

ARAŞTIRMA MAKALESİ

KARMA, TOPLU VE DAĞILMIŞ ELEMANLI, KAYIPSIZ GENİŞBANDLI UYUMLAŞTIRMA DEVRELERİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI

Ahmet SERTBAŞ

*İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
Avcılar-İSTANBUL*

Geliş Tarihi: 01.06.1999

COMPUTER-AIDED DESIGN OF LOSSLESS BROADBAND MATCHING NETWORKS WITH MIXED, LUMPED AND DISTRIBUTED ELEMENTS

SUMMARY

In this paper, to design of broadband matching networks with mixed elements, composed of simple lumped elements and uniform transmission lines (unit elements), a semi-analytic practical approximation method is presented. Explicit formulas of two-variables scattering parameters define the practical some mixed element structures are obtained. Using the obtained results for band-pass mixed element structure, a double matching problem known in the literature is solved.

ÖZET

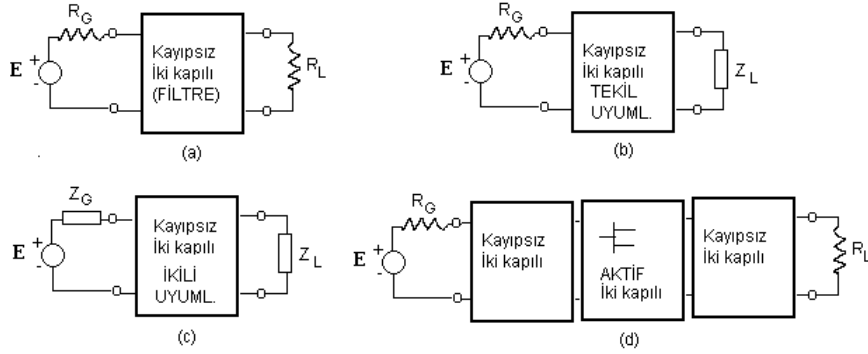
Bu çalışmada, basit toplu elemanlar ve uniform transmisyon hatlarından oluşan karma elemanlı genişbandlı uyumlaştırma devrelerinin tasarımı için, yarı-analitik bir pratik yaklaşım metodu tanımlanmıştır. Pratik bazı karma elemanlı yapıları tanımlayan iki-değişkenli saçılma parametrelerinin açık formülleri elde edilmiştir. Band-geçiren karakterli karma elemanlı yapı için elde edilen sonuçlar kullanılarak, literatürde bilinen bir ikili uyumlaştırma (double matching) problemi çözülmüştür.

1. GİRİŞ

Genişbandlı uyumlaştırma problemi, istenilen bir frekans aralığında, kaynaktan yüke maksimum güç transferi sağlayacak şekilde kaynak ile yük arasında kayıpsız iki-kapılı devre tasarımı (empedans uyumlaştırıcı) olarak bilinmektedir. Özellikle yüksek frekanslı haberleşmede, verici çıkış empedansını anten empedansına veya anten empedansını alıcı giriş empedansına uyumlaştırılması, transfer edilen gücün maksimize edilmesi açısından son derece önemlidir. Sık karşılaşılan diğer bir pratik problem de, tek yada çok katlı mikrodalga kuvvetlendirici tasarımında, sürücü kaynakla aktif eleman arasında veya aktif elemanla yük arasında maksimum güç aktarımı için empedans uyumlaştırma devre gereksinimidir. Çok katlı mikrodalga kuvvetlendirici tasarımında ise, her kat arasında güç aktarımı, yine empedans uyumlaştırıcı devrelerle yapılabilir.

Genellikle, güç transferi, reel empedanslı sürücü kaynaktan reel empedanslı yüke yapılıyorsa filtre problemi (Şekil 1a), kompleks empedanslı yüke yapılıyorsa tekil uyumlaştırma problemi (single matching / Şekil 1b); kompleks empedanslı sürücü kaynaktan yine kompleks empedanslı yüke yönelikse buna da ikili uyumlaştırma (double matching- Şekil 1c) problemi adı verilmektedir. Özellikle mikrodalga kuvvetlendirici

tasarımındakarşılaşılan diğer bir problem ise, aktif bir elemanı (örneğin FET) hem kaynak hem de yük empedanslarına aynı anda uyumlaştırma yani aktif iki-kapılı (Şekil 1d) problemidir.



Şekil 1. Genişbandlı Empedans Uyumlaştırma Problemi.

- (a) Filtre (b) Tekil Empedans Uyumlaştırma
(c) İkili Empedans Uyumlaştırma (d) Aktif iki-kapılı

Literatürde, sadece toplu elemanlar kullanılarak genişbandlı uyumlaştırma problemine çözüm, oldukça iyi bilinen bir konudur. Bununla beraber, özellikle mikrodalga frekanslarında, sadece toplu elemanları kullanmak, ciddi gerçekleştirme problemleri ve elemanların bağlantı uçlarında açığa çıkan parasidik etkiler yüzünden yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden, yüksek frekanslarda empedans uyumlaştırma devre tasarımı, toplu elemanlarla birlikte, transmisyon hatlarını da içeren karma elemanlı yapıların kullanılmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Ayrıca, mikrodalga monolitik entegre devre gerçekleştirme sırasında açığa çıkan fiziksel parametrelerin absorbe edilmesi elemanlar arasındaki fiziksel bağlantıların modellenenilmesi de karma, toplu ve dağılmış elemanlı devrelerin tasarımını gerektirmektedir.

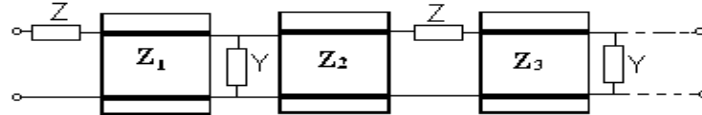
Öte yandan, karma, toplu ve dağılmış elemanlı devre sentezi için genel bir analitik yöntem, ne yazıkki, mevcut literatürde bulunmamaktadır. Sentez problemi için tam çözüm, ya üstel (transcendental) yada çok-değişkenli yaklaşımları gerektirmektedir. Literatürde, özellikle sınırlı iki-değişkenli devre fonksiyonlarının gerçekleştirilebilirliği hakkında yoğun çalışmalar yapılmış ve bazı sentez prosedürleri ortaya konmuştur [1,2]. Ancak sözü edilen çalışmalar, karma elemanlı yapıların pratik olarak tasarımı açısından uygun çözümler üretememişlerdir.

Son yıllarda, kayıpsız karma elemanlı uyumlaştırma devrelerinin tasarımı için, bilgisayar destekli tasarım (CAD) teknikleri ile birlikte analitik yaklaşım metodlarını birleştiren ve özellikle monolitik entegre devre tasarımına yönelik metodlar sunulmuştur [3,4,5]. Ayrıca, iki-değişkenli yaklaşıma öncülük eden en son çalışmalar[5-13], yarı-analitik teknik kullanılarak bazı sınırlı topolojiler için karma elemanlı uyumlaştırıcı devrelerin oluşturulmasını mümkün hale getirmiştir.

Bu makalede, sözü edilen yarı-analitik tekniği kullanarak iki-değişkenli saçılma parametreleri yardımıyla tanımlanan, basit toplu elemanlar ve uniform transmisyon hatları ile oluşturulan karma elemanlı pratik genişbandlı uyumlaştırıcı devre tasarımı ele alınmıştır.

2. UYUMLAŞTIRMA DEVRELERİNİN İKİ-DEĞİŞKENLİ SAÇILMA PARAMETRELERİ İLE TANIMLANMASI

Şekil 2'de verilen, basit toplu elemanlar ve uniform, eşit uzunluklu transmisyon hatlarından oluşturulan kaskad bağlı karma elemanlı iki-kapılı devreyi düşünelim.



Şekil 2. Karma elemanlı uyumlaştırıcı devre modeli genel formu.

Şekilde görülen devre modelinde, toplu empedans ve admittanslar, Tablo 1'de verilen basit elemanlardan oluşturulduğunda, düzenli (kanonik) formda ve farklı karakterde (alçak-geçiren, yüksek-geçiren, band-geçiren ve band-söndüren karma elemanlı yapılar elde edilebilmektedir.

Tablo 1. Basit Toplu Elemanlar

Toplu elem.	Alçak-geç	Yüksek-geç	Band-geç.	Band-sönd.

Bilindiği gibi, toplu ve dağılmış elemanlardan oluşan karma elemanlı iki kapılı devre, iki-değişkenli saçılma parametreleri (kanonik polinomlar) cinsinden aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$S = \frac{1}{g} \begin{pmatrix} h & \mathcal{F}_* \\ f & -\sigma h_* \end{pmatrix} \quad (1)$$

Burada alt indis (*), parakonjugeyi göstermektedir, yani ($h_* = h(-p, -\lambda)$).

- ◆ (g, h ve f) kompleks frekans değişkenleri p ve λ 'nin reel polinomları
- ◆ $g(p, \lambda)$ 'Saçılma Hurwitz' polinomu:
 - $\text{Re}\{p, \lambda\} > 0$ için $g(p, \lambda) \neq 0$,
 - $g(p, \lambda)$ parakonjugesi olan $g(-p, -\lambda)$ ile ortak bir çarpanı yoktur.
- ◆ $f(p, \lambda) = f_0(p)(1-\lambda^2)^{u/2}$ kaskad karma elemanlı iki kapılı devrenin transmisyon sıfırlarını belirleyen polinom, u uniform transmisyon hattı sayısı (birim eleman).
- ◆ f, g ve h polinomları kayıpsızlık denklemi uyarınca birbirleri ile ilişkilidir.

$$g(p, \lambda) g_*(-p, -\lambda) = h(p, \lambda) h_*(-p, -\lambda) + f(p, \lambda) f_*(p, \lambda) \quad (2)$$

Öte yandan, iki değişkenli reel kanonik polinomlar $g = g(p, \lambda)$ ve $h = h(p, \lambda)$ katsayılar formunda tanımlanarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$g(p,\lambda)=p^T\Lambda_g\lambda, \quad h(p,\lambda)=p^T\Lambda_h\lambda, \quad (3)$$

Burada, $p^T = [1 \ p \ p^2 \ \dots \ p^{n_p}]$, $\lambda^T = [1 \ \lambda \ \lambda^2 \ \dots \ \lambda^{n_\lambda}]$ n_p ve n_λ karma elemanlı yapıdaki, sırasıyla toplu ve dağılmış eleman sayısını göstermektedir.

$$\Lambda_g = \begin{bmatrix} g_{00} & g_{01} & \dots & g_{0n_\lambda} \\ g_{10} & g_{11} & \dots & g_{1n_\lambda} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{n_p,0} & g_{n_p,1} & \dots & g_{n_p,n_\lambda} \end{bmatrix} \quad \Lambda_h = \begin{bmatrix} h_{00} & h_{01} & \dots & h_{0n_\lambda} \\ h_{10} & h_{11} & \dots & h_{1n_\lambda} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n_p,0} & h_{n_p,1} & \dots & h_{n_p,n_\lambda} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Şekil 2'deki, karma elemanlı yapının, kaskad bağlı basit toplu elemanlar iki-kapılılar ve birim elemanlardan oluştuğu gözönüne alınırsa, $f(p, \lambda)$ polinomu aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$f(p,\lambda) = f_0(p)(1-\lambda^2)^{n_\lambda/2} \quad (5)$$

Burada, $f_0(p)$ polinomu sadece toplu elemanlardan oluşan iki kapılının transmisyon sıfırlarını tanımlar.

3. KARMA ELEMANLI UYUMLAŞTIRMA DEVRELERİNİN OLUŞTURULMASI

Şekil 2'de görülen karma elemanlı iki kapılı devreyi karakterize etme problemi, iki-değişkenli devre sentez teknikleri kullanılarak, sınırlı devre topolojileri için ve belirli bir karmaşıklığa kadar çözülebilir. Bu amaçla, karma elemanlı devrenin saçılma matrisini belirleyen iki-değişkenli reel kanonik polinomlar, sözkonusu iki-kapılının kayıpsızlık koşulu kullanılarak oluşturulabilir. Kayıpsızlık denklemini (2) oluşturan kanonik polinomlar (3)'teki gibi katsayılar formunda yazılır, eşitliğin her iki tarafı değişkenlerin (p ve λ) kuvvetlerine göre eşitlenirse, karasel yapıda ve doğrusal olmayan denklemler (kuadratik) elde edilir[5]. Gerçeklenebilir pozitif elemanlı, kaskad pasif devre yapısı ile karşılaştırılması için gereken kısıtlamaların elde edilen denklem takımında kullanılması ile sözü edilen denklemler belirli bir dereceye kadar çözülebilmektedir[11]. Bu kısıtlar, düzenli seçilen merdiven formdaki (alçak-geçiren, yüksek-geçiren, band-geçiren ve band-söndüren) karma elemanlı yapıların topolojik özelliklerinden ve tek değişkenli sınır koşullarından elde edilebilir. Elde edilen çözüm, basit karma elemanlı yapılar için yeter şartları sağlar ve tektir. Daha karmaşık (eleman sayısı fazla) toplu ve dağılmış elemanlı devreler için açık çözümler üretmek matematiksel anlamda son derece zor olduğundan, nümerik çözüm yöntemleri kullanmak gereklidir.

Düzenli formda seçilmiş, kayıpsız toplu elemanlar ve uniform transmisyon hatlarından oluşan bazı karma elemanlı yapılar (Şekil 2) için sınırlı koşulları doğrudan analiz sonucunda elde edilebilir. Aşağıda verilen tek değişkenli sınır koşulları, sadece toplu veya dağılmış elemanlardan oluşan devreleri tanımlarlar.

- ◆ Alçak-geçiren karma elemanlı uyumlaştırma devresi
- İki-değişkenli kayıpsızlık ilişkisinde (2), $p=0$ konularak elde edilen polinomlar $g(0,\lambda)$, $h(0,\lambda)$ ve $f(0,\lambda)$ kaskad bağlanmış birim elemanlar zincirinden oluşan dağılmış yapıyı tanımlarlar.

$$g(0,\lambda)g(0,-\lambda) = h(0,\lambda) h(0,-\lambda) + (1-\lambda^2)^{n_\lambda/2} \quad (6)$$

- (2)'de, $\lambda=0$ konularak elde edilen polinomlar $g(p,0)$, $h(p,0)$ ve $f(p,0)$ karma yapıdan birim elemanların yok edilmesi ile kalan toplu elemanlı devreyi tanımlar. Burada $g(0, \lambda)$ ve $g(p,0)$ kesin Hurwitz polinomlar, n_λ birim eleman sayısıdır.

$$g(p,0) g(-p,0) = h(p,0) h(-p,0) + 1 \quad (7)$$

- ◆ Yüksek-geçiren karma elemanlı uyumlaştırma devresi,
- İki-değişkenli kayıpsızlık ilişkisinde (2), $p=\infty$ konularak elde edilen polinomlar $g(\infty,\lambda)$, $h(\infty,\lambda)$ ve $f(\infty,\lambda)$ birim elemanlı prototipi tanımlarlar ($g(\infty,\lambda)$ kesin Hurwitz polinom).

$$g(\infty,\lambda)g(\infty,-\lambda) = h(\infty,\lambda) h(\infty,-\lambda) + (1-\lambda^2)^{n_\lambda/2} \quad (8)$$

- (2)'de, $\lambda=0$ konularak elde edilen polinomlar $g(p,0)$, $h(p,0)$ ve $f(p,0)$ toplu elemanlı prototipi tanımlar ($g(p,0)$ kesin Hurwitz polinomu).

$$g(p,0) g(-p,0) = h(p,0) h(-p,0) + p^{n_p} \quad (9)$$

- ◆ Band-geçiren karma elemanlı uyumlaştırma devresi,
- (2)'den doğrudan bir yolla, dağılmış elemanlı prototipi tanımlayan denklemleri belirtmek mümkün olmadığı için, aşağıdaki gibi $\bar{g}(\lambda)$ katsayıları hayali olarak seçilir:

$$\bar{g}(\lambda) \bar{g}(-\lambda) = \bar{h}(\lambda) \bar{h}(-\lambda) + (1-\lambda^2)^{n_\lambda/2} \quad (10)$$

burada, $\bar{g}(\lambda)$ kesin Hurwitz polinomu göstermektedir.

- Aynı şekilde, (2)'de $\lambda=0$ konularak elde edilen polinomlar $g(p,0)$, $h(p,0)$ ve $f(p,0)$ toplu elemanlı prototipi tanımlarlar.

$$g(p,0) g(-p,0) = h(p,0) h(-p,0) + p^{n_p/2} \quad (11)$$

burada, $g(p,0)$ kesin Hurwitz polinomu göstermektedir.

- ◆ Band-söndüren karma elemanlı uyumlaştırma devresi,
- (2)'de, $p=0$ veya $p=\infty$ konularak elde edilen polinomlar $\{g(0,\lambda), h(0,\lambda)$ ve $f(0,\lambda)\}$ veya $\{g(\infty,\lambda), h(\infty,\lambda)$ ve $f(\infty,\lambda)\}$ dağılmış elemanlı prototipi (6) veya (8) ifadeleri ile tanımlıdır.
- (2)'de, $\lambda=0$ konularak elde edilen polinomlar $g(p,0)$, $h(p,0)$ ve $f(p,0)$ toplu elemanlı prototipi tanımlarlar ve aşağıdaki gibi ilişkilidirler ($g(p,0)$ kesin Hurwitz polinomu).

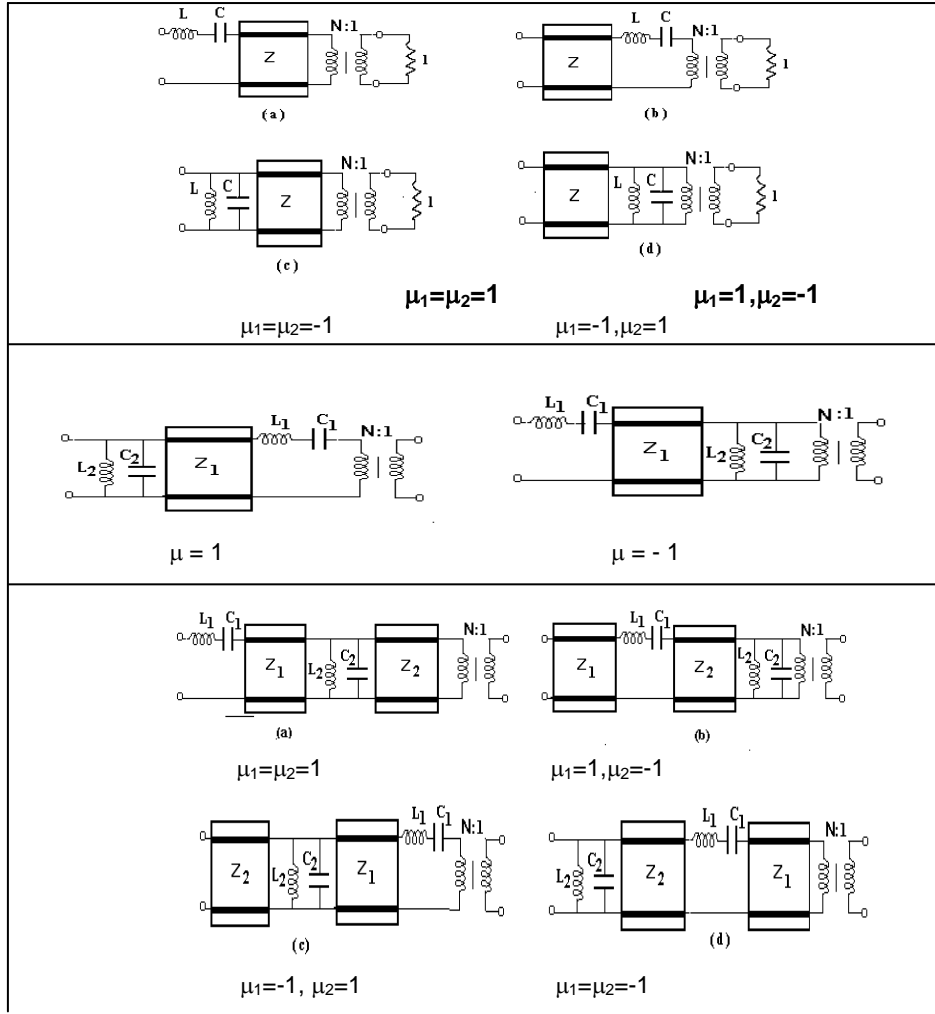
$$g(p,0) g(-p,0) = h(p,0) h(-p,0) + (1+k_2p^2+k_4p^4+\dots+k_{n_p}p^{n_p}) \quad (12)$$

Tek değişkenli polinomlar (6-12), (4)'te verilen Λ_h ve Λ_g katsayılar matrislerinin belirli satır ve sütunlarını oluşturan katsayılarıdır. Böylelikle, yukarıda incelenen tüm karma elemanlı uyumlaştırma devrelerini oluşturma problemi, katsayılar matrislerinin geri kalan satır ve sütunlarını belirlemeye indirgenmiş olmaktadır. Bu yazıda, sadece band-geçiren karma elemanlı yapı için, sınır koşulları (10, 11) ve düzenli formda seçilen karma elemanlı topolojinin sağladığı özellikler kullanılarak (2) denkleminin cebirsel çözümü ile elde edilen katsayılarla ilişkin açık formüller, Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Bant-geçiren Karma Elemanlı Basit Yapılar için Açık Formüller

$\Lambda_{g_2}(\dots,1)=[g_{00}= h_{00} , \quad g_{10}=(2(g_{20}g_{00}-h_{20}h_{00})+h_{10}^2+1)^{1/2}; \quad g_{20}= h_{20}]^T,$	
$\Lambda_{h_2}(\dots,1)=[h_{00}, h_{10}, h_{20}]^T$ (bağımsız), $g_2^*=[1, \bar{g}_{01}=(1+\bar{h}_{01}^2)^{1/2}], \quad h_2^*=[0, \bar{h}_{01}]$ hayali,bağımsız	
2 Section $g_{01}=(1/\alpha_{10})(g_{00}g_{11}-h_{00}h_{11}), \quad h_{01}=\mu_2g_{01},$ $g_{21}=(1/\alpha_{10})(g_{20}g_{11}-h_{20}h_{11}), \quad h_{21}=\mu_2g_{21}$ $g_{11}=(1+h_{11}^2)^{1/2}, \quad \mu_1=\text{Sgn}(h_{00})=\text{Sgn}(h_{20})=\pm 1$ $h_{11}=g_{11}-\bar{\alpha}_{01}/N \quad (\mu_2=1); \quad N=g_{10}-\mu_1h_{10}, \quad (\mu_1=-1);$ $h_{11}=\bar{\alpha}_{01}N-g_{11} \quad (\mu_2=-1); \quad N=1/(g_{10}-\mu_1h_{10}) \quad (\mu_1=1).$	
$\Lambda_{g_3}(\dots,1)=[g_{00}= h_{00} , \quad g_{10}=(2(g_{20}g_{00}-h_{20}h_{00})+h_{10}^2)^{1/2};$ $g_{20}=(2(g_{40}g_{00}-h_{40}h_{00}-g_{30}g_{10}+h_{30}h_{10})+h_{20}^2+1)^{1/2};$ $g_{30}=(2(g_{40}g_{20}-h_{40}h_{20})+h_{30}^2)^{1/2}; \quad g_{40}= h_{40}]^T,$ $\Lambda_{h_3}(\dots,1)=[h_{00}, h_{10}, h_{20}, h_{30}, h_{40}]^T$ (bağımsız),	
3 Section $g_3^*=g_2^*; \quad h_3^*=h_2^*$ (hayali ve bağımsız). $g_{11}=(1/\alpha_{20})(g_{10}g_{21}-h_{10}h_{21}), \quad h_{11}=\mu g_{11},$ $g_{31}=(1/\alpha_{20})(g_{30}g_{21}-h_{30}h_{21}), \quad h_{31}=\mu g_{31},$ $g_{21}=(1+h_{21}^2)^{1/2}, \quad h_{21}=g_{21}-\bar{\alpha}_{01}/N; \quad \text{ve} \quad N=1/(g_{20}-\mu h_{20}) \quad (\mu=1 \text{ için})$ $h_{21}=\bar{\alpha}_{01}N-g_{21} \quad \text{ve} \quad N=g_{20}-\mu h_{20}, \quad (\mu=-1 \text{ için}).$	
$\Lambda_{g_4}(\dots,1)=\Lambda_{g_3}(\dots,1) \quad \Lambda_{h_4}(\dots,1)=\Lambda_{h_3}(\dots,1)$ (bağımsız) $g_4^*=[1, \bar{g}_{01}=(2(1+\bar{g}_{02})+\bar{h}_{01}^2)^{1/2}, \quad \bar{g}_{02}=(1+\bar{h}_{02}^2)^{1/2}],$ $h_4^*=[0, \bar{h}_{01}, \bar{h}_{02}]$ (hayali ve bağımsız),	
4 Section $g_{01}=(1/\alpha_{10})(g_{00}g_{11}-h_{00}h_{11}), \quad h_{01}=\mu_2g_{01},$ $g_{32}=(1/\alpha_{21})(g_{31}g_{22}-h_{31}h_{22}), \quad h_{32}=\mu_2g_{32},$ $g_{12}=(1/\alpha_{21})(g_{11}g_{22}-h_{11}h_{22}), \quad h_{12}=\mu_2g_{12},$ $g_{41}=(1/\alpha_{30})(g_{31}g_{40}-h_{31}h_{40}), \quad h_{41}=\mu_2g_{41},$ $g_{11}=(1/g_{20})(g_{10}g_{21}-h_{10}h_{21}+h_{11}h_{20}),$ $h_{11}=(g_{10}g_{\lambda 1}-h_{10}h_{\lambda 1})h_{\lambda 0}-[(\alpha_{21}/\alpha_{10})\Delta_1+(\alpha_{10}/\alpha_{21})\Delta_2]g_{\lambda 0},$ $g_{31}=(1/g_{20})(g_{30}g_{21}-h_{30}h_{21}+h_{31}h_{20}),$ $h_{31}=(g_{30}g_{\lambda 1}-h_{30}h_{\lambda 1})h_{\lambda 0}-[(\alpha_{21}/\alpha_{30})\Gamma_1+(\alpha_{30}/\alpha_{21})\Gamma_2]g_{\lambda 0},$ $g_{21}=\{2(g_{31}g_{11}-h_{31}h_{11}-\alpha_{10}g_{32}-\alpha_{30}g_{12}+g_{20}g_{22}-h_{20}h_{22}+1)+h_{21}^2\}^{1/2},$ $h_{21}=g_{21}-\bar{\alpha}_{01}N \quad \Leftarrow \mu_2=1 \quad h_{21}=\bar{\alpha}_{01}N-g_{21} \quad \Leftarrow \mu_2=-1$ $g_{22}=(h_{22}^2+1)^{1/2},$ $h_{22}=g_{22}-\bar{\alpha}_{02}/N \quad \Leftarrow \mu_2=1; \quad h_{22}=\bar{\alpha}_{02}N-g_{22} \quad \Leftarrow \mu_2=-1$ $\mu_1=\text{Sgn}(h_{00})=\text{Sgn}(h_{40})=\pm 1, \quad N=1/(g_{20}-\mu_1h_{20}) \quad \Leftarrow \mu_1=1; \quad N=g_{20}-\mu_1h_{20} \quad \Leftarrow \mu_1=-1$	
$\bar{\alpha}_{01}=\bar{g}_{01}-\mu_2h_{01}, \quad \bar{\alpha}_{02}=\bar{g}_{02}-\mu_2h_{02}, \quad \alpha_{10}=g_{10}-\mu_2h_{10}, \quad \alpha_{30}=g_{30}-\mu_2h_{30}, \quad \alpha_{21}=g_{21}-\mu_2h_{21},$ $\alpha_{20}=g_{20}-\mu_2h_{20}, \quad \mu_2=\mu=\pm 1 \quad \Delta_1=h_{\lambda 0}g_{00}-g_{\lambda 0}h_{00}, \quad \Delta_2=h_{\lambda 0}g_{22}-g_{\lambda 0}h_{22}, \quad \Gamma_1=h_{\lambda 0}g_{40}-g_{\lambda 0}h_{40}$ $\Gamma_2=\Gamma_1, \quad h_{\lambda 0}=0.5[N-(1/N)], \quad g_{\lambda 0}=(1+h_{\lambda 0}^2)^{1/2}, \quad h_{\lambda 1}=g_{\lambda 0}h_{01}-h_{\lambda 0}g_{01},$ $g_{\lambda 1}=N(g_{01}-h_{01})+h_{\lambda 1}, \quad h_{\lambda 2}=g_{\lambda 0}h_{02}+h_{\lambda 0}g_{02}, \quad g_{\lambda 2}=1/N(g_{02}-h_{02})+h_{\lambda 2},$	

Tablo 2'den görüleceği gibi, sadece 4 toplu eleman, 2 birim elemandan oluşan band-geçiren karma elemanlı devre için, saçılma parametrelerinin açık formülleri üretilebilmiştir. Ancak, pekçok pratik empedans uydurma problemi için, açık ifadeleri elde edilen karma elemanlı yapılarla makul çözümlere ulaşılabilir. Şekil 3'te, Tablo2'de açık formülleri verilen band-geçiren karakterli karma elemanlı uyumlaştırma devre gerçeklemeleri görülmektedir.

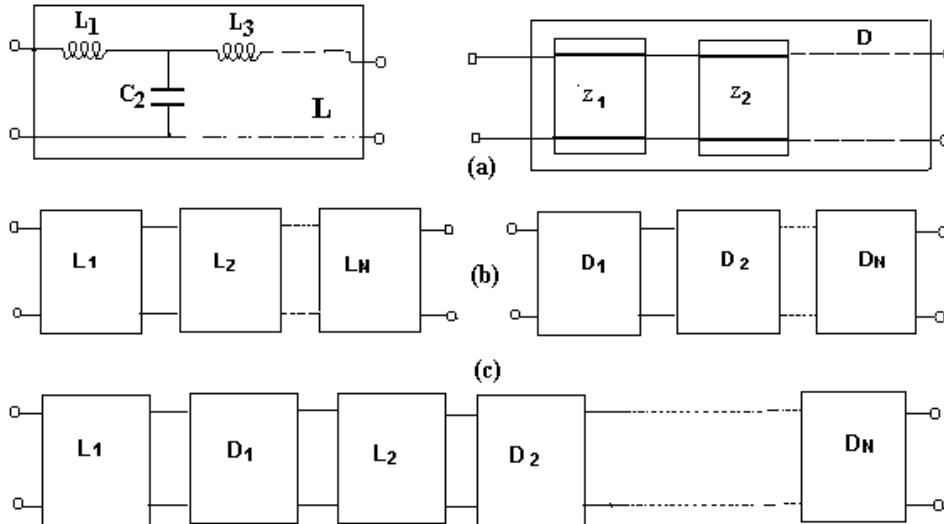


Şekil 3. 3,5 ve 6 elemanlı band-geçiren karma elemanlı devre gerçeklemeleri

Burada sunulan tekniği kısaca ifade etmek gerekirse; karma elemanlı uyumlaştırma devrelerinin tasarımı, karma yapıyı tanımlayan iki-değişkenli saçılma parametrelerinin, kısmi olarak belirlenen $h(p, \lambda)$ polinomundan üretilmesine dayanmaktadır. Daha sonra, tek değişkenli sınır koşullarının belirlendiği, tamamen keyfi ve sınırlamasız bazı katsayılar, bağımsız bilinmeyen parametreler (band-geçiren karma elemanlı yapı için, $h(p, 0)$ ve

$\tilde{a}(\lambda)$ olarak seçilip, kalan tüm $h(p,\lambda)$ ve $g(p,\lambda)$ polinom katsayılarına ait açık formüllerle birlikte, karma elemanlı iki kapılının çevrimsel güç kazancı optimize edilir. Ayrıca, Şekil 4'te görülen, Standart Ayrışım Tekniği (SAT) adı verilen yöntem kullanılarak da karma elemanlı devreyi tanımlayan iki-değişkenli saçılma parametrelerini elde etmek mümkündür.

SAT ile karma elemanlı uyumlaştırma devresi tasarımı öncesinde, basit toplu merdiven ve homojen transmisyon hatlarından oluşan dağılmış elemanlı prototiplerin karmaşıklığı (eleman sayısı) ve transmisyon sıfırları belirlenir (Şekil 4a). Daha sonra, $h(p,-)$ ve $h(-,\lambda)$ polinomları bağımsız parametre olarak seçilip, (6-12) yardımıyla $g(p,-)$ ve $g(-,\lambda)$ polinomları üretilir. Burada, $h(p,-)$, $g(p,-)$, $f(p,-)$ ve $h(-,\lambda)$, $g(-,\lambda)$, $f(-,\lambda)$ polinom kümeleri sırasıyla toplu ve dağılmış elemanlı prototipleri tanımlamaktadırlar ve (-) işareti tek-değişkenli polinomu simgeler. Cebirsel Ayrışım Tekniği kullanılarak (Şekil 4b)'deki gibi prototipler en basit formlarına ayrıştırılırlar[14]. Sonuç olarak, böylece elde edilen en basit formları istenilen sırada bağlayarak karma elemanlı devre elde edilir (Şekil 4c). Özellikle daha karmaşık ve genel karma elemanlı uyumlaştırma devreleri tasarımı, (2) denklemleri çözülmeksizin, yukarıda tanımlanan yöntem kullanılarak da yapılabilir.



Şekil 4. Standart Ayrışım Tekniği ile karma elemanlı uyumlaştırma devresi tasarımı

4. UYGULAMA

Bu bölümde, kompleks empedanslı bir kaynağı (Z_G) yine kompleks empedanslı bir yük (Z_L) normalize frekans ($0.3 \leq w \leq 1$) aralığında uyumlaştırma problemi yani ikili empedans uyumlaştırma problemi incelenmiştir. Bu amaçla, kaynak ile yük arasında tasarlanacak ikili uyumlaştırma devresi olarak, yukarıda açık formülleri verilen 4 toplu eleman, 2 birim elemandan oluşan band-geçiren karma elemanlı yapı seçilmiştir ($n_p=4, n_\lambda=2$).

Kaynak Empedansı (Z_G) : $R_G=1, L_{G1}=4, L_{G2}=0.75$;

Yük Empedansı (Z_L) : $R_L=1, L_L=0.3, C_L=2$

Burada tasarlanan ikili uyumlaştırma devresinin güç kazancı Levenberq-Marquard algoritması ile optimize edilmiştir. Optimizasyon için serbest parametre (free

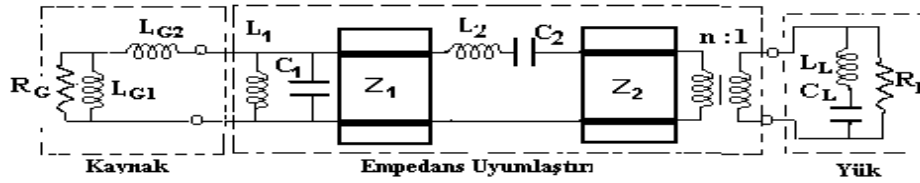
parameters) olarak, Λ_h katsayılar matrisinin 1. sütunu olan $h(p,0)$ katsayıları, hayali seçilen $\bar{h}(\lambda)$ katsayıları ve transmision hattı gecikme süresi seçilmiştir :

$$h_{00}, h_{10}, h_{20}, h_{30}, h_{40}, \bar{h}_{\lambda 1}, \bar{h}_{\lambda 2}, \tau$$

Optimizasyon sonucunda elde edilen sdaçılma matrisleri Tablo 3'te, sonuç karma elemanlı ikili uyumlaştırma devresi ve performans karakteristiği sırasıyla Şekil 5 ve 6 'da verilmiştir.

Tablo 3. Saçılma Parametreleri $h(p,\lambda)$ ve $g(p,\lambda)$ 'ya ilişkin katsayı matrisleri

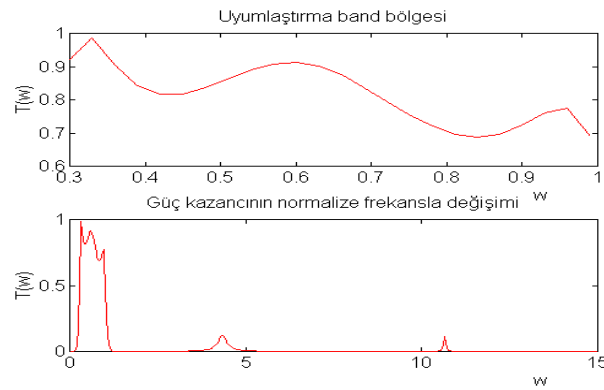
$$\Lambda_h = \begin{bmatrix} 0.2826 & 0.3224 & 0 \\ -0.2897 & 0.6209 & 1.1407 \\ 1.5560 & 1.6675 & -0.3247 \\ -1.6143 & 0.459 & 2.6361 \\ 0.2074 & 0.2366 & 0 \end{bmatrix}, \quad \Lambda_g = \begin{bmatrix} 0.2826 & 0.3224 & 0 \\ 0.656 & 1.6999 & 1.1407 \\ 2.1691 & 3.4111 & 1.0514 \\ 1.6912 & 4.23 & 2.6361 \\ 0.2074 & 0.2366 & 0 \end{bmatrix}$$



Şekil 5. Karma elemanlı ikili uyumlaştırma devresi konfigürasyonu

Tablo 4. Şekil 5'teki devrenin normalize eleman değerleri:

$$\begin{matrix} C_1=1.6736, & L_1=0.1255, & L_2=1.7248, & C_2=2.0264, \\ Z_1=1.3523, & Z_2=3.0357, & \tau=0.459, & n=1.6313. \end{matrix}$$



Şekil 6. Elde edilen uyumlaştırıcı devrenin güç kazancının $T(w)$ frekansla (w) değişimini gösteren performans karakteristiği
(a) $0.3 \leq w \leq 1$ (b) $0 \leq w \leq 15$ normalize frekans aralığı için

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yüksek frekanslı ve genişbandlı uyumlaştırma devrelerinin tasarımı için, yarı analitik yeni bir teknik sunulmuştur. Burada incelenen karma elemanlı yapılar, oldukça sınırlı devre topolojileri olmalarına rağmen, pratik genişbandlı uyumlaştırma devreleri tasarımında makul çözümler üretebilirler.

Pratik gerçekleştirme açısından, merdiven formundaki karma elemanlı yapılardaki transmision hatları, toplu elemanların bağlantı uzunlukları olarak modellenenebilir. Bu yüzden, elde edilen sonuçların, özellikle MMIC gerçekleştirilmede kullanım alanı bulabileceği ümidindeyim.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı bana öneren, her türlü desteğini esirgemeyen sayın hocam ve Işık Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. B. Sıddık YARMAN'a ve aynı üniversitede öğretim üyesi olarak bulunan kıymetli büyüğüm Prof. Dr. Ahmet AKSEN'e yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- [1] KOGA, T, 'Synthesis of a resistively terminated cascade of uniform lossless transmissions lines and lumped passive lossless two ports', IEEE Trans. Circuit Theory, vol.18, pp. 444-455, July 1971.
- [2] YOULA, D.C., RHODES J.D. and MARSTON P.C., 'Driving point synthesis of resistor terminated cascaded composed of lumped lossless two-ports and commensurate TEM lines', IEEE Trans. Circuit Theory, vol. CT-19, pp. 648-664, Nov. 1972.
- [3] RIEDERER A.J.: 'Synthesis of mixed lumped-distributed cascade networks', PhD Thesis, City College of New York, N.Y., June 1972.
- [4] SCANLAN, J.O. and BAHER, H.: 'Driving point synthesis of resistor terminated cascaded composed of lumped lossless two-ports and commensurate stubs', IEEE Trans. Circuit Syst., vol. CAS-26, pp.947-955, Nov. 1979.
- [5] YARMAN, B.S.: 'A simplified real frequency techniques for broadband matching complex generator to complex loads', RCA Review, vol.43, pp. 529-541, Sept. 1982.
- [6] YARMAN, B.S. and AKSEN, A. : 'An iterated design tool to construct lossless two-ports with mixed, lumped and distributed element', IEEE Trans. Circuit and Systems, vol. 39, pp.713-723, Sept.. 1992.
- [7] AKSEN, A.: 'Design of lossless two ports with mixed, lumped and distributed elements for Broadband Matching', PhD. dissertation, Lehrstuhl fuer Nachrichtentechnik, Ruhr- Universitaet Bochum. ,1994.
- [8] AKSEN, A.and YARMAN, B.S. : 'A semi-analytical procedure to describe lossless two-ports with mixed, lumped and distributed element', IEEE Int. Symp. On Circuit and Systems, vol. 5-6, pp.205-208, 1994.

- [9] SERTBAŞ A., 'Description of Generalized Lossless Two -Ports Ladder Networks with Two-variable', PhD. dissertation, Istanbul University, 1997.
- [10] SERTBAŞ A., YARMAN B.S.and AKSEN A.: 'Explicit two- variable description of a class of band-pass lossless two-ports with mixed, lumped elements and transmission lines', NDS-98, Poland, July 12, 1998.
- [11] SERTBAŞ A., AKSEN A. and YARMAN B.S: 'Construction of Some Classes of Two-Variable Lossless Ladder Networks with Simple Lumped Elements and Uniform Transmission Lines' IEEE Asia-Pasific Conference, Thailand, November 24-27, 1998.
- [12] YARMAN B.S., ÇİMEN E.G.,AKSEN A. and SERTBAŞ A.: 'Explicit Descriptive Equations to Construct Symmetrical Lossless Two-Ports with Mixed Lumped and Distributed Elements' First IEEE Balkan Conference on Signal Process, Communications, Circuits and Sys. Işık Univ. Campus, Maslak-İstanbul, June 2-3, 2000.
- [13] SERTBAŞ A., 'Explicit Formulas for the Construction of Some Lossless Lumped Ladders with Unit Elements by Scattering Approach', İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Journal of Electrical&Electronics, Cilt 1, Sayı 1, Sahife 49-63, 2001.
- [14] FETTWEIS A., 'Factorization of transfer matrices of lossless two-ports', IEEE Trans. Circuit theory, vol. 17, pp. 86-94, Feb., 1970.