Pasif Tek Kapılıların Karışık Toplu ve Dağılmış Elemanlı Devre Modelleri

Metin Şengül[(1)], Binboğa Sıddık Yarman[(2)], Ahmet Aksen[(3)]

[(1)]Kadir Has Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi. 34083 Cibali, İstanbul, Turkey, e-posta:msengul@khas.edu.tr
[(2)]İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Avcılar, İstanbul, Turkey (e-posta: yarman@istanbul.edu.tr)
[(3)]Işık Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Şile, İstanbul, Turkey (aksen@isikun.edu.tr)

Özet—Bu bildiride, yansıma katsayısı verileri ile tanımlanan pasif tek kapılılar için karışık toplu ve dağılmış eleman içeren devre modellerinin oluşturulmasına yönelik bir metod önerilmiştir. Verilen değerler ile hesaplanan değerler arasındaki hatayı istenen seviyenin altına çekmeye çalışan gradyan tabanlı yinelemeli bir yaklaşım bu metodun özünü oluşturmaktadır. Literatürde yapılan modelleme çalışmaları tek değişkenli olup, bu çalışmayla ilk kez iki-değişkenli model üretimine yönelik bir yöntem sunulmaktadır. Yöntemin uygulaması bir örnek üzerinde incelenmiştir.

1. Giriş

Haberleşme sistemlerinin tasarımında, nümerik olarak tanımlanmış devre elemanlarının devre modellerinin elde edilmesi önemli bir problemdir. Dolayısıyla nümerik olarak tanımlanan bu tip elemanların kullanıldığı sistemlerin karakterizasyonunda, tasarımında ve simülasyonunda bu elemanların devre modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde bu konuda birçok modelleme yaklaşımı bulunmaktadır [1]. Fakat bu yaklaşımlar kullanılarak sadece toplu (veya dağılmış) devre elemanları içeren modeller üretilebilmektedir. Ancak, özellikte mikrodalga frekanslarda, toplu elemanlar arasındaki hat parçaları devre performansının bozulmasına neden olmakta, yani bu frekanslarda kullanılacak devrelerde hat parçalarının da devre elemanı gibi düşünülmesi, iki tip eleman içeren devreler kullanılması söz konusudur. Bu tür karma yapıların iki değişkenli karakterizasyonu, tasarımı ve sentezine yönelik bazı yarı-analitik yöntemler bulunmakla beraber [2], sayısal verilerin iki-değişkenli yapılarla modellemesine yönelik bir yaklaşım mevcut değildir. Bu bildiride önerilen modelleme yönteminde, gradyan metodundan yararlanılarak, iki kapılı kayıpsız modelin giriş saçılma parametresinin analitik ifadesi elde edilmiş, daha sonra, bu iki değişkenli analitik giriş fonksiyonu sentezlenerek modele ulaşılmıştır. Böylece literatüre ilk kez iki-değişkenli devre modelleme yöntemi sunulmaktadır.

2. Ardışıl Bağlı Toplu ve Dağılmış Elemanlı İki-Kapılıların İki-Değişkenli Karakterizasyonu

Birçok mühendislik probleminde, sistem fonksiyonlarının tanımlanmasında çok değişkenli karmaşık fonksiyonlar kullanılır. Mesela bir mikrodalga filtre veya uyumlaştırma devresi toplu elemanların yanında eşit uzunlukta iletim hat parçaları (Birim Eleman, BE) da içerebilir. Bu durumda, dağılmış eleman içeren bölümlerin tanımı Richards değişkeni λ, ($\lambda = \tanh p\tau$) ile, toplu eleman içeren bölümlerin tanımı ise bilinen frekans değişkeni p ($p = \sigma + j\omega$) ile yapılmaktadır. Matematiksel olarak, toplu ve dağılmış eleman içeren kayıpsız iki-kapılıların tanımı iki-değişkenli fonksiyonlar kullanılarak yapılabilir. Kayıpsız iki-kapılının saçılma matrisini $S(p,\lambda)$ ile, saçılma transfer matrisini ise $T(p,\lambda)$ ile gösterelim. Bu matrislerin kanonik formları iki-değişkenli $f(p,\lambda)$, $g(p,\lambda)$ ve $h(p,\lambda)$ polinomları kullanılarak şu şekilde ifade edilebilir [3],

$$S(p,\lambda) = \frac{1}{g(p,\lambda)}\begin{bmatrix} h(p,\lambda) & \sigma f(-p,-\lambda) \\ f(p,\lambda) & -\sigma h(-p,-\lambda) \end{bmatrix}, \qquad T(p,\lambda) = \frac{1}{f(p,\lambda)}\begin{bmatrix} \sigma g(-p,-\lambda) & h(p,\lambda) \\ \sigma h(-p,-\lambda) & g(p,\lambda) \end{bmatrix} \quad \text{(1a,b)}$$

Bu polinomlar şu özelliklere sahiptir;

- g, h ve f polinomları, p ve λ değişkenlerinin reel polinomlarıdır.
- g saçılma Hurwitz polynomudur,
- f, monik bir polinomdur, σ bir sabittir, ($|\sigma| = 1$).
- f, g ve h arasında aşağıdaki eşitlik mevcuttur,

$$g(p,\lambda)g(-p,-\lambda) = h(p,\lambda)h(-p,-\lambda) + f(p,\lambda)f(-p,-\lambda) \quad (2)$$

- Eğer iki-kapılı ardışıl bağlı BE içeriyorsa, f polinomu şu şekilde tanımlanabilir,

  $f(p,\lambda) = f(p)f(\lambda) = f(p)(1-\lambda^2)^{n_\lambda/2}$, burada n_λ, birim eleman sayısıdır.

1. Algoritma

Girişler:

- ω_k; $k = 1,2,..,N_\omega$: Verilen ölçüm frekansları, N_ω: Ölçüm frekansı sayısı
- $S(j\omega_k) = R(\omega_k) + jX(\omega_k)$; $k = 1,2,..,N_\omega$: Verilen yansıma katsayısı verileri
- n_λ, n_p: Modelde istenen dağılmış ve toplu eleman sayıları
- $f_L(p)$, $f_D(\lambda)$: Toplu ve Dağılmış eleman içeren bölümlere ait iletim sıfırları kullanılarak oluşturulan monik polinom. Ardışıl bağlı birim elemanlar için $f_D(\lambda) = (1-\lambda^2)^{n_\lambda/2}$ ‘dir.
- $h_{0D}, h_{1D}, h_{2D},..., h_{n\lambda D}$ ve $h_{0L}, h_{1L}, h_{2L},..., h_{npL}$: Dağılmış ve toplu eleman içeren bölümlere ait h polinom katsayılarının başlangıç değerleri.
- δ: Kabul edilebilir hata seviyesi. Birçok pratik uygulama için $\delta = 10^{-3}$ seçilmesi yeterlidir.

Hesaplama Adımları:

Adım 1: Başlangıç katsayıları $h_{00}, h_{01}, h_{02},..., h_{0n\lambda}$ ve $h_{00}, h_{10}, h_{20},..., h_{np0}$ kullanarak dağılmış ve toplu eleman içeren bölümlere ait g kesin Hurwitz polinomlarını hesapla.

Adım 2: Toplu ve dağılmış bölümlere ait polinomları kullanarak sentez işlemi yap, eleman değerlerini bul.

Adım 3: Eleman değerlerini kullanarak her elemana ait transfer saçılma matrisini oluştur.

Adım 4: İstenen model yapısına göre elemanlara ait matrisleri çarp, iki-değişkenli devreye ait transfer saçılma matrisini dolayısıyla $g(p,\lambda), h(p,\lambda)$ ve $f(p,\lambda)$ iki-değişkenli polinomlarını bul.

Adım 5: Bu aşamada varolan hatayı hesapla $\varepsilon_i(j\omega_k) = S(j\omega_k) - \dfrac{h_i(j\omega_k, j\tan(\omega_k\tau))}{g_i(j\omega_k, j\tan(\omega_k\tau))}$

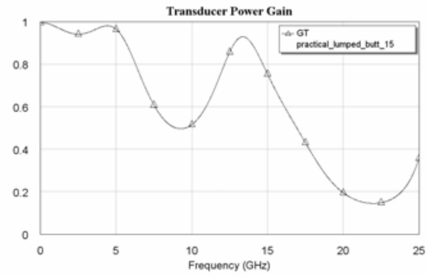
Adım 6: Hatayı bul, $\delta_i = \sum_{k=1}^{N_\omega} \varepsilon_i^2(j\omega_k)$. Eğer $\delta_i \le \delta$ ise, $S_{11}(p,\lambda) = \dfrac{h_i(p,\lambda)}{g_i(p,\lambda)}$ algoritmayı durdur.

Adım 7: $h_{i+1}(j\beta) = h_i(j\beta) - \gamma \dfrac{\partial|\varepsilon_i(j\omega)|^2}{\partial h_i(j\beta)}$ kullanarak sonraki adım için h polinomu değerlerini hesapla.

Adım 8: Önceki adımdaki $h_{i+1}(j\beta)$ değerlerini kullanarak h polinomu katsayılarını bul veAdım 2 ‘ye dön.

2. Örnek

Bu örnekte iki toplu elemandan oluşan bir Butterworth filtrenin, toplu ve dağılmış eleman içeren modelinin elde edilmesi öngörülmektedir. Pratik gerçekleme anlamında, yukarıdaki yaklaşım yerine, verilen iki-toplu elemanlı filtreye, doğrudan elemanlar arasındaki bağlantıları temsilen $50\,\Omega$ karakteristik empedanslı hat parçaları eklenirse elde edilen devreye ait çevrim güç kazancı eğrisi Şekil 1’de görülmektedir. Bu durumda eklenen iletim hattı parçalarının devrenin performansına bozucu etki yarattığı, bu yüzden bu hatlara ve diğer elemanlara ait parametrelerin saptanması gereği açıktır.

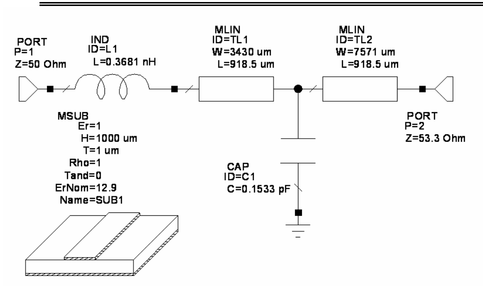


Şekil 1. Toplu elemanlı filtreye ait çevrim güç kazancı ($50\,\Omega$ hatlı)

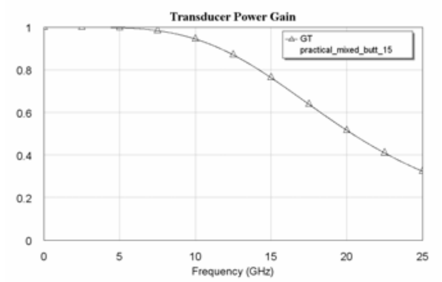
İki değişkenli modelleme için gerekli olan, seçilen örnekleme frekanslarındaki Butterworth filtreye ait yansıma katsayıları Tablo 1 de görülmektedir. Sayısal yansıma katsayısı verilerinden yola çıkarak karma iletim hattı ve toplu elemanlardan oluşan devre modelini karakterize eden iki değişkenli yansıma fonksiyonunu oluşturan polinomlar önerilen algoritma kullanılarak üretilir. Algoritmanın uygulamasında, iki toplu elemanlı ve bu elemanlar arası fiziksel bağlantıyı sağlaması için eşit uzunlukta iki iletim hattı (BE) yapısını öngören, $\{ n_p = 2$, $n_\lambda = 2 \}$ dereceli iki değişkenli polnomlar kullanılmıştır. Alçak geçiren bir yapı sözkonusu olduğundan iletim sıfırları $f(p,\lambda) = f(p) f(\lambda) = 1 \cdot (1-\lambda^2)$ olarak tanımlanır. Önerilen algoritma çalıştırıldığında elde edilen filtre, köşe frekansı 15GHz olacak şekilde denormalize edilirse Şekil 2a'daki karma elemanlı devre elde edilir. Bu devreye ait çevrim güç kazancı Şekil 2b'de verilmiştir.

Tablo 1 Butterworth filtreye ait yansıma katsayıları

Frekans (ω)	Re $\{S\}$	Im $\{S\}$	Frekans (ω)	Re $\{S\}$	Im $\{S\}$
0	0	0	0.9	-0.0929	0.6225
0.2	-0.0383	0.0113	1.1	0.1031	0.7639
0.4	-0.1310	0.0883	1.3	0.3024	0.8057
0.6	-0.2040	0.2704	1.5	0.4639	0.7873
0.8	-0.1635	0.5137	1.7	0.5841	0.7429



(a)



(b)

Şekil 2. a.) Karma elemanlı Filtre modeli (Köşe frekansı 15 GHz), b) Filtre modeline ait çevrim güç kazancı

Elde edilen karma elemanlı filtre yapısındaki iletim hatları fiziksel bağlantıları vermekte ve performans karakteristiği ise öngörülen frekans bandı üzerinde orijinal Buttorworth karakteristiğini sağlamaktadır.

3. Sonuç

Pasif tek kapılıların karışık toplu ve dağılmış elemanlı devre modellerinin elde edilmesine yönelik bir yöntem önerilmiştir. Yöntemin uygulama adımları bir örnek üzerinde gösterilmiştir. Çalışılan örnekte, elde edilen karma elemanlı filtre modeli ve toplu elemanlı filtreye ait çevrim güç kazancı eğrileri (Şekil 1 ve Şekil 2) incelendiğinde, filtre modeli cevabının istenen Butterworth cevap olduğu, fakat toplu elemanlı filtrede elemanlar arasına bağlantıları temsilen konan hat parçalarının performası ne derece bozduğu görülmektedir. Dolayısıyla özellikle mikrodalga frekanslarda toplu elemanlar arasındaki bağlantıların devre elemanı olarak değerlendirilmesi ve tasarım sırasında gözönüne alınması gerekmektedir. Önerilen yaklaşım ile bu sağlanabilmekte ve pasif bir tek kapılıya ait sayısal verilerden karma elemanlı model doğrudan elede edilebilmektedir.

Kaynaklar

[1] Kılınç, A., Özgün veri modelleme yöntemleri: empedans ve saçılma parametreli yaklaşımlar, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Turkey, 1995.
[2] A. Aksen, B.S. Yarman,"A Real Frequency approach to describe lossless two-ports formed with mixed lumped and distributed elements", Int. Journal of Electronics and Communications (AEÜ), vol. 6, pp. 389-396, November 2001
[3] Fettweis, A., On the scattering matrix and the scattering transfer matrix of multidimensional lossless two-ports, Archiv Elektr. Übertrangung., Cilt:.36, s.374-381, 1982.