

## UAE'LERİN GELİŞİMİ VE BİR BGF DEVRESİNİN VOLTAJ VE AKIM MODUNDA FTFN İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

<sup>1</sup>Esmâ UZUNHİSARCIKLİ, <sup>2</sup>Mustafa ALÇI

<sup>1</sup>Erciyes Üni. Kayseri M.Y.O Elektronik Programı, <sup>2</sup>Erciyes Üni. Müh. Fak. Elektronik Müh. Bölümü 38039-KAYSERİ

**Özet:** Bu çalışmada son yıllarda voltaj modlu opamp'ın bazı sınırlamalarını gidermek için geliştirilen akım modlu üniversal aktif eleman (UAE-Universal Active Element) yapılarından bazıları tanıtılmıştır. Böylece akım modlu yapıların kullanım alanlarından ve karakteristik özelliklerinden dolayı voltaj modlu yapılara olan üstünlüğü gösterilmiştir. Akım ve voltaj modlu Bant Geçiren Filtre (BGF-Band Pass Filter) devresi akım modlu yapılar içinden opamp ve akım taşıyıcılarına göre daha esnek ve fazla uygulama alanında kullanılabildiği için de çok yönlü bir eleman olan dört terminalli değişken nullor (FTFN-Four Terminal Floating Nullor) ile gerçekleştirilmiştir. Devrelerin teorik analizi ve PSPICE elektronik devre benzetim programı yardımıyla benzetim işlemleri gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonuçlarının teorik sonuçları doğruladığı görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Nullor, Voltaj ve Akım Modlu Devreler, Bitişik Dönüşüm Yöntemi

## THE PROGRESS OF UAEs AND THE REALISATION OF A BPF CIRCUIT USING VOLTAGE AND CURRENT-MODE FTFN

**Abstract:** In this study; it is introduced that some current-mode universal active elements structure that recently improved to prevent some restrictions of voltage-mode opamps. Hence it is demonstrated that current-mode structure superiority in respect of voltage-mode structure due to current-mode structure's usage area and characteristic feature. Voltage and current-mode BPF circuit is realised with FTFN among current-mode structure since it is more flexible and more versatile building block than opamp and current conveyor. Circuits' theoretical analysis has been done and simulation process has been realised with PSPICE electronic circuits simulation programme. It is shown that simulation results verify the theoretical consideration.

**Key words:** Nullor, Voltage and Current-Mode Circuits, Adjoint Transform method

### 1. Giriş

Tümdevrelerin 1960'lı ilk yıllarından beri opamp, analog devre tasarımında temel yapı bloğu olarak kullanılmış ve halen kullanılmaktadır. Ancak voltaj modlu opamp devrelerinde sabit kazanç-bantgenişliği çarpımından dolayı, kapalı çevrim kazancının yüksek olması istenildiğinde bant genişliği daralmakta, değişim hızları (slew rate) sınırlı olduğundan, yüksek frekanslı çalışmalarda engelleyici etkiye sahip olmaktadır. Oysa akım modlu devreler; büyük bantgenişliği, yüksek değişim hızı, daha geniş dinamik saha, düşük güç tüketimi, basit devre yapısı ve geniş doğrusallık sahası gibi karakteristik özellikler taşıdıklarından voltaj modlu devrelere rağmen geniş uygulama alanı bulmuşlardır [31].

Günümüzde voltaj modlu opamp'ın, bazı sınırlamalarını gidermek için geliştirilen, farklı akım modlu yapılar vardır. Bunlardan "Akım Geribeslemeli Opamp (CFOA-Current Feedback Operational Amplifier) "bilinen opamp'tan ilk

önemli farklılığa sahip olan yapıdır. CFOA; fonksiyonel olarak opamp'a eşdeğer olarak tasarlanmasına rağmen, onun mimarisi opamp kullanımıyla gerçekleştirilen tasarımlardan farklıdır. İki ana özellik, opamp ile CFOA'yu birbirinden ayırmaktadır. Bunlardan birincisi; CFOA'nın asimetrik bir düzenek olmasıdır. Yani; girişlerinden birinin düşük impedans diğerinin ise, yüksek impedans değerinde olmasıdır. İkincisi; giriş-çıkış arasındaki ilişkinin geçiş impedansı fonksiyonu olmasıdır ki; buna göre hemen hemen kazançtan bağımsız bantgenişliğine sahip olan bir yükselteç katı oluşturulmaktadır. CFOA'nın diğer önemli karakteristiklerinden birisi; yüksek impedans noktasına giriş akımının bir kısmını geribesleyen AB sınıfı giriş katının kullanımı sebebiyle, opamp'daki değişim hızı sınırlamasının olmamasıdır. CFOA; "Pozitif İkinci Kuşak Akım Taşıyıcısı (CCII+ -Positive Second Generation Current Conveyor )" olarak tanımlanabilen bir düzenek olarak ta tümdevreleştirilmiştir.

Değişik opamp türleri arasında, bilinen opamp çıkışındaki akımın bir bölümünü yüksek impedans noktasına geribesleme kabiliyetinde olan değişken (floating) çıkışlı opamplar da mevcuttur. Bu tür opamplar; özellikle çıkışta bir akım olması gereken uygulamalar için kullanılmakta olup, böylece tasarım kolaylığı sağlamaktadırlar. Bunlar arasında; Akım Geribeslemeli Opamp, İşlemsel Geçişiletkenliği Kuvvetlendiricisi (OTA-Operational Transconductance Amplifier), İşlemsel Değişken Kuvvetlendirici (OFA-Operational Floating Amplifier), Akım Modlu Kuvvetlendirici (CMOA-Current Modlu Opamp), İşlemsel Geçişdirenci Kuvvetlendiricisi (OTRA-Operational Transresistance Amplifier), Değişken İşlemsel Transrezistans Kuvvetlendirici (Floating OTRA-Floating Operational Transresistance Amplifier), Akım Geribeslemeli İşlemsel Geçişiletkenliği Kuvvetlendiricisi (CFB OTA-Current Feedback Operational Transkondüktans Amplifier), İşlemsel Değişken Taşıyıcı (OFC-Operational Floating Conveyor) ve Akım Farkını Alan Tamponlu Kuvvetlendirici (CDBA-Current Differencing Buffered Amplifier) vardır. "Akım modlu (Current-Mode)" diye isimlendirilen bu ve benzeri yapılar; daha geniş bant genişliğine ve değişim hızına sahip olup, giriş ve çıkış parametreleri akım ve/veya voltaj cinsindedir [4]. Bilinen geleneksel opamp'lar bipolar teknolojisinde üretilirken, akım modlu yaklaşımların çoğunluğu, sayısal devrelerle uyum içinde olan, standart teknolojilerin kullanımını amaçlayan CMOS ile tasarlanmaktadırlar [11].

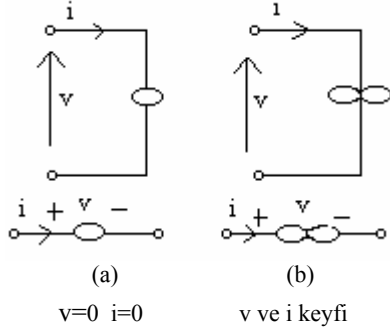
Tümdevre yapısına uygun, doğrusal ve doğrusal olmayan devrelerde özellikle; türev alıcı ve integral alıcı gibi işlem bloklarında, osilatör yapılarında, filtre devrelerinde ve indüktans simülatörlerinin tasarımında kullanılan akım modlu üniversal aktif eleman yapılarından bazıları aşağıda özet veya tanım şeklinde verilmeye çalışılmıştır.

## 2. Uygulamalarda Kullanılan Temel Yapılar

### 2.1 2.1 Nullor, Nullator, Norator

Şekil 1 a ve b'de gösterildiği gibi, 1954 yılında Tellegen [39,40] tarafından ideal elemanlar olarak tanımlanan bu devre modeli, ilk defa 1964 yılında Carlin [5] tarafından "Nullator-Norator veya Nullor" olarak adlandırılmıştır. Lineer, aktif, karşılıklı olmayan (non-reciprocal) bütün devrelerin gerçekleştirilmesinde pasif elemanlara ilave olarak nullator-norator çifti de kullanılmaya başlanmıştır. Nullator-norator çifti birbirinden bağımsız elemanlar olarak düşünüldüğünde fiziksel bir anlam taşımamaktadır. Bu çift tek bir eleman olarak tanımlandığında "Nullor" diye adlandırılmaktadır. Nullor; esas olarak giriş katında, akım ve voltaj değerinin sıfır olduğu "Nullator" ile, çıkış katında akım ve voltaj değerinin keyfi olduğu "Norator" dan oluşturulan ideal bir modeldir. Bu modelle devreyi analiz etmeden önce, devrede bilinen aktif devre elemanlarının nullor eşdeğerleri alınır ve bilinen düğüm analizi

yöntemleriyle devre analiz edilir. Böyle bir metotla devreyi analiz etmek; klasik yöntemlere göre devre yapısını daha basitleştirmekte, kullanılan aktif elemanın ilgili devre parametrelerine olan bağımlılığını azaltmakta veya ortadan kaldırmakta ve devre çözümünü kolaylaştırmaktadır.



Şekil 1. (a) Nullator'un (b) Norator'un sembolik gösterimi

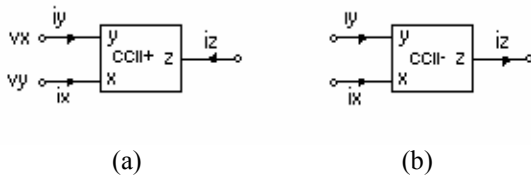
Nullor modeli; bilinen aktif devre elemanlarının ideal olmayan etkilerini azaltmada, devrede iki veya daha fazla kontrollü kaynak kullanıldığında, devrenin pasif hassasiyetini bozmaksızın aktif hassasiyetinin düzeltilmesinde [14] ve özellikle geribeslemeli devrelerin analizinde kullanılmaktadır [40]. Bunların yanısıra nullor modeli; bitişik dönüşüm işleminin uygulanarak voltaj modlu universal aktif elemanlı osilatör ve filtre devrelerinden, akım modlu devrelere dönüşüm işleminde [28,29,37] voltaj ve akım modlu inverse (ters) filtrelerin [23,8,42] oluşumunda kullanılmaktadır.

## 2.2 CCII

İlk kez 1970 yılında Sedra ve Smith [33] tarafından tanıtılan CCII'lar; opamp'lar, Norton kuvvetlendiricileri (CDA-Current Difference Amplifiers) ve OTA gibi diğer aktif devre elemanlara göre daha geniş bir frekans bandında çalışabilen, çıkış akımları; giriş uçlarına uygulanan gerilim veya akımla denetlenebilen ve böylelikle devre sentezi açısından daha esnek bir kullanıma sahip olan dört uçlu aktif devre elemanlarıdır [32].

Şekil 2'de sembolik olarak gösterilen CCII'lar opamp'lar gibi, doğrusal ve doğrusal olmayan devrelerde özellikle, türev alıcı ve integral alıcı gibi işlem bloklarında, osilatör yapılarında, filtre devrelerinde ve indüktans simülasyonlarının tasarımında kullanılmaktadır. Aktif yapı **bloğu olarak CCII'lar yüksek frekanslardaki performansları, yüksek doğrusallıkları ve geniş dinamik çalışma sahaları ile ön plana çıkmış olup, hatta bazı işlem bloklarının CCII'larla gerçekleştirilenlerinin sonucu olarak bir ucu topraklı kapasite ve direnç içermelerinden tümdevreleştirilmeye daha elverişli olmuşlardır.** Bundan dolayı CCII'larla gerçekleştirilen işlem blokları, opamp'larla gerçekleştirilenlere göre ilave bir üstünlüğe sahiptir. Böylece, bu yapı blokları tümdevreleştirilerek; Analog Devices Firması tarafından AD844 kodu ile ve Phototronics Firması tarafından da PA630 kodu ile piyasaya çıkarılmıştır.

CCII'ların terminal değişkenleri arasındaki bağıntıyı gösteren Denklem (1)'e göre; akım transfer oranı A'nın işaretine bağlı olarak negatif ve pozitif türleri vardır. Ayrıca akım taşıyıcılarının herhangi bir girişinde bir voltaj tampon devresinin yerine bir voltaj inverteri kullanılarak da Voltaj Eviren Akım Taşıyıcı (VICC -Voltaj Inverting Current Conveyor) devresi geliştirilmiştir.



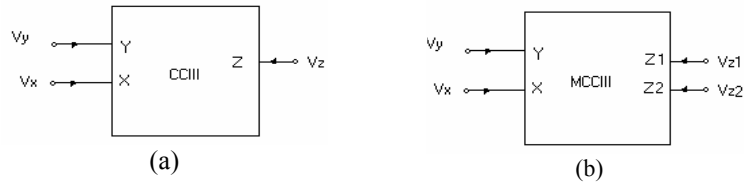
Şekil 2. (a) CCII+'nın (b) CCII-'nin sembolik gösterimi

$$\begin{bmatrix} i_y \\ v_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm A & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_y \\ i_x \\ v_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

### 2.3 CCIII ve MCCIII

Akım taşıyıcıları fikrinin ilk kez 1968 yılında yeni bir devre elemanı olarak ortaya çıkmasından sonra [36], 1970 yılında terminal değişkenleri arasında değişiklik yapılarak CCII'lar [33] ve 1995 yılında ise Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcıları (CCIII-Third Generation Current Conveyor) sunulmuştur [17]. Şekil 3 a'da sembolik olarak verilen CCIII'lar; Denklem (2)'ye göre kazancı bir olan akım kontrollü akım kaynağı olarak tanımlanabilmektedir. Kullanım alanları arasında ise; özellikle değişken (floating) pasif eleman üzerindeki akımın bulunması ve bunun yanında çeşitli devre bloklarının ve filtrelerin tasarımı yer alabilmektedir [17].

Son zamanlarda CCIII'larla gerçekleştirilemeyecek olan devreler için farklı tasarım olanakları sunabilen yeni bir aktif devre elemanı olan Geliştirilmiş Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcıları (MCCIII-Modified Third Generation Current Conveyor) önerilmiştir [22]. Şekil 3 b'de gösterilen bu yapıda akım kazancı iki olan yeni bir z-terminali eklenmiştir. Bu aktif elemanın terminal değişkenleri arasındaki bağıntı ise; Denklem (3)'de verilmiştir. Bu yeni devre elemanın getirdiği esneklik sonucunda, iki fazlı osilatörler ile, yüksek kalite faktörlü (Q) filtreler gibi bazı analog devre bloklarının oluşturulmasında yeni imkanlar ve kolaylıklar sağlanabilmektedir [22].



Şekil 3 (a). CCIII'nin, (b). MCCIII'nin sembolik gösterimi

$$\begin{bmatrix} i_y \\ v_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm A & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_y \\ i_x \\ v_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

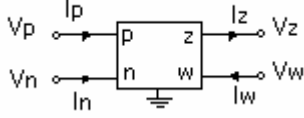
$$\begin{bmatrix} i_y \\ v_x \\ i_{z1} \\ i_{z2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_y \\ i_x \\ v_{z1} \\ v_{z2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

### 2.4 2.4 CDBA

Son zamanlarda analog tümdevrelerin ve akım modlu yapıların gelişmesiyle devre sentezi açısından yeni imkanlar sağlamak ve devre kuruluşunu basitleştirmek için Akım Farkını Alan Tamponlu Kuvvetlendirici (CDBA-Current Differencing Buffered Amplifier) adı verilen yeni bir aktif yapı bloğu tanımlanmıştır [2]. Şekil 4'de sembolik olarak gösterilen CDBA; terminal değişkenleri arasındaki bağıntıyı gösteren Denklem (4)'e göre, birim kazançlı bir fark akım kontrollü akım kaynağı ve birim kazançlı bir gerilim kontrollü gerilim kaynağı ile modellenebilmektedir. OTRA olarak da adlandırılan bu elemanın giriş fark akımı bu elemanın z-ucuna dışardan bağlanan bir impedans ile çarpılarak w-ucunun gerilimini belirlemekte olduğundan, bu eleman geçiş direnci kuvvetlendiricisi olarak da adlandırılmaktadır [9].

CDBA; düşük impedanslı giriş ve çıkış uçlarına sahip olduğundan, bu elemanla gerçekleştirilen devreler geniş bantlı olarak çalışabilmektedirler. CDBA; hem ticari olarak satılan entegre devrelerle, hem de tümdevre teknolojisinde farklı şekillerde gerçekleştirilebilmektedir. Bunlar arasında Analog Devices firması tarafından imal edilen iki adet

CFOA tipi AD844 tümdevresi ile gerçekleştirilen CDDBA mevcuttur. Bu elemanın kullanım alanları arasında; osilatör ve filtre tasarımı, immitans simülasyonları gibi alanlar sayılabilmektedir.

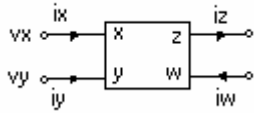


$$\begin{bmatrix} v_p \\ v_n \\ i_z \\ v_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_p \\ i_n \\ v_z \\ i_w \end{bmatrix} \quad (4)$$

Şekil 4. CDDBA'nın sembolik gösterimi

## 2.5.5 FTFN

Tümdevre yapısına uygun, akım modlu tüm geçiren filtrelerin gerçekleştirilmesinde kullanılan nullor çeşidi; "Dört Terminalli Nullor (FTFN-Four Terminal Floating Nullor)" olarak adlandırılmaktadır. Şekil 5'de sembolik gösterimi verilen FTFN'ye geçilme sebebi; nullor eşdeğerine dönüştürülmüş devrelerden özel aktif elemanların seçiminde birtakım güçlüklerle karşılaşmış olunmasıdır. Örneğin; bir nullator-norator çiftinin opmp'larla yer değiştirmesi istenildiğinde; norator'un bir terminali topraklanmak ve CCII'larla yer değiştirmesi istenildiğinde nullator'un bir terminali norator'un bir terminaline bağlanmak zorundadır. Bu yüzden opamp'lı voltaj modlu devrelerden FTFN'li akım modlu devrelere dönüşümü düşünülmüştür. Böylece nullator-norator çifti hiçbir koşul olmaksızın FTFN ile kolaylıkla yer değiştirebilmiştir. Opamp'lı voltaj modlu devrelerden, FTFN'li akım modlu devrelere dönüşüm voltaj modundan akım moduna geçiş için önemli olmakla beraber aynı zamanda, nullor eşdeğer devrelerinin yeniden aktif devreye dönüşümünde de kolaylık sağlamaktadır [6,7]. Terminal değişkenleri arasındaki bağıntıyı gösteren Denklem (5)'e göre; çoğu zaman 'dört terminalli nullor' için "nullor" veya "OFA" terimi kullanılmaktadır [21]. Üç terminalli nullor ise, dört terminalli nullor'daki, bir giriş portunun bir çıkış portuna bağlandığı nullor türüdür. "Üç terminalli nullor" için de "Negatif İkinci Kuşak Akım Taşıyıcısı (CCII -Negative Second Generation Current Conveyor)" ifadesi kullanılmaktadır [31].



Şekil 5. FTFN'nin sembolü

$$\begin{aligned} i_x &= i_y = 0 \\ i_z &= \pm i_w \\ v_x &= v_y \end{aligned} \quad (5)$$

FTFN; akım modlu devreler arasında en umut verici olup, hem voltaj, hem de akım modunda kullanılabilen önemli bir yapıdır. Pratik ve teorik olarak önerilen düzeneklerin çoğunluğu, FTFN'nin kullanımıyla yapılandırılabilir. Bu durum onun, opamp ve akım taşıyıcılarına göre daha esnek ve fazla uygulama alanında kullanılabilirdiği için de çok yönlü bir eleman olduğunun göstergesi olmuştur [3].

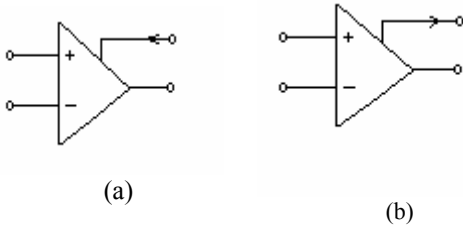
Önceleri sadece teorik bir eleman olarak kalan FTFN, son yıllarda komplementer transistör imalindeki ve akım modlu devrelerdeki gelişmelerden sonra değişik uygulamalarda kullanılabilir olmuştur. Bu uygulama alanları arasında; akım yükselteçleri, voltaj-akım konverterleri, jirator (gyrator), değişken immittance ile son yıllarda aktif RC filtreleri ve sinüsoidal osilatör tasarımı sayılabilir [1,18,24,12].

FTFN'nin gerçekleştirilmesinde iki yaygın metot vardır. Birincisi; opamp ve akım aynalarının kullanımıyla yapılan "Besleme Akımı Algılama Metodu (SCSM- Supply Current Sensing Method)" tur. Ancak bu yapıda FTFN'nin

performansı, opamp'ın yüksek frekanslı çalışmalarda sabit kazanç bant genişliğinden ve sınırlı değişim hızı özelliklerinden dolayı sınırlandırılmaktadır. İkinci metot ise; iki akım taşıyıcısının kaskad olarak bağlanmasıyla yapılan metottur. Ancak bu metotta da aktif eleman sayısı artmaktadır [3]. Bu iki metotun dezavantajlarından kurtulmak için son yıllarda FTFN gerçekleştirimi; VLSI teknolojisine daha uygun, modern analog/sayısal IC tasarımında tercih edilen, düşük güç tüketimi ve yüksek entegrasyon yoğunluğuna sahip CMOS ile yapılmaktadır [11].

## 2.6 OMA

İşlemsel Aynalanmış Kuvvetlendirici (OMA- Operational Mirrored Amplifier); pasif eleman sayısında bir azalma ve yüksek frekans karakteristiklerinde bir düzelme sağlamak amacıyla akım dönüştürücüleri ve akım taşıyıcılarını gerçekleştirmek için kullanılmakta olan bir elemandır [26]. FTFN gibi pek çok uygulamada kullanılabildiği için çok yönlü bir aktif eleman olarak bilinmektedir. Şekil 6'da sembolik olarak gösterilen OMA'nın; bir opamp ve iki çift kaskad bağlı akım aynalarından oluşan OMA+ ile bir opamp ve bir çift akım aynasından oluşan OMA- türü vardır [27,34].

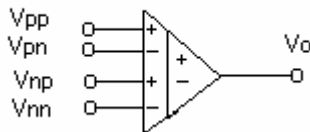


Şekil 6 (a) OMA-'nin (b) OMA+'nın sembolik gösterimleri

Yüksek kalite faktörlü (Q) akım modlu filtrelerin gerçekleştirilmesinde kullanıldığında en az sayıda eleman kullanarak ve devre topolojisini değiştirmeksizin eş zamanlı olarak alçak geçiren, yüksek geçiren ve bant geçiren fonksiyonlarını yerine getirebilmektedir. Ayrıca değişken impedans (FI-Floating Impedance) ve değişken genelleştirilmiş impedans dönüştürücüsü/tersleyicisi

(FGNIC/GNII-Floating Generalised Impedance Converter/Inverter) tasarımında da devre basitliği sağlayabilmekte olup, diğer akım modlu elemanlara göre ilave bir üstünlük sağlamaktadır [25,35].

## 2.7 DDA



Şekil 7. DDA'nın sembolik gösterimi

Şekil 7'de sembolik olarak verilen Diferansiyel Fark Yükseltici (DDA-Differential Difference Amplifier); opamp fikrinin genişletilmiş bir yapısı olup, aralarındaki fark; opamp'taki iki tek sonlu giriş yerine iki fark giriş portunun olmasıdır [19]. Bu yüzden DDA temelli devreler opamp temelli devrelere karşı bir tasarım seçeneği sunabilmektedir. Geniş bir dinamik sahaya sahip olan CMOS DDA'lar, sürekli zaman analog sinyal işleme

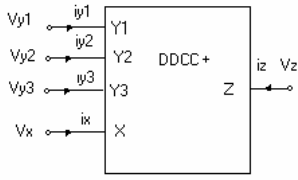
sistemlerinde temel bir yapı bloğu olarak kullanılabilir. Bunlar arasında; toplayıcı-çıkarıcı devreler, integratörler, dört bölgeli çarpıcılar (four quadrant multipliers), genlik modülatörleri, kararlı-değişken (state-variable) filtreler, voltaj karşılaştırıcıları, dirençsiz voltaj tersleyicileri ve sadece iki harici direnç kullanan enstrümantasyon kuvvetlendiricileri sayılabilir [30].

## 2.8 DDCC ve DVCC

CCII'nın yüksek frekanslı uygulamalarda kullanılan çok yönlü bir yapı bloğu olduğu bilinmektedir. Ancak CCII'nın

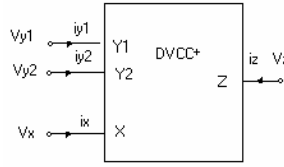
yüksek giriş impedansına sahip bir giriş terminali olduğu için, fark giriş sinyallerine ihtiyaç duyulan yapılarda kullanılamamaktadır. İşte bu dezavantajın üstesinden gelmek için DDA'nın ve CCII'nin avantajlarının birleştiren iki yeni yapı bloğu ortaya çıkarılmıştır. Bunlar: Diferansiyel Fark Akım Taşıyıcısı ( DDCC-Differential Difference Current Conveyor) ve Diferansiyel Voltaj Akım Taşıyıcısı (DVCC- Differential Voltage Current Conveyor) 'dır [9,16]. Sırasıyla Şekil 8 a ve b'de sembolik yapıları, Denklem (6) ve (7)'de terminal bağıntıları verilen DDCC ve DVCC'ler; impedans dönüştürücü devreleri, akım modlu enstrümantasyon kuvvetlendiricisi, analog çarpıcılar ve karakök alma devreleri gibi fark veya değişken girişler gereken uygulamalarda, akım modlu ve voltaj modlu alçak geçiren-bant geçiren filtrelerde tercih edilmektedirler [9,16,15] .

Şekil 8'deki semboller DDCC ve DVCC'nin pozitif türü için verilmiştir. Negatif yapı için ise  $i_z$  akımının yönü dışarı doğru olacaktır. Ayrıca Şekil 9'da görüldüğü gibi, DDCC+ ve DDCC- türlerini ortak bir yapıda birleştiren DDCCC (Differential Difference Complementary Current Conveyor) devre elemanı da tasarlanmıştır [9].

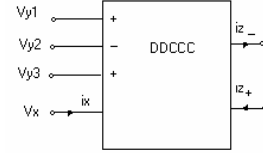


(a)

Şekil 8 (a) DDCC'nin b) DVCC'nin sembolik gösterimi



(b)



Şekil 9. DDCCC'nin sembolik gösterimi

$$\begin{bmatrix} i_{y1} \\ i_{y2} \\ i_{y3} \\ v_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{y1} \\ v_{y2} \\ v_{y3} \\ i_x \\ v_z \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} v_x \\ i_{y1} \\ i_{y2} \\ i_{z1} \\ i_{z2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_x \\ v_{y1} \\ v_{y2} \\ v_{z1} \\ v_{z2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

## 2.9 UAE

UAE olarak adlandırılan bir düşünce, yıllar önce Tellegen tarafından Şekil 11'e göre oluşturulan Denklem (8)'deki matematiksel ifadeyle literatürde yer almıştır [31]. Denklem (8)'de belirtildiği gibi, dört terminalli bir devrenin iki terminalli olarak tanımlanması için;  $i_a = -i_a$  olmalıdır. Ancak dört terminalli bir yapı yinede birebir iki terminalli yapıya dönüştürülemez. Çünkü iki terminalli devre iki denklemle tanımlanırken, dört terminalli yapı üç denklemle tanımlanmaktadır. Bu yüzden Denklem (8)'e, üniversal dört terminalli elemanı oluşturmak için bir eşitliğin daha ilave edilmesi gerekmektedir. Bu ilave edilecek eşitlik, Denklem (8) ile çelişmeyecek şekilde, doğrusallık şartı da aranmaksızın serbestçe seçilebilmektedir. Bunun anlamı; sonsuz sayıda farklı nitelikli üniversal dört terminalli elemanın olduğudur. Bunlardan en basit ve yaygın olarak kullanılanlardan biri; "dört terminalli nullor" diğeri "üç terminalli nullor" dur [34]. Analog aktif düzenek olarak opamp'ın üstünlüğü ve UAE düşüncesinin gelişmesini sağlayacak uygun teknolojinin olmayışı bu düşüncenin gelişiminde ciddi bir engel olmuştur. UAE; en az sayıda aktif

ve pasif bileşen kullanımıyla herhangi bir doğrusal veya doğrusal olmayan devreyi yapılandırabilen bir aktif eleman olup, idealize bir yaklaşım olarak düşünülebilir. UAE'nin sahip olduğu fonksiyonel karakteristik; direnç, kapasitör, kontrollü kaynaklar, transistörler vb elemanlarla tanımlanan devrelerde, alt devrelerin içerdiği elemanlarda dahil olmak üzere gereksiz elemanlar kullanmak yerine, en az sayılı eleman grubu ele alınarak gerçekleştirilmeyi hedefler. Bu devredeki elemanlardan bir tanesi hariç, hepsi pasiftir. İşte bu tek üniversal aktif eleman; 'nullor' adı verilen tek kapılı iki elemanın (nullator-norator) birleşiminden meydana gelen yapıya, ek bir akım çıkışı ile voltaj takipçisinin ilave edilmesiyle oluşmaktadır. Bu tanımlamaya göre UAE; nullor adının alternatififi olarak aynı anlamda kullanılmaktadır [4].



Şekil 10. UAE'nin tanımı gereğince iki kapılı devre şekli

$$\begin{bmatrix} v_a \\ i_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_b \\ -i_b \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$i_a = -i_a' \quad \text{koşulu altında}$$

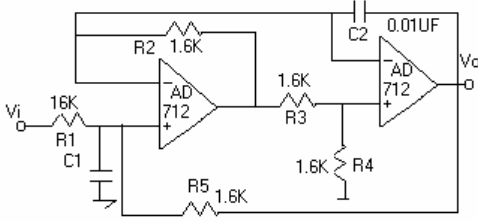
Son yıllarda üniversal aktif eleman ve nullor gibi düşüncelerle birlikte, ortak bir yapı içinde bilinen tüm opamp ve akım taşıyıcılarının yer aldığı ve tümdevre tasarımında mümkün olan en iyi yapıyı gerçekleştirmeyi amaçlayan, üniversal yükselteç sınıflandırması yapılmıştır. Üniversal yükselteç sınıflandırmasında; bir voltaj kuvvetlendiricisi olan opamp'ın giriş ve çıkış katlarındaki impedanslara göre düzenleme yapılırken, akım taşıyıcılarında terminal değişkenleri arasındaki bağıntı dikkate alınmıştır. Buna göre giriş akım ve voltajının sıfır olmasından dolayı ideal opamp bir üniversal aktif elemandır. Aynı şekilde CFOA, CCII- ve OTA'da aynı şekilde üniversaldirler. Uzun yıllar pek çok üniversal aktif elemanın gelişimi, tümdevre tasarımcıları ve devre teorisyenleri tarafından incelenmektedir. Çünkü onların sahip olduğu pek çok avantajlar bulunmaktadır. Bunlar arasında çok karmaşık sistemlerin analizini basitleştirmek için, üniversal aktif elemanlar aynı fonksiyonu yerine getiren, devredeki aktif elemanların yaklaşık modeliyle yer değiştirilebilirler. Ayrıca üniversal aktif eleman türleri, tümdevre yapımı ve üniversal aktif elemanlar arasında doğrudan bir bağlantı oluşturmaktadırlar [31].

### 3. Nullor Modeli Yardımıyla Bant Geçiren Filtre Devresinin Voltaj ve Akım Modlu Olarak FTFN ile Gerçekleştirilmesi

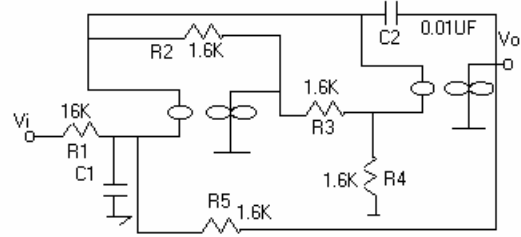
Nullor Modeli kullanarak; bitişik dönüşüm yönteminin (Adjoint Transformation Method) uygulanmasıyla voltaj modlu üniversal aktif elemanlı osilatör ve filtre devrelerinden, akım modlu devrelere dönüşüm gerçekleştirilebilmektedir [28,29,41]. Bu bölümde nullor modelinin üniversal aktif elemanlar arasında geçişi sağladığını göstermek için, bitişik dönüşüm yönteminin kısa bir tanıtımından sonra, Voltaj Modlu Opamp'lı Bant Geçiren Filtre Devresinin, Voltaj ve Akım Modlu FTFN ile gerçekleştirilmesi verilecektir. Bu prensip gereğince Şekil 11'deki devre ile Şekil 14 ve 15'deki devrelerin, transfer karakteristikleri sırasıyla Denklem (9) ve (10)'da verilmiş olup, her ikisinin de aynı transfer karakteristiğine dolayısıyla da aynı kesim frekanslarına sahip oldukları Denklem (11)'de görülmektedir. Teorik analiz sonucunda elde edilen rezonans frekansı 10kHz olup bantgenişliği 6.28kHz bulunmuştur. Şekil 12'de bu teorik analizlerin doğruluğunu ispatlamak için, PSPICE elektronik devre benzetim programı ile elde edilen benzetim sonucu voltaj modlu opamp, akım ve voltaj modlu FTFN için verilmiştir. Bu programda, hesaplama zamanını kısaltan yeterli doğrulukta ve basit bir doğrusal olmayan FTFN makromodeli kullanılmaktadır [13].



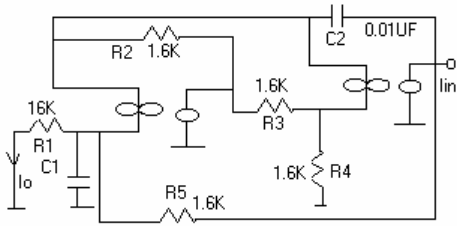
Bitişik dönüşüm işlemine geçmeden önce devredeki tüm aktif elemanların nullor eşdeğerleri alınır. Daha sonra nullor eşdeğerini oluşturan yapıda Nullator-Norator çifti karşılıklı olarak yer değiştirir. Bu sırada devredeki pasif elemanlar bir değişikliğe uğratılmadan aynen kalır. Giriş voltajı bir kısa devre ile yer değiştirilir ve üzerinden akan akım, yeni devrenin çıkış akımı olarak kabul edilir. Bir akım kaynağı çıkış portuna bağlanır ve bu da yeni devrenin giriş akımı olur [29]. Sonuç olarak, ilk devrenin düğüm admitans matrisi, elde edilen devrenin düğüm admitans matrisinin transpozuna eşit olur [38]. Böylece sonsuz giriş impedanslı ve sıfır çıkış impedanslı voltaj kuvvetlendiricisi, sıfır giriş impedanslı ve sonsuz çıkış impedanslı akım kuvvetlendiricisine dönüştürülmüş olur.



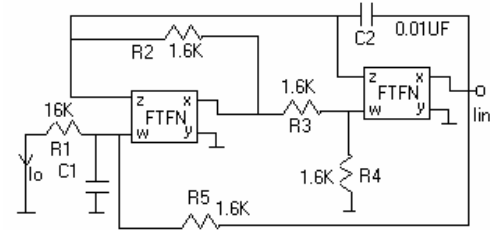
Şekil 11. Voltaj modlu Opamp'lı Band Geçiren Filtre Devresi



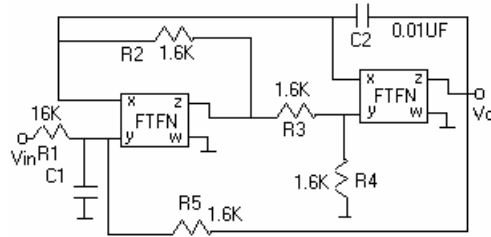
Şekil 12. Şekil 11'deki devrenin Nullor Eşdeğeri



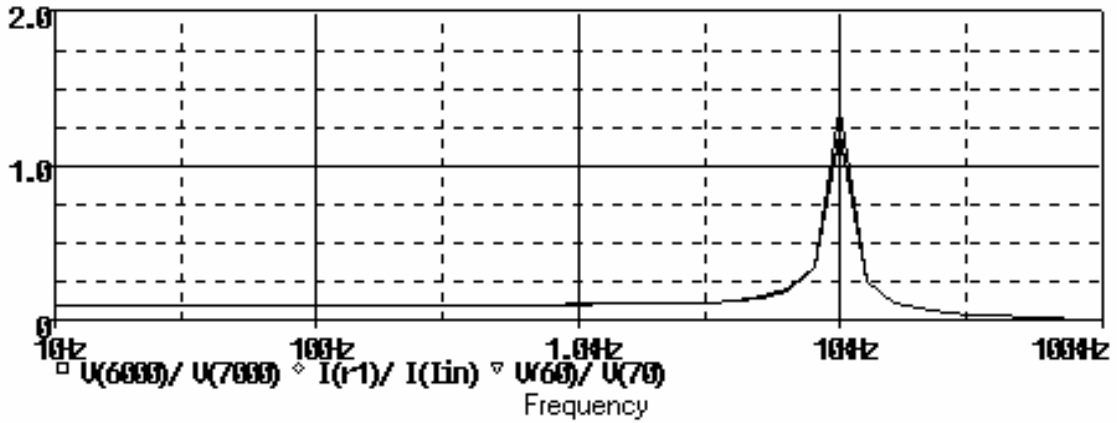
Şekil 13. Şekil 12'deki devreye Bitişik dönüşüm işleminin uygulanması sonucu elde edilen devre



Şekil 14. Şekil 13'deki Nullor yapısına göre Şekil 11'deki devrenin akım modlu FTFN eşdeğeri



Şekil 15. Şekil 11'deki devrenin voltaj modlu FTFN eşdeğeri



Şekil 16. Voltaj modlu Opamp'lı, Voltaj ve Akım modlu FTFN'li Bant Geçiren Sallen-Key Filtresinin frekans cevabını gösteren benzetim sonucu

$\frac{V_o}{V_i} = \left( \frac{sG_1}{C_1} - \frac{G_1G_2G_4}{G_3C_2C_1} \right) / \left( s + \frac{G_1s}{C_1} + \frac{G_3G_4G_2}{G_3C_2C_1} \right)$	(9)	$\frac{I_o}{I_i} = \left( \frac{sG_1}{C_1} - \frac{G_1G_2G_4}{G_3C_2C_1} \right) / \left( s + \frac{G_1s}{C_1} + \frac{G_3G_4G_2}{G_3C_2C_1} \right)$	(10)	$W^2 = \frac{G_3G_4G_2}{G_3C_2C_1}$	(11)
---	-----	---	------	-------------------------------------	------

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada voltaj modlu opamp'ın bazı sınırlamalarını üstesinden gelmek için geliştirilen akım modlu universal aktif eleman yapılarından bazılarının tanıtımı yapılmıştır. Bu yapıların kullanım alanları ve karakteristik özellikleri verilerek tercih edilme sebepleri belirtilmiştir. Ayrıca nullor modelinin aktif eleman yerine kullanımıyla, voltaj moduna karşılık geliştirilen akım modlu devrelerin ortaya çıkışında önemli bir araç olduğu gösterilmiştir. Akım modlu yapılar arasında en umut verici olan ve hem voltaj, hem de akım modlu olarak kullanılabilen FTFN'in kolaylıkla nullator-norator çiftiyle yer değiştirilebilme özelliğinden yararlanılmıştır. Böylece bitişik dönüşüm yöntemiyle voltaj modlu bant geçiren filtre devresinin, FTFN'li akım ve voltaj modlu olarak gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Aynı transfer fonksiyonlarına sahip olan devrelerin çalışma frekansları PSPICE simülasyon programı yardımıyla bulunan grafiklerle doğrulanmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada, büyük bantgenişliği, yüksek değişim hızı, daha geniş dinamik saha, düşük güç tüketimi, basit devre yapısı ve geniş doğrusallık sahası gibi karakteristik özellikler taşıdığı için akım modlu FTFN yapısına dönüşüm yönteminin basitliği ve önemi gösterilmiştir.

#### Kaynaklar

1. Abuelma'atti M.T., Universal Current-Mode Filter Using Four Terminal Floating Nullor, Microelectronics Journal, 31, 123-127, 2000.
2. . Acar C., Özoğuz S., A New versatile Building Block: Current Differencing Buffered Amplifier Suitable for Analog Signal Processing Filters, Microelectronics Journal, 27, 157-160, 1999.
3. Al-Zaher H. A., The Four Terminal Floating Nullor (FTFN) and Its Applications, King Fahd Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 1997.

4. Cabeza R., Carlosena A., Analog Universal Active Devices: Theory, Design and Applications, Analog Integrated Circuit and Signal Processing, 12, 153-168, 1997
5. Carlin H. J., Singular Network Elements, IEEE Transactions CT-11, 67-72, 1964.
6. Carlosena A., Moschytz G. S., Nullators and Norators in Voltage to Current Mode Transformations, International Journal of Circuits Theory and Applications, 21,421-424, 1993.
7. Chang C., Chen P., Realisation of Current-Mode Transfer Function Using Second Generation Current Conveyor, International Journal of Electronics, 71, 809-815, 1991.
8. Chipipop B., Surakamponorn W., Realisation of Current-Mode FTFN-Based Inverse Filter, Electronics Letters, 35, 690-691, 1999.
9. Chiu W., Liu S-L., Tsao H.-W., Chen J.-J., CMOS Differential Difference Current Conveyor and Their Applications, IEE. Proc. Pt-G, 143, 91-96, 1996.
10. Chui W., Tsay J., Tsao H., Chen J., Single MOSFET-C Integrator Using OTRA, Electronics Letters, 31, 1796-1797, 1995.
11. Çam U., Kuntman H., CMOS Four Terminal Floating Nullor Design Using A Simple Approach, Microelectronics Journal, 30, 1187-1194, 1999.
12. Çam U., Toker A., Çiçekoğlu O., Universal Series and Parallel Immittance Simulators Using FTFN, Analog Integrated Circuits and Signal Processing, 25, 59-66, 2000.
13. Çam U., Kuntman H., Simple and Accurate Nonlinear Macromodel for Four Terminal Floating Nullors (FTFNs), International Journal of Electronics, 88, pp: 435-447, 2001.
14. Davies A. C., The Significance of Nullators, Norators and Nullors in Active-Network Theory, The Radio and Electronic Engineer, 259-267, 1967.
15. Duruk A., Kuntman H., Toker A., Çiçekoğlu O., New Improved CMOS Implementation of Differential Difference Current Conveyor", Int Con. Electrical Electronics Eng. ELECO 99 pp: 90-94, Bursa, Turkey, 1999.
16. Elwan H. O., Soliman A. M., Novel CMOS Differential Voltage Current Conveyor and Its Applications, IEE-Proc. Pt-G, 144, 195-200, 1997.
17. Fabre A. Third Generation Current Conveyor,: A New Helpful Active Element, Electronics letters, 31, 338-339, 1995.
18. Hou C. L., Yean R., Chang C. K., Single-Element Controlled Oscillators using Single FTFN, Electronics Letters, 32, 2032-2033, 1996.
19. Huang S., Ismail M., Zarabadi S. R., A Wide Range Differential Difference Amplifier: A Basic Block for Analog Signal Processing in MOS Technology, IEEE Transaction on Circuit Systems-II: Analog and Digital Signal Processing, 40, 289-301, 1993.
20. Huijsing J. H., Korte J. D., Monolithic Nullor- A Universal Active Network Element, IEEE Journal of Solid-State Circuits, SSC-12, 59-64, 1977.
21. Huijsing J.H., Design and Application of Operational Floating Amplifier (OFA): The Most Universal Operational Amplifier, Analog Integrated Circuit and Signal Proc. 4, 1125-1129, 1993.
22. Kuntman H., Çiçekoğlu O. Karaçivi B., Universal Current mode Filter Implemented with The Modified Third Generation Current Conveyor, Norsig2000, 165-168, 2000.
23. Leuciue A., Using Nullors for Realisation of Inverse Transfer Functions and Characteristics, Electronics Letters, 33, 949-950, 1997.
24. Liu S. I., Single-Resistance-Controlled Sinusoidal Oscillator Using two FTFNs, Electronics Letters, 33, 1185-1186, 1997.
25. Malhotra J., Senani R., Class of Floating, Generalised, Positive/Negative Impedance Convertors/ Inverters Realised with Operational Mirrored Amplifiers , Electronics letters, 30, 3-4, 1994.

26. Normand G., Differential Current-Convertors and Current-Conveyors Using Dual Operational Mirrored Amplifiers (Dual OMA), *Int. J. Electronics*, 61, 285-290, 1986.
27. Özoğuz S., Acar C., Single-Input and Three-Output Current-Mode Universal Filter Using A Reduced Number of Active Elements, *Electronics letters*, 34, 605-606, 1998.
28. Papazoğlolu C. A., Karybakas C. A., A Transformation to Obtain CCII- Based Adjoint of Op-Amp-Based Circuits, *IEEE Transaction on Circuit Systems-II:Analog and Digital Signal Processing*, 45, 9, 894-898, 1998.
29. Roberts G. W., Sedra A. S, A General Class of Current Amplifier-Based Biquadratic Filter Circuits, *IEEE Transaction on Circuit and Systems-I: Fundamental Theory and Applications*, 39, 257-263, 1992.
30. Sackinger E., Guggenbühl W., A Versatile Building Block: The CMOS Differential Difference Amplifier, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, SSC-22, 287-294, 1987.
31. Schmid H., Approximating the Universal Active Element, *IEEE Transaction on Circuit Systems-II:Analog and Digital Signal Processing*, 47, 11, 1160-1169, 2000.
32. Sedef H., Acar C., Alsan S., İkinci Kuşak Akım Taşıyıcıları (CCII) Kullanarak basamaklı Türden LC Devrelerinin Simülasyonu, *Elektrik Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi*, 1051-1055, 1995
33. Sedra A. S., Smith K. C., A Second-Generation Current Conveyor and Its Applications, *IEEE Transactions on Circuit Theory CT-17*, 132-134, 1970.
34. Senani R., Malhotra J., Minimal Realisations of A Class of Operational Mirrored Amplifier-Based Floating Impedances , *Electronics letters*, 30, 1113-1114, 1994.
35. Senani R., Floating GNIC/GNII Configuration Realised with only a Single OMA, *Electronics letters*, 31, 423-424, 1995.
36. Smith K. C., Sedra A., The Current Conveyor, A New Circuit Building Block, *Proc. IEEE*, 56, 1368-1369, 1968.
37. Soliman A. M., Generation of Current Conveyor-Based All-Pass Filters From Op Amp-Based Circuits, *IEEE Transaction on Circuit Systems-II:Analog and Digital Signal Processing*, 44, 324-330, 1997.
38. Svoboda J. A., Current Conveyors Operational Amplifiers and Nullors, *Proceedings of the IEE*, 136, 317-322, 1989.
39. Tellegen B.D.H., On Nullators and Norators, *IEEE Transactions CT-13*, 466-469, 1966.
40. Uzunhisarcıklı E., *Elektronik Devrelere Nullor Modelinin Uygulanması*, Erciyes Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 1997.
41. Uzunhisarcıklı E., Alçı M., Voltaj ve Akım Modlu devreleri Birbirine Dönüştürme Yöntemi ve Osilatör Uygulamaları, *Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, ELECO 2002*, 2002.
42. Wang Hung-Yu, Lee Ching-Ting, Using Nullors for Realisation of Current-Mode FTFN-Based Inverse Filters, *Electronics Letters*, 35, 1889-1890, 1999.