

GENİŞ BANTLI İLETİM HATTI YÜKSEK GÜÇ RF EMPEDANS ÇEVİRİCİLERİ ve BALUN YAPILARI

Necip Şahan¹, M.Erim İnal¹, Canan Toker², Şimşek Demir²

¹ASELSAN, Macunköy, Ankara

nsahan@aselsan.com.tr, inal@aselsan.com.tr

²Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara

ctoker@eee.metu.edu.tr, simsek@metu.edu.tr

Özet: Manyetik nüve malzeme üzerine sarılı iki parça telden oluşan geleneksel empedans çeviriciler gerçekleştirilmesi itibariyle basit yapılar olsalar da yüksek frekanslardaki parazitik etkilerden ve kaldıracağı gücün tamamen kullanılan manyetik malzemeye bağlı olmasından dolayı yüksek güç ve geniş banttaki uygulamalarda tercih edilmezler. Bunların yerine İletim Hattı Empedans Çevirici (İHEÇ) yapısı olarak bilinen, ikizlenmiş tel çiftlerinden veya eşeksenel kablolardan oluşan ve çeşitli bağlama şekilleriyle değişik empedans çevirim oranlarının elde edilebileceği yapılar kullanılabilir. İHEÇ'lerin üst frekans bandındaki kısıtlamaları kullanılan iletim hattının uzunluğu ve yüksek frekans parazitiklerinden, alt frekans bandındaki kısıtlamaları ise ideal olmayan hat içi birebir bağlaşım ve kaçak akımlardan kaynaklanmaktadır.

1. Giriş

Geleneksel Empedans Çevirici (GEÇ) olarak bilinen trafolar manyetik nüve malzeme üzerine sarılı iki parça telden oluşan ve tellerle atılan turların karesi oranında empedans çevirimi sağlayan yapılardır. GEÇ'lerde giriş sargılarına sağlanan elektriksel güç, sarımlardaki akımların oluşturduğu manyetik alanın nüve malzeme içerisindeki manyetik bağlaşımıyla çıkış sarımlarına aktarılır. Çıkış sarımlarına bağlaşım manyetik alan buradaki sarımlarda indüklenen akımlar sayesinde tekrar elektriksel güce çevirilir. Tasarımı ve gerçekleştirilmesi basit olan GEÇ'ler, İHEÇ'lere oranla frekans bant genişliği ve güç seviyesi bakımından oldukça zayıf kalmaktadır. HF bandında oldukça iyi sonuçlar alınabilen geleneksel empedans çevirici yapılarının karakteristiği çalışma frekansında VHF bandına gelindiğinde her bir telin kendi sarımları arasında oluşan sarımlar arası sığa ile giriş ve çıkış teller arasında oluşan teller arası sığa ve tellerin oluşturduğu parazitik endüktans değerlerinin baskın hale gelmesiyle kötüleşir ve istenilen empedans çeviriminin çok ötesinde sonuçlar vermeye başlar. Öte yandan, bu tür empedans çeviricilerinde manyetik bağlaşım ortamı olarak kullanılan manyetik nüve malzemeler, geleneksel çeviricilerin güç seviyelerinin tamamen kullanılan manyetik nüveye bağımlı olmasını doğurur. Manyetik nüveler belirli bir manyetik akı yoğunluğunda doygunluğa ulaşır ve bu noktadan sonra artan manyetik alan şiddeti aynı oranda artan manyetik akı yoğunluğu yaratamaz. B_{sat} değeri olarak bilinen bu noktanın ötesine geçilmemelidir.

İletim hattı empedans çeviricileri eşeksenel kablolar kullanılarak oldukça geniş bantta ve kullanılan kablonun kaldırabileceği oranda yüksek güç seviyelerinde gerçekleştirilebilirler. İHEÇ'lerin düşük frekanstaki karakteristiğini düzeltmek için manyetik nüve malzemeler kullanılabilir. Yüksek frekansta ise, performans kullanılan iletim hattının boyunun dalga boyuna oranla karşılaştırılmayacak kadar kısa tutulması ile iyileştirilebilir. Doğrusal benzetim programı kullanılarak yapılacak simülasyonlarda kullanılacak bir model İHEÇ'lerin gerçekleştirilmesinde büyük kolaylık sağlayacaktır. Yapılan çalışmalar dahilinde, 20-500 MHz frekans bandında empedans çevirici devrenin modellenmesi gerçekleştirilmiş ve empirik ölçümler ile oldukça benzer sonuçlar vermiştir.

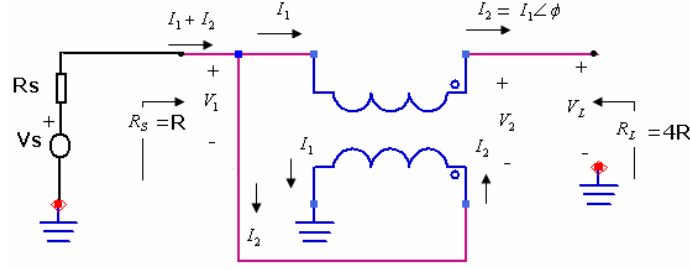
2. İletim Hattı Empedans Çeviriciler

İHEÇ devrelerinde iletim hattı olarak eşeksenel kablolar veya ikizlenmiş tel çifti kullanılabilir. İkizlenmiş kablo çiftleri yüksek frekanslarda teller arası ideal olmayan bağlaşım ve parazitiklerin baskın etkisi gibi nedenlerle eşeksenel kablolarla oranla tercih edilmemeliyse de, HF bandında ve VHF bandının ortalarına kadar olan frekans aralığında kullanılabilir. İkizlenmiş tel çiftlerinin beraberinde getirdiği eşeksenel kablolar üzerindeki en büyük avantajı, fiziksel limitler dahilinde istenilen her karakteristik empedans değerine sahip iletim hatlarının elde edilebiliyor olmasıdır. İkizlenmiş tel çiftlerinin karakteristik empedans, Z_0 , değeri ikizlenmiş teller arasındaki uzaklığa, birim uzunluktaki burum sayısına, kullanılan tellerin çapına ve teller üzerindeki yalıtım maddesine bağlıdır. Eşeksenel kabloların İHEÇ tasarımında faydalanılan iki temel kaidesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

1-) İdeal olarak birebir bağlaşım olmuş hatlar etrafında aynı akı yoğunluğu ve üzerlerinde eşit gerilim farkları oluşur.

2-) Hatlar üzerindeki akımlar ters yönlü ve eşit büyüklükte akarlar.

İdeal bağlaşıma sahip iletim hatlarının yukarıdaki iki özelliğini kullanarak 4:1 bir empedans çevircisinin çalışma prensibi kolaylıkla anlaşılabilir. Şekil 1’de verilen iletim hattı empedans çevircilerinin en basiti sayılabilecek Ruthroff 4:1 empedans çevircisidir.



Şekil 1. 1:4 Ruthroff İHEÇ yapısı.

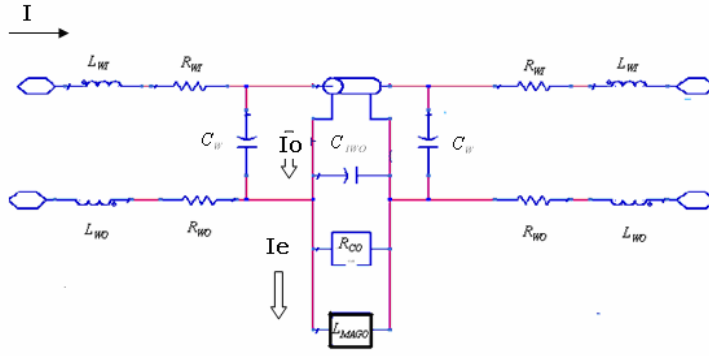
Aşağıda verilen giriş ve çıkış empedanslarına ilişkin eşitlik düşünüldüğünde, 4:1 empedans çevirimini sağlanabilmesi için

$$\frac{2V}{I} = 4R = R_L, \quad \Longrightarrow \quad \frac{V}{I + I \cos \phi} = R = R_S \quad (1)$$

$I + I \cos \phi = 2I$ eşitliğinin sağlanması gerekir. Söz konusu akım denkleğinin sağlanması için $\phi = \beta l = \frac{2\pi}{\lambda} l$ eşitliği düşünüldüğünde, fiziksel uzunluk l ’nin dalga boyuna (λ) oranının minimize edilmesi gerekir. En küçük dalga boyunun en yüksek çalışma frekansı f_{\max} ’nda oluştuğu düşünüldüğünde, iletim hattı empedans çevircilerinin çalışma üst bant frekansının kullanılan iletim hattının fiziksel uzunluğu ile kısıtlandığı söylenebilir. Düşük frekanslarda ise, ideal olarak birebir varsayılan bağlaşım dış iletkenin dış yüzeyinden akan kaçak akımlar ile bozulur ve düşük frekans bölgesinde İHEÇ’in karakteristiğini olumsuz yönde etkiler. Bu olumsuzluğu gidermenin yöntemi geniş bantta etkili olabilecek uygun bir nüve malzeme ile hatlar yüklenmesidir. Ancak, dikkat edilmesi gereken nokta; her manyetik malzemenin sahip olduğu manyetik geçirgenliği (μ) ile ters orantılı bir eşik ısı değerinin olduğu ve çok yüksek güçteki uygulamalarda bu değer aşıldığında malzemenin manyetik özelliklerini kaybettiğidir. Bu çeşit İHEÇ yapılarında kullanılması gereken iletim hattının karakteristik empedansı, $Z_0 = \sqrt{R_L R_S}$ olarak ifade edilebilir. Daha sonra geliştirilen Guanella İHEÇ yapısında ek olarak kullanılan eşit geciktirme hattıyla fiziksel uzunluğa daha az duyarlı empedans çevirciler elde edilebilmektedir [3]. Bu yapılar ile 1:4, 1:9 gibi empedans çevirim oranlarına sahip İHEÇ yapıları kolaylıkla analiz edilebilir ve gerçekleştirilebilir iken, yine benzer İHEÇ yapıları kullanarak bal-un (dengeli-dengesiz) empedans çevircileri de gerçekleştirilebilir [3],[4].

3. Modelleme ve Gerçekleştirme Çalışmaları

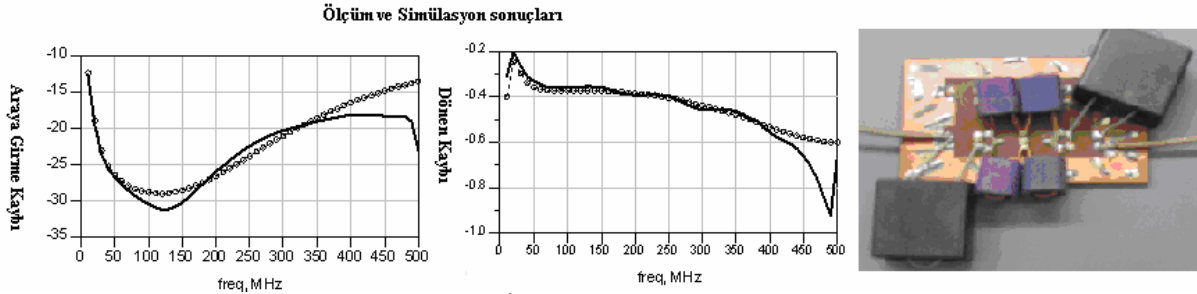
Gerçeklenen devrelerin modellenmesi sistem benzetimlerinin doğruluğu açısından büyük önem teşkil etmektedir. Bu noktada iletim hattı empedans çevircilerinin de benzetim programları kullanarak gerçeğe yakın karakteristiklerinin elde edilebiliyor olması çok önemlidir. Bu çalışmada, manyetik nüve malzeme üzerindeki iletim hattı olarak kullanılan eşksenel kablunun modellenmesi yapılmıştır. Manyetik nüve üzerindeki iletim hattı modellenenirse iletim hattı empedans çevircilerinin gerçeğe yakın davranışlarının benzetim programları ile gözlemlenebiliyor olması mümkün olacaktır. Kullanılan model Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Manyetik nüve üzerindeki eşeksenel kablonun modeli.

Modelde; L_{W1} ve L_{W2} iç ve dış iletkenlerin ideal olmayan parazitik endüktansı, R_{W1} ve R_{W2} iç ve dış iletkenlerin ideal olmayan parazitik dirençlerini, C_{W1} iç ve dış iletkenler arası ideal olmayan parazitik sığayı, C_{W3} dış iletkenin sarımları arasında oluşan sarımlar arası sığayı, C_{W4} dış iletkenin yüklenen manyetik malzemeden dolayı görmüş olduğu manyetik nüvenin kaybını, L_{MAGO} dış iletkenin manyetik nüve sayesinde gördüğü endüktansı belirtmektedir. Buradaki R_{CO} ve L_{MAGO} parametreleri düşük frekansta çok etkili olmaktadır ve manyetik malzemelerin μ değerinin frekansa bağlı olarak değişmesinden ötürü hesaplanarak kullanılması yerine ölçülerek modelde kullanılması daha doğru olacaktır. Yüksek frekanslarda etkili olan parazitik parametrelerin değeri oldukça küçük olmakla beraber (kondansatörler için <0.3 pF, indüktanslar için <0.3 nH ve dirençler için <0.2 Ohm.) en iyi sonuçların elde edilmesi için benzetim programlarında optimize edilmeleri gerekmektedir.

Yukarıda anlatılan tasarım kriterlerine bağlı kalarak gerçekleştirilen ve oluşturulan kullanılarak benzetim programı Agilent EEsop ADS 2005 te gerçekleştirilen 4:1 iletim hattının ölçüm ve benzetim sonuçları Şekil 3' te verilmektedir. Geri dönüş kaybı (S11), 4:1 İHEÇ'in çıkış terminalinin 12.5 Ohm dirençle sonlandırılması ile ölçülmüş, araya grime kaybı (S21) ise, iki adet İHEÇ'in simetrik olarak arka arkaya bağlanması ve ölçülen araya grime kaybının yarısının alınması ile elde edilmiştir.



Şekil 3. Gerçeklenen Guanella 4:1 İHEÇ'nin fotoğrafı, ölçüm ve simülasyon sonuçları.

4. Sonuç

İletim hattı empedans çeviricileri ile gerçekleştirilen yapılar geniş bantlı güç birleştirici devreleri, antenler ve RF it-çek güç yükselteçler gibi bir çok devrede dengeli ve/veya dengesiz empedans uyumlama amacıyla kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar kapsamında, İHEÇ modeli oluşturulmuş; oluşturulan model ile iletim hattı empedans çeviricilerinin doğrusal benzetim programlarında optimizasyonu gerçekleştirilmiş; 20-500 MHz 4:1 çevirici yapısı gerçekleştirilmiş ve s-parametreleri ölçülmüştür. Ölçüm ve benzetim sonuçları karşılaştırıldığında oluşturulan eşdeğer devre modelinin gerçeğe yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Kaynaklar:

- [1]. Horn J. ve Boeck G., "Design and modeling of transmission line transformers", Proceedings SBMO/IEEE MTT-S IMOC 2003.
- [2]. Trask C., "Designing wide-band transformers for HF and VHF power amplifiers", Sonoran Radio Research, Mart/Nisan 2005.
- [3]. Abrie P. L. D., "RF and Microwave amplifiers and oscillators", s.179-210, 1999.
- [4]. Dye N. ve Granberg H., "Radio frequency transistors", s.169-172, 1993.