

Smith Aşağıının Parametrik Denklemleri Yardımıyla L-Devresi Tasarlama Yazılımı

Mehmet Fatih Çelebi⁽¹⁾, Cengiz Samancı⁽¹⁾, Funda Cırık⁽¹⁾, Deniz Bölükbaş^{(1),(2)}

⁽¹⁾ Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Göztepe, İstanbul
celebimfatih@gmail.com, samanci.cengiz@gmail.com, fundacirik87@gmail.com

⁽²⁾ Okan Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Tuzla, İstanbul,
deniz.bolukbas@okan.edu.tr

Özet: Empedans uyumlaştırma teknikleri mikrodalga devre tasarımında önemli bir yer tutmaktadır. Bu amaçla kullanılan çözümlerden biri olan L – devresi iki reaktif devre elemanı kullanılarak gerçekleştirilir. L- devresi, devre tipini ve eleman değerlerini hesaplamak için analitik formül ya da Smith aşağı üzerinde grafiksel çözüm kullanılabilir. Bu çalışmada, L – devresi tipini belirlemek ve eleman değerlerini hesaplamak için Smith aşağı üzerinde grafiksel olarak yapılan empedans uyumlaştırma işlemi aşağıın parametrik Denklemleri yardımıyla algoritmik olarak tasarlanmıştır. Geliştirilen yazılım L-IMD, ile hem parametrik analiz yapılabilmekte hem de istenilen doğrulukta çözüm elde edilebilmektedir. Algoritma C# ile geliştirilmiştir ve başarımları örneklerle gösterilmiştir.

Abstract: Impedance matching techniques are important part of designing microwave circuits. One of the solution used for this purpose is L-circuit, and it is implemented by using two reactive circuit elements. Determining the type of the L-circuit, and calculating the element values are possible via analytical formulas or graphical solution on the Smith chart. In this study, a new algorithm which is based on the parametric equations of Smith chart, is developed. With the developed L-IMD software, parametric analysis with the desired accuracy can be achieved. The algorithm is developed in C# and performance is illustrated by examples.

1. Giriş

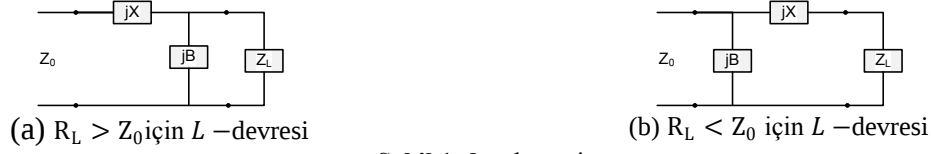
Empedans uyumlaştırma, mikrodalga elemanlar ya da sistemlerin tasarım sürecinin önemli bir aşamasıdır. Empedans uyumlaştırma devresi yük ile transmisyon hattı arasında yer alır ve transmisyon hattındaki yansımaların önlenmesi amacıyla kullanılır. Yük ile transmisyon hattı uyumlu olduğunda yüke maksimum güç aktarılır ve güç kaybı en aza iner. Empedans uyumlaştırma devrelerinden en basit olanı iki reaktif eleman kullanarak tasarlanan ve yük ile transmisyon hattının empedans uyumlaştırmasını sağlayan L – devresidir. L – empedans uyumlaştırma devresinin tasarımında eleman değerlerini hesaplamak için analitik formül kullanılabilir. Bir başka metod ise transmisyon hatları problemlerini çözmekte yaygın olarak kullanılan grafiksel bir araç olan Smith aşağı ile grafiksel olarak hesaplama yapılmasıdır.

Bu çalışmada, Smith aşağı üzerinde yapılan grafiksel hesaplamalar aşağıın parametrik denklemleri kullanılarak algoritmik olarak tasarlanmış ve L – empedans uyumlaştırma devresinin, devre elemanları değerlerini hesaplayan L-IMD, (L –type Impedance Matching circuit Designer), yazılımı C# ortamında geliştirilmiştir. L-IMD ile hesaplanan devre elemanlarının analitik formülasyonla ve Smith aşağı kullanılarak grafiksel olarak hesaplanan değerlerle uyumlu olduğu uygulamalarla gösterilmiştir. Bildirinin 1. Bölüm'ü giriş niteliğindedir. 2. Bölüm'de L – empedans uyumlaştırma devresinin devre elemanı değerlerinin analitik formülü verilmiştir. 3. Bölüm'de bu çalışmada geliştirilen ve Smith aşağıının parametrik denklemi kullanılarak tasarlanan L-IMD yazılımının algoritması açıklanmıştır. Bölüm 4'de uygulamalar ve sonuçlar yer almaktadır.

2. L – empedans uyumlaştırma devresinin tasarlanması

L – devresi, yük ile iletim hattının empedans uyumunun sağlanabilmesi için ayrı elemanlarla yapılan uyumlama devrelerinde sıklıkla kullanılan bir yapıdır. Transmisyon hattının karakteristik empedansı Z_0 ve hatta bağlı yükün empedansı ise $Z_L = R_L + jX_L$ ile gösterilir, burada R_L yükün rezistans değeri ve X_L yükün reaktans değeridir. Normalize yük empedansı $z_L = Z_L/Z_0$ ile hesaplanır ve r_L normalize rezistans ve x_L normalize reaktans olmak üzere $z_L = r_L + jx_L$ şeklinde gösterilir. Normalize yük admitansı ise $y_L = 1/z_L = g_L + jb_L$ ile hesaplanır, burada g_L normalize kondüktans ve b_L normalize suseptans değeridir.

L - devresi tasarımında $R_L > Z_0$ için Şekil 1(a) ve $R_L < Z_0$ durumunda ise Şekil 1(b) şeklinde görülen devre tipi kullanılır. Devre elemanlarının değerleri X ve B ile gösterilmektedir. Pozitif X indüktans ve negatif X kapasitans anlamına gelirken, pozitif B kapasitans ve negatif B indüktans anlamına gelmektedir.



Şekil 1. L -devresi tasarımı.

Kompleks bir yükün Z_0 karakteristik empedanslı hatla uyumlanması için yükün rezistansının Z_0 'a, reaktansının ise sıfıra eşit olması gerekir. Bu da empedans uyumlama devresinin en az iki reaktif eleman içermesini gerektirir. $R_L > Z_0$ iken Şekil 1(a)'daki L - devresinin empedans uyumu için hattın empedansı ile devrenin empedansı Z_0 'a eşit olmalıdır. Bu denklem düzenlenerek B ve X eleman değerleri Denklem (1) kullanılarak elde edilir.

$$B = \frac{X_L \pm \sqrt{R_L/Z_0} \sqrt{R_L^2 + X_L^2 - Z_0 R_L}}{R_L^2 + X_L^2} \quad X = \frac{1}{B} + \frac{X_L Z_0}{R_L} - \frac{Z_0}{B R_L} \quad (1)$$

Bu denklemde B ve X için elde edilen iki çözüm fiziksel olarak Şekil 1(a)'daki devre elemanlarıyla gerçekleştirilebilir. Benzer şekilde $R_L < Z_0$ iken Şekil 1(b)'deki L - devresinin admitans uyumu için hattın admitansı ($1/Z_0$) ile uyumlaştırma devresinin admitansı eşit olmalıdır. Bu eşitlik düzenlenerek B ve X eleman değerleri Denklem (2) kullanılarak elde edilir [1].

$$B = \pm \frac{\sqrt{(Z_0 - R_L)/R_L}}{Z_0} \quad X = \pm \sqrt{R_L(Z_0 - R_L)} - X_L \quad (2)$$

3. Smith abağının parametrik denklemleri kullanılarak L -devresinin tasarlanması

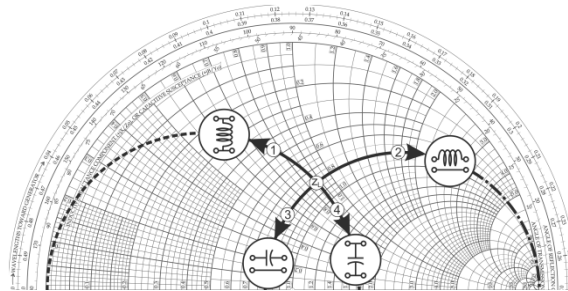
Smith abağı, mikrodalga devrelerin tasarım ve analizinde kullanılan grafiksel bir araçtır. Yansıma katsayısından normalize empedans (ya da admitans) değerine geçiş yapmayı ya da abakta bulunan empedans (ya da admitans) değerinden, empedans ya da admitans çemberlerini kullanarak yansıma katsayısına geçişi sağlar. Smith abağında bulunan normalize rezistans, r_L , ve normalize reaktans, x_L çemberlerinin (u, v) parametrik denklemleri Denklem (3)'de verilmektedir.

$$\left(u - \frac{r_L}{1+r_L}\right)^2 + v^2 = \left(\frac{1}{1+r_L}\right)^2 \quad (u-1)^2 + \left(v - \frac{1}{x_L}\right)^2 = \left(\frac{1}{x_L}\right)^2 \quad (3)$$

Smith abağında bulunan kondüktans, g_L , ve suseptans, b_L çemberlerinin (u, v) parametrik denklemleri Denklem (4)'de verilmektedir.

$$\left(u + \frac{g_L}{1+g_L}\right)^2 + v^2 = \left(\frac{1}{1+g_L}\right)^2 \quad (u+1)^2 + \left(v - \frac{1}{b_L}\right)^2 = \left(\frac{1}{b_L}\right)^2 \quad (4)$$

Hattın empedansı olan ve normalize olduğu için $z = 1$ olarak gösterilen nokta, merkezi (0.5,0) ve yarıçapı (0.5) olan çember üzerinde yer alır, bu çember birim empedans çemberi, BEÇ, olarak adlandırılır. Benzer şekilde $y = 1$ noktası; merkezi (-0.5, 0) ve yarıçapı (0.5) olan çember üzerinde yer alır ve bu çember birim admitans çemberi, BAÇ, olarak adlandırılır. Empedans uyumlaştırma devresi tasarımı için normalize yük değeri ile hattın normalize karakteristik empedansı Smith abağı üzerinde işaretlenir. Amaç; normalize yük değerini seri/paralel, bobin/kapasite kullanarak normalize karakteristik empedans/admitans değerine taşımaktır.



Şekil-2 Smith abağı yardımıyla L devresi tasarımı

Örneğin; Şekil-2'de görülen Smith Abağında yükün normalize empedans değeri Z_L noktasında görülmektedir. Paralel bobin elemanı devreye eklendiğinde yük normalize empedans değeri Z_L 'den 1 yönüne, seri bobin elemanı devreye eklendiğinde Z_L 'den 2 yönüne hareket etmektedir. Benzer şekilde seri kapasite elemanı devreye

eklendiğinde yük normalize empedans değeri Z_L 'den 3 yönüne, paralel kapasite elemanı, C , devreye eklendiğinde Z_L 'den 4 yönüne hareket etmektedir.

Bu metotla elde edilen bobin eleman değerleri, L , Denklem (5) ile, kapasite eleman değerleri ise f frekans olmak üzere Denklem (6) ile hesaplanır.

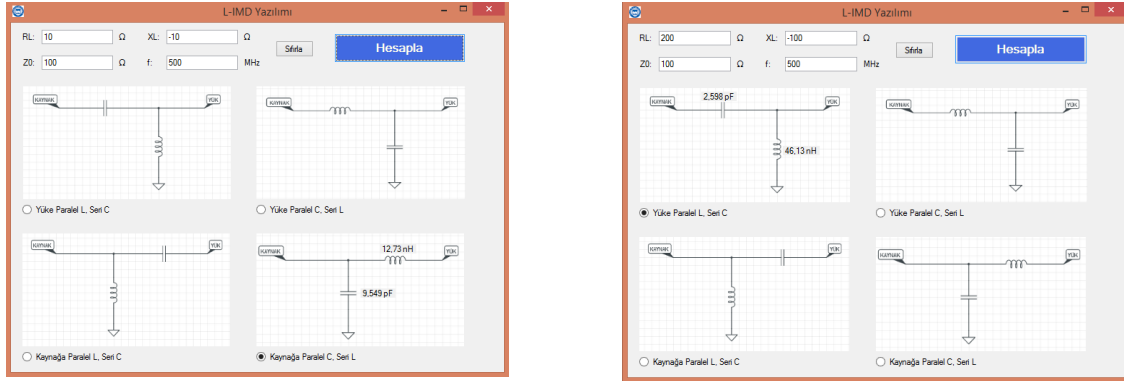
$$x_L = \frac{2\pi f L}{Z_0} ; x_L = -\frac{1}{2\pi f L Z_0} ; \quad (5)$$

$$x_C = -\frac{1}{2\pi f C Z_0} ; x_C = \frac{2\pi f C}{Z_0} ; \quad (6)$$

Geliştirilen yazılım L -IMD ile Smith abağı üzerinde grafiksel olarak yapılan bu işlem parametrik denklemler kullanılarak yazılım ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 1(a)'da ve Şekil 1(b)'de görülen devre eleman değerlerini bulmak için algoritma şu şekilde çalışmaktadır. 1) Denklem (3)'de denklemleri verilen ve merkezi $(r_L/(1+r_L), 0)$ ve yarıçapı $1/(1+r_L)$ olan rezistans çemberi ile, merkezi $(1, 1/x_L)$ olan ve yarıçapı $(1/x_L)$ olan reaktans çemberlerinin kesişim noktası hesaplanır. Bu nokta Smith abağı üzerinde işaretlenen yük normalize empedans (YNE) değerini göstermektedir. 2) YNE noktasından BEÇ'ne ulaşmak için Şekil-2'de gösterildiği gibi paralel/seri kondansatör/bobin eklenmesi gerekmektedir. Eğer paralel eleman eklenmesi gerekiyorsa YNE noktasından geçen admitans çemberinin BEÇ'i, seri eleman eklenmesi gerekiyorsa YNE noktasından geçen empedans çemberinin BAÇ'ı kestiği iki nokta belirlenir. 3) YNE noktasından bu iki kesişim noktasına ulaşabilmek için admitans/empedans çemberi üzerinde hareket etmek gerekir. a) YNE noktasının da üzerinde bulunduğu admitans çemberi denklemini bulmak için YNE noktası koordinatları Denklem (4) ile gösterilen çember denkleminde yerine koyulur ve buradan g_L ve b_L değerleri bulunur. b) Benzer şekilde YNE noktasının da üzerinde bulunduğu empedans çemberi denklemini bulmak için YNE noktası koordinatları Denklem (3) ile gösterilen çember denkleminde yerine koyulur ve buradan r_L ve x_L değerleri bulunur. 4) YNE noktasından kesişim noktasına ulaşmak için çember üzerinde hareket nedeniyle oluşan fark hesaplanır ve Denklem (5) ve/veya (6) kullanılarak L ya da C birinci eleman değeri hesaplanır. 5) Madde 4 ve 5'de açıklanan işlemler sırasıyla bu kez hattın normalize empedansı ya da admitans değerine ulaşmak için tekrar edilerek ikinci devre eleman değeri de hesaplanır.

4. Uygulamalar ve Sonuçlar

Geliştirilen L -IMD yazılımının arayüzü Şekil-3'de görülmektedir. Yazılıma girdi olarak hattın giriş empedansı, frekans ve yük empedansı değerleri girilmektedir. Gerçekleştirilmek istenen L devresinin tipi seçildikten sonra "Hesapla" tuşuna basılarak sonuçlar alınır. Devre eleman değerleri devre çiziminin üzerinde görülmektedir.



Şekil-3 L -IMD yazılımı arayüzü

Örneğin; $f = 500 \text{ MHz}$ ve $Z_0 = 100 \Omega$ iken $Z_L = 10 - j10 \Omega$ olan bir devrenin empedans uyumlaştırması için gereken eleman değerleri kaynaktan başlayarak paralel kapasite $C = 9,549 \text{ pF}$ ve paralel bobin $L = 12,73 \text{ nH}$ olarak bulunmuştur. Eğer $Z_L = 200 - j100 \Omega$ seçilirse devrenin empedans uyumlaştırması için gereken eleman değerleri kaynaktan başlayarak seri kapasite $C = 2,598 \text{ pF}$ ve paralel bobin $L = 46,13 \text{ nH}$ olarak bulunmuştur. L – empedans uyumlaştırma devresi tasarımı için analitik çözüm ya da Smith abağı üzerinde grafiksel çözüm kullanılmaktadır. Analitik çözüm ile hesaplanan değerlere sahip elemanlar fiziksel olarak temin edilemediğinde bu çözümü doğrudan kullanmak yerine iteratif olarak tekrarlamak gereklidir. Smith abağı üzerinde yapılan grafiksel hesaplamalar ise istenen hassasiyeti sağlayamayabilir. Bildiride geliştirilen algoritma ile Smith abağının parametrik denklemleri kullanılarak hassas çözüm elde edilebilmektedir.

Kaynaklar

[1].Poazar D., Microwave Engineering, John Wiley & Sons Inc., 4. Basım, 2012