

TRL Kalibrasyonunda Uç Konumlandırması ve Geçişlerin Etkileri

H. İ. Atasoy, M. Ünlü, K. Topallı, İ. İstanbulluoğlu, E. U. Temoçin, Ö. Bayraktar,
Ş. Demir, Ö. Aydın Çivi, S. Koç ve T. Akın
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara
Tel: (312) 210 4526, Faks: (312) 210 2304, E-posta: simsek@metu.edu.tr

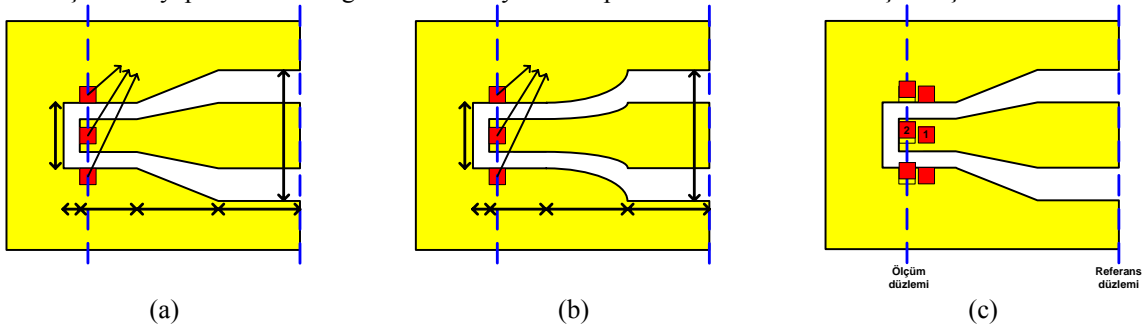
Özet: Bu çalışmada, TRL kalibrasyonundaki ölçüm düzlemiyle referans düzlemi arasındaki geçiş etkilerinin ve kalibrasyon esnasındaki uç konumlandırmasının ölçüm doğruluğu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Eşdüzlemsel dalga kılavuzu (EDK) yapıları üzerinde dört farklı geçiş, direk, doğrusal ve üstel şekillerle gerçekleştirilmiş ve bu geçişler üç farklı genişlikteki EDK yapıları için tekrarlanmıştır. Geçişlerin etkilerini incelemek için EDK üzerine karakteristik empedansları farklı olan hatlar temel litografi teknikleriyle cam pul üzerinde üretilip 4.5-20 GHz bandında ölçülmüştür. Doğru yöntemle ölçüm sonuçları ve ölçüm uçlarının yatay ve dikey eksenlerde hatalı olarak yerleştirilmesiyle elde edilen ölçüm sonuçları elektromanyetik benzetim araçlarıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

1.Giriş

Ölçüm hassasiyeti için en önemli adımlardan birisi kalibrasyondur. Kalibrasyon düzleminin ölçüm yapısına kadar taşınabilmesi, sistematik hataların en aza indirgenmesi ölçüm hassasiyetinin artırılması yönünden oldukça önemlidir. Referans düzleminin ölçülmek istenen yapının terminallerine kadar taşınmasında, aradaki elemanların karakterize edilerek analitik olarak geri çıkarılması yöntemi de uygulanabilir. Ancak, özellikle pul üzeri ölçümlerinde en doğru ölçümü elde etmek için yaygın olarak TRL kalibrasyonu kullanılır. TRL kalibrasyonu, kalibrasyon standartlarının aynı pul üzerinde üretilmesine olanak tanıyıp ölçüm hassasiyetini artırdığından ve referans düzleminin ölçüm düzleminde bağımsız olarak seçilmesini sağladığından, pul üzeri ölçümlerinde en çok tercih edilen yöntemlerden birisidir [1]. Ayrıca diğer kalibrasyon yöntemlerinde mümkün olmayan, uç ve bağlantı ayağından kaynaklı parazit etkilerin de temizlenmesi mümkündür.

Genellikle, ölçüm düzlemindeki EDK yapısı, ölçümde kullanılan ucun iletken aralığının farklı olması nedeniyle, referans düzlemindeki yapıdan farklılık göstermektedir. Bu yapıların fiziksel farklılıklarından dolayı, bu düzlemleri birbirine bağlayacak olan yapı bir geçiş yapmalıdır. Yalnız geçişlerde sönmülenen dalgalar oluşabileceğinden, bu geçişin kalibrasyon hassasiyetini bozmayacak şekilde tasarlanması büyük önem taşır.

Geçişler için kullanılan en yaygın yöntem, elektriksel olarak kısa bir hattın doğrusal olarak incelenerek iki hattı birbirine bağlaması ve inceleme noktasıyla ölçüm düzlemi arasına sönmülenen dalgaları bastırarak fazladan bir EDK yapısı eklenmesidir. Yalnız, incelenen hattın çok kısa seçilmesi ya da ölçüm ile referans düzlemi iletkenleri arasındaki fiziksel ayrılığın çok büyük olması durumlarında referans düzlemine sönmülenen dalgalar ulaşabilir ve kalibrasyonun doğru sonuç vermesini engelleyebilir. Bu çalışmada, TRL kalibrasyonun hassasiyeti için, Şekil 1’de görüldüğü gibi değişik tip ve uzunluktaki geçiş yapılarının etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. EDK’da farklı tipte, uzunlukta ve referans düzlemi iletken aralıklarında üretilen TRL kalibrasyon takımları tasarlanmıştır. Bu takımlar içerisinde performanslarının karşılaştırılması amacıyla ölçülmek üzere iletken hatları konulmuştur. Bu yapılar temel litografi teknikleriyle üretilip 4.5-20 GHz bandında ölçülmüştür.



(a) (b) (c)
Şekil 1. Geçişlerin fiziksel tanımı ((a) doğrusal, (b) üstel) (c) Uç konumlandırması

Tablo 1: Üretilen geçiş yapıları (μm)

KalKit#	Boşluk	Hat1	Geçiş	Hat2	TST	Geçiş Tipi	KalKit#	Boşluk	Hat1	Geçiş	Hat2	TST	Geçiş Tipi
1	300	500	-	-	220	-	8	1000	1000	2000	2000	352	Doğrusal
2	300	750	-	-	220	-	9	1000	1000	2000	2000	552	Doğrusal
3	300	1000	-	-	220	-	10	1000	1000	2000	2000	552	Üstel
4	300	1500	-	-	220	-	11	1000	1000	2000	1000	552	Doğrusal
5	1000	1000	-	-	220	-	12	1000	1000	3000	1000	552	Üstel
6	500	500	500	500	352	Doğrusal	13	1000	1000	3000	1000	352	Doğrusal
7	1000	1000	1000	1000	352	Doğrusal	14	500	2500	-	-	220	-

2. Geçişler, Üretim ve Ölçüm Sonuçları

Şekil 1’de TRL’e ait genel bir çizim görülebilir. 14 farklı tipte TRL kalibrasyon takımı iletken aralarındaki uzaklıkların, geçiş tiplerinin, boşlukların ve hat uzunluklarının değiştirilmesiyle tasarlanmıştır. Üretilen yapıların özeti Tablo 1’de bulunabilir. Ölçüm doğruluğunu kontrol amacıyla 30 Ω ’luk ve 90 Ω ’luk iletim hatları kullanılmıştır. Tasarlanan takımlar 500 μm ’lik cam pul üzerinde 0.7 μm ’lik altın katmanı kullanılarak temel litografi teknikleriyle ODTÜ-Mikroelektronik Tesisleri’nde (ODTÜ-MET) üretilmiştir [2]. Üretilen yapılar HP 8720D vektör ağ analizörüyle Cascade ACP-GSG-150P uçlar kullanılarak 4.5-20 GHz bandında ölçülmüştür. Ölçümler ve benzetim sonuçlarının karşılaştırması Şekil 2’de görülebilir. Benzetimler HFSS v9.2 yardımıyla yapılmıştır ve ölçüm ve benzetim sonuçları arasındaki fark S-parametresinin büyüklüğünün karesinin birbirinden çıkarılmasıyla elde edilmiştir. Şekil 2-(a) ve (b)’de 90 Ω ’luk hatlar için 1, 2, 3, 4, 5 ve 14. takımlardan alınan sonuçlar verilmiştir. Bu yapılarda geçiş olmamakla birlikte, boşluktaki ve hat1’deki uzunlukları farklılık gösterir. Şekil 2-(b)’ye baktığımızda değerler düşük frekanslarda birbirine yakın olmakla birlikte, yüksek frekanstaki hata hat1’in boyunun artırılmasıyla azalır. Bu sonucu incelediğimizde, uçtan gelen sönmülenen dalgalar hat1’in uzamasıyla ölçüme etkisinin azaldığı sonucuna varılabilir.

Şekil 2-(c) ve (d)’ye baktığımızda, 6, 7 ve 13 numaralı takımlar için ölçüm sonuçları bulunabilir. Bu yapılardaki geçişler doğrusal olup geçiş boyları ve hat2 uzunlukları farklılık göstermektedir. S-parametrelerindeki hata, uzun hatlardaki geçişlerin daha yavaş olduğundan, sönmülenen dalgaları daha az oluşturup, beklendiği gibi hattın boyunun uzatılmasıyla azalır. Yalnız, hatadaki azalma hattın boyunun 1000 μm ’nin üzerine çıkarılmasıyla sabit kalır. Ayrıca bu uzunluklarda geçiş tipinin değiştirilmesi de kalibrasyon hassasiyeti çok fazla etkilenmez (Şekil 2-(e) ve (f)). Şekil 2-(g) ve (h)’de tüm kalibrasyon takımları için 30 Ω ’luk ve 90 Ω ’luk EDK iletim yapılarının karşılaştırılması verilmiştir. S-parametrelerindeki hatanın incelenmesiyle, en kötü sonuçlar ani geçişlerde gözlenmiştir, ayrıca geçiş olmayan durumdaki hata, dalgaların sönmülenmesi için hattın kısa olduğunda ani geçişlerdeki kadar hatalı sonuçlar elde edilebilir. Geçiş boyunun uzatılmasıyla hata azalırken, eldeki takımlarla ölçülen frekans bandında geçiş tipinin etkili olmadığı görülmüştür.

Bu çalışmada son olarak, uç konumlandırmasındaki hatanın hassasiyet üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kalibrasyonun doğru uç konumlandırmasıyla tamamlanması ve ölçüm alınmasının ardından, uç Şekil 1-(c)’deki gibi yanlış konumlandırılmıştır. Şekil 3-(a) ve (b)’de görüleceği gibi yatay konumlandırma hatasının ölçüm üzerinde hem büyüklük, hem de faz kaymasına neden olduğu görülmüştür. Bunun sebebi de kalibrasyonda kullanılan geçiş yapısının ölçümde kullanılanla farklılık göstermesidir. Düşey konumlandırmadaki hatanın ise faz karakterinde ufak bir sapmaya neden olduğu gözlenmiştir.

3. Sonuç

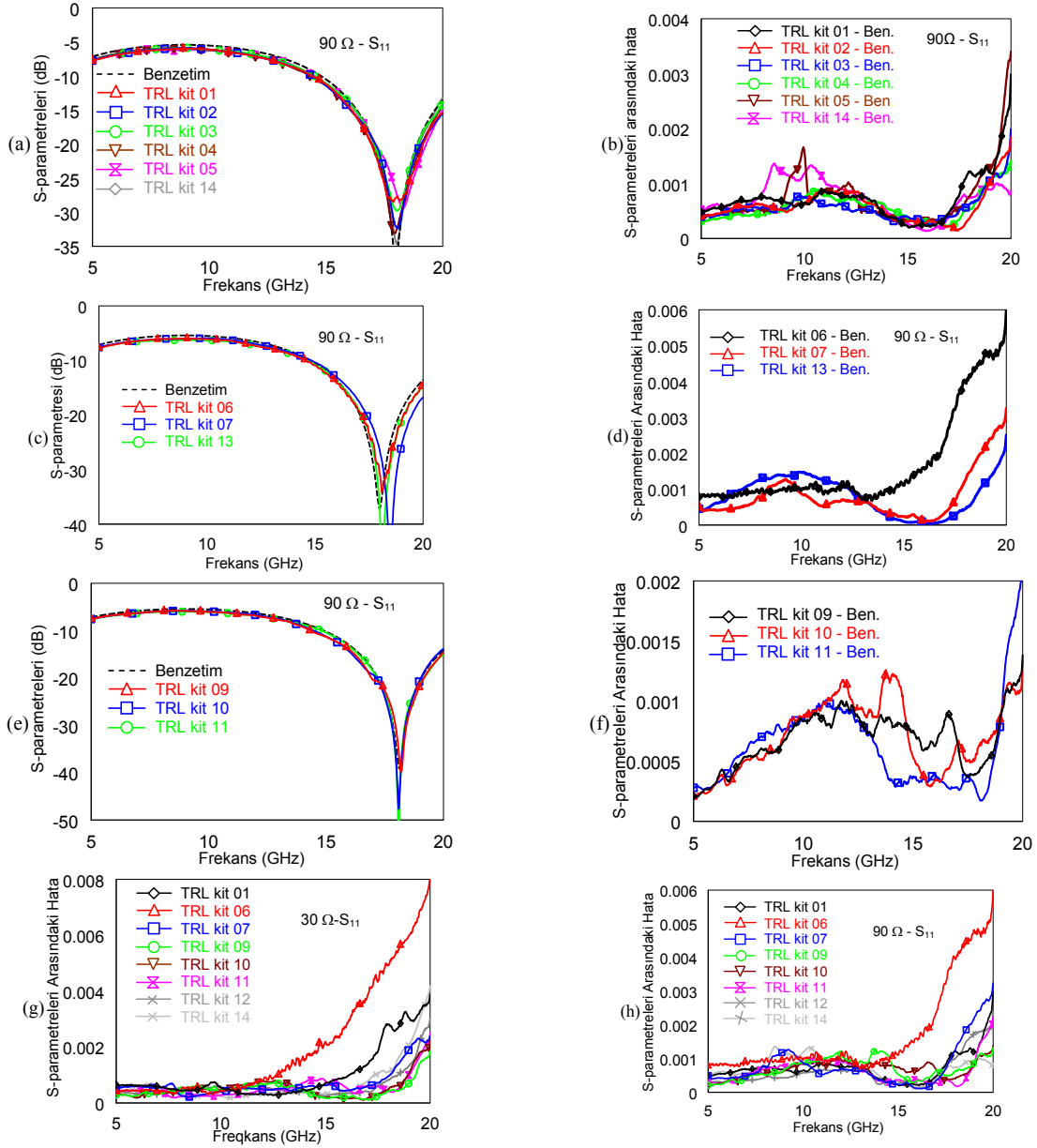
Bu çalışmada geçişlerdeki farklılıkların ve uç konumlandırmasının TRL kalibrasyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. 14 farklı kalibrasyon takımı ve test yapısı, temel litografi teknikleriyle üretilip ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucundan uzun geçişlerin diğerlerine göre daha doğru sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir ki bu da sönmülenen dalgaların uzun geçişlerde etkisinin azaldığına işaret eder. Ölçülen yapılarda geçiş tipinin etkisi gözlemlenemeyip ölçümlerin daha kısa yapılar için tekrarlanması gerekmektedir. Ayrıca yatay eksenindeki uç konumlandırma hataları özellikle faz üzerinde büyük etkiler yaratır.

4. Bilgilendirme

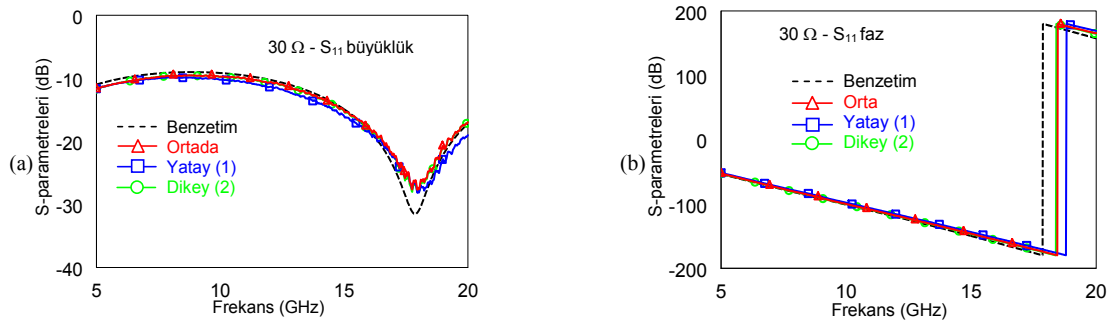
Bu araştırma TÜBİTAK (EEEAG-104E048), DPT ve Avrupa Birliği 6. Çerçeve Programı kapsamında AMICOM (Advanced MEMS For RF and Milimeter Wave Communications) Mükemmeliyet Ağı tarafından desteklenmektedir.

Kaynaklar

- [1] “Applying the 8510 TRL Calibration for Non-Coaxial Measurements”, Agilent Product Note.
- [2] M. Unlu, K. Topalli, S. Demir, O. A. Civi, S. Koc ve T.Akin “A Parametric Modeling Study on Distributed MEMS Transmission Lines”, 34th Microwave Conference, Ekim 2004.



Şekil 2. TRL kitlerinin benzetim ve ölçüm sonuçları karşılaştırması.



Şekil 3. Büyüklük ve faz üzerindeki uç konumlandırması etkileri.