

Yalıtkan Destek Malzemelerin 30 MHz – 1 GHz Frekans Aralığında RE102 Testlerine Etkisi

Osman Şen, Soydan Çakır, Ramiz Hamid, Mustafa Çetintaş, Mehmet Çınar, Murat Celep

TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü
Gebze, Kocaeli, Türkiye

osman.sen@tubitak.gov.tr, soydan.cakir@tubitak.gov.tr, ramiz.hamid@tubitak.gov.tr,
mustafa.cetintas@tubitak.gov.tr, mehmet.cinar@tubitak.gov.tr, murat.celep@tubitak.gov.tr

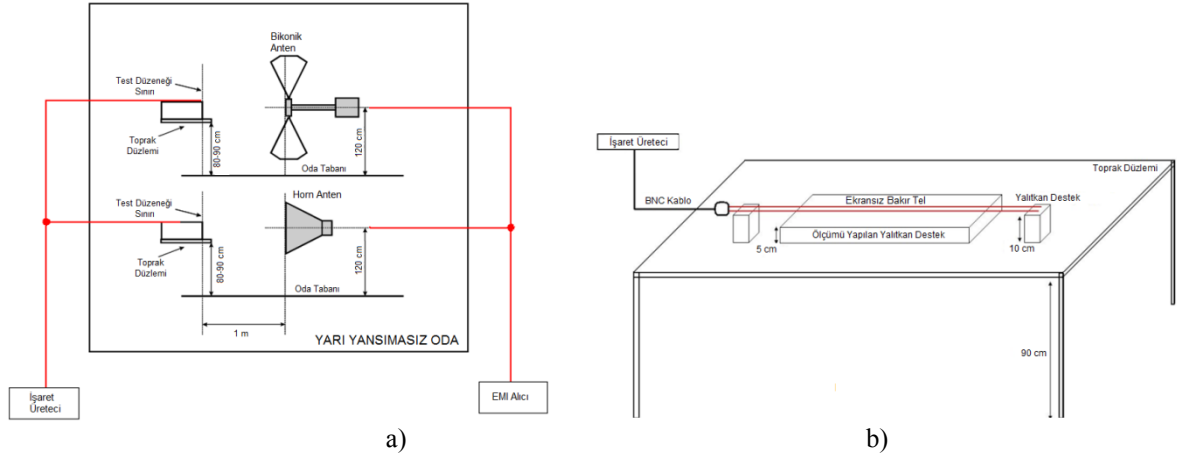
Özet: Bu bildiride, iletken yüzeyli masa üzerine yerleştirilmiş Test altındaki cihaz (TAC)'lar için MIL STD-461 askeri EMC standartlarında belirtilen ve RE102 ışınlı yayılım testlerinde kullanılan yalıtkan malzemelerin ölçümlere olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. RE102 testlerinde yaygın olarak kullanılan yalıtkan malzemeler ile Yarı yansız oda (YYO) içerisinde gerçek bir RE102 test düzeneği kurulmuştur. Herhangi bir yalıtkan malzemenin olmadığı (hava ortamı) durum ile farklı yalıtkan malzemelerin kullanıldığı durumlar kıyaslanmış ve her bir yalıtkanın RE102 testine farklı etkiler gösterdiği deneysel olarak gösterilmiştir.

1. Giriş

RE102 ışınlı yayılım testi MIL STD-461 standartlarındaki en temel ışınlı yayılım testlerinden birisidir [1]-[2]. Bu test; 10 kHz – 18 GHz frekans aralığında, çubuk, bikonik ve horn antenlerinin kullanılması ile gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte, ticari ürünlerin EN5022 [3] ve EN55011 [4] standartlarına göre yapılan ışınlı yayılım testlerinin aksine, RE102 testi yüzeyi metal ile kaplanmış ve topraklanmış masa üzerinde iletken yüzeye monte edilmiş TAC'lar için yapılır. RE102 testinde, TAC doğrudan topraklı zeminin üzerine yerleştirilir. Ancak TAC'ın kabloları topraklı metal zeminden 5 cm yüksekliğindeki yalıtkan destekler üzerine sabitlenmektedir. RE102 testi için genel test düzeneği ve kullanılan anten pozisyonları Şekil 1.a'da verilmiştir. Şekil 1.a'da görüldüğü üzere TAC'ın kabloları 2 metrelik mesafe içerisinde hat empedans dengeleyici'nin girişine kadar yalıtkan malzemeler üzerinde olacak şekilde yerleştirilir. Ticari ışınlı yayılım testlerinde kullanılan masaların testlerdeki etkisini inceleme işlemi CISPR16-1-4 [5] standardı uyarınca özel ışınlı desenine sahip olan küçük boyutlu bikonik antenler kullanılarak yapılmaktadır. Fakat, masalar üzerinde kullanılan yalıtkan malzemelerin etkisini ölçmek için herhangi bir uluslararası ve ulusal standart bulunmamaktadır. CISPR standardına göre bu konu ile ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır [6-8]. Bu çalışmalar, ticari ürünlerin ışınlı yayılım testlerinde kullanılan yalıtkan masaların etkisini incelemektedir. Yalıtkan masaların ticari ürünlerin testlerindeki etkisini incelemek için yapılan bütün testlerin aksine bu bildiride, RE102 ışınlı yayılım testlerinde, iletken test masaları üzerindeki TAC kabloları altına yerleştirilen 5 cm kalınlığındaki yalıtkan malzemelerin etkisi incelenmiştir. Ölçümlerden önce, ayrıca yalıtkan malzemelerin dielektrik sabitleri de ölçülmüştür.

2. Deney Düzeneği

Genel deney düzeneğinin gösterimi Şekil 1.b'de verilmiştir. Şekil 1.b'de görüldüğü üzere, TAC ve TAC'a bağlı kabloların simülasyonunu yapmak için bir işaret üretici kullanılmış ve ölçümü yapılan yalıtkan malzeme üzerine ekransız iki bakır tel yerleştirilmiştir. Deney düzeneği 90 cm yüksekliğindeki metalik yüzeyli masa üzerine yerleştirilerek RE102 testlerindeki gerçek koşullar sağlanmıştır. Ölçümler sırasında işaret üretici YYO'nun dışına yerleştirilmiştir. Uygulanacak işaret ekranlı bir koaksiyel kablo ile ölçüm alanının başlangıç noktasına kadar getirilmiştir. Bu noktadan itibaren, koaksiyel kablo BNC-banana adaptör ile iki ekransız bakır tele dönüştürülmüş ve ölçümü yapılacak yalıtkan desteğin üzerine 1 m boyunca yerleştirilmiştir. Kabloların ışınlı yapmasına imkan vermek için bitiş uçları sonlandırılmadan açık devre olarak bırakılmıştır. Bununla birlikte, ölçüm alanının başına ve sonuna kabloların yüzeye düşmesini engelleyecek şekilde iki sabit yalıtkan destek konmuştur. Bu şekilde referans ölçüm sırasında (hava boşluğu durumunda) bakır telin havada kalması sağlanarak metal yüzeye düşmesi engellenmiştir. Bütün ölçümlerde, ekransız bakır tellerin uzunluğu ve pozisyonları sabit tutulmuştur. Şekil 1.a'da verildiği gibi EMI alıcı ve işaret üretici, YYO'nun dışına konuşturulmuş ve ölçümler boyunca yazılım tarafından kontrol edilmiştir.



Şekil 1. a)Anten pozisyonları ve ölçüm sistemi, b) yalıtkan destek kullanılarak hazırlanan ölçüm düzeneği.

Bu ölçümlerde amaçlanan iki durumunun karşılaştırması olduğundan dolayı, EMI alıcıya ve yazılıma herhangi bir düzeltme veya anten faktörü yüklenmemiştir. Yalıtkan destek olmadığında, elde edilen sonuçlar bütün frekans aralığı için referans ölçüm kabul edilmiştir. Yalıtkan destek olan diğer bütün durumlarda ise elde edilen sonuçlar, her bir frekans aralığı için sadece yalıtkan desteğin olmadığı durumla karşılaştırılmıştır. Ölçümler sırasında ekransız bakır tellerin uzunluğunun sabit tutulmasına ve kablunun sadece tek bir gerçek rezonans frekansına sahip olması gerçeğine rağmen, EMI alıcının gürültü seviyesinin minimum 15 dB üzerinde olan işaret seviyesiyle 30 MHz - 1 GHz frekans aralığında ölçümler yapılabilmektedir. Uygulanan işaretin EMI alıcının taban seviyesinin 15 dB üzerine çıkmamasından dolayı, 1 GHz'in üzerindeki frekanslar için ölçümler devam ettirilmemiştir. Genellikle 1 GHz'in üzerindeki frekanslarda yayının cihazın kabloları yerine cihaz gövdesinden gerçekleştiği için, teorik olarak böyle bir ölçüme ihtiyaç duyulmamaktadır. Alıcı anten Şekil 1.a'da gösterildiği gibi standarda uygun olarak dikey ve yatay polarizasyonda yerleştirilmiştir. İlk olarak, referans ölçümler ekransız bakır tel kabloların altında herhangi bir yalıtkan destek konulmadan, frekans taraması 5 MHz adımlarla 1 GHz'e kadar gerçekleştirilmiştir. Ölçümler süresince, işaret üretici ve EMI alıcının frekans değişimi yazılım tarafından gerçekleştirilmiştir. Referans ölçümünden sonra, test düzeneğinde herhangi bir değişim yapılmadan aynı ölçüm her bir yalıtkan destek için tekrarlanmıştır. Ölçümün doğruluğu ve tekrarlanabilirliği için kabloların pozisyonları tüm ölçümler süresince sabit tutulmuştur. Sonuç olarak, her bir yalıtkan destek için alınan veriler referans ölçüm ile karşılaştırılmış ve yalıtkan desteklerin testlerdeki etkisi incelenmiştir.

3. Deney Sonuçları ve Yorumlar

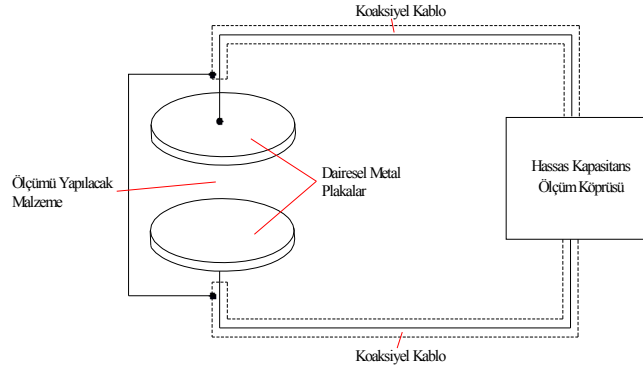
EMC testlerinde sık kullanılan bazı maddeler için dielektrik sabitleri [6]'da verilmiştir. Bu ölçümlerde kullanılan 5 farklı yalıtkan malzemenin (ahşap, yumuşak strafor, sünger, kestamid ve sert strafor) dielektrik ölçümleri 1 kHz'de yapılmıştır. İlk olarak, ölçümü yapılacak numuneler silindirik şekilde hazırlanmıştır. Numuneler hassas kapasitans ölçüm köprüsüne 3 terminal olacak şekilde bağlanmıştır (Şekil 2). Hassas kapasitans ölçüm köprüsü kullanılarak kapasitans değeri ölçülmüştür. Bu kapasitans değeri Eşitlik 1'de yerine konularak her bir malzemenin bağıl dielektrik katsayısı (ϵ_r) hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 1'de verilmiştir.

$$\epsilon_r = \epsilon_0 A / (C d) \quad (1)$$

Burada, ϵ_0 boşluğun bağıl dielektrik katsayısı ($8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m), A iki plakanın birbiri üzerine binme alanı (m^2), C kapasitans (Farad), d plakalar arasındaki mesafe (m).

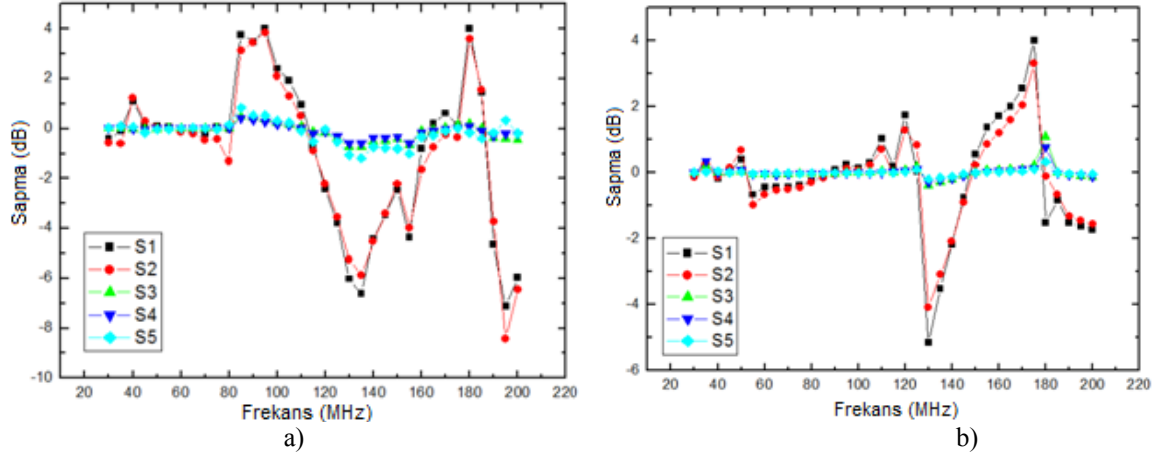
Tablo 1. Ölçümlerde kullanılan malzemelerin dielektrik katsayıları.

Material	Ölçülen bağıl dielektrik katsayısı
Ahşap (Wood)	3,1
Kestamid (Molding Polyamide)	4,1
Sünger (Foam Rubber)	1,1
Yumuşak Strafor (Foam-Like Plastic)	1,1
Sert Strafor (Styropor)	1,2

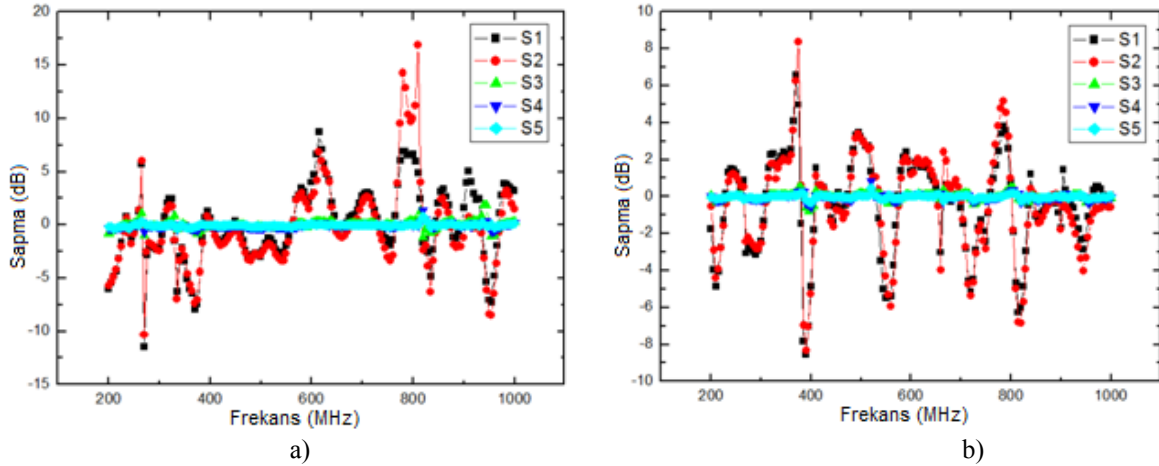


Şekil 2. Dielektrik sabiti ölçüm sistemi blok şeması.

RE102 testlerinde ölçülen malzemelerin sonuçları Şekil 3 ve Şekil 4’de farklı frekans aralıkları ve anten polarizasyonları için yalıtkan destek olmaması durumu olan referans durum ile karşılaştırılarak iki ölçüm arasındaki sapma olarak verilmiştir. Sonuçlar, kullanılan en uygun malzemenin köpük tipi malzemeler olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Köpük tipi malzemelerin aksine, ahşap ve kestamid yalıtkanların RE102 testlerini önemli ölçüde etkilediği ve belirsizliğe yol açtığı görülmüştür. Ahşap ve kestamid gibi malzemelerin RE102 testlerine olan belirsizlik etkileri CISPR 16-1-4 standardında masa için uygulanan belirsizlik hesabına benzer şekilde uygulanabilir.



Şekil 3. 30 MHz – 200 MHz frekans aralığında a) dikey polarizasyon b) yatay polarizasyon için ölçüm sonuçları (S1: Ahşap, S2: Kestamid, S3: Sünger, S4: Yumuşak Strafor, S5: Sert Strafor)



Şekil 4. 200 MHz – 1 GHz frekans aralığında a) dikey polarizasyon b) yatay polarizasyon için ölçüm sonuçları (S1: Ahşap, S2: Kestamid, S3: Sünger, S4: Yumuşak Strafor, S5: Sert Strafor)

Testlerde yalıtkan destek olması ve olmaması durumunda elde edilen değerler arasındaki farktan yararlanılarak yalıtkan malzemenin belirsizlik etkisi ($V(f)$) her bir frekans için Eşitlik (2)'ki gibi hesaplanır.

$$V(f) = |V_a - V_b| \quad (2)$$

Burada, V_a yalıtkan destek varken ölçülen değer (dB μ V) ve V_b yalıtkan destek yokken ölçülen değer (dB μ V).

Bir frekans bölgesi için en büyük sapmanın olduğu frekans ve sapma miktarı Eşitlik (3) kullanılarak belirlenir.

$$V_{max} = \max |V_a - V_b| \quad (3)$$

Nihai olarak her bir frekans bölgesinde ışınlama yayılım testlerinde yalıtkan destekten kaynaklanan standart belirsizlik u_{destek} dikkörtgensel dağılım kabulü ile Eşitlik (4) kullanılarak hesaplanır ve dB olarak belirsizlik tablolarında kullanılır.

$$u_{destek} = V_{max} / \sqrt{3} \quad (4)$$

Elde edilen sonuçlar, TAC'm kabloları için kullanılan 5 cm yüksekliğindeki yalıtkan malzemelerin RE102 test ölçümlerini büyük ölçüde etkilediğini ve bu malzemelerin doğru seçilmemesi durumunda belirsizliği büyük ölçüde artırdığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, RE102 testlerinde köpük tipi malzemelerin kullanılması en uygun seçenek olduğu görülmektedir. Köpük tipi malzemeler, 1 GHz e kadar bazı frekanslarda maksimum 1 dB sapma göstermektedir. Köpük tipi materyallerin aksine, ahşap veya kestamid yalıtkan destek 15 dB'ye kadar sapma göstermektedir. Bu etki test sonuçlarında büyük bir belirsizliğe sebep olmaktadır. Ayrıca, ölçüm sonuçları, malzemelerin bağlı dielektrik katsayılarının RE102 testlerinde gösterdikleri etkiyle doğru orantılı olduklarını ortaya koymaktadır.

4. Sonuç

Bu bildiride, RE102 testlerinde yoğunlukla kullanılan yalıtkan malzemelerin etkileri ölçülmüş ve yalıtkan malzemenin olmadığı referans durum ile karşılaştırılmıştır. Değişik tipte birçok yalıtkan malzemenin RE102 ölçümlerinde kullanılmasına rağmen, bazı malzemelerin kabul edilemez ölçüde belirsizliğe yol açtığı görülmüştür. Ölçümler, köpük tipi malzemelerin RE102 testlerinde minimum ölçüm hatasına ve belirsizliğe sebep olduğunu göstermektedir.

Teşekkür

Yazarlar, Aykut Ayaydın, Mesut Öztürk ve Mert Alay'a teknik yardımlarından dolayı teşekkür ederler.

4. Kaynaklar

- [1]. MIL-STD-461E-1999, Interference Standards Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment, Department of Defence, USA.
- [2]. MIL-STD-461F-2007, Interference Standards Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment, Department of Defence, USA.
- [3]. "Information technology equipment - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement", CISPR22:2005.
- [4]. "Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment -Electromagnetic disturbance characteristics -Limits and methods of measurement", CISPR11:2007.
- [5]. "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance", CISPR16-1-4:2010
- [6]. "Comparative inter-laboratory testing radiated emission measurements above 1 GHz in anechoic chamber report", s. 545-548, 2009.
- [7]. Tosaka T., Yamanaka Y., "Round Robin Test of EMI Measurement in the 1 – 18 GHz Range", EMC Kyoto, 2009.
- [8]. Miyazaki C., Yamane H., Kawano J., "Set-up Table for EMI Testing above 1 GHz", IEEE EMC Sempozyumu, Florida, 2010.