

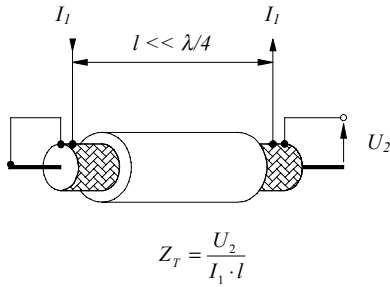
Çift Kat Örgülü Koaksiyel Ekranlarda Optimizasyon

Bektaş ÇOLAK^{1,2} Osman ÇEREZCİ² Zafer DEMİR² Mehmet YAZICI¹ Bahattin TÜRETKEN¹ İsa ARAZ^{1,2}
¹TÜBİTAK UEKAE, EMC Laboratuvarı, Tel:+90 262 6481235
²Sakarya Üniversitesi, Elektrik & Elektronik Böl.
bektas@uekae.tubitak.gov.tr

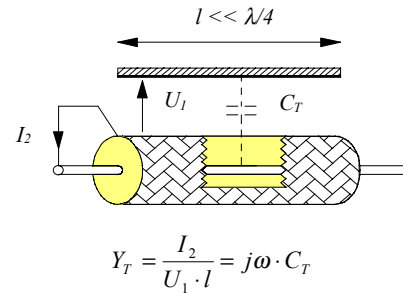
Özet: Bu makalede çift katlı örgü tipi ekrana sahip olan koaksiyel kablolardaki ekranlama optimizasyonu probleminde tek katlı örgü tipi ekranlar için Kley[1] tarafından elde edilen yarı-deneysel modelin kullanılabilirliği incelenmiştir. İki örgü tabakası arasında kalan boşluklar karşılıklı endüktansın oluşmasına neden olmakta ve toplam transfer empedansını düşürmektedir. Yapılan ölçümlerle bu değer tespit edilmiş ve [2]'da öngörülen değerle uyumadığı gösterilmiştir.

1. Giriş

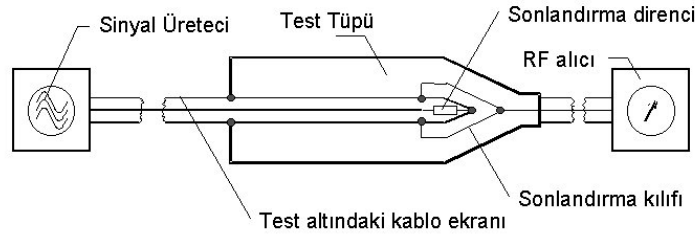
Koaksiyel kabloların ekranları genelde örgülü yapıdadır. Ayrıca sadece folyo tabakasından veya, hem örgü, hem de folyo tabakasından oluşabilir. Örgü yapısındaki ekranlamanın amacı, kabloya bükülebilme esnekliği kazandırmaktır. Fakat böyle bir yapı, sürekli ve katı bir yapı yanında daha az zayıflatma sağlar. Örgü tipi ekranlarda optimizasyon problemi bu noktada önem kazanır. Örgü yapısının en az maliyetle mümkün olabilecek en iyi ekranlama etkinliğini sağlayacak şekilde tasarlanması tabii ki her kablo üreticisinin göz önüne alacağı bir husustur. Çift katlı örgü tipi ekranlar esnekliğin önemli olduğu laboratuvar ölçümlerinde yüksek kaliteli ekranlama değerleri için tercih edilmektedir. Koaksiyel kablo ekranlarının ekranlama kalitesini belirlemek için değişik tanımlar yapılmış olup, bunların içinde kabloyu çevreleyen ortama bağlı olmayan ve en çok kabul görmüş olan parametre transfer empedansıdır. Transfer empedansı; Z_T , koaksiyel kablolardaki manyetik alan kuplajını belirleyen temel parametredir (Şekil 1.a). Elektrik alan kuplajı ise transfer admitansı, Y_T , ile belirlenmektedir (Şekil 1.b). Kablo dışındaki EM alan sebebiyle ekran üzerinden akan girişim akımları koaksiyel kablonun orta iletkeni ile ekranın iç yüzü arasında bir gerilim endüklenmesine sebep olur. Bu gerilimin asgari olması ekranlama etkinliği kalitesinin bir göstergesidir. Endüklenecek gerilimin düşürülmesi, akım değeri sabit iken, transfer empedansının düşürülmesi ile sağlanır. Dolayısıyla transfer empedansının değerini düşürecek optimum örgü yapısının bulunması gerekmektedir. Tek katlı örgü tipi ekranlar için bu çalışmalar yapılmış olup çift katlı örgü tipi ekranların temas etmesi durumunda incelenmesi gereken noktalar vardır. Bu çalışmada bu noktalar açıklığa kavuşturulmuştur.



Şekil 1.a. Transfer Empedansının tanımı



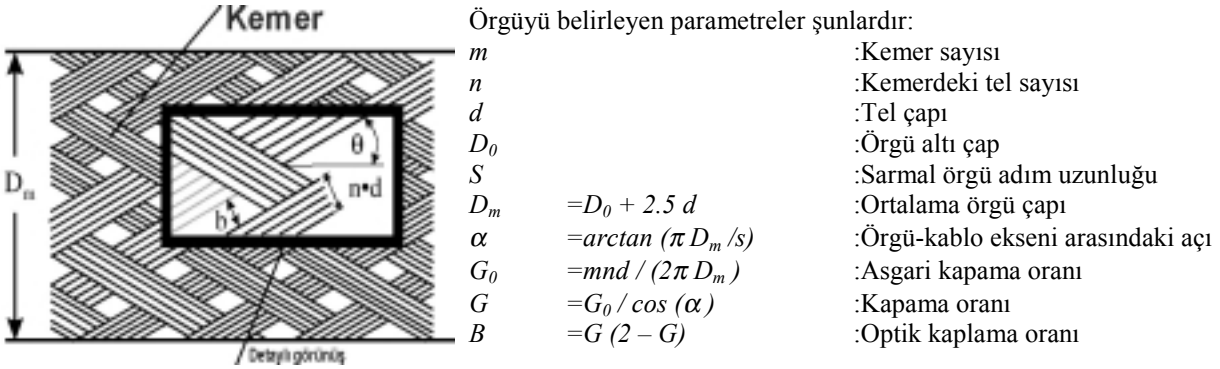
Şekil 1.b Transfer Admitansının tanımı



Şekil 2 “IEC Triaxial Short Circuited” Test Metodu

Başlangıçta ekranlamanın kalitesini artırmak için örgü kapama oranını azami seviyeye getirmek gerektiği düşünülmektedir. Ancak daha sonra yapılan çalışmalarda örgü parametrelerinin uygun bir şekilde ayarlanması sonucu daha az malzeme ile daha iyi ekranlama elde edildiği Homann [3] tarafından gözlenmiştir. Ekranlama optimizasyonu kavramı bu şekilde literatüre girmiştir. **Optimizasyondaki temel düşünce, transfer empedansını**

oluşturan reaktif bileşenlerin kompanzasyonudur. Daha açık bir ifadeyle örgü endüktansındaki zıt fazlı etkilerin birbirini dengeleyecek şekilde örgü parametrelerinin ayarlanmasıdır. Kablo ekranının transfer empedansını ölçmek için IEC Triaxial (Short Circuited) test düzeneği (Şekil 2) kullanılmış olup dış devrenin uyarıcı kısım olduğu göz önüne alınırsa, özellikle yüksek frekansta toplam akım üst katmandan akacaktır. IEC Triaksiyel test düzeneği hakkında daha detaylı bilgi [4] verilmiştir. Kuplaj parametreleri olarak transfer empedansı ve transfer admitansı ele alınacaktır. Örgü tipi ekranlar, (n) adet (d) çaplı telden oluşan (m) adet kemerin birbirine zıt yönde ve kablo eksenine sarmal olarak örülmesiyle oluşur.



Şekil 3 Örgü geometrisindeki açıklık geometrisinin detaylı gösterilimi

İlk 5 temel parametre, örgü makinalarında kontrol edilebilmekte olup istenilen optik kapama oranı için ayarlanabilmektedir. Örgü parametrelerinin değişiminin transfer empedansı üzerine olan etkisi ölçümler yoluyla ilk olarak Krugel [5] tarafından yapılmıştır.

2. Çift Katlı Ekranın Transfer Empedansı

Homojen boru şeklindeki yapıya sahip ekranlar için iki kat arası boşluk bulunmaması durumunda toplam transfer empedansı, toplam tabaka kalınlığındaki tek katın transfer empedansına eşittir. Eğer arada dielektrik bir tabaka var ise bu ara tabakanın endüktansı önem kazanır ve eşdeğer toplam transfer empedansı her bir katın transfer empedansları cinsinden şu şekilde ifade edilebilir [4].

$$Z_{T12} = \frac{Z_{T1} Z_{T2}}{Z_1 + Z_2 + j\omega M_{12}} \quad (1)$$

- Z_{T1} :1. ekran transfer empedansı
 Z_{T2} :2. ekran transfer empedansı
 Z_1 :1. ekran ile koaksiyel kablunun iç iletkeni arasındaki karakteristik empedans
 Z_2 :2. ekran ile koaksiyel kablunun iç iletkeni arasındaki karakteristik empedans
 M_{12} :İki tabaka arasındaki kısımda oluşan karşılıklı endüktans

Ara tabaka endüktansı, boşluk ile orantılı olup koaksiyel transmisyon hatlarındaki iki iletken arası boşluğa ait endüktansla aynı değere sahiptir.

$$M_{12} = \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{D_2}{D_1} \quad (2)$$

- D_1 :1. kat ekranın çapı
 D_2 :2. kat ekranın çapı

Transfer empedansı, frekans ekseninde boyunca değişik davranışlar gösterir. Düşük frekanslarda, homojen boru transfer empedansı baskın iken yüksek frekanslarda örgü geometrisinden kaynaklanan delik ve örgü endüktansları önemli olmaktadır. Ayrıca manyetik alanın örgü telleri içinde kayba uğraması kayıp endüktansı olarak adlandırılan dördüncü bir etkeni de ortaya çıkarır. Her bir katmanın transfer empedansı Kley'in uyguladığı yarı-deneysel model ile şu şekilde elde edilmiştir.

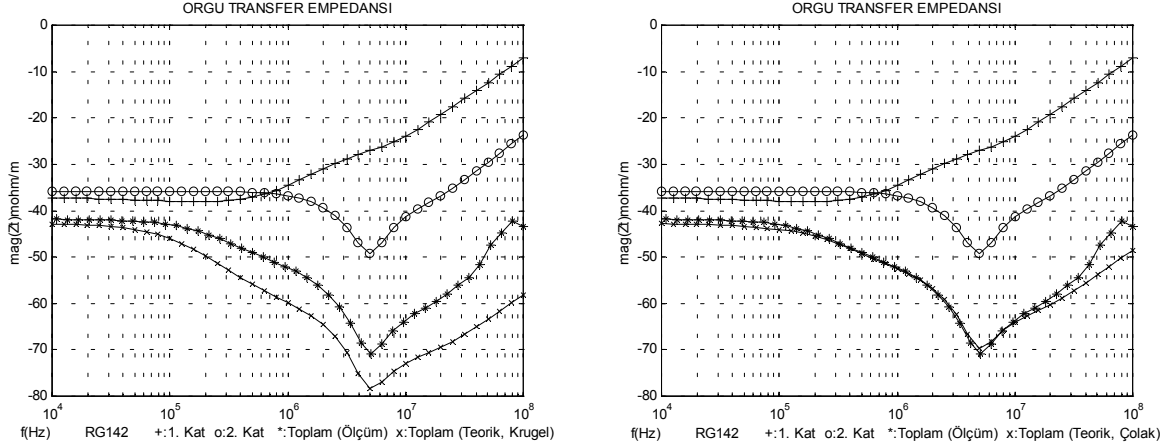
$$Z_T = Z_R + i\omega L_K + (1+i)\omega L_S \quad (3)$$

burada,

- Z_R :Eşdeğer kalınlığa sahip homojen tüpün transfer empedansı,
 L_K :Kuplaj endüktansı,
 L_S :Kayıp endüktansı olup Kley'in kullandığı yarı deneysel modele ait karşılıkları [1]'de bulunabilir.

3. Ara Katman Endüktansı Hesabının Ölçümlerle Sınanması

Ara tabaka endüktansının bulunmasında Krugel'in kullandığı (2) no'lu eşitliği kullanmak ölçüm ile teori arasında farkın oluşmasına neden olmaktadır. Şekil 4.a 'da bu fark, RG 142 kablosu için açıkça görülmektedir. İki katlı yapı için transfer empedansı değerinin ölçümlerden daha düşük çıkmasının sebebi, ara katman endüktansının (2) no'lu eşitliği ile olması gerekenden daha büyük olarak hesaplanmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4. a) RG142 kablo ekranına ait hesaplamada ara endüktans değerinin (2) eşitliği ile bulunmasında ölçüm ile arasındaki farkın gösterilmesi b) ara endüktans değerinin t_{es} boşluk eşitliği kullanılarak 4'e göre bulunmasında ölçüm ile arasındaki uyumun gösterilmesi

Krugel bu modellemede aradaki boşluğun $D_{m2}-D_{m1}$ kadar olduğu ileri sürmüştür. Dolayısıyla hesaplamalarında bu boşluğa sahip konsantrik yapıdaki transmisyon hattının karakteristik endüktans değerini öngörmüştür. Bu çalışmada yapılan modelleme ise üst katmanda oluşan manyetik akının ara katman eşdeğer kalınlığı oranında iç katmana aktarılmasını öngörülmüştür. Alanın geçeceği yüzey, boşluğun yüksekliği ve kablo uzunluğuyla doğru orantılı olup birim uzunluktaki boşluk endüktansı,

$$M_{12} = \mu_0 \frac{t_{es}}{\pi D_2} \cos(2[\alpha_2 - \alpha_1]) \quad (4)$$

olarak elde edilir. Burada t_{es} , eşdeğer yükseklik olup çift katlı örgü tipi ekranlı koaksiyel kablolarla yapılan ölçümler sonucu elde edilmiştir ve değişimi, örgü parametrelerine bağlı olarak aşağıdaki gibidir.

$$t_{es} \approx \frac{D_2 - D_1}{2} - (d_2 + d_1) \quad (5)$$

α_2 ve α_1 her bir katmandaki örgü açısı olup iki katman arasındaki açı farkının $\pi/4$ olması durumunda kuplaj oluşmaz. Dolayısıyla endüktans değeri daha düşük çıkmakta ve ölçüm sonuçlarında da görüldüğü gibi RG 142 için daha iyi bir uyum elde edilmiştir. Yüksek frekanslardaki fark, IEC test düzeneğindeki kısa devre sonlandırma yüzünden oluşan yansımalarından kaynaklanmaktadır.

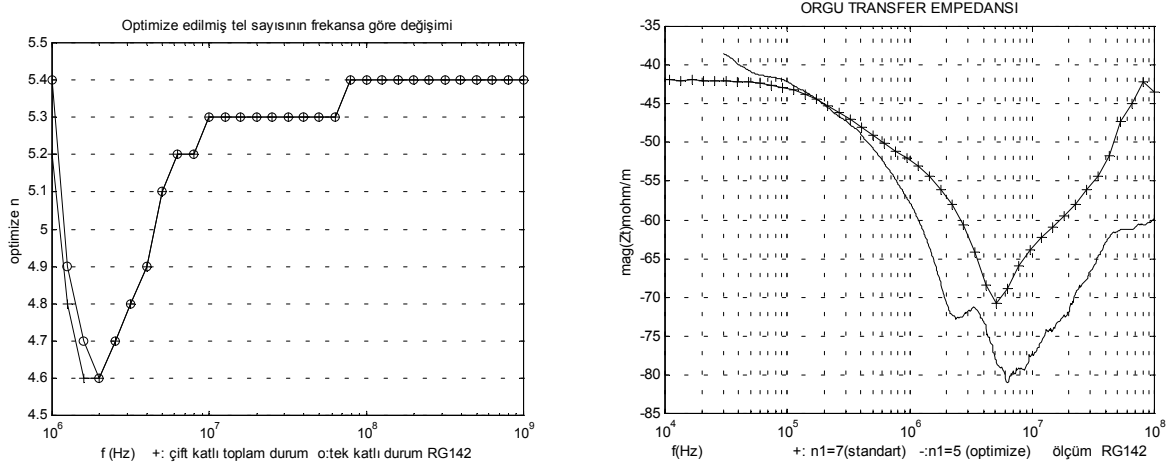
4. Optimizasyon

Koaksiyel kablo ekranının her iki uca da toprağa kısa devre edilmiş olması, yaygın kullanım şekli olduğu için bu duruma ait optimizasyon denklemi, transfer parametrelerinden sadece transfer empedansı, Z_T 'yi içerir [1]. Dolayısıyla Z_T 'nin minimize edilmesi gerekmektedir. Transfer empedansını oluşturan bileşenlerden düşük frekans terimi olan Z_R , ihmal edilebilir, çünkü yüksek frekanslarda etkisi yoktur. Kayıp endüktansı, L_S 'nin da etkisi, $\sqrt{\omega}$ ile orantılı olduğu için örgü ve delik endüktansının yanında ihmal edilebilir [1]. Bu bilgiler ışığında iki katlı örgü tipi ekranın eşdeğer transfer empedansı, yüksek frekanslı bileşenler cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Z_{12} \approx j\omega \left(\frac{L_{K2}L_{K1}}{M_{12}} \right) \quad (6)$$

Yukarıdaki eşitlik, ara katman endüktansının yüksek frekanslar için optimizasyon açısından etkili olmadığını göstermektedir. Çünkü herhangi bir kata ait kuplaj endüktansının hem delik hem de örgü endüktansı bileşenleri aynı oranda ara katman endüktansı ile bölünmektedir. Dolayısıyla her bir tabakadaki daha önce kurulmuş olan optimizasyon değerleri, yani delik ve örgü endüktansının dengelenmesi aynı şekilde korunmuş olacaktır. Bu durum her iki katmandan bir diğerine geçiş için geçerlidir. Eğer katların herhangi birinde bu denge sağlanamamış ise yani optimize edilmemiş ise, diğer katın da aynı oranda, ancak zıt fazda dengesiz olması toplam optimizasyon için gereklidir. Bir başka ifadeyle, bir katman sıkı örgülü, diğer bir katman ise gevşek örgülü olabilir. Katmanların hangisinin gevşek hangisinin sıkı olması gerektiği konusuna ise şöyle bir açıklama getirilebilir. Eğer optimizasyon

sonucunda daha az tel kullanılıp maliyet düşürülmek isteniyorsa, üst katmanın çapı daha fazla olacağı için buradaki gevşeklik daha fazla maliyeti indirecektir. Dolayısıyla maliyet optimizasyonu açısından üst katman gevşek örgülü, iç katman ise aynı oranda sıkı örgülü olmalıdır. Örgü optimizasyonunda beş bağımsız parametre kullanılmaktadır. Bu parametreler [1]'de açıklanmıştır. Ölçümlerde mevcut kabloların her bir parametresi üzerinde değişiklik yapılmayıp sadece her bir kemerdeki tel sayısı eksiltilebilmiştir. Bu değişim doğrudan delik endüktansının artmasına sebep olmakta ve optimizasyon dengesinin değişimini rahatlıkla gösterebilmektedir. Yapılan hesaplamalarda, tel adedi dışındaki parametreler mevcut durumu ile sabitleştirilmiş ve sadece tel adedinin değişimi her bir frekans adımı için incelenmiştir. Daha sonra, her bir frekanstaki elde edilen transfer empedansı bilgisinin minimum değerini sağlayan tel sayısı adedi, o frekans için optimize edilmiş tel sayısı olarak kaydedilmiştir. Aynı işlem, benzetimi yapılan örgü tabakasının gerçek koşullarda çift örgülü yapı içindeki değerleri göz önüne alınarak, ara katman endüktansı da hesaplamalara dahil edilerek tekrarlanmış ve elde edilen iki sonuç birbirleriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 5.a).



Şekil 5 a-)RG 142 için iç katta optimize edilen tel sayısı değerlerinin frekansa göre değişiminde ara katman endüktansının etkisi b-) RG142 için optimize ve standart kablo ölçüm sonuçlarının karşılaştırması

Optimize tel sayısı değerleri her frekans değeri için aynı değildir. Ancak yüksek frekanslar için ($f > 10\text{MHz}$) sabit bir değer olduğu söylenebilir. Bu değer grafikten de elde edilebileceği gibi 5.3 ve 5.4 arası olan 5.35 olarak alınabilir. Endüktif yüksek frekanslı bileşenlerin DC bileşene baskın geldiği 2MHz öncesinde ara katman endüktansı daha az telle optimizasyon yapılabileceğini göstermektedir. Ancak optimizasyondaki amaç yüksek frekanslarda efektif bir kablo üretmektir. Dolayısıyla bölüm başında da belirttiğimiz gibi ara katman endüktansının yüksek frekanslarda optimizasyona bir etkisi bulunmamaktadır. Benzetim sonuçlarında (Şekil 5.a) olması gereken değerler açıkça görülmektedir. Optimize edilen birinci katın transfer empedansı, standart üretim değerlerine göre, düşük frekanslarda artmış, yüksek frekanslarda ise 10-15 dB arası düşmüştür. İkinci kat optimize edilmiş olup üzerinde bir değişiklik yapılmadığı içine grafiklere dahil edilmemiştir (Şekil 5.b).

4. Sonuç

Bu makalede çift katlı örgü tipi ekrana sahip olan koaksiyel kablolardaki ekranlama optimizasyonu problemi tek katlı örgü tipi ekranlar için Kley[1] tarafından elde edilen yarı-deneysel modelin kullanılabilirliği gösterilmiştir. İki örgü tabakası arasında kalan boşluklar karşılıklı endüktansın oluşmasına neden olmakta ve toplam transfer empedansını düşürmektedir. Huber Suhner firması tarafından üretilen standart RG-142 kablosu üzerinde yapılan iç tabaka tel sayısının azaltılmasıyla yapılan ölçümlerle bu değer tespit edilmiş ve [2]'de öngörülen değerle uyum sağlanmış ve optimizasyon üzerinde bir etkisi olmadığı gösterilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Thomas Kley, "Optimierte Kabelschirme- Theorie und Messung", Ph.D. dissertation, Swiss Fed. Inst. Tech., Zurich, 1991.
- [2] L. Krugel, "Mehrfachschirmung flexibler Koaxialkabel" Telefonen-Zeitung, Jg.30, pp-207-214, Sept.1957.
- [3] E. Homann, "Geschirmte Kabel mit optimalen geflectschirmen", Nachrichtentechnische Zeitschrift, Vol.21, No.3, pp-155-161, 1968
- [4] IEC 61917, "Cables, cable assemblies and connectors-Introduction to electromagnetic screening measurements", 1997
- [5] L. Krugel, "Mehrfachschirmung flexibler Koaxialkabel" Telefonen-Zeitung, Jg.30, pp-207-214, Sept.1957.