Karışık Toplu ve Dağınık Devre Elemanları İçeren Merdiven Devrelerin Sentezi

Metin Şengül(1) Ahmet Aksen(2) Sıddık B. Yarman(3)

e-mail(1): msengul@khas.edu.tr e-mail(2): aksen@isik.edu.tr e-mail(3): yarman@istanbul.edu.tr

(1)Kadir Has Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, Cibali, Fatih, İstanbul

(2)Işık Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul

(3)İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul

Anahtar Kelimeler: Karışık toplu ve dağınık elemanlar, merdiven devreler, sentez

ÖZET

Bu makalede, dağınık elemanlarla birbirine bağlanmış merdiven devrelerin, saçılma transfer matrisinin çarpanlarına ayrılması yöntemi ile sentezlenmesi incelenmiştir. Çekilecek elemanın tipi (Kondansatör, bobin veya birim eleman) ve değeri, karışık devreye ait yansıma fonksiyonu polinomları ile ifade edilmiştir. Önerilen sentez algoritmasının, daha iyi anlaşılabilmesi için, bir örnek üzerinde uygulaması gösterilmiştir.

I. GİRİŞ

Özellikle mikrodalga frekanslarında, monolitik entegre devre tasarımlarında (MIC), toplu ve dağınık devre elemanlarının gerçekleştirilmesi önemli bir sorundur. Bu devrelerin karakterizasyonu için, tüm fiziksel parametrelerin ve imalat işlemi sırasında oluşabilecek muhtemel parazitik etkilerin modellenmesi ve bu etkilerin tasarım sırasında dikkate alınması gereklidir. Dolayısıyla, bu, devre tasarımında, karışık toplu ve dağınık devre elemanlarının kullanılmasını, yani devrelerin çok değişkenli fonksiyonlarla ifade edilmesini gerektirir.

Literatürde, çok değişkenli devre fonksiyonlarının sentezi ve gerçeklenmesi konusunda çeşitli çalışmalar vardır. Fakat Brune [1] veya Darlington [2] ‘un çalışmalarına benzer olarak, çok değişkenli fonksiyonlar için genel bir gerçeklenebilirlik teorisi mevcut değildir. Ozaki ve Kasami [3], çok değişkenli fonksiyonların analizi ve sentezi için, çok değişkenli empedans fonksiyonlarının pozitif reel olmalarının gerekli olduğunu ortaya koymuşlar, fakat bu yeter şart değildir.

II. KARIŞIK TOPLU VE DAĞINIK ELEMANLARDAN OLUŞAN DEVRELERİN TANIMLANMASI

Basit toplu elemanlar ve eşit uzunlukta basit dağınık elemanların (Birim Eleman, BE) ardarda bağlanması ile elde edilen kayıpsız iki kapılı devreler, karmaşık frekans değişkenleri p ve λ ‘nın fonksiyonu olan iki-değişkenli saçılma parametreleri ile ifade edilebilir ($\lambda = \tanh p\tau$, burada τ birim elemanlara ait elektrksel uzunluktur). Kayıpsız bir iki-kapılının saçılma matrisini $S(p,\lambda)$ ile ve saçılma transfer matrisini $T(p,\lambda)$ ile gösterelim. Bu matrislerin kanonik formları, $f(p,\lambda)$, $g(p,\lambda)$ ve $h(p,\lambda)$ iki-değişkenli polinomları kullanılarak şu şekilde ifade edilebilir [4],

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

$$T(p,\lambda) = \frac{1}{f(p,\lambda)}\begin{bmatrix} \sigma g(-p,-\lambda) & h(p,\lambda) \\ \sigma h(-p,-\lambda) & g(p,\lambda) \end{bmatrix} \qquad (2)$$

Denklem (1) ve (2) ‘de kullanılan polinomların özellikleri şunlardır [5,6]:

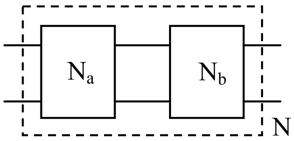
- g, h ve f, karmaşık değişkenler p ve λ ‘nın reel polinomlarıdır.
- g, saçılma Hurwitz polinomudur.
  1. $\mathrm{Re}\{p,\lambda\} > 0$ için $g(p,\lambda) \neq 0$.
  2. $g(p,\lambda)$ polinomu, $g(-p,-\lambda)$ polinomunun çarpanı değildir.
- f polinomunun en yüksek dereceli teriminin katsayısı “1” olmalıdır, ve σ, modülü “1” olan bir sabittir, ($|\sigma| = 1$).
- Eğer iki-kapılı, 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, ardarda bağlı BE sayısıdır.
- f, g ve h polinomları arasında şu ilişki vardır,

$$\begin{aligned} &g(p,\lambda)g(-p,-\lambda) \\ &= h(p,\lambda)h(-p,-\lambda) + f(p,\lambda)f(-p,-\lambda) \end{aligned} \qquad (3)$$

Sayfa sınırlaması nedeniyle, bu makalede, sadece birim elemanlarla birbirine bağlanmış alçak geçiren merdiven yapıların sentezi incelenmiştir. Birim elemanlarla birbirine bağlanmış yüksek geçiren, band geçiren ve band söndüren merdiven yapılar için de benzer şekilde sentez algoritmaları geliştirilmiştir.

III. SAÇILMA TRANSFER MATRİSİNİN ÇARPANLARINA AYRILMASI

Kayıpsız iki-kapılı devrelerin, ardarda bağlı daha basit devrelere ayrılması, literatürde farklı metodlarla ele alınmış bir problemdir. Bu amaçla kullanılabilecek metodlardan birisi, kayıpsız iki-kapılıyı ifade eden saçılma transfer matrisinin çarpanlarına ayrılmasıdır. Saçılma transfer matrisi, sadece üç polinomla ifade edilebildiğinden, çok kullanışlı bir araçtır. Kayıpsız bir iki-kapılının saçılma transfer matrisinin daha basit transfer matrislerinin çarpımı olarak ifade edilmesi Fettweis tarafından incelenmiştir [7-9]. Klasik ardarda sentez problemine alternatif olarak, lineer bir denklem takımı çözümü şeklinde formüle edilmiştir.



Şekil. 1. Kayıpsız bir iki-kapılının ardarda bağlı daha basit devrelere ayrılması

Şekil 1 ‘de, kayıpsız iki-kapılı N devresinin, yine kayıpsız iki-kapılılar olan N_a ve N_b devrelerine ayrılması problemi görülmektedir. Bu, N devresine ait saçılma transfer matrisi T ‘nin, iki saçılma transfer matrisinin (T_a ve T_b) çarpımı olarak ifade edilmesine denk gelmektedir,

$$T = T_a T_b \tag{4}$$

burada,

$$T_a = \frac{1}{f_a}\begin{pmatrix} \sigma_a g_{a*} & h_a \\ \sigma_a h_{a*} & g_a \end{pmatrix} \qquad T_b = \frac{1}{f_b}\begin{pmatrix} \sigma_b g_{b*} & h_b \\ \sigma_b h_{b*} & g_b \end{pmatrix} \tag{5}$$

$\{g_a, h_a, f_a\}$ ve $\{g_b, h_b, f_b\}$ polinom setleri, $\{g, h, f\}$ polinomları ile aynı özelliklere sahiptir. Dolayısıyla şu denklemler geçerlidir,

$$g_a g_{a*} - h_a h_{a*} = f_a f_{a*} \qquad g_b g_{b*} - h_b h_{b*} = f_b f_{b*} \tag{6}$$

Buna ek olarak, $\sigma_a = f_{a*} / f_a = \pm 1$ ve $\sigma_b = f_{b*} / f_b = \pm 1$ ‘dir. (4) ve (5) denklemleri kullanılarak, aşağıdaki eşitlikler bulunabilir,

$$f = f_a f_b \qquad \sigma = \sigma_a \sigma_b \tag{6a}$$

$$g = g_a g_b + \sigma h_{a*} h_b \qquad h = h_a g_b + \sigma g_{a*} h_b \tag{6b}$$

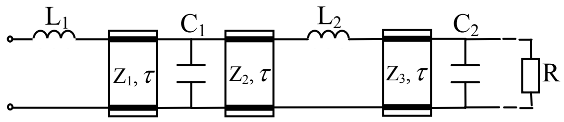
Denklem (6) ve $T_b = T_a^{-1} T$ olduğu göz önüne alınırsa, denklem (7) elde edilebilir,

$$h_b = \frac{h g_a - g h_a}{\sigma_a f_a f_{a*}} \qquad g_b = \frac{g g_{a*} - h h_{a*}}{f_a f_{a*}} \tag{7}$$

Görüldüğü üzere, bir kayıpsız iki-kapılı için $\{g, h, f\}$ polinom seti verildiğinde, devreden çekilecek eleman için $\{g_a, h_a, f_a\}$ polinom seti elde edilebilirse, kalan devreye ait $\{g_b, h_b, f_b\}$ polinom seti, (7) kullanılarak bulunabilir.

IV. BİRİM ELEMANLA BAĞLANMIŞ ALÇAK GEÇİREN MERDİVEN YAPILARIN SENTEZİ

Bu bölümde, Şekil 2 ‘de görüldüğü gibi, birim elemanlarla bağlanmış alçak geçiren merdiven devrelerinin (Low-pass ladder with unit elements-LPLU) temel özellikleri ve saçılma transfer matrisinin çarpanlarına ayrılması metodu ile sentezi verilecektir. Bu yapılara ait polinomların şu özellikleri gözlenir:



Şekil 2. Birim elemanlarla bağlanmış alçak geçiren merdiven devre (LPLU)

- LPLU devresi iletim sıfırları sonsuzda olan basit toplu elemanlardan ve $\lambda = \pm 1$ ‘de iletim sıfırı oluşturan birim elemanlardan oluşur. Dolayısıyla, LPLU devresinin $f(p,\lambda)$ polinomu şu yapıdadır, $f(p,\lambda) = \left(1-\lambda^2\right)^{n_\lambda/2}$, burada n_λ, yapıdaki birim eleman sayısıdır.
- Devre içinde transformatör istenmiyorsa $h(p,\lambda)$ polinomunun sabit terimi $h_{00} = 0$ seçilebilir, dolayısıyla $g_{00} = 1$ olur.
- $\lambda = 0$ durumunda, devrede sadece ardarda bağlı toplu elemanlar kalacaktır. Bu durumda $\{f(p,0), g(p,0), h(p,0)\}$ polinom seti toplu elemanlardan oluşan devreyi karakterize edecektir.
- Benzer şekilde, $p = 0$ durumunda, devre ardarda bağlı birim elemanlardan oluşacaktır. $\{f(0,\lambda), g(0,\lambda), h(0,\lambda)\}$ polinom seti birim elemanlardan oluşan devreyi karakterize edecektir.
- $h(p,\lambda)$ ve $g(p,\lambda)$ polinomlarının katsayıları matris formunda yazılırsa Λ_h ve Λ_g matrisleri elde edilir. LPLU devrelerine ait bu matrislerin aşağıdaki yapıya ve özelliklere sahip oldukları görülür:

$$\Lambda_h = \begin{bmatrix} 0 & h_{01} & h_{02} & \cdots & h_{0n_\lambda} \\ h_{10} & h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1n_\lambda} \\ h_{20} & h_{21} & \cdots & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & 0 & 0 & \vdots \\ h_{n_p 0} & \cdot & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \qquad \Lambda_g = \begin{bmatrix} 0 & g_{01} & g_{02} & \cdots & g_{0n_\lambda} \\ g_{10} & g_{11} & g_{12} & \cdots & g_{1n_\lambda} \\ g_{20} & g_{21} & \cdots & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & 0 & 0 & \vdots \\ g_{n_p 0} & \cdot & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

1. Λ_g matrisinin elemanları negatif olmayan reel sayılardır.
2. $g_{11} = g_{10} g_{01} - h_{10} h_{01}$
3. $k + l > n_\lambda + 1,\ k,l = 0,1,\ldots,n_\lambda$ için $g_{kl} = h_{kl} = 0$
4. $k + l = n_\lambda + 1,\ k,l = 0,1,\ldots,n_\lambda$ için $h_{kl} = \mu g_{kl}$, burada $\mu = \pm 1$ ’dir.

5. Eğer $n_p = n_\lambda + 1$ ise, $\mu = h_{n_p 0} / g_{n_p 0} = \pm 1$ 'dir.

- **LPLU Yapıları için Sentez Algoritması**

Karışık toplu ve dağınık elemanlardan oluşan LPLU için iki değişkenli $h(p,\lambda)$, $g(p,\lambda)$ ve $f(p,\lambda)$ polinomları aşağıdaki formlarda verilmiş olsun,

$$\Lambda_h = \begin{bmatrix} 0 & h_{01} & h_{02} & \cdots & h_{0n_\lambda} \\ h_{10} & h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1n_\lambda} \\ h_{20} & h_{21} & \cdots & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & 0 & 0 & \vdots \\ h_{n_p 0} & \cdot & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad \Lambda_g = \begin{bmatrix} 0 & g_{01} & g_{02} & \cdots & g_{0n_\lambda} \\ g_{10} & g_{11} & g_{12} & \cdots & g_{1n_\lambda} \\ g_{20} & g_{21} & \cdots & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & 0 & 0 & \vdots \\ g_{n_p 0} & \cdot & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

$$f(p,\lambda) = \left(1-\lambda^2\right)^{n_\lambda/2}$$

Adım 1. $\mu_1 = \dfrac{h(n_p,0)}{g(n_p,0)} = \pm 1$ ve $\mu_2 = \dfrac{h(n_p,1)}{g(n_p,1)} = \pm 1$.

Eğer $h(n_p,1) = 0$ ve $g(n_p,1) = 0$ ise, $\mu_2 = \dfrac{h(n_p-1,1)}{g(n_p-1,1)} = \pm 1$ olarak hesaplanır.

Adım 2.

μ_1	μ_2	Çekilecek eleman	Sıradaki eleman
+1	-1	Birim Eleman	Bobin
-1	+1	Birim Eleman	Kondansatör
+1	+1	Bobin	Birim Eleman
-1	-1	Kondansatör	Birim Eleman

Adım 3. a) Eğer çekilen eleman Birim Eleman ise, karaktaristik empedansı şu şekilde hesaplanmalıdır,

$$Z_C = \frac{1+S_{11}^{\lambda}(0,i)}{1-S_{11}^{\lambda}(0,i)} \quad \text{burada} \quad S_{11}^{\lambda}(0,i) = \frac{\sum_{i=0}^{n_\lambda} h(0,i)}{\sum_{i=0}^{n_\lambda} g(0,i)}$$

Birim elemana ait $g_a(\lambda), h_a(\lambda)$ ve $f_a(\lambda)$ polinomları,

$$g_a(\lambda) = \frac{Z_C^2+1}{2Z_C}\lambda + 1 \quad h_a(\lambda) = \frac{Z_C^2-1}{2Z_C}\lambda \quad f_a(\lambda) = \left(1-\lambda^2\right)^{1/2}$$

olarak bulunur. Birim elemana ait elektriksel uzunluk (τ), devrenin kullanılacağı frekansa göre hesaplanmalıdır.

Birim eleman çekildikten sonar kalan devrenin $g_b(p,\lambda), h_b(p,\lambda), f_b(p,\lambda)$ iki değişkenli polinomları aşağıdaki ifadeler kullanılarak bulunabilir,

$$g_b(p,\lambda) = -h_a(-\lambda)h(p,\lambda) + g_a(-\lambda)g(p,\lambda)$$
$$h_b(p,\lambda) = g_a(\lambda)h(p,\lambda) - h_a(\lambda)g(p,\lambda)$$
$$f_b(p,\lambda) = f(p,\lambda)/f_a(\lambda) = \left(1-\lambda^2\right)^{(n_\lambda-1)/2}$$

b) Eğer çekilecek eleman bir toplu eleman ise (bobin veya kondansatör), eleman değeri şu şekilde hesaplanmalıdır,

$$CV = \frac{g(n_p,0) + \mu_1 h(n_p,0)}{g(n_p-1,0) - \mu_1 h(n_p-1,0)}$$

Eğer çekilen eleman bobin ise, $g_a(p), h_a(p)$ ve $f_a(p)$ polinomları aşağıdaki ifadeler ile hesaplanabilir,

$$g_a(p) = \frac{CV}{2}p + 1 \quad h_a(p) = \frac{CV}{2}p \quad f_a(p) = 1$$

Kalan devrenin $g_b(p,\lambda), h_b(p,\lambda), f_b(p,\lambda)$ iki-değişkenli polinomlarının bulunmasında şu ifadeler kullanılabilir,

$$g_b(p,\lambda) = -h_a(-p)h(p,\lambda) + g_a(-p)g(p,\lambda)$$
$$h_b(p,\lambda) = g_a(p)h(p,\lambda) - h_a(p)g(p,\lambda)$$
$$f_b(p,\lambda) = f(p,\lambda)/f_a(p) = \left(1-\lambda^2\right)^{n_\lambda/2}$$

Eğer çekilecek eleman kondansatör ise, bu kez $g_a(p), h_a(p)$ ve $f_a(p)$ polinomları şu şekilde hesaplanmalıdır,

$$g_a(p) = \frac{CV}{2}p + 1 \quad h_a(p) = -\frac{CV}{2}p \quad f_a(p) = 1$$

Kalan devrenin $g_b(p,\lambda), h_b(p,\lambda), f_b(p,\lambda)$ iki-değişkenli polinomları ise aşağada verilen denklemlerle elde edilebilir,

$$g_b(p,\lambda) = -h_a(-p)h(p,\lambda) + g_a(-p)g(p,\lambda)$$
$$h_b(p,\lambda) = g_a(p)h(p,\lambda) - h_a(p)g(p,\lambda)$$
$$f_b(p,\lambda) = f(p,\lambda)/f_a(p) = \left(1-\lambda^2\right)^{n_\lambda/2}$$

Adım 4. Yeni $h(p,\lambda)$, $g(p,\lambda)$ ve $f(p,\lambda)$ polinom seti şu şekilde tanımlanır,

$$h(p,\lambda) = h_b(p,\lambda)$$
$$g(p,\lambda) = g_b(p,\lambda)$$
$$f(p,\lambda) = f_b(p,\lambda)$$

ve Adım 1 'e dönülür. Sonlandırma direncine ulaşıldığında sentez işlemini bitirilir.

V. ÖRNEK

$h(p,\lambda)$, $g(p,\lambda)$ ve $f(p,\lambda)$ polinomlarının katsayıları matris formunda aşağıdaki şekilde verilmiş olsun

$$\Lambda_h = \begin{bmatrix} 0 & 3.15 & -1.05 \\ 3.5 & -3.8 & 23.3 \\ 3 & 65.4 & 0 \\ 36 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \Lambda_g = \begin{bmatrix} 1 & 3.85 & 1.45 \\ 6.5 & 14 & 23.3 \\ 15 & 65.4 & 0 \\ 36 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$f(p,\lambda) = \left(1-\lambda^2\right)$$

Adım 1. $\mu_1 = \dfrac{h(n_p,0)}{g(n_p,0)} = \dfrac{h(3,0)}{g(3,0)} = \dfrac{36}{36} = +1$.

$h(3,1)=0$ ve $g(3,1)=0 \quad \Rightarrow$

$$\mu_2=\frac{h(n_p-1,1)}{g(n_p-1,1)}=\frac{h(2,1)}{g(2,1)}=\frac{65.4}{65.4}=+1$$

Adım 2. $\mu_1=+1$ ve $\mu_2=+1$, dolayısıyla çekilecek ilk eleman bobin olacaktır ve değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır,

$$CV=\frac{g(n_p,0)\ +\mu_1 h(n_p,0)}{g(n_p-1,0)\ -\mu_1 h(n_p-1,0)}, \qquad L_1=6$$

$$=\frac{g(3,0)+h(3,0)}{g(2,0)-h(2,0)}=\frac{36+36}{15-3}=6$$

Çekilen bobinin $g_a(p), h_a(p)$ ve $f_a(p)$ polinomları,

$$g_a(p)=\frac{CV}{2}p+1=3p+1 \quad h_a(p)=\frac{CV}{2}p=3p$$

$$f_a(p)=1$$

Kalan devrenin $g_b(p,\lambda), h_b(p,\lambda), f_b(p,\lambda)$ polinomları,

$$g_b(p,\lambda)=-h_a(-p)h(p,\lambda)+g_a(-p)g(p,\lambda)$$

$$h_b(p,\lambda)=g_a(p)h(p,\lambda)-h_a(p)g(p,\lambda)$$

$$f_b(p,\lambda)=f(p,\lambda)/f_a(p)=\left(1-\lambda^2\right)^{n_\lambda/2}$$

Dolayısıyla $f_b(p,\lambda)=\left(1-\lambda^2\right)$, Λ_h ve Λ_g katsayı matrisleri şu şekilde elde edilir,

$$\Lambda_h=\begin{bmatrix}0 & 3.15 & -1.05\\ 0.5 & -5.9 & 15.8\\ -6 & 12 & 0\end{bmatrix} \qquad \Lambda_g=\begin{bmatrix}1 & 3.85 & 1.45\\ 3.5 & 11.9 & 15.8\\ 6 & 12 & 0\end{bmatrix}$$

Eğer algoritma bu şekilde çalıştırılmaya devam edilirse, çekilen elemanlar, değerleri ve kalan devrelerin $h(p,\lambda), g(p,\lambda)$ ve $f(p,\lambda)$ polinomları şu şekilde bulunur,

Çekilen ilk birim elemanın karakteristik empedansı

$Z_1=2$ ve

$$\Lambda_h=\begin{bmatrix}0 & 2.4\\ 0.5 & 7.9\\ -6 & 0\end{bmatrix} \quad \Lambda_g=\begin{bmatrix}1 & 2.6\\ 3.5 & 7.9\\ 6 & 0\end{bmatrix} \quad f(p,\lambda)=\left(1-\lambda^2\right)^{1/2}$$

$C_1=3$ ve

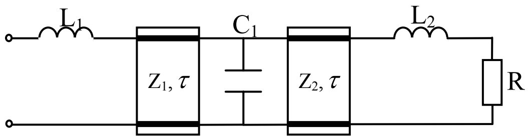
$$\Lambda_h=\begin{bmatrix}0 & 2.4\\ 2 & -0.4\end{bmatrix} \quad \Lambda_g=\begin{bmatrix}1 & 2.6\\ 2 & 0.4\end{bmatrix} \quad f(p,\lambda)=\left(1-\lambda^2\right)^{1/2}$$

Çekilen ikinci birim elemanın karakteristik empedansı

$$Z_2=5 \text{ ve } \Lambda_h=\begin{bmatrix}0\\ 2\end{bmatrix} \qquad \Lambda_g=\begin{bmatrix}1\\ 2\end{bmatrix} \qquad f(p,\lambda)=1$$

$$L_2=4 \text{ ve } \Lambda_h=0 \qquad \Lambda_g=1 \qquad f(p,\lambda)=1 \ \rightarrow R=1$$

Sentez işlemi tamamlandığında elde edilen devre Şekil 3 ‘de verilmiştir (τ, elektriksel uzunluk değeri devrenin kullanılacağı frekansa göre hesaplanmalıdır).



Şekil 3. Sentez sonucu elde edilen devre ve normalize eleman değerleri,
$L_1=6H, L_2=4H, C_1=3F, Z_1=2\Omega, Z_2=5\Omega, R=1\Omega$

VI. SONUÇ

Birim elemanlarla bağlanmış merdiven devrelerin, saçılma transfer matrisinin çarpanlarına ayrılması metodu kullanılarak gerçekleştirilmiş bir sentez algoritması verilmiştir. Sadece toplu devreyi ve sadece dağınık devreyi karakterize eden polinomları kullanarak ayrı ayrı sentez yaparak merdiven devreyi elde etmek yerine, karışık devreye ait iki-değişkenli polinomlar kullanılarak sentez işlemi gerçekleştirilmiştir. Makalede alçak geçiren devrelere ilişkin bilgi, algoritma ve örneğe yer verilmiştir. Ancak yüksek geçiren, band geçiren ve band söndüren devreler için de benzer sentez algoritmaları geliştirilmiştir.

REFERENCES

1. Brune, O., (1931) Synthesis of a finite two-terminal network whose driving-point impedance is a prescribed function of frequency, J. Math. Phys., vol.10, pp.191-236.
2. Darlington, S., (1939) Synthesis of reactance 4 poles, MIT J. Mathematics and Physics, vol.18, pp.257-353.
3. Ozaki, H., Kasami, T., (1960) Positive real functions of several variables and their applications to variable networks, IEEE Trans. Circuit Theory, vol.7, pp.251-260.
4. Belevitch, V., (1968) Classical network theory, Holden Day, San Francisco, CA.
5. Aksen, A., (1994) Design of lossless two-ports with mixed lumped and distributed elements for broadband matching, PhD Thesis, Department of Electrical Engineering, Ruhr University, Bochum, Germany.
6. Aksen A., Yarman B.S., (2001) A real frequency approach to describe lossless two-ports formed with mixed lumped and distributed elements, International Journal of Electronics and Communications (AEÜ), vol.6, pp.389-396.
7. Fettweis, A., (1982) On the scattering matrix and the scattering transfer matrix of multidimensional lossless two-ports, Archiv Elektr. Übertrangung., vol.36, pp.374-381.
8. Fettweis, A., (1970) Factorization of transfer matrices of lossless two-ports, IEEE Trans. Circuit Theory, vol.17, pp.86-94.
9. Fettweis, A., (1972) Cascade synthesis of lossless two ports by transfer matrix factorization, in R. Boite, ed., Network Theory, Gordon&Breach, pp.43-103.