

Araç Kornalarında Sıcaklık Etkisi ve Kontrolü Temperature Effect and Control in Vehicle Horns

Göknur Setrekli¹, Mehmet Koral², Veli Deniz Çayır³

¹Ar-Ge Departmanı SEGER A.Ş., Bursa
gsetrekli@seger.com.tr

²Ar-Ge Departmanı SEGER A.Ş., Bursa
mkoral@seger.com.tr

³Ar-Ge Departmanı SEGER A.Ş., Bursa
dcayir@seger.com

Özetçe

Araç kornalarının çalışma prensibi gereği içerisinde bulunan elektrik kontağını belirli bir frekansta açıp kapatarak bobin (yük) sürülür. Anahtarlama durumuna göre bobinden geçen akım sayesinde oluşan manyetik alan korna içindeki diyafram salınımını başlatmasıyla ses üretimi gerçekleşir.

Elektronik kornalarda ise anahtarlama işlemi transistörler ile gerçekleştirilmektedir. Ancak bu işlemin süreklilik kazanması durumunda her anahtarlama periyodunda bobin üzerinde oluşan anlık tepe akımları ile birlikte, bobin ısındığı için ürün işlevsiz hale gelebilmektedir. Bu çalışmada maliyet ve korna tasarımı göz önünde bulundurularak bobini korumak ve bu durumu ortadan kaldırmak için MOSFET'in ve dolaylı olarak bobinin sıcaklık değişimlerini NTC termistörüyle hesaplayabilmek ve gözlemler sonucu sistemin sıcaklığı kritik seviyeye gelmeden önce yazılım tarafından ürünü koruma altına almak amaçlanmıştır.

Yazılım ile ısınan kornanın gücü kesilip tekrar çalıştırıldığında trafik içi güvenilirliğinin korunabilmesi için uygun akustik ölçümlerle korna tekrar başlatılabilmektedir.

Abstract

In accordance with the operating principle of vehicle horns, the coil (load) is driven by opening and closing the electrical contact at a certain frequency. Sound production occurs when the magnetic field created by the current passing through the coil, according to switching situation, initiates the diaphragm oscillation in the horn.

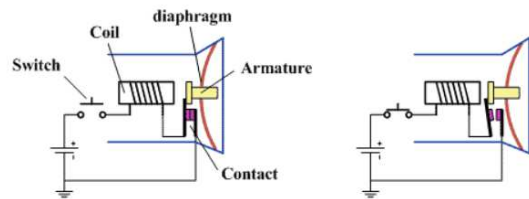
In electronic horns, the switching process is carried out with transistors. However, if this process becomes continuous, the product may become dysfunctional because the coil gets hot, together with the instantaneous peak currents that occur on the coil in each switching period. In this study, it is aimed to calculate the temperature changes of the MOSFET and indirectly the coil with NTC thermistor in order to protect the coil and eliminate this situation, considering the cost and horn design, and to protect the product by the software before the temperature of the system reaches a critical level as a result of the observations.

With the software, when power of the horn is cut off and started again, the heated horn can be restarted with appropriate acoustic measurements in order to maintain its safety in traffic.

1. Giriş

Araç kornası, araçlara, gemilere, trenlere vb. donatılabilen bir tür ses çıkarma cihazıdır. 20. yüzyılın başlarında, yayaların yaklaşımına veya olası tehlikelerine karşı manuel olarak uyabilecek bir cihaz aranmaktadır. Çok geçmeden, kornalarının icadı ile yayaları uyarmanın yolu keşfedildi [1].

Tipik bir korna, manyetik bir bobin, metal diyaframlı bir armatür, bir çift elektrik kontağı ve bir anahtardan oluşur. Sürücü, anahtarı etkinleştirdiğinde kapalı elektrik kontağı, armatürün yanı sıra metal diyaframı da çeken manyetik bir kuvvet oluşturur ve bobinden akım akmasına izin verir. Bu işlem elektrik kontağını keserek akımı keser ve armatür ile diyaframı serbest bırakır. İlk konumlarına geri döndüklerinde elektrik kontağı yeniden kurulur ve döngü tekrarlanır. Bu işlemin hızlı tekrarı, diyaframın salınımını ve korna sesini yaratır [2]. Bu işlem kornanın çalışma frekansını belirler.

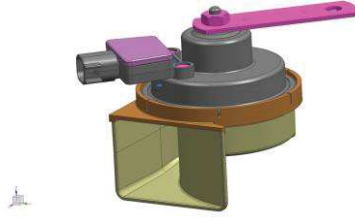


Şekil 1: Tipik bir korna yapısı ve çalışma prensibi [2].

Genel olarak iki tip araç kornası vardır: disk ve salyangoz. Disk tipi daha küçük ve daha hafiftir. Ayrıca bir arabaya daha kolay monte edilir. Salyangoz tipi, daha zengin bir ses elde etmek için bir spiral kanal kullanır. Çoğu korna takımı iki kornaya (düşük ve yüksek frekanslı) sahiptir ve yaklaşık 107-109 dB ses seviyelerine ulaşır [2].

Bu çalışmada ise salyangoz tipi elektronik kornalar üzerinde çalışılmıştır ve her koşulda bir takım şartnameler

gereği ses basınç seviyesini 107 dB üzerinde tutulmalı ve belirli bir süre kornanın çalışabilmesi gerekmektedir.



Şekil 2: Seger 68E Kalın ses salyangoz tipi elektronik korna

Elektronik kornalarda, mekanik kornalarda kullanılan kontak yerine, diyafram hareketi ve anahtarlama işlemi, işlemci tarafından sürülen tamamlayıcı transistör çifti (NPN ve PNP BJT) ve güç MOSFET'i ile gerçekleştirilmiştir. İşlemci ile oluşturulan Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) sinyali ile kornanın kontrolü kolaylaştırılmış, ömrü uzatılmış ve işlemci ile birlikte ürün bazı güvenlik artırılmıştır.

MOSFET'in çalışma frekansına göre sürekli olarak anahtarlama yapması durumunda ise bobin üzerinden geçen akımlardan dolayı sıcaklık istenmeyen bir seviyeye ulaşır. Bobinin ısınması korna içi sıcaklığı artırarak fiziksel deformasyonlara da yol açabilmektedir.

Literatür araştırmalarına göre benzer şekilde MOSFET üzerindeki sıcaklığı kontrol altına almak ve termal kayıpları azaltabilmek için [6] numaralı çalışmada snubber devresi eklenmiştir. Ancak devre elemanlarının daha fazla artması maliyeti arttırmakla birlikte mevcut elektronik kartın(PCB) boyutunu aşabilmesi yönünden endüstriyel çalışmalarda belirli test ve üretim aşamalarında süreci de zorlamaktadır. Çözüm olarak NTC(Negatif Sıcaklık Katsayısı) termistörü ile korna içerisindeki sıcaklık işlemci tarafından okunup sıcaklık kontrol altına alınmıştır. Termistör, basit yapısı, çok fazla harici komponent gerektirmeyen, ebat yönünden PCB üzerinde az yer kaplamasıyla ve işlemci ile harici bir haberleşme protokolü kullanmayarak işlemcinin hafızasını (Flash Memory) aşmadan tercih edilebilecek en uygun ve en ucuz sıcaklık sensörlerinden biridir.

Kritik sıcaklık termistörün fiziksel yapısı baz alınarak hesaplanmış ve eşik değeri UART haberleşme protokolü kullanılarak gözlemlenmiş ve tespit edilmiştir. Hesaplanan değer yazılıma entegre edilerek etkili bir şekilde kullanılmıştır. Böylelikle fazla ısıdan dolayı oluşabilecek fiziksel deformasyonlar ortadan kaldırılmıştır.

2. Kullanılan Metot

Kornanın çalışması esnasında ısınmasına sebep olan temel faktörler detaylı bir şekilde ele alındığında aşağıdaki gibidir:

- Oluşturulan PWM sinyalinin frekansına bağlı olarak her periyotta üzerinde oluşan I_{rms} (alternatif akımının büyüklüğü) ve I_{dc} akımı (İndüktörden geçen doğrusal akımlarından dolayı oluşan ısı ve güç kaybı) [5]

- MOSFET'in çalışma frekansına bağlı olarak çalışma boyunca anahtarlama yapmasından dolayı üzerindeki güç ve ısı kaybı
- Çevresel Faktörler: Korna kaput içerisinde bulunduğundan dolayı motor sıcaklığı gibi çevresel faktörlerden etkilenebilir.

MOSFET üzerindeki maximum ısı ve güç kaybı:

$$P = I^2 R = I_{max}^2 R_{DS(on), max} \quad (1)$$
$$= (16^2) (20) (10^{-3}) = 5,120 \text{ W}$$

R_{thJA} değeriyle birlikte 317,440 K sıcaklık değer elde edilir ve bu sıcaklık 43,85 °C değerine karşılık gelmektedir.

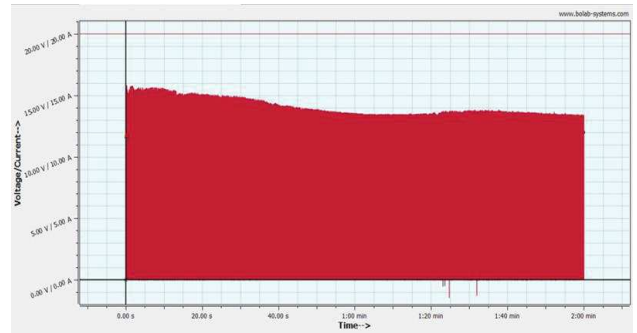
MOSFET üzerinde oluşan max. anlık tepe akımı = ~16A.

R_{thJA} : Termal Direnç, bağlantı noktasından ortama yayılan ısı kaybı = 62 K/W

$R_{DS(on), max}$: İletimde iken gösterdiği omik değer = 2 mΩ

T_j, T_{stg} : Çalışma ve saklanma sıcaklığı = min. -55 ile +175 °C arası. [7]

Bunun anlamı bobinden kaynaklanan termal kayıp ihmal edilirse, 16A'lık tepe akım ile MOSFET'in bağlantı noktasındaki sıcaklık normal şartlar altında yaklaşık olarak 68.85 °C'e denk gelmesidir. Gözlemler sonucu ise bu değere çok kısa bir süre de ulaştığı ve bobinden kaynaklanan ısı kaybının daha baskın geldiği açıkça gözlemlenmiştir.



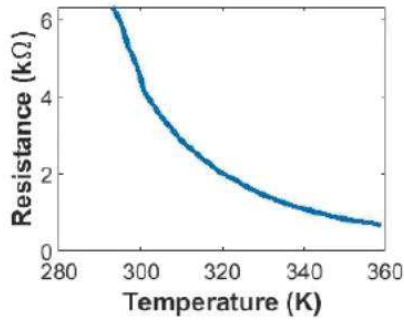
Şekil 3: Vin= 12 ± 0.5V iken kornanın anlık olarak çektiği tepe akımları

Bobin telinin sahip olduğu DC direnç(DRC, DC resistance) ve efektif seri direnç(ESR, Effective Series Resistance) değerleriyle birlikte üzerinden geçen I_{rms} ve I_{dc} akımlarından dolayı oluşacak güç ve ısı kaybı korna içerisindeki ortam sıcaklığını doğrudan arttırmaktadır.

Kornanın anlık sıcaklığını gözlemleyebilmek için eklenen NTC termistörü, PCB üzerinde MOSFET'in drain ucuna mümkün olduğunca yakın yerleştirilmiştir. Kornanın mekanik yapısından dolayı bobin üzerindeki tepe akımları korna içerisindeki çevresel sıcaklığı etkiler. Dolayısıyla termistör, MOSFET ve bobin üzerindeki ısı ve güç kaybından paralel olarak etkilenecektir. Bobinden kaynaklanan ısı kaybı MOSFET'ten kaynaklanan ısı kaybından oldukça fazla olduğundan ortam sıcaklığının artmasında da etkin bir rol oynayacaktır.

Termistörden bahsetmek gerekirse bir termistör, metal oksitlerden yapılmış, küçük bir boncuk, disk, gofret veya

başka bir şekle preslenmiş, yüksek sıcaklıklarda sinterlenmiş ve son olarak epoksi veya cam ile kaplanmış bir yarı iletken parçasıdır. Ortaya çıkan cihaz, sıcaklığa göre değişen bir elektrik direnci sergiler. İki tip termistör vardır: artan sıcaklıkla direnci azalan negatif sıcaklık katsayılı (NTC) termistörler ve artan sıcaklıkla direnci artan pozitif sıcaklık katsayılı (PTC) termistörler. NTC termistörleri, özellikle sıcaklık ölçüm uygulamaları için PTC termistörlerinden çok daha yaygın olarak kullanılmaktadır [3]. Bu çalışmada ise sıcaklık sensörü olarak NTC termistörü kullanılmıştır.



Şekil 4: Termistör Direnci-Sıcaklık Eğrisi ile trend çizgisi[4]

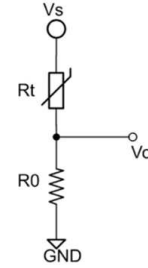
Sıcaklığa bağlı değişen direnç değeri termistör üzerine düşen gerilimi etkiler ve işlemci tarafından gerilim değeri analog olarak ADC ile okunur. Analog olarak okunan 10 bitlik ham veri UART ile her 10 saniyede bir kullanıcıya bildirilir ve veriler belirli bir süre boyunca düzenli olarak kaydedilir. Kullanıcı tarafından toplanan verilerden termistörün üzerine düşen gerilim hesaplanır. Elde edilen gerilim değerinden termistörün sıcaklığa karşı göstermiş olduğu rezistif etki devredeki bağlantı şekli temel alınarak hesaplanır. Termistörün fiziksel yapısına bağlı olarak göstermiş olduğu direnç değeri sıcaklık değerine dönüştürülür.

Sıcaklık cinsine dönüştürülen bu veriler, bobine yakın bir yere yerleştirilen termal kamera ile doğrudan bobinin sıcaklığı her 10 saniyede bir ölçülerek toplanan değerler karşılaştırılmış aralarındaki korelasyon saptanarak kritik sıcaklık değeri belirlenmiştir.

Belirlenen değer yazılıma etkin bir şekilde entegre edilmiştir. Korna, sıcaklık bakımından eşik değerine yaklaştığında PWM sinyalinin görev çevrim süresi düşürülerek bobin tarafından çekilen akım azaltılır ve çıkış gücü düşürülür (case 1). Trafik içi güvenlik sebebiyle ısınan korna tekrar başlatıldığında uygun akustik değerlerden başlayabilmesi göz önünde bulundurularak yazılım geliştirilmiştir (case 2).

3. Hesaplamalar

İşlemci ile ADC üzerinden NTC termistörünün gerilim değeri 10 bitlik okunan analog değer, ham veri (raw_data), olarak okunur. Okunan gerilime V_{ADC} denilirse:



Şekil 5: NTC termistörünün devredeki bağlantı şekli.

$$V_o = V_{ADC} = \frac{(raw_data)(2^{10})}{V_s} \quad (2)$$

Termistörün gösterdiği rezistif etki:

$$R_t = \frac{(V_s - V_{ADC}) R_0}{V_{ADC}} \quad (3)$$

V_{ADC} bu denklemde yerine konursa:

$$R_t = \frac{(V_s - ((raw_data)(2^{10}) / V_s)) R_0}{(raw_data)(2^{10}) / V_s} \quad (4)$$

Ortam sıcaklığını bulmak için :

$$B = \frac{\ln R_1 - \ln R_2}{(1/T_1) - (1/T_2)} \quad [7]$$

$$T_2 = \frac{T_1}{1 + (\ln(R_1/R_2)T_1)/B} \quad (5)$$

(4)' de elde edilen direnç değeri bu denklemde yerine konursa:

$$T_2 = \frac{T_1 / (1 + (\ln(R_1/V_s - ((raw_data)(2^{10}) / V_s)) R_0) / ((raw_data)(2^{10}) / V_s))T_1)/B}{(raw_data)(2^{10}) / V_s} \quad (6)$$

raw_data: İşlemci tarafından okunan 10 bitlik analog değer

V_s : Besleme gerilimi

R_t : Termistörün sıcaklığa karşı göstermiş olduğu rezistif etki

B: Sabit (K) = 3435

T_1 : Referans sıcaklık (K) = 25 + 273

T_2 : T_1 'e göre ortam sıcaklığı (K)

R_1 : T_1 sıcaklığında yüksüz durumdaki direnç (Ω) = 10000

R_2 : T_2 sıcaklığında yüksüz durumdaki direnç (Ω) = R_t [7]

[7]: Kullanılan komponentler hakkındaki tüm değerler ve bilgiler ilgili komponentin teknik dokümanından (datasheet) alınmıştır.

4. Yazılım Metodu

Yazılımda, hedeflenen ve gerçekleşen iki durum söz konusudur. Bunlardan biri korna belirlenen sıcaklık değerine ulaştıktan sonra MOSFET anahtarlama için belirlenen duty değeri düşürülerek kritik sıcaklık noktasına ulaşmasının

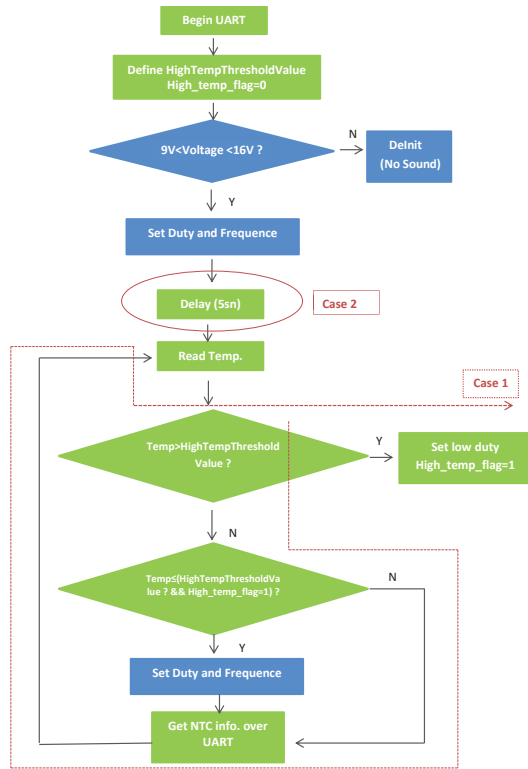
geciktirilmesi (Case 1). İkinci durum ise Case 1 sağlandıktan sonra korna düşük ses seviyelerinde çalışırsa ve tekrar gücü kesip (kornaya basmayı durdurup) tekrar çalıştırıldığında (kornaya basıldığında) emniyet açısından korna normal akustik değerlerinden başlatılmalı ve bir süre bu şekilde çalışabilmelidir.

Bu nedenle kornayı fazla sıcaklıktan dolayı koruma altına alabilmek için kritik (threshold, eşik) sıcaklık değerini belirlerken dikkat edilmesi gereken hususlardan en önemlisi case 2'nin sağlanması ve çalışabilmesidir. Çevresel faktörlerde göz önünde bulundurularak kritik sıcaklık değeri olması gereken değerden daha düşük seçilmelidir. Şekil 3'ü ile birlikte değerlendirilirse seçilen kritik değer:

raw_data = 380

Sıcaklık değeri: $112,6 \approx 113^\circ$

Uygulanan yazılımın çalışma prensibi ve bahsedilen Case 1 ve Case 2 aşağıda özetlenmiştir.



Şekil 8: Yazılımın çalışma prensibi

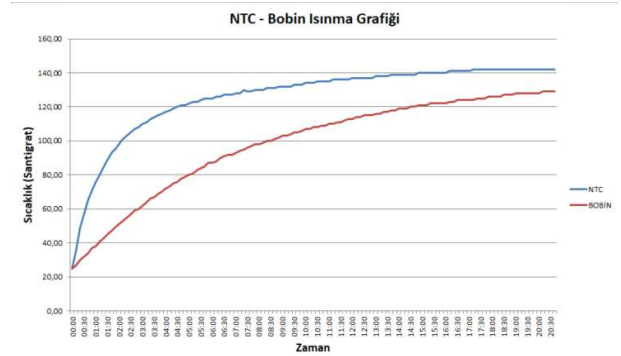
Burada belirtilen yeşil kısımlar NTC termistörü tarafından okunan değerler ve yazılıma olan entegresini göstermek amacıyla bu renkte belirtilmiştir.

5. Ölçümler ve Gözlemler

5.1 Grafikler

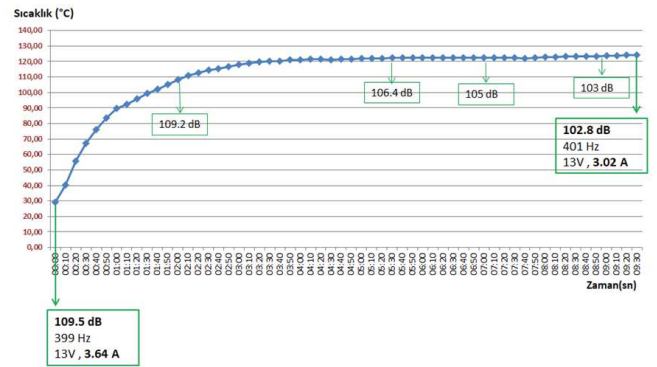
Kornanın ısınmasındaki etkin ve temel faktörün bobinden kaynaklandığı önceki bölümlerde değinilmişti. Bobine en yakın noktaya, MOSFET'in drain ucuna yerleştirilen NTC termistörünün okuduğu veriler ve kornanın iç kısmına bobin

sıcaklığını tespit edebilmek için yerleştirilen termal kamera ile ölçülerek hesaplanan değerler karşılaştırılmış veriler arasındaki ilişki aşağıdaki gibi tespit edilmiştir:



Şekil 6: Sıcaklık bakımından MOSFET ve bobin arasındaki ilişki

İşlemci, NTC sensörü üzerinden okuduğu verileri UART ile kullanıcıya göndermektedir. Alınan veriler denklem (4) ve (6) kullanılarak sıcaklık cinsinden değeri aşağıdaki gibidir:



Şekil 7: Okunan ham verilerin sıcaklık cinsinden değerleri

5.2 Tablolar

Kritik sıcaklık seviyesine yaklaşan kornanın ses basınç seviyesi yaklaşık 80 dB(A)'e düşer. Güvenilirliğin korunabilmesi için ısınan korna tekrar tekrar başlatıldığında ses seviyesinin yaklaşık 107 dB'e ulaşabildiği gözlemlenmiştir.

Time	dB(A)	Current (A)	Frequence (Hz)
00.00	107,9	4,15	394
00.30	107,9	3,89	394
01.00	108	3,79	394
01.30	107,5	3,72	394
02.00	106,9	3,62	394
02.30	106	3,53	394

Tablo 1: Zamana bağlı kornanın değişim tablosu

Case	Açıklama	dB(A) (Case Sonunda)
Case 1	~2 dk 50 sn sonra ses düştü.	106,3 dB
Case 2.1	3. dk' da korna başlatıldı. ~40 sn sonra ses düştü.	105.8 dB
Case 2.2	3. dk 50. sn' de tekrar başlatıldı. ~30 sn sonra ses düştü.	104.8 dB
Case 2.3	4.dk 30. sn' de tekrar başlatıldı. ~30 sn sonra ses düştü.	104.7 dB

Tablo 2: Yazılım ile desteklenen case'lerin sonucu tablosu

Tüm ölçümler oda sıcaklığında 400 Hz'de (Kalın ses) çalışan korna üzerinden tespit edilmiştir. Ölçüm esnasında PCB kapalı bir alan içerisinde havayla teması kesilerek yapılmıştır. Bobinin havayla teması yoktur.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada kornanın sahip olduğu bobin ve MOSFET'ten kaynaklı ısınma problemi, sonuçları ve aralarındaki sıcaklığa bağlı korelasyon incelenmiştir. Bu probleme çözüm olarak NTC termistörü kullanılarak yüksek sıcaklıktan kaynaklı oluşabilecek problemler ortadan kaldırılmıştır. Ürün otomotiv ürünü olduğundan oluşturabilecek tehlikelere karşı yazılım ona göre geliştirilmiştir.

Grafikler ele alındığında termistör vasıtasıyla okunan ham verilerin termistörün yarı iletken yapısına dayalı olarak sıcaklık cinsine dönüştürülmesiyle elde edilen sıcaklık değerleri ve termal kamera ile ölçülen değerlerin birbirleriyle orantılı olup örtüştüğü kanıtlanmıştır. Tablolar incelendiğinde ise toplanan veriler ve gözlemler sonucu belirli bir süre sonra, seçilen kritik sıcaklığa yaklaşan korna, çıkış gücü azalarak ses seviyesinin düştüğü açıkça gözlemlenmiştir. Kornaya tekrar güç verildiğinde eski standartlarında çalışabilmesi herhangi bir deformasyona uğramadığını göstermektedir.

Sonuç olarak endüstriyel açıdan önem taşıyan güvenlik faktörü, korna ömrü mevcut PCB boyutunun değişmemesi, işlemcinin hafızası aşılmadan yazılıma eklenti yapılabilmesi ya da işlemcinin daha yüksek bir hafıza boyutuna yükselmemesi ve maliyet gibi faktörler göz önünde bulundurulduğunda uygulanan yöntemin etkili bir şekilde fayda sağladığı gözlemlenmiştir.

Teşekkür

Başta Teknoloji Koordinatörümüz Tolga Kumral olmak üzere çalışma boyunca bildirinin hazırlanmasına destek vermiş tüm çalışma arkadaşlarımıza ve Prof. Dr. Tayfun Akgül'e teşekkür ediyoruz.

Kaynakça

[1] Miao Yu, Nanhai Huang, "Optimization of the Signal Horn Performance," Department of Mechanical Engineering Blekinge Institute of Technology Karlskrona, Sweden, s:12, 2017.
<https://www.divaportal.org/smash/get/diva2:1172577/FULLTEXT03>

[2] Horns- The Clemson University Vehicular Electronics Laboratory.
<https://cecas.clemson.edu/cvel/auto/actuators/horns.html>

[3] David Potter, "Measuring Temperature with Thermistors – a Tutorial," National Instruments s:1, 1996.
<http://www.ing.unp.edu.ar/electronica/asignaturas/ee016/anexo/r-an065.pdf>

[4] K.T. Aminu, A. G. Jumba, A. A. Jimoh, A. Shehu, B. D. Halilu, S. A. Baraza, A. S. Kabiru, and M. A. Sule, "NTC Thermistor Performance and Linearization of its Temperature-Resistance Characteristics Using Electronic Circuit," Department of Electrical Engineering Abubakar Tatari Ali Polytechnic Bauchi, Nigeria, s:39, 2020.
https://www.academia.edu/43979407/NTC_Thermistor_Performance_and_Linearization_of_its_Temperature_Resistance_Characteristics_Using_Electronic_Circuit

[5] "Power-handling capabilities of inductors, Current, Power and Temperature Rise," CoilCraft, s:1-2.
https://www.coilcraft.com/getmedia/d84e1ca6-8d66-4032-b11b-f3356922e9e9/Doc1066_Power_Handling_of_RF_Inductors.pdf

[6] Sakrawee Reweeikul, "Snubber Circuit Used as the Temperature Dissipation of Mosfet for Electric Car Drive System," Department of Electrical Engineering Rajamangala University of Technology Isan (Khon Kaen Campus), Khon Kaen, Thailand.
<https://www.thaiscience.info/Journals/Article/JSMU/10983129.pdf>