

Patlama Riski Bulunan Ortamlarda Kullanılabilecek Kendinden Emniyetli Algılayıcı Tasarımı

Intrinsically Safe Sensor Design in Explosive Environments

Sertan İRKİT¹, Yard.Doç.Dr.Anıl ÇELEBİ²

¹Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği
Kocaeli Üniversitesi
sertan.irkıt@tubitak.gov.tr

²Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği
Kocaeli Üniversitesi
anilcelebi@kocaeli.edu.tr

Özet

Patlama riski olan ortamlarda çalışan kendinden emniyetli algılayıcı sistem tasarımı hem bu tip ortamlarda çalışanların can güvenliği hem de maddi kayıplara karşı büyük önem taşımaktadır. Patlama riski olan ortamlar ile endüstriyel üretim yapılan yerlerde sıklıkla karşılaşılmaktadır. Çalışma kapsamında anlatılanlar ve yapılan uygulama patlama riski bulunan ortamlarda çalışacak sistem tasarımı için örnek teşkil etmesi ve anlatılan uygulamanın madenlerde ve petrokimya fabrikaları gibi ortamlarda kullanılacak olan elektronik sistem tasarımlarında faydalı olması hedeflenmiştir.

Abstract

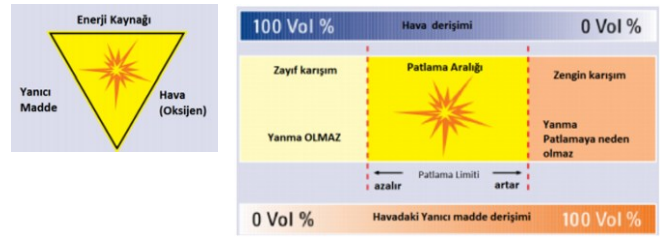
It is very important subject about designing an intrinsically safe sensor system that used in explosive environments, because of life safety and environmental safety. Explosive environments are very common for industrial working areas. There is an example system design that works in Hydrogen gas environment. This design shows the basics about the intrinsically safe system design. The purpose of this study to make a useful and leading example to who work in this topic. This study can be used as a guide to make such intrinsically safe system designs.

1. Giriş

Patlama, yanıcı bir madde ile oksijenin ani kimyasal reaksiyonu sonucunda ortama yüksek enerjinin salınmasıdır. Yanıcı maddeler gaz, buhar, sis ve toz şeklinde olabilir. Patlayıcı, parlayıcı ve yanıcı nitelikteki gaz, toz veya buharın hava ile karışarak patlayıcı kıvama geldikleri yerlere patlayıcı ortam denir. Patlamanın meydana gelmesi için Yanıcı Madde, Oksijen ve Enerji (ateşleme) Kaynağının bir arada ve patlama için uygun şartları sağlayarak bulunması gerekmektedir (Şekil 1).

Tehlikeli ortamlarda kullanılan koruma yöntemleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Bu çalışmada Çizelge 1’de gösterilen yöntemlerden Kendinden Emniyetli Koruma yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 1: Patlama Üçgeni ve Patlama Limit Aralığı[1]

Çizelge 1: Patlama Koruma Tipi ve ilgili Standartlar[1]

Standart	İlgili koruma
IEC 60079-1	“d” Alev Sızdırmaz koruma
IEC 60079-2	“p” Basıncılı Kutu ile koruma
IEC 60079-5	“q” Kumlu koruma
IEC 60079-6	“o” Yağlı koruma
IEC 60079-7	“e” Arttırılmış koruma
IEC 60079-11	“i” Kendinden emniyetli koruma
IEC 60079-13	“p” Basıncılı Oda ile koruma
IEC 60079-15	“n” Gaz tipine göre koruma
IEC 60079-18	“m” Kapsüllü koruma
IEC 60079-31	“t” Kutulu koruma

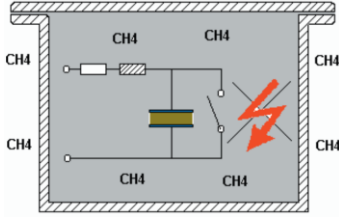
1.1. Kendinden Emniyetli Koruma

İngilizce “Intrinsically Safe” kelimesinden kısaltılmıştır. Kendinden emniyetli anlamına gelmektedir. Bu tip koruma, patlayıcı ortam oluşturabilecek enerjiyi minimize eder. Bu şekilde tasarlanan elektronik devrenin tamamı veya belirli bir kısmında normal çalışma veya arıza anında çıkan ark veya ısı patlayıcı ortamı ateşleyecek güçte değildir. Burada söz konusu olan yalnızca aygıt değil, aygıtın bağlı olduğu elektrikli devrenin tümüdür. Patlayıcı ortama neden olacak ateşleme, kıvılcım ve/veya ısı nedeniyle olabilir.

Patlama riski oluşturabilecek enerji seviyesi iki şekilde sınırlanabilir:

- Açık devrede oluşabilecek En Yüksek akım ve gerilimi sınırlayarak (ör. rezistans ya da zener diyot ekleyerek).
- Isıl ve elektriksel enerji birikimini sınırlayarak

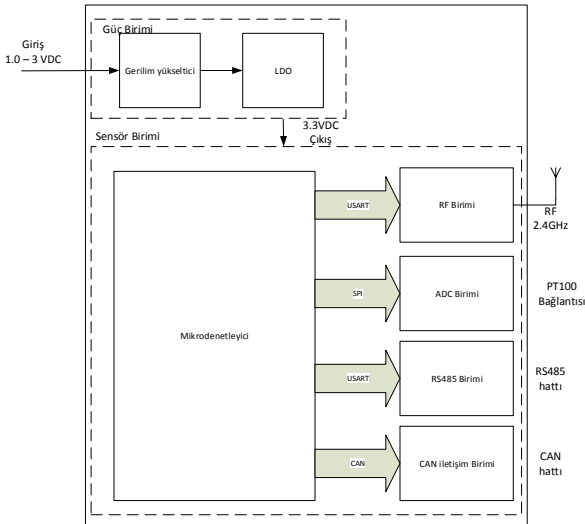
Tek elektrikli cihaza uygulanan diğer koruma tiplerinin aksine, bu koruma tipi bütün devreye uygulanır. Bu tip koruma; kumanda, ölçü ve otomasyon devreleri gibi düşük gerilim ile çalışan aygıt ve devrelerde uygulanabilir. Arıza ve anormal hallerde de emniyetli olacağından en güvenilir koruma yöntemidir.



Şekil 2: Kendinden Emniyetli Koruma prensip şeması [6]

2. Kendinden Emniyetli Tasarım

Tasarlanan sistem endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılan bileşenlere sahip örnek bir algılayıcı tasarımını içermektedir. Sistem, endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılan iletişim arayüzlerinden, CAN (Controller Area Network) iletişim arayüzü, RS485 seri iletişim arayüzü ve RF (Radyo Frekans) kablosuz iletişim arayüzlerini içermektedir. Ek olarak, yine endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılan sıcaklık ölçümü (RTD-sıcaklık ile değişen direnç kullanılarak) ve gerilim ölçümü yapabilecek donanıma sahiptir. Şekil 3’de genel sistem tasarımı görülmektedir.



Şekil 3: Genel Sistem Tasarımı

Üretilecek devrenin tasarım aşamasında çalışma ortamında bulunan sıcaklık sınıfına göre devre üzerinde izin verilen kutu ve bakır iletim yolları arasında bulunması gereken mesafeler, reçine gibi bir malzeme ile kaplama yapılacaksa 0,5 mm eğer devre üzerine kaplama yapılmayacak ise yaklaşık 1 mm olarak

kabul edilebilir. Eğer Kendinden emniyetli bir devre ile kendinden emniyetli olmayan devre birlikte kullanılacak ise bu uzaklık en az 50 mm olmalıdır (EN 60079-11 Bölüm 6.2).

Elektronik tasarım yapılırken sistem aşağıda belirtilen dört ana grupta toplanarak her grup gereksinimleri karşılayacak şekilde tasarlanmıştır.

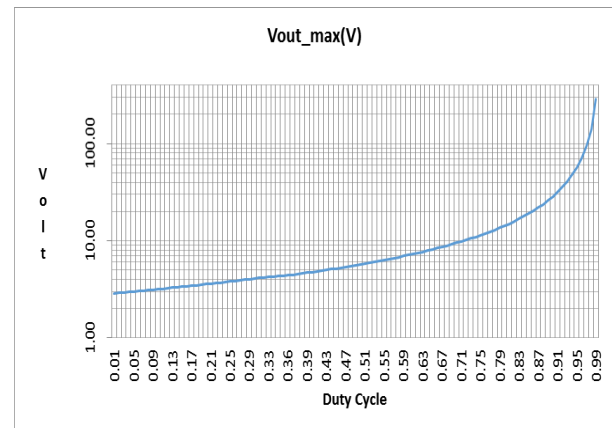
2.1. Güç Birimi

Tasarlanan sistem elektrik besleme gerilimi 1 – 3 VDC aralığında olabilecek özellikte seçilmiştir. Böylece tasarlanan sensör düşük gerilim değerlerinde, örneğin bir adet kalem pil ile çalışabilecektir. Bu nedenle giriş gerilimini önce istenilen gerilim seviyesinin biraz üzerine yükselten Linear Technology firmasının LTC3421 kodlu gerilim yükseltici entegresi seçilmiştir. Seçilen bu entegre devre “boost” tipinde olup, giriş gerilimini 3,8VDC seviyesine çıkarmaktadır. Sonrasında yükselttilen giriş gerilimi diğer sistem bileşenlerinin çalışması için 3,3VDC seviyesine düşürülmelidir. Bunun için Analog Devices firmasının ADP3338 entegresi seçilmiştir. Bu entegre giriş gerilimini istenilen seviyeye indirmekle birlikte, giriş gerilimi yükseltilirken oluşan gürültülerin sistemin hassas olan diğer bileşenlerine ulaşmasını engelleyen bir filtre gibi davranmaktadır. Bu noktada Kendinden Güvenlikli “Intrinsically Safe” devre tasarımında “boost” tipinde giriş gerilimini yükselten devre yapısı oldukça güvensiz kabul edilmektedir. Fakat giriş gerilimini düşüren yapıda olan sistemin ikinci güç bileşeni ise bu açıdan oldukça güvenli olarak kabul edilmektedir. Bu konuyu detaylı olarak açıklamak gerekmektedir. Gerilim yükseltici devreler, giriş gerilimini belirli bir frekansta anahtarlayarak çıkış gerilimini devre elemanları vasıtasıyla yükseltirler. Bu noktada giriş geriliminin ne kadar yükseltileceği, devrenin geri besleme ucu ile belirlenmektedir. Gerilim yükseltici devrenin anahtarlama frekansının “duty-cycle” yani doluluk boşluk oranı ve verimi çıkış gerilimini belirlemektedir. Gerilim yükseltici devrenin çıkış gerilimi aşağıdaki (1) denklem ile hesaplanmaktadır.

$$V_{out} = \frac{V_{in_{max}} * \eta}{1 - D} \quad (1)$$

Bu denklemde,

$V_{in_{max}}$: Maksimum Giriş Gerilimi, η : Gerilim yükseltici devrenin Verim değeri, D : Duty Cycle



Şekil 4: Çıkış geriliminin değişimi

Gerilim yükseltici devrenin çıkışındaki maksimum gerilim değerini hesaplamak için yukarıda belirtilen “verim” değeri 0,95 olarak kabul edilmelidir. Bu durum için gerilim yükseltici devrenin çıkış gerilimi Şekil 4’de belirtildiği gibi olacaktır.

Giriş gerilimini yükselten devre genel olarak çıkış geriliminin bir gerilim bölücü devre ile geri besleme yapılarak istenilen gerilim değerine yükseltilmesi mantığına göre çalıştığından bu ucun boşta ya da belli bir değerden (LTC3421 için 1.22V) farklı olması durumunda, devre çıkışı Şekil 4’de görüldüğü gibi 100V’lar seviyelerine ulaşabilmektedir. Devrenin “Kendinden Güvenlikli” (Intrinsically Safe) tasarım adımlarına göre alınacak tedbirlerden ilki gerilim yükseltici devre giriş ve çıkışına uygulanmıştır. Uygulanan önlemler,

i. Giriş bölümüne sigorta ve TVS diyot konulması uygulanan ilk güvenlik önlemidir. Sigorta oluşabilecek aşırı akımda devrenin geri kalanını korumaktadır. TVS diyot ise devre girişinde olabilecek anlık aşırı gerilimlere karşı bir önlem olarak kullanılmıştır. Seçilen sigorta 200mA olan nominal akımın iki katı olarak seçilmiştir. TVS diyot ise maksimum giriş gerilimi olan 3V’dan biraz daha yüksek seçilmiştir.

ii. Yükseltici devre çıkışında ise güvenlik tedbiri olarak iki adet zener diyot ve bir adet seri direnç kullanılmıştır. Kullanılan zener diyotlar gerilim yükseltici devrenin çıkış gerilimini sınırlamaktadır. Ayrıca seri direnç ile de çıkış akımı sınırlanmıştır.

Ayrıca, EN60079-11 Bölüm 5.6’da belirtildiği gibi, eğer devrenin çektiği toplam akım 250mA’dan az ise “Encapsulation” a yani epoksi veya benzeri bir katman ile devreyi kaplamaya gerek yoktur.

2.2. İşlemci Birimi

Şekil 3’de gösterilen iletişim arabirim desteği ve düşük güç tüketiminden dolayı ST Microelectronics firmasının STM32F407 mikro denetleyici entegresi seçilmiştir. Birden fazla donanımsal seri iletişim arayüzü, donanımsal CAN iletişim arayüzü desteği seçilen işlemci entegrede mevcuttur.

2.3. RF Birimi

Sistemin çalışma ortamında Kendinden Emniyetli sistem güvenlik gereksinimleri gereğince, ortamdaki RF gücü sınırlı olmalıdır. Aksi durumda patlamaya neden olunabilmektedir. Elektromanyetik güç sınırları Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2: Elektromanyetik güç sınırları[1]

Grup	Güç
Grup I	6 W
Grup IIA	6 W
Grup IIB	3,5 W
Grup IIC	2 W
Grup III	6 W

Çizelge 2’de belirtilen RF güç sınırlamasından dolayı Digi Inc. Firmasının XBEE RF modülleri seçilmiştir. Bu modüllerin RF güç seviyesi yazılımsal olarak değiştirilebilmektedir. Seçilen modülün güç aralığı

-10 dBm = 0,0001W ile 0 dBm = 0,001W arasında değişmektedir. Ek olarak seçilen modül seri iletişim arayüzü tarafından kontrol edilmektedir. Bu özelliği de modülün herhangi bir işlemci, mikro denetleyici gibi sistem ile uyumlu olarak çalışmasını sağlamaktadır.

2.4. Seri İletişim Arayüzleri

RS485 iletişim arayüzü endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu nedenle burada yapılan tasarımda da örnek olması için seçilmiştir.

CAN iletişim arayüzü endüstriyel uygulamalarda çok fazla kullanım alanına sahip olan bir iletişim arayüzüdür. Bu nedenle burada yapılan tasarımda da örnek olması için seçilmiştir. CAN iletişim arayüzü yüksek güvenli ve hata oranı az olan bir iletişim tipidir. Bu nedenle özellikle otomotiv endüstrisinde, sensör ağları kontrolü ve izlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Diferansiyel (Farksal) bir iletişim veri yolu kullanıldığından, patlama emniyeti olarak alınacak tedbirler veri hatlarına seri bağlı ikişer zener diyot ve ikişer seri akım sınırlama direnci olarak tasarlanmıştır.

2.5. Ölçüm Birimi

Analog dijital çevirici, devrede iki amaç ile kullanılmıştır. Birincisi, giriş gerilimini yüksek hassasiyet ve doğruluk ile ölçmektir. İkincisi ise, sıcaklığa göre değişen bir direnç (RTD) ile yüksek hassasiyet ve doğruluk ile sıcaklık ölçmektir.

Seçilen entegre devre içerisinde iki adet ayarlı akım kaynağı bulunmaktadır. Bu sayede başka ek bir devreye ihtiyaç olmaksızın PT100 gibi ekipmanlar ile sıcaklık ölçümü yapabilmektedir. Ek olarak entegre devre içerisinde gerekli filtreleme donanımına sahip olup, 24-bit çözünürlüğe sahiptir.

Sıcaklık ölçümünde 250µA seviyelerinde akımlar ve 100 ohm seviyelerinde direnç değerleri okunduğundan ölçülen gerilim değerleri de mili voltlar seviyelerinde olmaktadır. Bu nedenle seçilen ADC’nin yüksek çözünürlüklü olması gerekmektedir.

2.6. Mekanik Tasarım

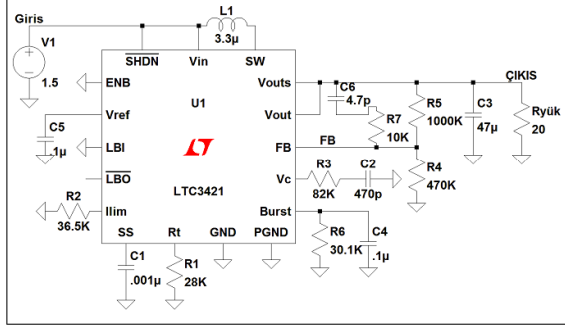
Tasarlanan devre teorik olarak kutusuz olarak da patlama riski bulunan bir ortamda yukarıda belirtilen tasarım adımlarında anlatılan güvenlik önlemleri alındıktan sonra çalışabilmektedir. Bu şekilde kutusuz olarak da sertifika alınabilir. Tasarlanan devrenin çalışma ortamında statik elektrik durumu büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle kullanılacak kutunun malzemesinin yüzey direnci 109 Ohm dan küçük olmalıdır. Tercihen $10^8 - 10^9$ Ohm aralığında bir değer olmalıdır. Bu durum EN 60079-0 Bölüm 7.4’de açıklanmıştır. Ayrıca, metal olmayan kutuda metal vida kullanılacak ise iki birim arasında 3pF değerinde bir kapasite değeri ölçülmelidir. Grup IIC sınıfı gazlar için bu gereksinim EN 60079-0 numaralı standardın Bölüm 7.5’de açıklanmıştır.

3. Sonuçlar

3.1. Güç Giriş Benzetim

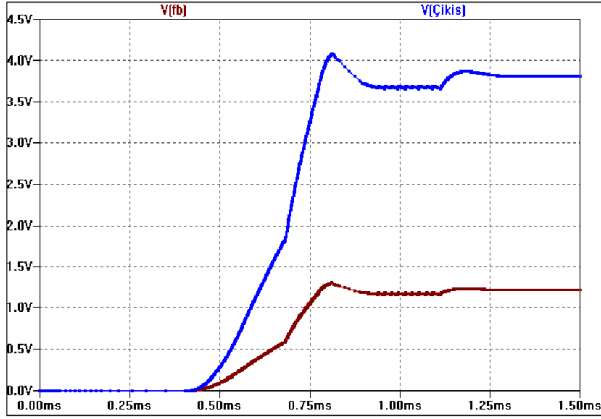
Devrenin güç girişinde bulunan gerilim yükseltici devre

Şekil 5’de gösterildiği gibi SPICE modeli ve devresi hazırlanarak benzetim işlemi yapılmıştır. Elde edilen sonuç ise Şekil 6’de verilmiştir.



Şekil 5: Gerilim yükseltici devre benzetimi

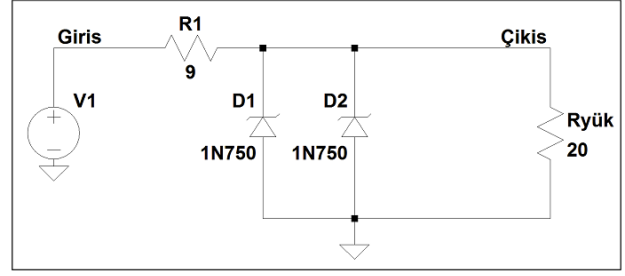
Şekil 6’de gösterildiği gibi gerilim yükseltici devre girişine uygulanan 1,5V gerilimi belli bir süre sonra istenilen 3,8V seviyesine yükseltmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta Geri Besle ucu (Vfb) 1,22V değerinden farklı iken çıkış gerilimi istenilen 3,8V seviyesini geçmektedir. Yukarıda tasarım bölümünde anlatılan ve geri besleme ucunda olabilecek bir farklı değerin çıkışı nasıl etkilediği görülmektedir.



Şekil 6: Gerilim yükseltici devre giriş çıkış gerilimleri

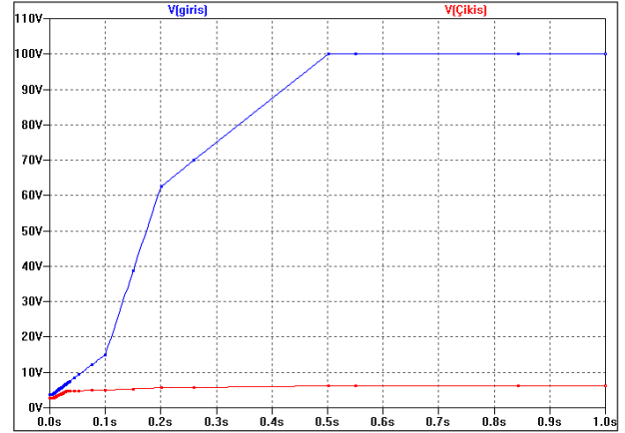
3.2. Güç çıkış benzetimi

Benzetim devresinde her şey ideal kabul edildiğinden gerilim yükseltici devrenin girişini değiştirerek yerine devrenin çıkış gerilimini yüksek gerilim seviyelerine getirerek çıkış geriliminin değişimini izlemek için Şekil 7’de gösterilen devre kullanılmıştır. Şekil 7’de aynı tip ve aynı yönde paralel bağlı iki adet zener diyot kullanılmasının nedeni, diyotlardan bir tanesinin bozulma ihtimaline karşı diğer diyotun devreye girmesini sağlamaktır. Burada kullanılan zener diyotların gerilimi devrede kullanılanlar ile aynı olup 4,7V’tur.



Şekil 7: Gerilim yükseltici devre çıkış benzetimi

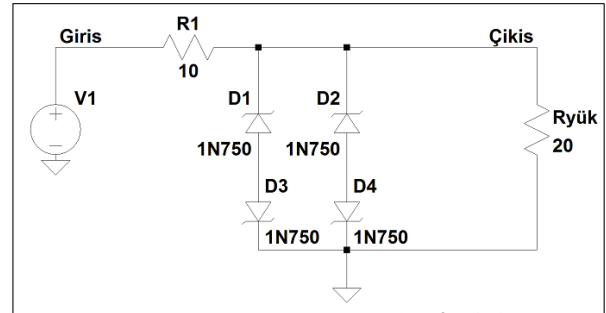
Çıkış gerilimi 100V seviyelerine yükseldiğinde bile çıkışa konulan zener diyotlar ve akım sınırlayıcı direnç sayesinde devrenin diğer kısımlarına giden gerilim belirli bir seviyede sınırlandırılmıştır. Bu sayede olası bir patlama riski ortadan kaldırılmıştır. Şekil 8’de maksimum gerilimde zener diyotların üzerine düşen gerilim görülmektedir. Bu da yaklaşık olarak 5V seviyesindedir.



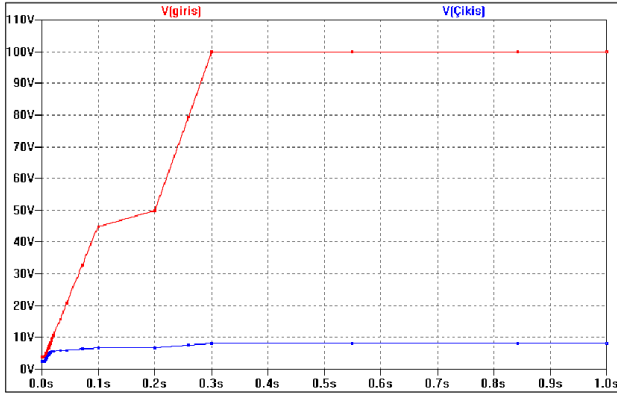
Şekil 8: Maksimum gerilim değerinde zener gerilimi

3.3. İletişim Hattı Benzetimi

RS485 ve CAN-bus seri iletişim hatlarında kullanılan zener diyotlar Şekil 9’da görüldüğü gibi farklı bir şekilde bağlanmıştır. Bunun nedeni kullanılan iletişim hattının farksal yapıda olmasındandır. Bu nedenle koruma amaçlı kullanılan zener diyotlar Şekil 9’da gösterildiği gibi kullanılmıştır.



Şekil 9: Farksal iletişim hatları benzetim devresi



Şekil 10: Farksal iletişim hattı gerilim değişimi

Bu çalışmada patlama riski ortamlarda çalışabilecek örnek bir sistem tasarımı yapılmıştır. Burada yapılan örnek uygulama tasarımı, yine ilgili alanda çalışan ya da çalışacak olan meslektaşlarımıza bir rehber niteliğinde olup faydalı bir çalışma olacağı değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada anlatılan örnek uygulamanın özellikleri incelendiğinde, sistemin koruma sınıfı “Kendinden Emniyetli” olarak belirlenmiştir. Kullanılan bileşenler özellikle sanayide sıklıkla kullanılan birimlere yönelik seçilmiştir. Sistemde kullanılan seri iletişim arayüzleri RS485 ve CAN-bus sanayide sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle CAN-bus sensör ağlarında ve güvenliğin ön planda olduğu uygulamalarda çok sık kullanılmaktadır. Sistemde kullanılan 2,4GHz frekansında haberleşen kablosuz modüller ise günümüzün en çok kullanılan kablosuz iletişim protokolüdür. Cep telefonlarından, modem, kulaklık gibi pek çok üründe bu frekansta çalışan kablosuz modüller kullanılmaktadır. Ayrıca sistem bir sensör olarak tasarlandığından yine sanayide en çok kullanılan uygulamalardan olan gerilim ve sıcaklık ölçümü yapabilmektedir. Kullanılan bu temel bileşenler ile seçilen zor çalışma ortamında yapılan kendinden güvenli sistem tasarımı bu konuda yapılabilecek en güzel örneklerden biridir.

Halen ülkemizde madenler başta olmak üzere burada anlatılan önlemler yeterince alınmadığından yüzlerce kişi yaşamını yitirmektedir. Bu çalışmanın gerekli bilincin oluşmasında katkı sağlayacağı umulmaktadır.

4. Kaynaklar

- [1] TÜV-NORD, “Eğitim Notları 1, Patlama Korumalı Ekipmanların Sertifikasyonu İle İlgili Yasal Gereksinimler”, 2015.
- [2] TÜV-NORD, “Eğitim Notları 2, Patlayıcı Ortamlarda Kullanılan Elektrikli Aygıtlar için Genel Gereksinimler”, 2015.
- [3] TÜV-NORD, “Eğitim Notları 3, Kendinden Emniyetli (Intrinsically Safe) Aygıtlar için Genel Gereksinimler”, 2015.
- [4] TÜV-NORD, “Eğitim Notları 4, Kalite Yönetim Sistemi için Gereksinimler”, 2015.
- [5] TÜV-NORD, “Eğitim Notları 5, Kendinden Emniyetli (Intrinsically Safe) Aygıtlar için Özel Gereksinimler”, 2015.

- [6] SARI, M.K. , “Patlayıcı Ortamlar ve Patlayıcı Ortamlarda Kullanılan Elektrik Aygıtları Hakkında Genel Bilgi”, Elektrik Mühendisleri Odası Yayınları, 2011.
- [7] ÖZBAY, H. , “Tehlikeli Bölgede Güvenlik” , I.Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi, 1999.
- [8] PARLAK, E. , “Patlama Riskli Ortamlarda Kullanılacak Ekipman Seçimi ve Patlama Korumalı (Ex-Proof) Malzemeler” , Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2008, 233236.