

ELEKTRIKLİ OTOBÜSLERDE GÜÇ DAĞITIMI VE KONTROL ÜNİTESİ İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF POWER DISTRIBUTION AND CONTROL UNITS IN ELECTRIC BUSES

Buğra ER1*, Görkem BAVTAR^{2,3,4}, Cenk YAVUZ^{3,4}

*^{1,2} SANEL Sanayi Elektronik A.Ş., Tuzla, İstanbul

³Sakarya Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya

⁴Sakarya Üniversitesi, Sakarya Yenilik Merkezi, Sakarya

ORCID Code: <https://orcid.org/0000-0002-3982-5654>

ORCID Code: <https://orcid.org/0000-0001-7395-7995>

ORCID Code: <https://orcid.org/0000-0002-4325-2852>

ÖZET

Bu çalışma, elektrikli otobüsler için önemli bir bileşen olan güç dağıtım kontrol ünitelerinin (PDU) tasarımını detaylı bir şekilde ele almıştır. Elektrikli araç teknolojisinin gelişmesiyle birlikte elektrikli otobüslerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. PDU'lar, ana kontaktör ve önşarj kontağı gibi önemli fonksiyonlara sahiptir ve elektrikli otobüslerin güvenliğini artırmak için rol oynarlar. Bu çalışmanın bulguları, elektrikli otobüs endüstrisindeki araştırmacılar, mühendisler ve üreticiler için değerli bir kaynak oluşturmakta ve PDU tasarımındaki yenilikçi yaklaşımların uygulanmasıyla elektrikli otobüslerin güvenilirliğini ve verimliliğini artırabileceğini göstermektedir. Farklı gerilim, akım, izolasyon direnci ölçümlerinden bahsedilerek topolojiler değerlendirilmiştir. Gelecekteki çalışmalar, PDU'nun daha da geliştirilmesi ve elektrikli otobüslerin yaygınlaşması için yeni stratejilerin belirlenmesi üzerine odaklanabilir. Bu çalışmanın sonuçları, elektrikli otobüs endüstrisinde teknolojik ilerlemenin hızlanmasına ve sürdürülebilir ulaşımın teşvik edilmesine katkı sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Otobüsler, Güç Dağıtımı, PDU

ABSTRACT

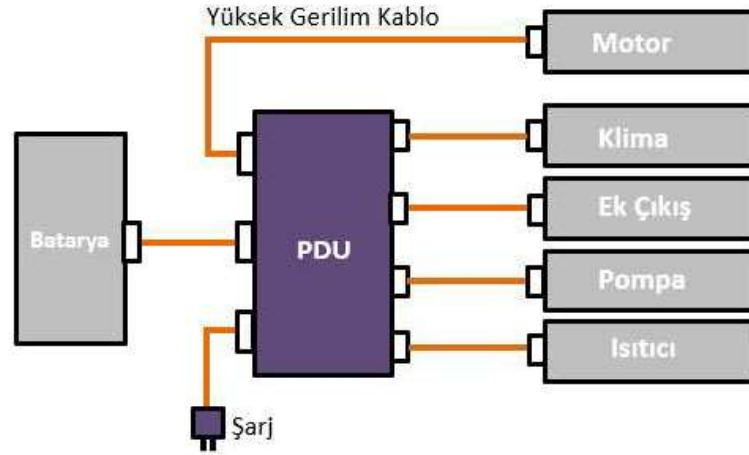
This study extensively addresses the design of Power Distribution Units (PDU), which are a critical component for electric buses. With the advancement of electric vehicle technology, the use of electric buses is becoming increasingly widespread. PDUs play a crucial role in enhancing the safety and performance of electric buses by preventing main contactor welding

and pre-charge contactor welding, among other important functions. The findings of this study serve as a valuable resource for researchers, engineers, and manufacturers in the electric bus industry, demonstrating that innovative approaches in PDU design can enhance the reliability and efficiency of electric buses. Future research can focus on further enhancing PDUs and developing new strategies for the widespread adoption of electric buses. The outcomes of this study could contribute to accelerating technological progress in the electric bus industry and promoting sustainable transportation.

Keywords: Electric Buses, Power Distribution, PDU

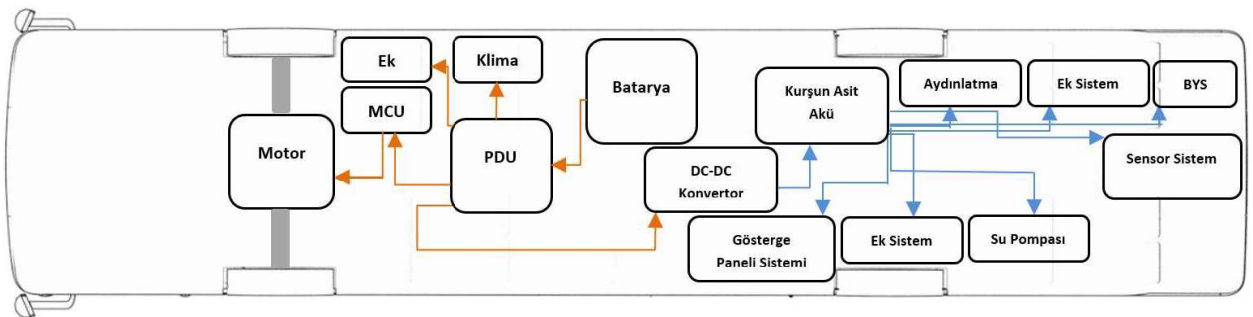
1. GİRİŞ

Elektrikli araçlar günümüzde çeşitli gruplar arasında oldukça popüler bir ulaşım şekli haline gelmiştir. Bir araştırmadan elde edilen verilere göre, aracın menzili, batarya şarj süresi, oluşturduğu gürültü seviyesi, hızlanma yeteneği, güvenlik seviyesi ve sürüş güvenilirliği gibi unsurlar kullanıcılar tarafından önemlidir (Higueras-Castillo vd., 2021). Bu faktörlerden özellikle sürüş güvenliği, bir kişinin elektrikli araç sahibi olma kararını etkileyebilecek önemli bir faktördür. Elektrikli araçların giderek artan popülerliğini ve güç aktarma organlarının güvenilirliği üzerine odaklanmaktadır. Güvenilirlik çalışmaları, pil sistemleri, motor bileşenleri ve diğer alt sistemlerdeki arızaları önlemek için çeşitli stratejiler bulunmaktadır (Tang ve Shu, 2021). Enerji ve çevre krizi yoğunlaştıkça, elektrikli araç kirliliğinin transferi, merkezi işlenmesi ve enerji kullanımının yüksek verimliliği nedeniyle gelecekteki ulaşım ve enerji tasarrufu gelişiminin ana ürünü olarak kabul edilmektedir (Chunlin ve Jian, 2012). Şu anda, her ülke elektrikli araçların çalışmalarına giderek daha fazla önem vermektedir. Bu alana şimdiden büyük enerji ve mali kaynaklar yatırılmış ve gelecekte de yatırılmaya devam edilecektir; çünkü elektrikli araçlar geleneksel araçları gelecekte tamamen veya kısmen değiştirecektir (Qingquan ve Liqing, 2005).



Şekil 1. PDU Uygulama Diyagramı

Elektrikli araçların elektrik sistemlerinde, araç içinde farklı gerilim seviyeleri bulunmaktadır (Kotb ve Chakraborty, 2023). Tipik olarak, bir elektrikli araçta en az iki gerilim seviyesi mevcuttur: yüksek gerilim (YG) ve düşük gerilim (DG). Yüksek gerilim, 120V ile 600V arasında değişen bir aralığa sahiptir ve genellikle araçtaki batarya paketinden gelir. Düşük gerilim 12V ile 24V arasında değişir ve kurşun-asit bataryadan sağlanır. Elektrikli araçlarda, farklı elektrik gerilim seviyelerinin kullanımında belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Şekil 1’de verilen diyagramda yüksek gerilim seviyesi, aracın tahrik sistemi için temel bir enerji kaynağı olarak işlev görür ve Motor Kontrol Ünitesi (MCU), DC-DC dönüştürücü, araç üstü şarj cihazı (OBC) ve güç dağıtım ünitesi (PDU) gibi çeşitli elektrikli bileşenlerin güç ihtiyacını karşılar (Li vd., 2018). Düşük gerilim seviyeleri, aracın kontrol elektrik sistemleri için bir enerji kaynağı olarak kullanılır; örneğin, araç kontrol ünitesi ve elektrikli bileşenler arasındaki iletişim sistemlerini besler. Bu nedenle, elektrikli araçlardaki kontrol sisteminin işlevselliğini arttırmak için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır (Faidar ve Kamlasi, 2023).



Şekil 2. Ticari Araç Üzerinde Elektriksel Sistem Blokları

PDU (Power Distribution Unit), elektrikli otobüslerde güç yönetimi ve dağıtımını sağlayan önemli bir bileşendir. Bu birim, aracın güç kaynağı olan bataryadan gelen elektriği çeşitli elektrikli sistemlere, alt sistemlere veya bileşenlere dağıtır. PDU, aracın farklı elektrikli bileşenlerini yöneterek güvenli bir şekilde çalışmasını sağlar. Şekil 2’de elektrikli otobüs için elektrikselschema verilmiştir. Elektrikli otobüslerde farklı türlerde güvenlik sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemler arasında Kontrol Ünitesi (MCU), batarya sistemi güvenliği, fren sistemi güvenliği, termal batarya sistemi güvenliği, Yüksek gerilim DC Dönüştürücü, Araç İçi Şarj Cihazı (OBC), Motor DC/DC Dönüştürücü, ve elektrik sistemi güvenliği yer alır (Singh vd., 2021).

Batarya yönetim sistemleri için bir hata toleranslı gerilim ölçüm yöntemleri çalışılmaktadır. Tek tek hücrelerin gerilimini ölçmek yerine, önerilen yöntem birden fazla batarya hücrelerinin gerilim toplamını ek gerilim sensörleri kullanmadan ölçebilen topolojiler geliştirilmektedir (Xia ve Mi, 2016). Otobüs geriliminin sabit ve dinamik davranışları bulunmaktadır. Kontrol tasarımları ve algoritmaları geliştirilerek geçici tepkinin incelendiği çalışmalar yapılmaktadır (Karlsson ve Svensson, 2003).

PDU tasarım prosedürleri ve elektrikli otobüslerin entegre güç üniteleri için farklı topolojileri içerir. DC-DC dönüştürücü, elektrik motoru, pil şarj cihazı ve ölçüm cihazları gibi ilgili yüksek gerilimli güç dağıtım ünitesi bileşenlerinin tümünü tek bir birimde birleştirmektedir. Bu yaklaşımın temel amacı, daha kompakt, hafif ve maliyet etkin bir kontrol ünitesi oluşturmaktır. Güç dağıtım kontrol ünitesi ile ilgili patentler bulunmaktadır. Bu patent ve faydalı modeller ürünlerin özellikleri ve fiziksel boyutları hakkında bilgi vermektedir.

Elektrikli otobüslerde, ana kontaktör yüksek gerilimi tüm elektrik sistemine dağıtır. Bunun yanı sıra, yeni tasarım ile HV bileşenlerinin ve sistemin güvenliği artırılabilecektir. HVCB (Yüksek Gerilim Kontrol Kutusu), DC kontaktörler, katı hal anahtarlar, ön şarj devresi, güç anahtarları ve sigortalarını içerir. BMS, araç gövde kontrolcüsünden CAN (Kontrolör Alan Ağı) iletişim protokolü aracılığıyla gönderilen mesajı okur ve yüksek gerilim anahtarlama işlemlerinin başlama veya bitiş zamanlarını belirler. CANBUS, mikrodenetleyicilerin ve cihazların birbirleriyle iletişim kurmasını sağlamak üzere tasarlanmış haberleşmedir. İlk olarak otomobillerdeki elektrik tesisatı için tasarlanmış mesaj tabanlı bir protokoldür, ancak birçok farklı bağlamda kullanılmaktadır (Er ve Bingöl, 2022). Araç içi haberleşme ile diğer sistemlerle iletişim kurarak entegre bir şekilde çalışır.



PDU

Bu yayında PDU sistemleri için birinci bölümde testler ve standartlardan bahsedilmiştir. Standartlar sonrasında İkinci bölümde PDU bileşenlerinden ve genel yapıdan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde ise sistemin standartlarına ve bileşen yapısına uygun olarak komponent seçimlerinden bahsedilerek elektrikli otobüslerde güç akışını kontrol eden sisteme dair bilgiler verilmiştir. Genel olarak sistem, bataryadan gelen yüksek gerilimi çeşitli güvenlik önlemleri ve koruma devreleri aracılığıyla düzenler ve farklı alt sistemlere dağıtır. PDU'nun kontrol mekanizması, batarya durumu, şarj durumu ve diğer önemli parametrelerin izlenmesini sağlar ve gerektiğinde müdahale ederek güvenli bir çalışma sağlar.

PDU'nun güvenilirliği ve dayanıklılığı, çeşitli laboratuvar testlerinde değerlendirilir. Bu testler, PDU'nun farklı çalışma koşullarında nasıl davrandığını anlamak için gerçekleştirilir. Testler arasında yüksek ve düşük sıcaklıkta çalışma, titreşim ve darbe testleri, suya ve toza karşı koruma testleri, aşırı yük ve kısa devre testleri bulunur. Hızlı şarj, yüksek sıcaklıkta çalışma ve

düşük sıcaklıkta çalışma gibi durumlar da yer alır. PDU'nun bu farklı koşullar altında nasıl çalıştığı ve nasıl performans gösterdiği, güvenilirlik ve etkinlik açısından değerlendirilir. PDU sistemleri, geniş bir gerilim aralığında çalışabilir ve yaygın olarak 12V, 24V, 48V, 400V, 600V, 800V gibi DC gerilimleri destekler. Ayrıca, bu sistemler geniş bir akım aralığında çalışabilir, 50A'dan başlayarak 500A ve üzerinde akım taşıyabilirler. Güç kapasitesi bakımından da çok çeşitlidirler, 1 kW'dan başlayarak 200 kW ve daha fazlasını destekleyebilirler. Bu geniş aralıklar, PDU sistemlerinin çeşitli endüstriyel uygulamalarda esnek ve güçlü bir enerji dağıtım çözümü olarak kullanılmasını sağlar.

ISO 26262, ISO 16750 ve UNECE R10 gibi otomotiv endüstrisi için standartlar, fonksiyonel güvenlik, çevresel testler ve elektromanyetik uyumluluk gibi temel alanlarda önemli bir rol oynar. Bunları yanı sıra UL 2202, SAE J1772, IEC 61851, DIN EN 61851, UL 2580, SAE J2847 ve IEC 62196 gibi elektrikli araçlar ve şarj sistemleri için kritik standartlar, şarj arayüzleri, şarj ekipmanları, batarya paketi standartları ve uygulama performansı gibi temel alanlarda önemli bir rol oynamaktadır. Bu standartlar, elektrikli araçların güvenli ve etkili bir şekilde şarj edilmesini sağlamak için geliştirilmiştir. UL 2202, elektrikli araç şarj ve güç sistemlerinin gerekliliklerini belirlerken, SAE J1772 elektrikli araçların şarj arayüzlerini standardize eder. IEC 61851 ve DIN EN 61851, elektrikli araç şarj ekipmanlarının tasarım ve performansını kapsar. UL 2580, elektrikli araç sistemleri için batarya paketi standartlarını belirlerken, SAE J2847 elektrikli ve hibrit araçların uygulama performansını ve enerji özelliklerini test eder. IEC 62196, elektrikli araç bağlantı takımlarının gerekliliklerini tanımlar. Bu standartlar, elektrikli araç endüstrisinin güvenilirliğini ve güvenliğini sağlar, böylece elektrikli araçların kullanımını daha yaygın hale getirirken güvenlik standartlarını korur.

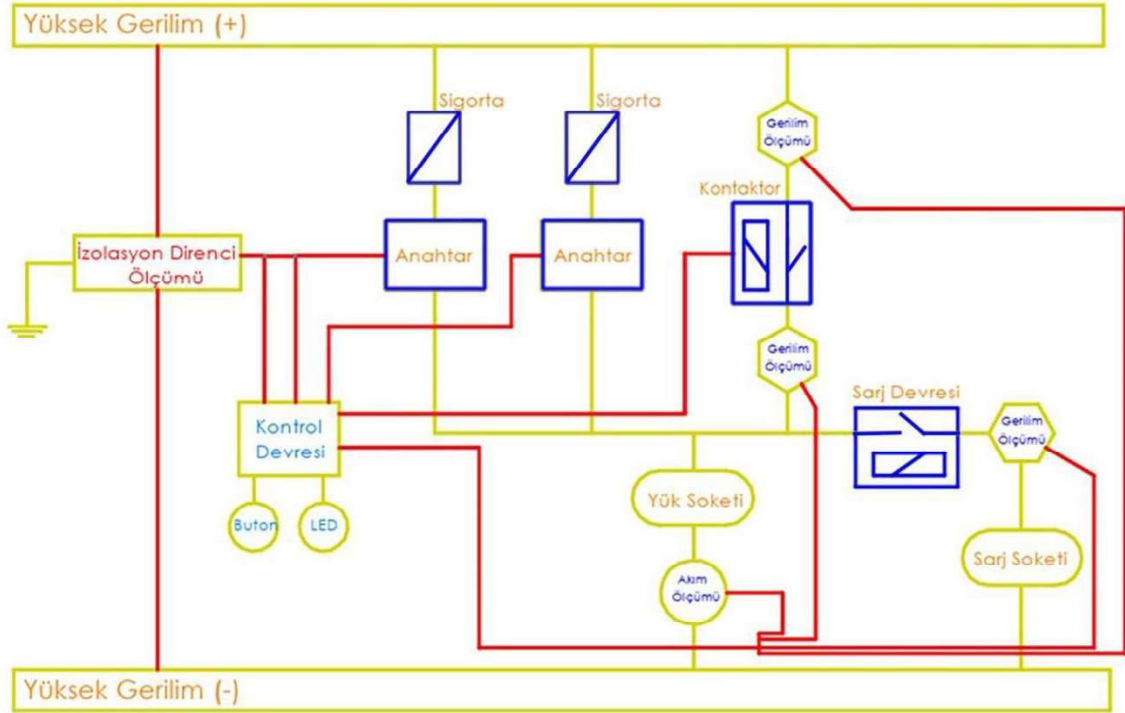
IEC 61557-8, IEC 61010-1, IEC 60664-1, ISO 6469-3 ve ISO 23273-3 gibi standartlar, düşük voltajlı dağıtım sistemlerinde elektrik güvenliği, ölçüm, kontrol ve laboratuvar ekipmanları için güvenlik gereksinimleri, düşük voltajlı enerji sistemlerinde ekipmanların yalıtım koordinasyonu ve elektrikle çalışan yoluyla yol taşıtı güvenliği gibi temel alanlarda rol oynamaktadır. Bu standartlar, elektrik güvenliğini artırmak ve elektrikle çalışan ekipmanların güvenliğini sağlamak için geliştirilmiştir. IEC 61557-8, düşük voltajlı dağıtım sistemlerindeki elektrik güvenliğini ele alırken, IEC 61010-1 ölçüm, kontrol ve laboratuvar ekipmanları için güvenlik gereksinimlerini kapsar. IEC 60664-1, düşük voltajlı enerji sistemlerinde ekipmanların yalıtım koordinasyonunu tanımlarken, ISO 6469-3 elektrikle çalışan yol taşıtlarının şarj edilebilir enerji depolama sistemlerini ele alır.

3. PDU BİLEŞENLERİ VE YAPISI

PDU'nun tasarımında yenilikçi yaklaşımlar, daha kompakt, hafif, ve verimli sistemlerin geliştirilmesine odaklanır. Yeni malzemelerin kullanımı, modüler tasarım prensipleri ve entegre teknolojiler gibi yenilikçi yöntemler, PDU'nun performansını ve güvenilirliğini artırmak için önemlidir. PDU'nun verimliliğini artırmak için çeşitli stratejiler geliştirilmektedir. Bu stratejiler arasında enerji kaybını azaltan yeni bileşenlerin kullanımı, akıllı güç yönetimi algoritmalarının entegrasyonu ve optimize edilmiş soğutma sistemleri bulunmaktadır.

Şekil 4 üzerinden Pozitif ve negatif yüksek gerilimler arasında önşarj direnci ve önşarj devresi gibi önşarj bileşenleri verilmiştir. Ana kontaktör ve yardımcı kontaktör bileşenleri temsil edilmiştir. Hat akımı akım sensörü ile ölçülür. İlgili akım bilgisi kontrol ünitesine iletilir. Pozitif yüksek gerilimin varlığı gerilim sensörü ile algılanır ve yük tarafında gerilimin varlığı gerilim sensörü ile kontrol edilir.

Ayrıca, şarj işleminden sorumlu tüm bileşenler şekilde gösterilmiştir. Şarj rölesi ve şarj soketi belirtilmiştir. Şarj soketinde gerilimin varlığı gerilim sensörü ile belirlenebilir. İlgili gerilim bilgileri kontrol ünitesine iletilir ve bu bilgiler bu kontrol ünitesi tarafından değerlendirilir. İlgili sensörlerde gerilim varlığını belirlemek için kullanılan LED grubu belirtilmiştir. Yük akımı sürekli olarak akım sensörü ile ölçülür. Ölçüm sonuçları kontrol ünitesine gönderilir.

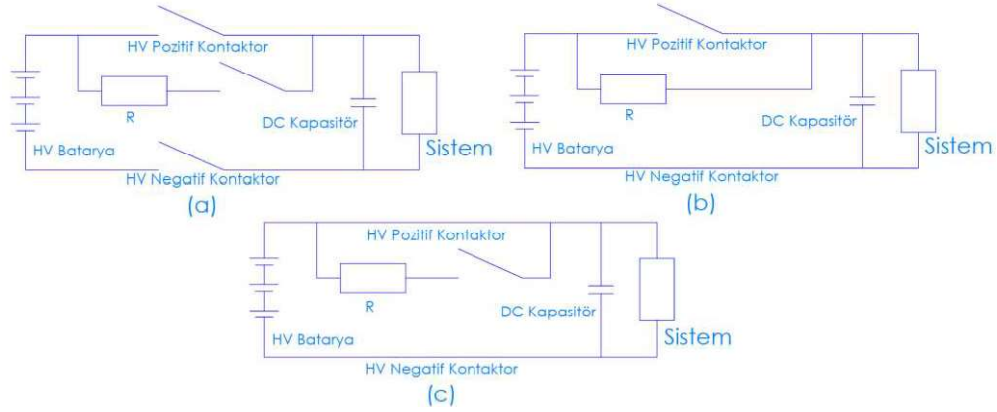


Şekil 4. PDU Tesisat Şeması

Ana röle üzerinden akan akımı belirlemek için, akım sensörü ölçümlerinin farkı değerlendirilmelidir. Akım sensöründe akım ölçümünden sonra, ana röle bobin sinyali kesilir ve böylece ana röle kontağı ayrılır. Ayrıca, HV iletkeni ile araç şasi arasındaki izolasyon direnci, izolasyon test devresi tarafından sürekli olarak ölçülür. Ölçüm sinyali kontrol cihazına aktarılır. Ölçülen izolasyon direnci değerinin önceden belirlenmiş referans değerinden düşük olması durumunda, ana röle kontağı tarafından ayrılır.

4. PDU SİSTEMİNİ KOMPONENT BELİRLENMESİ

Precharger, elektrikli araçlarda yüksek gerilim sistemine güç sağlamak için kullanılan bir önşarj devresidir. Bu devre, ana akümülatörün çıkışına bağlıdır ve enerji depolama biriminin kapasitörlerini yavaşça doldurarak yüksek gerilim devresini hazırlar. HV (yüksek gerilim) pozitif ve negatif kontaktörler, bu yüksek gerilim devresinde anahtar konumundadır. Precharger devresi, pozitif ve negatif kontaktörlerin kapatılmasından önce çalışır ve kapasitörleri yüksek gerilim seviyesine yavaşça yükselterek ani akım akışlarını önler. Kontaktörler kapatıldığında, hazır bir yüksek gerilim devresi oluşur ve aracın çalışması sağlanır. Bu sistem, güvenli bir şekilde elektrikli aracın enerji sistemini etkinleştirirken ani gerilim değişimlerinden kaynaklanabilecek zararları önler.



Şekil 5. Pre-Charge Devresi

Akım ölçümü için LEM DHAB serisi otomotiv sınıfı akım transdüserleri kullanılabilir. Bu transdüserlerin "Kanal 1" ve "Kanal 2" olmak üzere iki kanalı bulunmaktadır. Kanal 1, -75 ila 75 A arası akım değerini ölçebilirken, Kanal 2, -750 ila 750 A arası akım değerlerini ölçebilir. Ölçün doğruluğu için kanal seçimi önemlidir. LEM serisi haricinde akım ölçüm çözümü olarak IVTS cihazı gibi 1 kanal akım, 3 kanal gerilim okuyan ürünler bulunmaktadır. 16 Bit ADC okuyarak ilgili akım ve gerilim bilgilerini CAN üzerinden gönderir. LEM hattan izole olarak akım verisini okurken IVTS akımı direnç üzerinden geçirerek okumaktadır.

İzole bir amplifikatöre sahip devre, "HV Bölümü" ve "Sinyal Bölümü" olarak iki bölüme ayrılmalıdır. HV bölümünde, HV gerilimini (maksimum 0 ila 720 V) almak için 3.6M yüksek gerilim direnci ve 10K direnç kullanılabilir. Galvanik olarak izole edilmiş diferansiyel çıkış gerilimi ($V_{OUT+} - V_{OUT-}$), giriş gerilimine orantılıdır. Opamp, fark amplifikatörü olarak yapılandırılmış ve farklı sinyali tek uçlu bir çıkışa dönüştürür. Ardından çıkış, pil yönetim sistemi tarafından okunur ve hangi LED göstergesinin açılacağı belirlenir. Standartlara göre devrenin farklı alanlarından gerilim ölçümü yapılmalıdır.

IMD cihazı, HV iletkenleri ile Araç Batarya Şasisi arasında sızıntı olmadığından emin olmak için kullanılır. IR155 cihazı, 0 ila 1000 Vdc aralığında çalışır ve sürekli olarak izolasyon direncini ölçer ve sinyalleri Pil Yönetim Sistemine göndererek anomali olduğunda aracın durmasını ve gücün kapatılmasını sağlar. -PWM sinyalinde doluluk oranı ile izolasyon direnci ölçümünü sisteme gönderir. Muadil olarak izolasyon direnci ölçümünü CAN üzerinden gönderen SIM100 cihazı gösterilebilir.

5. SONUÇ

Bu çalışma, elektrikli otobüslerin güç dağıtım kontrol ünitelerinin (PDU) tasarımı üzerine detaylı bir inceleme sunmaktadır. Elektrikli araç teknolojisinin hızla gelişmesiyle birlikte, elektrikli otobüslerin kullanımı giderek yaygınlaşmakta ve bu alandaki araştırma ve geliştirme çalışmaları da önem kazanmaktadır. PDU'lar, elektrikli otobüslerin güç dağıtımını kontrol eden ve güvenliğini sağlayan bir bileşen olarak öne çıkmaktadır.

Yenilikçi PDU tasarım yaklaşımlarının uygulanması, elektrikli otobüslerin güvenilirliğini ve performansını artırabilir. Ana kontaktör ve önşarj kontağı gibi güvenlik önlemleri, elektrikli otobüslerin günlük kullanımında rol oynar. Gelecekteki çalışmalar, PDU tasarımının daha da optimize edilmesi ve elektrikli otobüslerin yaygınlaşması için yeni stratejilerin belirlenmesi üzerine odaklanabilir. Ayrıca, yüksek gerilimli bileşenlerin güvenilirliğini artırmak için daha ileri teknolojilerin geliştirilmesi ve elektrikli otobüslerin uzun vadeli kullanımında güvenliği ve verimliliği artırmak için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmanın sonuçları, elektrikli otobüs endüstrisinde güvenli ve güvenilir güç dağıtımı için önemli bir temel oluşturmaktadır. Bu bağlamda, elektrikli otobüslerin güç dağıtım kontrol ünitelerinin tasarımı ve işlevselliği, IEC 61851-23 standartlarına uygun olarak incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu standartlar, elektrikli otobüslerin güvenliği ve performansı için öneme sahip olan izolasyon direnci ölçümü ve metotlarını belirlemektedir. Bu sayede, elektrikli otobüs endüstrisi için güvenli ve etkili güç dağıtım sistemlerinin geliştirilmesi desteklenmektedir.

KAYNAK

Buğra, E. R., & Bingöl, O. (2022). CAN Haberleşmesinde Gürültü Filtreleme Yöntemleri. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 14(3), 138-143.

Chen Qingquan, Sun Liqing. Current situation and development trend of electric vehicle [J]. science and Technology Bulletin, 2005,23 (4): 24-28.

Faidar, M. A. S., Kamlasi, D., & Yusivar, F. (2023). Fault Detection for Low Voltage System in Electric Vehicle. International Journal of Electrical, Computer, and Biomedical Engineering, 1(1), 1-10.

Guo Chunlin, Zhen Zi Jian, force and so on. Development prospect and key factors of electric vehicle analysis [J]. automotive engineering, 2012, 34 (09): 852-858.

Higueras-Castillo, E., Guillén, A., Herrera, L. J., & Liébana-Cabanillas, F. (2021). Adoption of electric vehicles: Which factors are really important?. *International Journal of Sustainable Transportation*, 15(10), 799-813.

Karlsson, P., & Svensson, J. (2003). DC bus voltage control for a distributed power system. *IEEE transactions on Power Electronics*, 18(6), 1405-1412.

Kotb, R., Chakraborty, S., Tran, D. D., Abramushkina, E., El Baghdadi, M., & Hegazy, O. (2023). Power electronics converters for electric vehicle auxiliaries: State of the art and future trends. *Energies*, 16(4), 1753.

Li, X., He, L., Hu, M., & Ye, W. (2018, December). Study of integrated system on power electronics unit for electric vehicle. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 452, No. 3, p. 032083). IOP Publishing.

Singh, A., Mohanty, A., & Chitra, A. (2021, November). Optimal Design of Electrical Safety and Protection Systems for Hybrid Electric Cars. In *2021 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)* (pp. 1-5). IEEE.

Tang, W., & Lasseter, R. H. (2000, June). An LVDC industrial power distribution system without central control unit. In *2000 IEEE 31st Annual Power Electronics Specialists Conference. Conference Proceedings (Cat. No. 00CH37018)* (Vol. 2, pp. 979-984). IEEE.

Tang, Q., Shu, X., Zhu, G., Wang, J., & Yang, H. (2021). Reliability study of bev powertrain system and its components—a case study. *Processes*, 9(5), 762

Xia, B., & Mi, C. (2016). A fault-tolerant voltage measurement method for series connected battery packs. *Journal of Power Sources*, 308, 83-96.