

PIC-Tabanlı Elektronik Devre İçin Düşük Maliyetli Bağışıklık Testi

M. Fahri Ünlerşen¹

Ercan Yıldız²

¹Selçuk Üniversitesi, Doğanhisar MYO, 42930, Konya

²Selçuk Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, 42075, Konya

¹e-posta: unlersen@selcuk.edu.tr

²e-posta: eyaldiz@selcuk.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada, PIC-tabanlı elektronik devrelerin elektromanyetik bağışıklık (EMI) testlerinde kullanılmak üzere düşük maliyetli bir test düzeneği tasarlanmıştır. PIC'in hatalarını görsel olarak algılamak amacıyla, test edilecek PIC'li devre (TEPD) içerisinde yer alan PIC'in fonksiyonunu doğru olarak yürütüp yürütmediği bir yardımcı devre ile kontrol edilmektedir. TEPD olarak 16F84A mikro denetleyicili bir elektronik devreden yararlanılmış, yardımcı devre için 16F877A mikro denetleyicisi kullanılmıştır. Test sonuçlarının bilgisayarda kolayca gözlenebilmesi için Delphi'de bir grafik kullanıcı ara yüzü (GUI) programı yazılmıştır. Farklı gürültü kaynakları ve filtreler kullanılarak yapılan ölçümlerde tatminkâr sonuçlar alınmıştır.

1. Giriş

Mikro denetleyici (MCU veya μ C) bir entegre elektronik devre elemanıdır. İçerisinde mikroişlemci, kristal osilatör, işletilecek programın bulunduğu bir E²PROM, zamanlayıcılar, seri-analog giriş/çıkışlar ve karşılaştırıcılar gibi bir çok hazır modül bulunur.

Microchip firmasının PIC (Peripheral Interface Controller) mikro denetleyicileri birçok alanda olduğu gibi endüstriyel elektronikte de sıcaklık ve nem ölçümleri, petrol istasyonu otomasyonları, otomotiv sektörü gibi pek çok uygulamada sıklıkla kullanılmaktadır.

Mikro denetleyiciler oldukça küçük boyutlu ve kullanılacak modüllerin çoğu entegre içinde olduğundan, düşük maliyet ve yüksek performansla sahiptirler. Bütün bu avantajları sebebiyle çoğu uygulamada tercih edilirler. Ancak PIC'lerin çevresel gürültülerden etkilenmeleri sebebiyle elektromanyetik uyumluluk (EMC) sorunları önem kazanmaktadır[1,2].

Endüstriyel uygulamalarda çevrede var olan motorlar ve röleler gibi endüktif yükler elektromanyetik (EM) gürültüler oluşturur. Bu gürültülerin PIC'lere ulaşması hatalı veri alınmasından hatalı çıkışlara ve hatta resetlemelere neden olabilir. Bu tür resetlenmeler sonucunda sistem doğruluğunu ve kararlılığını yitirebileceği gibi, çalışması tamamen durabilir. Bu nedenle, özellikle endüstriyel uygulamalarda kullanılan PIC'li devrelerin tasarımında EMC kriterleri göz önünde bulundurulmalıdır.

EMC; bir sistemin veya cihazın içerisinde bulunduğu elektromanyetik ortamdan etkilenmeden ve bu ortamda bir elektromanyetik bozulma yapmaksızın fonksiyonlarını yerine getirebilme yeteneği olarak tanımlanır[3].

Bu durumda elektromanyetik uyumluluğun iki yönünden bahsetmek mümkündür:

- Bir sistemin belirli bir elektromanyetik alan içinde fonksiyonlarına devam edebilme yeteneği (Bağışıklılık)
- Bir sistemin aynı ortamda diğer sistemleri bozucu girişim yapmadan çalışma yeteneği (Emisyon)

Bu çalışmada PIC'in devre içerisinde düzgün çalışıp çalışmadığını kontrol eden bir test düzeneği ile bir takım elektromanyetik bağışıklık (EMI) testleri gerçekleştirilmiştir. Bu EMI testleri Şekil 1'de görüldüğü gibi, gürültünün sisteme aktarım şekline göre iki farklı yapıda incelenmiştir.

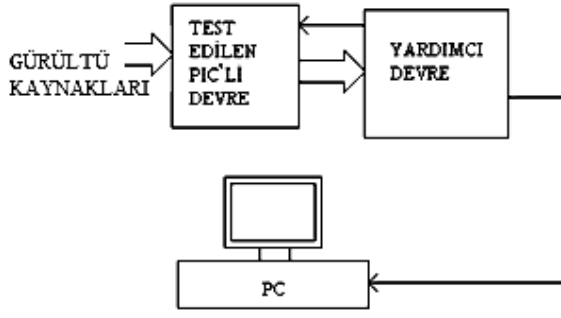


Şekil 1: EMI testlerinde sisteme gürültü aktarım şekilleri

2. Bağışıklık Test Düzeneği

EMI, bir sistemin içerisinde bulunduğu ortamlardan etkilenmeden fonksiyonunu yerine getirebilme yeteneği olarak EMC tanımından elde edilebilir. Tanımı gereği bir sistemin bağışıklılık testleri yapılırken sistemin düzenli çalışıp çalışmadığı kontrol edilmelidir.

Bu amaçla kurulan test düzeneğinin blok diyagramı Şekil 2'de görülmektedir. Blok diyagramdaki TEPD, içerisinde 16F84A mikro denetleyicisi bulunan bir elektronik devre olup, düzenli çalışıp çalışmadığı kontrol edilecek olan kısım burasıdır. Bu devreye ileride bahsedilecek olan farklı yapıda gürültüler çeşitli metodlarla aktararak sistemin kararlılığı test edilir.



Şekil 2: EM bağışıklılık test düzeneği

Yardımcı devre ise TEPD'nin fonksiyonunu kontrol ederek PC'ye durumu bildiren bir birimdir. Bu birimin testler sırasında gelen gürültülerden etkilenmemesi için bir takım önlemler alınmıştır. Öncelikle TEPD beslemesi kendisine ait özel bir kaynaktır ve gürültünün şebekeye aktarımını engellemek için uygun filtreler kullanılmıştır. Yardımcı devre için de ayrı bir kaynak ve bu kaynak için şebekeden gelen gürültüleri temizleyen filtreler mevcuttur. Ayrıca TEPD ile yardımcı devre arasında elektriksel bağlantının kesilmesi için optik kuplörler kullanılmıştır. Böylece, yardımcı devrenin testler sırasında TEPD'ye gelen gürültülerden etkilenmeden çalışması sağlanmıştır. Sıralanan önlemlere ek olarak GUI yazılımı ile de yardımcı devrenin düzenli çalışıp çalışmadığı sürekli kontrol altındadır.

TEPD için seçilen fonksiyon, PORT-B'nin sayısal değerlerinin kontrollü olarak artırılmasıdır. Yardımcı devre ise TEPD'nin düzenli çalışıp çalışmadığını kontrol eder ve belirli periyotlarla durumu PC'ye aktarır. TEPD'nin işlettiği programın ve yardımcı devrenin kontrol algoritmasının akış diyagramı Şekil 3'te verilmiştir.

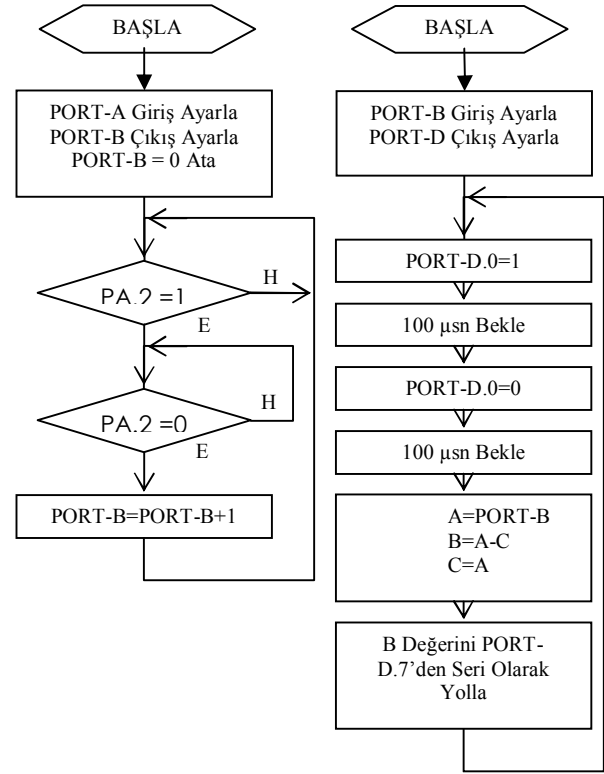
2.1. Gürültülerin TEPD'ye Aktarımı

Bağışıklılık testleri standartlarında belirtilen kurallara göre, iletim yolu gelen gürültüleri karşı testler 0.15 ila 30 MHz frekans bandı için, ışına yolu gelen gürültüleri karşı bağışıklılık testleri ise 30 ila 1000 MHz frekans bandı için yapılmıştır[4].

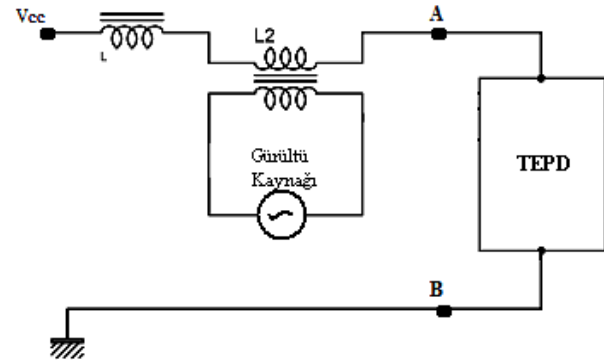
TEPD'nin besleme hattına girebilecek olan iletim yolu gürültü için iki alternatif söz konusudur:

- Besleme hattındaki akıma karışan gürültüler.
- Besleme hattındaki gerilime karışan gürültüler.

Gürültünün besleme akımına aktarımı Şekil 4'te görüldüğü gibi endüktif kuplaj ile gerçekleştirilmiştir. Gürültünün besleme gerilimine aktarımı ise Şekil 5'te görüldüğü gibi kapasitif kuplaj ile gerçekleştirilmiştir.

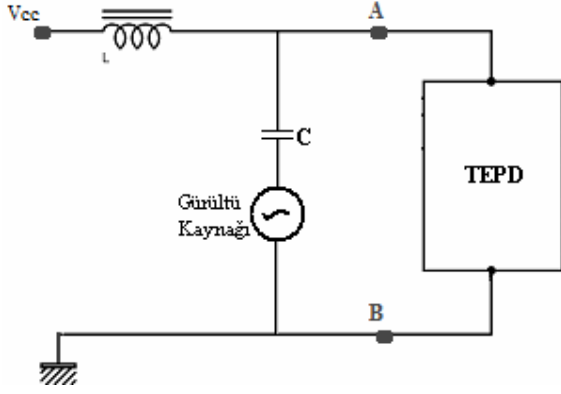


Şekil 3: TEPD ve yardımcı devre akış diyagramları

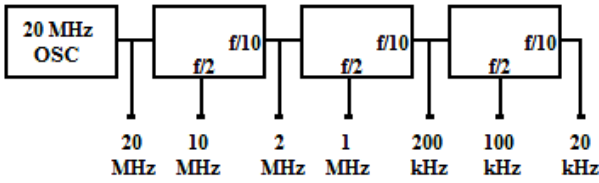


Şekil 4: TEPD besleme hattına gürültünün akım olarak aktarımı

İletim yolu gürültü kaynağı olarak TTL entegrelerden oluşan bir frekans bölücü bloğu kullanılmıştır. Blok şeması Şekil 6'da görülmektedir. Bu kaynak 20 kHz ile 20 MHz arasında kare dalga çıkışına sahiptir. Çıkış gerilimi ve akımı sırasıyla 0 ~ 12 V ve 1 mA'dir.

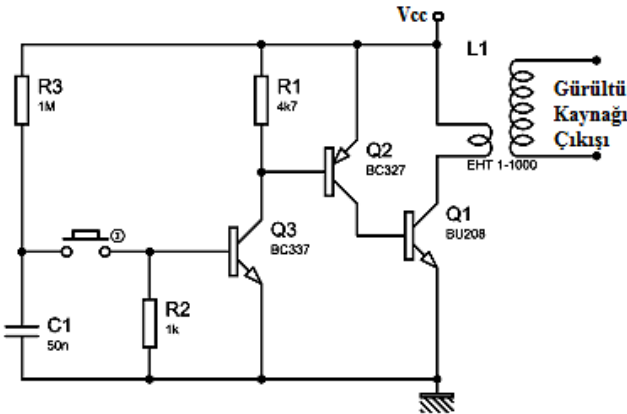


Şekil 5: TEPD besleme hattına gürültünün gerilim olarak aktarımı



Şekil 6: 20kHz ile 20 MHz kare dalga gürültü jeneratörü blok şeması

İmpulsif gürültü kaynağı olarak ise Şekil 7'de görülen devre kullanılmıştır. Kullanılan transformatör ferrit nüveli ve $1 \div 1000$ dönüştürme oranlıdır. 12 V ile beslenen bu devrenin çıkış tepe değeri 12 kV ve darbe genişliği $50 \mu s$ 'dir.



Şekil 7: İmpulsif sinyal jeneratörü

İşma yoluyla gelen gürültüye karşı bağımsızlık testleri için 900 MHz'de 1W çıkış gücünde yayın yapan monopollü antenli bir verici kullanılmıştır.

2.2. Deneylerde Kullanılan Filtre Yapıları

Bilindiği üzere filtre belirlenen bir frekans bandını geçirirken diğer bantları durduran bir elektrik devresidir. Bant geçiren (BPF), bant söndüren (BSF), yüksek geçiren (HPF) ve alçak geçiren (LPF) gibi farklı karakteristikte filtreler mevcuttur[5].

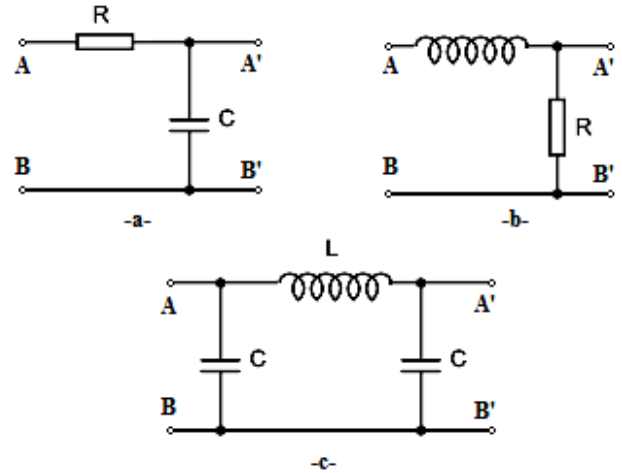
İletim yolu gürültüye karşı bağımsızlığın artırılmasında, gürültü gelmesi muhtemel hatların, bilgi işaretlerinin bantı dışındaki frekansları söndürmek için filtreler kullanılabilir. TEPD besleme gerilimi DC olduğu ve bu hattan güç çekildiği için besleme hattından gelen gürültüye karşı filtrelemelerde pasif LPF kullanılmalıdır.

Deneylerde filtreler Şekil 4 ve Şekil 5'te A ve B harfleri ile temsil edilen noktalar arasında yerleştirilmiştir. Kullanılan pasif LPF yapıları Şekil 8'de verilmiştir.

RC filtreler: Bir direnç ve bir kondansatörden oluşan birinci dereceden bir filtre çeşididir (Şekil 8-a).

RL filtreler: Bir direnç ve bir bobinden oluşan birinci dereceden bir filtre çeşididir (Şekil 8-b).

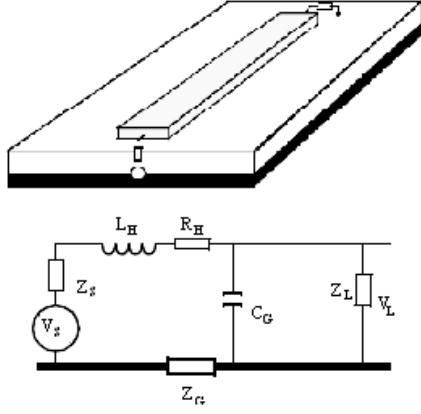
II (pi) filtreler: İki kondansatör ve bir bobinden oluşan şekli itibarı ile pi harfine benzediği için bu ismi almış ikinci dereceden bir filtre çeşididir (Şekil 8-c).



Şekil 8: Alçak geçiren filtre yapıları
a) RC b) RL c) II (pi) tipi filtre

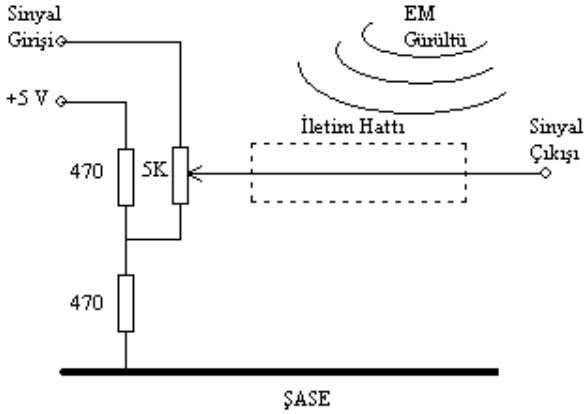
2.3. PCB Üzerindeki İletim Hattı Boyutlarının İşma Yolu Gürültüye Karşı Bağımsızlığa Etkileri

Bir PCB üzerindeki iletim hattı ve eşdeğer devresi Şekil 9'da görülmektedir[6,7]. Burada kaynak gerilimi V_S , kaynağın iç direnci R_S , yük direnci Z_L , yük üzerindeki gerilim V_L , şase hattında yer alabilecek empedanslar Z_G , iletim hattının endüktif bileşenleri L_H , hat ile şase arasındaki kapasite C_G ve hattın ohmik direnci R_H ile gösterilmiştir.



Şekil 9: PCB üzerinde yer alan bir iletim hattı ve eşdeğer devresi

Eşdeğer devrede de görülebileceği gibi iletim hattının boyu arttıkça L_H , R_H , C_G artacaktır. Bunun sonucu kaynaktan gelen sinyalin genliği yüke ulaştığında düşerek karasız bölgeye yaklaşacak ve bu hatta girecek düşük seviyeli gürültüler bile bilgi kaybına neden olacaktır. Deneylerde bu durumun kontrollü olarak elde edilebilmesi için Şekil 10'daki devre kurulmuş ve ışına yollu gürültülere karşı bağışıklık testleri yapılmıştır.



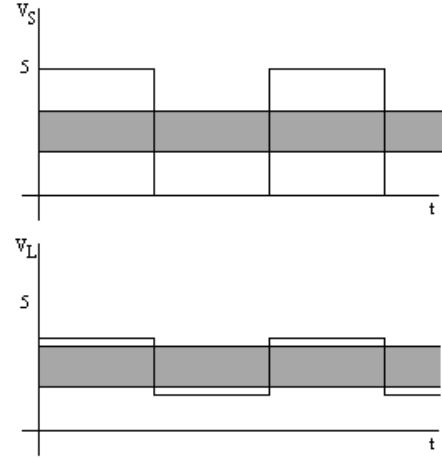
Şekil 10: PCB hattında zayıflama modellemesi

Şekil 10'daki bağlantı ile iletim hattı çıkışında elde edilen sinyal zayıflaması Şekil 11'de görülmektedir.

2.4. Grafik Kullanıcı Ara Yüz (GUI)

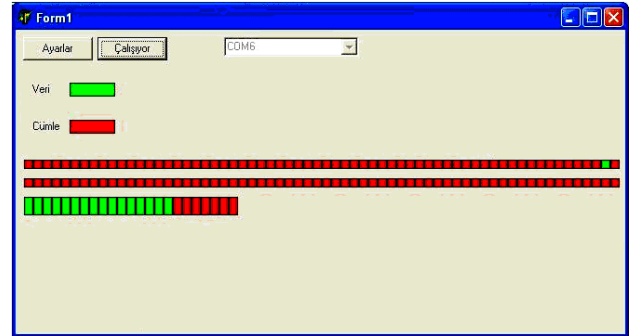
Yardımcı devreden gelen veriler değerlendirilmek üzere Delphi'de yazılmış olan GUI'ya aktarılır. Yapılan her test ekranda renkli hücreler ile temsil edilir ve bu hücrelerin hatalı sonuçlar için *kırmızı* ve hatasız sonuçlar için *yeşil* olarak işaretlenmesi ile gösterilir. Küçük hücreler TEPD'ye yapılan her bir testi temsil eder. Daha yüksek olan hücreler ise yapılan her 128 testi

temsil eder. 128 testin tamamı hatasız ise bu hücre yeşil aksi takdirde kırmızı olarak işaretlenir.



Şekil 11: İletim hattı giriş ve çıkışında görülen sinyaller

Ayrıca yardımcı devre ile PC arasındaki haberleşmenin güvenliği için bir kontrol algoritması kullanılır. Yardımcı devreden gelen verilerde tutarsızlık olması durumunda CÜMLE kutusu kırmızı renkle alarm verir. VERİ kutucuğu ise yardımcı devreden gelen bilgiyi anlık olarak gösterir. Delphi'de seri port ile veri alışverişi için COMPORT isimli bir komponent kullanılmıştır. İletişim protokolü N9600 seçilmiştir. Programın test sırasındaki ekran görüntüsü Şekil 12'de görülmektedir.



Şekil 12: Delphi'de yazılmış GUI

3. Deneysel Sonuçlar

İletim yollu gürültülere karşı bağışıklık deneylerinde TEPD'in besleme hattı girişi filtresiz, RC filtrelili, RL filtrelili ve Π filtrelili olarak gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca deneyler bu dört filtre yapısı için farklı gürültü kaynakları ve farklı gürültü aktarım metodlarıyla akım ve gerilim için ayrı ayrı tekrarlanmıştır.

Işıma yollu gürültülere karşı bağışıklık deneyi bir bilgi hattının iletim yolu değiştirilerek farklı voltaj seviyeleri için denenmiştir.

Işıma yollu ve iletim yollu gürültüler için elde edilen bağışıklık test sonuçları sırasıyla Tablo 1’de ve Tablo 2’de toplu halde verilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada EMC problemleri ile karşılaşılabilir ortamlarda çalışan PIC’lerin devre üzerinde iken yürüttüğü fonksiyonlarının doğruluğunu kontrol eden bir bağışıklık testi düzeneği tasarlanmıştır. Farklı gürültü kaynakları ve pasif filtre yapılarıyla denenen bağışıklık testi düzeneği ile ışıma ve iletim yollu girişim testleri yapılmıştır. Elde edilen toplu sonuçlardan, ışıma yollu bağışıklık testlerinde lojik gerilim seviyesi ve vericiye yakınlığın, iletim yollu testlerde ise gürültü kaynağının frekansı ve kullanılan filtre tipinin sistem performansını belirlediği görülmektedir. Bu da tasarlanan bağışıklık testi sisteminin düzenli çalıştığını göstermektedir.

Amaçlanan düşük maliyetli yapıya ulaşılmasına rağmen, bu sistemin daha kullanışlı uygulama esnekliğine sahip olması mümkündür. PC’deki GUI programında yapılacak düzenlemelerle PIC için sabit bir fonksiyon yerine farklı fonksiyonların yürütülmesi, gerekli donanımsal değişimlerle PIC’in otomatik olarak tanınması, gürültü kaynakları ve filtrelerin otomatik olarak anahtarlanarak devreye alınması sağlanabilir.

5. Kaynakça

- [1] Williams, T., 2001, *EMC for Product Designers*, Newnes.
- [2] Anonymous, 2000, EMC Guidelines for microcontrollers-Based Application, *ST Microelectronics, AN901 Datasheet*.
- [3] Sevgi L., Elektromanyetik uyumluluk ve test/ölçüleri-II, *Endüstriyel & Otomasyon*, Mart 2004.
- [4] TSE EN55022 RF bağışıklık deneyi (1995-Nisan).
- [5] Scherz, P, 2000, *Practical Electronics for Inventors*, McGraw-Hill Professional.
- [6] Maddocks T., Ganley M., PCB Design Principles for EMC, *ERA Technology EMC and Safety Engineering Department*, <http://www.ieee.org.uk/docs/emc0604c.ppt>
- [7] Sim, J. D., Galbraith, F. S., Davenport N., Modelling of PCB variations and its impact on microcontroller immunity, *IEE 10th International Conference on Electromagnetic Compatibility*, 1-3 Sept. 1997, University of Warwick, UK.

Tablo 1: Işıma yollu gürültülere karşı bağışıklık testlerine ait sonuçlar

PCB Yapısı	Lojik Seviye Yüzdesi	100%			75%		
	Anten - TEPD Mesafesi	3 λ	1 λ	1/3 λ	3 λ	1 λ	1/3 λ
EMC Kıstas Uyularak Tasarlanmış		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Üzerinde Uzun İletim Hatları Bulunan		✓	✓	✓	✓	✓	✗
Harici Korumasız İletim Hattı Bulunan		✓	✗	✗	✗	✗	✗

- ✓ Sistem düzenli çalışıyor
- ✗ Sistem düzenli çalışmıyor

Tablo 2: İletim yolu gürültülere karşı bağışıklık testlerine ait sonuçlar

Kullanılan Filtre	Kullanılan Gürültü Kaynağı - Gürültü	20 MHz	2 MHz	200 kHz	20 kHz	2 kHz	İmpulsif Gürültü
		Filtresiz - Gerilim	×	×	×	×	×
RC Filtre - Gerilim		✓	✓	✓	✓	×	×
RL Filtre - Gerilim		✓	✓	✓	×	×	×
II Filtre - Gerilim		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Filtresiz - Akım		×	×	×	×	×	×
RC Filtre - Akım		✓	✓	✓	✓	×	×
RL Filtre - Akım		✓	✓	✓	×	×	×
II Filtre - Akım		✓	✓	✓	✓	✓	✓

- ✓ Sistem düzenli çalışıyor
× Sistem düzenli çalışmıyor