



MOTORLU ARAÇLAR TEKNOLOJİSİ

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA GÜÇ DÖNÜŞTÜRÜCÜ SİSTEMLER

2023-2-TR01-KA210-VET-000180148

Elektrikli Araçlar Teknolojisinde 4.0 Standartlarına Göre Yeni Uygulamalar



Avrupa Birliği Erasmus+ Programı tarafından finanse edilmektedir. Ancak burada yer alan bilgilerin herhangi bir şekilde kullanılmasından Avrupa Komisyonu ve Türkiye Ulusal Ajansı sorumlu tutulamaz



Bu öğrenme materyali 2023-2-TR01-KA210-VET-000180148 nolu Elektrikli Araçlar Teknolojisinde 4.0 Standartlarına Göre Yeni Uygulamalar projesi kapsamında hazırlanmıştır. Mesleki eğitim eğitimcilerine rehberlik etmesi amaçlanmaktadır. Kullanıcılar için ücretsizdir, satılamaz, çoğaltılamaz. Proje Web Sitesinde (<https://evta40.com>) bir e-kitap olarak yayınlanacaktır.

İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR	ii
1. DÖNÜŞTÜRÜCÜLER	1
1.1. Doğrultucular.....	5
1.2. Doğrultucuların Çalışması.....	6
1.3. İnvertörler	10
1.4. İnvertörlerin Çalışması	10
1.5. DC-DC Konvertörler	15
1.6. DC-DC Konvertörlerin Çalışması	17
2. ELEKTRİK MAKİNELERİNDE SOĞUTMA	22
2.1. Soğutma Sisteminin Görevleri.....	22
2.2. Soğutma Sisteminin Çeşitleri	22
2.2.1. Hava Soğutmalı Sistemler.....	22
2.2.2. Sıvı Soğutmalı Sistemler.....	22
2.2.2.1. Yağ Soğutmalı Sistemler	23
2.2.2.2. Su Soğutmalı Sistemler.....	23
2.3. Soğutma Sisteminin Parçaları.....	24
2.3.1. Radyatör	24
2.3.2. Su Pompası.....	25
2.3.3. Soğutma Fanı	25
2.3.4. Genleşme Kabı.....	25
2.4. Soğutma Sistemi Çalışması.....	25
KAYNAKÇA	29

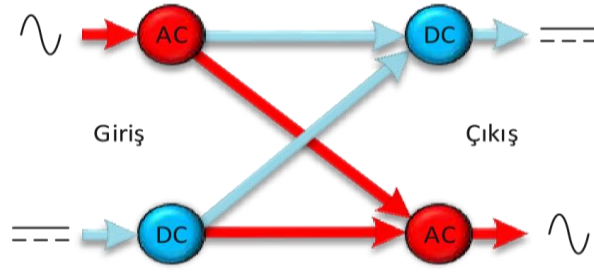
AÇIKLAMALAR

ALAN	Motorlu Araçlar Teknolojisi
MESLEK	Elektrikli Araçlar
MODÜLÜN ADI	Elektrikli Araçlarda Güç Dönüştürücü Sistemler
MODÜLÜN TANIMI	Bu modül, elektrikli araç teknolojilerinde kullanılan güç dönüştürücü sistemlere yönelik temel bilgi ve becerilerin kazandırıldığı, dönüştürücü sistemlerin yapısı, çalışma prensipleri ve güvenli müdahale uygulamalarını içeren bir öğrenme materyalidir.
YETERLİK	Güç dönüştürücü sistemleri tanımak, çalışma prensiplerini açıklamak ve güvenli müdahale kurallarını uygulamak.
MODÜLÜN AMACI	Genel Amaç Bu modül ile elektrikli araçlarda kullanılan güç dönüştürücü sistemleri tanıyabilecek, çalışma prensiplerini açıklayabilecek, bu sistemlere güvenli şekilde müdahale edebileceksiniz. Amaçlar 1. Elektrikli araçlarda kullanılan güç dönüştürücü sistemlerin türlerini ve görevlerini ayırt edebilecektir. 2. Doğrultucu, invertör ve konvertörlerin yapısını ve çalışma prensiplerini açıklayabilecektir. 3. Güç dönüştürücü sistemlerin elektrikli araçlardaki yerleşimini ve işlevini kavrayabilecektir. 4. Güç dönüştürücü sistemlere yönelik güvenli müdahale koşullarını ve temel önlemleri açıklayabilecektir.

1. DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Hibrit ve elektrikli araçların güç sistemlerinde dönüştürücüler önemli bir yere sahiptir. Örnek olarak, seri hibrit bir araçta içten yanmalı motor tarafından tahrik edilen bir jeneratör ele alındığında, jeneratör çıkışında elde edilen alternatif akımın doğru akıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Tahrik kuvveti sağlayan elektrik motorları genellikle alternatif akımla çalıştırıldıklarından, araç elektrik sisteminden alınan doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Hibrit veya tamamı elektrikli bir araçta, ana güç sisteminde bulunan yüksek gerilimli bileşenlerin yanı sıra, geleneksel araçlarda olduğu gibi düşük gerilimli bileşenler de bulunmaktadır. Hibrit veya tamamı elektrikli aracın yüksek gerilimli DC elektrik sisteminden, söz konusu alıcıların çalışması için gerekli düşük seviyeli DC gerilimin (14 V) elde edilmesi de ayrı bir ihtiyaçtır. Benzer şekilde, klima sistemi motorunun çalıştırılabilmesi için DC sistem gerilimi AC'ye dönüştürülmelidir. Araçlarda yer alan dönüştürücülerin tamamı bu örneklerle sınırlı olmamakla birlikte, açıklanan bu örnekler dönüştürücülerin hibrit ve elektrikli araçların elektronik sistemindeki önemini ortaya koymaktadır. Temel olarak güç dönüştürücüler; doğru akım-alternatif akım, alternatif akım-doğru akım, doğru akım-doğru akım, alternatif akım-alternatif akım şeklinde dönüşüm yapan sistemlerdir. Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan güç dönüştürücülerini ile otomotiv alanı dışında kullanılan güç dönüştürücüler benzer yapıda olmakla birlikte, hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan dönüştürücülerin çalışma ortamına uygun fiziksel özelliklere sahip olması gerekmektedir. Söz konusu çalışma şartları; ortam sıcaklığı -20°C ile -50°C arasında olan, titreşimli-sarsıntılı çalışma ortamı ve elektromanyetik uyumluluk olarak sıralanabilir. Güç dönüştürücülerini, giriş ve çıkış gerilimlerinin türüne göre Görsel 1.1'de görüldüğü gibi sınıflandırılır. Dönüştürücünün girişi ve çıkışı doğru akım (DC) veya alternatif akımdır (AC):

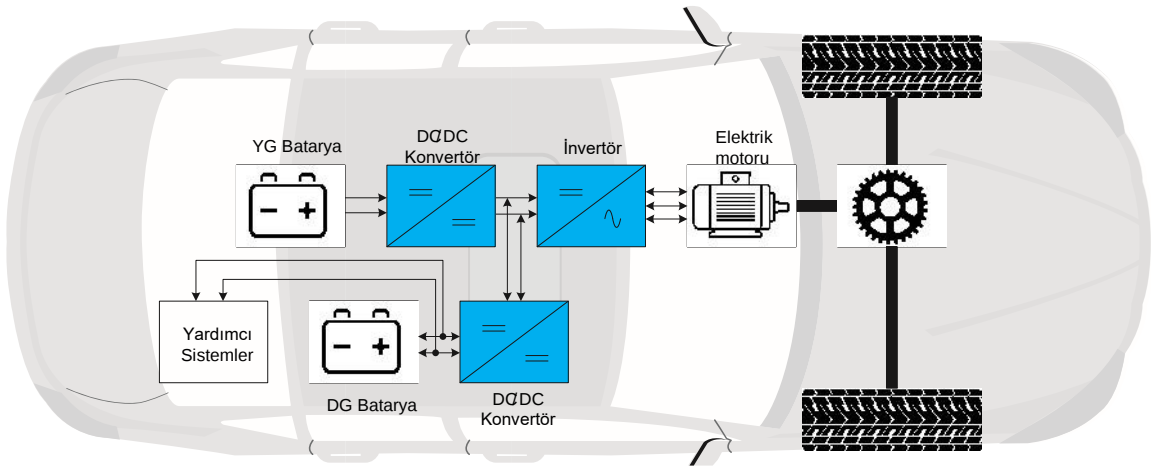
- DC-DC dönüştürücü (konvertör)
- DC-AC dönüştürücü (invertör)
- AC-DC doğrultucu
- AC-AC dönüştürücü



Görsel 1.1:Dönüştürücü türleri

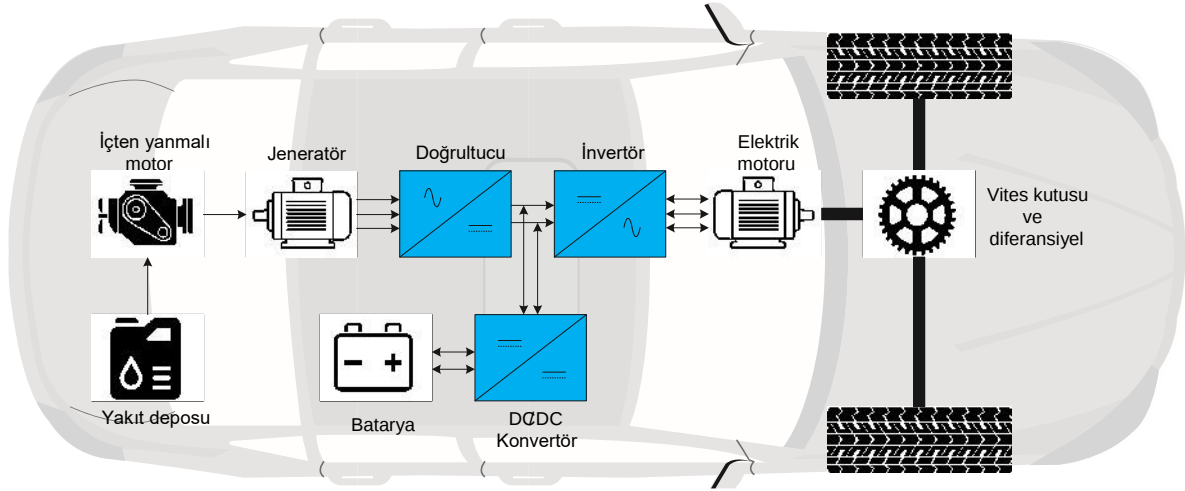
Hibrit ve elektrikli taşıtlarda kullanılan üç farklı dönüştürücü yapısından söz etmek mümkündür. Belirtilen dönüştürücüler hibrit ve elektrikli araçlar dışında birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Yukarıda sıralanan dönüştürücülerde AC-AC dönüştürücüler daha çok otomotiv sektörü dışında kullanım alanına sahiptir. Temelde bir AC-AC dönüştürücü içerisinde AC-DC doğrultucu ve DC-AC invertör içermektedir.

Hibrit ve elektrikli bir araçta güç sistemi yapısına ve aracın hibritleşme seviyesine bağlı olarak farklı sayılarda güç dönüştürücüleri bulunmaktadır. Görsel 1.2’de tamamı elektrikli bir araç blok diyagramı örnek olarak görülmektedir. Aracın ana enerji kaynağı olarak yüksek gerilimli batarya grubundan alınan DC gerilim bir DC/DC konvertör yardımıyla belli bir değere çıkarılmaktadır. Aracın elektrik motorunun çalıştırılabilmesi için DC/DC konvertör çıkışından alınan gerilim bir invertör yardımıyla AC’ye dönüştürülmektedir. Aynı zamanda araçta bulunan düşük gerilimli elektrikselsalıcıların çalıştırılabilmesi için ikinci bir DC/DC konvertör ihtiyaç duyulan düşük gerilimin elde edilebilmesi amacıyla kullanılır.

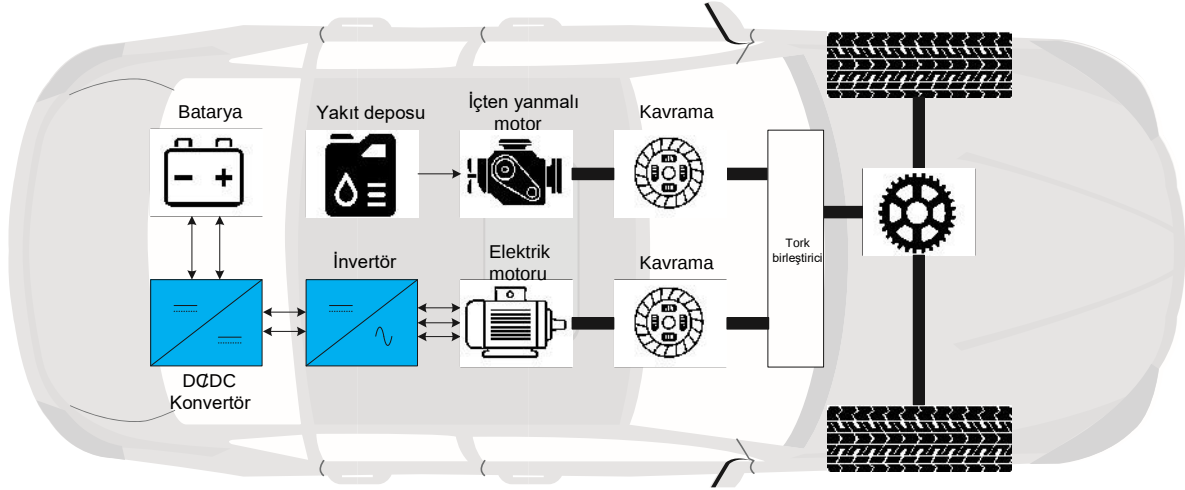


Görsel 1.2: Bataryalı elektrikli araçta yer alan dönüştürücüler

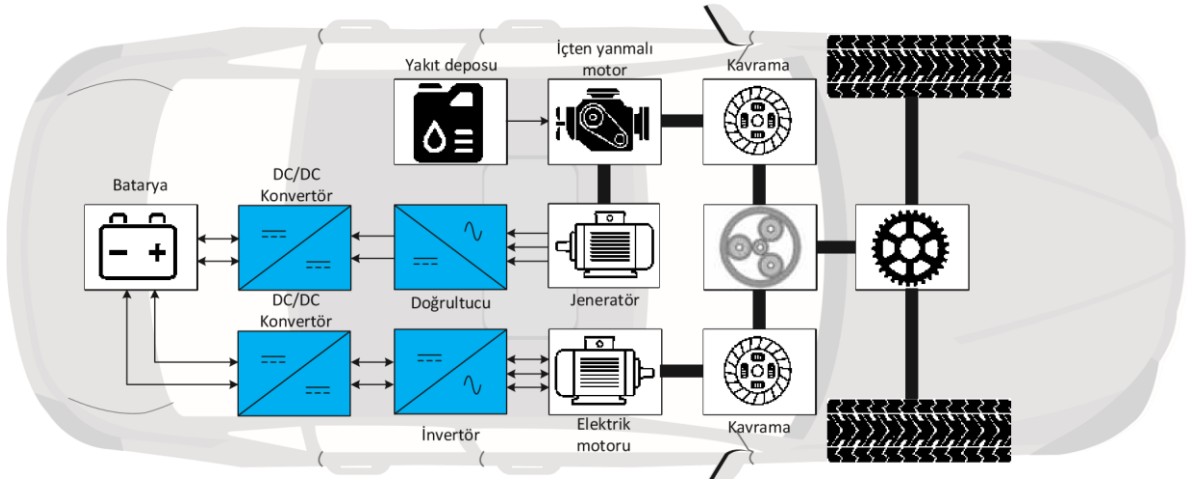
Benzer şekilde Görsel 1.3, Görsel 1.4 ve Görsel 1.5’te sırasıyla seri hibrit, paralel hibrit ve seri-paralel hibrit taşıtların örnek blok diyagramları görülmektedir. Blok diyagramlar incelendiğinde araçların yapılarına göre kullanılan dönüştürücü sistemlerin sayıları değişebildiği görülmektedir. Hibrit ve elektrikli araçların güç sistemlerinde bu görsellerde verilen örnek blok diyagramlardan farklı uygulamaların bulunduğu da unutulmamalıdır. Görseller hibrit ve elektrikli araçlarda bulunan dönüştürücülerin kullanım amaçları ile ilgili fikir sağlaması amacıyla verilmiştir.



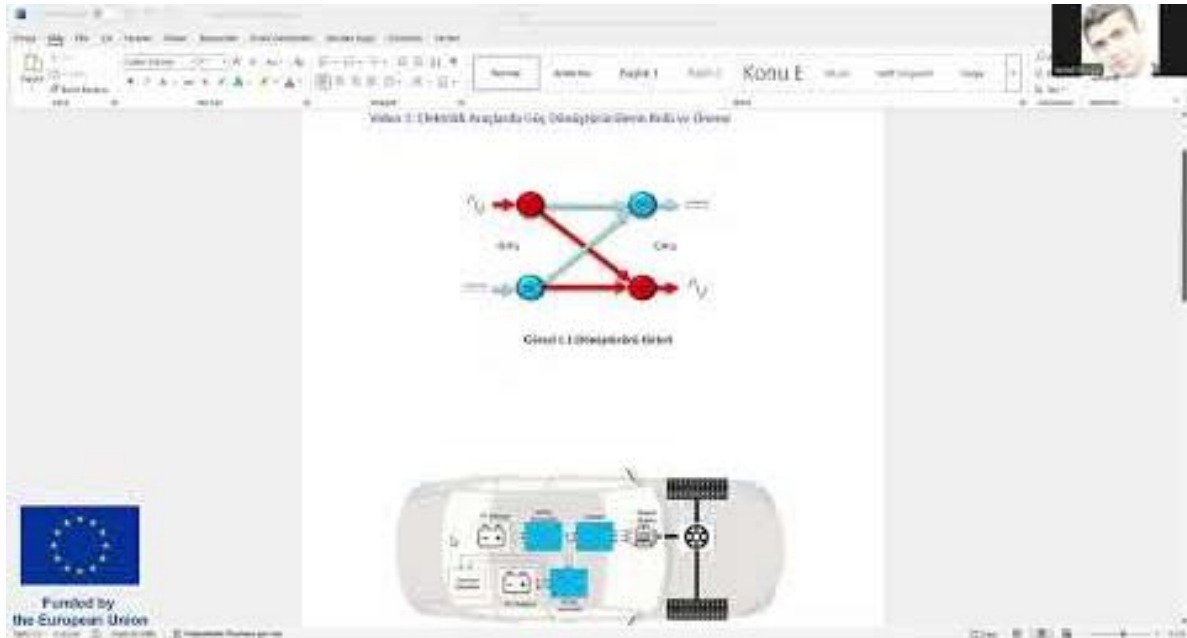
Görsel 1.3: Seri hibrit bir aracın güç sisteminde yer alan dönüştürücüler



Görsel 1.4: Paralel hibrit bir aracın güç sisteminde yer alan dönüştürücüler



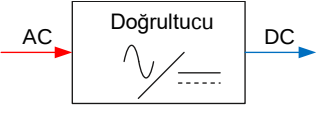
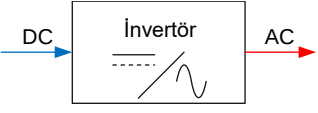
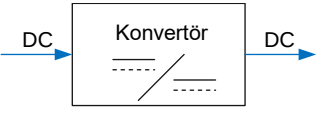
Görsel 1.5: Seri-Paralel hibrit bir aracın güç sisteminde yer alan dönüştürücüler



Videoyu oynatmak için resim üzerine tıklayınız veya aşağıdaki linki kopyalayıp tarayıcınız ile açınız.

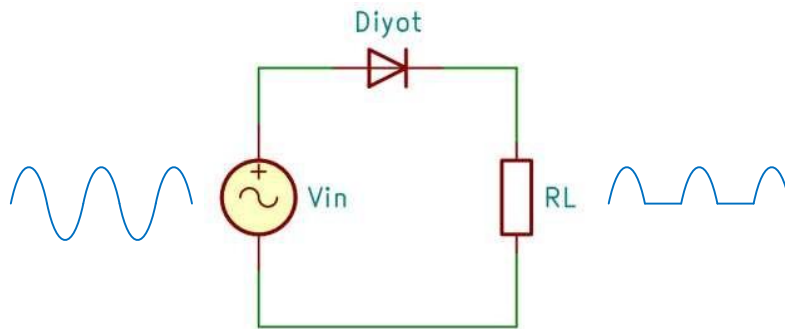
<https://youtu.be/jn262c0YI8A>

Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan güç dönüştürücüleri temel olarak üç gruba ayrılır. Bunlar; doğrultucular, invertörler ve konvertörler şeklinde sıralanabilir.

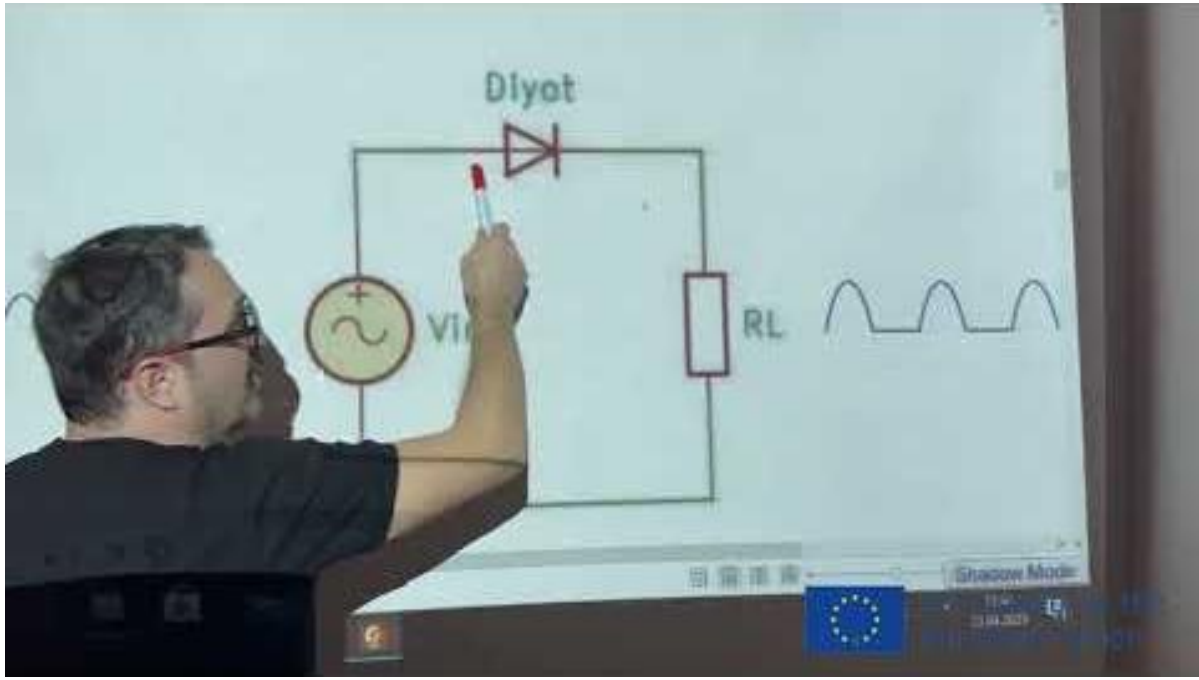
	Doğrultucular alternatif akımın doğru akıma dönüştürülmesinde kullanılan devrelerdir. Giriş alternatif akım, çıkış doğru akımdır.
	İnvertörler doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesini sağlar. Giriş doğru akım, çıkış alternatif akımdır.
	Konvertörler belli bir seviyedeki DC gerilimin farklı bir seviyede DC gerilime dönüştürülmesini sağlar. Giriş ve çıkış doğru akımdır.

1.1. Doğrultucular

Doğrultucu devreler alternatif akımın doğru akıma dönüştürülmesini sağlar. Alternatif akımın doğru akıma dönüştürülmesinde yapısı temel elektrik elektronik konuları içinde açıklanan yarım dalga ve tam dalga doğrultma devreleri kullanılmaktadır. Yarım dalga ve tam dalga doğrultma devreleri Görsel 1.7 ve Görsel 1.8’de görülmektedir. Görsel 1.7’deki devrede giriş geriliminin pozitif alternansında diyot iletme geçerek yük üzerinden akım geçişini sağlamakta negatif alternansında ise yalıtıma geçerek yük üzerinden ters yönde akım geçişini engellemektedir. Belirtilen bu çalışma sonucunda yük üzerinden giriş geriliminin yalnızca pozitif alternanslarında akım geçmektedir. Bu nedenle devre yarım dalga doğrultma devresi olarak adlandırılır.



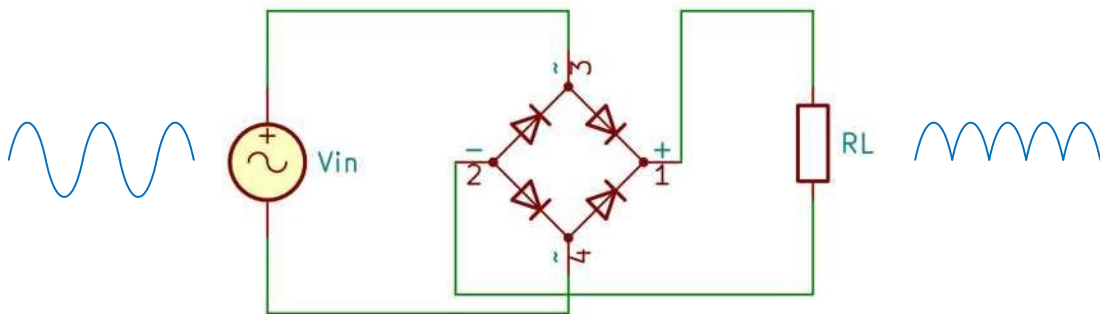
Görsel 1.7: Yarım dalga doğrultma devresi



Videoyu oynatmak için resim üzerine tıklayınız veya aşağıdaki linki kopyalayıp tarayıcınız ile açınız.
<https://youtu.be/6RGIBTY2WJM>

1.2. Doğrultucuların Çalışması

Giriş geriliminin pozitif ve negatif alternanslarının doğrultulmasını sağlayacak doğrultma devrelerinden biri köprü tipi tam dalga doğrultma devresidir. Giriş geriliminin pozitif alternansında 1-3 noktaları ve 2-4 noktaları arasındaki diyotlar ilettime geçmekte, 1 noktasından çıkan akım yük üzerinden geçerek 2 noktasına ulaşmaktadır. Giriş geriliminin negatif alternansında ise 2-3 noktaları ve 1-4 noktaları arasındaki diyotlar ilettime geçmekte yük üzerinden geçen akım pozitif alternansındakiyle aynı şekilde olmaktadır. Görüldüğü gibi bu devrede giriş geriliminin hem pozitif hem de negatif alternansı doğrultulmaktadır. Bu nedenle devre tam dalga doğrultma devresi olarak adlandırılır. Görsellerde verilen doğrultma devrelerinin çıkışlarındaki dalgalanmaları azaltmak amacıyla çıkış kısmına bir kondansatör de bağlanmaktadır.



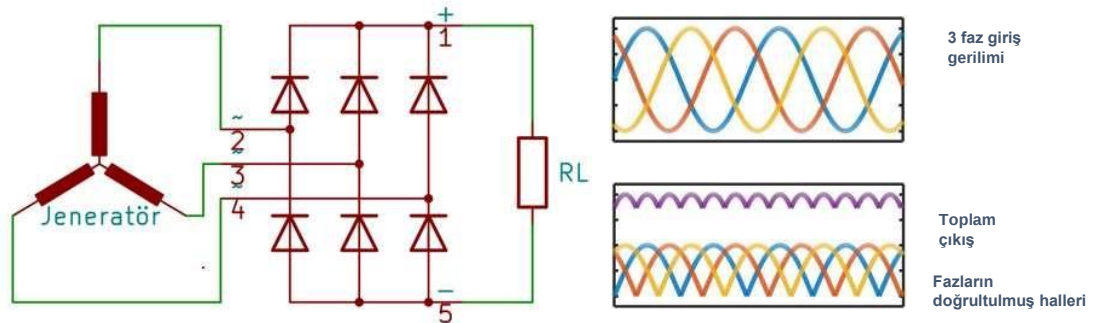
Görsel 1.8: Köprü tipi tam dalga doğrultma devresi



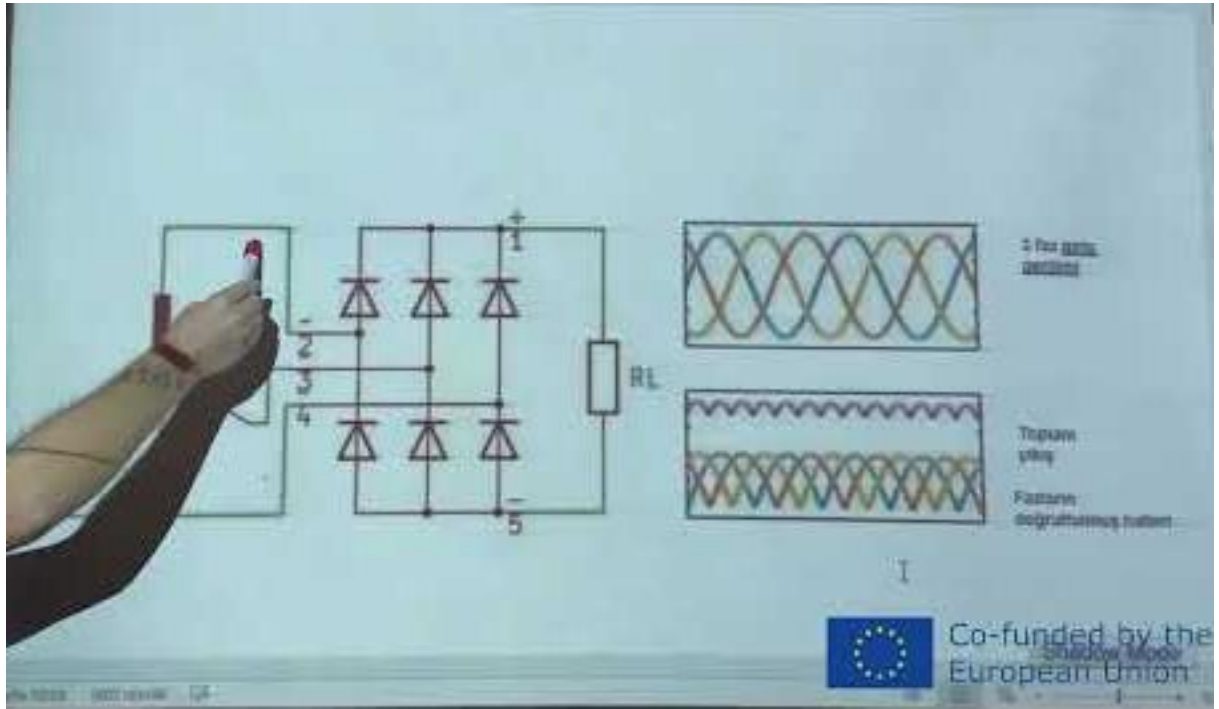
Videoyu oynatmak için resim üzerine tıklayınız veya aşağıdaki linki kopyalayıp tarayıcınız ile açınız.

<https://youtu.be/dCKlmFLTKTY>

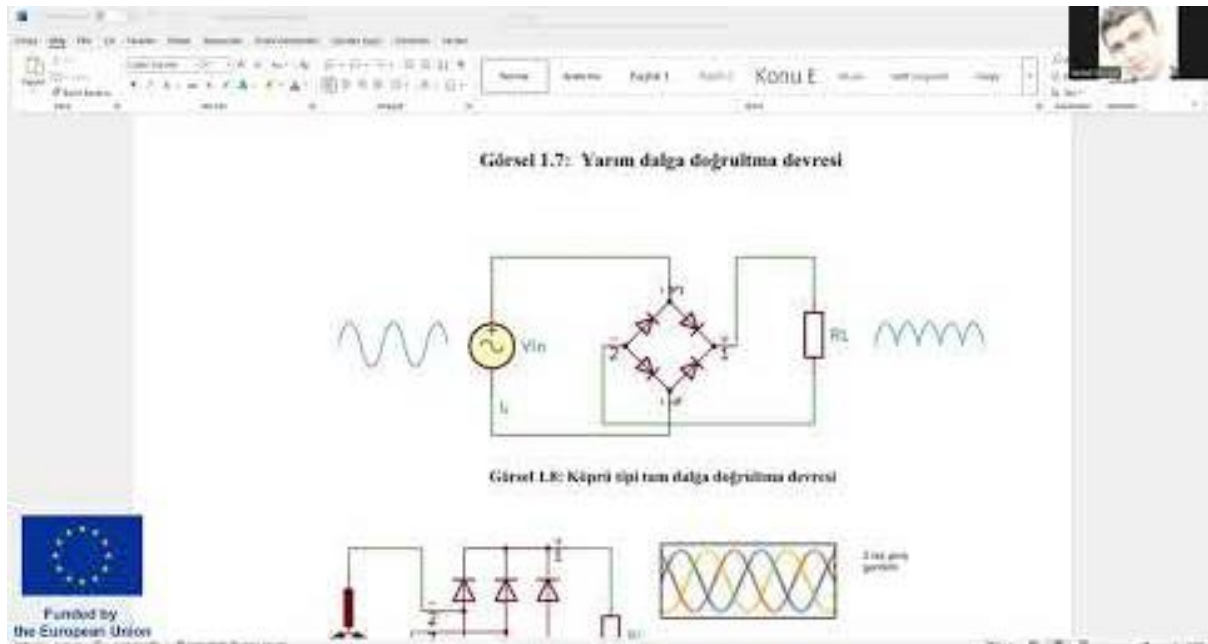
Üç fazlı alternatif akımın doğrultulması, geleneksel içten yanmalı motorlu taşıtlarda elektrik sisteminin önemli parçalarından biri olan alternatördeki doğrultma devresine benzer yapıdadır. Her bir faz için iki diyot kullanılarak tam dalga doğrultma işlemi gerçekleştirilir. 1200'lik faz farkıyla üretilen alternatif akımın bu şekilde doğrultulmasıyla daha düzgün bir doğru akım elde edilir. Görsel 1.9'da üç faz tam dalga doğrultma devresi görülmektedir. Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan jeneratörler ve geri kazanımlı frenleme esnasında jeneratör olarak çalıştırılan elektrik motorunun çıkışı üç fazlı olduğundan Görsel 1.9'da gösterilen devreye benzer bir doğrultma devresiyle doğrultulur. Çalışması ileriki kısımlarda açıklanacak olan invertörlerdeki anahtarlama elemanları içinde bulunan diyotlar geri kazanımlı frenleme esnasında invertörün üç fazlı doğrultucu olarak çalışmasını sağlar.



Görsel 1.9: Üç faz tam dalga doğrultma işlemi



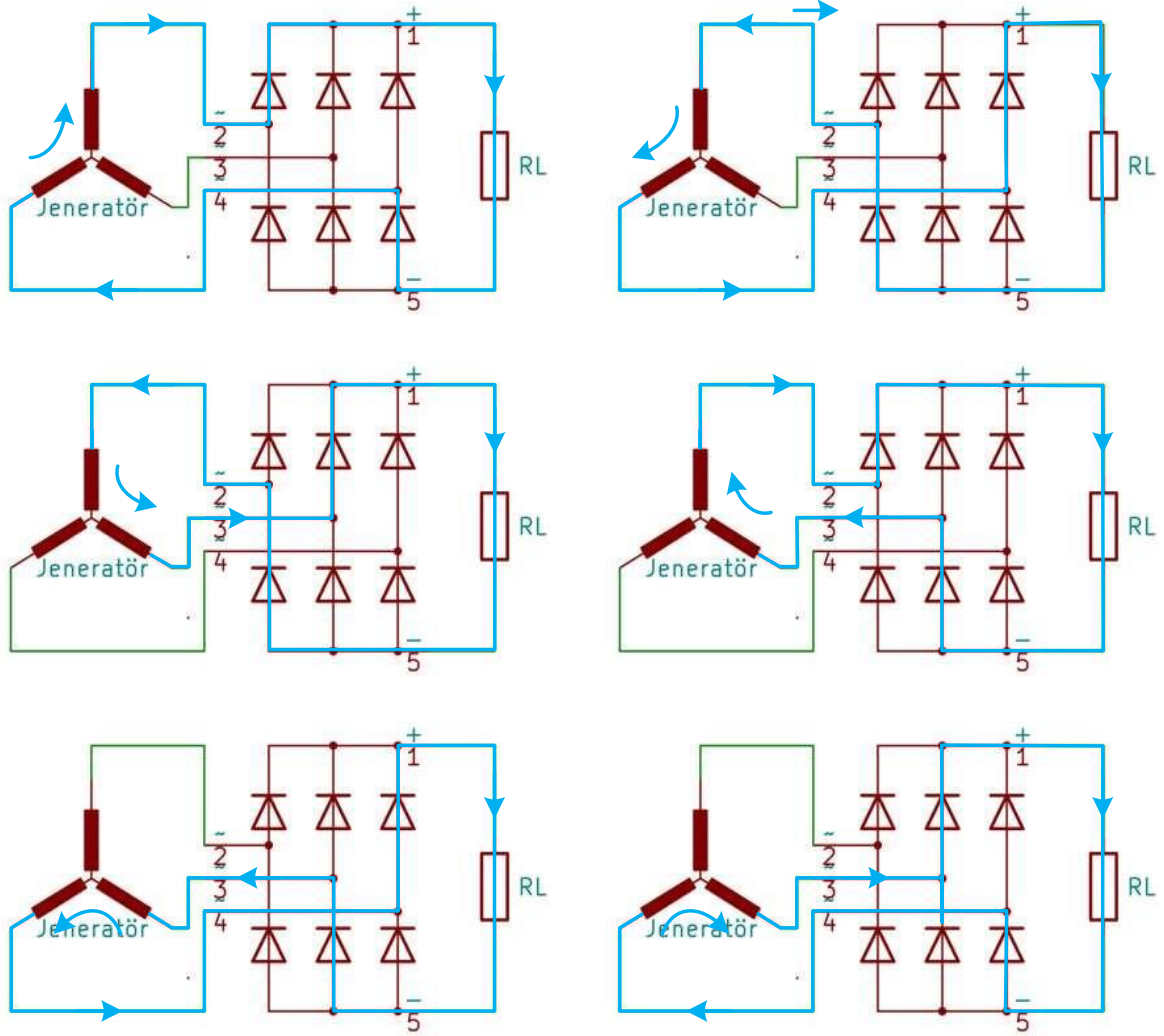
Videoyu oynatmak için resim üzerine tıklayınız veya aşağıdaki linki kopyalayıp tarayıcınız ile açınız.
<https://youtu.be/qfnNbvJvZk4>



Videoyu oynatmak için resim üzerine tıklayınız veya aşağıdaki linki kopyalayıp tarayıcınız ile açınız.
<https://youtu.be/BGW8fve9XMg>

Aşağıdaki görsellerde 3 faz doğrultma sırasında akım yönlerine göre hangi diyotların ilettime geçtiği görülmektedir. Görsellerde jeneratör sargılarında iki faz arasında akım oluştuğu

durumlar örnek olarak seçilmiştir. Üç sargıda akım elde edildiği durumlarda iletme geçen diyot sayısı üç olacaktır.



Görsel 1.10: Üç fazlı bir doğrultma devresinde doğrultma işlemi

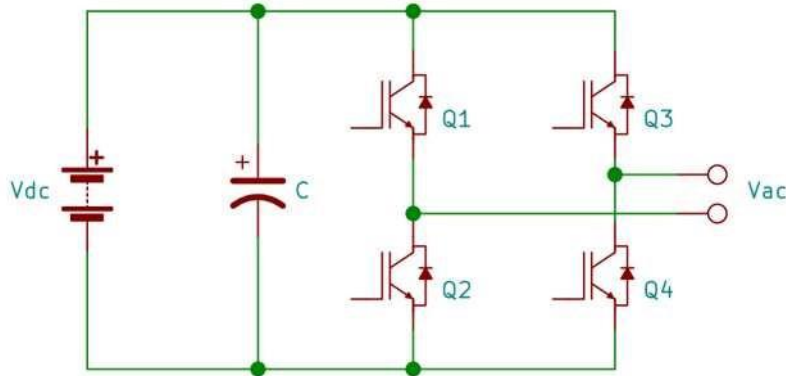
Diyotlar yardımıyla yapılan doğrultma işlemine kontrolsüz doğrultma denir. Yukarıda açıklanan kontrolsüz doğrultucu devreleri dışında kontrollü doğrultma işlemine imkân sağlayan devreler de bulunmaktadır. Doğrultma işleminin kontrollü yapılabilmesi yükün durumuna göre ayarlı doğrultma yapma imkânı sağlar. Hibrit ve elektrikli araçlarda elektrik motorunun çalıştırılabilmesi için gerekli 3 fazlı alternatif akımın doğru akımdan elde edilmesini sağlayan invertörler aynı zamanda doğrultucu olarak da çalıştırılabilmektedir. Elektrik motoru güç dönüştürücüsünün bu özelliği sayesinde aracın frenlemesi esnasında elektrik motoru bir jeneratör olarak çalıştırılabilmekte ve elde edilen enerjiyle batarya paketi şarj edilebilmektedir.

1.3. İnvörtörler

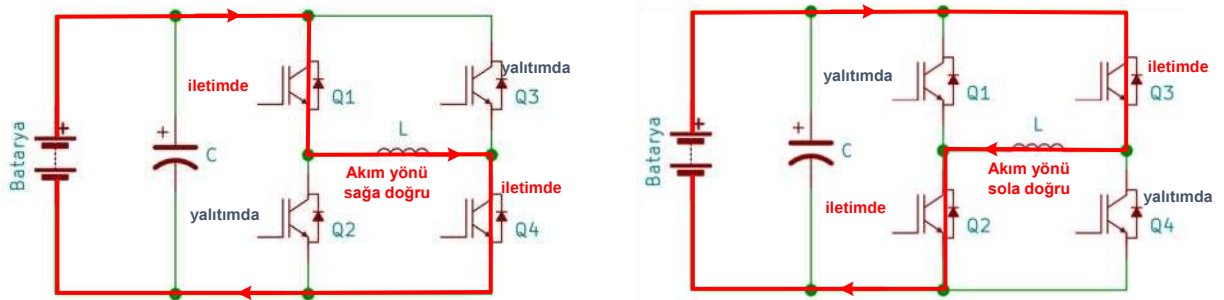
İnvörtörler doğru akımdan alternatif akıma dönüşüm yapılmasını sağlayan devrelerdir. Doğru akım devrelerinde tek yönlü bir akım geçişi söz konusuyken alternatif akım devrelerinde akım yön değiştirmektedir. Bu nedenle DC bir kaynaktan alternatif akımın elde edilebilmesi için yük üzerinden her iki yönde akım geçişini sağlayacak kontrollü anahtarlara ihtiyaç vardır.

1.4. İnvörtörlerin Çalışması

Güç elektroniği devrelerinde çoğunlukla MOSFET veya IGBT'ler (Insulated Gate Bipolar Transistorİnsuleydit Geyt Baypolır Trenzistır) anahtarlama elemanı olarak kullanılırlar. Görsel 1.11'de temel olarak bir DC kaynaktan alternatif akımın elde edilmesi görülmektedir. Devrede bulunan dört IGBT yardımıyla çıkışa bağlanan yük üzerinden iki yönlü akım geçirilebilmektedir. Bu amaçla çapraz konumdaki IGBT'lerin dönüşümlü olarak ilettime ve yalıtıma geçirilmeleriyle alternatif akım elde edilmiş olur. Görsel 1.12'de IGBT'lerin ilettime geçirilme sırası görülmektedir. Q1 ve Q4 IGBT'leri ilettime geçirildiğinde yük üzerinde akımın yönü sağa doğrudur. Q2 ve Q3 ilettime geçirildiğinde ise akım yönü sola doğrudur.



Görsel 1.11: Temel invörtör yapısı



Görsel 1.12: Temel invörtör devresinde alternatif akımın elde edilişi

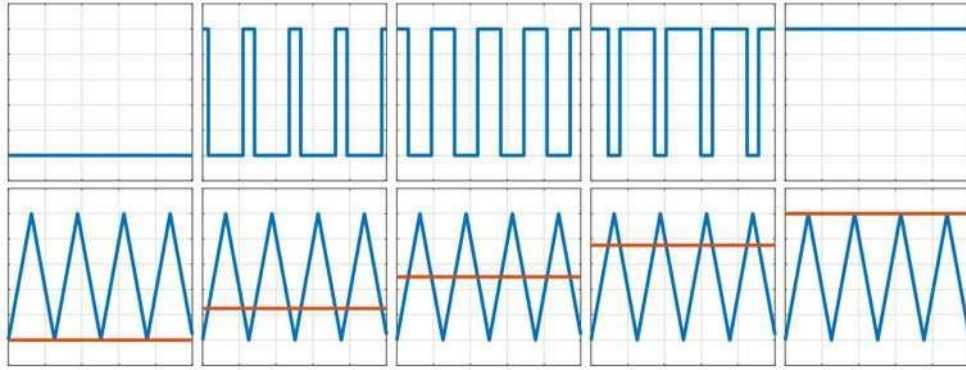
Görsel 1.11'deki devrenin çalışması açıklanırken sıralı olarak Q1-Q4 ve Q2-Q3 IGBT'lerinin ilettime geçirildiği yukarıda açıklanmıştı. Bu işlem sonucunda yük üzerinden geçen akım dikdörtgen biçimli olacaktır. Ancak gerçekte alternatif akım sinüs dalgası biçimindedir. Bu

nedenle yük üzerinden geçen akımın sinüs dalgası yapısında olmasını sağlayacak bir kontrole ihtiyaç bulunmaktadır. Bu işlem iletime geçirilecek anahtarlama elemanlarının yüksek frekanslarda ve değişken iletim-yalıtım oranlarında anahtarlama ile elde edilir. Bu işleme pals genişlik modülasyonu adı verilir. Pals genişlik modülasyonu yalnızca invertörlerde kullanılan bir kontrol olmayıp güç elektroniğinin diğer alanlarında ve güç elektroniği dışındaki alanlarda da uygulanmaktadır.

• Pals Genişlik Modülasyonu

Pals genişlik modülasyonu (Pulse Width Modulation-Pals Veid Macileşin-PWM) belli frekanstaki kare dalga sinyalin 1 ve 0 sürelerinin belli bir düzene göre değiştirilmesi işlemidir. Pals genişlik modülasyonu güç elektroniğinde ve elektronik haberleşme sistemlerinde kullanılmaktadır. Pals genişlik modülasyonunda sinyalin 1 olduğu sürenin toplam periyoda oranı, görev döngüsü olarak ifade edilir. Örnek olarak %25 görev döngüsü 1 süresinin toplam periyodun dörtte biri olduğu durumu, %50 görev döngüsü birbirine eşit 1 ve 0 sürelerini, %75 görev döngüsü toplam periyodun dörtte üçünün 1 olduğunu ifade eder. Görev döngüsünün %0 olması sinyalin tamamen 0, %100 olması ise tamamen 1 olmasını ifade eder. Belirtilen örnek PWM sinyalleri Görsel 1.13'te görülmektedir.

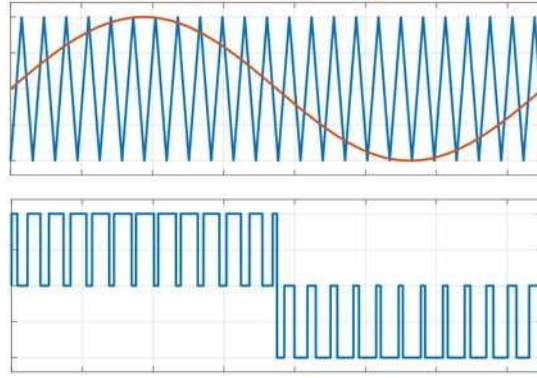
%0 Görev Çevrimi %25 Görev Çevrimi %50 Görev Çevrimi %75 Görev Çevrimi %100 Görev Çevrimi



Görsel 1.13: %0, %25, %50, %75 ve %100 görev döngülerine sahip PWM sinyalleri ve bu sinyallerin elde edilişleri

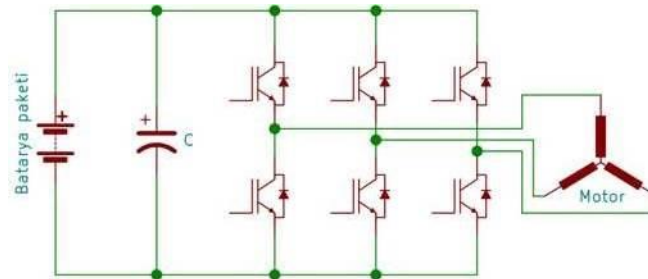
Bir invertörün çıkışındaki akımın sinüs dalgası şeklinde olmasını sağlamak için yapılan pals genişlik modülasyonu kontrolünde, görev döngüsünün sinüs dalgası genliği dikkate alınarak değiştirilmesi gerekir. Söz konusu değişken görev döngüsüne sahip palslerin üretilebilmesi için uygulanan yöntemlerden biri, sinüs dalgasının belli frekanstaki üçgen dalga sinyalle karşılaştırılmasıdır. Görsel 1.14'te bu işlem görülmektedir. Referans sinüs dalgasından pals genişlik modülasyonu sinyalinin elde edilmesi, invertördeki anahtarlama elemanlarının kontrolünü sağlayan mikro denetleyici tarafından yapılmaktadır. Sinüs dalgası genlik değerinin

üçgen dalga genlik değerinden büyük olması hâlinde ilgili PWM çıkışı 1 (5 V), aksi durumda 0 yapılmaktadır. Sinüs dalgasının artı ve eksi alternansları için çıkışta elde edilen PWM sinyalleri, iki farklı seviye hâlinde gösterilmiştir. Gerçekte üretilen PWM sinyalleri iki farklı seviyeli olmayıp farklı anahtarlama elemanlarına uygulanmaktadır. Bu durum artı alternansta PWM kontrolü uygulanacak anahtarlama elemanları ile eksi alternansta kontrol edilecek anahtarlama elemanlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Görsel 1.11’de verilen devrede sinyalin artı alternansı için üretilen PWM sinyali Q1 ve Q4 IGBT’lerine, eksi alternansı için üretilen PWM sinyali ise Q2 ve Q3 IGBT’lerine uygulanmaktadır.

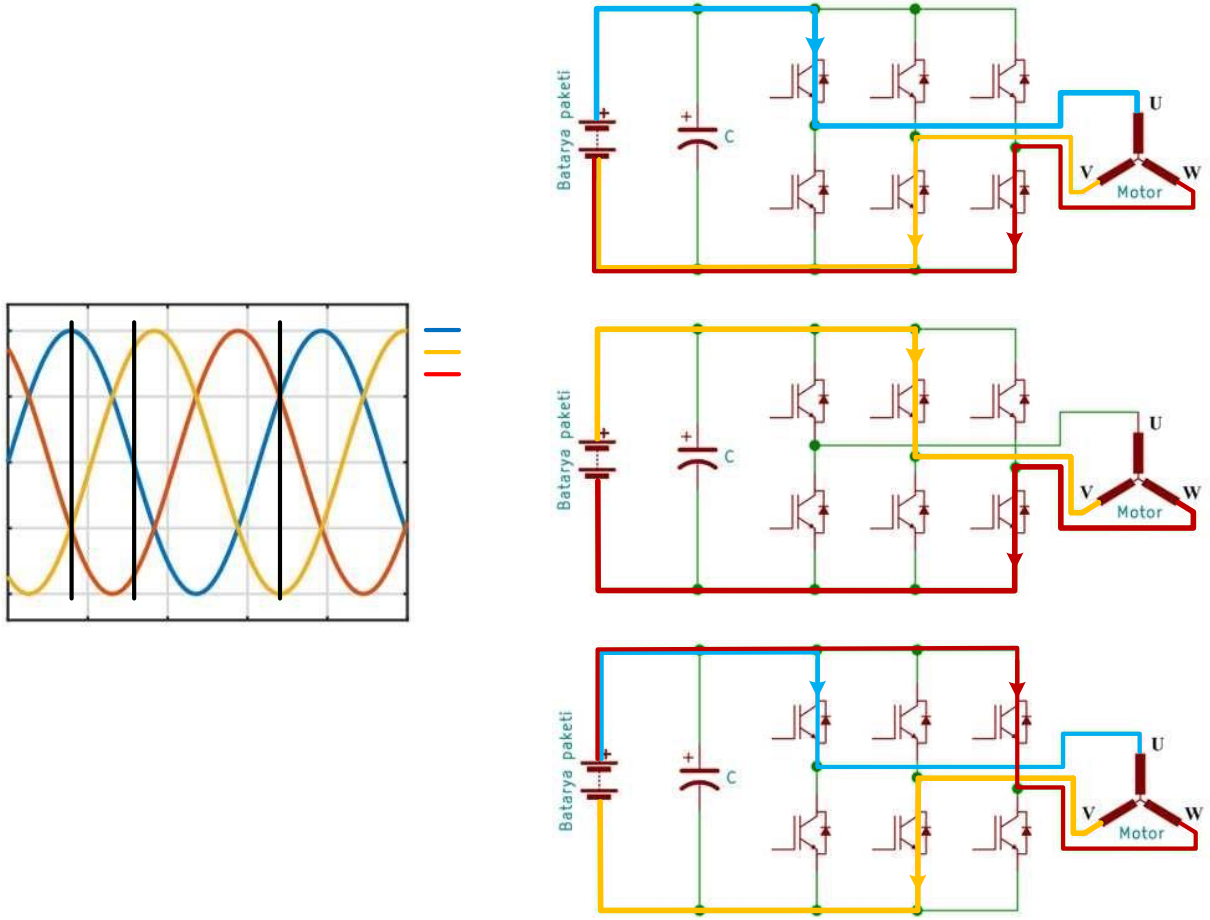


Görsel 1.14: Sinüs dalgasına uygun PWM kontrol sinyalinin elde edilmesi

Üç fazlı bir elektrik motorunun bir doğru akım kaynağı kullanılarak çalıştırılabilmesi için temel olarak yapılması gereken işlem anahtarlama elemanları yardımıyla motorun fazlarına uygun zamanlamada ve uygun yönde akım sağlanmasıdır. Hibrit ve elektrikli araçlarda tahrik motorunun sürülmesinde kullanılan invertörlere tahrik invertörü adı verilmektedir. Hibrit ve elektrikli araçlarda yüksek gerilimli batarya paketi çıkışı invertöre doğrudan bağlanabildiği gibi bir DC-DC dönüştürücü yardımıyla gerilim belli bir değere sabitlenerek de bağlanabilir. İnvirtörlerde anahtarların neden olduğu dalgalanmaların azaltılması amacıyla devrenin doğru akım tarafına büyük kapasiteli bir kondansatör bağlanır. Görsel 1.15’te 3 fazlı bir elektrik motoru için IGBT’lerden oluşan invertörün temel yapısı görülmektedir.



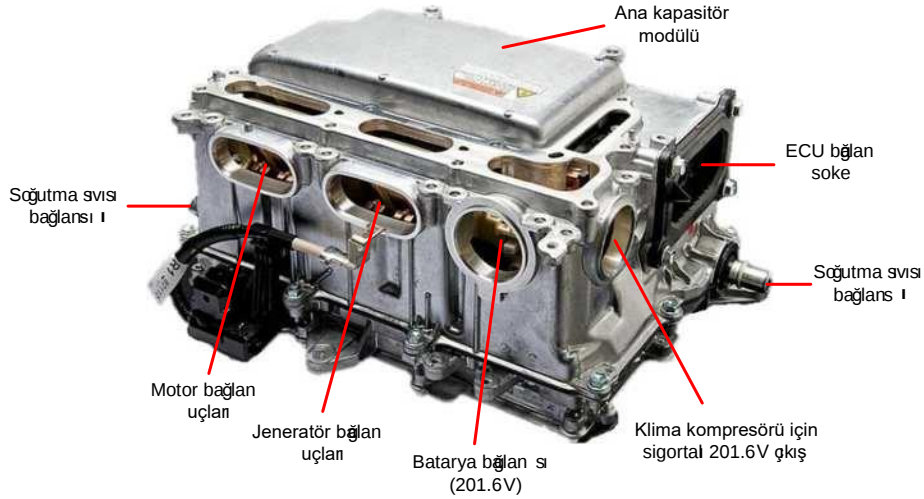
Görsel 1.15: Üç fazlı bir motor invertörünün temel yapısı



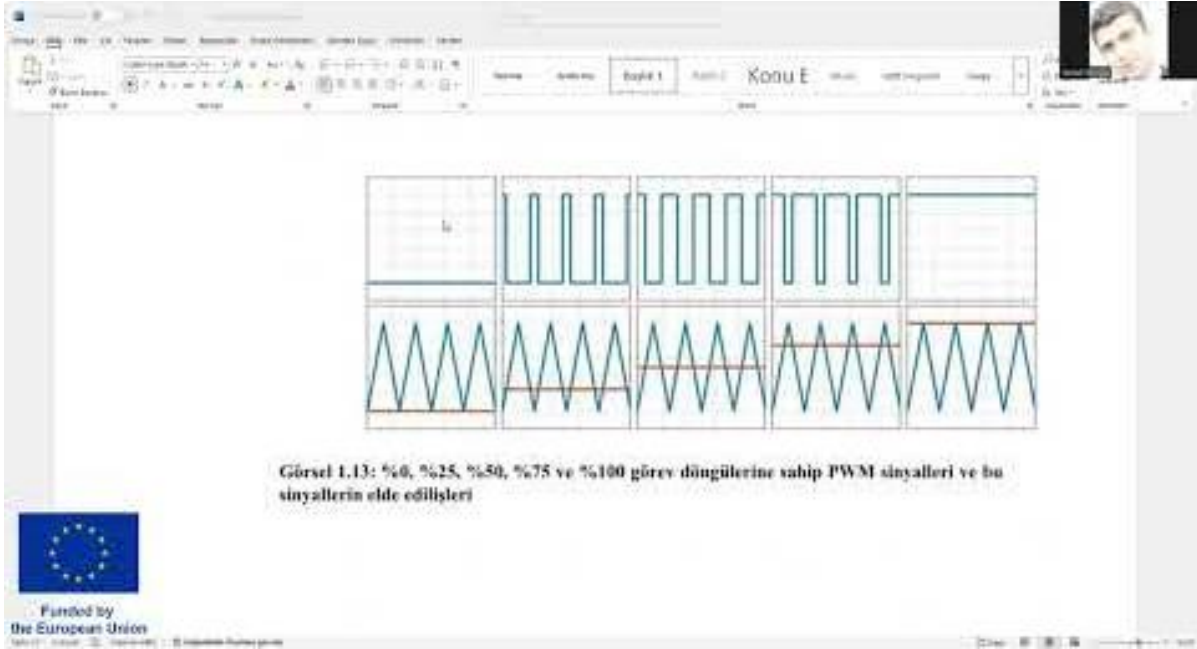
Görsel 1.16: Üç fazlı motor sargılarında farklı anlarda akım yönleri

Görsel 1.16 'da ise üç fazlı motor sargılarından örnek sinyal üzerinde a, b ve c çizgileri ile gösterilen anlarda geçen akım yönleri görülmektedir. a ile gösterilen anda U sargısından geçen akım pozitif maksimum değerde, V ve W sargılarından geçen akımlar ise birbirine eşit ve negatif değerdedir. b anında ise V sargısının akımı pozitif maksimum, W sargısının akımı negatif maksimum, U sargısının akımı ise sıfırdır. c anında U ve W sargılarının akımı pozitif ve birbirine eşit, V sargısının akımı ise negatif maksimumdur. Sargılardan geçen akımların şiddeti yukarıda açıklandığı şekilde PWM kontrolüyle sağlanmaktadır. Sargılardan geçen akımlar grafik üzerinden incelendiğinde giren akım veya akımların toplamının çıkan akım veya akımların toplamına eşit olduğu görülmektedir.

İnvertörlerin temel yapılarının açıklanmasından sonra bu kısımda hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan örnek invertörlerin görsellerine yer verilmiştir. Görsel 1.17'de 2010 model kompakt sınıf (C segmenti) bir hibrit araçta kullanılan güç kontrol ünitesi görülmektedir.



Görsel 1.17: Hibrit bir araçta kullanılan çekiş invertörü



Videoyu oynatmak için resim üzerine tıklayınız veya aşağıdaki linki kopyalayıp tarayıcınız ile açınız.

https://youtu.be/01QGZ0D_5Mo

Ünite içerisinde invertör, yükseltici DC-DC konvertör ve düşürücü DC-DC konvertör bulunmaktadır. İnvertör, batarya tarafından sağlanan doğru akımın motor/jeneratörlerin hareket ettirilmesi için gerekli alternatif akıma dönüştürülmesini sağlar. Motor/jeneratör tarafından üretilen alternatif akımın da doğru akıma dönüştürülmesini sağlar. Yükseltici DC-DC konvertör, 201,6 V olan batarya geriliminin elektrik motor/ jeneratör için gerekli gerilim olan 650 V'a yükseltilmesini sağlar. Düşürücü DC-DC konvertör ise 12 V ile çalışan sistemler için gerekli gerilimin 201,6 V'tan elde edilmesini sağlar.

Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorları alternatif akımla çalışmaktadır ve üç fazlıdır. Elektrik motorlarının gerek görüldüğünde bir jeneratör olarak çalıştırılması da mümkündür. Frenleme esnasında elektrik motorlarının jeneratör olarak çalıştırılmasıyla araç yavaşlarken enerji depolanabilmektedir. Elektrik motorunun istenildiğinde gerekli tahrik kuvvetini sağlaması, istenildiğinde de jeneratör olarak çalıştırılması invertörün iki yönlü olarak çalıştırılabilmesiyle sağlanır.



Görsel 1.18: Tamamı elektrikli bir araçta bulunan tahrik invertörü

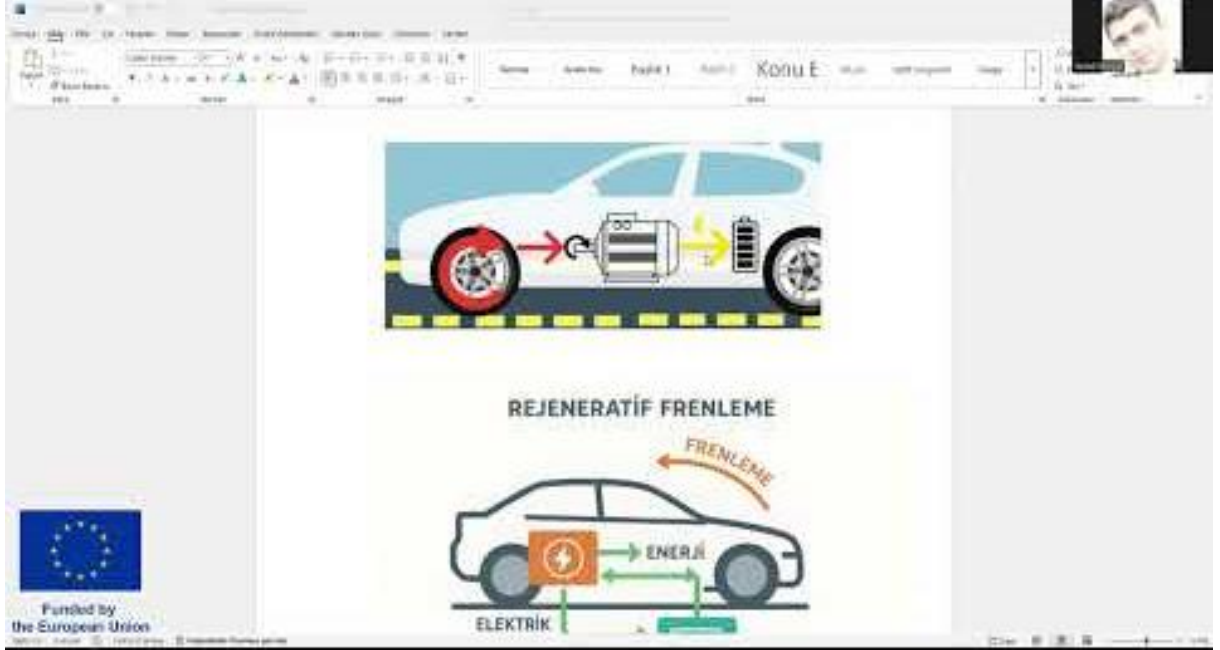
1.5. DC-DC Konvertörler

DC-DC dönüştürücüler belli seviyedeki bir DC gerilimin farklı bir seviyeye dönüştürülmesi amacıyla kullanılır. Elektrikli veya hibrit elektrikli araçlarda DC-DC dönüştürücüler batarya geriliminin invertöre belli bir seviyeye çıkarılarak verilmesi, araçta bulunan yardımcı üniteler için gerekli gerilimin sağlanması gibi amaçlarla kullanılır. Bazı uygulamalarda iki yönlü DC-DC dönüştürme işlemi yapan dönüştürücüler de kullanılmaktadır.

DC-DC konvertörler düşürücü tip, yükseltici tip ya da hem düşürücü hem yükseltici tip olabilir. DC-DC konvertör devrelerinde birçok farklı topoloji bulunmaktadır. DC-DC konvertör topolojileri hakkında detaylı bilgi ilgili kaynaklardan edinilebilir. Genel olarak DC-DC konvertörler yalıtımlı ve yalıtımsız olarak iki gruba ayrılır. Taşıtlarda orta ve yüksek güç uygulamalarında genellikle yalıtımsız DC-DC konvertörler kullanılırlar. Yalıtımsız DC-DC konvertörler içinde geleneksel yükseltici tip dönüştürücü ile sarmaşık yükseltici tip konvertör yapılarının basit olması, düşük maliyetleri ve daha kolay kontrol edilebilir olmaları özellikleriyle çoğunlukla elektrikli veya hibrit elektrikli araç güç sistemlerinde kullanılırlar.

Görsel 1.19’da C sınıfı hibrit bir araçta kullanılan güç kontrol ünitesinin temel devre yapısı görülmektedir. Yüksek gerilimli batarya paketinden alınan gerilim (201,6 V) invertöre bir DC-DC konvertör yardımıyla yükseltilerek (500 V) iletilir. İnvertördeki anahtarlama elemanları (IGBT) yukarıda açıklandığı gibi motorun uygun şekilde hareket ettirilebilmesi için kontrol

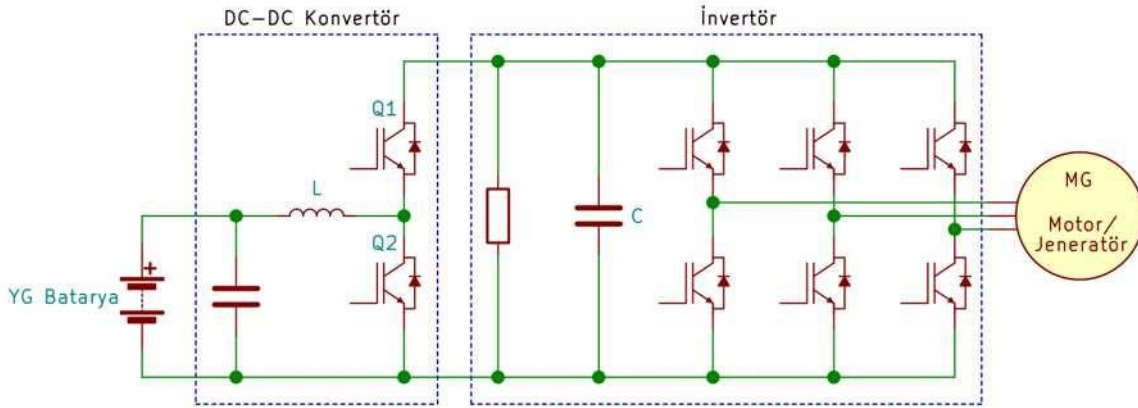
devresi tarafından belli bir düzende çalıştırılır. Geri kazanımlı frenleme sırasında DC-DC konvertör motor/jeneratör tarafından üretilerek invertördeki diyotlar tarafından DC'ye dönüştürülen yüksek gerilimi yüksek gerilim, bataryasını şarj etmek üzere uygun gerilime düşürür. Bu durumda DC-DC konvertörün iki yönlü dönüşüm yaptığı söylenebilir.



Videoyu oynatmak için resim üzerine tıklayınız veya aşağıdaki linki kopyalayıp tarayıcınız ile açınız.

https://youtu.be/M5g_XF2el_k

1.6. DC-DC Konvertörlerin Çalışması

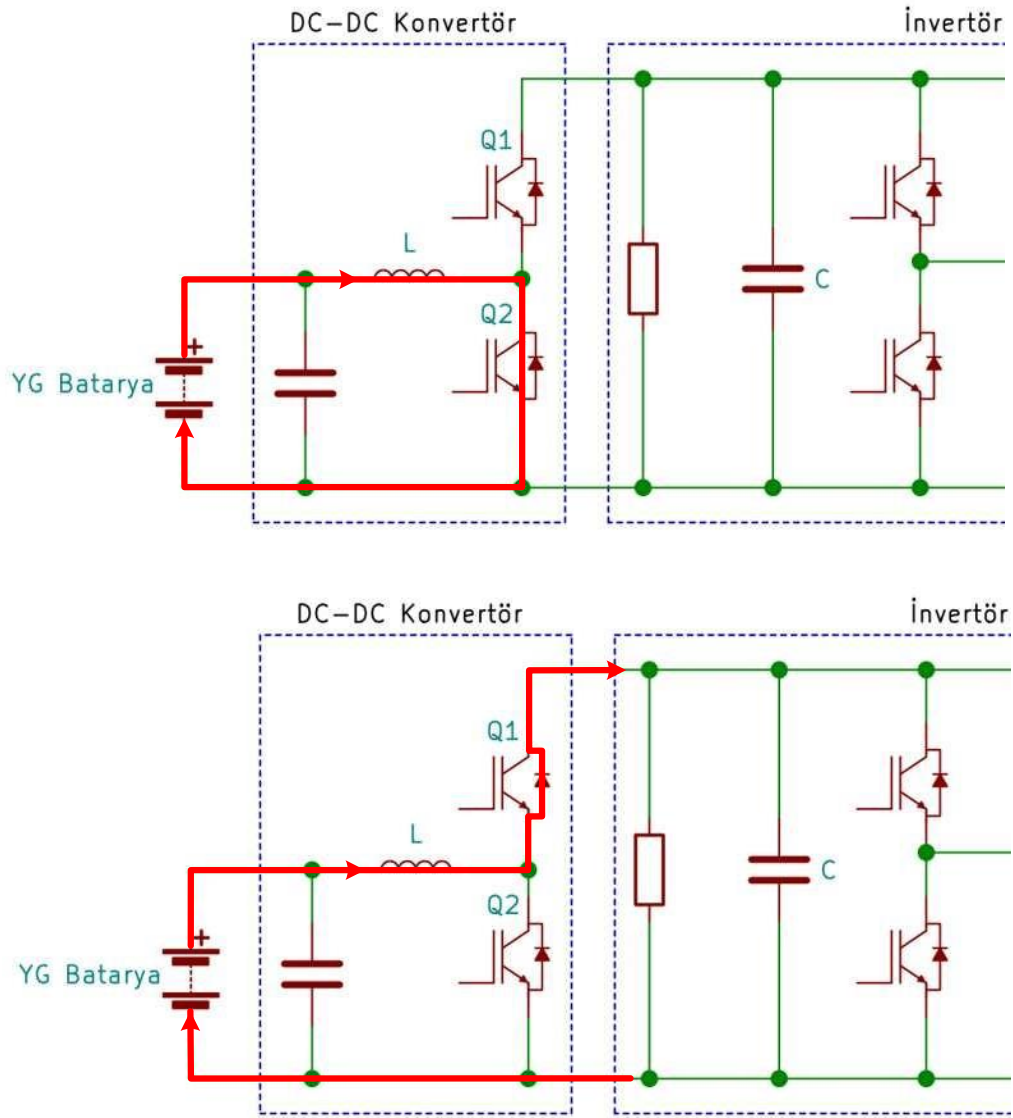


Görsel 1.19: İki yönlü çalışabilen bir DC-DC konvertörün devre şeması

Görsel 1.19’da verilen DC-DC konvertörün çalışması aşağıdaki görsellerde açıklanmıştır. Batarya geriliminin invertör için gerekli seviyeye çıkarılması sırasında DC-DC konvertör yükseltici olarak çalışır, geri kazanımlı frenleme enerjisinin bataryanın şarjında kullanılmasında ise düşürücü olarak çalışır. Yükseltici DC-DC konvertör olarak çalışması şu şekildedir:

- Q2 iletme geçirilir ve L bobininden akım geçmeye başlar.
- Bu durumda Q2 kolektöründeki gerilim YG batarya geriliminden düşüktür.
- Q2 iletimdeyken L bobininde enerji depolanır.
- Q2’nin yalıtıma geçirilmesiyle YG batarya gerilimi ve L bobin üzerindeki gerilimin toplamı Q1 içerisindeki diyot üzerinden konvertör çıkışına aktarılır. Böylece konvertör çıkış geriliminin giriş geriliminden yüksek olması sağlanır.
- İnvörtörde bulunan kondansatör de (C) bu aşamada şarj edilir.
- Kondansatör Q2’nin tekrar iletimde olduğu safhada gerilim ihtiyacını karşılar.
- Q2 batarya geriliminin yükseltilmesi sırasında yukarıda açıklanan iletime ve yalıtıma geçirme işlemi sürekli tekrarlanır. Bu işlem yüksek hızlarda gerçekleştirilir (örnek C segmenti araçta 10 kHz).
- Q2’nin iletimde kalma süresinin değiştirilmesiyle çıkış gerilimi ayarlanır.
- Yükseltici çalışma durumunda Q1 tamamen devre dışıdır.

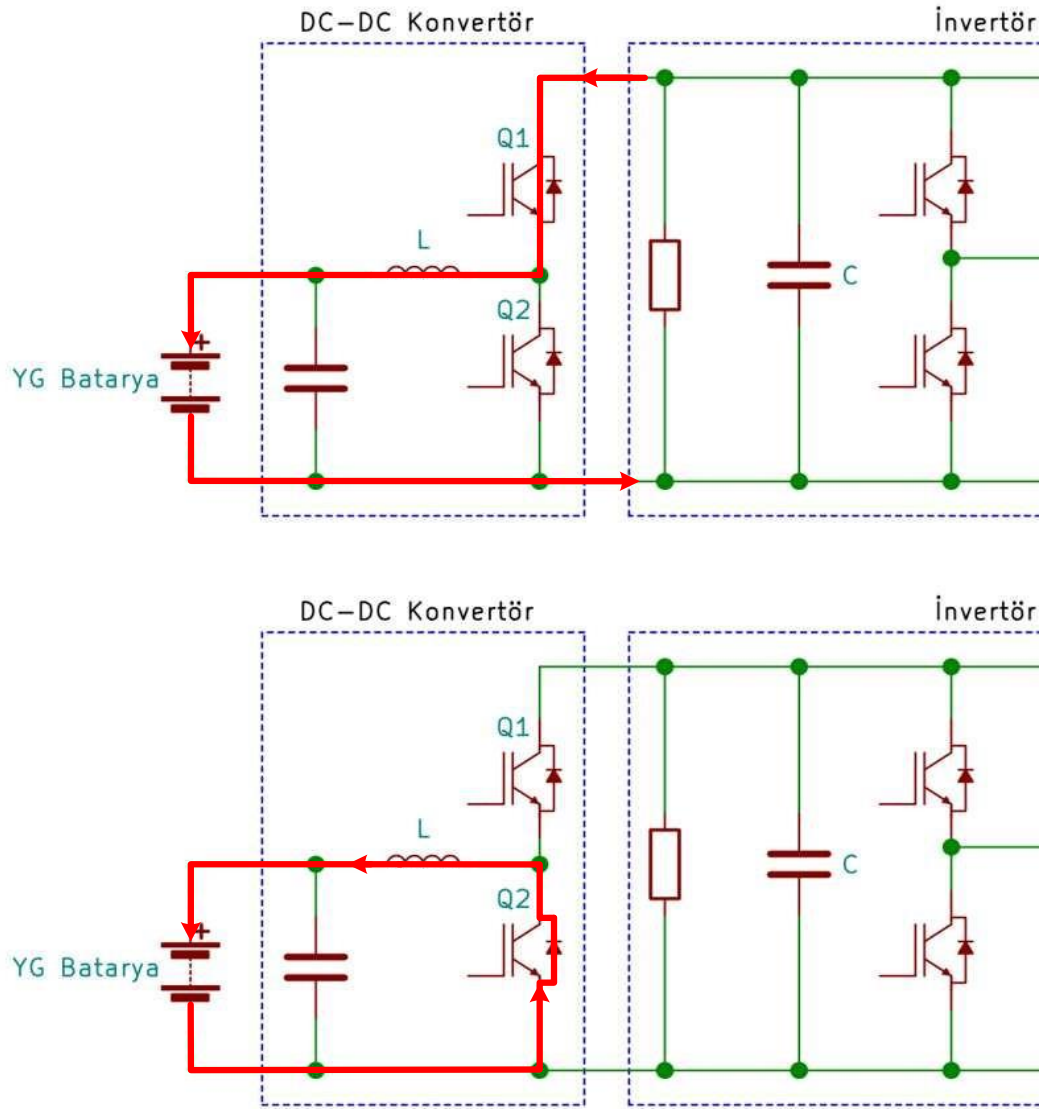
Görsel 1.20’de yükseltici DC-DC konvertörün yukarıda açıklanan çalışması görülmektedir. Geri kazanımlı frenleme sırasında invertörde doğrultulan gerilimin batarya şarj edecek uygun seviyeye düşürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla DC-DC konvertör ters yönde çalıştırılır. Bu çalışma sırasında Q2 IGBT’si tamamen devre dışıdır. Q1 IGBT’si yüksek frekansta iletim ve yalıtıma geçirilerek konvertörün çalışması sağlanır. Düşürücü DC-DC konvertör çalışması şu şekildedir:



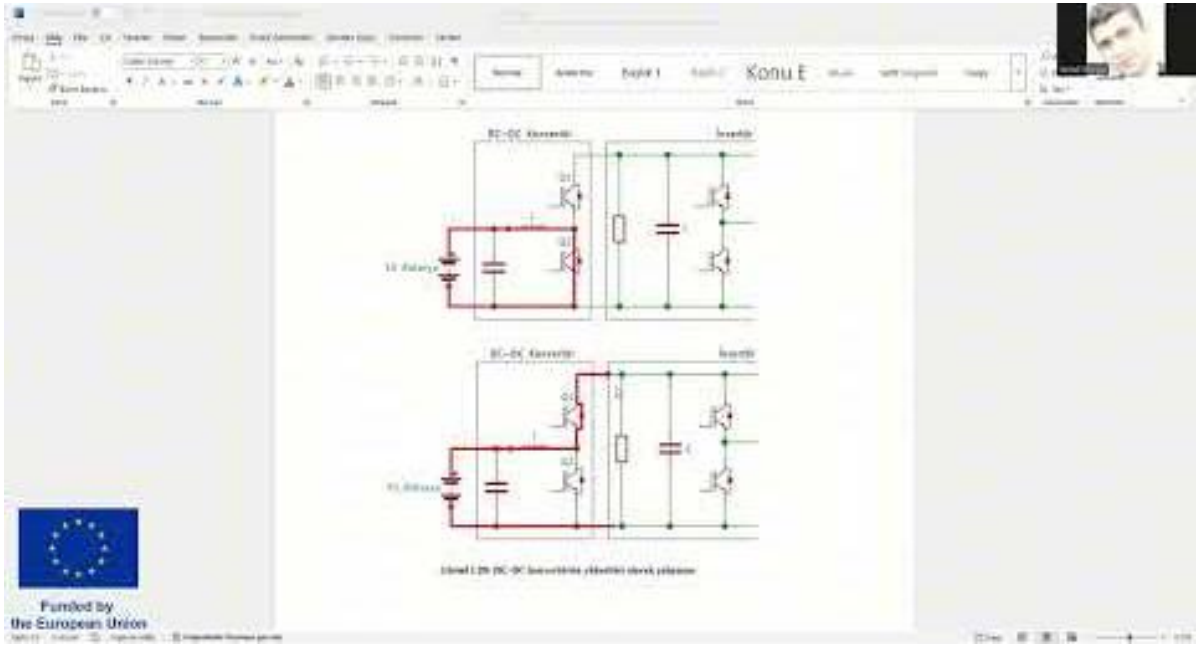
Görsel 1.20: DC-DC konvertörün yükseltici olarak çalışması

- Devrede bulunan Q2 IGBT'si tamamen devre dışı bırakılıp Q1 IGBT'sine PWM kontrolü yapılmasıyla düşürücü tip DC-DC konvertör elde edilmiş olur.
- Q1 iletme geçirilerek L bobininde enerji depolanır.
- Q1 yalıtıma geçirildiğinde L bobini akımını Q2'de bulunan diyot üzerinden devam ettirir.
- Q1'in iletim ve yalıtıma geçirilmesi işlemi yüksek hızlarda tekrarlanır.
- Azaltıcı çalışma durumunda DC-DC konvertörden bataryaya uygulanan gerilim değeri Q1'in iletimde kalma süresinin değiştirilmesiyle ayarlanır.

Görsel 1.21’de düşürücü DC-DC konvertörün yukarıda açıklanan çalışması görülmektedir.



Görsel 1.21: Düşürücü DC-DC konvertörün çalışması



Videoyu oynatmak için resim üzerine tıklayınız veya aşağıdaki linki kopyalayıp tarayıcınız ile açınız.

<https://youtu.be/0nfQLwO6p94>



Görsel 1.22: Elektrikli bir araçta kullanılan DC-DC dönüştürücü

Görsel 1.22’de hibrit ve elektrikli araçlarda 12 V ile çalışan yardımcı üniteler için gerekli gerilimi sağlayan düşürücü DC-DC konvertör görülmektedir. Söz konusu DC-DC konvertör temel olarak geleneksel araçlardaki alternatörün yaptığı görevi üstlenir. Görsel 1.22’deki DC-DC dönüştürücünün özellikleri şu şekildedir:

- Giriş gerilimi: 260-420 V DC
- Çıkış gerilimi: 11-15,5 V DC
- Çıkış akımı: 135 A
- Çıkış gücü: 2000 W



Görsel 1.23: Üst segment tamamı elektrikli bir araçta kullanılan DC-DC konvertör

Görsel 1.23'te üst sınıf tamamı elektrikli bir araçta kullanılan DC-DC konvertör görülmektedir. Görsel 1.22'de görülen DC-DC konvertörden farklı olarak bu dönüştürücüde sıvı ile soğutma yapılmaktadır. Görsel 1.23'te görülen DC-DC dönüştürücünün özellikleri şu şekildedir:

- Giriş gerilimi ve akımı: 220-430 V, DC 15 A (en fazla)
- Çıkış gerilimi: 9-16 V DC
- Çıkış gücü: 2500 W

2. ELEKTRİK MAKİNELERİNDE SOĞUTMA

Bir makine içindeki tüm parçalar birbirleri ile temas hâlinde ve birbirine sürtünerek çalıştıkları için ısınırlar. Oluşan ısıнын zaman içinde makineye zarar vermemesi için soğutulması gerekmektedir. Bunun için soğutma sistemi oldukça büyük önem taşır.

2.1. Soğutma Sisteminin Görevleri

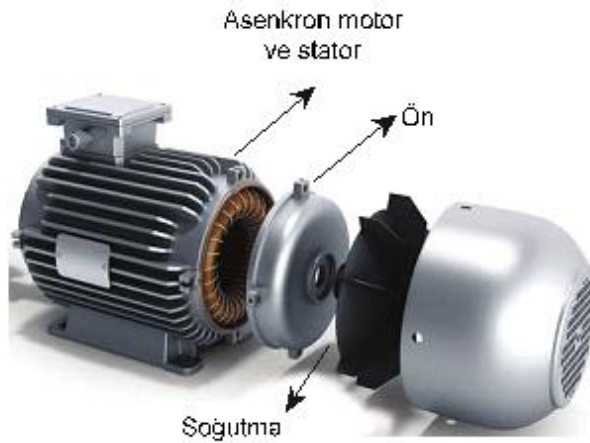
Soğutma sisteminin temel görevi makinede sürtünmelerden dolayı oluşan yüksek ısıyı ideal çalışma koşullarına indirmek, soğuk hava şartlarında ise makinenin ideal çalışma koşullarına ulaşmasını sağlamaktır.

2.2. Soğutma Sisteminin Çeşitleri

Soğutma sistemlerini genel anlamda iki başlıkta incelenir. Bunlar hava soğutmalı sistemler ve sıvı soğutmalı sistemlerdir. Sıvı soğutmalı sistemlerde kendi içinde su soğutma ve yağ soğutma olarak ikiye ayrılır. Elektrik makinelerinde kullanılan soğutma sistemleri genelde su soğutmalı sistemlerdir.

2.2.1. Hava Soğutmalı Sistemler

Hava soğutmalı sistemler sıvı soğutmalı sistemlere göre daha düşük bir verim oluşturdıkları için genelde motosiklet motorlarında, ağaç testere motorlarında, çim biçme makinelerinde veya jeneratör gibi daha az güç gerektiren makinelerde kullanılmaktadır. Görsel 2.1’de hava soğutmalı sistem gösterilmiştir.



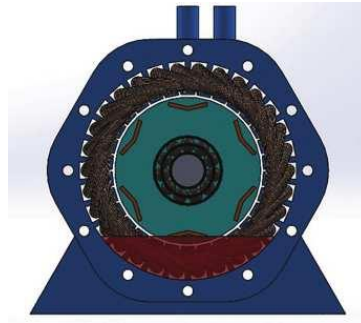
Görsel 2.1: Hava soğutmalı sistem

2.2.2. Sıvı Soğutmalı Sistemler

Sıvı soğutmalı sistemler performans anlamında hava soğutmalı sistemlerden daha verimli oldukları için günümüzdeki araçların büyük çoğunluğunda kullanılan sistemlerdir.

2.2.2.1. Yağ Soğutmalı Sistemler

Yağın aktif olarak soğutma işleminde kullanımı elektrik motorlarında çok uygulanan bir yöntem değildir. Bu yöntemde yağ, rotorun belli bir seviyesine gelecek kadar ayarlanır, gövde içerisinde yer alan soğutma kanallarında pompa yardımı ile dolaştırılarak ısı sargılardan alınıp bir radyatör vasıtasıyla dış ortama aktarılarak soğutma sağlanır. Görsel 2.2’de yağ soğutmalı sistem gösterilmiştir. Daha sonra yağ kütüğünde soğutulan yağ, tekrar yağ pompası tarafından sisteme basılır. Bu esnada iç kısımda yer alan ve yağlanmaya ihtiyaç duyan parçalar da yağlanmış olur, haricî bir yağlamaya ihtiyaç kalmaz.

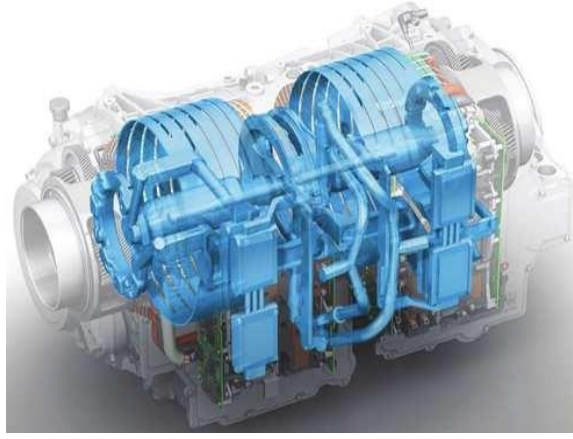


Görsel 2.2: Yağ soğutmalı sistem

2.2.2.2. Su Soğutmalı Sistemler

Günümüzde en çok kullanılan sistem, su ile soğutmalı sistemlerdir. Su ile soğutulan sistemlerde özellikle kış aylarında suyun donma tehlikesi olduğu için antifriz veya antifriz-su karışımı kullanılarak radyatöre konulan suyun donma sıcaklığı düşürülür. Hava sıcaklığı sıfırın altına düştüğü zamanlarda dahi soğuk havaya karşı korunur ve su donmaz.

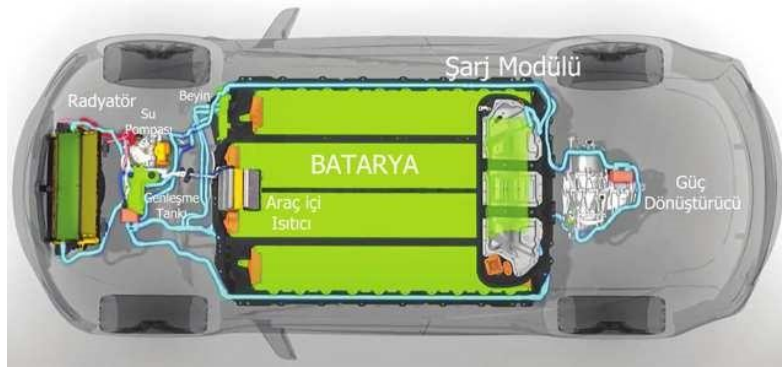
Su, statorların yerleştirildiği gövde içerisindeki kanallarda dolaştırılarak rotor ve stator arasındaki sürtünmeden dolayı oluşan yüksek ısıyı uzaklaştırır. Görsel 2.3’te su soğutmalı sistem gösterilmiştir.



Görsel 2.3: Su soğutmalı sistem

2.3. Soğutma Sisteminin Parçaları

Sistem parçaları; radyatör, su pompası, soğutma fanı, genişleme tankı, soğutma suyu ve borulardan meydana gelir. Görsel 2.4’te soğutma sistemi parçaları gösterilmiştir.



Görsel 2.4: Soğutma sistemi parçaları

2.3.1. Radyatör

Motor, soğutma suyuna depoluk yaparak üzerinde bulundurduğu alüminyumdan yapılmış ince petekler sayesinde aracın kendi kinetik enerjisini kullanarak vantilatör yardımı ile içerisinde bulunan suyu soğutur. Görsel 2.5’te radyatör ve soğutma fanı gösterilmiştir.



Görsel 2.5: Radyatör ve soğutma fanı

2.3.2. Su Pompası

Radyatördeki soğutulmuş olan suyu sisteme basınçlı olarak göndererek sistemdeki ısınmış olan suyun da soğuması için radyatöre gelmesini sağlayan parçadır. Görsel 2.6’da su pompası gösterilmiştir



Görsel 2.6: Su pompası

2.3.3. Soğutma Fanı

Radyatör içerisinde ısınmış olan suyun soğutulabilmesi için hava sirkülasyonunu oluşturan pervanedir. Görsel 2.5’te radyatör ve soğutma fanı gösterilmiştir.

2.3.4. Genleşme Kabı

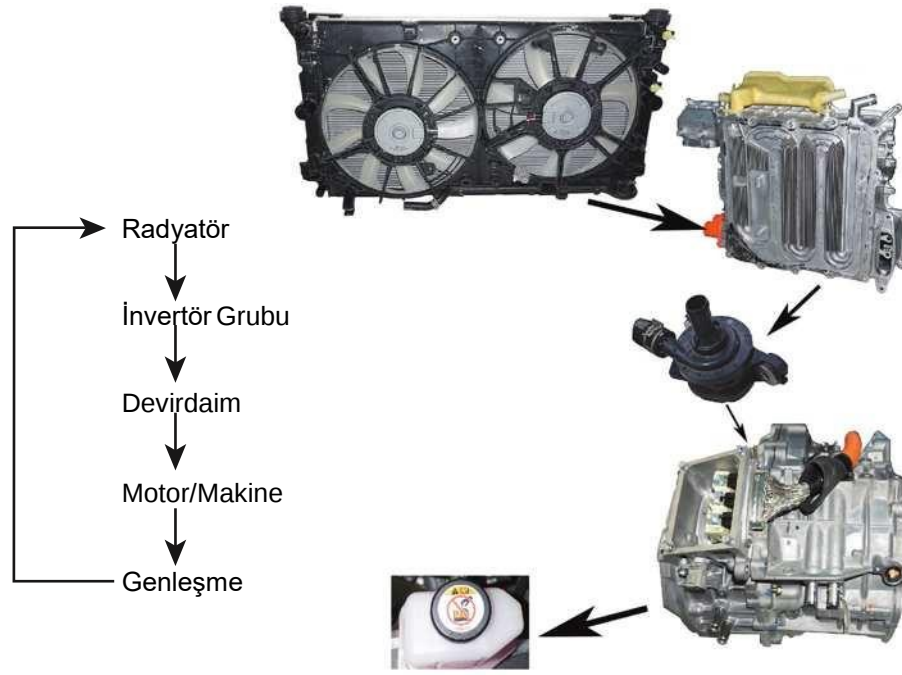
Sistem içerisindeki soğutma suyunun sıcaklığı arttıkça ısınan suyun hacmi de artar. Genleşme kabı, bu suyun belli bir yüksekliğe kadar genişleyeceği ve soğuma sırasında tekrar büzüşebileceği bir kaba ihtiyaç duyulduğu için sistem içerisine yerleştirilmiştir. Görsel 2.7’de genleşme kabı gösterilmiştir.



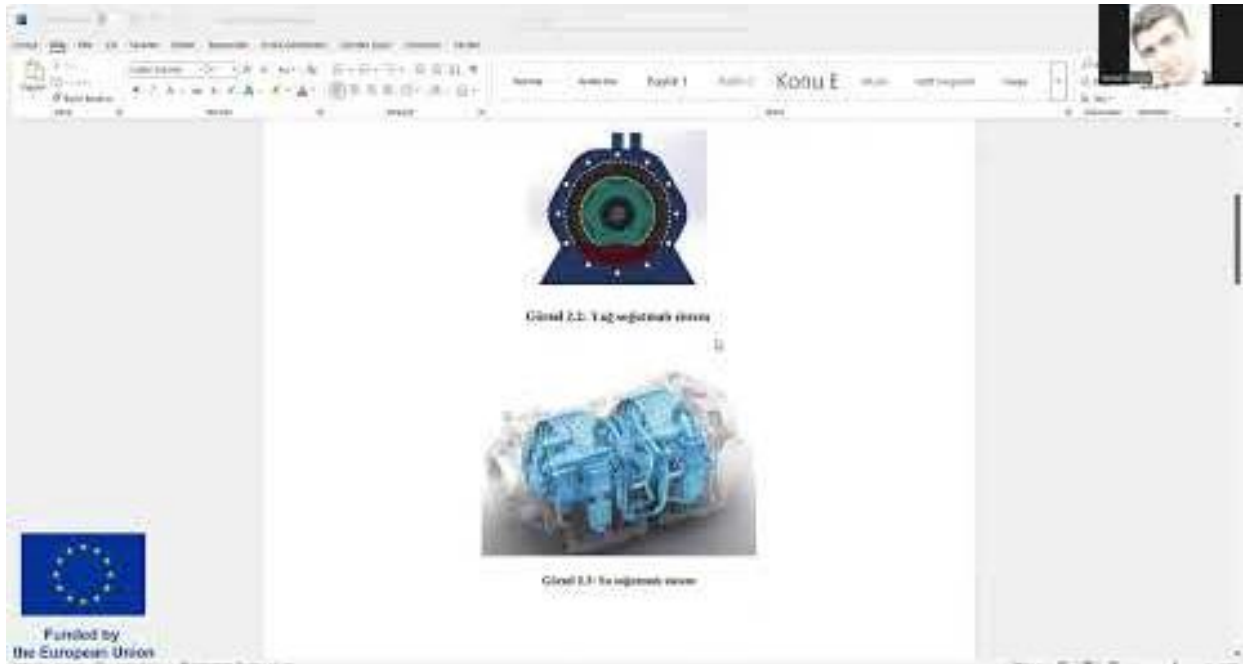
Görsel 2.7: Genleşme kabı

2.4. Soğutma Sistemi Çalışması

Sistem içerisinde soğutucu akışkan döngüsü Görsel 2.8’de gösterildiği gibi devirdaim (tam dolaşım) eder.



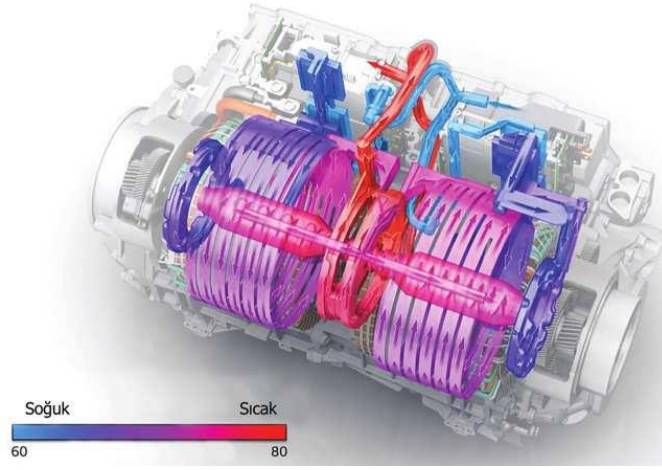
Görsel 2.8: Soğutucu akışkan döngüsü



Videoyu oynatmak için resim üzerine tıklayınız veya aşağıdaki linki kopyalayıp tarayıcınız ile açınız.

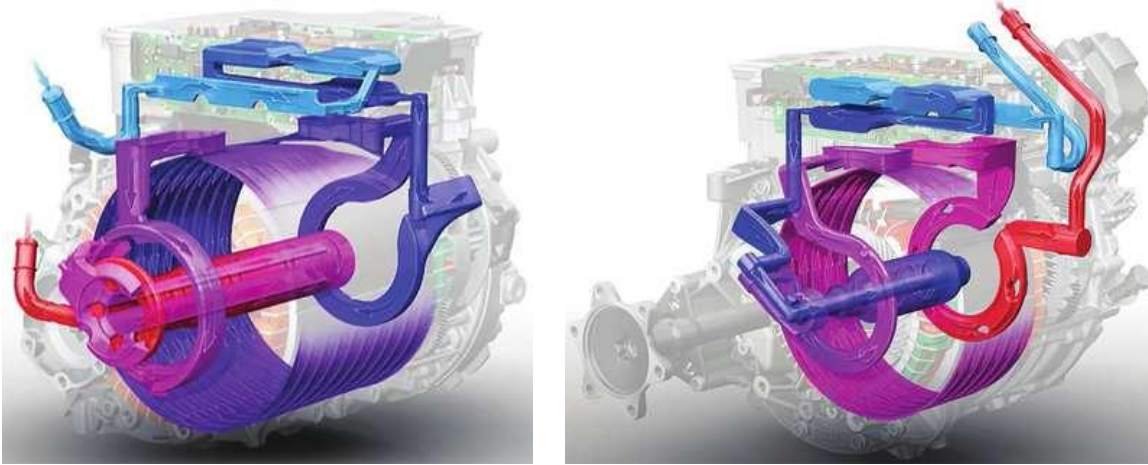
<https://youtu.be/jTRwQJ0k3HE>

Su radyatörün üst kısmından girerek aşağıya doğru alüminyum plakalar arasından süzülürken soğutma fanı yardımı ile soğutulur. Soğutulan su radyatörün alt kısmından borular yardımı ile çıkarak su pompası tarafından çekilip tekrar borular vasıtası ile sisteme basılır. Görsel 2.9’da su soğutmalı sistem su dolaşımı gösterilmiştir.



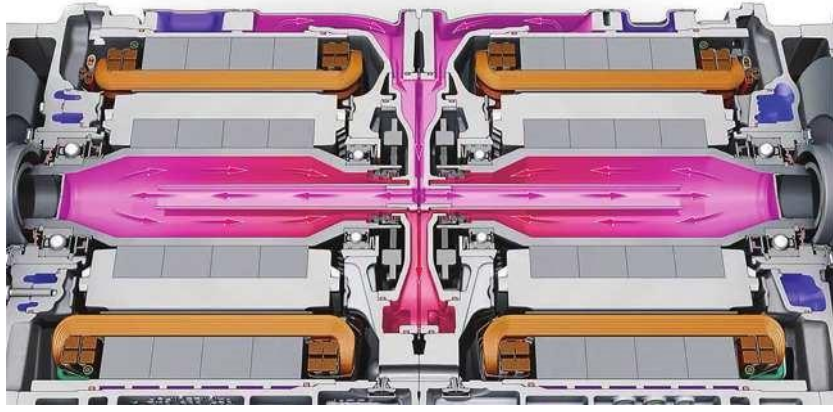
Görsel 2.9: Su soğutmalı sistem su dolaşımı

Su öncelikle invertör-konvertör grubunun alüminyumdan yapılmış soğutma kanatçıklarında dolaşarak motorun gövde kısmında yer alan stator çevresindeki soğutma kanallarına doğru ilerler. Görsel 2.10 ve Görsel 2.11’de su soğutmalı sistemlerde su dolaşimleri gösterilmiştir.



Görsel 2.10 - Görsel 2.11: Su soğutmalı sistem su dolaşımı

Rotor mili iç kısmı su kanalları ile donatılmış olup rotorun daha hızlı soğuyabilmesi amaçlanmıştır. Görsel 2.12’de su soğutmalı sistem rotor içi su akışı gösterilmiştir. Rotor ve statorda oluşan yüksek ısı su üzerine geçerek rotor ve statorun soğutulması sağlanmış olur. Bu sırada su ısınır ve ısınan su stator çevresindeki kanallardan çıktıktan sonra tekrar borular aracılığı ile radyatörün üst kısmından radyatöre girer ve tekrar soğutulur.



Görsel 2.12: Su soğutmalı sistem rotor içi su akışı

KAYNAKÇA

Agamloh, E., von Jouanne, A., & Yokochi, A. (2020). An overview of electric machine trends in modern electric vehicles. *Machines*, 8(2), 20.

Aydın, E. (2014). Gömülü kalıcı mıknatıslı senkron motorların moment dalgalanmalarının minimizasyonu (Yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Başer, E. (2016). Elektrikli araçlarda yol koşullarına uygun motor seçimi algoritması geliştirme (Yüksek lisans tezi). Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.

Chakraborty, S., Vu, H. N., Hasan, M. M., Tran, D. D., Baghdadi, M., & Hegazy, O. (2019). DC–DC converter topologies for electric vehicles, plug-in hybrid electric vehicles and fast charging stations: State of the art and future trends. *Energies*, 12(8).

Chan, C. C. (2007). The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 95(4).

Çanakoğlu, A. İ., Ünsal, A., & Tunaboğlu, N. S. (2012). Elektrik makinaları. Anadolu Üniversitesi Yayınları.

Demirci, Y. (2010). Hibrit araçlarda elektrik motoru denetimi (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.