıları

| GFD katmanı | | Akü şarj katmanı | | Akü gerilim yükselten dönüştürücü katmanı | | Evirici katmanı | |
|----------------|----------------|------------------|-------------------|---|------------------|-----------------|------------------|
| OAKT | HT | | | | | | |
| Kvp=1 | Kvp=1 | $K_{BP11P}=1$ | $K_{BP11I}=500$ | $K_{SP14P}=1$ | $K_{SP14I}=200$ | $K_{PI7P}=1$ | $K_{PI7I}=5000$ |
| $K_{vi}=12000$ | $K_{vi}=20000$ | $K_{BP12P}=2$ | $K_{BP12I}=2500$ | $K_{SP15P}=1$ | $K_{SP15I}=1000$ | $K_{PI8P}=2$ | $K_{PI8I}=20000$ |
| $K_i=15700$ | $K=1.6$ | $K_{BP13P}=1$ | $K_{BP13I}=10000$ | $K_{SP16P}=1$ | $K_{SP16I}=7250$ | $K_{PI9P}=1$ | $K_{PI9I}=22000$ |

Tablo 3. KGK

| Güç faktörü | 1 |
|-------------|---|
| L_1 | 5 |
| $C_1=C_2$ | 1 |
| V_1 | 2 |

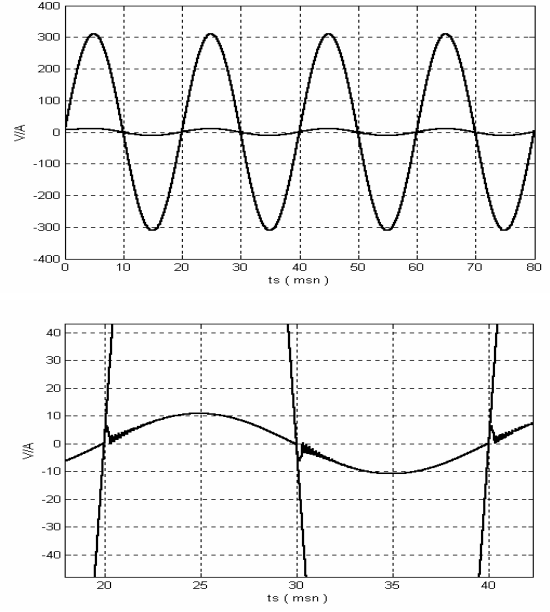
ms sonra 5 ohm'a düşürüldüğünde 38 V' a düşen dönüştürücü yük gerilimini 1.2 ms' lik bir zaman diliminde tekrar 50 V' a düzeltmektedir.

Akım mod denetleyicisi kullanılan gerilim yükselten dönüştürücü için; Şekil 21 akü gerilim yükselten dönüştürücü çıkış gerilimini ve çıkış akımını, Şekil 22 akü gerilim yükselten dönüştürücü çıkış yük değerinin 30 ohm'dan 15 ohm' a düşürüldüğü durum için dönüştürücü çıkış gerilimindeki değişimi ve bu durum için yük üzerinden geçen akımın değişimini vermektedir. 30 ohm' luk çıkış yükünde dönüştürücünün çıkış gerilimini 1.2 ms' lik zaman zarfında 400 V sabitlediği gözlenmektedir. Dönüştürücü çıkış yük değeri 5 ms sonra 15 ohm'a düşürüldüğünde 350 V' a düşen dönüştürücü yük gerilimini 0.5 ms' lik bir zaman diliminde tekrar 400 V' a düzeltmektedir.

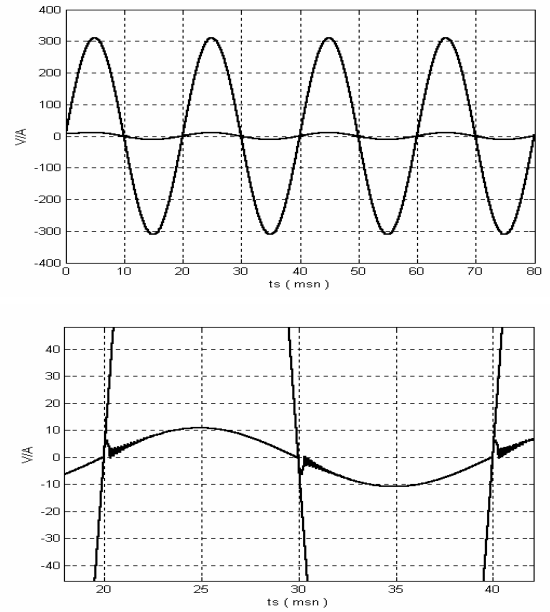
Gerilim mod denetleyicisi kullanılan gerilim yükselten dönüştürücü için; Şekil 23 akü gerilim yükselten dönüştürücü çıkış gerilimini ve çıkış akımını, Şekil 24 akü gerilim yükselten dönüştürücü çıkış yük değerinin 30 ohm'dan 15 ohm' a düşürüldüğü durum için dönüştürücü çıkış gerilimindeki değişimi ve bu durum için yük üzerinden geçen akımın değişimini vermektedir. 30 ohm' luk çıkış yükünde dönüştürücünün çıkış gerilimini 2 ms' lik zaman zarfında 400 V sabitlediği gözlenmektedir. Dönüştürücü çıkış yük değeri 5 ms sonra 15 ohm'a düşürüldüğünde 330 V' a düşen dönüştürücü yük gerilimini 1.3 ms' lik bir zaman diliminde tekrar 400 V' a düzeltmektedir.

Akım mod denetleyicisi kullanılan evirici için; Şekil 25 evirici kontrol katı giriş hatasındaki değişim ile evirici çıkış gerilim ve akımındaki değişimi vermektedir. Hatadaki en fazla değişim ilk periyotta 80 V' larda iken ilerleyen periyotlarda 20 V seviyesine inmektedir. Çıkış gerilim ve akımının tam bir sinüsoidal dalga formuna sahip olduğu gözlenmektedir.

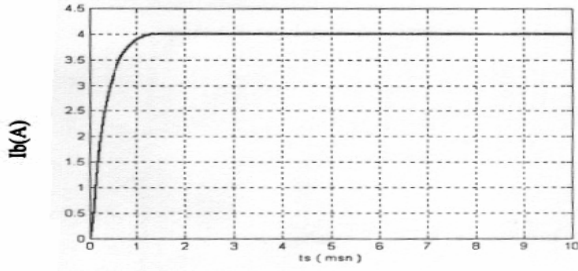
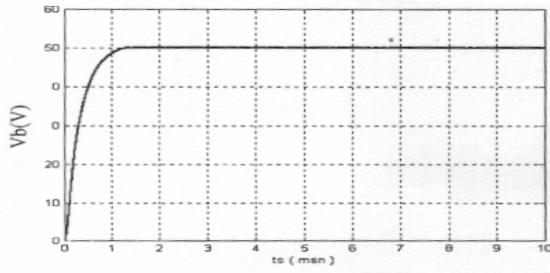
Gerilim mod denetleyicisi kullanılan evirici için Şekil 26 evirici kontrol katmanı giriş hatasındaki değişim ile evirici çıkış gerilim ve akımındaki değişimi vermektedir. Hatadaki değişimin 100 V seviyesinde olduğu ve tepki hızının akım mod denetleyiciye göre daha yavaş olduğu gözlenmektedir. Çıkış gerilim ve akımının sinüsoidal görünümünden uzak bir dalga formu çizdiği görülmektedir.



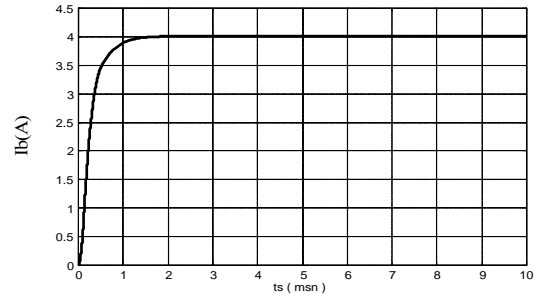
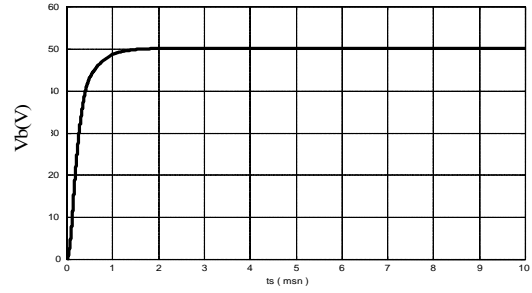
Şekil 15. Ortalama akım kontrol tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiş GFD katı için giriş gerilim ve akım dalga formları



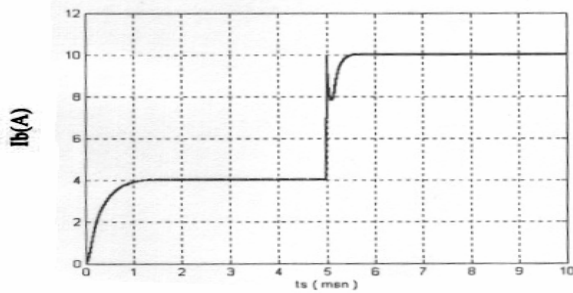
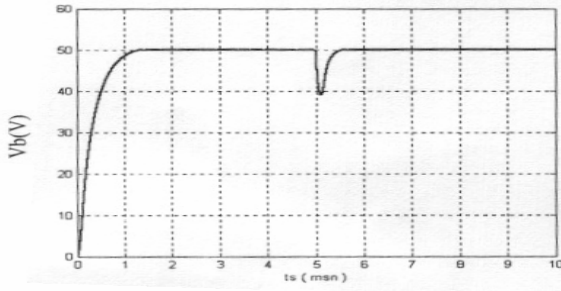
Şekil 16. Histerisiz kontrol tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiş GFD katı için giriş gerilim ve akım dalga formları



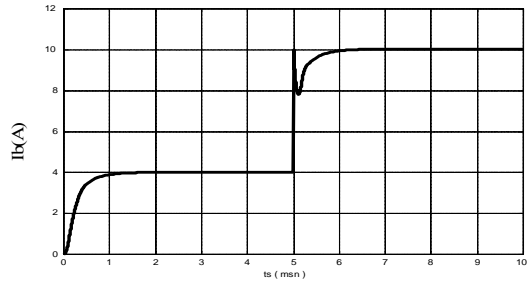
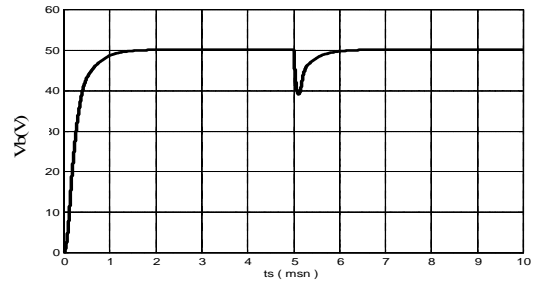
Şekil 17. Akım mod kontrol tekniği kullanılan gerilim düşüren dönüştürücünün çıkış gerilimi ve çıkış akımı



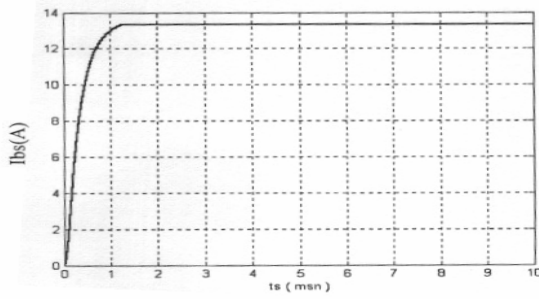
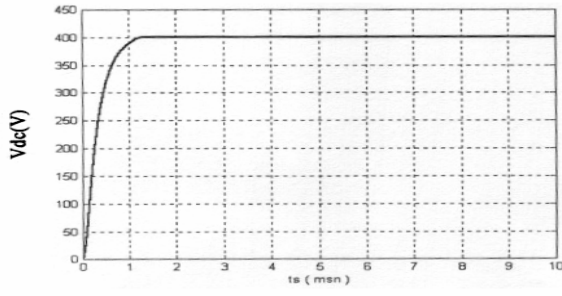
Şekil 19. Gerilim mod kontrol tekniği kullanılan gerilim düşüren dönüştürücünün çıkış gerilimi ve çıkış akımı



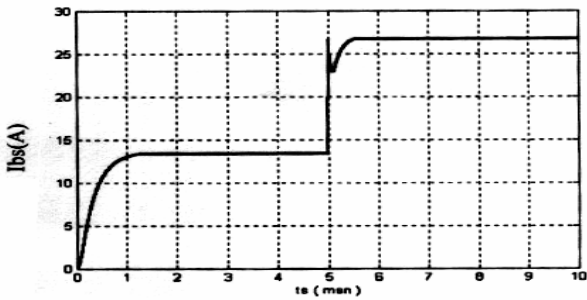
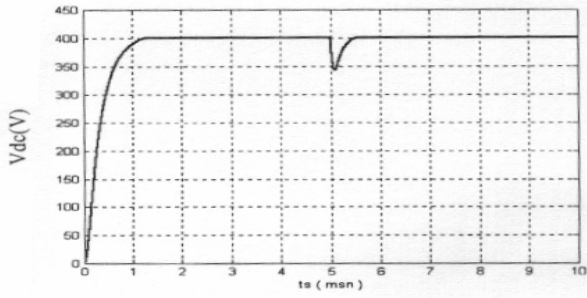
Şekil 18. Akım mod kontrol tekniği kullanılan gerilim düşüren dönüştürücü için yük değişimi sonucu oluşan çıkış gerilimi ve akımı



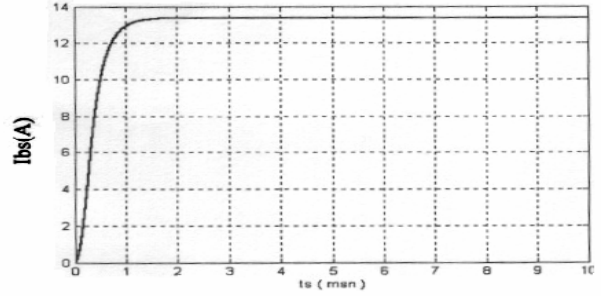
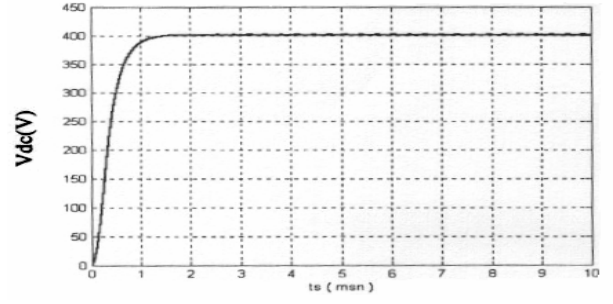
Şekil 20. Gerilim mod kontrol tekniği kullanılan gerilim düşüren dönüştürücü için yük değişimi sonucu oluşan çıkış gerilimi ve çıkış akımı



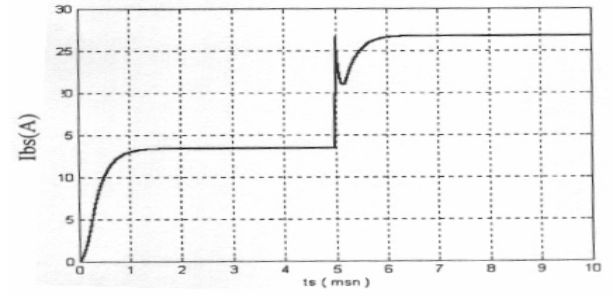
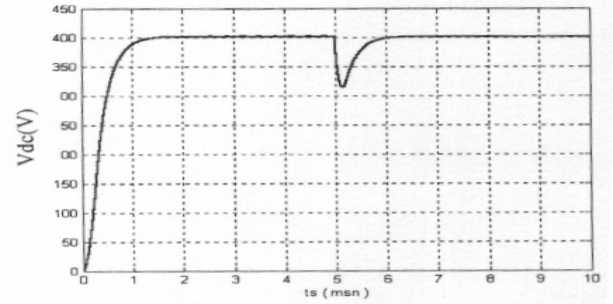
Şekil 21. Akım mod kontrol tekniği kullanılan gerilim yükselten dönüştürücünün çıkış gerilimi ve çıkış akımı



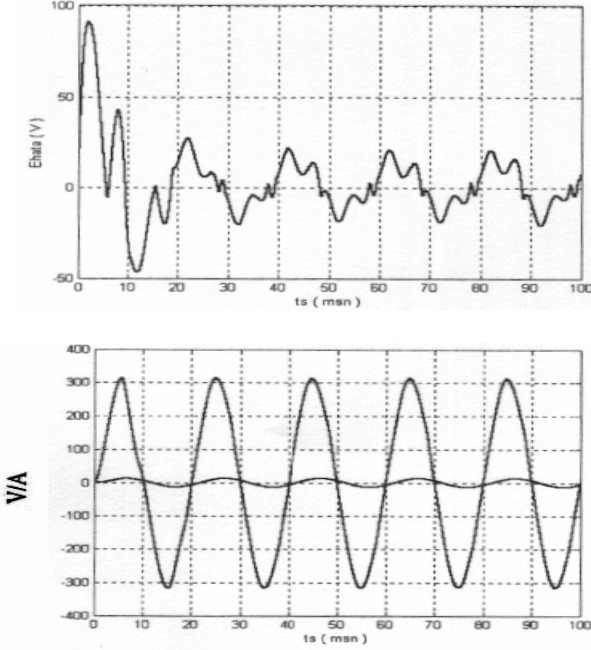
Şekil 22. Akım mod kontrol tekniği kullanılan gerilim yükselten dönüştürücü için yük değişimi sonucu oluşan çıkış gerilimi ve çıkış akımı



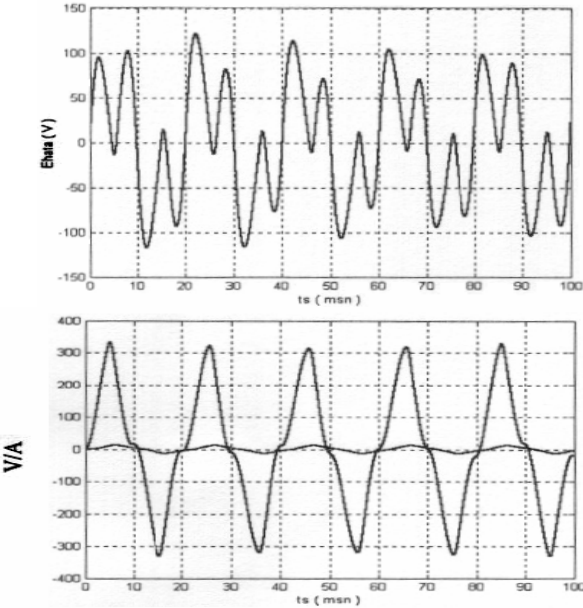
Şekil 23. Gerilim mod kontrol tekniği kullanılan gerilim yükselten dönüştürücünün çıkış gerilimi ve çıkış akımı



Şekil 24. Gerilim mod kontrol tekniği kullanılan gerilim yükselten dönüştürücü için yük değişimi sonucu oluşan çıkış gerilimi ve çıkış akımı



Şekil 25. Akım mod tekniği kullanılan evirici için denetleyici giriş hatasındaki değişim ve eviricinin çıkış akım ve gerilim dalga formları



Şekil 26. Gerilim mod tekniği kullanılan evirici için denetleyici giriş hatasındaki değişim ve eviricinin çıkış akım ve gerilim dalga formları

5. SONUÇ

Bu çalışmada, güç faktörü düzeltmeli bir KGK'nın tasarımını yapmak için, KGK'ların

kontrolunda kullanılan kontrol teknikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve en uygun kontrol teknikleri seçilerek tasarım tamamlanmıştır.

GFD katmanında yapılan simülasyon çalışmalarında ortalama akım kontrol tekniğinin sıfır geçiş noktalarında histerisiz tekniğine göre daha iyi bir güç faktörü düzeltmesi yaptığı gözlenmiştir. KGK'nın akü gerilim yükselten dönüştürücü ve akü şarj katmanı için yapılan simülasyon çalışmaları neticesinde, yük değişimleri karşısında akım mod kontrol tekniğinin gerilim mod kontrol tekniğine göre daha hızlı bir tepki verdiği gözlenmiştir. Evirici katmanında yapılan simülasyon çalışmaları neticesinde ise akım mod kontrol tekniğinin giriş hatasını en aza indirmede, çıkış gerilim ve akımlarını sinüsoidal dalga formuna yaklaştırmada gerilim mod kontrol tekniğine göre daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Kwon, B. H., Choi, Jin-Ha., and Kim Tae-Won, Improved Single-Phase Line-Integrative UPS, IEEE Transaction On Industrial Electronics, vol.48, no.4, 804-811, August 2001.
2. Osterholz H., Simple Fuzzy Control of PWM for a UPS System, INTELEC'95 17th. Telecommunications Energy Conference, 565-570, 1995.
3. Lacey, G., UPS Improves Power Quality, PCIM Europe Conference Proceedings, 1994.
4. Buso, S., Fasolo, S. and Mattavelli, P., Uninterruptible Power Supply Multiloop Control Employing Digital Predictive Voltage and Current Regulators, IEEE Transaction On Industry Applications, vol. 37, no. 6, November / December 2001.
5. Yang, Z., A Novel Technique to Achieve Unity Power Factor and High Quality Waveform in AC-to-DC Converters, IEEE Industry Application Conference, vol.2, 1275-1285, 1998
6. Pressman, A.I., Switching and Linear Power Converter Design, McGraw-Hill, Inc, Newyork, USA