

# AKIM TAŞIYICI TABANLI DALGA ANALİZÖRÜ TASARIMI

Barur ONAR<sup>1</sup>

Sadri ÖZCAN<sup>2</sup>

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, 80626, Maslak, İstanbul  
Tel: +90-212-285 35 53 , Fax: +90-212-2853565

<sup>1</sup>e-posta: [baruronar@yahoo.com](mailto:baruronar@yahoo.com) <sup>2</sup>e-posta: [sozcan@ehb.itu.edu.tr](mailto:sozcan@ehb.itu.edu.tr)

Anahtar Kelimeler: Ölçme tekniği, akım taşıyıcı, harmonik distorsiyon, dalga analizörü

## ABSTRACT

A current conveyor based wave analyzer circuit is presented. Current conveyors have been received significant attention because of their high linearity, higher signal bandwidth and larger dynamic range. Some of the advantages of the proposed wave analyzer are: operation at high frequencies, high linearity of the wave analyzer and measuring the desired harmonic and the fundamental frequency at the same time and obtaining their ratio at the output. To verify these advantages and superiorities, a detailed theoretical analysis is given.

## 1. GİRİŞ

Distorsiyon, bir işarette meydana gelen ve işaretin dalga biçiminin değişmesiyle veya onun değişik frekanslardaki bileşenleri arasındaki ilişkisinin değişmesi sonucu oluşan bir bozulmayı ifade eder. Bir işaret bir elektronik devreden geçtiğinde devrenin çıkışında istenmeyen ve giriş işaretinin bir parçası olmayan yeni bileşenler ortaya çıkar. Distorsiyon, teknolojinin hızla gelişmesi ile haberleşme sistemlerinin ve analog tasarımların en önemli problemi haline gelmiştir. Dolayısıyla daha yüksek bir doğrulukla ölçülmesi zorunludur. Distorsiyona sebep olan kaynaklardan bazıları lineer olmayan grup gecikmesi, giriş katı lineer olmaması, çarpaz bağlaşım olarak sıralanabilir [1-5].

Bu çalışmada akım taşıyıcı tabanlı bir dalga analizörü tasarlanmıştır. Akım taşıyıcılar geniş dinamik çalışma bölgesi, yüksek doğruluk ve geniş çalışma frekansı bandı gibi üstünlüklere sahiptirler. Dolayısıyla bu yüksek başarılı elemanı temel yapı bloğu olarak kullanan dalga analizörünün başarımının da yüksek olacağı açıktır. Burada akım taşıyıcılar Analog Device firmasının AD844 işlemsel kuvvetlendiricisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir [6]. Dört uçlu olan bu eleman ikinci kuşak pozitif tip akım taşıyıcının çıkış ucunun birim kazançlı bir gerilim tamponu ile alınarak dördüncü bir uç elde edilmesi ile oluşturulmuştur. Bölme devresinde kullanılan negatif akım taşıyıcılar iki adet pozitif akım taşıyıcı peş peşe bağlanarak elde edilmiştir.

## 2. TEORİK İNCELEME

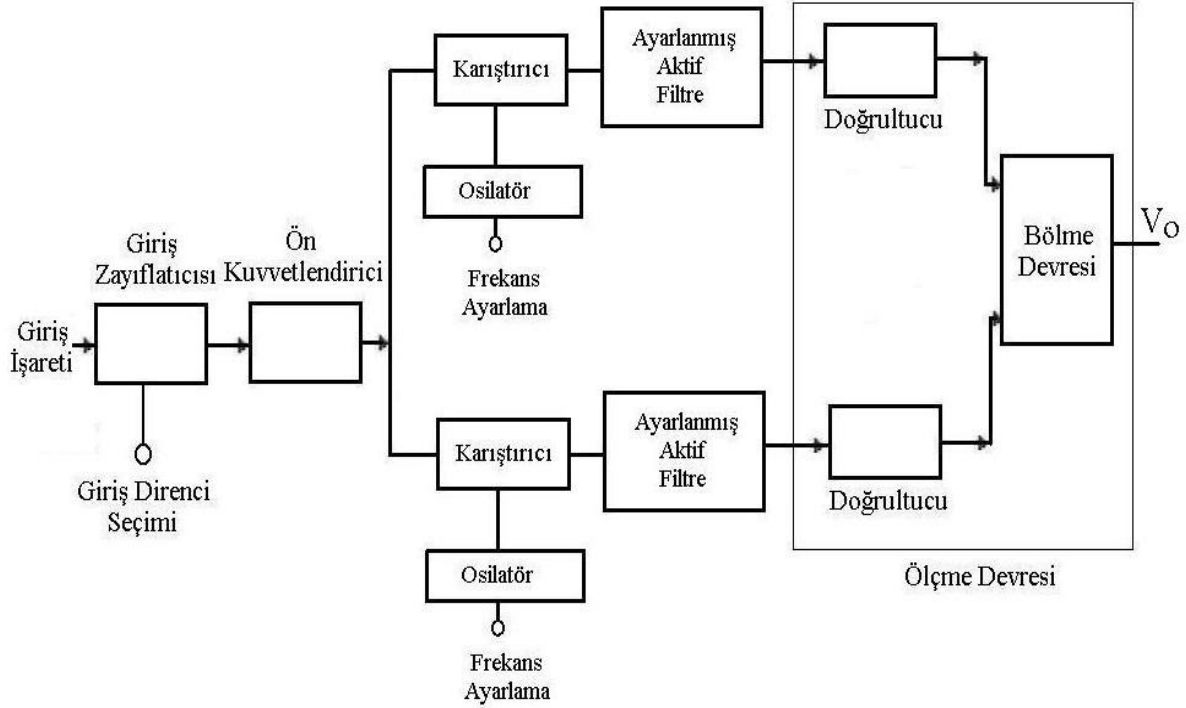
Lineer olmama distorsiyonu, işaretin, lineer olmayan  $V_1-V_0$  karakteristiğine sahip elemanların (transistor, diyet gibi aktif elemanlar) kullanıldığı bir sistemden geçtiğinde ortaya çıkar. Devredeki bileşenlerin lineer olmayan davranışları çıkış işaretinin dalga şekli içinde temel frekansın harmonikleri olarak ortaya çıkar ve toplam bileşke distorsiyon genellikle harmonik distorsiyon olarak tanımlanır. Harmonik distorsiyon ölçümü temel olarak harmoniklerin genliklerinin temel frekans bileşeninin genliğine oranlanması ile yüzde olarak ifade edilir. Harmonik distorsiyon Denk. 1 deki gibi ifade edilebilir [7].

$$D_2 = C_2/C_1, D_3 = C_3/C_1, \dots, D_n = C_n/C_1 \quad (1)$$

Burada  $D_n$  ( $n = 2, 3, 4, \dots$ ) n. harmonik distorsiyonu,  $C_n$  n. harmoniğin genliğini ve  $C_1$  de temel frekans bileşeninin genliğini göstermektedir. Tüm yüksek dereceli harmonikler hep birlikte distorsiyon işaretini oluştururlar. Bugüne kadar pek çok distorsiyon ölçüm yöntemi ileri sürülmüştür, ancak bu çalışmada sadece dalga analizi yöntemi üzerinde durulacaktır. Dalga analizi yöntemi lineerliği ölçmede kullanılan en eski ve en çok kabul gören yöntemlerden biridir. Bu teknikte test altındaki devre tek bir yüksek saflıkta sinüs işareti ile uyarılır. Daha sonra istenen harmonik bileşenin genliği ölçülür ve temel bileşenin genliğine oranı yüzde olarak verilir. Bu yöntem her bir bileşenin sebep olduğu distorsiyonun ölçülmesinin önem kazandığı durumlarda kullanılır. Klasik bir dalga analizöründe giriş işareti, bir karıştırıcı tarafından dahili osilator işareti ile karıştırılır daha sonra dar bantlı band geçiren filtre ile karıştırıcı çıkışındaki işaretin içinden istenen harmonik bileşen elde edilir.

## 3. ÖNERİLEN DALGA ANALİZÖRÜ

Bu çalışmanın amacı harmoniklerin ayrı ayrı ölçülmesi ve temel bileşen ile oranlanması olduğundan dalga analizi yöntemi kullanılmıştır. Tasarlanan dalga analizörünün blok diyagramı Şekil 1'de görülmektedir. Yapı altı temel bloktan oluşmaktadır: Zayıflatma devresi, ön-kuvvetlendirici karıştırıcı (analog çarpma devresi), osilator, band geçiren filtre ve ölçme devresi.



Şekil 1 Tasarlanan dalga analizörünün blok diyagramı

Zayıflatma devresi esas olarak bir gerilim bölücü fonksiyonunu gerçekler ve çıkışı devrenin giriş seçiciliğine göre ayarlanır. Ön-kuvvetlendiricinin giriş direnci, işareti ölçülecek devreyi yüklemeyecek kadar yüksek olmalıdır. Ayrıca kuvvetlendiricinin distorsiyonu çok düşük olmalıdır. Analog çarpma devresi giriş işareti ile dahili osilatör işaretini karıştırmak için kullanılmıştır. Frekansı ayarlanabilen osilatör istenen harmoniğin filtreden süzülmesi için giriş işareti ile analog çarpma devresi tarafından karıştırılması gereken sinüs işaretini üretir. Band geçiren filtrelerden aşağıdakinin çıkışından temel bileşen işareti alınır. Diğer band geçiren filtre çıkışından ise osilatörün frekansı değiştirilerek elde edilmek istenen harmonik bileşen alınır. Ölçme devresi ise doğrultucular ve bir adet bölme devresinden oluşmaktadır ve her iki filtrenin çıkışları uygun girişlere uygulanarak bölme devresinin çıkışından harmonik distorsiyon bileşenleri elde edilir. Örnek olarak 10kHz frekanslı bir giriş işaretinin devreye uygulandığını ve 3. harmoniğin ölçülmesi istendiği varsayıldığında temel bileşeni elde etmek için aşağıdaki osilatör 11kHz yukarıdaki osilatör de 31 kHz frekansa ayarlandığında filtrelerin merkez frekansı olan 1kHz frekanslı fark frekansı elemanları (11-10 kHz ve 31-3x10 kHz) filtre tarafından süzülür. Daha sonra bu bileşenler bölme devresi yardımı ile birbirine oranlanır ve çıkışta 3. harmonik bileşen ile temel bileşenin oranı elde edilmiş olur. Blok diyagramını oluşturan her bir bloğun gerçekleşmesi aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

### 3.1. Giriş Zayıflatıcısı

Zayıflatma devresi 16V, 8V, 4V, 2V, 1V, 0.5V ve 0.2V olmak üzere yedi kademelidir [9]. Devrenin çıkışından alınan çıkış maksimum 200mV minimum 100mV'dur. 200mV dan düşük giriş işaretleri için zayıflatıcıya gerek yoktur. Zayıflatıcının toplam empedansı 800kΩ dur ki bu da geniş kademede dalga analizörünün giriş empedansını teşkil etmektedir. Direnç değerlerini artırmak işarete ilave distorsiyon eklenmesine neden olur.

### 3.2. Ön-Kuvvetlendirici

Ön-kuvvetlendirici bir adet CCII+ ile iki adet dirençten oluşmaktadır. Ön-kuvvetlendiricinin çok düşük distorsiyona sahip olması istenmektedir. Bu yapı da giriş işaretine ilave distorsiyon katmaktadır. Ön-kuvvetlendirici için dirençlerin değerleri  $R_1=9k\Omega$  ve  $R_2=1k\Omega$  olarak alındığında kuvvetlendiricinin kazancı 10 olur ve Denk. 2 deki gibi hesaplanabilir:

$$K_v = (R_1/R_2) + 1 \quad (2)$$

Besleme gerilimleri  $\pm 12V$  olarak seçilmiştir. Ön-kuvvetlendiricinin DC analizi kuvvetlendiricinin  $\pm 8.4V$  değerinde doymaya gittiğini AC analiz ise kuvvetlendiricinin band genişliğinin 3.2MHz olduğunu göstermektedir. Ayrıca kuvvetlendiricinin giriş empedansı 11.11MΩdur.

### 3.3. Analog Çarpma Devresi

Dalga analizörünün en önemli yapı taşlarından biri karıştırıcı olarak kullanılan analog çarpma devresidir. Bu yapının kullanılma amacı giriş işaretini osilatör işaretini karıştırıp çıkışında band geçiren filtreden süzülme üzere uygun frekans bileşenlerinin oluşmasını sağlamaktır. Analog çarpma devresi olarak Analog Device firmasının ürettiği dört kanallı, dört bölge analog çarpma devresi olan MLT04 çarpma devresi kullanılmıştır [10]. Yapı ±12 ile beslenmiştir. Devrenin çıkışından alınacak maksimum gerilim 10V dur.

### 3.4. Osilatör

Osilatör devresi, istenen frekans değerinde birim genlikli bir sinüs işareti üretmek amacıyla kullanılmıştır [11].

Bu devrenin karakteristik denklemi Dnk. 3 bağıntısı ile verilmiştir.

$$s^2C_1C_2R_1 + s(C_1 + C_2 - C_1R_1/R_2) + R_3/(2R_2R_4) = 0 \quad (3)$$

Denk. 3 ten hareketle osilasyon şartı ve osilasyon frekansı sırasıyla, Denk. 4 ve Denk. 5 teki gibi bulunur.

$$C_1 + C_2 = C_1R_1/R_2 \quad (4)$$

$$\omega_0^2 = (2C_1C_2R_1R_2)^{-1} \cdot R_3/R_4 \quad (5)$$

Devrenin çıkış gerilimi 8.34V dur. Bu değeri 1V'a indirmek için  $R_{b1}$  ve  $R_{b2}$  dirençleri devreye ilave edilmiştir. Bu dirençler bir gerilim bölücü olarak çalışır ve değerleri  $R_{b1} = 7.34k\Omega$  ve  $R_{b2} = 1k\Omega$  dur.

### 3.5. Band Geçiren Filtre

Dalga analizörünün en önemli yapı taşlarından bir diğeri de yüksek kalite faktörlü dar bir band genişliğine sahip olan band geçiren filtredir. Burada kullanılan üç girişli bir çıkışlı evrensel filtrenin transfer fonksiyonu Denk. 6 ile verilmiştir [12].

$$V_O = \frac{(s^2C_1C_2V_1 + sC_2G_1V_2 + G_2G_3V_3)}{(s^2C_1C_2 + sC_2G_1 + G_2G_3)} \quad (6)$$

Buradan  $V_1 = V_3 = 0$  (topraklanmış) olarak seçildiğinde band geçiren filtre karakteristiği elde edilmiş olur. Filtrenin merkez frekansı ve kalite faktörü Denk. 7 ve Denk. 8 ile verilmiştir.

$$\omega_0^2 = (R_2R_3C_1C_2)^{-1} \quad (7)$$

$$Q = R_1 [C_1 / (R_2R_3C_2)]^{0.5} \quad (8)$$

$R_1 = 10k\Omega$ ,  $R_2 = R_3 = 1k\Omega$  ve  $C_1 = C_2 = 159.1nF$  olarak seçildiğinde  $Q = 10$  ve  $f_0 = 1kHz$  olan filtre elde edilmiş olur.

### 3.6. Ölçme Devresi

Ölçme devresi Eşitlik 1'deki bileşenleri elde etmek için kullanılmıştır. Bu eşitliği sağlamak için girişleri birim kazançlı doğrultuculardan alınan bir adet bölme devresi yeterlidir ve bu devreyi gerçeklemek için Çiçekoğlu, Kuntman ve Tarakçı'nın analog çarpma devresi kullanılmıştır. Çarpma devresinin çıkışı Denk. 9 ile verilmiştir.

$$V_O = V_{i1} \times V_{i2} / V_{i3} \quad (9)$$

Bölme devresi  $V_{i1}$  ve  $V_{i3}$  girişler olarak alınıp  $V_{i2}$  girişine 1V uygulanarak elde edilebilir. Yapıda kullanılan negatif akım taşıyıcılar iki adet AD844 kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 4. SİMÜLASYON SONUÇLARI

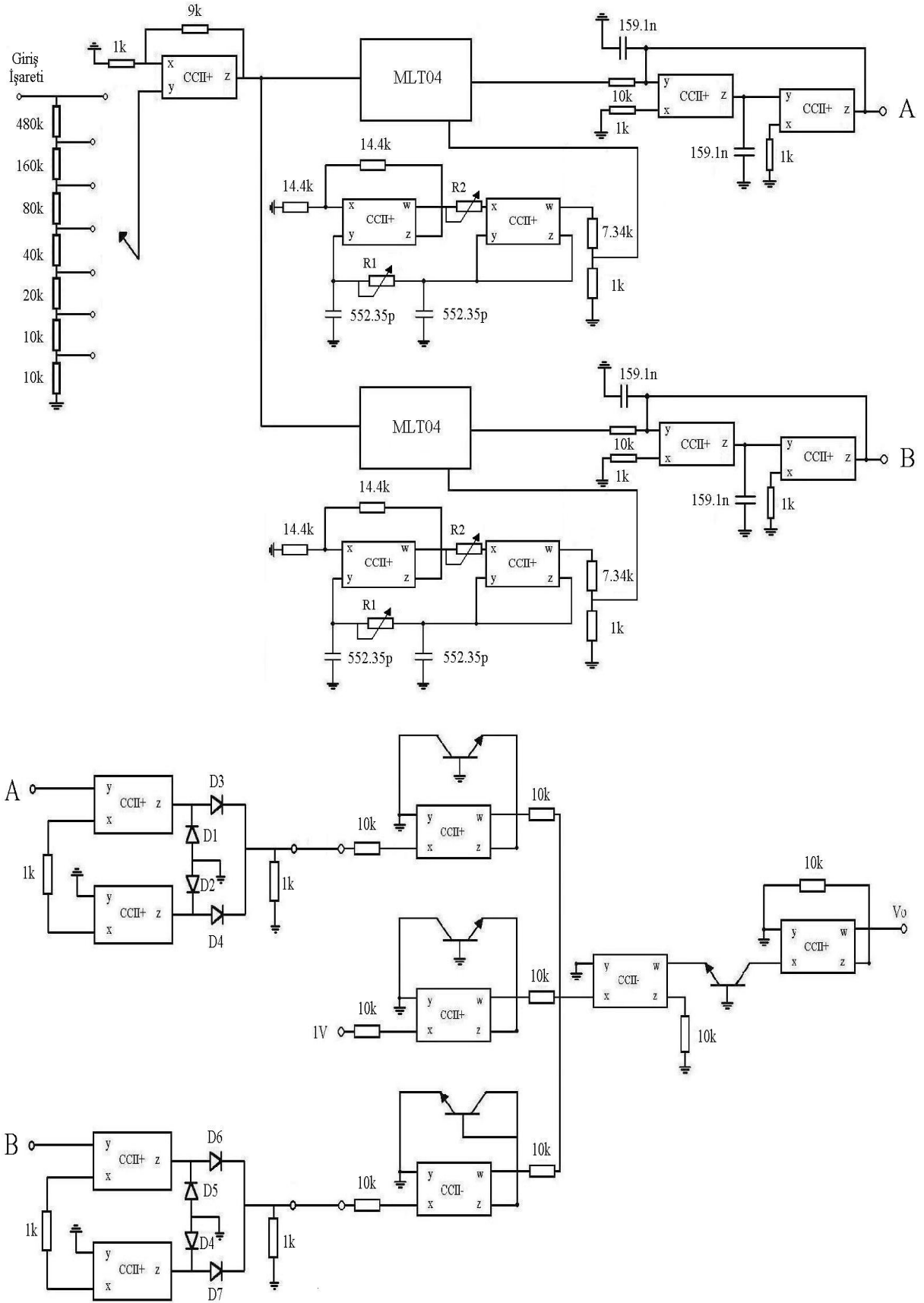
Bir önceki bölümde anlatılan bloklar kullanılarak dalga analizörü Şekil 2 de görüldüğü gibi oluşturulmuştur. Dalga analizörünün doğruluğunun gösterilmesi için farklı genlik ve frekanslara sahip giriş işaretleri devreye uygulanıp bu işaretlerin harmonikleri simülasyon ile ölçülmüş ve bu değerler hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır. Onuncu harmonikten sonraki değerler anlamlı olmadığından sadece ilk on harmonik ölçülmüş ve hesaplanmıştır.

Tablo 1. 5kHz frekanslı 1V genlikli kare dalga için harmonik değerleri.

	Hesaplanan	Simülasyon
C2/C1	0	0
C3/C1	0.333	0.334
C4/C1	0	0
C5/C1	0.199	0.201
C6/C1	0	0
C7/C1	0.142	0.145
C8/C1	0	0
C9/C1	0.110	0.112
C10/C1	0	0

Tablo 2. 10kHz frekanslı 2V genlikli testere dişi dalga için harmonik değerleri.

	Hesaplanan	Simülasyon
C2/C1	0.499	0.523
C3/C1	0.333	0.328
C4/C1	0.249	0.254
C5/C1	0.199	0.212
C6/C1	0.166	0.165
C7/C1	0.142	0.149
C8/C1	0.124	0.129
C9/C1	0.110	0.118
C10/C1	0.099	0.102



Şekil 2. Tasarlanan dalga analizörü

Tablo 3. 20kHz frekanslı 1V genlikli üçgen dalga için harmonik değerleri.

	Hesaplanan	Simülasyon
C2/C1	0	0
C3/C1	0.111	0.120
C4/C1	0	0
C5/C1	0.039	0.051
C6/C1	0	0
C7/C1	0.019	0.025
C8/C1	0	0
C9/C1	0.012	0.016
C10/C1	0	0

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, son günlerde revaçta olan akım taşıyıcılarının temel yapı bloğu olarak kullanıldığı bir dalga analizörü tasarlanmıştır. Önerilen dalga analizörünün en önemli üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir: Yüksek frekanslarda çalışabilme olanağı (2MHz'e kadar), ve devrenin distorsiyon ölçümlerinde kullanılması durumunda yüksek seçicilik sağlar (ölçülebilen en düşük distorsiyon seviyesi %0.01) Ayrıca, önerilen devre yüksek lineerliğe sahiptir. Bu çalışmada önerilen dalga analizöründe, klasik dalga analizörlerinden farklı olarak temel bileşen istenen harmonik bileşen ile eş zamanlı olarak ölçülmekte ve çıkıştan elde edilen değer, istenen harmonik bileşeni genliğinin temel bileşeni genliğine oranı olarak elde edilmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Roberts G. W. and Sedra A., "All Current Mode Frequency Selective Circuits", ELECTRONIC LETTERS, vol. 25, pp. 759-761, 1989.
- [2] Hofer B., The fine art of audio power amplifier design presented at the Portland chapter of the AES, 1980.
- [3] Richard A. Greiner, Amplifier loudspeaker interfacing, AES Preprint, p.1462, 1979
- [4] Stanley G., McLaughlin, D., Transient intermodulation distortion and measurement, AES Pre Print, p. 1308, 1977.
- [5] Edwards D. F. A., *Electronic measurement techniques*, London Butterworths, p.315. 1971.
- [6] Analog Devices, 60 MHz 2000V/ $\mu$ s Monolithic Op Amp., AD844.
- [7] Cooper W. D., *Electronic instrumentation and measurement techniques*, Prentice-Hall, p.337, 1970.
- [8] Wambacq P., Sansen W., *Distortion analysis of analog integrated circuits*, Kluwer Academic, p.14, 1998.

- [9] Temizyürek Ç., Current conveyor based distortion meter realization, *M. Sc. İ.T.Ü. Institute of Science and Technology*, İstanbul, 2002.
- [10] Analog Devices, Four-Channel Four-Quadrant Analog Multiplier, MLT04.
- [11] Shen-Iuan Lui, Jiann-Horng Tsay, "Single-Resistance-Controlled Sinusoidal Oscillator Using Current-Feedback Amplifiers", INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONICS, vol. 80, no 5, 661-664, 1996.
- [12] Juin-Wei Horng, Chi-Che Tsai, Maw-Huei Lee, "Novel Universal Voltage-Mode Biquad Filter With Three Inputs And One Output Using Only Two Current Conveyors", INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONICS, vol. 80, no 4, 543-546, 1996.
- [13] Çiçekoğlu, O., Kuntman, H. Tarakçı, T., "Akım taşıyıcılarla gerçekleştirilen bir etkin değer ölçme cihazı", ELMEKSEM' 97, BURSA IV. ELEKTROMEKANİK SEMPOZYUMU BİLDİRİ KİTABI, sayfa 100 - 103, 17 - 21 Aralık, Bursa, Türkiye, 1997.
- [14] Onar,B., Özcan, S. "Current Conveyor Based Wave Analyser Design", APPLIED ELECTRONICS 2004, INTERNATIONAL CONFERENCE, Pilsen, 8-9 September, pp.174-177, 2004,