

# ULTRASONİK DÖNÜŞTÜRÜCÜLER İÇİN GENİŞ BANDLI UYUMLAŞTIRICI TASARIMI

Ebru Gürsu ÇİMEN<sup>1</sup>

Ali KILINÇ<sup>2</sup>

Sıddık B. YARMAN<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Işık Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü,  
Büyükdere Cad., 34398, Maslak, İstanbul

<sup>3</sup> İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü,  
Avcılar-İstanbul

<sup>1</sup>e-posta: [ebru@isikun.edu.tr](mailto:ebru@isikun.edu.tr)

<sup>2</sup>e-posta: [akilinc@isikun.edu.tr](mailto:akilinc@isikun.edu.tr)

<sup>3</sup>e-posta: [yarman@istanbul.edu.tr](mailto:yarman@istanbul.edu.tr)

*Anahtar sözcükler: Ses Ötesi Dönüştürücüler, Uyumlaştırıcı Tasarımı, Reel Frekans Tekniği*

## ÖZET

*Bu çalışmada, seramik sesötesi dönüştürücüler (ultrasonic transducer) için genişbantlı empedans uyumlaştırıcı devresinin Reel Frekans Tekniği kullanılarak tasarımı açıklanmıştır. Bu yöntemin önemi, sesötesi dönüştürücüler için daha önce kullanılan yöntemlerden daha yüksek verim sağlaması ve transformatörsüz bir devre üretmesidir. Açıklanan yöntem bir örnek uygulama ile gösterilmiştir.*

## 1. GİRİŞ

Sesötesi dönüştürücüler günümüzde sesötesi ve su altı haberleşmesi, okyanus araştırmaları, hassas temizleme gibi birçok sistemlerde uygulama alanları bulmaktadır. Bu uygulamalarda kullanılan gücün yüksek düzeyde olması nedeniyle verim oldukça önem kazanmakta, dolayısıyla kaynak ile dönüştürücü arasındaki empedans uyumlaştırma işleminin önemi artmaktadır. Bu amaçla daha önceki çalışmalarda, bantgenişliği yeterince arttırılmadığından uyumlaştırma işlemi, her çalışma frekansına özel devre ve bunları birleştiren bir anahtar ile yapılmaktaydı. Elde edilen çözümlerin transformatör kullanımını gerektirmesi, bantgenişliği ve elde edilen verimin günümüzdeki uygulamalar için yetersiz kalması ses ötesi dönüştürücülerin uyumlaştırma problemini günümüze kadar taşımıştır. [1-2].

Literatürde, bu problemin güçlüğü analitik yöntemlerle irdelenmiş ve *Reel Frekans Teknikleri* diye adlandırılan, yarı analitik bilgisayar destekli geniş bantlı devre tasarım yöntemleri önerilmiştir. Analitik yaklaşımlarda yük ve kaynak için devre yapılarının ya da açık ifadelerinin bilinmesi gerekir. Oysa pratikte yük ve kaynak için veri olarak elimizde reel frekanslarda ölçülmüş deneysel veriler bulunur. Bu durumda problemin çözümüne uygun şekilde yük ve kaynak için eşdeğer devre modelini kurmak gerekir

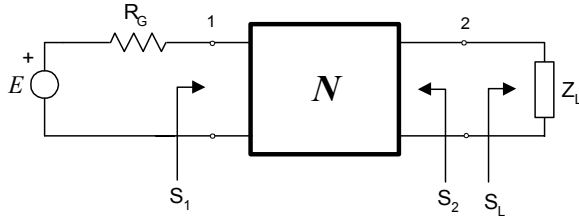
[1],[3]. Analitik yöntemlerdeki bir diğer zorluk da kazanç ifadesinin önceden seçilmesidir. Kazanç ifadesi yük verilerini de içerecek şekilde analitik olarak seçilir. En büyük zorluk da devre topolojisinin seçimidir. Kısacası tamamen nümerik yöntemler olan analitik yaklaşımlarla uyumlaştırma devresi tasarımında pekçok problem ile karşı karşıya kalınır.

1977 yılında Carlin “*Reel Frekans Tekniği*” olarak adlandırılan yarı analitik yeni bir metod önermiştir [4]. Bu metotta analitik yöntemlerdeki gibi yük ve kaynağa ait model oluşturmaya gerek yoktur, sayısal ölçüm verileri doğrudan kullanılırlar. Ayrıca tasarımı yapılacak uyumlaştırma devresi için transfer fonksiyonu ve topolojik yapı da seçilmez. Tasarımı istenen devre topolojisi, eleman değerleri ile beraber reel frekans tekniğinin bir sonucu olarak elde edilir. Daha sonraları Carlin’in geliştirdiği Doğru Parçaları ile Yaklaşım (Line Segment Technique) tekniğine alternatif olarak pekçok yarı analitik reel frekans tekniği algoritmaları geliştirilmiştir [5-7].

Bu çalışmada, en genel şekliyle “geniş bantlı empedans uyumlaştırması” olarak adlandırılan kompleks bir yük empedansının, iç empedansı dirençsel olan bir kaynağa kayıpsız bir devre üzerinden, geniş bir band içerisinde uyumlaştırma problemi, ses ötesi piezoelektrik bir dönüştürücünün bir güç kaynağına uyumlaştırılması için çözülmüştür.

## 2. REEL FREKANS TEKNİĞİ İLE TEK YÖNLÜ UYUMLAŞTIRMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Şekil 1’de görülen tek yönlü uyumlaştırma probleminde rezistif bir kaynağın, kompleks bir yük empedansına uyumlaştırılması istenmektedir. Burada  $[N]$  ile uyumlaştırma devresi gösterilmektedir.



Şekil 1 Tek yönlü uyumlaştırma problemi

Kaynak tarafından bakıldığında birinci kapıda görülen giriş yansımaya katsayısı  $S_1$  aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$S_1 = \frac{Z_1 - R_G}{Z_1 + R_G} \quad (1)$$

Burada  $Z_1$ , yüklü durumda birinci kapıdan görülen giriş empedansdır. Çıkıştan girişe doğru olan  $S_2$  yansımaya katsayısı ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$S_2 = \frac{Z_2 - Z_L^*}{Z_2 + Z_L} \quad (2)$$

İki kapılı devre kayıpsız olarak kabul edildiğinden  $|S_1|^2 = |S_2|^2$  olacaktır. Bu durumda güç kazanç ifadesi giriş veya çıkıştan görünen yansımaya katsayıları cisinden aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$T(\omega) = 1 - |S_1|^2 = 1 - |S_2|^2 \quad (3)$$

İki kapılı devreyi tanımlayan saçılma parametreleri Belevitch gösterimi olarak bilinen üç kanonik polinom cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilirler:

$$\begin{aligned} S_{11} &= \frac{h(p)}{g(p)} & S_{12} &= \sigma \frac{f(-p)}{g(p)} \\ S_{21} &= \frac{f(p)}{g(p)} & S_{22} &= -\sigma \frac{h(-p)}{g(p)} \end{aligned} \quad (4)$$

Burada  $g$  kesin Hurwitz bir polinom,  $f$  reel monik bir polinom ve  $\sigma$  ise bir sabittir ( $\sigma = \pm 1$ ). Eğer iki kapılı devre ( $N$ ) karşılıklı ise bu devrenin iletim sıfırlarını tanımlayan  $f$  polinomu tek veya çift bir polinom olup  $\sigma = f(-p)/f(p)$ 'dir.  $f$ ,  $h$  ve  $g$  polinomları arasında kayıpsızlık koşulu olarak adlandırılan ilişki bulunur;

$$g(p)g(-p) = h(p)h(-p) + f(p)f(-p) \quad (5)$$

Kayıpsızlık koşulundan görülmektedirki, eğer  $f(p)$  ve  $h(p)$  polinomları biliniyorsa polinom faktörizasyonu ile kesin Hurwitz bir  $g(p)$  polinomu bulunabilir. Kompleks yükü de içeren kazanç ifadesi optimize edildiğinde  $h(p)$  polinomunun optimum katsayıları, yani uyumlaştırma devresi ve saçılma parametreleri bulunmuş olur.

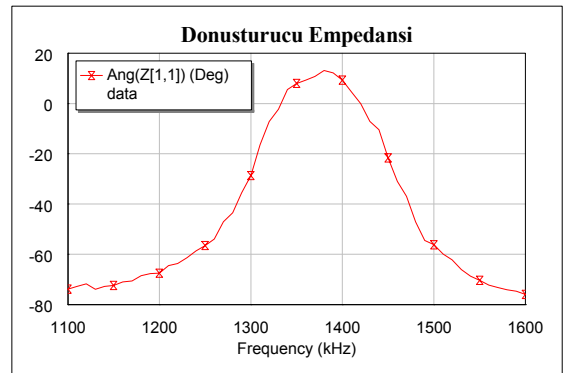
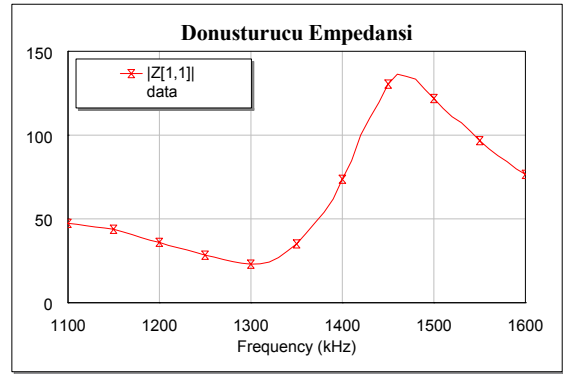
Tek yönlü sonlandırılmış uyumlaştırma devresinin kazanç ifadesi birim normalize saçılma parametreleri ve kompleks yük cinsinden aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$T(\omega) = \frac{|S_{21}|^2 (1 - |S_L|^2)}{|1 - S_{22} S_L|^2}, \quad S_L = \frac{Z_L - 1}{Z_L + 1} \quad (6)$$

Bu kazanç ifadesinin yük ve kaynak empedansları ve sistemin kazanç-band genişliği kriterleri altında, herhangi bir doğrusal olmayan optimizasyon algoritması kullanılarak iyileştirilmesiyle uyumlaştırma devresini tanımlayan devre fonksiyonları elde edilir. Devrenin gerçekleştirilmesi, elde edilen empedans fonksiyonunun klasik Darlington sentezi ile yapılır.

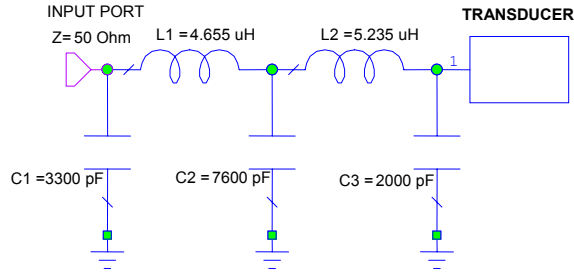
### 3. ÖRNEK

Bu bölümde, su altı araştırmalarında kullanılmak üzere, küçük bir seramik disk şeklinde test amaçlı üretilmiş rezonans frekansı 1350KHz olan bir ultrasonik dönüştürücünün geniş bir frekans bandında, iç empedansı  $50\Omega$  olan bir işaret kaynağına uyumlaştırma devresinin tasarımı yapılmıştır. Dönüştürücüye ait empedans ölçüm verileri genlik ve faz olarak Şekil 2'de verilmiştir. Tasarımın 1100 – 1600 kHz frekans bandında yapılması istenmektedir.

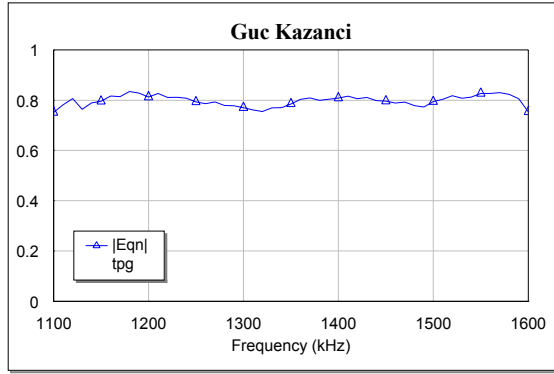


Şekil-2. Piezoelektrik kristalinin empedans ölçüm verileri

Uyumlaştırma devresinin tasarımı, aslında klasik bir tek yönlü uyumlaştırma problemidir. Buna göre problemin çözümünden elde edilen transformatsız uyumlaştırma devre topolojisi ve eleman değerleri Şekil 3'de, güç kazanç eğrisi de Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil-3. Tasarlanan uyumlaştırma devresi



Şekil-4. Uyumlaştırıcının güç kazancı

### 3. SONUÇ

Bu çalışmada ses ötesi piezoelektrik bir dönüştürücünün bir güç kaynağına, geniş bir frekans bandı üzerinde maksimum ve düzgün güç kazancını sağlayacak şekilde uyumlaştırılması hedeflenmiştir. Tasarım için tek yönlü uyumlaştırma problemi çözüm algoritması uygulanmıştır. Elde edilen teorik sonuçların Microwave Office simülasyon paketinde uygulanması ve tasarımın pratik olarak gerçekleşmesi sonucu yapılan ölçüm sonuçları göstermektedir ki: Tekli uyumlaştırma problemi çözümü, geniş bir frekans band aralığı içinde ultrasonik dönüştürücülerin tasarımında oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Tasarımda transformatörsüz uyumlaştırma devresinin elde edilmesi ise yaklaşımın pratikteki anlamını göstermektedir.

### KAYNAKLAR

- [1] Augustine L. J., Andersen J., An Algorithm for the Design of Transformerless Broadband Equalizers of Ultrasonic Transducers, THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, Vol 66, Iss 3, pp 629-635, 1979.
- [2] C., F., Greenlaw, R., Player, R., W., Stokes, "A wide-band, Single-channel Acoustical Probe for Observations of Vertical Fine Structure in Zooplankton", THIRD JOINT MEETING OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA AND THE ACOUSTICAL SOCIETY OF JAPAN, 2-6 December 1996, Honolulu, Hawai'i.
- [3] Krimholtz, R., et al., "New equivalent circuits for elementary piezoelectric transducers", ELECTRONICS LETT., 6, 398-399, 1970.
- [4] H. J. Carlin "A New Approach to Gain-Bandwidth Problems," IEEE TRANS. CIRCUITS AND SYSTEMS, Vol.23, pp. 170-175, April 1977.
- [5] B. S. Yarman, "A Simplified Real Frequency Technique for Broadband Matching a Complex Generator to a Complex Load", RCA Review, Vol.43, September 1982, pp.529-541
- [6] B. S. Yarman, "Modern Approaches to Broadband Matching Problems", IEE Proc., vol. 132, no. 2, April 1985.
- [7] B. S. Yarman, H. J. Carlin "A Simplified 'Real Frequency Technique Applied to Broad-Band Multistage Microwave Amplifiers", IEEE TRANS. MTT., Vol. 30, pp. 2216-2222, Dec. 1982.