

AKIM TAŞIYICI TABANLI DİSTORSİYONMETRE GERÇEKLENMESİ

Çağrı TEMİZYÜREK¹ Sadri ÖZCAN² Indrit MYDERRİZİ³

¹ İ.T.Ü., Çoğul Ortam Merkezi, Fen Bilimleri Binası, Kat 1, 80626, Maslak, İstanbul
^{2,3} İ.T.Ü., Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
80626, Maslak, İstanbul

¹e-posta: cagri@ygm.itu.edu.tr ²e-posta: sozcan@ehb.itu.edu.tr
³e-posta: myderrizi@itu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Distorsiyonmetre, Distorsiyon Analizi, Akım Taşıyıcı, Akım-Modu, Harmonik Distorsiyon

ÖZET

Bu çalışmada, akım taşıyıcı elemanlar kullanılarak akım modlu bir distorsiyonmetre devresinin tasarımı önerilmiştir. Akım taşıyıcılar akım modlu çalışmaları için, gerilim modlu devrelere göre daha büyük band genişliği, daha yüksek dinamik çıkış, daha iyi lineerlik, daha basit devre düzeni ve daha düşük güç tüketimi gibi özellikleri ile son yıllarda büyük beğeni kazanmışlardır. Önerilen distorsiyonmetrenin en önemli önyararları (üstünlükleri) şu şekilde özetlenebilir: Daha geniş band genişliğinde çalışabilme, distorsiyon ölçümünde yüksek seçicilik, kullanılan aktif elemanların oldukça lineer olması sonucu distorsiyonun yüksek doğruluklu olarak ölçülebilmesi ve devre tasarımında basitlik. Bu önyararları doğrulamak için ayrıntılı teorik bir analizin yanısıra, tasarlanan distorsiyonmetre ile benzetim (simulasyon) yapılmıştır. Elde edilen benzetim sonuçları HP331A distorsiyonmetresi ile karşılaştırılmıştır.

1. GİRİŞ

İşlenen işaretin biçiminin bozulması demek olan distorsiyon, teknolojinin hızlı gelişimiyle birlikte haberleşme sistemlerinde ve analog tasarımlarda başlıca sorunlardan biri olmuştur. Elektronik devrelerde kullanılan aktif elemanların lineer bir karakteristiğe sahip olmaması nedeni ile elektronik devreye bir işaret uygulandığında, devrenin çıkışından elde edilen işaretin biçiminde istenmeyen bozulma meydana gelmektedir. Devrenin lineer olmamasından kaynaklanan distorsiyon dışında farklı distorsiyon tipleri de mevcuttur. Bunlardan bazıları; giriş katının çalışma noktasının uygun seçilmemesi, lineer olmayan devreler arasındaki elektrostatik kuplaj olması, uyumsuz çıkış katlarının kullanılması, lineer olmayan grup gecikmesinin olması sonucu oluşan distorsiyon şeklinde sıralanabilir [1-5].

2. TEORİK ALTYAPI

Distorsiyon, işlenen işaretin dalga biçiminin düzgünlüğünü ifade eden veya o işaretin, oluşan frekans bileşenleri ile ilişkisini ortaya koyan önemli bir parametredir. Lineer olmama distorsiyonu, giriş-

çıkış karakteristiği lineer olmayan bir sisteme uygulandığında oluşur. Devre elemanlarının lineer olmayan davranışı çıkış dalga biçiminde temel işaretin harmoniklerini doğurur ve oluşan distorsiyon da harmonik distorsiyon olarak adlandırılır. Herhangi bir harmonik distorsiyonun ölçümü o harmoniğin temel frekans harmoniğine oranlanması şeklinde tanımlanmaktadır. Bu tanıma göre, harmonik distorsiyon aşağıdaki gibi gösterilir [6]:

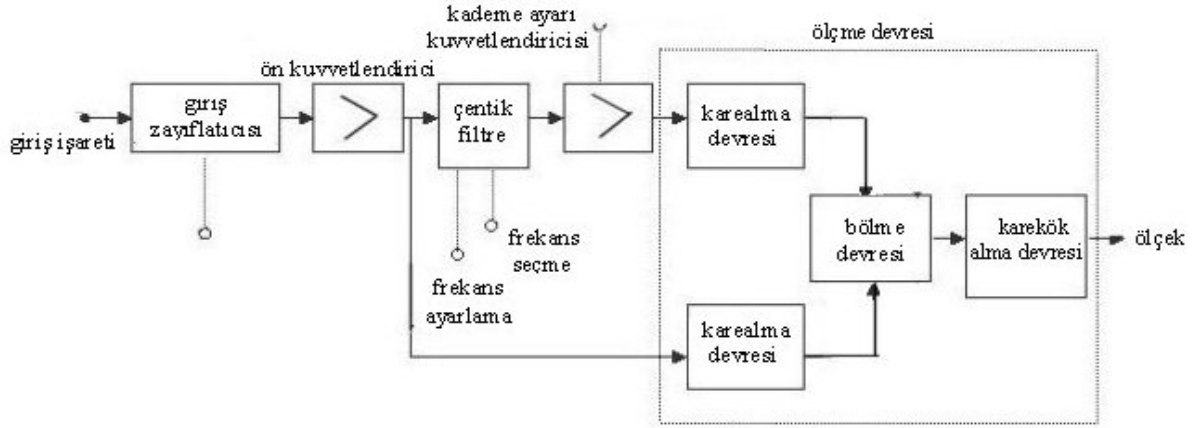
$$D_n = \frac{B_n}{B_1} \quad (1)$$

n=2,3,4,...olmak ve B₁ temel işaretin genliğini göstermek üzere, (1) bağıntısında D_n sembolü, n. dereceden harmonik distorsiyonu, B_n sembolü n. derece harmoniğin genliğini göstermektedir. Temel harmoniğin dışındaki harmonikler işaretin biçimindeki istenmeyen bozulmayı (distorsiyon) oluşturur [7]. Bu istenmeyen distorsiyon, çıkış işaretinin saf sinusoidal bir işaret olduğu kabul edilen giriş işaretine benzerliğinin ölçüsünü veren Toplam Harmonik Distorsiyon (THD) olarak ölçülür. THD nin matematiksel ifadesi temel harmoniğin dışındaki tüm harmoniklerin efektif (rms) değerlerinin karelerinin toplamının karekökünün temel işaretin rms değerine oranı olarak tanımlanır [8].

$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{V_1} \quad (2)$$

Bu ifadede, V₁ birinci harmoniğin, V₂ ikinci harmoniğin, V₃ de üçüncü harmoniğin rms değeridir.

Birçok farklı distorsiyon ölçme teknikleri vardır. Bu çalışmada lineer olmama distorsiyonunun ölçümünde dünyada en yaygın kullanılan teknik olan harmonik distorsiyon ölçüm tekniği ele alınmıştır. Bu teknikte, ölçümü yapılacak devreye saf bir sinusoidal işareti gönderilerek, ölçümü yapılacak devrede kullanılan aktif elemanın lineer olmamasından dolayı çıkışında oluşan distorsiyon (2) denklemi ile verilen tanım bağıntısına uygun olarak ölçülür.



Şekil 1. Gerçekleştirilen devrenin blok diyagramı

Her bir distorsiyonu ölçmek yerine THD'yi ölçmek istendiğinden temel işareti bastırma yöntemi kullanılır. Bu yöntemle göre giriş işareti, birinci harmoniğin dışındaki harmonikleri geçiren fakat temel işaret bileşenini bastıran bir sisteme uygulanır [6].

3. TASARLANAN DEVRE

Bu çalışmanın amacı THD nun daha yüksek doğrulukla ölçülmesi olduğundan, yöntem olarak temel işareti bastırma yöntemi kullanılmıştır. Son günlerde sıkça kullanılan aktif elemanlarla gerçekleştirilen devrenin blok diyagramı Şekil 1 de görülmektedir. Devre beş temel kısımdan oluşur: Bunlar sırasıyla, giriş zayıflatıcısı, ön kuvvetlendirici, çentik filtre, distorsiyon kademe ayarı kuvvetlendiricisi ve ölçme devresi olarak sayılabilir.

Giriş zayıflatıcısı devresi gerilim bölücü devresinden ibarettir ve çıkışından alınan zayıflatılmış veya belli bir seviyeye getirilmiş işaret ön kuvvetlendiricinin girişine uygulanmıştır. Ön kuvvetlendiricinin giriş empedansı işareti ölçülecek devreyi yüklememesi için yeterince büyük olmalıdır. Bunun yanında, kuvvetlendiricinin kendisinden gelen distorsiyonun çok az olması için akım modlu aktif devreler kullanılmıştır. Çentik filtre temel frekansı bastırmakta ve diğer tüm harmonikleri geçirmekte, bu yüzden bastırma frekansındaki karakteristiğinin biçimi çok dar (çentik biçiminde!) olmalıdır. Distorsiyon kademe ayarı kuvvetlendiricisi rahat okunabilir bir çıkış alınabilmesi için harmonikleri belli bir kazanç oranında kuvvetlendirmektedir. Ölçme devresi; kare alma devresi, bölme devresi ve karekök alma devresinden oluşmuştur ve böylelikle (2) eşitliği ile verilen tanımla uyumlu ölçme yapılmaktadır.

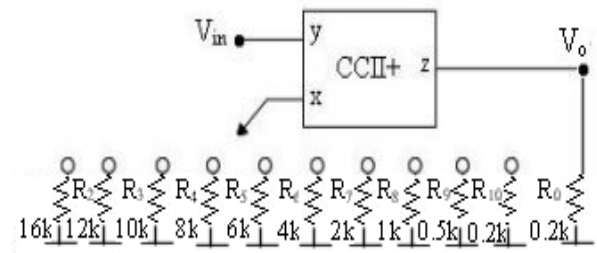
3.1 Giriş Zayıflatıcısı

Zayıflatıcı devresi en basit olarak dirençlerin seri bağlanması ile elde edilen bir gerilim bölücü devresi ile gerçekleştirilebilir [12][13]. Böyle bir gerilim bölücünün kullanılması durumunda yedi kademe öngörülebilir, bunlar sırasıyla, 480k Ω , 160k Ω , 80k Ω , 40k Ω , 20k Ω , 10k Ω , 10k Ω olarak seçilebilir. Bir zayıflatıcının kullanılmasının esas gayesi ölçülecek

işaretin genliğinin büyük olması durumunda lineer bölgenin içinde kalacak şekilde genliği düşürmektir. Burada ölçülecek gerilimin en büyük değerinin 16V olması öngörülmüştür, bu seviyeden daha büyük seviyeler için lineer bölge dışına çıkılacağından ölçme yapılamayacaktır, bir başka deyişle, ölçme yapılabilmesi için işaretin ayrıca bir ön-zayıflatıcı devreye daha uygulanması gerekecektir. Örneğin, girişe 16V gelmesi ve yukarıda değerleri verilen dirençlerle yapılması durumunda zayıflatıcının çıkışından alınacak gerilim seviyeleri, sırasıyla, 16V, 8V, 4V, 2V, 1V, 0.5V ve 0.2V olacaktır. Diğer katlarda gözönüne alındığında lineer bölgede kalınabilmesi için, giriş zayıflatıcısının 200mV'luk çıkış değeri (maksimum değer) kullanılacaktır. 200mV ve daha küçük genlik değerleri için zayıflatıcıya gerek kalmamakta, işaret doğrudan ön-kuvvetlendiricinin girişine uygulanmaktadır. Zayıflatıcının toplam empedansı büyük oranda distorsiyonmetrenin de giriş empedansını oluşturan 800k Ω 'dur. Ancak, zayıflatıcının girişine küçük genlikli gerilim uygulandığında zayıflatıcının en büyük kademesi kullanılacağından toplam eşdeğer direnç küçülecektir. Bu yüzden girişte aktif elemanlı bir zayıflatıcı devresi kullanılarak bu sakınca giderilmiştir. Şekil 2 de böyle bir devre görülmektedir. Böylece, distorsiyonmetrenin giriş direnci her kademede sonsuz büyük olacağından ölçümü yapılacak devrenin çıkışı yüklenmeyecektir.

3.2 Ön Kuvvetlendirici

Ön kuvvetlendirici ikinci kuşak pozitif bir akım taşıyıcıdan (CCII+) ve iki dirençten oluşmuştur.



Şekil 2. Pozitif akım taşıyıcı zayıflatıcı devresi

CCII+ nın geniş bantlı ve oldukça lineer olması bunları diğer aktif elemanlardan daha üstün kılmaktadır. Ön kuvvetlendiriciden kaynaklanan distorsiyonun çok çok düşük olması (pratik olarak sıfır!) istendiğinden, bu şart CCII+ nın lineer bölgesinde kalınması şartıyla sağlanabilir. R_1 ve R_2 dirençlerinin değerleri sırasıyla $9k\Omega$ ve $1k\Omega$ 'dur. Kuvvetlendiricinin kazancı 10 'dur ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$K_v = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad (3)$$

Kuvvetlendirme işlemi $5mV$ ve $200mV$ arasında lineer olarak yapılır, böylece ön kuvvetlendiricinin çıkış geriliminin minimum ve maximum değerleri sırasıyla $50mV$ ve $2V$ arasında olur.

Yapılan dc analiz, ön kuvvetlendiricinin çıkışının $\pm 8.4V$ sınır değerlere kadar lineer olarak çalıştığını ancak bundan sonra doymaya gittiğini, bu sınırlara ulaşmak için ise giriş geriliminin $800mV$ 'a kadar artırılması gerektiğini göstermiştir. Diğer taraftan, yapılan ac analizi sonucunda da kuvvetlendiricinin band genişliğinin $3.2MHz$ olarak elde edilmiştir ki, bu değer aynı devrenin klasik devrelerle (op-amp) kurulması durumunda elde edilen sonuçtan oldukça yüksektir. Kuvvetlendiricinin kendisinin oluşturduğu THD, $0.1V$ genlikli $1kHz$ frekansında saf sinüsoidal bir işaretin girişe uygulanmasıyla bulunur.

PSpice simülasyon programı ile hesaplanan THD değeri $\%0.005$ 'tir, bu değer istenilen $\%0.01$ 'lik distorsiyondan daha düşüktür, bir başka deyişle, pratik olarak ön kuvvetlendiriciden dolayı ilave distorsiyon gelmemektedir. Ön kuvvetlendiricinin giriş empedansı yüksek olmalı ve zayıflatıcının çıkışını etkilememelidir. Kuvvetlendiricinin giriş empedansı $10M\Omega$ dur ve böylelikle bu şart da sağlanmaktadır.

3.3 Çentik Filtre

Distorsiyonmetrenin en önemli katlardan biri çentik filtre katıdır. Çentik filtre kullanımının amacı temel frekansı bastırmak ve diğer tüm harmonikleri geçirmektir [10]. İdeal durum düşünüldüğünde, temel frekansın sonsuz küçük genliğe (sıfır genlik!) kadar bastırılabilmesi düşünülür, ancak, pratikte bu durum mümkün değildir. Bu çalışmada, temel frekansın $80dB$ seviyeye kadar zayıflatılabilmesi mümkün olabilmektedir. Bu da, temel frekansın yaklaşık 10^4 te birinin çıkış işaretindeki harmoniklere eklenmesi anlamına gelir ki bu değer rahatlıkla ihmal edilebilir.

Temel frekans ölçülecek minimum distorsiyon seviyesinden daha fazla bastırılmalıdır. Temel frekansın zayıflama miktarı, ölçülebilecek minimum distorsiyon seviyesini sınırlamakta, $\%0.01$ seviyesine inilebilmesi ancak zayıflatmanın $80dB$ olması ile sağlanabilir.

3.4 Distorsiyon Kademe Ayarı Kuvvetlendiricisi

Çentik filtrenin çıkışında ölçülen distorsiyonun genliği çok küçük olduğundan, ölçülecek devrenin THD sini ölçmek oldukça zorlaşmaktadır. Bu durumda uygun bir ölçüm ya da bir başka deyişle ölçü aletinde yeteri kadar sapma elde edebilmek için düşük genlikli harmonikleri kuvvetlendirmek gerekmektedir. Distorsiyon kademe ayarı kuvvetlendiricisinin kazancı

$$K_{vtop} = K_{v1} K_{v2} = \frac{R_1}{R_2} \frac{R_3}{R_4} \quad (4)$$

ile hesaplanmakta ve 1 ile 10.000 arasında farklı kademelerde kuvvetlendirme işlemini gerçekleştirmektedir.

3.5 Ölçme Devresi

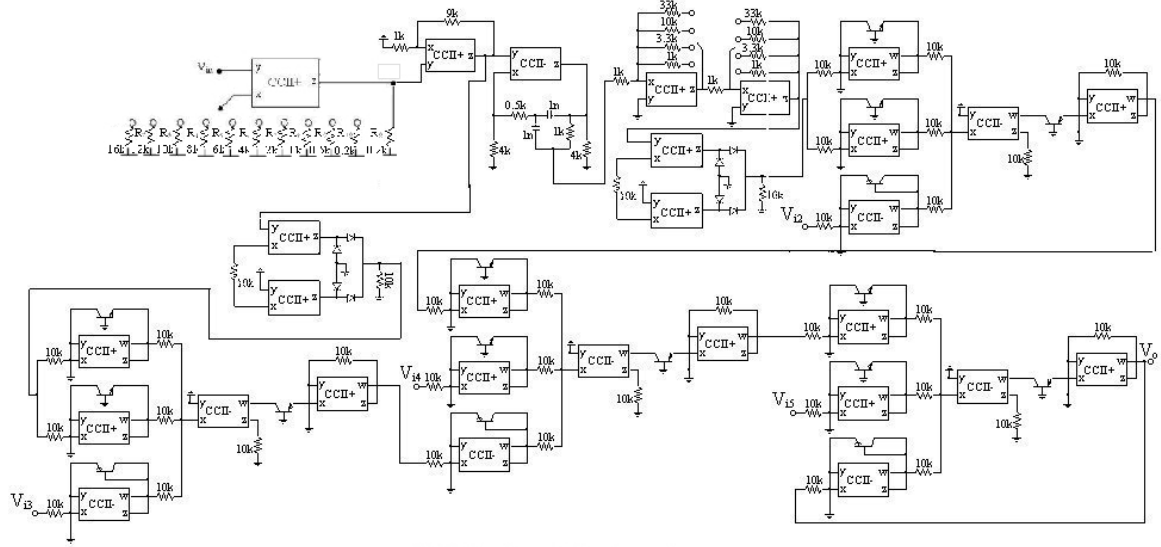
Ölçme devresinin (2) eşitliği ile tanımlanan işlemi yerine getirmesi amaçlanmıştır. Bu eşitliği sağlamak için doğrultuculu iki kare alma devresi, bir bölme devresi ve bir karekök alma devresi gerekmektedir. Bu devreler CCII+ ve CCII- (İkinci kuşak negatif akım taşıyıcı) ile gerçekleştirilmiştir [11]. Tasarımı yapılan distorsiyonmetre devresi Şekil 3 de gösterilmiştir.

4. SİMULASYON TEST SONUÇLARI

Tasarımı önerilen distorsiyonmetrenin simülasyonu yapılarak devrenin dc şartlarını sağladığı görülmüş ve karakteristiğın istenen çalışma noktasında çalıştığı doğrulanmıştır. Çeşitli devreler kurularak (distorsiyon ölçümü yapılacak devreler) bunların çıkışından elde edilen işaretteki distorsiyon miktarı bu çalışmada önerilen distorsiyonmetre ile ölçülmüştür ve ölçüm sonuçları HP331A distorsiyon analizörünün sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu ölçümü yapılacak devrelerden biri olan birim kazaçlı güç kuvvetlendiricisi devresi ve benzetim test sonuçları Şekil 4 a) ve b) de görülmektedir.

5. SONUÇ

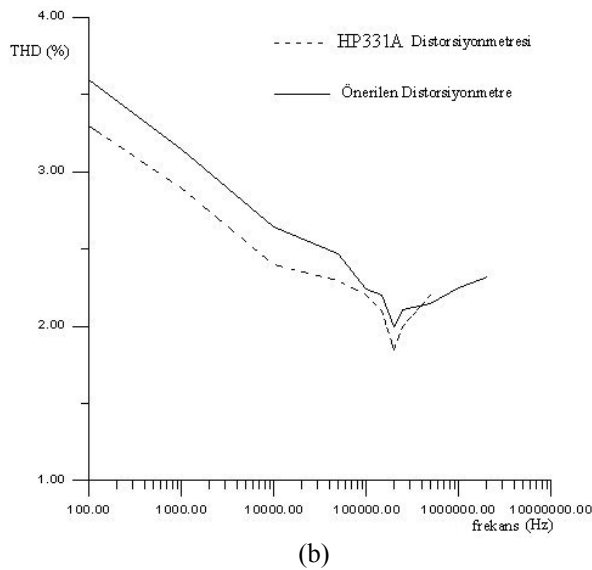
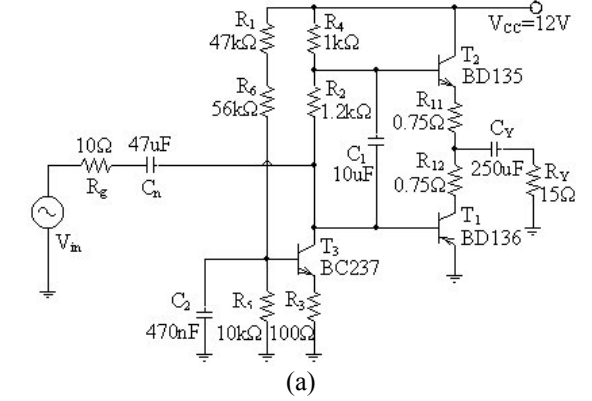
Bu çalışmada akım taşıyıcılarla gerçekleştirilen bir distorsiyonmetre tasarımı sunulmuştur. Şimdiye kadar yayınlanan bu konudaki çalışmalar belli bir band genişliğine sahip klasik op-amp lı devrelerden oluşmaktadır. Son günlerde yapılan çalışmalarda oldukça fazla kullanılan aktif elemanlarla tasarımı yapılan ve önerilen bu distorsiyonmetrenin başlıca üstünlükleri, $2MHz$ kadar yüksek frekanslarda çalışabilme, $\%0.01$ gibi düşük distorsiyon seviyesine inebilme özelliği ile distorsiyon ölçümünde yüksek duyarlık ve seçicilik, devrenin oldukça lineer olması sonucu devrenin kendisinden gelen distorsiyonun çok küçük olması, devrenin basitliği sayesinde günümüzde kullanılan tümleştirme tekniğine uygun olması olarak sayılabilir. Bunun yanısıra, tasarlanan distorsiyonmetrede akım taşıyıcılar kullanıldığından ve bunların tümleştirmeye yatkın oluşlarından dolayı maliyetin de düşeceği açıktır.



Şekil 3. Tasarlanan Distorsiyonmetre

6. KAYNAKLAR

- [1] Roberts, G. W. ve Sedra, A., "All current mode frequency selective circuits", *Electron. Lett.*, vol. 25, sf.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 Pre Print, 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] Cooper, W. D., "Electronic instrumentation and measurement techniques", Prentice-Hall, p.337, 1970.
- [7] Wambacq, P., Sansen, W., "Distortion analysis of analog integrated circuits", Kluwer Academic, p.14, 1998.
- [8] Malvino, A. P., "Electronic instrumentation fundamentals", McGraw-Hill, P.346, 1967.
- [9] Kozluca, İ., "Toplam Harmonik Distorsiyon Ölçme Devresi Gerçekleşmesi". Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1982.
- [10] Soliman, A. M., "New all-pass and notch filters using current conveyors", *Frequenz*, Vol.53, 3-4, p. 84-86, 1999.
- [11] Çiçekoğlu, O., Kuntman, H. Tarakçı, T., "Effective value measurement device implemented with current conveyors", *ELMEKSEM' 97, Bursa IV. Elektromekanik Sempozyumu Bildiri Kitabı*, 100-103, 17-21 Aralık, Bursa, Türkiye, 1997.
- [12] Temizyürek, Ç., "Akım Taşıyıcı Tabanlı Distorsiyonmetre Gerçekleşmesi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2002.
- [13] Temizyürek, Ç., Özcan, S., Myderrizi, I., "Akım Taşıyıcı Tabanlı Distorsiyonmetre Gerçekleşmesi", *URSİ Bildiri Kitabı*, 246-249, 18-20 Eylül, İstanbul, Türkiye, 2002.



Şekil 4. a) Distorsiyonu ölçülecek deney devresi, b) Bu deney devresine ve HP331A distorsiyonmetresine ilişkin THD değişimleri