



Araştırma Makalesi/Research Article

CAN haberleşmesinde gürültü filtreleme yöntemleri

Buğra Er¹, Okan Bingöl²

¹ KORMAS, TOSB, Kocaeli, Türkiye

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

CAN veri yolu
CAN sinyalleri
SAE J1939 Standartı
CAN donanımı

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 14.11.2022
Kabul Tarihi: 30.12.2022

Öz: Günümüzün otomotiv sektöründe çalışılan en önemli alanlarının başında haberleşme, veri toplama ve kontrol işlemleri gelmektedir. Veri toplama işlemi elektronik alt yapısı sistemler için oldukça önemlidir. Güvenirliği yüksek bir yapı kurularak verilerin doğru bir şekilde kontrol sistemine iletilmesi oldukça önemlidir. Verilerin hat boyunca doğru ve güvenli iletilmesi amacıyla sıklıkla tercih edilen haberleşme protokollerinden biri CAN protokolüdür. Bu çalışmada iklimlendirme kumandalarında kullanılan CAN protokolünün SAE J1939 standartına uygun şekilde parametrelerinin yazılım ile ayarlanmasına yer verilmiştir. Haberleşmede kullanılan mesaj adresi ve bilgisinin doğru şekilde iletildiği analizör ekranında gösterilmiştir. Haberleşme esnasında birçok elektrik motoru ve sistemi kontrol eden iklimlendirme kumandalarının otomotivde karşılaşılabileceği elektriksel gürültülü ortam oluşturulmaya çalışılmıştır. Oluşturulan ortamda CAN donanımına dair komponent ve topolojiler test edilmiştir. Farklı devre topolojilerinin gürültülü ortamlardaki çıkış grafikleri yorumlanmıştır. Dört farklı topoloji verilmiştir. İki topoloji elektriksel gürültülü ortamda çalıştırılarak osiloskop görüntüleri paylaşılmıştır. TVS koruma devresinde 1.8 V tepeden tepeye değeri ölçülmüştür. Çoklu TVS cihaz devresinde ise 1.6 V tepeden tepeye değeri elde edilmiştir. Filtreleme yaparak tepeden tepeye değeri %12 azaltılmıştır.

Atıf için/To Cite:

Er B. Bingöl O. CAN haberleşmesinde gürültü filtreleme yöntemleri. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 14(3), 138-143, 2022.

Noise filtering methods in CAN communications

Keywords

CAN bus
CAN signals
SAE J1939 Standard
CAN hardware

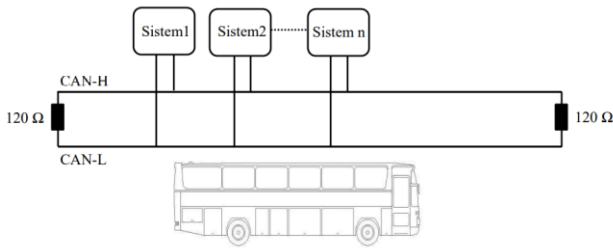
Article history:

Received: 14.11.2022
Accepted: 30.12.2022

Abstract: Communication, data collection and control processes are at the forefront of the most important areas of work in today's automotive industry. Data collection is very important for electronic infrastructure systems. It is very important to establish a highly reliable structure and to transmit the data correctly to the control system. CAN protocol is one of the frequently preferred communication protocols in order to transmit data accurately and securely along the line. In this study, the parameters of the CAN protocol used in air-conditioning controls in accordance with the SAE J1939 standard are set with software. It is shown on the analyzer screen that the message address and information used in communication are transmitted correctly. It has been tried to create an electrical noisy environment that the air conditioning controls that control many electric motors and systems may encounter in the automotive during communication. Components and topologies of CAN hardware have been tested in the created environment. Output graphs of different circuit topologies in noisy environments are interpreted. Four different topologies are given. The oscilloscope images were shared by running the two topologies in an electrically noisy environment. 1.8 V peak-to-peak value was measured in the TVS protection circuit. In the multi-TVS device circuit, 1.6 V peak-to-peak value was obtained. By filtering, the peak-to-peak value was reduced by 12%.

1. Giriş

Günümüzde otomobil sektöründe erişilmesi düşünülen hedeflerden biri araca dâhil olan bütün sistemlerin bir protokol aracılığıyla haberleşmesidir. Bu nedenle haberleşme insanlığın geçmişten günümüze en temel ihtiyaçlarından biridir. Haberleşme sistemlerine başlıca otomotiv sektörü, savunma sanayi ve endüstri olmak üzere her alanda ihtiyaç duyulmaktadır [1]. Elektronik tabanlı sistemlerin CAN (Controller Area Network) veri yolu kullanılmadan tek merkezden kontrol edilebilmesi için araç içerisinde birçok sinyal kablosu kullanılması gerekmektedir [2]. Eski nesil araçlarda kullanılan her sensör ve ara birim için fiziksel olarak ayrı bir kablo üretimi yerine, günümüz araçlarında tüm sensörler ve arabirimler bağlantılı oldukları ağ üzerinden adres tabanlı olarak bir veya iki kablo ile beraber haberleşmektedirler. Bu yüzden otomobil haberleşmeleri için araç içi ağ kavramı kullanılmaya başlanmıştır. Ara birim olarak ifade edilen ve elektrik motoru alanını ilgilendiren komponentler genel olarak havalandırma sistemi, araç kumandası, elektrik motorları olarak ifade edilebilir. Şekil 1’de yer alan CAN Protokolünün temsili görseline yer verilmiştir. Alıcı ve vericilerin aynı hat üzerinde iki kablo üzerinden haberleştiği gösterilmektedir.



Şekil 1. CAN protokolü gösterimi

CAN veri yolu haberleşmesi Bosch tarafından geliştirilmiş olan, günümüz araçlarında sıklıkla kullanılan yöntemdir. CAN sistemini ayarlanabilir haberleşme hızına sahip bir seri veriyoludur. CAN sistemi, aracın güç ve aktarım organları için yüksek hızlı, gövde ve eğlence sistemleri için ise düşük hızlı standardı kullanılmaktadır [3].

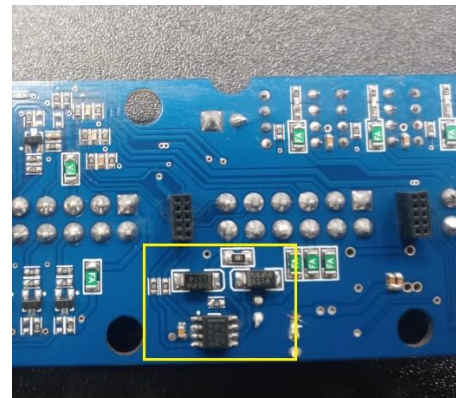
CAN, otomotiv sektöründe ve üst düzey teknoloji gerektiren sektörlerde kullanılması amacıyla tasarlanmış, güvenli ve yüksek verimli bir senkron seri iletişim protokolüdür [4]. Haberleşmedeki güvenilirliği açısından otomotiv de sıklıkla kullanılmıştır [5]. “Kontrol Alan Ağı Veri yolu” veya “Controller Area Network Bus” olan günümüzde en çok kullanılan

haberleşme sistemlerinden biridir. CAN veri yolu standart protokolü, Açık sistem ara bağlantısı (Open System Interconnect) olarak ifade edilen referans modelinin birinci ve ikinci katmanlarına karşılık gelmektedir. Başlangıçta Bosh tarafından otomotiv uygulamaları için tasarlanmıştır. İlerleyen teknoloji ile beraber düşük maliyet, küçük boyut, yüksek güvenilirlik ve yüksek hız gibi avantajları ile beraber birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır [6]. Veri güvenliğinin önemli olduğu gerçek zamanlı uygulamalarda da sıklıkla kullanılır. Günümüzde otomotiv genelinde kullanılan haberleşme standartları olarak CAN Veri yolu, LIN Veri Yolu ve FlexRay sayılabilir. Günümüzde otomotivde kullanılan elektrik motorlarında ağırlıklı olarak CAN veri yolu kullanılmaktadır [7].



Şekil 2. HVAC Kumanda Paneli

CAN protokolü otomotivde birçok alanda kullanıldığı gibi araç iklimlendirme kumandalarında da kullanılmaktadır. CAN yapısına sahip kumanda devresi Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu kumandalar sıcaklık ölçerek ortamların otomatik şekilde iklimlendirmesini sağlarken aynı zamanda hata kodlarını, sıcaklık verilerini ve fan bilgilerini sistem ile paylaşır. Sistemden ise araç hızı, kapı açık bilgisi veya klima bilgilerini ilgili adreslerden okuyarak ilgili senaryoları gerçekleştirir. Şekil 3’de HVAC (Isıtma, havalandırma ve klima) kumanda panelinde kullanılan CAN donanımına ait alan işaretlenmiştir.



Şekil 3. HVAC Kumanda Panelinde Can Donanımı

HVAC Kumandalarının kullanım alanları gereği EMC (Elektromanyetik Uyumluluk) belgesi önem taşımaktadır. Bu alanda benzer çalışmalarda belirli frekanslar uygulanarak CAN hattındaki sinyallerin formu incelenmektedir [8]. Bu çalışmalar haberleşmenin güvenliğini arttırmaktadır.

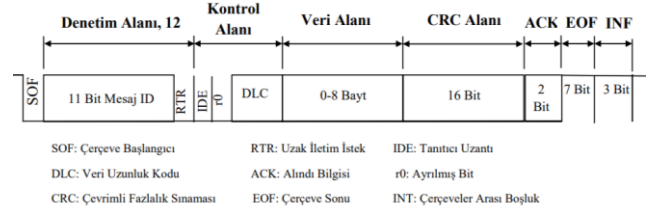
Bu kumandalarda genellikle SAE J1939 protokolü kullanılmaktadır. SAE J1939 protokolü 500kbit/s ve 250kbit/s hızlarında genişletilmiş mesaj yapısı olacağını ifade etmektedir [9]. Sinyal burgulu kablo üzerinden iletilir. Bu sayede yüksek hızlarda CAN haberleşmesi gürültü bağıışıklığını sağlamış olur [10].

Bu çalışmada otomotivde kullanılan iklimlendirme kumandalarında yer alan CAN protokolüne ait donanım ve yazılım yapısı ele alınmıştır. CAN protokolünde donanım ve yazılım birlikte çalışmaktadır. Yazılım için mikroişlemci tarafında adresleme, kuantalama ve filtreleme işlevleri bulunmaktadır. İlgili işlevler ikinci bölümde genel CAN yapısı ve yazılımı paylaşılmıştır. Oluşturulan CAN yapısı Microchip firmasının analizör ekranında gösterilmiştir. Donanım tarafında ise tampon, sonlandırma direnci, çeşitli aktif ve pasif komponentler ile sistem kurulması amaçlanmıştır. HVAC kumandalarının araç içerisinde kontrol ettiği birden fazla motor, sensör ve çıkışlar bulunmaktadır. Dolayısıyla sistem elektriksel gürültüye içerisinde çalışmaktadır. Haberleşmenin gürültüden etkilenmemesi gerekmektedir. Üçüncü bölümde ise iklimlendirme kumandasının araç içerisinde karşılaşılabileceği elektriksel gürültülü ortam oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu gürültülü ortamda yapılan donanım ve testlere ait çalışmalara yer verilmiş ve topolojiler yorumlanmıştır.

2. Materyal ve metod

CAN Protokolü sistem içerisindeki karmaşıklığı ve kablo sayısını azaltma amacıyla ortaya konulmuştur [11]. CAN haberleşmesi tercihen burgulu ve ekranlı olacak şekilde iki adet kablo ile iletilmektedir. CAN veri yolu protokolünün mesaj tabanlı olması diğer protokollerden temel farkıdır. Sistemdeki her bir mesaj birbirinden farklı tanımlayıcıya yani adrese sahiptir. Hatta yer alan bütün kontrolcüler sistemden veri alabilecek ve aynı şekilde sisteme veri verebilecek yapıya sahiptir. CAN veri yolunda her bir mesaj ile düğüm üzerinde hata kontrolü yapılır. Yüksek hızlı CAN veri yolu iletişimi için karayolu araçlarında kullanılan ve kabul gören uluslararası standart ISO11898 olarak belirlenmiştir. CAN protokolünde dört adet veri alanı bulunmaktadır. CAN veri alanları; hata çerçevesi, veri çerçevesi, istek çerçevesi ve aşırı yük çerçevesidir [12].

Çalışma kapsamında CAN 2.0B ile beraber SAE J1939 standartları kullanılacaktır. CAN 2.0B'de yer alan mesaj yapısı Şekil 4'de verilmiştir [13].



Şekil 4. CAN 2.0B yapısı

SAE J1939 spesifikasyonunun önemli bir özelliği yalnızca genişletilmiş CAN çerçevelerinin kullanılmasıdır. J1939 mesaj tanımlayıcısı öncelik, genişletilmiş veri sayfası, veri sayfası, protokol veri birimi formatı, protokol veri birimine özel ve kaynak adresi olarak altı alana bölünmüştür [14].

STM32F072 Mikroişlemcisi: ARM Cortex M0 işlemcisine sahip STMicroelectronics firması tarafından üretilen STM32F serisi mikroişlemcilerden biridir. CAN, 1 Mbit/s'ye kadar bit hızıyla 2.0A ve 2.0B spesifikasyonlarıyla uyumludur [15].

Gönderilen verilerde ilgili hedef adresler yerine protokol üzerinde tanımlayıcı adres(ID) bulunmaktadır. Tanımlayıcılar veri içeriğiyle birlikte öncelikleri de iletir. Mesajın yapısı; Başlangıç Verisi, Kimlik Verisi, Veri Uzunluk Kodu, Veri Alanı, İstek Çerçevesi ve Hata Çerçevesinden oluşur. 500kbit/s kullanan SAE J1939 protokolü yer almaktadır. Bu protokol için 72MHz işlem hızına sahip işlemci de Ön ölçekleyici 8 olmalıdır. Sayısal haberleşme üzerinde kuantalama bulunmaktadır. Aşağıda yer alan yazılım satırlarında Ön ölçekleyiciye ve TimeSeg1 ve TimeSeg2 kaydedicilerinde yer alan kuantalama değerleri verilmiştir.

```

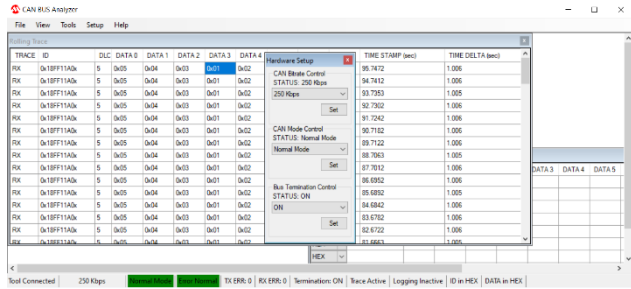
hcan.Instance = CAN; //CAN Haberleşmesi
hcan.Init.Prescaler = 12; //Data Hızı Belirlenmesi
hcan.Init.Mode = CAN_MODE_NORMAL; //Mod Seçimi
hcan.Init.SyncJumpWidth=CAN_SJW_1TQ; //Kuantalama Seçimi
hcan.Init.TimeSeg1 = CAN_BS1_13TQ;
hcan.Init.TimeSeg2 = CAN_BS2_2TQ;

```

CAN protokolü üzerinde adres filtreleme bulunmaktadır. Bu adres dışındaki bilgiler FIFO olarak adlandırılan alana kaydedilmeyerek filtreleme sağlanır. FilterIdHigh ve FilterIdLow arasındaki tanımlama değerleri alınarak diğer tanımlayıcılar filtrelenir. CAN veri yolunda mesaj almak ve göndermek için tüm işlevler mikroişlemcide yer alan CAN modülü tarafında otomatik olarak yönetir. İlgili ayarların yer aldığı alan aşağıda verilmiştir.

```
sFilterConfig.FilterActivation=ENABLE; //Mesaj Filtre Ayarları
sFilterConfig.FilterBank=0;
sFilterConfig.FilterFIFOAssignment=CAN_FILTER_FIFO0;
sFilterConfig.FilterIdHigh=0x18FF9000>>13; //Adres Filtreleme
sFilterConfig.FilterIdLow=0x18FF9AA0<<3;
sFilterConfig.FilterMaskIdHigh=0xFFFFF000>>13;
sFilterConfig.FilterMaskIdLow=0x18FF9000<<3;
sFilterConfig.FilterMode=CAN_FILTERMODE_IDMASK;
sFilterConfig.FilterScale=CAN_FILTERSCALE_32BIT;
```

CAN 2.0B ayarlarının ve uygulama üzerinden veri örneği Şekil 5'de verilmiştir. CAN 2.0A standardında tanımlayıcı on bir bit uzunluğundadır. CAN 2.0B standardı ise yirmi dokuz bit uzunluğuna sahiptir.

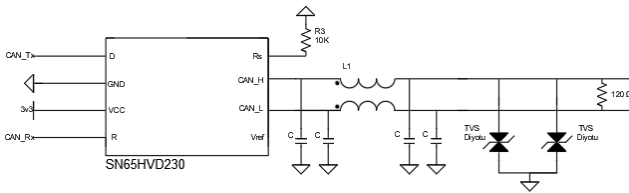


Şekil 5. Can Analizör Ekranı

Genişletilmiş tanımlayıcı ve Standart tanımlayıcı olarak iki tipte tanımlama bulunmaktadır. Tasarımın uygulama alanı CAN 2.0B alt yapısına sahip olduğu için genişletilmiş tanımlayıcı seçilmiştir. Adresleme yöntemleri ise genişletilmiş tanımlayıcı ve standart tanımlayıcı olarak CAN protokolü içerisinde ikiye ayrılmaktadır. Sektöre, araç türüne ve araca göre adresleme farklılık gösterebilir. Genişletilmiş tanımlayıcı seçimi, veri uzunluğu ve adres bilgisi aşağıda verilmiştir.

```
pTxHeader.IDE = CAN_ID_EXT; //Genişletilmiş ID Seçimi
pTxHeader.RTR = CAN_RTR_DATA; //Data Türü Seçimi
pTxHeader.DLC = 8; // Data uzunluğu belirlenmesi
pTxHeader.ExtId = 0x18FF11A0; //Data Gönderilecek Adres
```

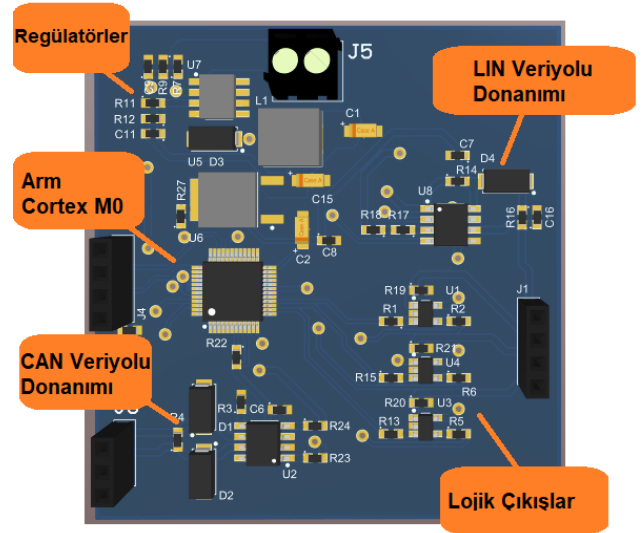
CAN veri yolu kullanılan uygulamaların sıklıkla ISO11898 standartını karşılayabilmesi beklenmektedir. Transceiver ile CAN kontrolcüsüne saniyede 1 megabit'e kadar iletim yeteneği sağlar. Bu çalışmada transceiver olarak SN65HVD230 tercih edilmiştir. Kullanılan CAN Protokolüne ait devre şeması Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. CAN transceiver veriyolu bağlantısı

Çalışma kapsamında Altium Designer kullanarak tasarlanan kartın bölümleri Şekil 7' de isimlendirilerek verilmiştir. Kart üzerinde CAN ve LIN donanımıyla birlikte çeşitli giriş ve çıkışlarda bulunmaktadır.

Birçok haberleşme protokolünde ESD (Elektrostatik Deşarj) koruması amaçlı TVS (Geçici Gerilim Bastırma) kullanılmaktadır. Haberleşme hızına bağlı olarak kapasite değeri değişmektedir. USB 2.0 hattı için 5pF'a kadar olan kapasiteler tavsiye edilmektedir [16]. CAN alıcı-vericisini ESD' den korumak için ESDCAN24 geçici voltaj bastırıcı önerilmiştir [17]. ST firmasının ESDCAN24 kodlu TVS ürünü kullanılmıştır. Sonlandırma direnci olarak 120 Ω veya kapasitör kullanımına bağlı olarak 60 Ω-60 Ω tercih edilmiştir. Filtre amaçlı kullanılan kapasitörler ise 10nF olarak kullanılmıştır. Kapasitör ve sonlandırma direnci değerleri kullanılan SN65HVD230 entegresinin kitabından seçilmiştir. Testlerde CAN haberleşme hızı referans alınarak seçilen Würth firmasına ait 51 μH endüktans ve 0.32Ω iç dirence sahip bobin kullanılmıştır. Donanımda CAN Bus Transceivers entegresi olarak ISO 11898-2 Standardı ile uyumlu, yüksek giriş empedansı, düşük bekleme akımına sahip Ti firmasının olan SN65HVD230 tercih edilmiştir.

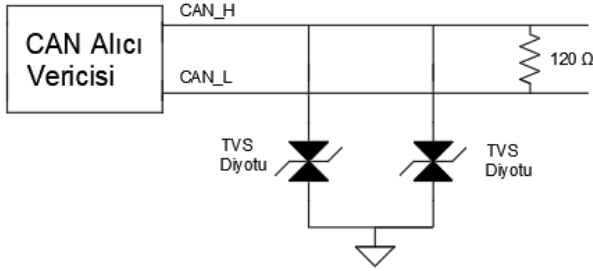


Şekil 7. Uygulamanın yapıldığı Kartın Altium tasarımı

3. Bulgular

Filtreler gürültü şiddetini azaltarak kullanılabilir bir sinyal elde edilmesini sağlar. Direnç-Kapasitör (RC), indüktör-kapasitör (LC), bobinler ve ferritler filtre seçenekleridir. Filtreler gürültüye karşı kesim frekansına bağlı avantaj sunarlar fakat tamamıyla engelleyemezler. Bu uygulamalarda TVS diyotu kullanılabilir. TVS geçici gerilim bastırma diyotu adı

altında giriş kaynağına koruma amaçlı bağlanan diyottur. Çalışma geriliminin üzerinde giriş voltajı geldiğinde kısa devre olarak çalışarak akımı kendi üzerinden geçirmeyi amaçlar. Şekil 8' de yer verilen düşük kapasiteye sahip TVS diyotları sinyal bozulmasını en aza indirir [18].



Şekil 8. TVS koruma devresi

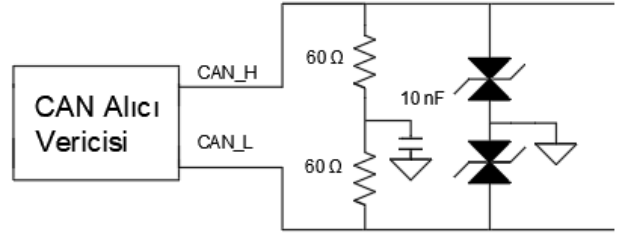
Şekil 8' de verilen sistem uyarlanarak analizör ekranında verilen veriler kontrol edilmiştir. Elektriksel gürültülü ortam yaratma amacıyla güç kaynağına 17kHz anahtarlama frekansı ile anahtarlanan bir Fırçasız Doğru Akım motoru eklenmiştir. CANH ve CANL sinyallerinin osiloskop görüntüleri Şekil 9' da verilmiştir. CANH sinyali tepeden tepeye 1,8 V değerini vermiştir. Osiloskop ekran çıktısı 2 V/div olacak şekilde çıktılar alınmıştır. Dikey eksen voltajı, yatay eksen ise zamanı belirtmektedir. Sarı grafik CANL, yeşil grafik ise CANH olarak osiloskop görüntüsü paylaşılmıştır.



Şekil 9. TVS koruma devresi osiloskop çıktısı

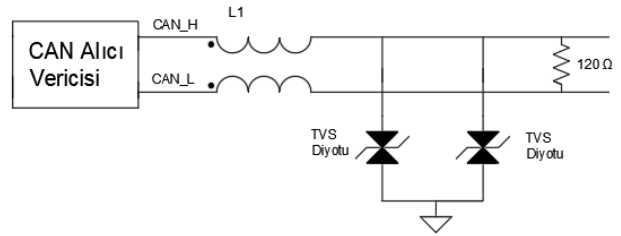
Şekil 10' da bölünen sonlandırma devresi alçak geçiren filtre olarak çalışır ve iki eşit parçadan oluşur. Yapısında Direnci kapasitör ve TVS diyot barındırır. Yüksek frekansı kapasitör toprağa gürültü olarak aktarır. TVS diyotlar ise devrenin korunmasını sağlar. EMI

sorunlarında da sıklıkla çözüm amaçlı kullanılan yöntemdir [18]. Bölünmüş sonlandırma devresi EMI yöntemi olması nedeniyle osiloskop çıktularına yer verilmemiştir.



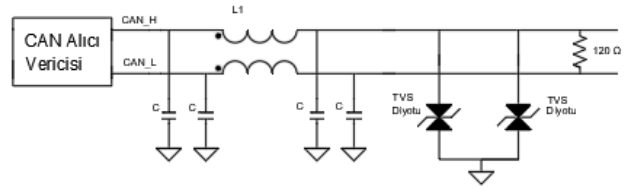
Şekil 10. Bölünmüş sonlandırma devresi

Şekil 9' da verilen devre düşük maliyet ile aşırı gerilim koruması sağlar ancak TVS diyot ile minimum gürültü filtreleme elde edilir. Direnç ve kapasitör ile filtre devresi veya ortak mod şok bobin kullanılarak gürültü filtreleme her iki hat içinde sağlanır. Ortak şok bobinler gürültüyü azaltır. TVS diyot da eklenirse Şekil 11'deki devre topolojisi oluşturulmuş olur [18]. Bobin kullanımı ile beraber kapasitör kullanımı yaygındır. Şekil 11' de yer alan şekle kapasitör eklenerek Şekil 12' de yer alan devre elde edilir.



Şekil 11. Ortak mod şok devresi

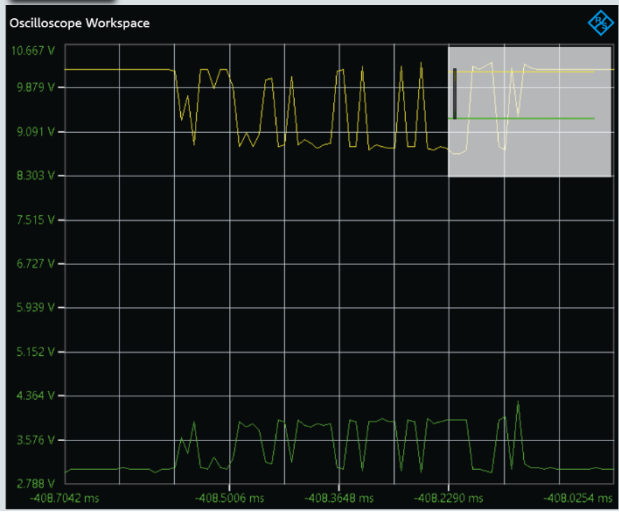
Şekil 12' de yer alan CAN düğümünde gürültü tarafından oluşturulan sinyaller filtreler tarafından şok bobin ve 10nF değerinde kapasitörler yardımıyla zayıflatılır. Ortaya çıkan emisyonu ve gürültüyü azaltmak için iki hatta da TVS diyotları kullanılarak dalgalanma minimum değere yaklaştırılmaya çalışılır [18].



Şekil 12. Çoklu TVS cihaz devresi

Şekil 12' de yer alan devre test elektriksel gürültülü ortamda test edildiğinde CANH sinyalinde tepeden

tepeye değeri 1,6 V gelmektedir. Osiloskop çıktıları Şekil 13' de elde edilen CANH ve CANL sinyali verilmiştir. Şekil 12' de yer alan devrenin testlerde elektriksel gürültü kaynaklı olarak 1,6 V tepeden tepeye değeri gözlemlenirken Şekil 8' de yer alan topolojinin 1,8 V değeri görülmüştür. Dikey eksen voltajı, yatay eksen ise zamanı belirtmektedir. Osiloskop ekran çıktısı 2 V/div olacak şekilde çıktılar alınmıştır.



Şekil 13. Çoklu TVS cihaz devresi osiloskop çıktısı

4. Sonuç

Bu çalışmada CAN veri yolu sistemi donanım testleriyle beraber başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Arm Cortex M0 Mimarisine sahip Stm32F072 Mikroişlemcisi ile beraber CAN Protokolünün yazılımı ve donanımı incelenmiştir. Yazılım alanlarında StmCubeMX ile beraber Keil u5 kullanılmıştır. CAN protokolü içerisinde yer alan CAN 2.0B kullanılarak SAE J1939 standartlarına uygun şekilde programlanarak mesaj filtreleme ve mesaj türü seçimleri yazılım alanlarında detaylı şekilde açıklanmıştır. CAN protokolünde kullanılan çeşitli devre topolojileri Altium Designer programında tasarlanan devre kartı üzerinde test edilmiştir. Benzer çalışmalarda benzer frekanslar uygulanarak sinyallerin formları incelenmiştir. Bu çalışmada fırçasız doğru akım motoru ile HVAC kumandasının kullanım yerine benzer bir sistem elde edilmiştir. Sürekli veri akışının olduğu elektriksel gürültülü çalışma ortamı oluşturulmuştur. Çıkış grafikleri ile beraber ilgili topolojilerin anlatımı sağlanmıştır. Kullanılması planlanan standartlara uygun topolojiler ile beraber yazılım satırlarına bu çalışma içerisinde yer verilmiştir. Böylelikle veri akışı sağlanırken verilerin doğru bir şekilde okuma işlemi ve grafikleri incelenmiştir. TVS koruma devresinde tepeden tepeye değeri 1,8 V ve çoklu TVS cihaz

devresinde ise tepeden tepeye değeri 1,6 V olarak ölçülmüştür. Filtreleme işlemi sonucunda tepeden tepeye değeri %12 azaltılmıştır. Elektriksel gürültülü ortamlarda filtreleme amaçlı çoklu TVS cihaz devresinin iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Teşekkür: Bu çalışma Hamle programı kapsamında 1219040 numaralı proje ile TÜBİTAK TEYDEB tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Natale M D. Understanding and using the Controller Area Network. 2008.
- [2] Turgut M, Bayir R, Duran F. CAN Communication Based Modular Type Battery Management System for Electric Vehicles, *Elektronika Ir Elektrotehnika*, 24(3), 1392-1215,2018.
- [3] Zhang Y, Liu T, Chong T, Jia X, & Wu Z. Analysis of CAN bus encryption and decryption performance of different chips. In *Journal of Physics: Conference Series*, (Vol. 2006, No. 1, p. 012071). IOP Publishing. 2021.
- [4] Chen Y, Li Q, & Luo Q. Research on Fault Diagnosis of Vehicle-mounted Network Communication Based on CAN Bus. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 677, No. 4, p. 042049). IOP Publishing. 2019.
- [5] Elzbieta G. Communication in Automotive Networks Illustrated with an Example of Vehicle Stability Program: Part I- Control Area Network. *GSTF International Journal of Engineering Technology (JET)* 2(4), 2014.
- [6] Türker GF, & Kutlu A. Kontrol Alan Ağı (CAN) ve Tıbbi Cihaz Uygulamaları. *Akademik Bilişim 2013*, ID:18, Akdeniz Üniversitesi Hukuk Fakültesi, Antalya, 2013.
- [7] Yahui L. Servo control system based on optical fiber CAN communication. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 310, No. 3, p. 032021). IOP Publishing. 2019.
- [8] Huan LI. & Qinzhu W. EMC improvement of CAN bus in automotive bus. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1607, No. 1, p. 012035). IOP Publishing. 2020.
- [9] Murvay PS, ve Groza B. SAE J1939 ticari araç veri yolu protokolü için güvenlik eksiklikleri ve karşı önlemler. *Araç Teknolojisinde IEEE İşlemleri*, 67 (5), 4325-4339. 2018.
- [10] Durgun YE. Elektromobil araç kontrol sistemi tasarımı ve entegrasyonu (Master's thesis, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi). 2019.
- [11] Alkan B, Akkan ÖLÖ, & Gören ÖÜA. Kapalı Döngü Aktüatörlerin Mobil Hidrolikte Can

- Protokolü İle Kontrolü. Proceedings Book, 96. 2021.
- [12] Richards P. A CAN Physical Layer Discussion. Microchip Technology Inc., U.S. 2002.
- [13] Yardım F. Bir tren eğitim simülatörünün CAN protokolü kullanarak gerçekleşmesi (Master's thesis, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). 2010.
- [14] Jichici C, Groza B, Ragobete R, Murvay PS, & Andreica T. Effective Intrusion Detection and Prevention for the Commercial Vehicle SAE J1939 CAN Bus. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2022.
- [15] Kından AB. ARM Cortex M0 serisi mikrodenetleyicilerden oluşan ayrık gömülü sistemler için can bus tabanlı yazılım güncelleme sistemi tasarımı (Master's thesis, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). 2019.
- [16] Baier J. The Protection of USB 2.0 Applications. ANP002c, 2016-08-19, JB. 2016.
- [17] Ülle E. Design of CAN-node. 2018.
- [18] Lepkowski, J, Wolfe B. EMI/ESD protection solutions for the CAN bus. ICC2005, 02-16/02-24, 2004.