

İKİ KAPILI HERHANGİ BİR
DOĞRUSAL SİSTEM ARACILIĞIYLA
YANSIMA KATSAYISI ÖLÇÜMÜ İLE
MİKRODALGA EMPEDANS TAYİNİ

fuat akçayöz

ÖZET

Bu yazıda bilinmeyen iki kapılı doğrusal bir sistem aracılığıyla yeni bir empedans ölçüm yöntemi açıklanmaktadır. Bilinen bir direnç, bir kısa devre ve bilinmeyen iki reaktansdan oluşan 4 ayar empedansı kullanılmıştır. Aranılan empedansın değeri devre girişindeki ölçmelerden doğrudan, basit eşitlikler kullanarak, elde edilir.

SUMMARY

A new method is described for measuring an impedance accessible only through an unknown 2-port linear system. Four calibrating impedances are used: a known resistance, a short circuit and two other unknown reactances. The value of impedance is calculable directly from the input measurements using simple step-by step formulas.

UDK: 621.317.341.3:621.3.029.64

Radio veya mikrodalga frekans bantlarında ölçmek istediğimiz bir empedansın (veya yansımaya katsayısı) doğrudan doğruya değil de, bilinmeyen herhangi bir doğrusal iki kapılı devre ya da sistem üzerinden ulaşılabilir olduğu pek çok durum vardır. Bu durumlarda kullanılan yöntemlerden Deschamps yöntemi [1] halen literatürde başvurulan fakat son zamanlarda ve özellikle konumuz olan duruma en çok benzeyen devre çözümleyicilerinin ayarında artık kullanılmayan klasik bir yöntemdir.

Eğer sistem hatalarının, ölçülecek empedans ve ölçme sistemi arasında, eşdeğer iki kapılı doğrusal bir devreye indirgenebildiği varsayımı geçerli ise (ki bu tartışılmaktadır) devre çözümleyicilerindeki hataların giderilmesi işi bizi bu yazının çözüm bulmayı amaçladığı duruma götürmektedir.

Bu varsayımı kabul eden yeni yöntemler [4-9] ölçümde değeri bilinen 3 ayar empedansı gerektirirler. Bu üç empedans genellikle şunlar arasından seçilir: Bir açık devre (burada saçaklanma sıçası da göz önüne alınmalıdır), bilinen bir elektrik uzaklık kaydırılmış bir kısa devre, bilinen bir reaktans, yine bilinen ancak farklı bir reaktans, bir uyumlu yük (matched load), örneğin bilinen bir direnç.

S-parametre yöntemindeki karmaşık cebirsel işlemlere karşın, seçilen üç empedans Z_1 , Z_2 , Z_3 ve bilinmeyen empedans Z ile onlara karşılık olan ölçümler T_1 , T_2 , F_3 , T arasında, çift doğrusal (bilinear) dönüşümün bilinen çapraz orantı özelliğini kullanarak elde edilen, şu basit bağıntı vardır [10].

Fuat Akçayöz, Aselsan.

$$\left(\frac{Z-Z_1}{Z-Z_3} \right) \left(\frac{Z_2-Z_1}{Z_2-Z_3} \right) \left(\frac{r-r_1}{r-r_3} \right) \left(\frac{r_2-r_1}{r_2-r_3} \right) \quad (D)$$

Bu bağırtı yardımıyla gerekli ölçme değerleri yerine konarak Z kolayca bulunur.

Descharaps yönteminde bir açık devre, bilinen bir direnç ve değerce bilinmelerine gerek olmayan iki yada daha fazla reaktansdan oluşan en az dört empedans gerekmektedir. Bu yöntemde, seçilen empedanslara karşılık gelen yansıma katsayısı ölçümleri kullanılarak önce aradaki doğrusal sistemin S-parametreleri, sonra da Z'ye ait ölçüm Y kullanılarak aranan empedans değeri Z bulunur [11]. Ancak burada yaklaşımın sayısal değil de çizimsel olması yöntemin zayıf noktasıdır.

ÖNERİLEN YÖNTEM: Burada önerilen yöntem Deschamps'ın bilinmeyen reaktanslar kullanma fikrinden kaynaklanır. Fakat Z karmaşık olmayan bağıntılardan ve doğrudan doğruya hesaplanabilir.

Yöntemin gerektirdiği ayar empedansları ve karşılık gelen ölçümler Şekil 1 ve Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1.

| <u>Empedans</u> | <u>Ölçüm</u> |
|-------------------------|--------------|
| Bilinen bir direnç | r_m |
| İki bilinmeyen reaktans | r_1, r_2 |
| Kısa devre | r_0 |

Kısa devre, saçaklanma sığası doğrultması (düzeltmesi) gerektirmedikinden açık devreye ve diğer empedanslara kıyasla çok kolay gerçekleştirilebilecek bir empedanstır. Ayrıca kesin değerleri önem taşımayan reaktanslar da, yukarıda sözü edilen üç empedans yönteminde gereken kesin değerli reaktanslara göre çok kolay elde edilir. Son olarak yöntem çalışma frekansının da kesin saptanmasını gerektirmez. Önerilen dört empedans, pekçok durumlarda gerçekleştirilebilecek tek empedans grubunu oluşturmurlar [12].

Ayar empedanslarına ve aranan empedans Z'ye karşılık gelen yansıma katsayısı ölçümleri r_m , r_0 , r_1 , r_2 ve F kullanılarak Z kolayca bulunur. Mikro-dalga ölçümlerinde bilinen direnç olarak bilinmeyen empedansa gelen iletim hattına uydurulmuş yük kullanılabilir. Ancak bu yük direncinin ölçme sisteminin karakteristik empedansına eşit olmaması gerekir.

Çoğu zaman bilinmeyen iki reaktans ise farklı uzaklıklarda kaydırılmış birer kısa devre olacaktır. Her ne kadar reaktansların kesin değerini bilmek gerekmiyorsa da yöntemin doğruluk derecesini artırmak için yaklaşık değerlerini bilmek yerinde olur. En iyi sonuç için bu reaktansların büyüklükleri, bilinmeyen empedansın bağlı olduğu iletim hattının karakteristik empedansına yakın ve işaretleri de ters (biri kapasitif ise diğeri endüktif) olmalıdır.

Hesaplarda kullanılan bağıntılar: İlk olarak r_0 , T_1 , T_2 , T_m ve r ölçümleri kullanılarak g_1 ve g_2 bulunur.

$$g = \frac{r-r_m}{r-r_0} \quad (2a)$$

$$g_1 = \frac{r_1-r_m}{r_1-r_0} \quad (2b)$$

$$g_2 = \frac{r_2-r_m}{r_2-r_0} \quad (2c)$$

Buradan h elde edilir?

$$h = j \frac{\text{Im}(g_1 g_2^*)}{g_2^* - g_1^*} \quad (3a)$$

ve aşağıdaki bağıntıdan da Z hesaplanır:

$$\frac{1}{Z} = \left(1 - \frac{g}{h}\right) \frac{1}{R} \quad (3b)$$

burada R ayar direncidir.

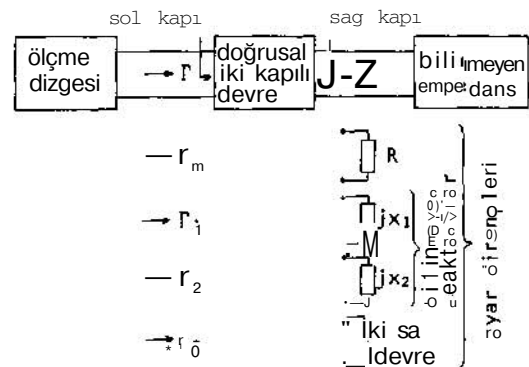
Bilinmeyen empedans, R direncine göre gerçek ve ya özdeş bir yansıma katsayısı p cinsinden de aşağıdaki biçimde yazılabilir:

$$\frac{1}{p} = \frac{2h}{g} - 1 \quad (4)$$

Anlatılan yöntem ve bağıntıların geçerliliği deneysel olarak da gösterilmiştir [13].

2 kapılı devrenin sağ ve sol kapılarına giden iletim hatları fiziksel olarak farklı olabilirler. Örneğin farklı kesit alanları farklı karakteristik empedansları ve hatta farklı yayılım modları olabilir. Fakat bu durumlarda bile R direnci uydurulmuş yük olduğu sürece (4) de hesaplanan p, bu sistemde sağ kapıdan yüke bakıldığında gerçek yansıma katsayısıdır. Eğer iki kapılı sistemi bilinmeyen empedansa bir iletim hattı değil de bir dalga kılavuzu bağlıyorsa (4) bağıntısı hâlâ geçerli olacağı halde (3b) bağıntısı geçersiz olacaktır ve ne Z ne de R tek başlarına karakterize edilemeyeceklerdir.

Bu yöntemin, im iletiminde görece olarak küçük kayıplara yol açan devre çözümleyicisi ile doğ-



Şekil 1. Herhangi bir iki kapılı devre üzerinden yansıma katsayısı ölçümü.

ültma biçimi dışında, daha büyük iletim kayıplarını içeren iki kapılı ölçmelerde de kullanılabacağı ileri sürülmektedir. Bu yüzden, kullanıcıya, bulacağı sonuçlarda belirli derecede güvenlik sağlayacak bir bağıntı bulmak gereklidir (ge-lişigüzel bir iki kapılı için). Yalnız daha önce aşağıda belirtilen dört durumda yöntemin getireceği hatanın büyük olacağını belirtmek gerekir.

- 1) Her iki yönden iki kapılı devre büyük araya girme kaybına neden oluyorsa,
- 2) Sol kapı büyük yansıma kaybına neden oluyorsa,
- 3) Sağ kapı büyük yansıma kaybına neden oluyorsa,
- 4) Ayar reaktansları arasındaki fark yetere ' z ise.

Çözümsel kolaylıklar nedeniyle, p'nun hesaplanmasındaki hatanın kaynakları için T_m , F_i , r_2 , r_o ve F ölçümlerindeki belirsizliklere dayanan rasgele değişken çözümlemesi kullanılmıştır. Her Ölçülen yansıma katsayısındaki hatanın, eşit olasılıklı aç ve birbiciimli büyüklük dağılımına sahip istatistiksel olarak bir diğerinden bağımsız karmaşık bir rasgele değişken olduğu varsayılmıştır. Bu yaklaşımın özel bir durumda tümüyle geçerli olup olmadığı ikincil bir sorundur. Çünkü, çözümleme, en azından matematiksel olarak ele alınabilir durumdadır ve ortalama-kare olarak etkin kayıp faktörü L'nin (L'nin tersi bir yarar ölçüsü olarak düşünülebilir) bulunmasını sağlayabilmektedir.

L katsayısı (4) nolu bağıntıdan bulunacak yansıma katsayısı p'nun değerindeki belirsizliğin ortalama-kare değeri $\langle |S_p|^2 \rangle$ nin F ölçümlerindeki belirsizliklerin ortalama-kare değerlerine oranıdır.

Kayıp katsayısı L birden küçük olamaz ve ayar empedanslarının seçimine yada iki kapılı sisteme göre çok büyük değerler olabilir. Aşağıdaki (5) nolu bağıntı kullanılarak L değeri hesaplanabilir.

$$L = \frac{|P|^2}{|P+1|^2} \approx \frac{1}{4|h|^2 |\Delta_{mo}|^2} \left[1 + |2h-1|^2 + |g_1|^2 |g_2|^2 \left(1 + \frac{1}{4|h|^2} \right) \right] + \frac{1}{2|h|^2 |\Delta_{12}|^2} \left[\frac{|\Delta_{2m}|^2}{|\Delta_{10}|^2} + \frac{|\Delta_{1m}|^2}{|\Delta_{20}|^2} \right] + \frac{1}{|\Delta_{10}|^2} + \frac{1}{|\Delta_{2m}|^2} + \frac{|\Delta_{mo}|^2}{|\Delta_{10}|^2 |\Delta_{2m}|^2} \quad (5)$$

Burada g_1 , g_2 , h ve p 2b, 2c, 3a ve 4 nolu bağıntılardan elde edilen değerlerdir. A katsayıları da alt indekslerine göre şöyle tanımlanmışlardır.

$$A_{ij} = r_{ij} \cdot r_{ij} \quad \text{ve} \quad A_k = r_{ik} \cdot r_{ik}$$

TERİMLER DİZİNİ

araya girme kaybı : *insertion loss*
 ayar empedansı : *calibration impedance*
 birbiciimli : *uniform*
 dalga kılavuzu : *wave guide*
 iki kapılı sistem : *2-port system*
 iletim hattı : *transmission line*
 ortalama-kare : *mean-square*
 rasgele değişken : *random variable*
 uydurulmuş yük : *matched load*
 yansıma katsayısı : *reflection coefficient*

KAYNAKLAR

- [1] Viestman, H.P. "Reference data for radio engineers", (5.basım), Bölüm 24.
- [2] Chang, C.T.M., "Application of Deschamps graphical method to measurement of scattering coefficients of multipoint waveguide junctions", IEEE Trans., 1972, MTT-20, s.186-187.
- [3] Woods, D., "Generation of reflection-coefficient standards of any value by means of a 3-port coaxial junction at microwave frequencies", Electron. Lett., 1974, 10, s.379-380.
- [4] Dasilva, E.F., ve M.K.McPhun, "Calibration of microwave network analyser for computer corrected S-parameter measurements", a.g.e., 1973, n, s.126-128.
- [5] Shurmer, H.V., "Calibration procedure for computer corrected S-parameter characterisation of devices mounted in microstrip", a.g.e., 1973, 9, s.323-324.
- [6] Evans, J.C., "Measuring frequency characteristics of linear 2-port networks automatically", Bell Syst. Tech. J., 48, s.1313-1338.
- [7] Gould, J.W., ve C.M.Rhodes, "Computer correction of a microwave network analyser without accurate frequency measurement", Electron. Lett., 1973, 9, s.494-495.
- [8] Warner, F.L., "Microwave network analysers", RRE Microwave Society. Royal Radar Establishment. Malvern, England.
- [9] Kuppa, W., ve K.F.Sodomsy, "An explicit solution for the scattering parameters of a linear 2-port measured with an imperfect test set", IEEE Trans., 1971, MTT-19, s.122-123.
- [10] Kaynak 1'e bakınız,
- [11] Kaynak 1'e bakınız.
- [12] Clark, M.A.G., "The avalanche photodiode at high frequencies", Hazırlanmakta olan doktora tezi, Elektrik ve Elektronik Müh. Bölümü, Surrey Üniversitesi, İngiltere.
- [13] Kaynak 12'ye bakınız.