

Dağılımı Parametrel RC Devrelerinin Ortogonal Fonksiyonlar Kullanılarak Sentezi

Dr. SÜLEYMAN PENBECİ
O.D.T.Ü.

ÖZET

Bu tebliğde üniform dağılımı parametrel RC ve RCG (kısaca \overline{URC} ve \overline{URCG}) devrelerinin ortogonal fonksiyonlar kullanmak suretiyle yaklaşık se? tezine ait bir metod taktim edilmektedir. Bu metod bütün rasyonel veya irrasyonel devre fonksiyonlarının gerçekleştirilmesine uygulanabilir. Yaklaşık gerçekleştirme işlemi, \overline{URC} ve \overline{URCG} devrelerinin toplu R ve C elemanlarıyla gösterilmesini sağlayan bir kompleks frekans değişkeni transformasyonundan sonra yapılmaktadır. Böylece bu genel sentez metodu \overline{URC} ve \overline{URCG} devrelerinin çok kısıtlı gerçekleştirme şartlarının tamamen ortadan kalkmasını sağlar. Tebliğin sonunda, -metodu aydınlatıcı mahiyette, devre giriş ve transfer fonksiyonlarının gerçekleştirilmesini gösteren örnekler verilmiştir. Bu örneklerin pratik olarak entegre devrelere de tatbiki mümkündür

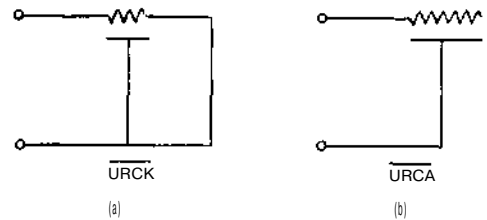
SUMMARY

In this paper an approximate synthesis method of distributed RC and RCG networks -using orthogonal functions is presented. The method is applied in a transformed complex domain in which distributed RC and RCG networks can be represented by lumped R and C elements. This method can be used for the realization of rational or irrational network functions. Examples are given to illustrate the method.

I. GİRİŞ

Dağılımı parametrel RC devrelerinin analizi bir çok araştırmacılar tarafından yapılmıştır[1-14]. Bu tebliğlerde yayınlanan neticeler daha ziyade iki uçlu üniform ve üniform olmayan dağılımı parametrel RC devrelerinin devre parametrelerinin bulunması ve bu devrelerin devamlı ve geçici cevaplarının incelenmesi üzerindedir. URC devrelerinin sentezi üzerinde de [bir kaç tebliğ yayınlanmıştır. [15-19] Bu tebliğlerde kullanılan genel metod, bir kompleks frekans değişkeni transformasyonu ile, verilen URC devre fonksiyonunu başka bir kompleks düzleme transfer ederek bir fonksiyonun rasyonel bir hale getirilmesidir. Sentez işlemi transfer edilmiş kompleks düzlemde bilinen toplu eleman sentez metodları kullanılarak yapılır. Böylece elde edilen devrede toplu elemanlar URC devre elemanları ile değiştirilerek sentez işlemi tamamlanmış olur Burada en önemli nokta, bu metodların ancak kompleks frekans değişkeninin hiperbolik fonksiyonunun rasyonel fonksiyonu olan devre fonksiyonlarına tatbik edilebilmesidir. Bu ise çok kısıtlı bir fonksiyon sınıfidır. Dolayısıyla bu metodları kullanarak \overline{URC} devrelerinin genel devre problemlerine uygulanması çok zordur. Halbuki bu tebliğdeki yaklaşık sentez metodu bütün bu kısıtlamaları orta-

dan kaldırmaktadır. Böylelikle ortogonal fonksiyonlar kullanarak \overline{URC} ve \overline{URCG} devrelerini her türlü rasyonel ve irrasyonel devre fonksiyonlarının gerçekleştirilmesinde kullanılması sağlanmaktadır.



ŞEKİL 1.

II. \overline{URC} ve \overline{URCG} DEVRELERİNİN DEVRE ELEMANI OLARAK KULLANILMASI

Birim uzunlukta dağılımı parametrel bir devrenin empedans matrisi aşağıdadır :

$$Z = Z_0 \begin{bmatrix} \text{Coth } y & \text{Cschy} \\ \text{Csch } \gamma & \text{Coth } \gamma \end{bmatrix} \quad (1)$$

Burada Z_0 , bu devrenin karakteristik empedansı ve γ da propogasyon sabitesidir \overline{URC} dev-

releri için $Z_o = \sqrt{V/cs}$, $z_y = \sqrt{Vrcs}$ ve \overline{URCG} devreleri için $Z_o = \sqrt{r/(cs+g)}$, $z_y = \sqrt{r(cs+g)}$ bağıntıları vardır. Burada r, c ve g sırasıyla toirim uzunluktaki devrenin direncini, kapasitesini ve iletkenliğini göstermektedir. \overline{URC} devresinin çıkış uçları kısa ve açık devre yapıldığında giriş empedansı, (1) numaralı bağıntıdan, sırasıyla:

$$Z_{kg} = z_o \cdot \tanh \gamma \quad (2a)$$

ve

$$z_{ga} = z_c \cdot \coth \gamma \quad (2b)$$

bulunur. Toplu RC (veya RL) devrelerine ait sentez anetodlarının, \overline{URC} devre sentezine tatbikini sağlamak için aşağıdaki transformasyon işlemleri kullanılmalıdır.

1 — Verilen F(s) devre fonksiyonu, empedans fonksiyonu ise \sqrt{s} ile, admitans fonksiyonu ise $1/\sqrt{s}$ ile çarpılır ve eğer gerilim veya akım oranı transfer fonksiyonu ise hiç değiştirilmez. Böylece elde edilen fonksiyona F₁(s) diyelim. Eğer F(s) bir \overline{URC} devre fonksiyonu ise F₁(s) de \sqrt{s} düzleminde bir dağılmış parametrelili LC devre fonksiyonudur.

2 — Frekans değişkeni üzerinde aşağıdaki transformasyonu yapalım.

$$S = \tanh b \sqrt{s} \quad (3)$$

Burada W, \overline{URC} elemanın resistans ve kapasitesinin çarpımına eşittir. Böylelikle elde edilmiş F₁(S) fonksiyonu S düzleminde bir toplu LC devre fonksiyonuna tekabül eder.

3 — Elde edilen F₁(S) fonksiyonu aşağıdaki frekans transformasyonları ile toplu RC devre fonksiyonuna çevrilir. Eğer F(s) empedans fonksiyonu ise :

$$F_1(p) = \int_S P(S) \Big|_{S^2 = p}$$

eğer admitans fonksiyonu ise :

$$F_2(p) = S F_1(S) \Big|_{S^2 = p} \quad (4)$$

ve eğer gerilim veya akım oranı transfer fonksiyonu ise :

$$F_2(p) = F_1(S) \Big|_{S^2 = p}$$

(2a) ve (2b) numaralı eşitliklerden p-düzleminde R değerindeki bir direnç ve C değerindeki bir kapasite S düzleminde Şekil: 1 de görüldüğü gibi sırasıyla kısa ve açık devreli \overline{URC} devrelerine (kısaca \overline{URCK} ve \overline{URCA}) tekabül eder. Burada $\sqrt{r/c} = R$ ve $\sqrt{c/r} = C$ eşitlikleri vardır. Eğer devre fonksiyonu F(s) in \overline{URC} devreleriyle gerçekleştirilmesi mümkünse, yani s'in hiperbolik fonksiyonunun rasyonel fonksiyonu ise bu durumda sentez işlemi F₂(p) fonksiyonunun toplu

RC devreleriyle gerçekleştirilmesi ve toplu R ve C elemanlarının \overline{URCK} ve \overline{URCA} elemanlarıyla değiştirilmesinden ibarettir. Fakat genellikle F(s) bir \overline{URC} devre fonksiyonu değildir ve dolayısı ile F₂(p) fonksiyonunun toplu RC devreleriyle tam olarak gerçekleştirilmesi imkânsızdır. Halbuki eğer F₂(p) fonksiyonu bir sonraki kısımda gösterilen uygun ortogonal fonksiyonlarla yaklaşık olarak hesaplanırsa elde edilen F₂(p) toplu RC elemanlarıyla gerçekleştirilebilir.

\overline{URCG} devreleri için yapılacak transformasyonlar önce kompleks frekansın $-g/c$ kadar kaydırılması ile başlar. Geri kalan işlemler \overline{URC} devreleri için anlatılan şekildedir.

IV. KOMPLEKS DÜZLEMDE BİR FONKSİYONUN ORTOGONAL FONKSİYONLAR KULLANARAK YAKLAŞIĞI HESAPLANMASI

İlk önce ortogonal fonksiyonların reel düzlemdeki tanımından başlayarak kompleks düzlemdeki tanımını elde edelim.

Tanım : Bir reel t değişkeninin fonksiyonlarından meydana gelen [f_j(t)] grubunu ele alalım. Bu grubun elemanları arasında :

$$\int_0^{\infty} f_j(t) \cdot f_k(t) dt = \begin{cases} 1 & \text{eğer } j = k \\ 0 & \text{eğer } j \neq k \end{cases} \quad (5)$$

bağıntısı varsa, bu fonksiyonlara ortogonal fonksiyonlar denir. Eğer f₁(t), f₂(t) ve f₁(t).yt fonksiyonlarının Laplace transformları varsa, Parseval teoreminden :

$$\int_0^{\infty} f_j(t) \cdot f_k(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{c-icT}^{c+icT} \hat{F}_j(s) \cdot \hat{F}_k(s) ds$$

bağıntısı elde edilir. Burada $Re s > c_1$ için $F_1(s) = \mathcal{L}[f_1(t)]$, $Re s > c_2$ için $F_2(s) = \mathcal{L}[f_2(t)]$ ve $C_j = S c = S C_j$ bağıntıları vardır. Buna dayanarak ortogonal fonksiyonların kompleks düzlemdeki tanımı aşağıdaki şekli alır.

Tanım: Bir kompleks s değişkeninin fonksiyonlarından meydana gelen [$\hat{F}_j(s)$] grubunu ele alalım. Bu grubun elemanları arasında :

$$\int_{c-i\infty}^{c+i\infty} \hat{F}_j(s) \cdot \hat{F}_k(s) ds = \begin{cases} 1 & \text{eğer } j = k \\ 0 & \text{eğer } j \neq k \end{cases} \quad (7)$$

bağıntısı varsa bu fonksiyonlara ortogonal fonksiyonlar denir. Biz bu tebliğde, aşağıda tanım-

ladığımız ÜRC devre sentezine uygun bir kısım ortogonal fonksiyonlar* kullanacağız.

Tamın : Uygun Ortogonal Fonksiyonlar :

Eğer bir ortogonal fonksiyonun laplace transformu (1) kompleks frekansın reel katsayılı rasyonel fonksiyonu ise ve (2) kutupları kompleks frekans düzleminin, yalnız sol yansındaysa bu fonksiyonların meydana getirdiği guruba uygun ortogonal fonksiyonlar gurubu denir. Yalnız negatif reel veya yalnız imajiner kutupları olan uygun ortogonal fonksiyonlara da sırasıyla uygun RC veya uygun LC ortogonal fonksiyonlar diyeceğiz.

Şimdi uygun RC ortogonal fonksiyonlarını inceleyelim. Bu fonksiyonların kutupları negatif reel eksen üzerinde olduğundan toplu R ve C sentez teknikleri kullanarak gerçekleştirilmeleri mümkündür. Aşağıda bu fonksiyonlara üç örnek vereceğiz.

a) Legendre fonksiyonları :

$$P_n(v) = \frac{1}{2^n n!} \frac{d^n}{dv^n} (v-1)^n \quad (8)$$

burada v yerine $v = e^{-ax}$ bağıntısı ile x değişkenini kullanarak uygun Legendre fonksiyonlarını tarif edelim :

$$e_n(x) = P_n(e^{-ax}) \quad (9)$$

b) Jacobi fonksiyonları :

$$J_n(p, q, x) = \frac{v^{1-q} (1-v)^{q-p}}{2^n n!} \frac{d^n}{dv^n} v^{q+n-1} \quad (10)$$

ve uygun Jacobi fonksiyonları:

$$g_n(x) = (-1)^n \sqrt{2a(n+1)} e^{-ax} J_n(2, 2, e^{-ax})$$

c) Laguerre fonksiyonları :

$$L_n(v) = e^v \frac{d^n}{dv^n} \left(\frac{v^n}{n!} e^{-v} \right) \quad (11)$$

tadil edilerek :

$$g_n(x) = e^{-ax} L_n(ax) \quad (12)$$

uygun laguerre fonksiyonları elde edilir. Bu fonksiyonların laplace transformları aşağıdaki şekildedir.

a) Uygun Legendre fonksiyonları :

$$G_n(p) = \frac{1}{p}$$

$$G_n(p) = \frac{(p-a)(p-3a) \dots [p-(2n-1)a]}{p(p+2a)(p+4a) \dots (p+2na)} \quad (13)$$

b) Uygun Jacobi fonksiyonları :

$$G_n(p) = (-1)^n \sqrt{2a(n+1)} \dots$$

$$\int_{m=0}^n \frac{C_{mn}}{p+(m+1)}, \quad m=1, 2, \dots, n \quad (14)$$

ve :

$$C_{mn} = (-D)^n \frac{(m+n+1)! n!}{m! (n-m)! (m+1)! (n+1)!}$$

c) Uygun Laguerre fonksiyonları :

$$G_n(p) = \frac{p^n}{(p+a)^{n+1}}, \quad n=0, 1, 2, \dots \quad (15)$$

Verilen $F_2(p)$ fonksiyonunun bu RC uygun ortogonal fonksiyonlar cinsinden ifadesi, yani :

$$F_2(p) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n G_n \quad (16)$$

mümkündür. Burada katsayılar aşağıdaki bağıntılardan bulunabilir.

a) Tadil edilmiş Legendre fonksiyonları için:

$$C_0 = P_2(a)$$

$$C_n = \frac{(2n+1)(2n+3) \dots (4n+1)}{2n(2n-2) \dots 2} F_2[(2n+1)a]$$

$$\frac{(2n-1)(2n+1) \dots (4n-3)(4n+1)}{(2n-2)(2n+4) \dots 2X4} F_2[(2n-1)a]$$

$$+ \frac{(2n-3)(2n+1) \dots (4n+1)}{(2n-4) \dots 2X2x4} F_2[(2n-3)a]$$

$$\frac{1x3x \dots (4n+1)}{2X4x \dots X2n} F_2(a) \quad (17)$$

$n=1, 2, \dots$

b) Tadil edilmiş Jacobi fonksiyonları için :

$$C_n = (-1)^n \sqrt{2a(n+1)} \sum_{m=0}^n C_{mn} F_2[(m+1)a] \quad (18)$$

$$C_n = (-1)^n \sqrt{2a(n+1)} \sum_{m=0}^n C_{mn} F_2[(m+1)a]$$

c) Tadil edilmiş Laguerre fonksiyonları için:

$$C_n = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} b_{n-i} \quad (19)$$

Burada $b_n, F_2(p)$ fonksiyonunun $p=0$ noktası etrafında Taylor Serisi açılım katsayılarıdır.

Şimdi $f_2(x) = X^{-1} [F_2(p)]$ bağıntısından ve (16) numaralı eşitlikten :

$$f_2(x) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n g_n(x) \quad (20)$$

Bağıntısını yazabiliriz $G_n(p)$ fonksiyonlarının kutupları p -düzleninin sol yansında kaldığından $g_n(x)$ fonksiyonları kozal fonksiyonlardır. (20) numaralı eşitliğin doğru olabilmesi $f_2(x)$ fonksiyonunda kozal ve L_2 fonksiyon gurubuna * dahil olması şarttır. Bu şartın yerine gelmesi için $f(t) = \mathcal{L}^{-1}[F(s)]$ fonksiyonunun kozal ve L_2 fonksiyon gurubuna dahil olması kâfidir Başka bir deyişle verilen $F(s)$ fonksiyonunun gerçekleştirilebilir devre fonksiyonu olması gerekir. Entegral-kare-hata (EKH) şöyle tanımlanabilir :

$$EKH = \int_0^{\infty} [f_2(x) - f_v(x)]^2 dx \quad (21)$$

Burada $f(x)$ istenen fonksiyon ve $f_v(x)$ ise $f(x)$ 'e yaklaşık olarak bulunan fonksiyondur. Şimdi $f(x)$ fonksiyonunu ortogonal fonksiyonlarla açınım yapalım. Gösterilebilir ki [20] bu açınımın sınırlı sayıdaki terimleri alınır $f_v(x)$ olarak kullanılırsa, optimum EKH elde edilmiş olur. Yani $f(x)$ in ihtiva ettiği terimlerin sayısı arttıkça EKH küçülür. Ayrıca bu durumda kompleks düzlemde de EKH'nin optimum olduğu Lee [24] tarafından gösterilmiştir.

IV. ÜRC ve ÜBCG Bt.EMANLABI KULANARAK DEVRE SENTEZİ

$F_2(p)$ fonksiyonunun tadil edilmiş Legendre ve Jacobi fonksiyonlarıyla açınımından elde edilen yaklaşık fonksiyon aşağıdaki şekilde yazılabilir :

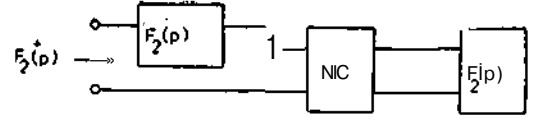
$$F_2(p) = \left[\prod_{i=0}^{N^+} \frac{A_i^+}{P+a_i} \right] - \left[\prod_{j=0}^{N^-} \frac{A_j^-}{P+a_j} \right] = [F^+(p)] - [F^-(p)] \quad (22)$$

Burada A^+ , $A^- \rightarrow a$, ve a negatif olmayan reel sabitelerdir. Eğer $F_2(p)$ bir giriş empedans fonksiyonu ise Şekil 2 (a) da görülen aktif RC devresyle, eğer admitans fonksiyonu ise Şekil 2(b) deki devre ile gerçekleştirilebilir.

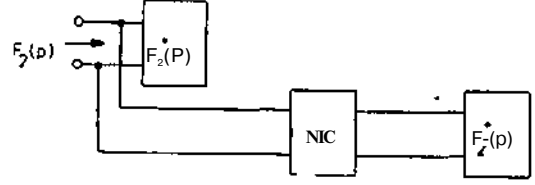
ÖRNEK 1. Giriş Empedans Fonksiyonu Gerçekleştirilmesi :

Şimdi bu metodu, üçüncü dereceden bir Buttenworth filtresinin giriş empedansı olarak gerçekleştirilmesine tatbik edelim. Empedans fonksiyonu :

* L_2 fonksiyon gurubu, $(0, \infty)$ arasında karelerinin Lebesgue entegrali bulunan reel kıymetli fonksiyonlardan meydana gelir.



(a)



(b)

ŞEKİL 2

$$Z(s) = \frac{1}{33 + 232s + 2s^2} \quad (23)$$

üzerinde II. kısımdaki transformasyon işlemlerini yaparsak :

$$F_2(p) = \frac{\tanh^{-1} \sqrt{p}}{1} \quad (24)$$

1

$$(\tanh^{-1} \sqrt{p})^4 + 2(\tanh^{-1} \sqrt{p})^2 + 1$$

elde ederiz. Burada b değeri 1 olarak alınmıştır. (13) numaralı bağıntıda görüldüğü üzere tadil edilmiş Legendre fonksiyonlarının $p=0$ noktasında birer kutupları vardır. Halbuki $Z(s)$ bir alçak geçiren filtre olduğundan bu kutupun kaldırılması lâzımdır. Bunun için (24) numaralı eşitliğin her iki tarafı kompleks frekans p ile bölünür. Elde edilen $F_2(p)/p$ fonksiyonunun tadil edilmiş Legendre fonksiyonlarıyla açınımının ilk altı terimi aşağıda gösterilmiştir :

$$\begin{aligned} F_2(p) &= \frac{0.91}{P} - \frac{0.44(p-0.55)}{P(p+0.11)} \\ &= \frac{0.692(p-0.55)(p-0.165)}{p(p+0.11)(p+0.22)} \\ &+ \frac{0.643(p-0.55) \dots (p-0.385)}{p(p-0.11) \dots (p+0.33)} \\ &+ \frac{0.004(p-0.055) \dots (p-0.495)}{p(p+0.11) \dots (p+0.44)} \\ &+ \frac{1.208(p-0.55) \dots (p-0.605)}{p(p+0.11) \dots (p+0.55)} \\ &+ \frac{1.958(p-0.55) \dots (p-0.715)}{p(p+0.11) \dots (p+0.66)} \end{aligned} \quad (25)$$

Burada $a=0.55$ ve $n=6$ olarak alınmıştır. $F(p)/p$ ve $F(p)/p$ fonksiyonlarının değerleri p değişkeninin 0.1 den 0.9 a kadar reel kıymetleri için aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo : 1

p	$\frac{F_1(p)}{p}$	$\frac{F_2(p)}{p}$	p	$\frac{F_2(p)}{p}$	$\frac{F_2(p)}{p}$
0.1	8.3662	8^3342	0.3	0.3358	0.3358
0.2	3 3993	3 4002	0.7	0.1816	0.1816
0.3	1.7844	1.7843	0.8	0.0879	0 0877
0.4	1.0151	10151	0.9	0 0323	0.0320
05	0 5888	0 5888			

Bu tabloda görüldüğü gibi p düzleminde yaklaşık fonksiyonla original fonksiyon değerleri arasındaki fark çok azdır. Şimdi (25) numaralı denklemde verilen $F_2(p)$ fonksiyonunu (22) numaralı bağıntıdaki şekle uygun yazalım :

$$F_2(p) = \left[2.298 + \frac{2.2}{p+0.11} + \frac{501}{p+0.33} + \frac{1920}{p+0.55} \right] - \left[\frac{65}{p+0.22} + \frac{878}{p+0.44} + \frac{859}{p+0.66} \right] \quad (26)$$

$$= F_2^+(p) - F_2^-(p)$$

$F_2(p)$ fonksiyonunun toplu RC elemanlarıyla gerçekleştirilmesi 3(a) şeklinde gösterilmiştir. Bu s düzleminde gene 3. şekilde gösterilen URC d?v-resine tekabül eder. (22) numaralı eşitlikteki $F_2(p)$ ve $F_2^-(p)$ fonksiyonları Foster merdiven tipinde gerçekleştirilmiştir. Bunun avantajı, iki tabakalı dağılmış parametrelili devreler kullanıldığında çok az bir saha kaplaması ve dolayısıyla ekonomik oluşudur. Verilen $Z(s)$ fonksiyonu ile yaklaşık olarak gerçekleştirilen $Z(s)$ fonksiyonlarının genlik ve faz eğrileri 4. Şekilde gösterilmiştir.

ÖRNEK 2. Transfer Admitans Fonksiyonu Gerçekleştirilmesi :

Bir Gaussian [26] filtrenin frekans karakteristiği :

$$H(j\omega) = A_0 e^{-a\omega^2} e^{-j\omega t_0}$$

olup genlik ve faz eğrileri 5. Şekilde verilmiştir. Bizden bu filtrenin transfer admitans devre fonksiyonu olarak gerçekleştirilmesinin istendiğini ve $a=1$, $t_0=30$, $A_0=1$ verildiğini kabul edelim. Devre fonksiyonu :

$$-y_{12} = \frac{e^{-s^2}}{e^{30s}} \quad (27)$$

şeklinde yazılabilir, n . kısımda gösterildiği gibi gerekli transformasyonlar yapıldıktan sonra :

$$F_2(p) = \frac{\exp [(\tanh^{-1} \sqrt{p})^4]}{\sqrt{p} \tanh^{-1} \sqrt{p} \exp 30 (\tanh^{-1} \sqrt{p})^2} = F_2^- \quad (28)$$

fonksiyonu elde edilir. Bu fonksiyonun tadil edilmiş L'-gendre fonksiyonları ile açılımı aşağıdadır :

$$F_2(p) = \frac{0.736 \cdot 0.853(p-0.01)}{p(p+0.02)} - \frac{0.316(p-0.01)(p-0.03)}{p(p+0.02)(p+0.04)} + \frac{0.471(p-0.01)(p-0.03)(p-0.05)}{p(p+0.02)(p+0.04)(p+0.06)}$$

Burada $n=3$ ve $\epsilon=0.01$ olarak alınmıştır. Bu fonksiyonu (22) numaralı eşitlikteki şekle uygun yazarsak :

$$F_2(p) = \left[\frac{0.897}{p} + \frac{2.999}{p+0.02} + \frac{6.80?}{p+0.06} \right] - \left[\frac{10.661}{p+0.04} \right] \quad (29)$$

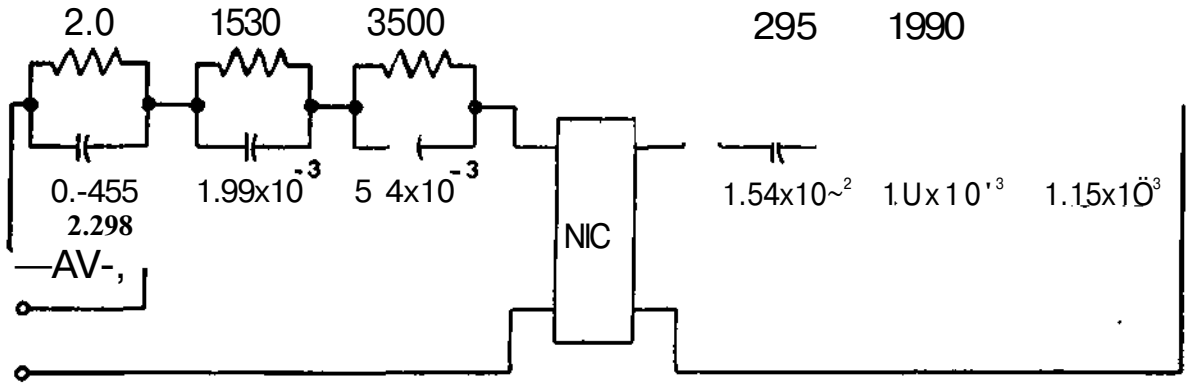
elde ederiz. Bu bir toplu RC admitans transfer fonksiyonudur ve bir negatif empedans konvertörü (NIC) kullanılarak gerçekleştirilmesi Şekil (6 a) da gösterilmiştir, s düzleminde $-y_{12}(s)$ fonksiyonunun URC 'elemanlarıyla gerçekleştirilmesi ise şekil (6 b) de gösterilmiştir. Bu fonksiyonun ve istenen orijinal $-y_{12}(s)$ fonksiyonların genlik ve faz eğrileri 7. Şekildedir. Ayrıca bu eğriler $n=4$ ve $n=5$ değerleri için de verilmiştir. Görüldüğü üzere n 'in değeri yani gerçekleştirilmede kullanılan eleman sayısı arttıkça eğriler orijinal $-y_{12}(s)$ eğrisine yaklaşmakta ve hata azalmaktadır.

Yukarda verilen gerçekleştirme metodları tadil edilmiş Jacobi ve Laguerre fonksiyonları ile de uygulanabilir. Laguerre fonksiyonları için verilen fonksiyonun II. kısımda gösterildiği gibi transformasyonundan sonra elde edilen $F_2(p)$ fonksiyonunun $p=0$ noktası etrafında Taylor serisi açılımı mümkün olmalıdır. Şimdi buna bir örnek verelim :

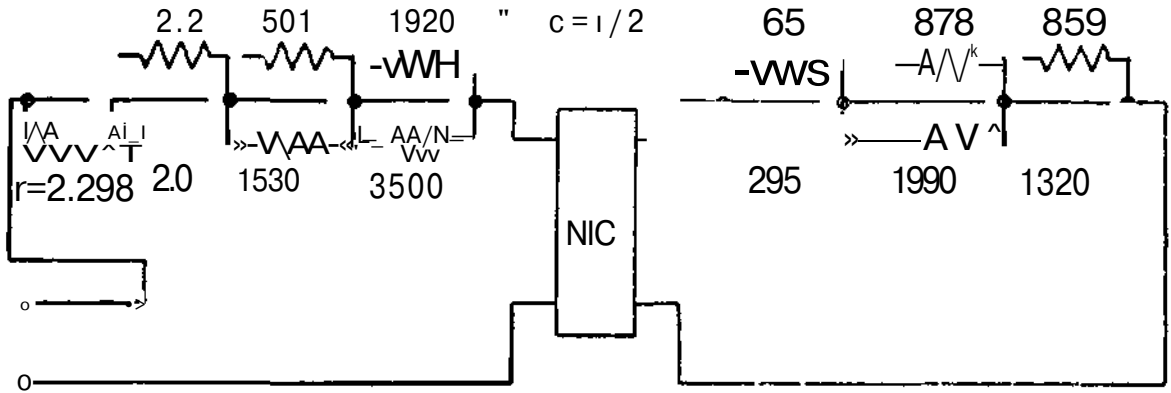
ÖRNEK 3. Gerilim Oranı Transfer Fonksiyonu Gerçekleştirilmesi :

Gerçekleştirilmesi istenen fonksiyon :

$$G_{12}(s) = \frac{7.84 \times 10^{-8}}{(\tan \nu \sqrt{s + 0.16})^2} \quad (30)$$



(a)



(b)

ŞEKİL 3}

olsun. n. kısımdaki transformasyonları tatbik edersek:

$$F_2(p) = - \frac{7.84 \times 10^{-8}}{(p+0.16)^{1/2}} \quad (31)$$

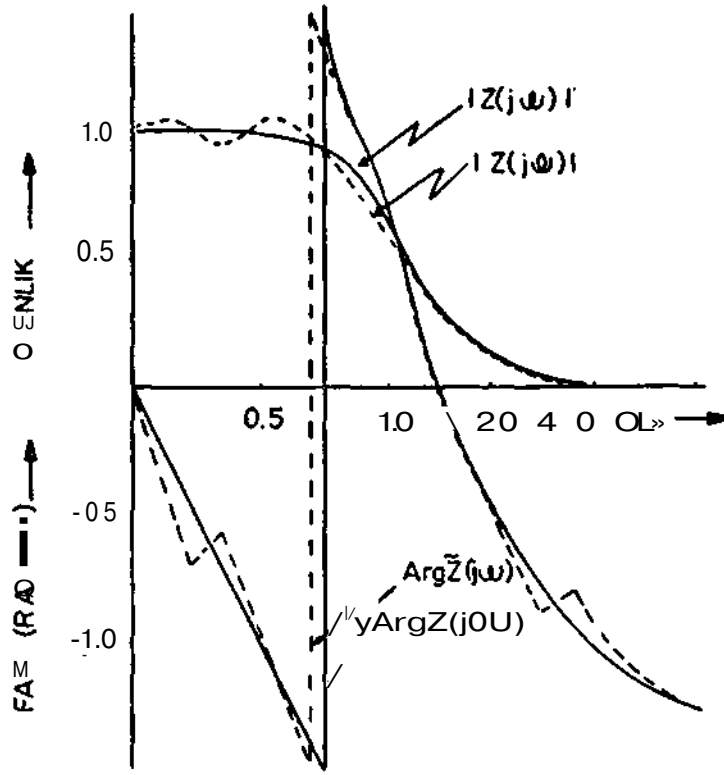
elde ederiz. Bu fonksiyonun Laguerre fonksiyonlarıyla açılımı yapılırsa:

$$F_2(p) = \frac{1.704}{p+0.4} + \frac{3.15p}{(p+0.4)^2} + \frac{0.205p^2}{(p+0.4)^3} + \frac{2.075p^3}{(p+0.4)^4} + \frac{0.38p^4}{(p+0.4)^5} + \frac{0.53ps}{(p+0.4)^6} + \frac{0.754p^7}{(p+0.4)^7} + \frac{0.474p^7}{(p+0.4)^6} + \frac{0.193p^8}{(p+0.4)^8} + \frac{0.0p^9}{(p+0.4)^9} \quad (32)$$

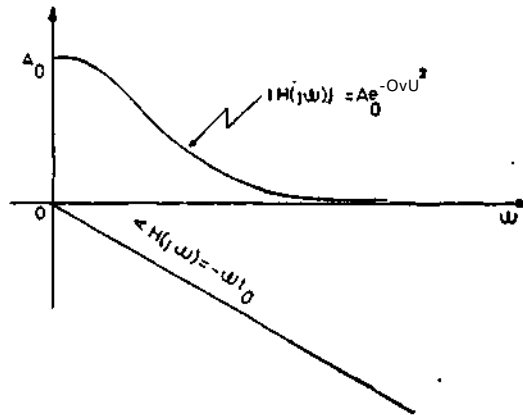
elde edilir. Burada $a = 0.4$ ve $n = 9$ olarak alınmıştır. Bu fonksiyonun gerçekleştirilmesi 8. Şekilde gösterilmiştir. Şekilde A, ve B blokları operasyonel amplifikatörlere tekabül eder. Bunlardan B'ler ayırım (fourier) amplifikatörleri olup kazançları birdir. Kolaylıkla gösterilebilir ki n'inci ayırım amplifikatörünün girişinde voltaj oranı $pV(p+0.4)^{n+1}$ dir. Orjinal fonksiyonun Laguerre fonksiyonuyla açılım katsayıları, A operasyona! amplifikatörlerinin kazançları olarak alınmıştır.

V. SONUÇ

Giriş ve transfer devre fonksiyonlarının ÜRC ve ÜRCG devre elemanları kullanarak yaklaşık sentezi incelendi. Görüldü ki bu yaklaşık metod ÜRC devrelerinin gerçekleştirilmesindeki kısıt-



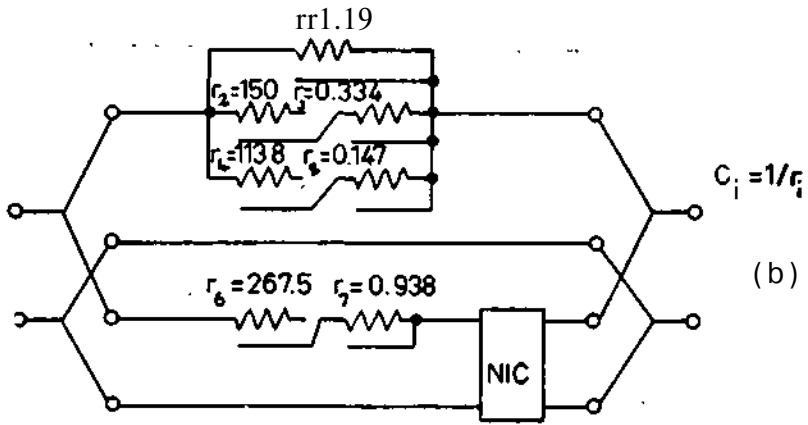
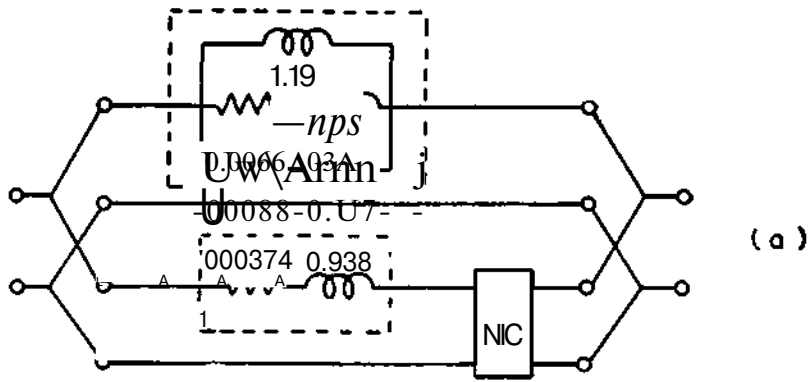
SEKİL 4



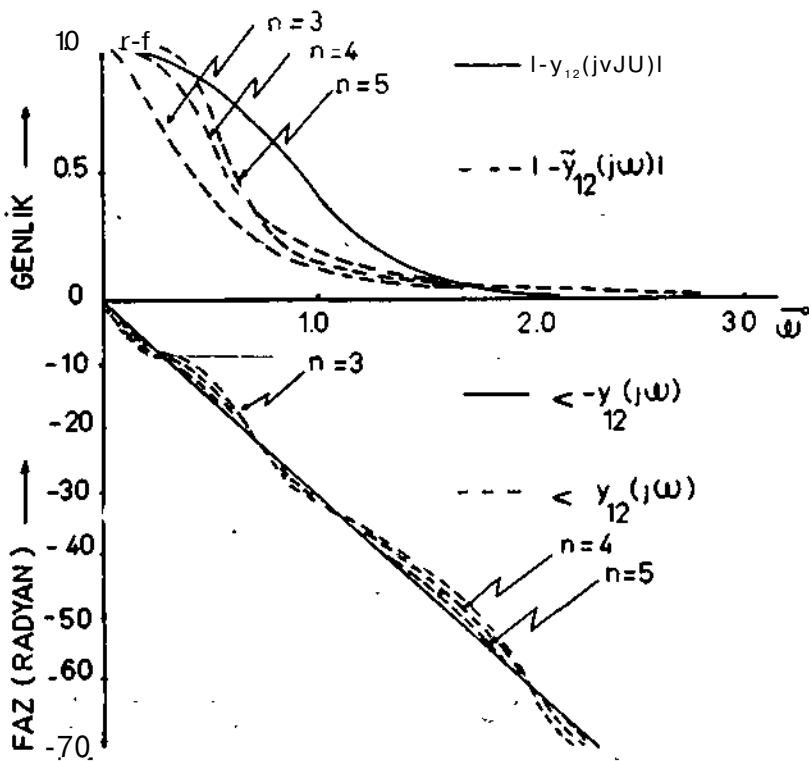
ŞEKİL 5

lamaları ortadan kaldırarak bu devrelerin pratik birçok sentez probleminde kullanılmasını sağlamaktadır. Ayrıca bu metod çok genel olup bü-

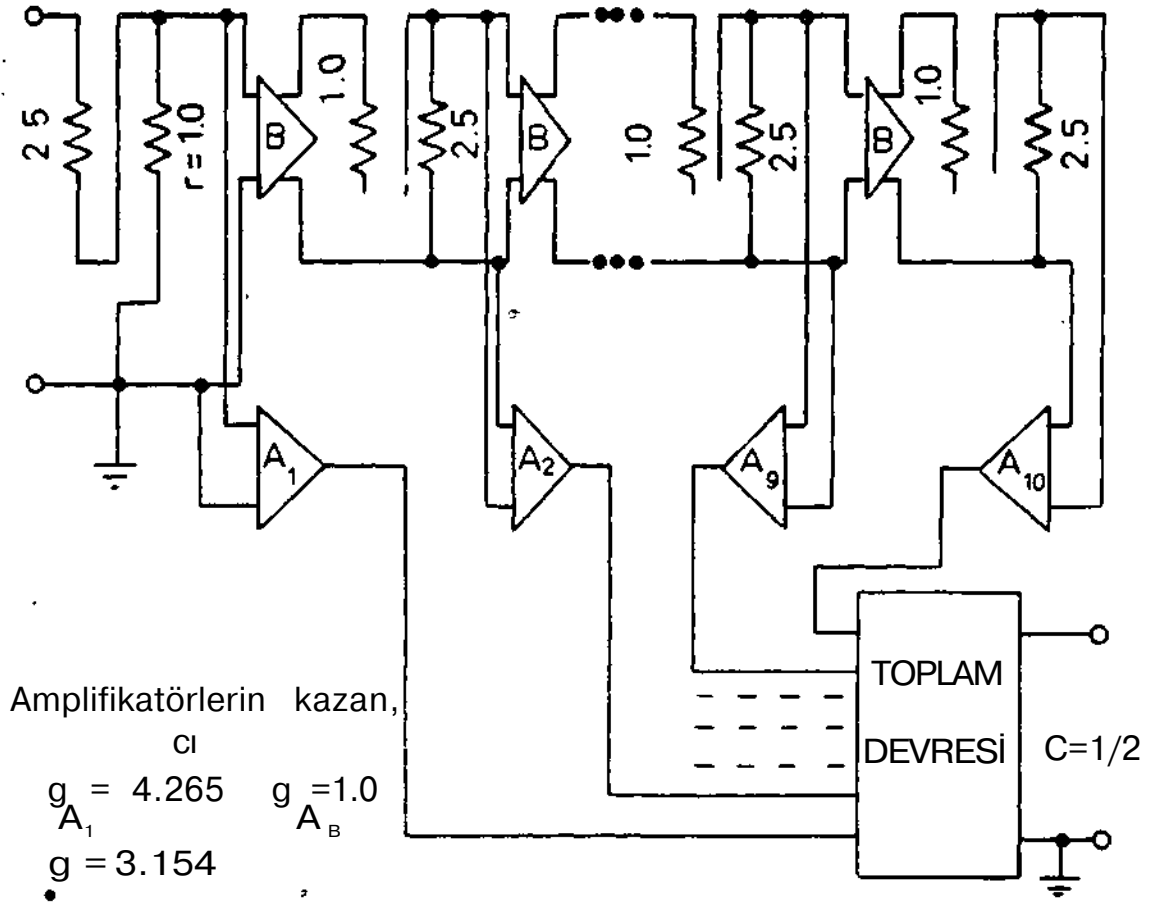
tün rasyonel ve irrasyonel devre fonksiyonlarına tatbik edilebilir. Tebliğde bu husus çeşitli sentez örnekleriyle aydınlatılmıştır.



ŞEKİL 6



ŞEKİL 7.



Amplifikatörlerin kazanç,

$$g_{A_1} = 4.265 \quad g_{A_B} = 1.0$$

$$g = 3.154$$

$$\dots$$

$$g_e = -0.193.$$

$$g_{A_9} = -0.04$$

$$g_{A_{10}} = -0.04$$

ŞEKİL 8.

BİBLİYOGRAFYA

- [1] W. Happ and P. Castro, «Distributed parameter circuits and microsystems electronics», **Proc 1960 Nat'l Electronics Conf.** vol. 16, pp. 448 - 460.
- [2] M. J. Hellstrom, «Equivalent distributed RC networks or transmission lines», **IRE Tran. Circuit Theory**, vol. CT-9, pp. 247-251, September 1962.
- [3] K. N. Heizer, «Distributed RC networks with rational transfer functions», **IRE Trans. Circuit Theory**, vol. CT-9, pp. 356-362, December 1962.
- [4], «Rational parameters with distributed networks», **IEEE Trans. Circuit Theory (Correspondence)**, vol. CT-10, pp. 531-532, December 1963.
- [5] R. E. Parkin, «Approximations to the equations describing distributed RC network», **IEEE Trans. Circuit Theory (Correspondence)**, vol. CT-12, pp. 598-601, December 1965.
- [6] W. M. Kaufman and S. J. Carret, «Tapered distributed filters», **IRE Trans. Circuit Theory**, vol. CT-9, pp. 329 - 336, December 1962.
- [7] K. L. Su, «The trigonometric RC transmission lines», **1963 IEEE Internat'l Conv. Rec.** pt. 2, pp. 43 - 55
- [8] M. S. Chaus and G. J. Herskowitz, «The transient response of tapered distributed RC networks», **IEEE Trans. Circuit Theory**

- ory (Oorrespondence), vol. CT- 10, pp. 443-445, September 1963.
- [9] S. C. Dutta Roy, «Some exactly solvable nonuniform RC lines», IEEE Trans. Circuit Theory (Correspondence), vol. 12, pp. 141 - 142, March 1965.
- [10] K. L. Oehler and W. C. Duysterhoeft, Jr., «A graphical design for exponentially tapered RC circuits», IEEE Trans. Circuit Theory (Correspondence), vol. CT-12, pp. 288 - 290, June 1965.
- [11] L. Gruner, «The steady - state characteristics of nonuniform RC distributed networks and lossless lines», IEEE Trans. Circuit Theory, vol. CT - 12, 241 - 247, June 1965.
- [12] J. J. Kely and M. S. Chausl, «Tapered distributed RC networks with similar immittances», IEEE Trans. Circuit Theory, vol. CT-12, pp. 554 - 558, December 1965.
- [13] E. N. Protonotarios and O. Wlng, «Theory of nonuniform RC lines, Parts I and II», IEEE Trans. Circuit Theory, vol. CT-14, pp. 2 - 20, March 1967.
- [14], «Computation of the step response of general nonuniform RC distributed network», IEEE Trans. Circuit Theory (Correspondence), vol. CT-14, pp. 219-221 June 1967.
- [15] R. W. Wyndrum, Jr., «The exact synthesis of distributed RC networks», Dept. of Elec. Engrg., New York University, New York, Tech. Rept. 400 - 76, May 1963.
- [16] R. p. O'Shea, «Synthesis using distributed RC networks», IEEE Trans. Circuit Theory, vol. CT-12, pp. 546-554, December 1965.
- [17] J. J. Stein, J. H. Mullgan, Jr., and S. S. Shamis, «Realizability of transfer functions using uniform RC distributed networks with common ground connections», Dept. of Elec. Engrg., New York University, New York, Tech. Rept. 400-140, June 1966.
- [18] J. O. Scanlan and J. D. Rhodes, «Realizability and synthesis of a restricted class of distributed RC networks», IEEE Trans. Circuit Theory, vol. CT-12, pp. 577 - 585, December 1965.
- [19] J. D. Rhodes, «Transfer function realizability of grounded \overline{URC} networks», IEEE Trans. Circuit Theory, vol. CT -14, pp. 129-139, June 1967.
- [20] R. Courant and D. Hilbert, Methods of Mathematical Physics, vol. 1. New York : Interscience, 1953.
- [21] V. O. Mowery, «On hypergeometric functions in iterated networks», IEEE Trans. Circuit Theory, vol. CT -11, pp. 232 - 246, June 1964.
- [22] A. Papoulis, «A new method of inversion of Laplace transform», Quart. App. Math., vol. 14, pp. 405-416, 1956.
- [23] H. L. Armstrong, «On the representation of transients by series of orthogonal functions», BRE Trans. Circuit Theory, vol. CT-6, pp. 351-354, December 1959.
- [24] Y. W. Lee, Statistical Theory of Communications., New York : Wiley, 1960.
- [25] S. Seshu and N. Balabanian, Linear Network Analysis., New York : Wiley, 1959.
- [26] A. Papoulis, The Fourier Integral and Its Applications., New York McGraw Hill, 1962, p. 004.



(E. M. — 437)