

ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

BİTİRME ÇALIŞMASI

**ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN ÇİFT YÖNLÜ ŞARJ İSTASYONU
DEVRESİ TASARIMI**

DANIŞMAN

Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU

HAZIRLAYAN

Ramazan Berkan TÜT

Muhammed Emin AYKUT

Mahmut GÖRÜR

HAZİRAN 2023

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN ÇİFT YÖNLÜ ŞARJ İSTASYONU
DEVRESİ TASARIMI

BİTİRME ÇALIŞMASI

Ramazan Berkan TÜT, Muhammed Emin AYKUT, Mahmut GÖRÜR

B1901.00002, B1901.00004, B1901.00056

DANIŞMAN

Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU

Bu çalışma .. / .. /20... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

.....
Jüri Başkanı

.....
Üye

.....
Üye

TEŐEKKÖR

Bu bitirme çalıőmasına katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Uğur ARİFOğLU, Sayın Prof. Dr. İrfan YAZICI, Sayın Arő. Gör. Dr. Halime HIZARCI, Sayın Arő. Gör. Kemal KALAYCI ve Sakarya Üniversitesi' ne teőekkör ederiz.

İÇİNDEKİLER

BEYAN	4
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	5
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	6
TABLolar LİSTESİ	9
ÖZET.....	10
BÖLÜM 1. GİRİŞ	11
1.1. Literatür Taraması.....	11
1.2. Yöntem	11
1.3. Analiz	12
1.3.1 Kullanım Alanları:	12
1.3.2 Çalışma Mantığı:.....	12
1.3.2.1 Çift Yönlü Çalışma:	12
1.3.2.2 Topolojide Kullanılan Elemanlar	13
1.3.3.1. Kontrol Edilebilir Anahtarlar	13
1.3.3.2. Güç Kaynakları	13
1.3.3.3. Sürücü Devreleri	13
BÖLÜM 2. ÇOK SEVİYELİ DÖNÜŞTÜRÜCÜLER	15
2.1 Diyot Kenetlemeli (NPC) Çok Seviyeli Dönüştürücü	15
BÖLÜM 3. DİYOT KENETLEMELİ (NPC) DÖNÜŞTÜRÜCÜ KONTROL STRATEJİLERİ	19
3.1 Faz Kilitlemeli Çevrim (PLL) Algoritmaları.....	19
3.1.1 $\alpha\beta$ – Referans Kontrol.....	20
3.1.2 Senkron dq -Referans Eksen Kontrol	21
3.2 Gerilim Yönelimli (VOC) Kontrol	24
BÖLÜM 4. ÇOK SEVİYELİ YÜKSEK ANAHTARLAMA FREKANSLI DGM STRATEJİLERİ	27
4.1 Üç Seviyeli Diyot Kenetlemeli (NPC) Dönüştürücü İçin Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu	28
4.2 UVDGM'nin Üç Seviyeli Diyot Kenetlemeli Dönüştürücüye Uygulanması	28
4.2.1. Üç Seviyeli Dönüştürücüler İçin UVDGM Tekniği.....	29
BÖLÜM 5. ÇİFT AKTİF KÖPRÜ (DUAL ACTIVE BRIDGE)	36
5.1. Çalışma Kronolojisi.....	36

5.2.	Devre Topolojisi	37
5.2.1.	Yüksek Frekans İzolasyon Trafosu.....	37
5.3.	Referans Gerilimi	38
5.3.1.	Sabit Referans Gerilimi	38
5.3.2.	Dinamik Referans Gerilimi.....	38
5.4.	Yön Belirleme	39
5.4.1.	G2V/V2G	39
5.4.2.	Referans Değer Tayini.....	39
5.5.	Belirlenen Yöne Göre Ölçümleri Yönlendirme.....	40
5.6.	PWM Modülasyon	41
5.6.1.	Darbe Genişlik Modülasyonu.....	41
5.7.	Kontrol.....	42
5.7.1.	Duty Cycle Hesabı	42
5.7.2.	Akım Sınırlayıcı Kullanımı	44
5.7.3.	Primer Duty Çıkışı.....	44
5.7.4.	Sekonder Duty Çıkışı	45
5.8.	PWM Yönlendirme.....	45
BÖLÜM 6. UZAY VEKTÖR DGM İLE ÜÇ SEVİYELİ DOĞRULTUCUNUN SİMULİNK BENZETİMİ		46
6.1.	Gerilim ve Akım Kontrolcülerini ile Uzay Vektör DGM'nin Tasarlanması.....	48
6.1.1.	Referans Gerilim Vektörünün Hesaplanması.....	50
6.1.2.	Sektör ve Phi Açısının Hesaplanması.....	51
6.1.3.	Bölge ve Modülasyon İndeksinin (mn) Hesaplanması.....	51
6.1.4.	Anahtarlama Sürelerinin Hesaplanması	52
6.1.5.	Anahtarlama Dizilimlerinin Belirlenmesi	52
BÖLÜM 7. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYON TASARIMININ SİMULİNK BENZETİMİ		54
7.1.	Yön Belirleme	54
7.2.	Referans-Yön Kontrolü	55
7.3.	Yöne Göre Hesap.....	55
7.4.	Simulink ile DAB Kontrol Mekanizması	56
7.5.	PWM Sinyallerinin Simulink Ortamında Yönlendirilmesi.....	56
7.6.	DAB Sonuçlarının Gözlemlenmesi	57
BÖLÜM 8. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYON TASARIMININ DC-DC DAB DEVRE GERÇEKLENMESİ		60
BÖLÜM 9. TARTIŞMA VE FARKLI TOPOLOJİLERİN KARŞILAŞTIRILMASI		63

9.1. Farklı Topolojilerin Karşılaştırılması	63
9.1.1. Tam H Köprü (Full H-Bridge):.....	63
9.1.2. Yarım H Köprü (Half H-Bridge):	63
9.1.3. Push-Pull Devresi:	63
BÖLÜM 10. ŞARJ İSTASYONLARI VE GELECEK DAB KULLANIM ALANLARI	64
10.1. Elektrikli Şarj İstasyonları	64
10.2. Güç Elektroniği Uygulamaları.....	64
10.3. Ses Sistemleri.....	64
10.4. Endüstriyel Kontrol Sistemleri	64
BÖLÜM 11. SONUÇ	65
11.1. Avantajlar	65
11.2. Dezavantajlar	65
11.3. Sonuç.....	65
BÖLÜM 12. KAYNAKLAR.....	67
BÖLÜM 13. ÖZGEÇMİŞ	69

BEYAN

Bitirme çalışması içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, çalışmada yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

İmza :

Ramazan Berkan TÖT

19 / 06/ 2023

İmza :

Muhammed Emin AYKUT

19 / 06/ 2023

İmza :

Mahmut GÖRÜR

19 / 06/ 2023

SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ

DC/DA	: Direct Current / Doğru Akım
AC/AA	: Alternative Current/ Alternatif Akım
THD	: Toplam Harmonik Bozulma
NPC	: Neutral Point Clamped (Nötr Nokta Kenetlemeli)
PLL	: Phase Locked Loop (Faz Kilitlemeli Çevrim)
VOC/GYK	: Voltage Oriented Control/ Gerilim Yönelimli Kontrol
FOC/AYK	: Flux Oriented Control/ Akı Yönelimli Kontrol
DGK	: Doğrudan Gerilim Kontrol
SAYK	: Sanal Akı Yönelimli Kontrol
SA-DGK	: Sanal Akı Doğrudan Gerilim Kontrol
PWM/DGM	: Pulse Width Modulation/ Darbe Genişlik Modülasyonu
SVPWM/ UVDGM	: Space Vector PWM/ Uzay Vektör DGM
DAB	: Dual Active Bridge
FPGA	: Field Programmable Gate Arrays
DSP	: Digital Signal Processing
G2V	: Grid to Vehicle
V2G	: Vehicle to Grid
IGBT	: Insulated-Gate Bipolar Transistor
MOSFET	: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
HF	: High Frequency

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Üç fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli dönüştürücünün devre şeması	15
Şekil 3.1.	DGM kontrol stratejileri	17
Şekil 3.2.	abc referans eksen, durağan $\alpha\beta$ referans eksen, senkron dq referans eksen diyagramı	18
Şekil 3.3.	Clarke dönüşüm	18
Şekil 3.4.	Ters Clarke dönüşüm	19
Şekil 3.5.	Park Dönüşümü	20
Şekil 3.6.	Ters-Park dönüşümü.....	20
Şekil 3.7.	GYK blok şeması	22
Şekil 4.2.1.	Üç seviyeli diyot kenetlemeli dönüştürücünün vektör diyagramı.....	27
Şekil 4.2.2.	a) Birinci sektör için referans vektör bileşenleri b) Referans vektör bileşenlerinin bölge analizi	30
Şekil 4.2.3.	Sektör 1 için anahtarlama sinyallerinin dalga şekilleri	31
Şekil 5.1.	DC-DC DAB Devre Şema	35
Şekil 5.2.	DAB HF İzolasyon Trafosu	36
Şekil 5.3.	DAB Yön Şeması.....	37
Şekil 5.4.	Referans-Yön Şeması	38
Şekil 5.5.	Yöne Göre Hesap Şeması.....	38
Şekil 5.6.	Dual Active Bridge Kontrol Şeması	40
Şekil 5.7.	Duty Cycle Hesap Gösterimi	42
Şekil 5.8.	Akım Sınırlayıcı	42
Şekil 5.9.	Primer Duty Çıkışları.....	42

Şekil 5.10.	Sekonder Duty Çıkışı.....	43
Şekil 5.11.	DAB PWM Yönlendirme Şema.....	43
Şekil 6.1.	Uzay vektör DGM tekniğinin akış diyagramı	44
Şekil 6.2.	Üç seviyeli uzay vektör DGM doğrultucunun MATLAB/ Simulink benzetimi	45
Şekil 6.3.	İç akım ve dış gerilim kontrol döngüleri	45
Şekil 6.4.	a) $\alpha\beta$ dönüşümü (b) dq dönüşümü	46
Şekil 6.5.	(a) Dış gerilim kontrolü (b) iç akım kontrolü (decoupling)	47
Şekil 6.6.	Uzay vektör DGM (UVDGM) blok şeması	48
Şekil 6.7.	Referans gerilim vektörünü (V_{ref}) bulmak için blok şeması	48
Şekil 6.8.	Sektör ve ϕ açısını bulmak için blok şeması	49
Şekil 6.9.	Bölge ve modülasyon indeksinin tespitini yapan blok şeması	50
Şekil 6.10.	Anahtarlama sürelerinin hesaplanması için oluşturulan kod blok şeması	50
Şekil 6.11.	(a) Anahtarlama sinyallerinin oluşturulması (b) Basitleştirilmiş anahtarlama dizilim algoritması	51
Şekil 7.1.	DC-DC DAB Devre Şema	52
Şekil 7.2.	DC-DC DAB Devre Simulink	52
Şekil 7.3.	DAB Yön Belirleme Simulink	52
Şekil 7.4.	Referans-Yön Kontrolü Simulink	53
Şekil 7.5.	Yöne Göre Hesap Simulink	53
Şekil 7.6.	Dual Active Bridge Simulink Kontrolü	54
Şekil 7.7.	DAB Scope Simulink	54
Şekil 7.8.	DAB PWM Yönlendirme Simulink	55
Şekil 7.9.	DAB IGBT PWM Tetiklemeler	55
Şekil 7.10.	DAB Primer-Sekonder V-I Grafikleri.....	55

Şekil 8.1.	IGBT ve Sürücüleri- 1	60
Şekil 8.2.	IGBT ve Sürücüleri- 2	61
Şekil 8.3.	IGBT ve Sürücüleri- 3.....	61
Şekil 8.4.	Dual Active Bridge	62

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Üç fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli dönüştürücünün anahtarlama durumları	17
Tablo 2.2.	Çok seviyeli dönüştürücü topolojilerinin ana karakteristik özellikleri	18
Tablo 3.2.	Kontrol stratejilerinin karşılaştırılması.....	26
Tablo 4.2.1.	Sektör belirleme.....	30
Tablo 4.2.2.	Tüm Sektörlerin Anahtarlama Sürelerinin Hesabı.....	33
Tablo 4.2.3.	Referans vektörün bulunduğu sektöre ve bölgeye göre anahtarlama dizileri	35

ÖZET

Gelişen güç elektroniği elemanlarıyla birlikte doğrultucu sistemlerinin performanslarının iyileştirme çabaları önem kazanmıştır. Bu nedenle, çok seviyeli doğrultucu topolojisi olarak adlandırılan devre yapıları geliştirilmiştir. Çok seviyeli doğrultucu minimum üç ve daha fazla seviyeler için geçerlidir. Bu çalışmada kullanılacak olan üç seviyeli nötr noktası kenetlenmiş (NNK - NPC) doğrultucu DA forma daha yakın çıkış gerilimi, az harmonik içeren sinüzoidal üç faz şebeke akımı, birim güç faktörü, çift yönlü güç akışı, her bir anahtar üzerine düşen düşük gerilim ve anahtarlama kaybı gibi üstün olduğu durumlardan dolayı gittikçe daha fazla araştırmacının ilgi odağı olmuştur. Bu çalışmada doğrultucu bölümünde PFC (Power Factor Correction) olarak NPC dönüştürücünün çalışma prensibi, kontrol algoritması, PWM stratejileri hakkında bilgiler verilmiştir. İlave olarak çok seviyeli dönüştürücülerde kullanılan kontrol stratejilerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Çok seviyeli doğrultucuların yanı sıra darbe genişlik modülasyon (DGM-PWM) teknikleri de gelişme göstermiştir. Dönüştürücüler için daha çok tercih edilen sinüzoidal DGM (SDGM) ve harmonik eliminasyonlu DGM (HEDGM) gibi DGM teknikleri yerlerini mikroişlemciler ile uygulanması daha kolay olan uzay vektör DGM (UVDGM) tekniğine bırakmıştır. UVDGM tekniği hakkında gerekli matematiksel hesaplamalar ve uygulama adımları detaylı olarak açıklanmıştır. Nihayetin fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli doğrultucunun modeli kurulup, uzay vektör DGM ile kontrolü sağlanarak sinüzoidal bir şebeke akımı ile DA bir çıkış gerilimi elde edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmanın ikinci kısmında, Dual Active Bridge devre teknolojisi ele alınmaktadır. Dual Active Bridge devresinin, elektrikli şarj istasyonlarından endüstriyel kontrol sistemlerine kadar birçok uygulama alanında gelecekte önemli bir rol oynaması beklenmektedir. Bu makalede, Dual Active Bridge devresinin çalışma prensipleri, malzemeleri ve kontrol algoritması hakkında detaylı bir inceleme sunulmaktadır. Ayrıca, diğer güç elektroniği topolojileriyle karşılaştırılması ve potansiyel kullanım alanları da tartışılmaktadır.

Dual Active Bridge dönüştürücüsü, bir doğru akım (DC) kaynağından bir doğru akım (DC) çıkışı için kullanılan bir güç elektroniği dönüştürücüsüdür. Ana güç parçası iki yarıda yer alan iki adet tam darbe kontrollü köprüdür.

Dual Active Bridge, Yüksek Frekans İzolasyon trafosu kullanarak DC-DC dönüştürme işlemini sağlar ve yüksek verimlilik, yüksek güç yoğunluğu ve yüksek frekanslı işleme özellikleri ile bilinir.

Bu dönüştürücü Sürdürülebilir Enerji Yönetimi (SEM) uygulamaları gibi birçok alanda kullanılır. Örneğin, Güneş panelleri ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin depolanması ve kullanımı için kullanılabilir. Ayrıca, endüstriyel uygulamalarda, telekomünikasyon, konut ve ticari binalarda kullanılabilir.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Literatür Taraması

Denetimli doğrultucu tekniği olan darbe genişlik modülasyonlu (DGM - PWM) doğrultucu, düşük harmonikli şebeke akımı, çift yönlü güç akışı, ayarlanabilir çıkış gerilimi ve yüksek güç faktörü gibi özelliklerinden dolayı diyotlu (kontROLSÜZ) doğrultucuya göre üstündür. Bu tezde çalışılacak olan üç seviyeli nötr nokta kenetlemeli (NNK - NPC) doğrultucuya dayanan DGM'li doğrultucu yarı iletken anahtarlar üzerinde oluşan daha düşük gerilim stresi, anahtarlama frekansı ve AA tarafında oluşan daha az harmonik içeriğinden dolayı yüksek güçlü uygulamalar için iki seviyeli DGM'li doğrultucuya göre daha uygundur. Önceki çalışmalar, Dual Active Bridge devresinin birçok uygulama alanında başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Özellikle elektrikli araç şarj istasyonlarında, hızlı ve etkili şarj sağlamak için Dual Active Bridge devresi tercih edilen bir seçenektir. Kontrol edilebilir anahtarların kullanılması, enerji verimliliğini artırırken, güç faktörünün iyileştirilmesini sağlar. Ayrıca, Dual Active Bridge devresi endüstriyel kontrol sistemlerinde, güç kaynaklarında ve ses sistemlerinde de başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, mevcut literatürde Dual Active Bridge devresinin belirli kullanım alanlarına yönelik daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

1.2. Yöntem

Dual Active Bridge, iki adet kontrol edilebilir anahtar ve bu anahtarların üzerinde bulunduğu güç kaynaklarından oluşan bir devre yapısına sahiptir. Genellikle bu anahtarlar, transistörler (MOSFET veya IGBT gibi) veya yarıiletken anahtarlar olarak kullanılır. Köprünün temel amacı, akımın ve gerilimin istenen şekilde yönlendirilmesini sağlamaktır. İki anahtarın kullanılması, enerji verimliliği açısından büyük bir avantaj sağlar. İstenilen yönde akım geçişi sağlandığında, enerji kaybı minimize edilir ve verimlilik artar.

Dual Active Bridge, geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Özellikle güç dönüşüm süreçlerinde kullanıldığında, yüksek verimlilik ve güç kontrolü sağlar. Alternatif akım (AC) gücün doğru akım (DC) güce dönüştürülmesi gereken uygulamalarda sıklıkla tercih edilir. Bunun yanı sıra, motor sürücüler, güç kaynakları, endüstriyel otomasyon sistemleri ve ses sistemleri gibi birçok alanda kullanılabilir. Dual Active Bridge, motor hız kontrolü ve regülasyonu gibi uygulamalarda da etkili bir şekilde kullanılabilir. Kontrol edilebilir anahtarların hassas kontrolü, motor performansını artırır ve enerji kaynaklarının verimli kullanımını sağlar.

Bu çalışmada, Dual Active Bridge devresinin çalışma prensiplerini ve performansını değerlendirmek için deneysel bir yöntem kullanılmıştır. Kontrol algoritması, bir mikrodenetleyici üzerinde gerçekleştirilmiş ve kontrol sinyalleri doğru zamanlamayla üretilmiştir.

Deneyler için bir prototip devre oluşturulmuş ve çeşitli parametreler üzerinde testler yapılmıştır. Akım ve gerilim değerleri ölçülerek devrenin güç verimliliği ve performansı analiz edilmiştir.

1.3. Analiz

Dual Active Bridge (DAB), güç elektroniği alanında kullanılan bir dönüştürücü topolojisidir. Çalışma mantığı, birincil ve ikincil tarafı olan iki ayrı aktif köprüyü içermesidir. Bu yapı, enerji akışını çift yönlü olarak kontrol etmek ve enerji dönüşümünü gerçekleştirmek için kullanılır. Bu makalede Dual Active Bridge hakkında daha detaylı bir inceleme sunulmaktadır.

1.3.1 Kullanım Alanları:

Dual Active Bridge, geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bazı örnekler şunlardır:

- Yenilenebilir enerji sistemleri: Güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen enerjiyi şebekeye bağlamak için kullanılır.
- Elektrikli araçlar: Elektrikli araçların şarj devreleri için kullanılır. Yüksek güç dönüştürme verimliliği ve yüksek frekanslı anahtarlama, hızlı ve etkili şarj sağlar.
- Endüstriyel uygulamalar: Güç elektroniği, endüstriyel sistemlerde enerji dönüşümü için yaygın olarak kullanılır.

1.3.2 Çalışma Mantığı:

Dual Active Bridge, yüksek frekanslı anahtarlama teknikleri kullanarak enerji akışını kontrol eder. Birincil taraf, doğru akım (DC) kaynağından gelen enerjiyi yüksek frekanslı alternatif akıma (AC) dönüştürür. İkincil taraf ise bu yüksek frekanslı AC'yi hedeflenen voltaj ve akım düzeylerine dönüştürür. İki aktif köprü, enerji akışını çift yönlü olarak yönetir ve güç dönüşümünü gerçekleştirir.

1.3.2.1 Çift Yönlü Çalışma:

Dual Active Bridge, enerji akışını çift yönlü olarak yönetebilir. Bu özelliği, enerji akışının hem birincil taraftan ikincil tarafa hem de ikincil taraftan birincil tarafa gerçekleşebilmesini sağlar. Bu, enerji geri beslemesini mümkün kılar ve sistemde enerji yönetimini optimize eder.

1.3.2.2 Topolojide Kullanılan Elemanlar

Dual Active Bridgedde kullanılan anahtar bileşenler güç yarıiletken anahtarları ve yüksek frekanslı transformatörlerdir. Güç yarıiletken anahtarları, enerji akışını kontrol etmek ve anahtarlama işlemini gerçekleştirmek için kullanılır. Yüksek frekanslı transformatörler ise enerji dönüşümünü sağlar. Günümüzde, güç elektroniği uygulamalarında yüksek verimlilik, hızlı tepki süresi ve doğru güç yönetimi önemli bir gereklilik haline gelmiştir. Bu nedenle, çeşitli güç elektroniği topolojileri araştırılmakta ve geliştirilmektedir. Dual Active Bridge devresi, kontrol edilebilir anahtarlar ve uygun bir kontrol algoritmasıyla bu gereksinimleri karşılamak için etkili bir çözüm sunmaktadır. Elektronik devrelerin güç yönetimi ve sinyal işleme gereksinimleri, gelişen teknolojiyle birlikte artmaktadır. Bu nedenle, daha verimli ve etkili güç dönüşümü ve sinyal amplifikasyonu sağlayan bileşenlerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu noktada, Dual Active Bridge devre topolojisi devreye girer. Dual Active Bridge, kontrol edilebilir anahtarların kullanıldığı bir yapıya sahip olan ve güç elektroniği uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir devre topolojisidir. Bu çalışmada, Dual Active Bridge' in çalışma prensiplerini, avantajlarını ve uygulama alanlarını detaylı bir şekilde ele alacağız.

1.3.3. Malzemeler ve Sinyal Tetikleme Kontrol Algoritması

Dual Active Bridge devresi genellikle şu malzemeler ve bileşenler kullanılarak oluşturulur:

- 1.3.3.1. Kontrol Edilebilir Anahtarlar:** Dual Active Bridge' de, tipik olarak transistörler (MOSFET veya IGBT gibi) veya yarıiletken anahtarlar kullanılır. Bu anahtarlar, akımın akışını kontrol eder ve sinyallerin yönlendirilmesini sağlar. Transistörler veya yarıiletken anahtarlar, düşük geçiş direnci, hızlı tepki süresi ve yüksek çalışma frekansları gibi avantajlara sahiptir.
- 1.3.3.2. Güç Kaynakları:** Dual Active Bridge' de, anahtarların üzerinde bulunduğu güç kaynakları kullanılır. Bu kaynaklar, genellikle DC kaynaklar veya pil sistemleri olabilir. Güç kaynakları, devrenin güç taleplerini karşılamak ve anahtarların doğru çalışmasını sağlamak için yeterli voltaj ve akım sağlamalıdır.
- 1.3.3.3. Sürücü Devreleri:** Dual Active Bridge' deki kontrol edilebilir anahtarları sürmek için sürücü devreleri kullanılır. Sürücü devreleri, anahtarların tetiklenmesi ve güvenli bir şekilde çalışması için gerekli kontrol sinyallerini üretir. Bu devreler, düşük giriş gecikmesi, yüksek sürme yeteneği ve koruma özellikleri gibi özelliklere sahip olmalıdır.

Sinyal tetikleme ve kontrol algoritması ise Dual Active Bridge' yi yönetmek ve istenen işlevleri gerçekleştirmek için kullanılır. Bu algoritma, kontrol sinyallerinin üretilmesi, anahtarların

açılma ve kapanma zamanlarının belirlenmesi ve güç akışının doğru yönlendirilmesi gibi işlemleri içerir. Bu algoritma genellikle mikrodenetleyiciler, DSP' ler (Dijital Sinyal İşleme) veya FPGA' lar (Field Programmable Gate Arrays, Alan Programlanabilir Kapı Dizisi) gibi programlanabilir cihazlar üzerinde gerçekleştirilir. Kontrol algoritması, istenen çıkış performansını ve güvenliğini sağlamak için geliştirilmelidir ve genellikle geri besleme döngüleri veya modülasyon teknikleri kullanır.

Dual Active Bridge de kullanılan malzemeler ve kontrol algoritması, devrenin performansını, güç verimliliğini ve güvenliğini etkileyen önemli faktörlerdir. Bu bileşenlerin doğru seçimi ve tasarımı, istenen uygulama gereksinimlerini karşılamak için büyük önem taşır.

BÖLÜM 2. ÇOK SEVİYELİ DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Çok seviyeli dönüştürücüler, aynı anahtarlama frekansları için iki seviyeli dönüştürücülere göre daha iyi çıkış dalga şekillerine sahiptirler. Dolayısıyla bu özellik anahtarlama frekansı artırılmadan çıkış gerilimi dalga şeklindeki harmoniklerin düşük seviyede tutulabilmesine olanak sağlar. Çok seviyeli dönüştürücülerde her bir seviye artışıyla birlikte çıkış gerilim dalga şekli biraz daha sinüzoidal dalga şekline yakınlaşmaya başlar. Ek olarak, çok seviyeli dönüştürücülerde anahtar üzerindeki gerilim stresleri iki seviyeli dönüştürücülere göre daha az olur [1]. Çok seviyeli dönüştürücülerde en düşük seviye sayısı üçtür. Dönüştürücünün seviye sayısı arttıkça çıkış dalga şeklinin harmonik bozulması azalmaktadır. Seviye sayısı sonsuza götürdüğümüzde çıkış geriliminin “Toplam Harmonik Bozulması (THD)” sıfıra gitmektedir. Fakat, seviye sayısı arttıkça dönüştürücünün denetiminde karmaşıklık ve çıkış geriliminde dengesizlik problemlerinin görülebilmesine olanak sağlayabilmektedir. Son yıllarda çok seviyeli dönüştürücülerin yüksek gerilim ve güç uygulamalarında kullanılmalarında büyük bir artış meydana gelmiştir. Çok seviyeli dönüştürücüler değirmen, pompa, devre soğutucuları, sürücü sistemleri, statik VAR kompensatörleri, güç sistemleri vb. uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Çok seviyeli dönüştürücülerin avantajları birkaç madde halinde sıralanmak istenirse;

- Dönüştürücüde çıkış geriliminin seviye sayısı arttıkça “THD (Toplam Harmonik Bozulma)” azalmakta ve seviye sayısı sonsuza ulaştığında THD sıfır olmaktadır.
- Giriş akımlarındaki bozulmalar oldukça küçüktür.
- Çok seviyeli dönüştürücülerin hızlı dinamik cevabı, çıkışta daha büyük gerilim seviyelerinde anahtarlama yapılarak elde edilebilir.
- Farklı DA gerilimler elde edilebileceğinden dolayı kontrol düzenekleri dönüştürücülerin uygulamasına bağlı olarak değişebilir.

Bununla birlikte, çok seviyeli dönüştürücülerde gerçekleştirilebilir seviye sayısı; gerilim dengesizlik problemi, anahtarların gerilim tutma kapasitesi ile sınırlıdır. Çok seviyeli dönüştürücülerin üç farklı devre topolojisi vardır [2]. Bunlar;

- Diyot-kenetlemeli
- Kondansatör-kenetlemeli,
- Kaskat çok seviyeli dönüştürücüler olarak sıralanabilir.

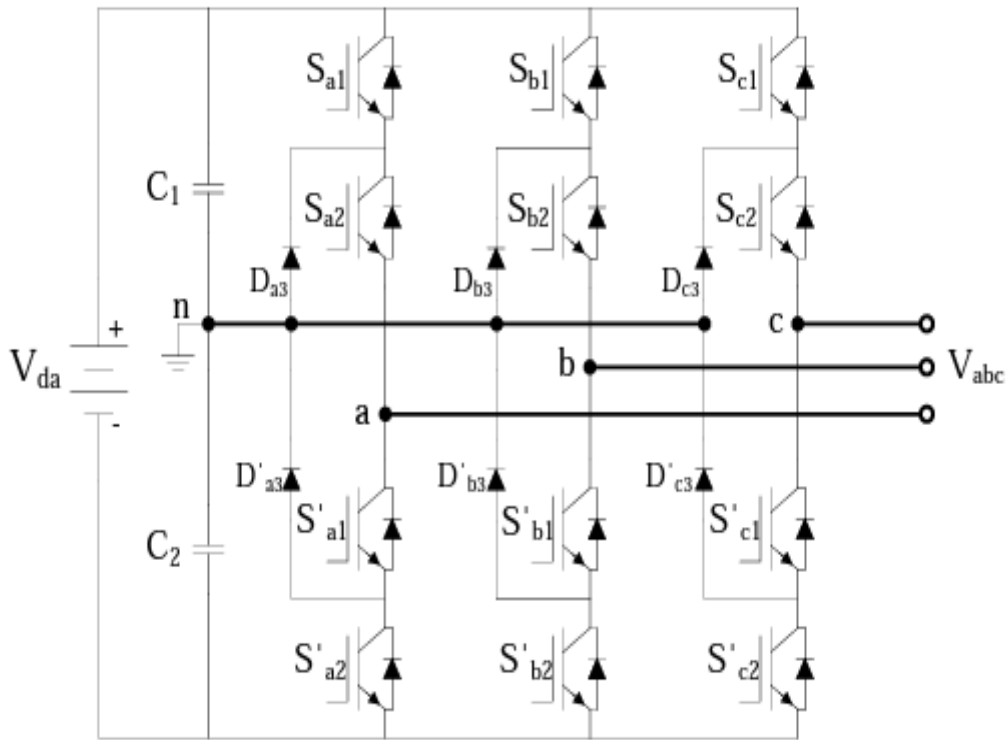
Bu çalışmada çok seviyeli dönüştürücü topolojilerinden; diyot kenetlemeli dönüştürücünün kullanılması uygun görülmüştür.

2.1 Diyot Kenetlemeli (NPC) Çok Seviyeli Dönüştürücü

80’li yıllardan bugüne, üç seviyeli diyot kenetlemeli dönüştürücü en pratik ve geniş ölçüde tercih edilen çok seviyeli dönüştürücü topolojisi olmuştur. Bu dönüştürücü devre yapısı ile üç, dört veya beş seviyeli olarak gerilim elde edilebilmesine rağmen çoğunlukla nötr noktası

kenetlemeli (NPC) olarak bilinen üç seviyeli devre yapısı, yüksek güç orta gerilim sürücülerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [3]. Diyot kenetlemeli çok seviyeli dönüştürücüler kenetleme diyotları ve kaskat bağlanan DA kapasiteleri ile çok seviyeli gerilim dalga şekli üretirler [1]. DA barası üzerinde $n-1$ adet kapasite kullanılarak n seviyesine ulaşılır.[4]. Bu seri kondansatörler, ana DA gerilimden çok seviyeli çıkış gerilimi elde etmek için kullanılır. Ayrıca her faz için gerekli olan kenetleme diyotlarının sayısı $(n-1).(n-2)$ olmaktadır [4].

Şekil 2.1'de üç fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli dönüştürücünün devre şeması ve Tablo 2.1'de ise a-fazının anahtarlama durumları ve buna karşılık gelen çıkış gerilim seviyeleri verilmiştir. Bu devreyi geleneksel iki seviyeli eviriciden ayıran elemanlar D_{a3} ve D'_{a3} diyotlarıdır. Bu iki diyot, anahtar gerilimini DA geriliminin yarısına kenetler. Tablo 2'de '1' durumu anahtarın iletimde, '0' ise anahtarın kesimde olduğunu göstermektedir. İki kondansatörün orta noktası olan 'n', nötr nokta olarak tanımlanmıştır. Bu şekilde Van çıkış gerilimi $[V_{da}/2, 0, -V_{da}/2]$ olarak üç seviyeye sahip olur. S_{a1} - S'_{a1} ve S_{a2} - S'_{a2} anahtarları tümleyen anahtar çiftleridir. Tümleyen anahtar çiftlerinden biri iletimde ise diğeri mutlaka kesimde olmaktadır [5].



Şekil 2.1 Üç fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli dönüştürücünün devre şeması [6].

Çıkış Gerilimi V_{an}	Anahtarlama Durumları			
	S_{a1}	S_{a2}	S'_{a1}	S'_{a2}
$+V_{da}/2$	1	1	0	0
0	0	1	1	0
$-V_{da}/2$	0	0	1	1

Tablo 2.1 Üç fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli dönüştürücünün anahtarlama durumları

Şekil 2.1’de gösterilen üç seviyeli topoloji, iki seviyeli topolojilere göre birkaç farklı avantaja sahiptir [7]:

- Anahtarlar üzerine düşen gerilim DA hat geriliminin yarısıdır ($V_{da}/2$).
- Üç seviyeli topolojide kullanılan prensipler, n seviyeli topoloji içinde genelleştirilebilir.

Yukarıda sayılan üstünlüklere rağmen, çok seviyeli bu topolojinin yüksek güç dönüştürücü uygulamalarında aşağıda sayılan bazı teknik zorluklar ortaya çıkmaktadır [7]:

- Bu topoloji, tam yük akımını taşıyabilen ve şiddetli geri dönüş stresine maruz kalabilen yüksek hızlı kenetleme diyotlarına ihtiyaç duyar. Bu problemi hafifletmek için bazı önlemler alınmaya çalışılsa da konu ciddiyetini korumaya devam etmektedir.
- n seviyeli dönüştürücü için, her bir faz bacağında $2(n - 1)$ anahtar kullanılması maliyet artışına sebep olur.
- Üç seviyeli topolojiden daha farklı bir topolojiye sahip olan n seviyeli bir / dönüştürücüdeki kenetleme diyotları, $V_{da} (n - 2) / (n - 1)$ değerinde bir gerilim stresine maruz kalırlar.
- Üç seviyeli topolojideki seviyeden daha fazla seviyeye sahip dönüştürücüler için, kapasitelerin yük dengesini sürdürme problemi, hala üstünde çalışılan bir konu olmaya devam etmektedir.

Topoloji	Seviye	Anahtar sayısı	Diyot sayısı	Kenetleme Diyot sayısı	DA hat kondansatörleri	Gerilim dengeleme kap.
Diyot Kenetlemeli Dönüştürücü	3	12	12	6	2	0
	4	18	18	12	3	0
	5	24	24	18	4	0
	n	6(n-1)	6(n-1)	6(n-2)	n-1	0
Kapasite Kenetlemeli Dönüştürücü	3	12	12	0	4	3
	4	18	18	0	7	9
	5	24	24	0	10	18
	n	6(n-1)	6(n-1)	0	n-1	$3(n-1)(n-2)/2$
Kaskat H-Köprü Dönüştürücü	3	12	12	0	3	0
	4	18	18	0	4	0
	5	24	24	0	6	0
	n	6(n-1)	6(n-1)	0	$3n/2-1.5(\text{tek})$ $3n/2-2(\text{çift})$	0

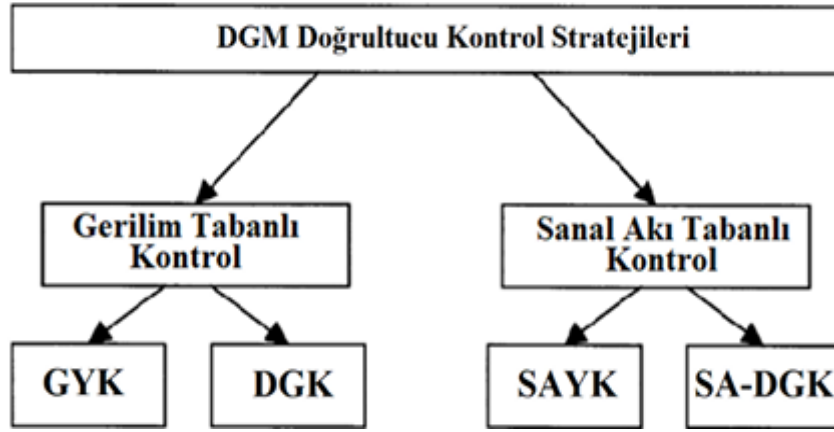
Tablo 2.2 Çok seviyeli dönüştürücü topolojilerinin ana karakteristik özellikleri

Diyot kenetlemeli dönüştürücünün üstünlükleri, diğer çok seviyeli dönüştürücülere kıyasla aşağıdaki gibi sıralanabilir [8]:

- Daha az sayıda kondansatör kullanılır.
- Bu topoloji fazladan kenetleme diyotları gerektirse de genellikle az sayıda reaktif bileşen oluşturması nedeniyle maliyet açısından daha tercih edilebilirdir.
- Tek bir DA hat gerilimine bağlanabilir. İlave olarak, kapasite kenetlemeli dönüştürücü de bu avantaja sahiptir. Kaskat H-köprü dönüştürücü ise izole edilmiş çoklu DA güç kaynağı gerektirdiği için, bu avantaja sahip değildir.

BÖLÜM 3. DİYOT KENETLEMELİ (NPC) DÖNÜŞTÜRÜCÜ KONTROL STRATEJİLERİ

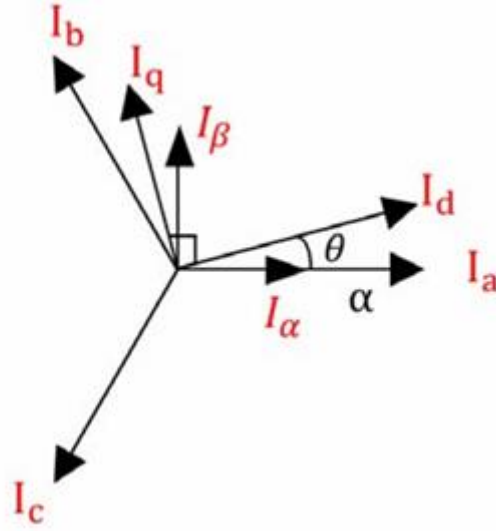
Bu bölümde, diyot kenetlemeli dönüştürücü için uygulanacak kontrol sistemi uygulamalarına değinilmiştir. Üç seviyeli dönüştürücünün kontrolü için çeşitli kontrol stratejileri öne çıkmaktadır. Bu kontrol stratejileri, yüksek güç faktörü ve sinüzoidal giriş akım elde etmek için kullanılmasına rağmen bazı konularda farklılık gösterirler. Şekil 3.1’te gösterildiği gibi Darbe Genlik Modülasyonu (DGM) kontrol metotları genel olarak gerilim tabanlı ve sanal akı tabanlı olarak sınıflandırılabilir. Günümüzde, özellikle iç akım kontrol döngüsü aracılığıyla, yüksek dinamik ve statik performansı garanti eden gerilim yönelimli kontrol (GYK - VOC) yöntemi daha çok tercih edilmeye başlanmış ve bu çalışmada GYK kontrol yönteminin kullanımı uygun görülmüştür.



Şekil 3.1 DGM kontrol stratejileri

3.1 Faz Kilitlemeli Çevrim (PLL) Algoritmaları

Gerçek zamanlı kontrol algoritmasının donanım yapısında, Clarke ve Park dönüşümleri, PLL algoritmaları, matematiksel işlemler, PWM teknikleri gibi pek çok sistem bulunur. Sistemin şebekeye senkronizasyonu için PLL algoritmaları kullanılır. Sistemin kontrol metodunun temelini oluşturan üç referans eksen tanımlanmıştır. Bu kontrol yapıları sırasıyla abc referans eksen, durağan referans eksen ve senkron dq referans eksen olarak inceleyebiliriz. Şekil 3.2’de PLL yapısı içerisinde bulunan döngülerin genel diyagramı gösterilmiştir.

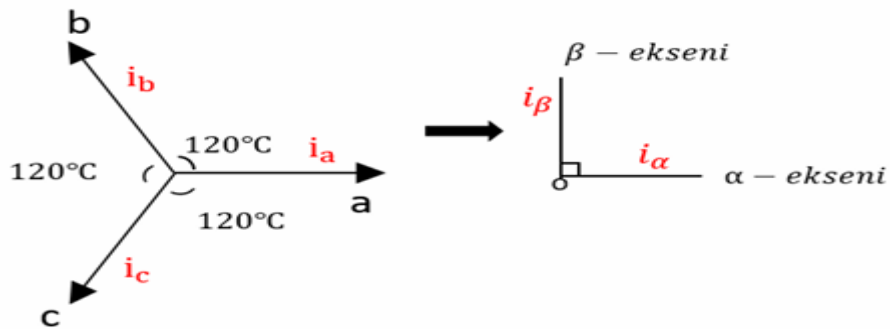


Şekil 3.2 abc referans eksen, durağan $\alpha\beta$ referans eksen, senkron dq referans eksen diyagramı

Yapılan matematiksel dönüşümler ile üç boyutlu sistemden Clarke dönüşümleri ile iki boyutlu eksene ve daha sonra Park dönüşümleri ile $\alpha\beta$ ekseninden dq eksenine geçilir. Uygulanan bu dönüşümler ile oluşturulan kontrol sistemleri şebeke frekansı ve güç faktörü hakkında bilgisi alınmasını sağlar.

3.1.1 $\alpha\beta$ – Referans Kontrol

abc- referans eksenden $\alpha\beta$ -referans eksene geçilmesi Clarke dönüşümü olarak adlandırılır. Üç seviyeli evirici-doğrultucu sistemler için kullanılan PLL algoritmasında üç fazlı sistemden iki fazlı ortogonal sisteme geçmek için bu dönüşüm kullanılır. Clarke dönüşüm diyagramı Şekil 3.3'te verilmiştir



Şekil 3.3 Clarke dönüşüm

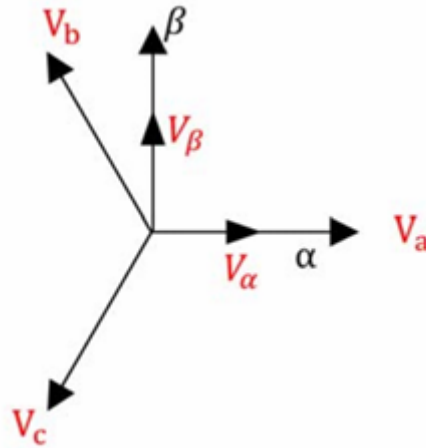
Dönüşüm ile ilgili simülasyonlarda kullanılan matematiksel denklem aşağıda verilmiştir;

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} 1 & -0.5 & -0.5 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}$$

Dengeli üç fazlı bir sistemde abc fazı akımlarının toplamı sıfır (0)'a eşittir. Dengeli bir sistem düşünüldüğünde, γ fazı 0'a eşittir. Dönüşümü biraz daha basite indirgenirse;

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} 1 & -0.5 & -0.5 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{pmatrix}$$

PLL algoritması oluşturulurken Clarke ve Park dönüşümleri kullanılır, sistemin PWM referans gerilimlerinin oluşturulmasında Ters Clarke ve Ters Park yöntemlerinden faydalanılır. abc ekseninden $\alpha\beta$ -eksenine geçildiği gibi bu işlemin terside gerçekleştirilebilir. Ters Clarke dönüşümü olarak adlandırılan bu yöntem için aşağıdaki denklemler kullanılabilir. Aşağıda Ters Clarke dönüşüm diyagramı Şekil 3.4'te verilmiştir.

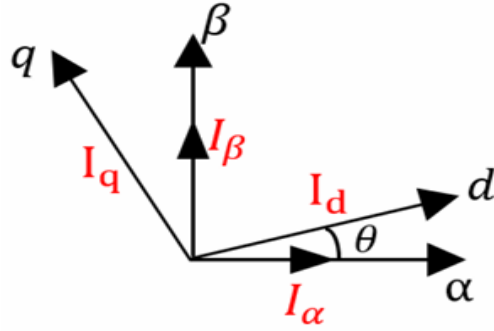


Şekil 3.4 Ters Clarke dönüşüm.

3.1.2 Senkron dq -Referans Eksen Kontrol

Kullanılan PLL yapısıyla ilgili diğer bölüm ise dq-referans eksen kontrolüdür. Bu kontrol, aynı zamanda Park dönüşümü olarak da bilinmektedir. Bu kontrol yapısında $\alpha\beta$ ekseninden dq eksenine geçilmektedir. Bu sayede sistem şebeke frekansına senkronize edilir. Bunda dolayı bu

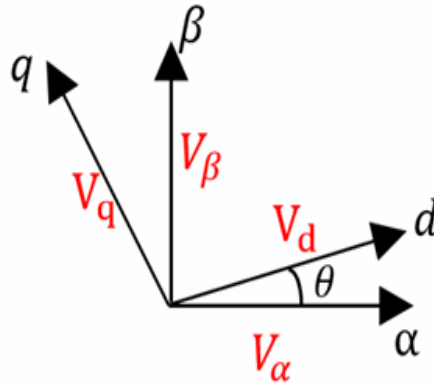
sistem SRF (synchronous reference frame) olarak da adlandırılmaktadır. dq-dönüşümü için kullanılan matematiksel denklemler aşağıda verilmiştir. dq dönüşümü diyagramı Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5 Park Dönüşümü

$$\begin{pmatrix} d \\ q \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\omega t) & \sin(\omega t) & 0 \\ -\sin(\omega t) & \cos(\omega t) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix}$$

PWM sinyallerinin üretilebilmesi için gerekli referans gerilim sinyallerinin üretilmesinde Ters Park yöntemi kullanılır. Burada bu sinyallerinin üretilmesi için gerekli olan Ters (Inverse)-Park yönteminin nasıl yapıldığı gösterilmiştir. Ters-Park yöntemi için gerekli denklem aşağıda verilmiştir ve görsel Şekil 3.6'te görülmektedir.



Şekil 3.6 Ters-Park dönüşümü.

Ters park dönüşümü yapıldığında aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(wt) & -\sin(wt) & 0 \\ \sin(wt) & \cos(wt) & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} d \\ q \\ 0 \end{pmatrix}$$

Park dönüşümü yapılırken aynı zamanda direkt olarak abc-ekseninden dq-eksenine geçiş de yapılabilir.

$$\begin{pmatrix} d \\ q \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} \cos(wt) & \cos(wt - 120^\circ) & \cos(wt + 120^\circ) \\ -\sin(wt) & -\sin(wt - 120^\circ) & -\sin(wt + 120^\circ) \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}$$

Aynı şekilde dq-ekseninden abc-eksenine direkt geçiş de yapılabilir.

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(wt) & -\sin(wt) & 1 \\ \cos(wt - 120^\circ) & -\sin(wt - 120^\circ) & 1 \\ \cos(wt + 120^\circ) & -\sin(wt + 120^\circ) & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} d \\ q \\ 0 \end{pmatrix}$$

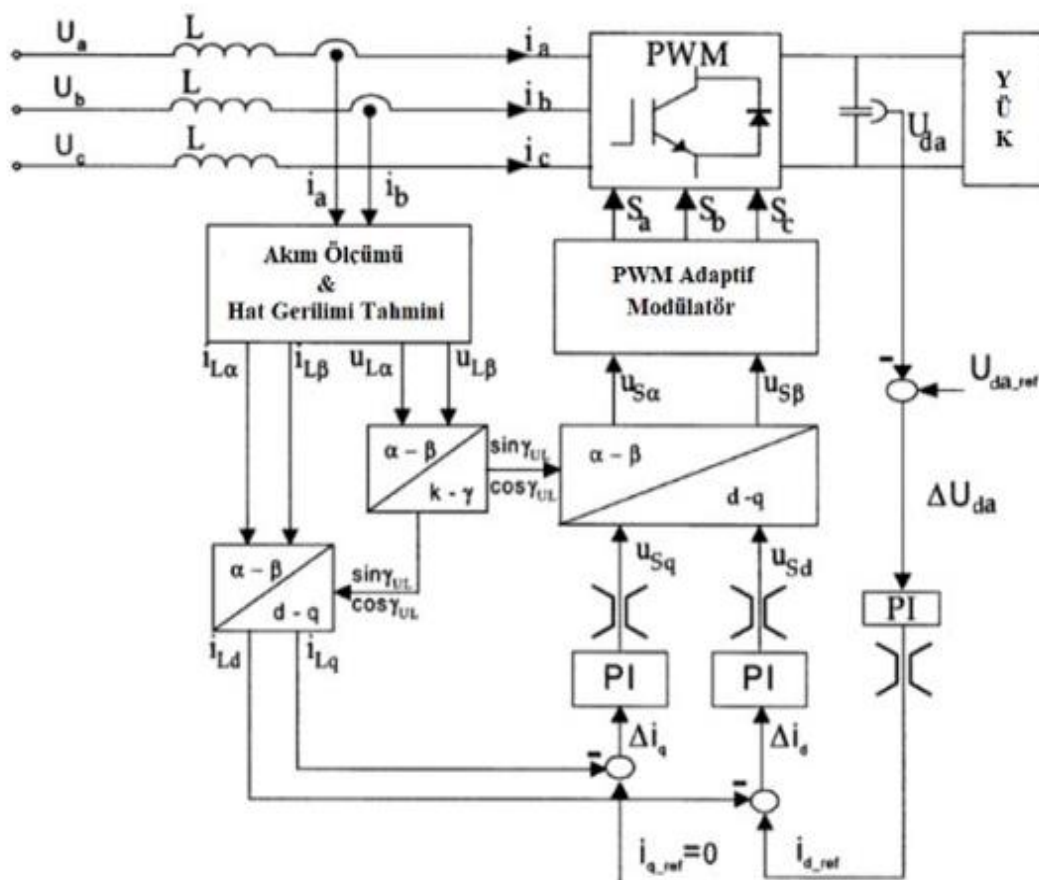
$\alpha\beta$ referans eksenindeki sinüzoidal işaretlerden ,dq dönüşümü sonucunda DC işaretler üretilir. Bu SRF kontrolün en önemli özelliklerinden birisidir çünkü bu kontrol yapısında DC işaretler kullanılır ve DC işaretlerle kontrol uygulamak daha kolaydır. AC işaretlerle yapılan kontrol yapılarında kontrol işareti zamanla değiştiğinden dolayı frekans ve faz bilgilerinin hatalı alınması mümkündür.

3.2 Gerilim Yönelimli (VOC) Kontrol

Bir asenkron motorun akı yönelimli kontrolüne (AYK- FOC) benzer şekilde DGM doğrultucu için gerilim yönelimli kontrol (GYK- VOC) yöntemi, sabit α - β ile senkron dönen d-q referans çevrimi arasındaki koordinat dönüşümüne dayanır [9]. Şekil 3.7’de gösterilen strateji, bir iç akım kontrol döngüsü kullandığı için, hızlı geçici cevap ve yüksek statik performansa sahiptir. Bu yüzden, sistemin performansı büyük ölçüde uygulanan akım kontrol stratejisinin başarısına bağlıdır [9]. Akım kontrolü için sunulan en kolay çözümlerden biri de histerezis akım kontrolüdür.

Histerezis akım kontrolü; hızlı dinamik cevap veren, yüksek doğruluk oranına sahip, DA offset gerilimi olmayan ve yüksek kararlılığa sahip bir kontrol yöntemidir. Bununla birlikte, histerezis kontrolün ana problemlerinden olan ortalama anahtarlama frekansının DA yük akımlarıyla değiştiği bilindiği için, anahtarlama modelini dengesiz ve rastgele bir hale getirmesidir.

Bu yüzden, akım kontrol performansını geliştirmek için, literatürde bazı stratejiler verilmiştir [9][10]. Verilen bu stratejiler arasında, kararlı hal hatalarını yok eden ve yaygın bir şekilde yüksek performanslı akım kontrolü için kullanılan d-q senkron kontrol stratejisidir [11].



Şekil 3.7 GYK blok şeması [11].

GYK diğ er kontrol stratejilerine kıyasla aşağıda verilen avantajları vardır:

- D    k  rneklemme frekansı (daha ucuz ADC ve mikro  lemci)
- Sabit anahtarlama frekansı (giriş filtresinin daha kolay tasarımı)

GYK stratejisinin bazı olumsuz yönleri aşağıda gibi sayılabilir:

- Aktif ve reaktif bileşenler arasında birleşme meydana gelir. Bu yüzden ayrıştırma metotlarına ihtiyaç duyulur.
- Koordinat dönüşümü ve PI kontrolcülerine ihtiyaç duyulur.

Tablo 3.2.'de, yukarıda açıklanan kontrol yapısı olan GYK ve diğ er kontrol stratejilerinin özellikleri karşılaştırılma yapılması ve bilgi amaçlı olarak avantajları ve dezavantajları tablo şeklinde verilmiştir.

Teknik	Avantaj	Dezavantaj
GYK	<ul style="list-style-type: none"> *Sabit anahtarlama frekansına sahiptir. *Gelişmiş DGM stratejileri kullanılabilir. *Ucuz A/D dönüştürücü içerir. 	<ul style="list-style-type: none"> *Koordinat dönüşümü ve ayrılmış aktif ve reaktif bileşenlere ihtiyaç duyar. *Karmaşık bir algoritmaya sahiptir. *Giriş güç faktörü DGK'da olandan daha düşüktür.
DGK	<ul style="list-style-type: none"> *Ayrı bir DGM bloğu yoktur. *Akım düzenleme bloğu yoktur. *Koordinat dönüşümü yoktur. *Basit algoritma yapısına sahiptir. *Ayrılmış aktif ve reaktif güç kontrol içerir. 	<ul style="list-style-type: none"> *Yüksek endüktans ve örnekleme frekansına ihtiyaç duyar. *Anahtarlama anında, güç ve gerilim tahmininden kaçınılmalıdır. *Değişken anahtarlama frekansına sahiptir. *Hızlı mikroişlemci ve A/D dönüştürücü gereklidir.
SAYK	<ul style="list-style-type: none"> *Sabit anahtarlama frekansına sahiptir. *Gelişmiş DGM stratejileri kullanılabilir. *Ucuz A/D dönüştürücü içerir. 	<ul style="list-style-type: none"> *Koordinat dönüşümü ve ayrılmış aktif ve reaktif bileşenlere ihtiyaç duyar. *Karmaşık bir algoritmaya sahiptir. *Giriş güç faktörü SA-DGK'da olandan daha düşüktür.
SA-DGK	<ul style="list-style-type: none"> *Basit ve uygulanması kolay güç tahmin algoritmasına sahiptir. *DGK'dan daha düşük anahtarlama frekansına sahiptir. *Düşük hat akımı THD'si vardır. *Ayrı bir DGM bloğu yoktur. *Akım düzenleme bloğu yoktur. *Koordinat dönüşümü yoktur. *Basit algoritma yapısına sahiptir. *Ayrılmış aktif ve reaktif güç kontrol bloklarına sahiptir. 	<ul style="list-style-type: none"> *Değişken anahtarlama frekansı hızlı mikroişlemci ve A/D gerektirir.

Tablo 3.2 Kontrol stratejilerinin karşılaştırılması [12].

BÖLÜM 4. ÇOK SEVİYELİ YÜKSEK ANAHTARLAMA FREKANSLI DGM STRATEJİLERİ

Dönüştürücü çıkışındaki gerilim ve frekansın kontrol edilebilmesi için bazı teknikler literatürde geliştirilmiştir. Geliştirilen bu teknikler yardımı ile dönüştürücü çıkışında meydana gelen büyük değerlikli harmonikler azaltılır ve dönüştürücünün çıkışı kontrol edilebilir. Bu sayede daha kaliteli çıkış gerilimi elde edilir. Bu tekniklere genel olarak Darbe Genişlik Modülasyon Teknikleri (DGM) adı verilir. Bu teknikler literatürde incelediğinde 8 adet olarak tanımlanmıştır. Her bir tekniğin kendine özgü avantaj, dezavantaj ve uygulama yeri vardır. Bu teknikler;

- 1-) Sinüzoidal (SDGM)
- 2-) Harmonik Eliminasyonu (SHE-DGM)
- 3-) Minimum Akım Dalgalanmalı
- 4-) Üçüncü Harmonik İlaveli (UHIDGM)
- 5-) Harmonik İlaveli (HIDGM)
- 6-) Değiştirilmiş Sinüzoidal (DSDGM)
- 7-) Sigma Delta Modülasyon
- 8-) Uzak Vektör (UVDGM) Darbe genişlik modülasyon teknikleridir.

Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere, çok seviyeli dönüştürücülerin verimi, çıkış geriliminde görülen harmonik sayısı ve büyüklüğü ile ters orantılıdır. Dönüştürücüdeki seviye sayısı artırılarak, çıkış gerilimindeki harmonik içeriğini azaltılabilir. Harmonik içeriğini azaltmanın bir başka yolu da bu hedefe dönük olan DGM tekniklerini kullanmaktır. DGM teknikleri, aşağıda verilen kriterleri hedef alır [6];

- Devrede kullanılan yarı iletken anahtarların anahtarlama kayıplarını azaltmak
- DGM ile devrenin gerçekleştirilmesini kolaylaştırmak
- Dönüştürücüdeki temel harmonik bileşenlerinin frekans ve genliklerini denetleyerek, dönüştürücü çıkışındaki harmoniği azaltmak
- Devrenin doğrusal modülasyon aralığını genişletmek olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada uzak vektör darbe genişlik modülasyonu (UVDGM) kullanılması uygun görülmüştür.

4.1 Üç Seviyeli Diyot Kenetlemeli (NPC) Dönüştürücü İçin Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu

Alternatif akım makinalarının analizinde kullanılan uzay vektörü tekniğinden hareketle, uzay vektör modülasyon tekniği ilk olarak üç fazlı dönüştürücüler için darbe genişlik modülasyonuna bir vektör yaklaşımı olarak geliştirilmiştir. UVDGM tekniği Kartezyen koordinat (α - β) düzleminde dönüştürücü geriliminin uzay vektör gösterimine dayandırılır. Bu teknik geleneksel modülasyon tekniklerine göre daha çok tercih edilmektedir. Çünkü UVDGM tekniği;

- Otomatik olarak üçüncü harmonik ilaveli DGM ile daha geniş bir lineer modülasyon aralığı sağlar,
- Dijital uygulamalarda kolay uygulanabilir,
- Diğer DGM tekniklerine göre daha düşük harmonik içeriğine sahiptir
- DA kaynak geriliminin daha verimli kullanılmasını sağlar,

Bir anahtarlama durumundan diğerine geçişte yapılan düzenleme ile anahtarlama sayısı ve buna bağlı olarak anahtarlama kayıplarının azaltılması hedef alınır. Geleneksel UVDGM şeması sektörlerin belirlenmesini ve bütün sektörlerde dönüştürücünün farklı anahtarlama vektörleri için anahtarlama sürelerinin hesaplanmasını gerektirir.

Bu durum özellikle seviye sayısı beşten daha büyük dönüştürücüler için UVDGM'nin uygulamasını karmaşık bir hale getirmektedir. Bununla birlikte üç ve beş seviyeli eviriciler için UVDGM uygulaması çok karmaşık değildir.

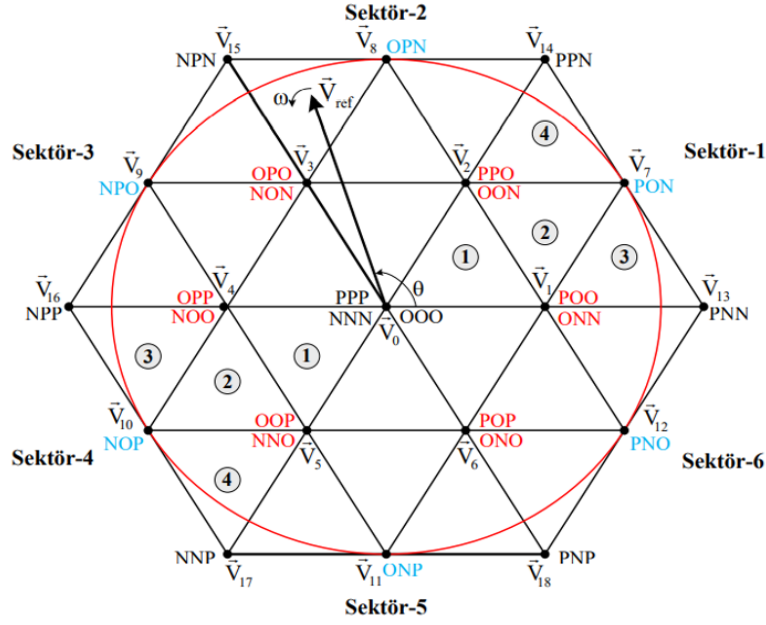
4.2 UVDGM'nin Üç Seviyeli Diyot Kenetlemeli Dönüştürücüye Uygulanması

Çok seviyeli dönüştürücüler için kullanılan UVDGM teknikleri iki seviyeli dönüştürücüler için kullanılan UVDGM tekniklerinin üzerine kurulmuş bir halidir. İki seviyeli dönüştürücülerde olduğu gibi üç fazlı referans gerilimler Clarke dönüşümü kullanılarak α - β referans ekseninde bir gerilim uzay vektörü aynen temsil edilmektedir.

Üç fazlı m-seviyeli bir eviricinin uzay vektör diyagramı altı sektörden ve her bir sektör $(m - 1)^2$ üçgenden oluşur. Üç fazlı üç seviyeli bir nötr nokta kenetlemeli (NPC) doğrultucunun çalışması aynı koldaki tümleyen anahtar çiftlerinin aynı anda iletimde olmamasını gerektirir.

Üç seviyeli diyot kenetlemeli dönüştürücüde toplam 27 anahtarlama durumu vardır. Bu 27 anahtarlama durumuna karşı 19 farklı gerilim vektörü oluşur. Şekil 4.2.1'de üç seviyeli dönüştürücünün gerilim vektör uzayı gösterilmiştir.

27 anahtarlama durumundan 3 tanesi sıfır gerilim vektörüdür (000, 111, -1-1-1) ve merkezde bulunurlar. Bu vektörler eviricinin bütün çıkışlarını aynı DA-link gerilim seviyesine bağlarlar ve bundan dolayı da DA tarafında hiçbir akım üretilmez.



Şekil 4.2.1 Üç seviyeli diyot kenetlemeli dönüştürücünün vektör diyagramı

Şekil 4.2.1’den görüldüğü gibi bir üç seviyeli bir dönüştürücü için gerilim vektör uzayının her bir sektörü 4 üçgen bölgeden oluşmaktadır. Vektör uzayındaki sıfır ve aktif vektörler sabit genliğe sahip, referans gerilim vektörü değişken genliğe sahip olup ω açısal hızla dönmektedir.

4.2.1. Üç Seviyeli Dönüştürücüler İçin UVDGM Tekniği

Üç seviyeli uzay vektör DGM aşağıdaki adımlar takip edilerek gerçekleştirilir;

- Adım 1: V_α , V_β , V_{ref} ve θ hesaplanır,
- Adım 2: V_{ref} ’in hangi sektörde olduğu belirlenir,
- Adım 3: V_{ref} ’in sektörün hangi bölgesinde olduğu belirlenir,
- Adım 4: Her sektör ve bölge için T_a , T_b , T_c anahtarlama süreleri hesaplanır,
- Adım 5: Bu anahtarlama sürelerine göre DGM işaretleri üretilir.

Adım 1:

Eviricinin üretmesi gereken V_a , V_b ve V_c referans gerilimleri aşağıda verilen Clarke dönüşümü kullanılarak V_α , V_β bileşenlerine dönüştürülür. Referans gerilim vektörünün genliği ve açısı ise aşağıda verilen denklemlerle bulunabilir.

$$\begin{bmatrix} V_{\alpha} \\ V_{\beta} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 1 & -\sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

$$V_{ref} = \sqrt{V_{\alpha}^2 + V_{\beta}^2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{V_{\beta}}{V_{\alpha}} \right)$$

Adım 2:

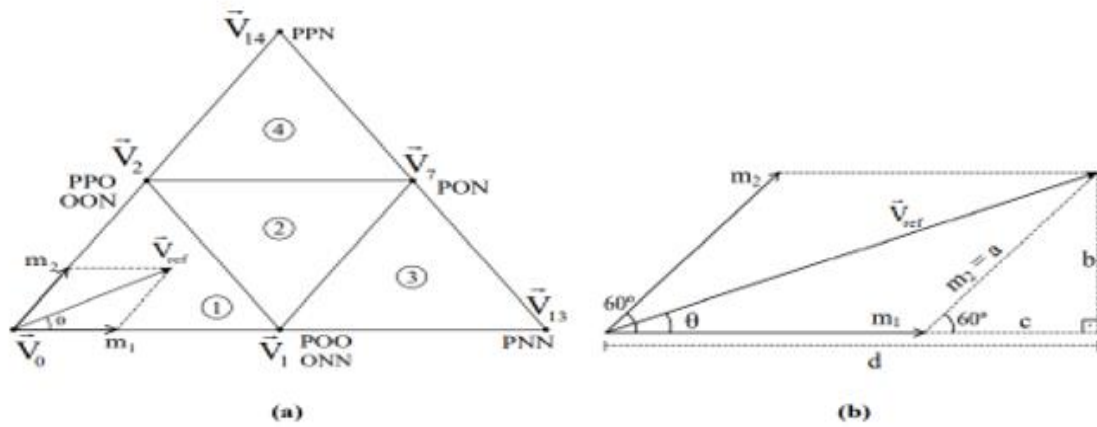
Referans gerilim vektörü V_{ref} ' in altıgen içerisinde hangi sektörde yer aldığını tespit etmek için θ açısına bakılır. Açı değerine bağlı olarak V_{ref} ' in hangi sektörde yer aldığı Tablo III' de verilmiştir.

θ Değeri	Sektör
$0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$	1
$60^\circ \leq \theta < 120^\circ$	2
$120^\circ \leq \theta < 180^\circ$	3
$180^\circ \leq \theta < 240^\circ$	4
$240^\circ \leq \theta < 300^\circ$	5
$300^\circ \leq \theta < 360^\circ$	6

Tablo 4.2.1 Sektör belirleme

Adım 3:

Referans gerilim vektörünün bir sektör içinde hangi bölgeye düştüğü tespit edilmelidir. Bunun için referans gerilim vektörü, m_1 ve m_2 bileşenlerine ayrılır ve matematiksel eşitliklerden yararlanılarak aşağıda gösterildiği gibi çıkarılır.



Şekil 4.2.2 a) Birinci sektör için referans vektör bileşenleri

b) Referans vektör bileşenlerinin bölge analizi

$b = m_n \cdot \sin\theta$ ve $b = a \cdot \sin(\pi/3)$ olarak yazılır ise;

$$a = m_2 = \frac{b}{\sin(\pi/3)} = \frac{2}{\sqrt{3}}b = \frac{2}{\sqrt{3}}m_n \cdot \sin\theta$$

$$m_1 = d - c$$

$$m_1 = m_n \cdot \cos\theta - \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot m_n \cdot \sin\theta\right) \cdot \cos(\pi/3)$$

$$m_1 = m_n \cdot \left(\cos\theta - \frac{\sin\theta}{\sqrt{3}}\right) = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot m_n \cdot \sin(\pi/3 - \theta)$$

m_1 ve m_2 'nin değerlerine bakılarak, referans gerilim vektörünün bulunduğu sektör içinde hangi bölgeye düştüğü tespit edilir. Bu tespit şu şekilde yapılır:

- a. $m_1 < 0.5$ ve $m_2 < 0.5$ ve $m_1 + m_2 < 0.5 \longrightarrow$ 1. Bölge
- b. $m_1 < 0.5$ ve $m_2 < 0.5$ ve $m_1 + m_2 > 0.5 \longrightarrow$ 2. bölge
- c. $m_2 > 0.5 \longrightarrow$ 3. bölge
- d. $m_1 > 0.5 \longrightarrow$ 4. bölge

Adım 4:

Üç seviyeli sistemin simetrisi, çalışmayı $\pi/3$ sektörünün (sektör 1) genel durumuna indirmemize izin verir. Bu şekilde bir indirgeme UVDGM'nin uygulamasının yazılım kısmında büyük kolaylıklar sağlar. Yeterince yüksek bir T_s anahtarlama frekansı için, V_{ref} referans gerilim vektörünün Şekil 4.2.1'de gösterildiği gibi sektör 1 içinde 2. bölgeye düştüğü varsayılırsa, bu bölgeyi oluşturan en yakın V_1 , V_2 ve V_8 vektörlerinin referans vektörü oluşturduğu görülür. V_{ref} , bir T_s periyodu boyunca sabit kabul edilir. Anahtarlama sürelerinin hesabı aşağıda verilmiştir.

$$T_1V_1 + T_2V_2 + T_0V_8 = T_sV_{ref}$$

$$T_1 + T_2 + T_0 = T_s$$

Yukarıda verilen T_1 , T_2 , T_0 anahtarlama süreleri, V_1 , V_2 , V_8 vektörlerinin bir periyot süresince olan anahtarlama süreleridir. Denklem aşağıdaki gibi devam ettirilir.

$$\frac{|V_{ref}|}{\frac{2}{3}V_{da}} \cdot T_s \cdot e^{j\theta} = \frac{1}{2} \cdot T_1 \cdot e^{j0} + \frac{1}{2} \cdot T_2 \cdot e^{j\pi/3} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot T_0 \cdot e^{j\pi/6}$$

$$m_n \cdot T_s \cdot (\cos\theta + j\sin\theta) = \frac{1}{2} \cdot T_1 + \frac{1}{2} \cdot T_2 \cdot (\cos(\pi/3) + j\sin(\pi/3)) + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot T_0 \cdot (\cos(\pi/6) + j\sin(\pi/6))$$

$$\begin{cases} m_n \cdot T_s \cdot \cos\theta = \frac{1}{2} \cdot T_1 + \frac{1}{2} \cdot T_2 \cdot \cos(\pi/3) + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot T_0 \cdot \cos(\pi/6) \\ m_n \cdot T_s \cdot \sin\theta = \frac{1}{2} \cdot T_2 \cdot \sin(\pi/3) + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot T_0 \cdot \sin(\pi/6) \end{cases}$$

$$\begin{cases} m_n \cdot T_s \cdot \cos\theta = \frac{1}{2} \cdot T_1 + \frac{1}{4} \cdot T_2 + \frac{3}{4} \cdot T_0 \\ m_n \cdot T_s \cdot \sin\theta = \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot T_2 + \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot T_0 \end{cases}$$

Yukarıda verilen denklemlere dayanarak $T_2 + T_0 = T_s - T_1$ yazılacak olursa, aşağıdaki verilen anahtarlama süreleri denklemleri elde edilir.

$$m_n \cdot T_s \cdot \sin\theta = \frac{\sqrt{3}}{4} (T_s - T_1) \quad \longrightarrow \quad T_1 = T_s - 2k\sin\theta$$

$$m_n \cdot T_s \cdot \cos\theta = \frac{1}{2} \cdot T_1 + \frac{1}{2} \cdot T_0 + \frac{1}{4} (T_s - T_1) \quad \longrightarrow \quad T_0 = 2k\sin\left(\frac{\pi}{3} + \theta\right) - T_s$$

$$T_2 = T_s - T_1 - T_0 \quad \longrightarrow \quad T_2 = T_s - 2k\sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta\right)$$

Yukarıda verilen denklemde bahsedilen modülasyon indeksi

$$m_n = V_{ref}/(2 \cdot V_{da}/3)$$

ve

$$k = 2m_n \cdot T_s / \sqrt{3}$$

olarak verilir. Denklemler arasında yapılan işlemler diğer sektörler (2-6) içinde uygulanabilir. V_{ref} , 2-6 sektörlerinden birine düştüğü zaman, 1. sektördeki θ açısını bu sektörler için sırasıyla $\theta - \pi/3$ (2), $\theta - 2\pi/3$ (3), $\theta - \pi$ (4), $\theta - 4\pi/3$ (5), $\theta - 5\pi/3$ (6) olarak değiştirmemiz gerekir. Tablo V'de tüm sektörler için anahtarlama süreleri verilmiştir.

Sektör - Bölge	T_1	T_2	T_0
1 – 1	$2k\sin(\pi/3 - \theta)$	$2k\sin(\theta)$	$T_s - 2k\sin(\pi/3 + \theta)$
1 – 2	$T_s - 2k\sin(\theta)$	$T_s - 2k\sin(\pi/3 - \theta)$	$2k\sin(\pi/3 + \theta) - T_s$
1 – 3	$2k\sin(\theta) - T_s$	$2T_s - 2k\sin(\pi/3 + \theta)$	$2k\sin(\pi/3 - \theta)$
1 – 4	$2T_s - 2k\sin(\pi/3 + \theta)$	$2k\sin(\pi/3 - \theta) - T_s$	$2k\sin(\theta)$
2 – 1	$-2k\sin(\pi/3 - \theta)$	$2k\sin(\pi/3 + \theta)$	$T_s - 2k\sin(\theta)$
2 – 2	$T_s + 2k\sin(\pi/3 + \theta)$	$T_s - 2k\sin(\theta)$	$2k\sin(\pi/3 - \theta) - T_s$
2 – 3	$2k\sin(\pi/3 + \theta) - T_s$	$2k\sin(\pi/3 - \theta) - T_s$	$2k\sin(\theta)$
2 – 4	$2k\sin(\pi/3 - \theta) - T_s$	$2T_s - 2k\sin(\theta)$	$-2k\sin(\pi/3 - \theta)$
3 – 1	$2k\sin(\theta)$	$-2k\sin(\pi/3 + \theta)$	$T_s + 2k\sin(\pi/3 - \theta)$
3 – 2	$T_s - 2k\sin(\pi/3 - \theta)$	$T_s - 2k\sin(\theta)$	$-2k\sin(\pi/3 - \theta) - T_s$
3 – 3	$2k\sin(\pi/3 + \theta) - T_s$	$T_s - 2k\sin(\pi/3 - \theta)$	$2k\sin(\theta)$
3 – 4	$2T_s + 2k\sin(\pi/3 - \theta)$	$2k\sin(\theta) - T_s$	$-2k\sin(\pi/3 + \theta)$
4 – 1	$-2k\sin(\theta)$	$-2k\sin(\pi/3 - \theta)$	$T_s + 2k\sin(\pi/3 + \theta)$
4 – 2	$T_s + 2k\sin(\pi/3 - \theta)$	$T_s + 2k\sin(\theta)$	$2k\sin(\pi/3 + \theta) - T_s$
4 – 3	$2T_s + 2k\sin(\pi/3 + \theta)$	$-2k\sin(\theta) - T_s$	$-2k\sin(\pi/3 - \theta)$
4 – 4	$2k\sin(\pi/3 + \theta) - T_s$	$2T_s + 2k\sin(\pi/3 + \theta)$	$-2k\sin(\theta)$
5 – 1	$-2k\sin(\pi/3 + \theta)$	$2k\sin(\pi/3 - \theta)$	$T_s + 2k\sin(\theta)$
5 – 2	$T_s - 2k\sin(\pi/3 - \theta)$	$T_s + 2k\sin(\pi/3 + \theta)$	$-T_s - 2k\sin(\theta)$
5 – 3	$T_s + 2k\sin(\pi/3 - \theta)$	$2T_s + 2k\sin(\theta)$	$-2k\sin(\pi/3 + \theta)$
5 – 4	$2T_s + 2k\sin(\theta)$	$T_s + 2k\sin(\pi/3 + \theta)$	$2k\sin(\pi/3 - \theta)$
6 – 1	$2k\sin(\pi/3 + \theta)$	$-2k\sin(\theta)$	$T_s - 2k\sin(\pi/3 - \theta)$
6 – 2	$T_s + 2k\sin(\theta)$	$T_s - 2k\sin(\pi/3 + \theta)$	$2k\sin(\pi/3 - \theta) - T_s$
6 – 3	$2T_s - 2k\sin(\pi/3 - \theta)$	$2k\sin(\pi/3 + \theta) - T_s$	$-2k\sin(\theta)$
6 – 4	$-T_s - 2k\sin(\theta)$	$2T_s - 2k\sin(\pi/3 - \theta)$	$2k\sin(\pi/3 + \theta)$

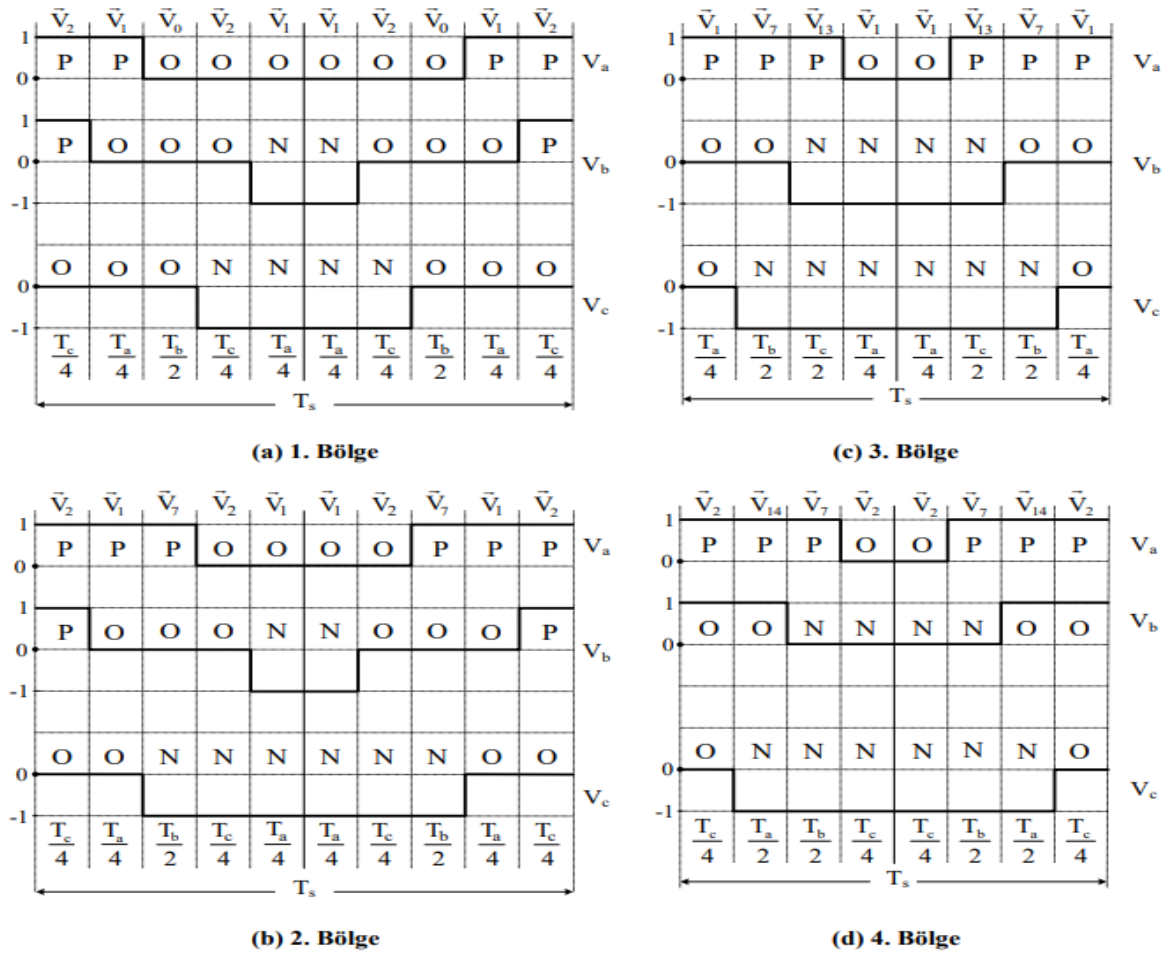
Tablo 4.2.2 Tüm Sektörlerin Anahtarlama Sürelerinin Hesabı

Modülasyon indeksi, Şekil 4.2.1’de gösterilen dış sınırı geçerse aşırı modülasyon durumu oluşur. Bu durumda V_{ref} elde edilemez.

Adım 5:

Anahtarlama süreleri hesaplandıktan sonra, anahtarlama dizileri de belirlenmelidir. Anahtarlama dizisi doğrudan THD ve anahtarlama kayıplarını etkilediğinden dolayı UVDGM için önemlidir. Bu durumları en uygun hale getirmek için anahtarlama döngüsünü simetrik yapmak ve döngünün başı ile sonunda aynı anahtar modu kullanılmak daha uygun olacaktır. Bununla birlikte, dönüştürücü gereksiz olan anahtarlama modlarına sahiptir. Bu, sistemin en uygun hale getirilmesi ve harmonik bozunum oranının en aza indirilmesi amacıyla gereksiz anahtarlama modlarından kaçınmak için anahtarlama dizilerinin akıllıca belirlenmesi gerektiği anlamına gelir. Bu nedenle, tüm anahtarlama süreleri en uygun anahtarlama dizilerini oluşturmak üzere düzenlenmiştir.

Anahtarlama, bir seferde tek bir anahtarın durumu değiştirilerek yapılır. Sektör 1 için anahtarlama sinyallerine ait dalga şekilleri Şekil 20’de verilmektedir. Diğer sektörler içinde benzer şekilde anahtarlama sinyallerinin dalga şekilleri çıkartılabilir.



Şekil 4.2.3 Sektör 1 için anahtarlama sinyallerinin dalga şekilleri

Referans vektörün bulunduğu bölgeye bağlı olarak, Tablo 4.2.3’ deki anahtarlama dizileri elde edilir.

Sektör - Bölge	Anahtarlama dizileri									
1 – 1	PPO	POO	OOO	OON	ONN	ONN	OON	OOO	POO	PPO
1 – 2	PPO	POO	PON	OON	ONN	ONN	OON	PON	POO	PPO
1 – 3	PPO	PPN	PON	OON	OON	PON	PPN	PPO	-	-
1 – 4	POO	PON	PNN	ONN	ONN	PNN	PON	POO	-	-
2 – 1	NON	OON	OOO	OPO	PPO	PPO	OPO	OOO	OON	NON
2 – 2	NON	OON	OPN	OPO	PPO	PPO	OPO	OPN	OON	NON
2 – 3	NON	NPN	OPN	OPO	OPO	OPN	NPN	NON	-	-
2 – 4	OON	OPN	PPN	PPO	PPO	PPN	OPN	OON	-	-
3 – 1	OPP	OPO	OOO	NOO	NON	NON	NOO	OOO	OPO	OPP
3 – 2	OPP	OPO	NPO	NOO	NON	NON	NOO	NPO	OPO	OPP
3 – 3	OPP	NPP	NPO	NOO	NOO	NPO	NPP	OPP	-	-
3 – 4	OPO	NPO	NPN	NON	NON	NPN	NPO	OPO	-	-
4 – 1	NNO	NOO	OOO	OOP	OPP	OPP	OOP	OOO	NOO	NNO
4 – 2	NNO	NOO	NOP	OOP	OPP	OPP	OOP	NOP	NOO	NNO
4 – 3	NNO	NNP	NOP	OOP	OOP	NOP	NNP	NNO	-	-
4 – 4	NOO	NOP	NPP	OPP	OPP	NPP	NOP	NOO	-	-
5 – 1	POP	OOP	OOO	ONO	NNO	NNO	ONO	OOO	OOP	POP
5 – 2	POP	OOP	ONP	ONO	NNO	NNO	ONO	ONP	OOP	POP
5 – 3	POP	PNP	ONP	ONO	ONO	ONP	PNP	POP	-	-
5 – 4	OOP	ONP	NNP	NNO	NNO	NNP	ONP	OOP	-	-
6 – 1	ONN	ONO	OOO	POO	POP	POP	POO	OOO	ONO	ONN
6 – 2	ONN	ONO	PNO	POO	POP	POP	POO	PNO	ONO	ONN
6 – 3	ONN	PNN	PNO	POO	POO	PNO	PNN	ONN	-	-
6 – 4	ONO	PNO	PNP	POP	POP	PNP	PNO	ONO	-	-

Tablo 4.2.3 Referans vektörün bulunduğu sektöre ve bölgeye göre anahtarlama dizileri

BÖLÜM 5. ÇİFT AKTİF KÖPRÜ (DUAL ACTIVE BRIDGE)

5.1. Çalışma Kronolojisi

Dual Active Bridge devresinin çalışma kronolojisi incelendiğinde, akımın ve gerilimin doğru şekilde yönlendirilmesini ve kontrol edilebilir anahtarların doğru zamanlarda açılıp kapanmasını sağlamaktır. İşte devrenin sırasıyla genel çalışma mantığı:

- 5.1.1 İlk olarak, kontrol edilebilir anahtarlar üzerinde bulunan güç kaynakları devreye girer. Bu kaynaklar, devredeki anahtarların beslenmesi için gerekli olan voltaj ve akımı sağlar.
- 5.1.2 Sinyal tetikleme ve kontrol algoritması, anahtarların açılma ve kapanma zamanlarını belirler. Bu algoritma, istenen çıkış performansını elde etmek ve güvenli çalışma sağlamak için tasarlanır. Kontrol algoritması genellikle bir mikrodenetleyici veya dijital işlemci üzerinde çalışır.
- 5.1.3 Kontrol sinyalleri, sürücü devreleri tarafından üretilir ve kontrol edilebilir anahtarları tetikler. Kontrol sinyalleri, anahtarların doğru zamanda açılıp kapanmasını sağlar ve böylece akımın akış yönünü kontrol eder.
- 5.1.4 Anahtarlar, kontrol sinyallerine göre açılıp kapanır. İstenilen yönde akım geçişi sağlamak için, anahtarlar doğru sıralama ve zamanlama ile çalışmalıdır. Bu sayede, güç kaynaklarından gelen akımın ve gerilimin istenen şekilde yönlendirilmesi sağlanır.
- 5.1.5 Dual Active Bridge’de, akımın hem ileri hem de geri yönde geçmesine izin verilir. Bu özellik, sinyallerin her iki yönde işlenebilmesini sağlar. Özellikle güç dönüşümü uygulamalarında, alternatif akım (AC) sinyallerin doğru akıma (DC) dönüştürülmesi için bu özellik önemlidir.

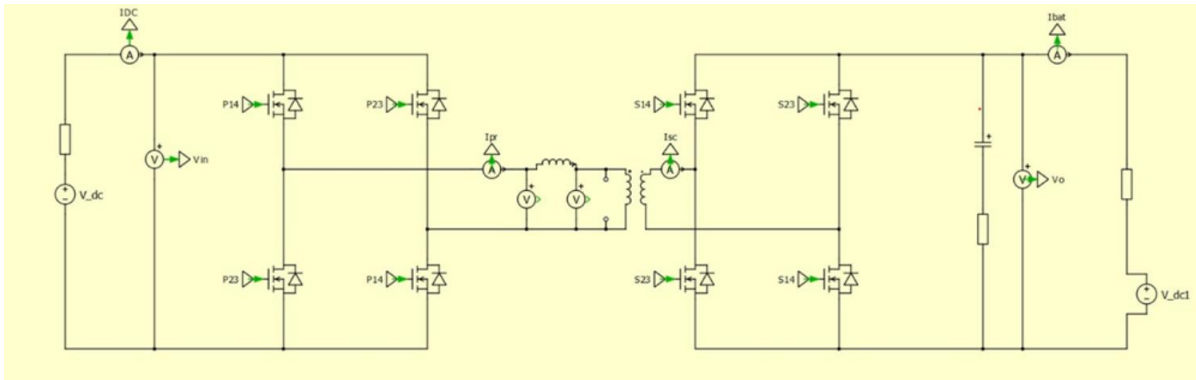
Dual Active Bridge devresi, kontrol edilebilir anahtarların hassas kontrolü ile akım ve gerilimin yönlendirilmesini sağlar. Bu sayede, güç dönüşümü, sinyal amplifikasyonu ve motor kontrolü gibi birçok uygulama alanında etkili bir şekilde kullanılabilir. Kontrol sinyallerinin doğru zamanlaması ve akım yönünün doğru şekilde kontrol edilmesi, devrenin verimli çalışmasını ve istenen çıkış performansının elde edilmesini sağlar.

5.2. Devre Topolojisi

Dual Active Bridge devre topolojisine bakıldığında sol bölüm şebeke sağ bölüm ise batarya olarak tasarlanmıştır. Tasarımda 8 adet anahtarlama elemanı, 1 adet transformatör, 1 adet bobin, batarya ve şebeke yerine geçen 2 adet voltaj kaynağı, bu kaynakların iç dirençleri yerini tutan 2 adet direnç, yük olarak kullanılan bir adet kapasitör ve buna seri bağlı olan direnç bulunmaktadır.

Şekil DAB Devre 3'te bir adet bobin ve trafo bulunmaktadır. Buradaki bobin devrenin kararlılığa ulaşma süresini etkilemekte ve verimli bir topoloji olmasını sağlamaktadır. Transformatör güç aktarımı ve devrenin tetiklenmesinin çıkışa yansıtılabilmesi için kullanılmaktadır.

Sonraki adımlarda anlatılacak yön belirleme ve tetiklenme açıları devrenin uygulanmasında etkili olmaktadır. Bu yön belirleme işlemi bir referans alınarak yapılması gerekmektedir.



Şekil 5.1 DC-DC DAB Devre Şema

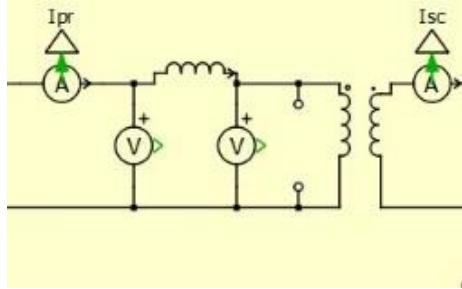
5.2.1. Yüksek Frekans İzolasyon Trafosu

Bu teknoloji; özellikle rüzgâr enerjisi sistemleri, elektrikli araç şarj istasyonları, enerji depolama sistemleri ve endüstriyel güç kaynakları gibi uygulamalarda kullanılır. Yüksek verimlilik, yüksek güç yoğunluğu ve yüksek frekanslı izolasyon gerektiren bu tür uygulamalarda DAB, etkili bir çözüm sunar.

DAB, iki aktif köprüyü birincil ve ikincil sarma gruplarına bağlayarak çalışır. Her bir aktif köprü, anahtarları ve frekansı kontrol edilen bir çıkış trafo bobini içerir. DAB'ın temel amacı, birincil tarafta verilen bir DC gerilimi yüksek frekanslı AC sinyallere dönüştürmek ve bu sinyalleri ikincil tarafa iletmektir. Yani Dual Active Bridge'in içinde aslında DC/AC -AC/DC dönüşüm

gerçekleşmektedir denilebilir. Bu Trafonun sarım oranı 1:N olmaktadır. Bu çalışmada N değeri 1 olup sadece yüksek frekanslı izolasyon avantajlarından yararlanmak amaçlanmıştır.

Yüksek frekanslı izolasyon trafolarının temel avantajları arasında yüksek enerji verimliliği, kompakt tasarım, düşük ağırlık, hızlı tepki süresi ve geniş frekans aralığı gibi faktörler bulunur. Ayrıca, DAB kullanılarak güç transferi sağlanırken izolasyonun da korunması sağlanır.



Şekil 5.2 DAB HF İzolasyon Trafosu

5.3. Referans Gerilimi

Referans gerilimi, genellikle bir geribesleme kontrol döngüsü aracılığıyla belirlenir. İdeal olarak, çıkış gerilimi, referans gerilimiyle aynı değerde olmalıdır. Ancak, gerçek uygulamalarda çeşitli etkiler ve yük koşulları nedeniyle çıkış gerilimi referans geriliminden farklı olabilir.

Referans gerilimi belirlenirken, dönüştürücünün uygulamasına ve gereksinimlerine bağlı olarak farklı yaklaşımlar kullanılabilir. Bunlar arasında aşağıdakiler bulunabilir:

5.3.1. Sabit Referans Gerilimi

Belirli bir değerde sabit bir referans gerilimi kullanılabilir. Bu durumda, çıkış gerilimi bu sabit değere yaklaşımaya çalışacaktır.

5.3.2. Dinamik Referans Gerilimi

Yük koşulları veya diğer faktörlere bağlı olarak referans gerilimi dinamik olarak ayarlanabilir. Örneğin, hızlı transiyent tepkileri veya yük değişiklikleri sırasında referans gerilimi ayarlanarak çıkış geriliminin daha iyi bir regülasyon sağlanması hedeflenebilir.

Referans geriliminin belirlenmesindeki temel amaç, çıkış geriliminin hedeflenen değerlere mümkün olduğunca yaklaşmasını sağlamaktır. Bu, güç dönüştürme işleminin istenen performans, verimlilik ve güvenilirlik özelliklerini sağlamak için önemlidir.

Referans gerilimi, genellikle bir kontrol algoritması veya PID kontrolcüsü kullanılarak gerçek zamanlı olarak güncellenir. Geribesleme döngüsü, çıkış gerilimini ölçer ve referans gerilimi ile karşılaştırarak hata sinyali üretir. Bu hata sinyali, referans gerilimini güncellemek için kullanılır ve dönüştürücünün çıkış geriliminin hedef değere yaklaşmasını sağlar.

Referans geriliminin doğru bir şekilde belirlenmesi ve kontrol edilmesi, Dual Active Bridge'in istenen performansı sağlamasına yardımcı olur ve çeşitli uygulamalarda kullanılan bu topolojinin verimliliği ve regülasyonu iyileştirir. Bu çalışmada referans gerilimi, sabit referans akımı prensibi doğrultusunda seçilmiş olup çıkış geriliminin belirlenen 350V a yaklaşması amaçlanmıştır.

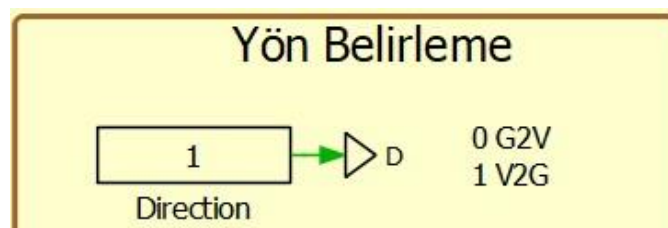
5.4. Yön Belirleme

5.4.1. G2V/V2G

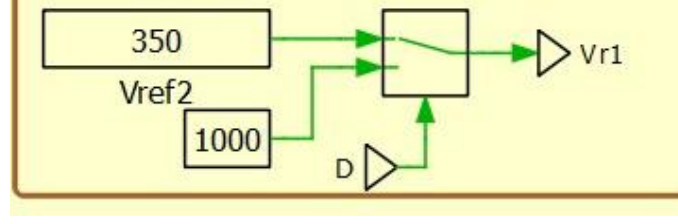
Oluşturulacak olan Dual Active Bridge çift yönlü olmasından dolayı enerji aktarım yönünün manual olarak belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 5.3'te Direction bloğu yer almaktadır. Bu aşamada Direction bloğuna 0 veya 1 değeri girilmektedir. Girilecek olan 0 değeri Grid to Vehicle (Şebekeden Araca) anlamına gelmektedir. Şebekeden araca elektrik enerjisi aktarımı için bu yön tercih edilmesi gerekmektedir. Girilecek diğer bir değer olan 1 ise Vehicle to Grid (Araçtan Şebekeye) anlamına gelmektedir. Araçtan şebekeye enerji aktarımı için bu yönün tercih edilmesi gerekmektedir.

5.4.2. Referans Değer Tayini

Yön belirleme işlemi sonrasında şekil 5.4'te yer alan referans belirleme bloğu yer almaktadır. Seçilen yöne göre burada istenilen çıkış değeri girilmektedir. Sonraki aşamalarda gösterilecek işlemler sabit referans değere göre hesaplanmaktadır. Proje gereçlerinin paylaşılmasında bu değerlerin gizli tutulması gerekmektedir. Bu sebeple değerler gizli tutulmuştur.



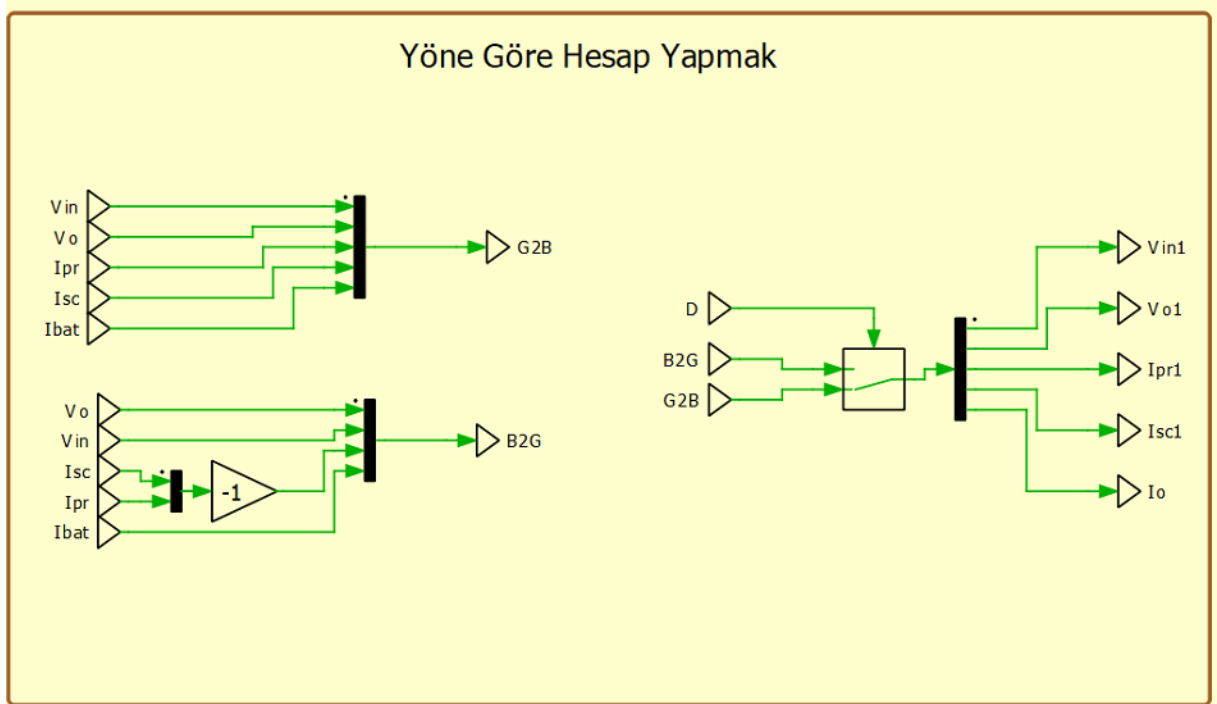
Şekil 5.3 DAB Yön Şeması



Şekil 5.4 Referans-Yön Şeması

5.5. Belirlenen Yöne Göre Ölçümleri Yönlendirme

Dual Active Bridge çift yönde çalıştığından dolayı sonraki adımlarda yapılacak hesapların doğruluğunu kontrol edebilmek ve uygunluk düzeyine göre PWM çıkışı verebilmek için ölçümlerin doğru yerlerden alınması gerekmektedir. Şekil DAB Ölçüm Yönü 1 incelenirse G2B (Grid To Battery) için ölçülen değer B2G (Battery To Grid) gerilim ölçüm yerlerinin tam tersidir. Aynı zamanda Akım ölçümleri kontrol edildiğinde değerlerin uygulanabilmesi için (-1) değeriyle çarpıldığı görülmektedir. Sonraki aşama için bu çıktıların yönlendirmesi sağ bölümdeki blokta yer almaktadır.



Şekil 5.5 Yöne Göre Hesap Şeması

5.6. PWM Modülasyon

5.6.1. Darbe Genişlik Modülasyonu

PWM, Darbe Genişlik Modülasyonu ile tetikleme tekniğini ifade eder. PWM, analog sinyalleri dijital bir sinyal kullanarak temsil etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu teknik, belirli bir süre boyunca bir sinyali açık veya kapalı durumda tutarak sinyalin ortalama gücünü kontrol etmeyi sağlar.

PWM tetikleme, genellikle elektronik devrelerde güç kontrolü için kullanılır. Bir PWM sinyali, sabit bir frekansta çalışır ve darbeleri bir dönem içindeki açık-kapalı oranı değiştirerek çıkış gücünü kontrol eder. Örneğin, bir mikrodenetleyici veya bir PWM denetleyici kullanarak bir DC motorun hızını ayarlamak için PWM tetikleme tekniği kullanılabilir.

PWM tetikleme, genellikle bir referans sinyali ve bir karşılaştırma sinyali kullanılarak gerçekleştirilir. Referans sinyal, istenen çıkış gücünü temsil ederken, karşılaştırma sinyali gerçek çıkış durumunu temsil eder. Karşılaştırma sinyali, referans sinyaline göre ayarlanır ve sonuç olarak PWM sinyali oluşturulur. Bu PWM sinyali, bir güç transistörü veya başka bir anahtarlama elemanı ile birleştirilerek çıkış gücü kontrol edilir.

Özetlemek gerekirse, PWM tetikleme; analog sinyallerin dijital bir sinyal kullanılarak kontrol edildiği bir yöntemdir ve genellikle güç kontrolü uygulamalarında kullanılır. Bu çalışmada da bu Darbe Genişlik Modülasyonu kullanılarak Çift Aktif Köprü IGBT'lerinin kapıları tetiklenmiştir.

5.6.2. PWM Modülasyonu ile Dual Active Bridge Tetikleme

PWM modülasyonu, anahtarları kontrol ederek bir dönüştürücünün çıkış gerilimini veya akımını hedeflenen değerlere yaklaştırmak için kullanılır. DAB'de, iki adet aktif köprü kullanılır ve her bir köprünün iki anahtarı vardır. PWM modülasyonu, bu anahtarları açıp kapatarak bir dönüştürücünün çıkışını kontrol etmek için kullanılır.

DAB için PWM modülasyonu genellikle üç aşamalı bir süreç içerir:

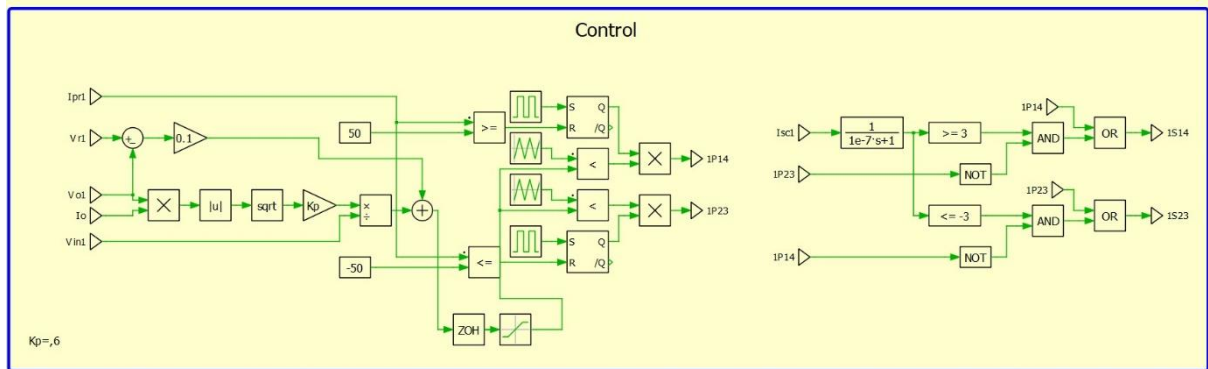
- Karşılaştırma: Hedeflenen çıkış gerilimi veya akımı temsil eden bir referans sinyali belirlenir.
- Karşılaştırma sinyali üretimi: Referans sinyali, genellikle üçgen dalga veya taşıyıcı sinyal olarak adlandırılan bir sinyal ile karşılaştırılır. Taşıyıcı sinyal, yüksek frekanslı bir dalga formuna sahip olup genellikle sabit bir genlik ve frekansa sahiptir.

- Anahtar kontrolü: Karşılaştırma sonucuna göre, anahtarlar belirli bir zaman diliminde açılıp kapanır. Bu, taşıyıcı sinyalin darbeli genişlik modülasyonunu (PWM) oluşturur.

DAB'de, PWM modülasyonu genellikle iki aşamada gerçekleştirilir; anahtar frekansı (Switching Frequency) belirlenmesi ve darbe genişlik kontrolü. Anahtar frekansı, anahtarların açılıp kapanma hızını belirler ve genellikle yüksek frekansta gerçekleştirilir. Darbe genişlikleri ise anahtarların ne kadar süreyle açık veya kapalı olacağını kontrol ederek çıkış gerilimini veya akımını istenen değere yaklaştırır.

PWM modülasyonu, DAB'nin çeşitli özelliklerini kontrol etmek için kullanılabilir, örneğin çıkış gerilimi veya akımının regülasyonu, harmonik bozulma düşürme veya etkinliği artırma gibi. İlgili uygulamaya bağlı olarak, farklı PWM teknikleri kullanılabilir, örneğin sinüs PWM (SPWM), üçgen dalga PWM (TPWM) veya alan modülasyonu (AM).

5.7. Kontrol



Şekil 5.6 Dual Active Bridge Kontrol Şeması

Devrenin kontrol edildiği bölge burada yer almaktadır. Birden fazla bölge olduğu için Duty Cycle hesabı, sınır akımlar hesabı, Primer ve Sekonder Duty çıkışları ayrı ayrı incelenmesi daha uygun görülmüştür.

5.7.1. Duty Cycle Hesabı

Hesaplama için güç transfer denklemi şu şekildedir.

$$P = V_i V_o / (8 f_{sw} L N) \quad (1)$$

Denklem düzenlendiğinde şu şekile gelmektedir.

$$P = V_i(V_i - V_o/N)/(4f_{sw}LN) \quad (2)$$

$$P = V_i^2 V_o^2 / (4f_{sw}L(V_i^2 N + V_i V_o N + V_o^2)) \quad (3)$$

Peak (tepe) akımı ele alındığında

$$I_{pk} = (V_i - V_o / N)D_1 / (f_{sw}L) \quad (4)$$

$$I_{pk} = V_o(D_2 - D_1) / (Nf_{sw}L) \quad (5)$$

Denklem düzenlenirse

$$D_2 = NV_i D_1 / V_o \quad (6)$$

$$P = V_i(V_i - V_o/N)D_1^2 / (f_{sw}L) \quad (7)$$

Şeklini alır.

Max duty için

$$D_{1max} = V_o D_{2max} / (NV_i) \quad (8)$$

$$L_{max} = V_i(V_i - V_o / N) / (4f_{sw}P_{max}) \quad (9)$$

$$C = I / (2f_{sw}\Delta V_{pp}) \quad (10)$$

Denklemleri düzenlenirse

$$D_1 = \sqrt{f_{sw}L} \sqrt{v_o I_o} / V_i \quad (11)$$

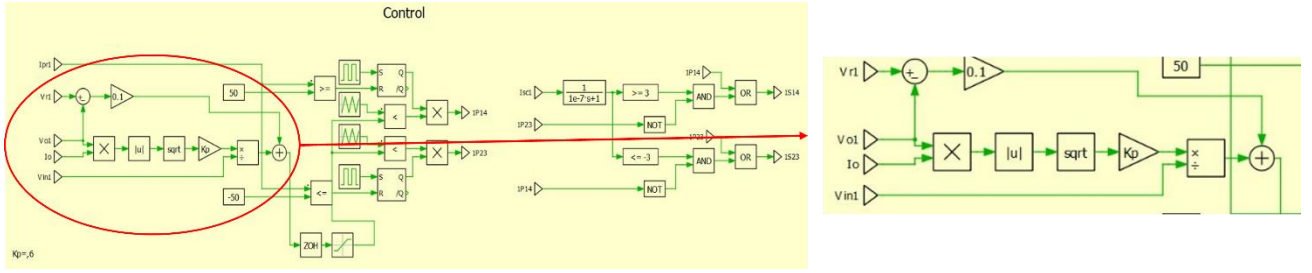
$$K_p = \sqrt{f_{sw}L} \quad (12)$$

Şeklini alır.

Son çıktı olarak aşağıdaki formül hesaplanmıştır.

$$D_1 = K_p(\sqrt{V_o I_o} / V_i) + K_v(V_{ref} - V_o) \quad (13)$$

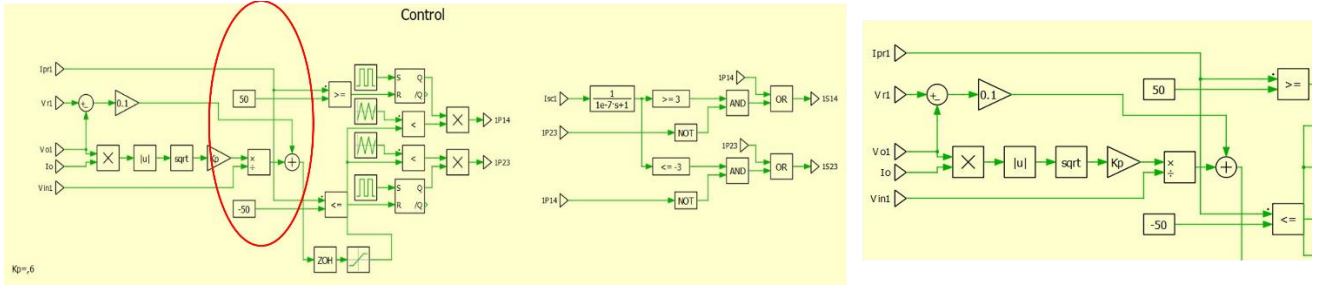
Şekil 5.6'da Duty süresinin formül 13 ile aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.7 Duty Cycle Hesap Gösterimi

5.7.2. Akım Sınırlayıcı Kullanımı

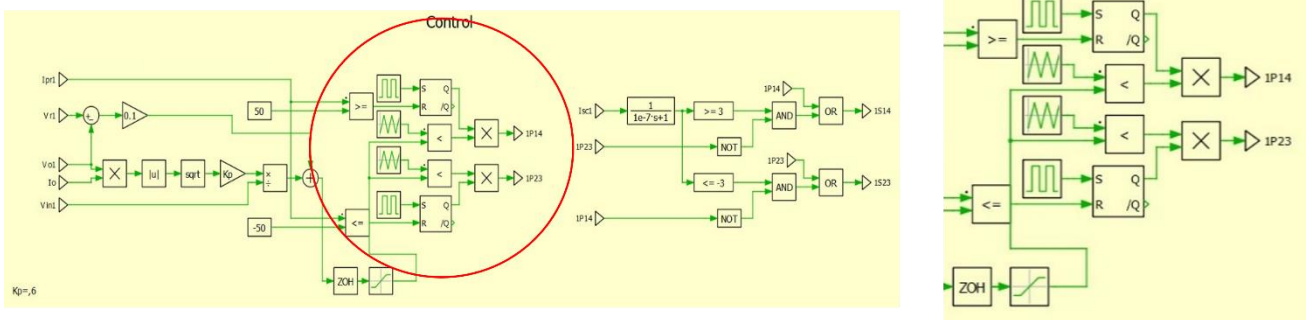
Devre yüksek akım değerlerinde koruma altına alınmaktadır bu sebeple 50 ve -50 amper aralığı harici devre çalışmamaktadır. Sınırlama Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Akım Sınırlayıcı

5.7.3. Primer Duty Çıkışı

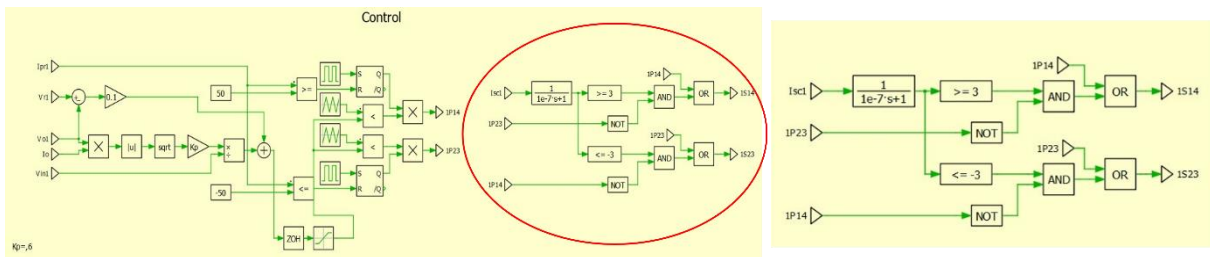
Şekil DAB Kontrol 3 ten gelen değer Zero Order Hold' dan geçerek örneklenmiştir. Örnekleme sonrasında belirli değer üzerinde gereksinim duyulmadığı ve işlem kolaylığı için satürasyon yapılmıştır. Çıkan değer belirli faz kaymalı 2 sinyal jeneratörden çıkan sinyalle karşılaştırma işlemine tabi tutulmaktadır. Buranın sonucundan gelen değer; Şekil 5.8'deki akım sınırlamasından gelen değer ve üretilen darbe jeneratörünün SR bloğunda işleminden geçmiş değerle çarpılmaktadır. Bunun sonucunda Primerdeki 1,4 anahtarları için ve Primerdeki 2,3 anahtarları için PWM değeri olmaktadır.



Şekil 5.9 Primer Duty Çıkışları

5.7.4. Sekonder Duty Çıkışı

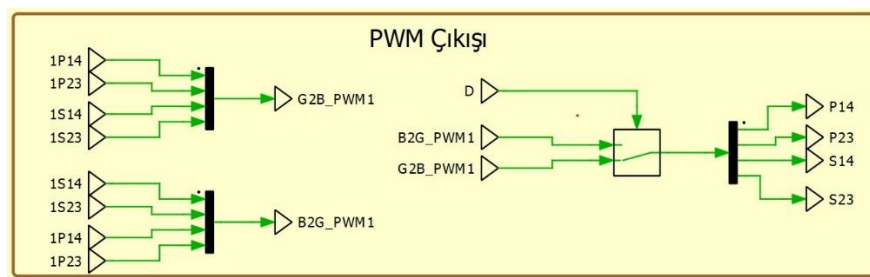
Devrede sınırlama koymak için Transformatör akımının transfer fonksiyonu alınıp 3 ve -3 aralığında sekonder için pwm çıkışı engellenmiştir. Devre 3 ten büyükse primerdeki 2,3 anahtarlarının PWM'lerinin değilleri ile aynı anda çalışması istenmiştir ek olarak primerdeki 1,4 anahtar PWM leri on durumundaysa sekonderin 1,4 anahtarlarının PWM çıkışı vermesi istenmiştir. Ya da Devre 3 ten küçükse primerdeki 1,4 anahtarlarının zıt durumu ile aynı zamanda çalışması istenmiştir. Aynı zamanda primerdeki 1,2 anahtarları on durumundaysa Sekonderdeki 2,3 anahtarlarının çalışması istenmiştir. Anlatılanlar Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10 Sekonder Duty Çıkışı

5.8. PWM Yönlendirme

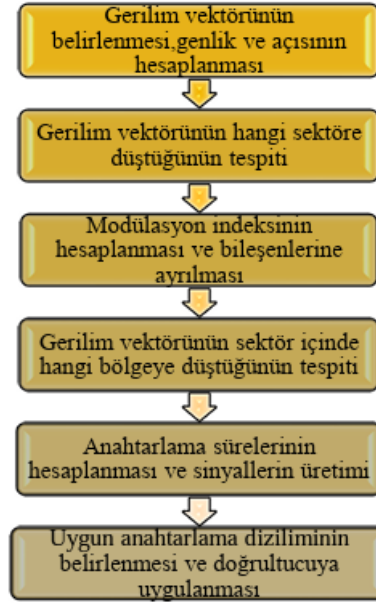
Kontrol adımından gelen çıkışların uygulanabilmesi için uygulanan bölgenin seçilmesi işlemi Şekil PWM Yönlendirme 1 de gösterilen şekilde Adım 2'deki direction bloğunun çıktısına göre yönlendirme sağlamaktadır.



Şekil 5.11 DAB PWM Yönlendirme Şema

BÖLÜM 6. UZAY VEKTÖR DGM İLE ÜÇ SEVİYELİ DOĞRULTUCUNUN SİMÜLİNK BENZETİMİ

Üç seviyeli doğrultucu için matematiksel modeli çıkarılan uzay vektör DGM'ye dayanarak Şekil 6.1.'de gösterildiği gibi bir akış diyagramı çizilebilir. Bu diyagram MATLAB/Simulink ortamında benzetimin yapılmasını oldukça basitleştirir.



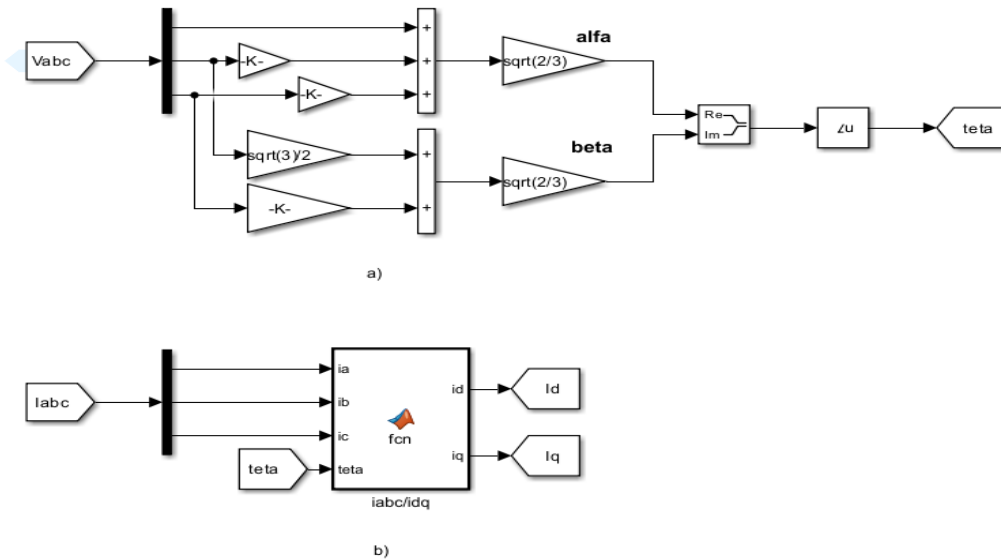
Şekil 6.1 Uzay vektör DGM tekniğinin akış diyagramı

Uzay vektör DGM ile kontrol edilen üç seviyeli doğrultucu Şekil 6.2.'de verilmiştir. Genel olarak devre topolojisi anlatılacak olursa, ilk olarak şebekeden uygulanan üç boyutlu gerilim (V_{abc}) ve akım (i_{abc}) Clark ve Park dönüşümleri kullanılarak iki boyutlu gerilim (V_d, V_q) ve akıma (i_d, i_q) dönüştürülür. Bunun yapılmasındaki amaç iki boyutlu eksenle daha kolay kontrol yapılıyor olmasıdır.

kullanılan teknik ne olursa olsun, doğrultucu, dolaylı olarak devrenin nötr kısmına göre ölçülen gerilimleri kontrol ederek bu endüktanslardaki akımın şeklini düzeltebilir.

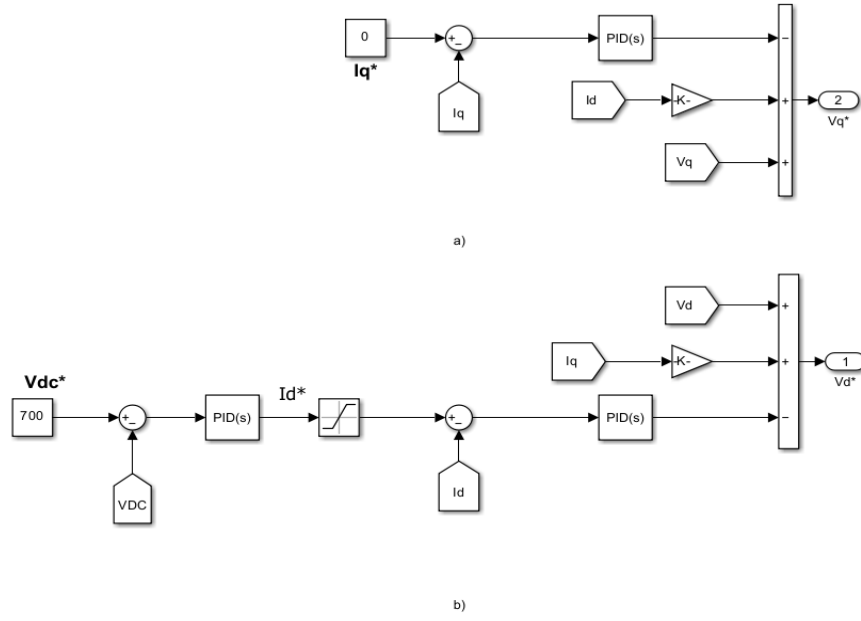
6.1. Gerilim ve Akım Kontrolcülerile Uzay Vektör DGM'nin Tasarlanması

Vektör kontrolünde, şebekenin gerilim ve akımları dönen referans sistemine (dq koordinat sistemi) dönüştürülür. Şebeke gerilimine ilk olarak Clark ($\alpha\beta$) dönüşümü uygulanarak açı (θ) hesaplanır. Bu θ açısı referans gerilim vektörünün α eksenine ile yaptığı açıdır. Daha sonra θ açısı kullanılarak Park dönüşümü (dq) uygulanır. Bu dönüşüm, şebeke akımlarının PI kontrolcüler tarafından işlenmeden önce üç eksenli sabit koordinat sisteminden iki eksenli dönen dq koordinat sistemine matematiksel olarak dönüştürülmesi demektir. dq dönen koordinat sistemine dönüştürülen akımlar kontrolü oldukça basitleştirir. PI tipi kontrolcüler sinüzoidal sinyaller yerine sürekli sinyaller üzerinde hareket eder. Id bileşeni aktif güç, Iq bileşeni ise reaktif güç birbirinden bağımsız olarak kontrol etmeyi sağlar. Şekil 6.3'te PLL bloğunun içindeki $\alpha\beta$ dönüşümü yardımıyla θ açısı bulunmuş ve dq dönüşümü ile akımlar dönen referans koordinat sistemine dönüştürülmüştür.



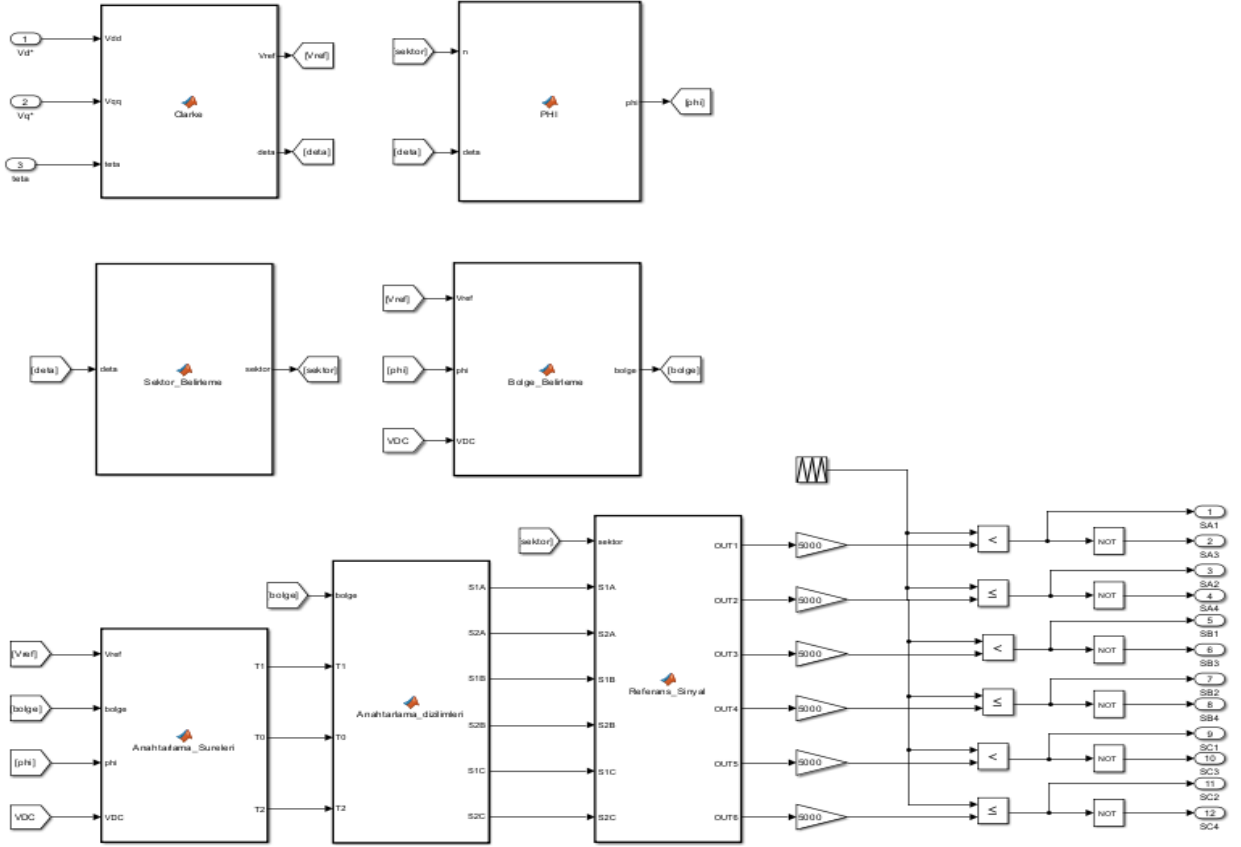
Şekil 6.4 a) $\alpha\beta$ dönüşümü (b) dq dönüşümü

Dış gerilim ve iç akım döngüsünden oluşan kontrolcü yapıları Şekil 6.5'te gösterilmiştir. Akım kontrol döngüsüne decoupling uygulanarak akımların birbirinden bağımsız olarak kontrol edilmeleri sağlanmıştır.



Şekil 6.5 (a) Dış gerilim kontrolü (b) iç akım kontrolü (decoupling)

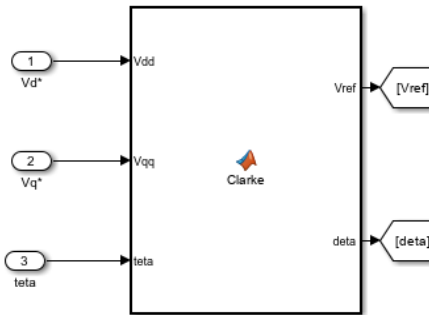
Kontrolcü çıkışında oluşan dq dönen koordinat sistemi gerilimleri V_d^* ve V_q^* , uzay vektörde referans gerilim vektörünü oluşturacak olan değerlerdir. Şekil 6.6'te uzay vektör DGM (UVDGM) bloğunun iç yapısı gösterilmiştir. Şekil 6.1.'de verilmiş olan akış diyagramı göz önüne alınarak anahtarlama sinyalleri bulunur.



Şekil 6.6 Uzak vektör DGM (UVDGM) blok şeması

6.1.1. Referans Gerilim Vektörünün Hesaplanması

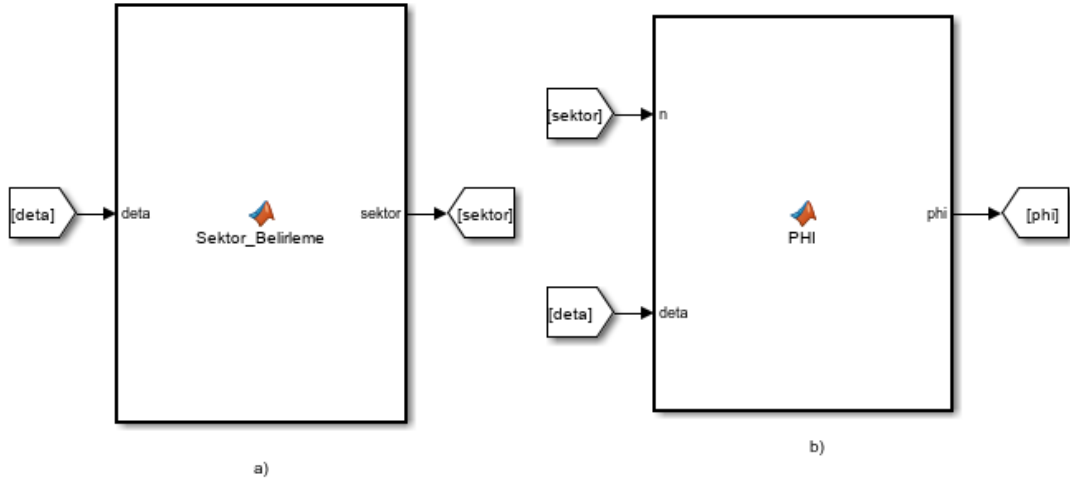
Referans gerilim vektörünü belirlemek için dq koordinat sistemindeki gerilimler (V_d^* ve V_q^*) tekrar $\alpha\beta$ koordinat sistemine dönüştürülmelidir. Dönüştürülen gerilimlerin (V_a ve V_b) karelerinin karekökü alınarak V_{ref} gerilim vektörü bulunur. Şekil 6.7 'de bu durum gösterilmiştir.



Şekil 6.7 Referans gerilim vektörünü (V_{ref}) bulmak için blok şeması

6.1.2. Sektör ve Phi Açısının Hesaplanması

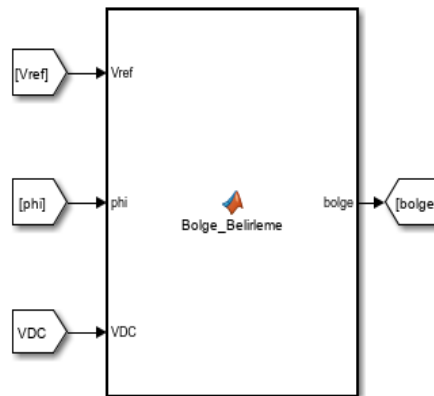
Referans gerilim vektörünün uzay vektör içinde hangi sektöre düştüğü deta açısına bakılarak belirlenir. Sektör tespiti yapıldıktan sonra anahtarlama sinyallerinin daha kolay bir şekilde çıkarılmasını sağlamak amacıyla uzay vektördeki tüm sektörler referans bir sektöre (Sektör 1) indirgenir. Bu amaç doğrultusunda tüm sektörlerle karşılık gelen deta açısı, sektör 1'e karşılık gelen ϕ (phi) açısı cinsinden yazılır. Bu anlatılan olaylar Şekil 6.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.8 Sektör ve ϕ açısını bulmak için blok şeması

6.1.3. Bölge ve Modülasyon İndeksinin (mn) Hesaplanması

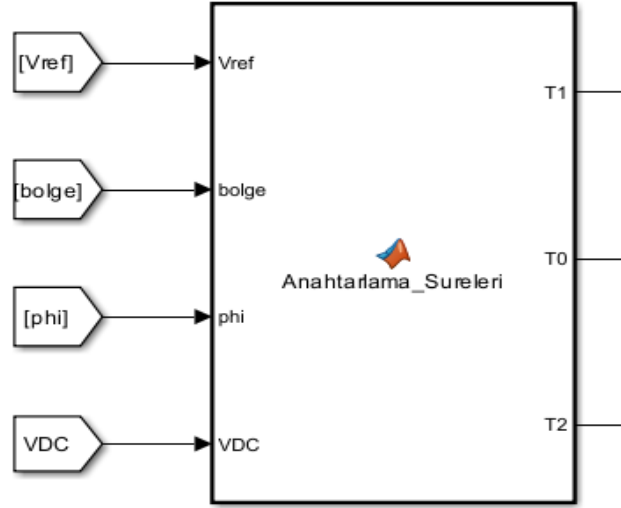
Önceki bölümde bahsedildiği gibi Vref ve Vda gerilimlerinin belli bir orana göre bölünmesi sonucunda modülasyon indeksi bulunur. Gerilim vektörünün uzay vektör içinde bulunan sektörlerden (1-6) hangisine düştüğünün tespiti yapıldıktan sonra, sektör içinde hangi bölgeye (1-4) düştüğünün tespiti de Şekil 6.9.'daki gibi yapılır.



Şekil 6.9 Bölge ve modülasyon indeksinin tespitini yapan blok şeması

6.1.4. Anahtarlama Sürelerinin Hesaplanması

Herhangi bir sektör (1-6) içinde herhangi bir bölgeye (1-4) düşen referans gerilim vektörünün anahtarlama süresi gerilim vektörünün düştüğü bölgeyi oluşturan en yakın üç vektör tarafından oluşturulur. Şekil 6.10'da anahtarlama sürelerinin hesabı gösterilmiştir.



Şekil 6.10 Anahtarlama sürelerinin hesaplanması için oluşturulan kod blok şeması

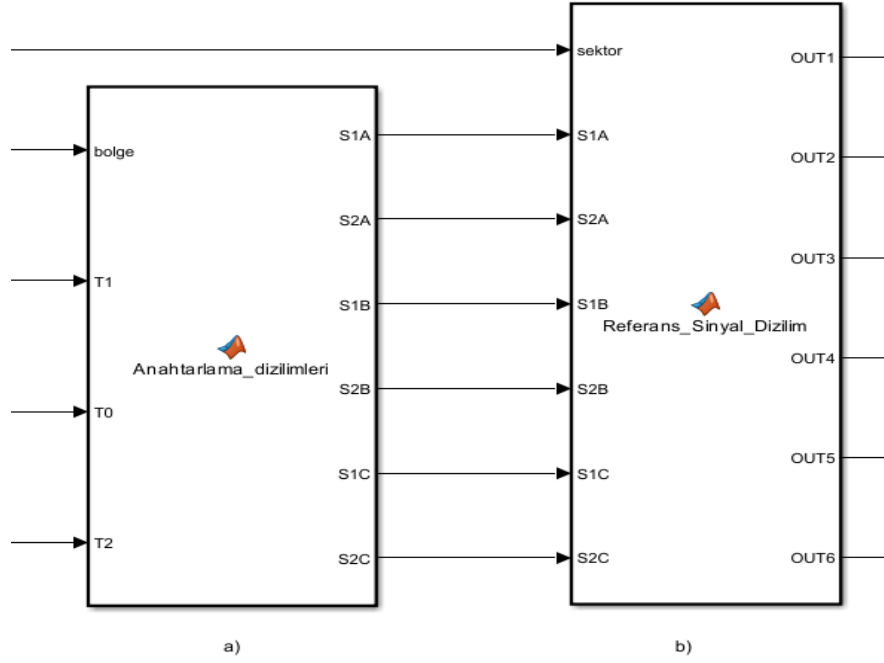
6.1.5. Anahtarlama Dizilimlerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, düşük THD değeri elde etmek için tüm gereksiz anahtarlama durumları en uygun anahtarlama dizilimini oluşturmak için düzenlenmiştir. Sektör 1 için en uygun anahtarlama dizilimi aşağıdaki gibidir [1];

1. Bölge 1: PPO-POO-OOO-OON-ONN ve geri dön
2. Bölge 2: PPO-POO-PON-OON-ONN ve geri dön
3. Bölge 3: PPO-PPN-PON-OON ve geri dön
4. Bölge 4: POO-PON-PNN-ONN ve geri dön

Her bir bölge için anahtarlama dizimlerine karşılık gelen anahtarlama süreleri hesaplandıktan sonra basitleştirilmiş bir anahtarlama algoritmasına göre anahtarlama sinyallerini oluşturur. Bu sinyaller üçgen bir taşıyıcı ile karşılaştırılarak, anahtarları tetikleyen sinyaller oluşturulur. Oluşturulan bu tetikleme sinyalleri uzay vektör DGM tekniği göz önüne alınarak, doğrultucunun her bir fazında bulunun dört anahtara uygulanır. Bu sayede toplam 12 anahtar

tetiklenerek doğrultucu çıkışında DA bir çıkış gerilimi ve şebeke tarafında sinüzoidal bir akımın oluşması sağlanır. Şekil 6.11.'da anahtarlama sinyallerinin üretimi ve basitleştirilmiş anahtarlama dizilim algoritması gösterilmiştir.

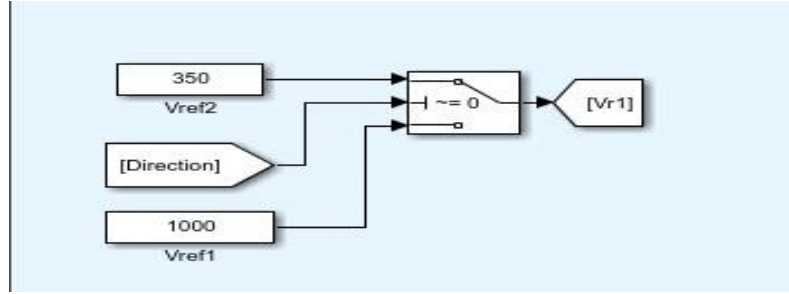


Şekil 6.11 (a) Anahtarlama sinyallerinin oluşturulması (b) Basitleştirilmiş anahtarlama dizilim algoritması

7.2. Referans-Yön Kontrolü

Çalışmanın Simulink devresinde, Dual Active Bridge'in çift yönlü özelliğini kullanmak için Bölüm 5.3.1'de anlatıldığı üzere sabit bir referans değer girişi tercihi ile kurulmuştur. Bu referans gerilimi G2V durumu için 350V iken V2G durumu için ise 1000V olarak belirlenmiştir.

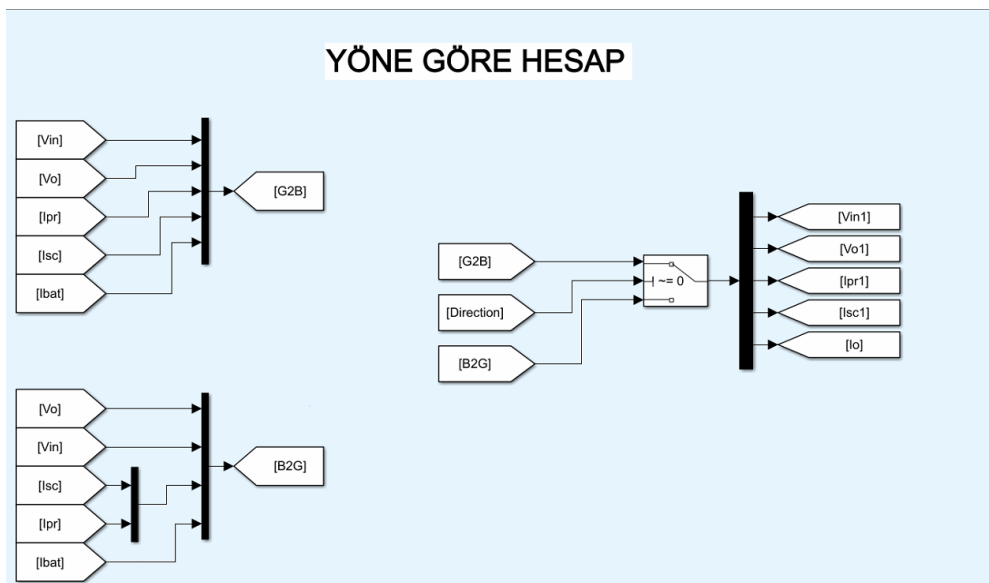
Referans-Yön Kontrolündeki kriter Direction bloğudur. Yani Şarj/Deşarj işlemi seçimidir. Bu işlem seçimi Referans değerinin 350V veya 1000V olmasını sağlar.



Şekil 7.4 Referans-Yön Kontrolü Simulink

7.3. Yöne Göre Hesap

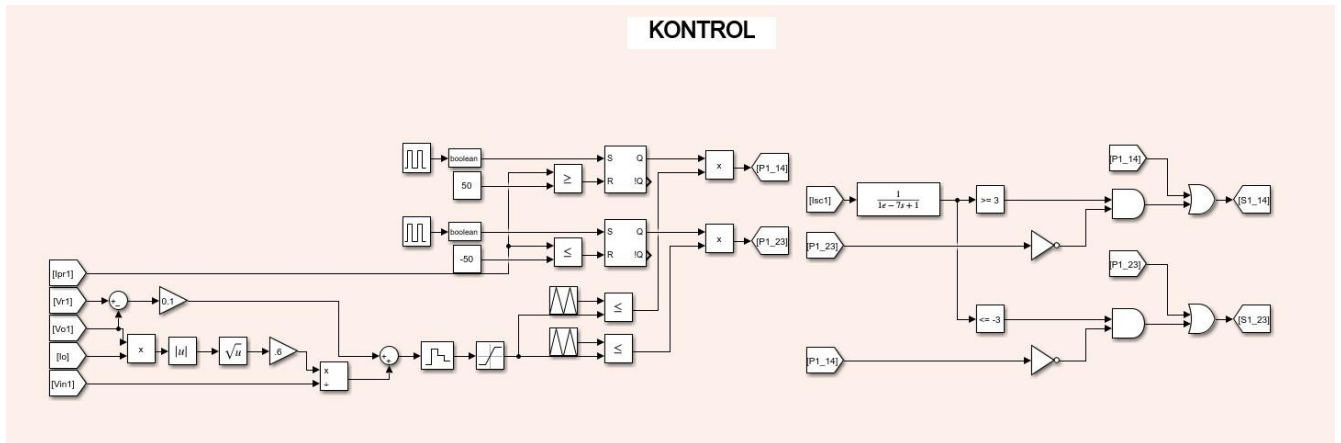
Dual Active Bridge devresinin Simulink benzetiminde yön belirlendikten sonra referans tayini yapıлып bu yöne göre hesap yapılacağı ve parameter atamalarının yapıldığı bir blok diyagramı olarak sunulmaktadır.



Şekil 7.5 Yöne Göre Hesap Simulink

7.4. Simulink ile DAB Kontrol Mekanizması

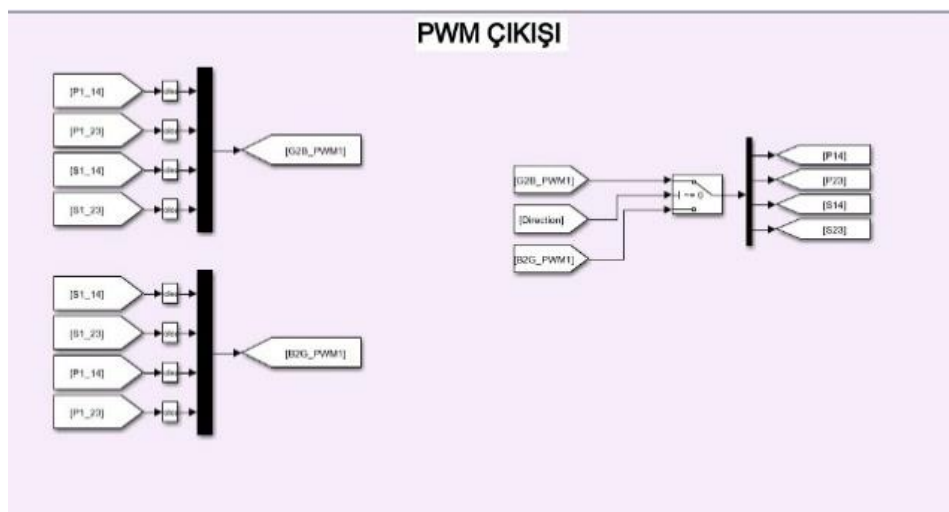
Bu aşamada Şarj istasyonunun DAB kısmı için kontrol mekanizmasının Simulink ortamında PWM modülasyonu kullanılarak 50A ve -50A akım sınırlamaları ile önlem alınarak Çift Aktif Köprü'de yer alan IGBT kapılarının için tetikleme sinyallerinin üretimini sağlayacak kontrol mekanizmasının kurulumu gösterilmiştir.



Şekil 7.6 Dual Active Bridge Simulink Kontrolü

7.5. PWM Sinyallerinin Simulink Ortamında Yönlendirilmesi

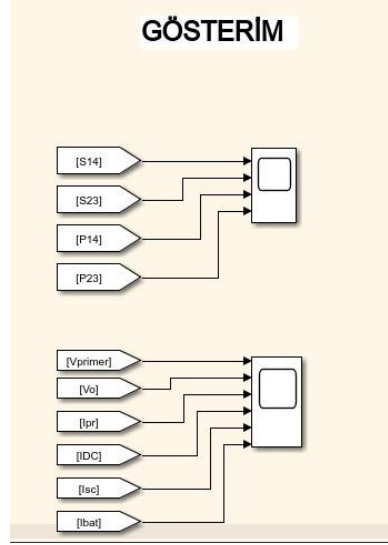
Bu kısımda, 7.4'te PWM modülasyonu ile üretilen kapı sinyallerinin G2V/V2G çalışma yönü göz önünde bulundurularak IGBT kapılarına atanması Simulink ortamında gösterilmektedir.



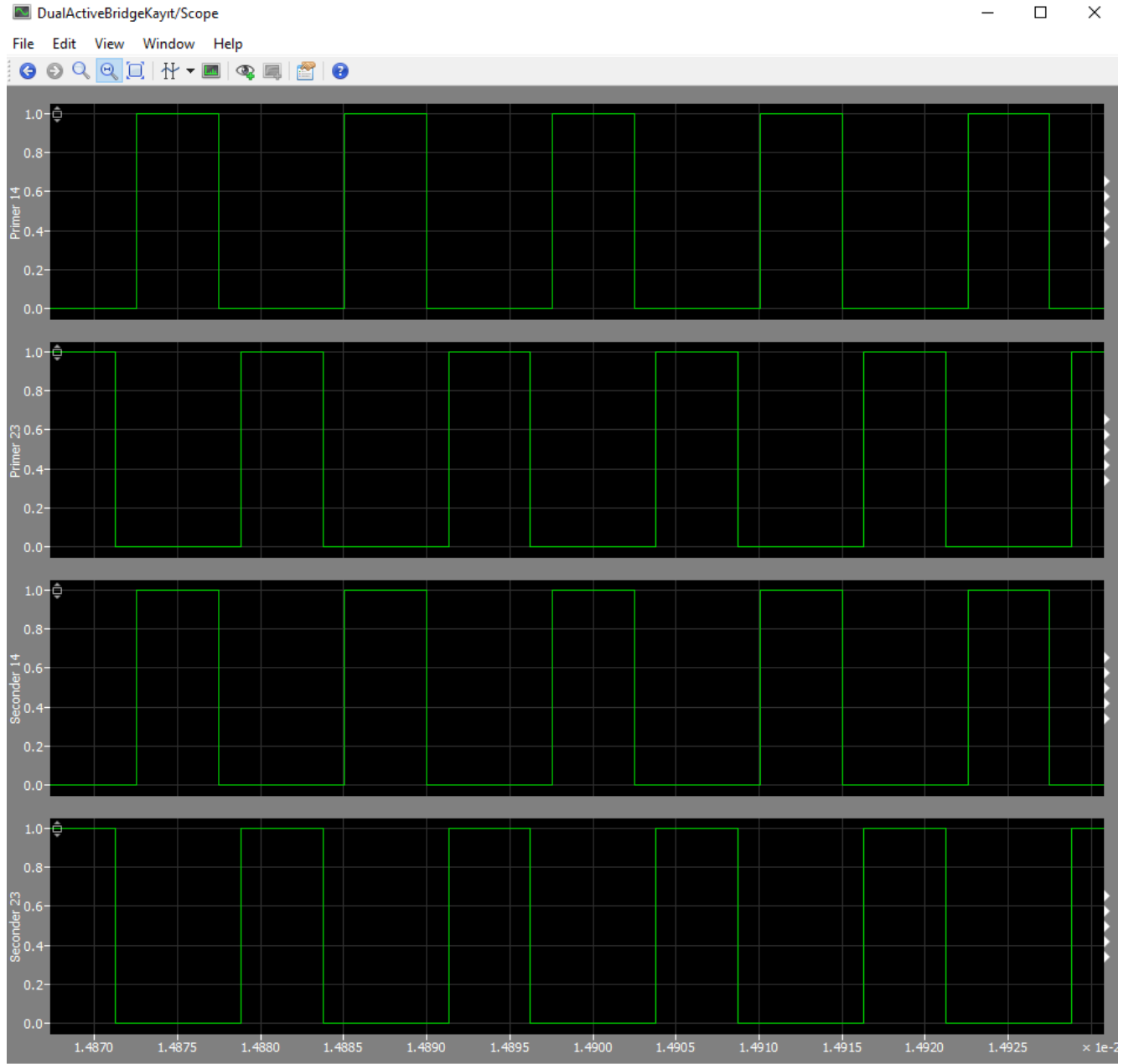
Şekil 7.7 DAB PWM Yönlendirme Simulink

7.6. DAB Sonuçlarının Gözlemlenmesi

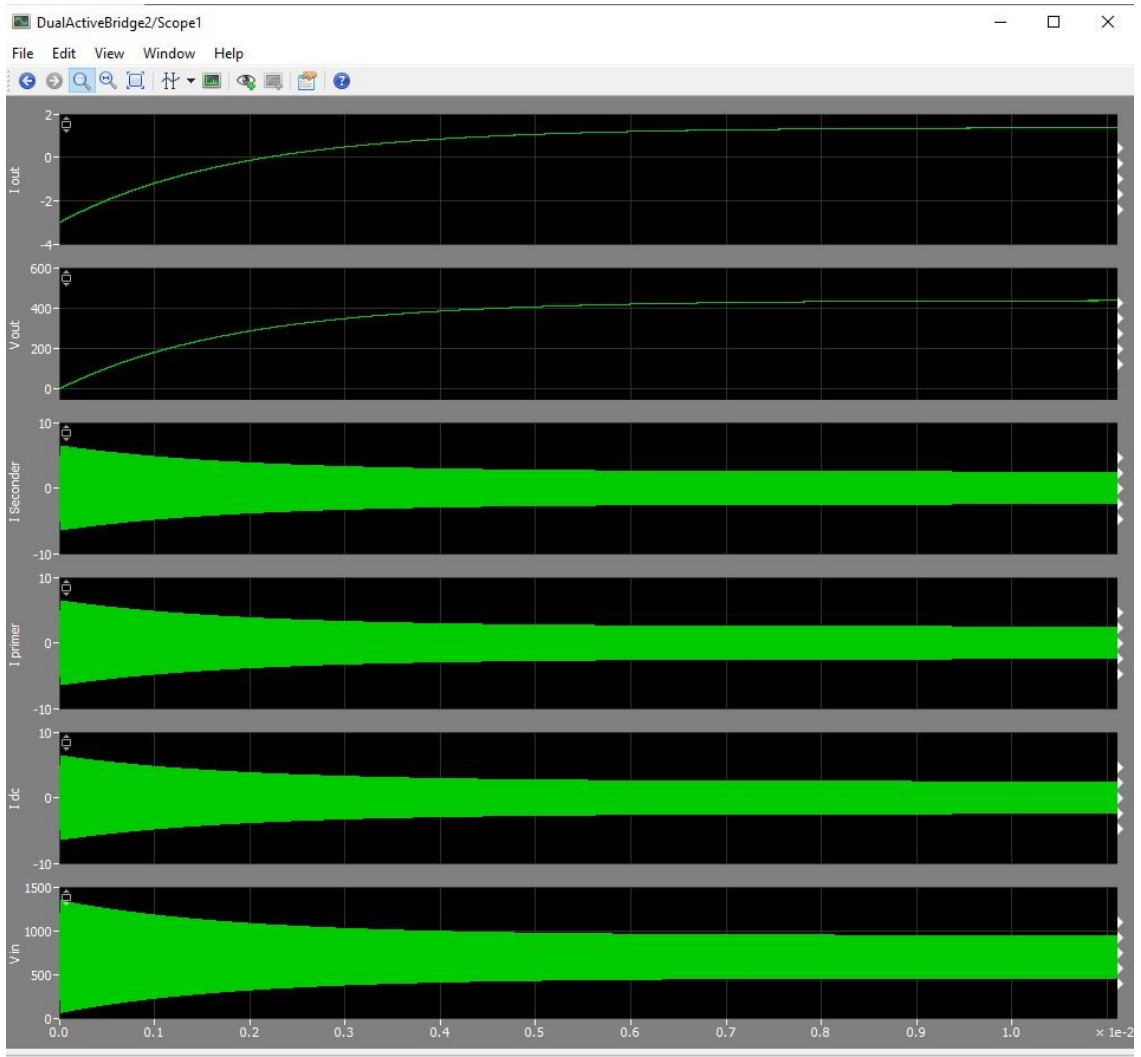
Bu kısımda, Şekil 7.8’de, Simulink ortamında hangi Scope ile hangi parametrelerin birarada gösterildiği verilmiştir. Birinci Scope çıktıları Şekil 7.9’da görüldüğü üzere PWM Modülasyonu ile üretilen kapı sinyalleridir. İkinci Scope çıktıları ise Şekil 7.10’da görüldüğü üzere DAB Primer-Sekonder Köprülerdeki V-I, Gerilim-Akım, sonuçlarıdır.



Şekil 7.8 DAB Scope Simulink



Şekil 7.9 DAB IGBT PWM Tetiklemeler



Şekil 7.10 DAB Primer-Sekonder V-I Grafikleri

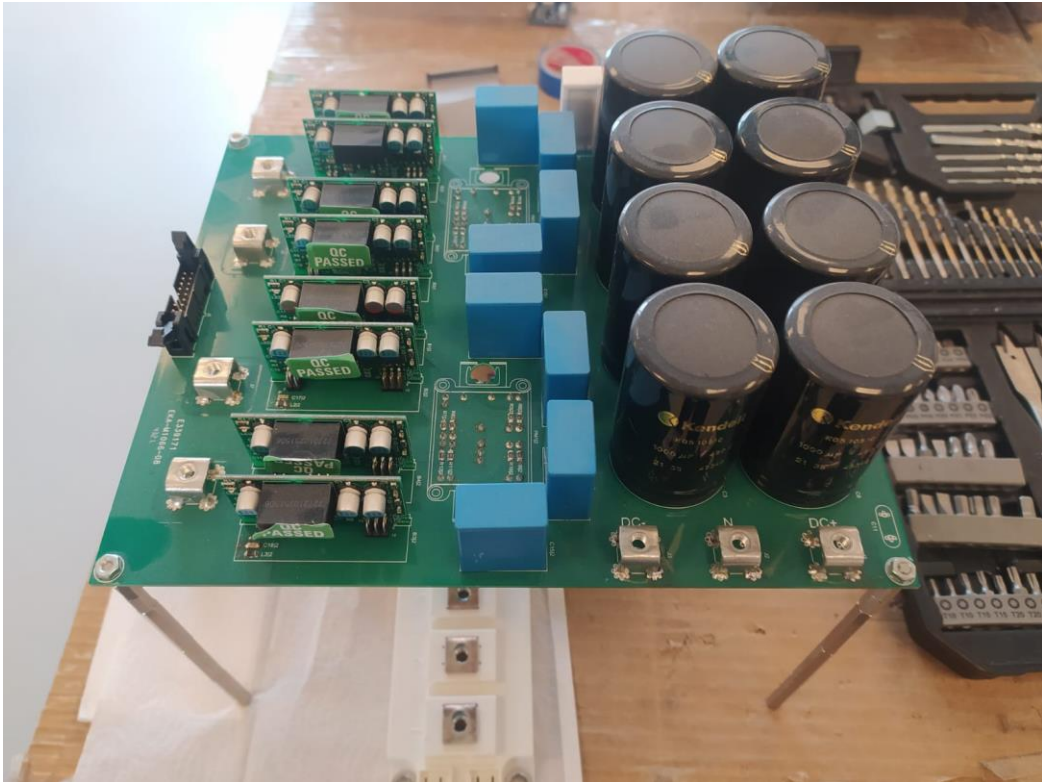
BÖLÜM 8. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYON TASARIMININ DC-DC DAB DEVRE GERÇEKLENMESİ



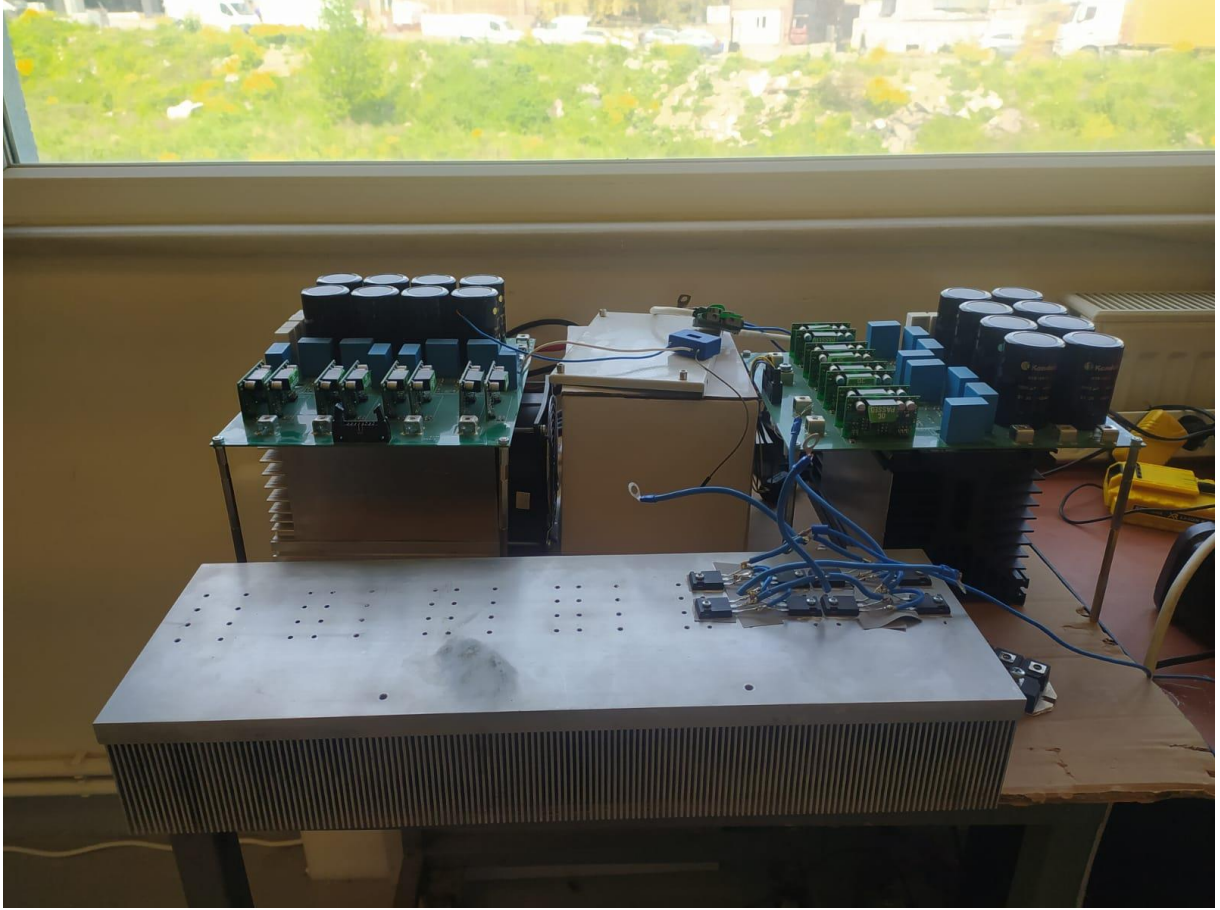
Şekil 8.1 IGBT ve Sürücüleri- 1



Şekil 8.2 IGBT ve Sürücüleri-2



Şekil 8.3 IGBT ve Sürücüleri-3



Şekil 8.4 Dual Active Bridge

BÖLÜM 9. TARTIŞMA VE FARKLI TOPOLOJİLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Elde edilen bulgular, Dual Active Bridge devresinin elektrikli şarj istasyonları, endüstriyel kontrol sistemleri ve ses sistemleri gibi birçok uygulama alanında gelecekte daha yaygın olarak kullanılabileceğini desteklemektedir. Kontrol edilebilir anahtarların doğru şekilde çalışması, enerji verimliliğinin artırılmasına ve güç kayıplarının azaltılmasına katkı sağlar. Ayrıca, devrenin yüksek frekanslı çalışması, hızlı ve etkili sinyal işleme imkanı sağlayarak daha hassas ve güçlü performans elde edilmesini mümkün kılar.

9.1. Farklı Topolojilerin Karşılaştırılması

9.1.1. Tam H Köprü (Full H-Bridge):

Tam H köprüsü, Dual Active Bridge'ye benzer bir yapıya sahiptir. Her iki yönde akım geçişi sağlayan ve kontrol edilebilir anahtarları içeren bir devre yapısına sahiptir. Dual Active Bridge'ye benzer şekilde, güç dönüşümü ve motor kontrolü gibi uygulamalarda kullanılabilir. Ancak, tam H köprüsü, tamamen simetrik bir yapıya sahip olduğundan daha yüksek güç taleplerini karşılamak için daha geniş bir güç kaynağı gerektirebilir.

9.1.2. Yarım H Köprü (Half H-Bridge):

Yarım H köprüsü, Dual Active Bridge'den farklı olarak sadece bir yönde akım geçişine izin veren ve tek bir kontrol edilebilir anahtar içeren bir devre topolojisidir. Bu nedenle, güç dönüşümü veya motor kontrolü gibi uygulamalarda sadece bir yönlü akım kontrolü gerektiren durumlarda tercih edilebilir. Dual Active Bridge'ye kıyasla daha basit bir yapıya sahiptir, ancak iki yönlü kontrol ve işleme yeteneklerinden yoksundur.

9.1.3. Push-Pull Devresi:

Push-pull devresi, iki adet transistör veya MOSFET kullanarak çalışan bir devre topolojisidir. İstenilen yönde akım geçişi sağlar ve sinyal amplifikasyonu için kullanılır. Dual Active Bridge'den farklı olarak, güç dönüşümü uygulamalarında yaygın olarak kullanılan doğrultucu devrelerde kullanılır. Push-pull devresi, daha basit bir yapıya sahip olmasına rağmen, yüksek güçlerde çalışırken daha fazla güç kaybına neden olabilir.

Her bir devre topolojisi farklı uygulama ihtiyaçlarını karşılamak için tasarlanmıştır ve avantajlarıyla birlikte bazı kısıtlamalara da sahiptir. Dual Active Bridge, iki yönlü akım kontrolü ve verimli güç dönüşümü sağlama yetenekleriyle öne çıkar. Ayrıca, kontrol edilebilir anahtarların kullanımı, daha hassas sinyal işleme ve güç yönetimi imkânı sunar. Ancak, güç talepleri ve tasarım karmaşıklığı gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

BÖLÜM 10. ŞARJ İSTASYONLARI VE GELECEK DAB KULLANIM ALANLARI

Dual Active Bridge devresi, elektrikli şarj istasyonları gibi birçok uygulama alanında gelecekte önemli bir rol oynaması beklenen bir teknolojidir. İşte devrenin elektrikli şarj istasyonları ve diğer kullanım alanları hakkında gelecekteki potansiyelleri:

10.1. Elektrikli Şarj İstasyonları

Elektrikli araçların popülaritesi arttıkça, elektrikli şarj istasyonları da yaygınlaşmaktadır. Dual Active Bridge devresi, elektrikli araçların hızlı ve etkili bir şekilde şarj edilebilmesi için kullanılabilir. Kontrol edilebilir anahtarlar sayesinde, enerji verimliliği sağlanabilir ve şarj süreleri optimize edilebilir. Ayrıca, Dual Active Bridge devresi ile güç yönetimi ve akım kontrolü daha hassas bir şekilde gerçekleştirilebilir.

10.2. Güç Elektroniği Uygulamaları

Dual Active Bridge devresi, güç elektroniği uygulamalarında geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Motor sürücüleri, endüstriyel otomasyon sistemleri, güç kaynakları, alternatif enerji sistemleri gibi alanlarda etkin bir şekilde kullanılabilir. Kontrol edilebilir anahtarlar sayesinde enerji verimliliği artırılabilir, güç faktörü iyileştirilebilir ve güç kayıpları minimize edilebilir.

10.3. Ses Sistemleri

Dual Active Bridge devresi, ses sistemlerinde yüksek güç amplifikasyonu sağlamak için kullanılabilir. Özellikle yüksek kaliteli ses sistemlerinde, güçlü ve hassas bir amplifikasyon gereklidir. Kontrol edilebilir anahtarlar ve doğru kontrol algoritması kullanılarak, yüksek verimli ve doğru sinyal işleme sağlanabilir.

10.4. Endüstriyel Kontrol Sistemleri

Endüstriyel otomasyon sistemleri, fabrika otomasyonu ve robotik uygulamalarda Dual Active Bridge devresi kullanılabilir. Kontrol edilebilir anahtarlar ve doğru sinyal işleme algoritması sayesinde, motor kontrolü ve güç yönetimi daha hassas bir şekilde gerçekleştirilebilir. Bu, daha iyi performans, enerji verimliliği ve güvenlik sağlar.

Gelecekte, Dual Active Bridge devresi teknolojisinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi beklenmektedir. Yeni malzemelerin ve bileşenlerin kullanılması, daha yüksek frekanslı çalışma, daha düşük güç kayıpları ve daha etkili enerji yönetimi gibi avantajları beraberinde getirecektir. Bu da Dual Active Bridge devresinin elektrikli şarj istasyonları ve diğer uygulama alanlarında daha yaygın olarak kullanılmasını sağlayacaktır.

BÖLÜM 11. SONUÇ

11.1. Avantajlar

- Yüksek verimlilik: Dual Active Bridge ve NPC, yüksek frekanslı anahtarlama ile birlikte yüksek dönüşüm verimliliği sağlar.
- Çift yönlü enerji akışı: Enerji akışının çift yönlü olabilmesi, enerji geri beslemesini ve enerji yönetimini optimize eder.
- Esneklik: Dual Active Bridge, geniş bir güç aralığında çalışabilme özelliğine sahiptir.
- Yüksek frekanslı anahtarlama: Yüksek frekanslı anahtarlama, daha kompakt ve hafif dönüştürücü tasarımlarına olanak sağlar.

11.2. Dezavantajlar

- Karmaşık kontrol: Dual Active Bridge ve NPC, karmaşık kontrol stratejileri gerektirebilir.
- Yüksek maliyet: Diğer dönüştürücü topolojilerine göre daha yüksek maliyetli olabilir.
- EMC sorunları: Yüksek frekanslı anahtarlama, elektromanyetik uyumluluk (EMC) sorunlarına neden olabilir.

11.3. Sonuç

Çalışmanın doğrultucu bölümünde, uzay vektör DGM ile kontrol edilen üç faz üç seviyeli doğrultucu devresinin normal ve bozulmuş geçici durumlardaki simülasyon benzetimleri incelenmiştir. Benzetimlerin yüksek bir doğruluk ile istenileni sağladığı görülmüştür. Girişteki şebeke akımının harmonik içeriğinin azaldığı ve DA çıkış geriliminin arzu edilen referans gerilimi takip ettiği doğrulanmıştır. DA tarafta bulunan kondansatörlerin yük gerilimini eşit olarak paylaştığı ve şebeke akımındaki THD değerinin %5'den küçük gibi iyi bir değerde çıktığı görülmüştür. Çalışmanın DC-DC kısmında, Dual Active Bridge devresinin çalışma prensipleri, malzemeleri, kontrol algoritması ve performansı hakkında kapsamlı bir inceleme sunulmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar, Dual Active Bridge devresinin yüksek verimlilik, doğru güç yönetimi ve hızlı sinyal işleme sağlama potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Gelecekte, bu teknolojinin elektrikli araç şarj istasyonlarından endüstriyel kontrol sistemlerine kadar birçok alanda daha yaygın olarak kullanılması beklenmektedir. Yeni malzemelerin ve bileşenlerin kullanılmasıyla daha da geliştirilen Dual Active Bridge devresi, güç elektroniği uygulamalarında önemli bir rol oynamaya devam edecektir.

Dual Active Bridge, güç dönüşümü ve sinyal işleme uygulamalarında önemli bir rol oynayan etkili bir devre topolojisidir. Kontrol edilebilir anahtarların kullanılması, enerji verimliliği ve güç

yönetimi açısından büyük avantajlar sağlar. Bu köprü, enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar, güç kayıplarını minimize eder ve sistem performansını artırır. Ayrıca, hassas kontrol imkânı sayesinde sinyallerin istenen şekilde işlenmesini sağlar. Dual Active Bridge, endüstriyel uygulamalarda, güç elektroniği sistemlerinde ve motor kontrolünde etkin bir şekilde kullanılan bir çözümdür. Gelişen teknolojiyle birlikte, Dual Active Bridge devre topolojisinin daha da optimize edilmesi ve uygulama alanlarının genişletilmesi beklenmektedir.

BÖLÜM 12. KAYNAKLAR

- [1] Wu, B., 2006. High-power converters and ac drives, The Institute of Electrical and Electronics Engineer. Inc.2006.
- [2] Sirisukprasert, S., 1999. Optimized Harmonic Stepped Waveform for Multilevel Inverter, Master Thesis, Blacksburg Virginia, USA.
- [3] Betanzos-Ramirez, J.D., Rodriguez-Rivas, J.J., Peralta-Sanchez, E. 2011. DSP-based simplified space-vector PWM for a three-level VSI, 2011 Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), 277 - 282.
- [4] Nabae, A., Takahashi, I. and Agaki, H., 1981. A New Neutral-Point-Clamped PWM Inverter, IEEE Transactions. on Industry Applications, 17(5), 518-523.
- [5] Peng, F.Z., 2000. A Generalized Multilevel Inverter Topology with Self Voltage Balancing, IEEE Industry Applications Conference, Rome, 8-12 October, 2024-2031.
- [6] Deniz, E. (2010). Uzay vektör darbe genişlik modülasyonu kullanan üç seviyeli H köprü evirici tabanlı D-statkom'un tasarımı ve gerçekleştirilmesi. Doktora Tezi.
- [7] Celanovic, N. (2000). Space vector modulation and control of multilevel converters (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
- [8] Sanchez, O. L. (2009). Space Vector Pulse-Width Modulation for Multilevel Multiphase Voltage-Source Converters (Doctoral dissertation, Tesis doctoral], Universidad de Vigo, 2008.[Links]].
- [9] Kasmierkowski, M., & Tunia, H. (1994). Automatic control of converter fed drives. ELECTRONIC ENGINEERING, 4, 6.
- [10] Cichowlas, M., Sobczuk, D., Kazmierkowski, M. P., & Malinowski, M. (2000). Novel artificial neural network based current controller for PWM rectifiers. In Proc. 9th Int. Conf. Power Electronics and Motion Control (pp. 41-46).
- [11] Krishnan, R., Irwin, J. D., Kazmierkowski, M. P., & Blaabjerg, F. (2002). Control in Power Electronics: Selected Problems.
- [12] Lechat, S. S. (2010). Voltage oriented control of three-phase boost PWM converters.
- [13] Mohan, Ned. "Dual Active Bridge Converter." Power Electronics: Converters, Applications, and Design, 3rd Edition, Wiley, 2002, pp. 471-480.
- [14] Zhang, Xiaoyu, et al. "A Review of Dual-Active-Bridge Converters for High-Power Applications." IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, no. 2, 2017, pp. 1237-1250.
- [15] Tao, Xinbo, et al. "Dual-Active-Bridge DC–DC Converters: A Comprehensive Review." IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 35, no. 7, 2020, pp. 6504-6527.

[16] Liu, Yu, et al. "Dual Active Bridge Converter: Overview and Trends." IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 33, no. 6, 2018, pp. 4681-4705.

[17] Gu, Shuai, et al. "A Comprehensive Review on Dual Active Bridge Converters: Topologies, Modulation Strategies, and Applications." IEEE Access, vol. 7, 2019, pp. 24275-24288.

[18] Soltani, Mohsen, et al. "Control and Design of Dual Active Bridge Converter for Bidirectional Energy Conversion Applications: A Comprehensive Review." IEEE Access, vol. 7, 2019, pp. 149518-149538.

[19] Yao, Rui, et al. "Review and Comparison of Control Methods for Dual Active Bridge DC–DC Converters." IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 68, no. 2, 2021, pp. 1585-1597.

[20] Yüksel, Serhat, et al. "Design and Control Considerations of Dual-Active-Bridge-Based Battery Chargers for Electric Vehicles." IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 68, no. 2, 2021, pp. 1444-1454.

[21] Mirsaeidi, Seyed Mohammad, et al. "A Comprehensive Review on Dual Active Bridge DC–DC Converters for Hybrid Electric Vehicles." IEEE Transactions on Transportation Electrification, vol. 4, no. 3, 2018, pp. 709-724.

[22] Hwang, Hyunjun, et al. "A Review on Power Flow Control Techniques of Dual Active Bridge Converters for Energy Storage Systems." Energies, vol. 13, no. 22, 2020, pp. 6016.

BÖLÜM 13. ÖZGEÇMİŞ

Ramazan Berkan TÜT

İki çocuklu bir ailenin ikinci çocuğu olarak 02.01.2000 tarihinde Merkez/Karabük 'te dünyaya gelmiştir. Öğrenim hayatına Kartaltepe Ortaokulunda başlamış olup lise eğitimini Alparslan Gazi Anadolu Lisesinde tamamlamıştır. 17.09.2019 yılında Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümüne 2. olarak başlamıştır. Eğitim hayatının 2. Yarıyılında bir teknoloji firmasında işe başlayarak okul ve iş hayatını birlikte devam etmiştir. Son yarıyıldan itibaren Umde Kapsamında Elektra firmasında eğitim almak üzere Sakarya'dan ayrılmış olup. Eğitimini 4 yılda tamamlamıştır.

Mahmut GÖRÜR

7 Temmuz 2001'de, İstanbul'un Tuzla ilçesinde ailesinin ilk çocukları olarak dünyaya geldi. 3 kardeşi var. İlkokulu Gazi Mustafa Paşa köy okulunda Ortaokulu ilçe merkezindeki İbni Sina Orta okulunda Liseyi Pendik'teki Pendik Fatih Anadolu Lisesinde bitirdikten sonra 17.09.2019 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı Bölümünde Lisans eğitimine başladı. Şu an 4.sınıfta lisans programına devam etmektedir.

Muhammed Emin AYKUT

5 Ocak 1999'da Tokat'ın Niksar ilçesinde dünyaya gelmiştir. Lise öğrenimi Atışalanı Anadolu Lisesinde tamamlamıştır. Şu an lisans öğrenimine Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği programında 4.sınıf olarak devam etmektedir