

**THE USE OF ADJOINT TRANSFORMATION METHOD TO TRANSFORMATION
CURRENT MODE FROM VOLTAGE MODE IN UNIVERSAL ACTIVE ELEMENT BASED
FILTERS
(Review)**

Esmâ UZUNHİSARCIKLİ*
Erciyes Uni. Kayseri Vocational Collage, Electronic Programme, 38039- Kayseri, TURKEY
e-mail: uzunhise@erciyes.edu.tr

Mustafa ALÇI
Erciyes Uni., Dep. of Electronic Engineering, 38039-Kayseri, TURKEY
e-mail: malci@erciyes.edu.tr

ABSTRACT

In this study, a transform procedure for the realisation of current-mode FTFN and for CCII-based filters from voltage-mode operational amplifier-based filter was presented by an adjoint transformation method. First of all, a transformation to voltage-mode CCII-based filter circuit was performed according to the "Transformation Theorem" for the transformation to current-mode CCII-based filter circuit. Nullor model was used during the procedure of transformation to current-mode structure. This model shows that, nullator-norator pair can be used instead of FTFN without any restriction. Therefore, it is shown that transformation from voltage-mode operational amplifier to current-mode FTFN is easy. In this study, adjoint transformation method was introduced and acquired to Turkish literature by different applications. Characteristics of filters that used in applications were confirmed by PSPICE simulation results.

Key Words: Nullor, Voltage and Current-Mode Circuits, Adjoint Transformation Method

**ÜNİVERSAL AKTİF ELEMAN TABANLI SÜZGEÇLERDE GERİLİM MODUNDAN AKIM
MODUNA GEÇİŞTE EK DÖNÜŞÜM YÖNTEMİNİN KULLANILMASI
(Derleme)**

ÖZET

Bu çalışmada, ek dönüşüm (Adjoint Transformation) yöntemiyle işlemsel yükselteç (Operational Amplifier-OA) tabanlı gerilim modlu süzgeç devresinden, akım modlu FTFN'li ve CCII- tabanlı süzgeç devresine dönüşüm işlemi tanıtılmıştır. Ancak akım modlu CCII- tabanlı süzgeç devresine dönüşüm işlemi için önce "Dönüşüm Teoremi" gereğince gerilim modlu CCII- tabanlı süzgeç devresine dönüşüm yapılmıştır. Akım modlu yapıya dönüşüm işlemi sırasında nullor modeli kullanılmıştır. Bu model, FTFN ile nullator-norator çiftinin herhangi bir ön koşul olmaksızın yerdeğiştirebileceğini açıklamaktadır. Böylece, gerilim modlu işlemsel yükselteçten akım modlu FTFN'ye dönüşümün kolay olduğu gösterilmektedir. Bu çalışma da ek dönüşüm yöntemi değişik uygulamalarla Türkçe literatüre tanıtılmaya ve kazandırılmaya çalışılmıştır. Uygulamada kullanılan süzgeç devrelerinin karakteristikleri, PSPICE benzetim sonuçlarıyla doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nullor, Gerilim ve Akım Modlu Devreler, Ek Dönüşüm Yöntemi

1.GİRİŞ

Tümdevrelerin gerçekleştirildiği 1960'lı yıllardan günümüze kadar işlemsel yükselteçler analog devre tasarımında temel yapı bloğu olarak kullanılmış ve halen kullanılmaktadır. Gerilim modlu kuvvetlendirici devrelerinde kazanç-bantgenişliği çarpımının sabit olması ve işlemsel yükselteçlerin değişim hızlarının (slew rate) sınırlı olması yüksek frekanslı çalışmalarda bir dezavantaj oluşturmaktadır. Oysa akım modlu devreler; büyük bantgenişlikleri, yüksek değişim hızları, daha geniş dinamik sahaları, düşük güç tüketimleri, basit devre yapıları ve geniş doğrusallık gibi karakteristik özellikler taşıdıklarından gerilim modlu devrelere göre elektronik devre tasarımında geniş uygulama alanı bulmuşlardır (1).

Günümüzde gerilim modlu işlemsel yükselteç'in, bazı sınırlamalarını gidermek için geliştirilen, farklı akım modlu yapı blokları vardır. Bunlardan tümdevre yapısına uygun, hem gerilim hem de akım modunda kullanılabilen önemli bir yapı bloğu olan FTFN (Four Terminal Floating Nullor-Dört Uçlu Değişken Nullor) işlemsel yükselteç'lere ve CCII (Second Generation Current Conveyor-İkinci Kuşak Akım Taşıyıcısı)'lara göre oldukça esnek ve daha fazla uygulama alanında kullanılabilen bir elemandır (2). Bundan dolayı pratik ve teorik olarak önerilen devrelerin çoğunluğu, FTFN'nin kullanımıyla yapılandırılmaktadır. Şekil 1a FTFN'nin sembolünü, 1b ise nullor eşdeğerini vermektedir.

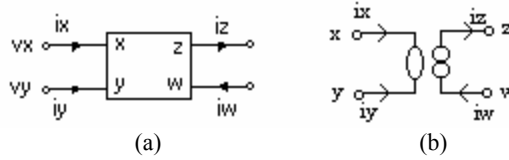


Figure 1. (a) The symbol of FTFN (b) The nullor equivalent of FTFN
Şekil 1. (a) FTFN'nin sembolü (b) FTFN'nin Nullor gösterimi

Uç değişkenleri arasındaki bağıntıya göre pozitif ve negatif olarak sırasıyla Şekil 2a ve b'de sembolik olarak gösterilen CCII'ların nullor eşdeğeri de Şekil 2c'de verilmiştir. CCII'lar işlemsel yükselteçler gibi; doğrusal ve doğrusal olmayan elektronik devrelerde özellikle, türev alıcı ve integral alıcı işlem bloklarında, osilatör yapılarında, süzgeç devrelerinde ve indüktans simülasyonlarının tasarımında kullanılmaktadır. Yüksek frekanslardaki performansı, yüksek doğrusallığı ve geniş dinamik çalışma sahasına sahip olan CCII'lar bir ucu topraklı kapasite ve direnç içerdiklerinden tümdevreleştirilmeye daha elverişlidirler. Bu yapı bloklarının pratikte kullanımı akım modlu ve akım geribeslemeli tümdevreler olan AD844 ve PA630 ile gerçekleştirilebilmektedir.

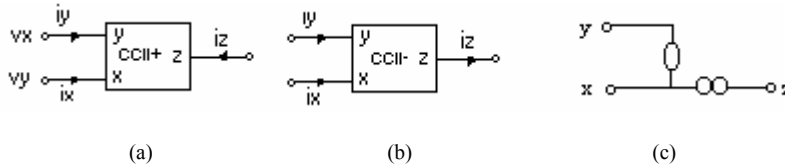


Figure 2. (a) The symbol of CCII+ (b) The symbol of CCII- (c) The nullor equivalent of CCII
Şekil 2. (a) CCII+'nın sembolü (b) CCII-'nin sembolü (c) CCII'nin nullor gösterimi

1. INTRODUCTION

Opamp (Operational Amplifier) has been used as main block in circuit design since the implementation of integrated circuit (IC) technology in 1960. Gain-bandwidth product is fixed in voltage mode circuits and slew rate of opamp is bounded, therefore these features are disadvantages in high frequency operations. Because of the characteristic of current mode circuits such as large bandwidth, high slew rate, wide dynamic range, low power consumption, basic circuit structure and wide linearity, they have a wide application field in electronic circuit design than voltage mode circuit (1).

Recently, there have been different current mode structure block for removing some restrictions in voltage mode opamp. Among these circuits FTFN (Four Terminal Floating Nullor) that is important building block combining both voltage and current mode capabilities is more flexible and versatile building block than VOA and CCII. Because of this condition the most of circuits that was practically and theoretically recommended can be constructed using FTFN (2). Figure 1a and 1b show the FTFN's symbol and nullor model respectively.

In accordance with relation between ports' variables, CCII was shown as positive in Figure 2a, and negative in Figure 2b and the nullor equivalent of CCII was also shown in Figure 2c. Similar to opamp, CCII is used in linear and nonlinear electronic circuits especially in derivative and integration process blocks, in the structure of oscillators, in the filter circuits and in design of inductance simulators. CCII that has high frequency performance, high linearity, wide dynamic range is suitable for IC implementation because CCII circuit has a resistance and capacitance which have one grounded port. The use of this building block at practical application, can be realized by the AD844 and PA630 IC with current mode and current feedback IC.

Ünsel aktif elemanların bazılarının nullor eşdeğerine dönüştürülmesinde elemana ait tanım bağıntılarından dolayı birtakım güçlükler olabilmektedir. Örneğin; bir nullator-norator çiftinin işlemsel yükselteç'lerle yer değiştirilmesi durumunda; norator'un bir ucu topraklanmak zorundadır. Benzer şekilde, CCII'larla yer değiştirilmesi gerektiğinde nullator'un bir ucu norator'un herhangi bir ucuna bağlanmak zorundadır. Oysa nullator-norator çifti işlemsel yükselteç ve CCII'dan farklı olarak herhangi bir koşul olmaksızın FTFN ile kolaylıkla yer değiştirilebilmektedir (3). Bu yüzden işlemsel yükselteç'li gerilim modlu devrelerden, FTFN'li akım modlu devrelere dönüşüm nullor eşdeğer devrelerinin yeniden aktif devreye dönüşümünde de kolaylık sağlamaktadır (4). Çoğu zaman "dört uçlu nullor" için "nullor" veya "OFA (Operational Floating Amplifier)" terimi kullanılmaktadır (5).

Bu çalışmada nullor modelinin önemli kullanım alanlarından olan, gerilim modundan akım moduna geçişi sağlayan ek dönüşüm yöntemi farklı devrelere uygulanarak tanıtılmıştır. Böylece FTFN'nin CCII'ya göre kolay bir dönüşüm sağladığı ve daha esnek olduğu gösterilmiştir.

2. EK DÖNÜŞÜM YÖNTEMİ

Aktif devre elemanlarında nullor modelinin kullanımı, gerilim modlu devre yerine akım modlu devrelerin ortaya çıkışında önemli bir araç olmuştur (3, 5, - 10). Özellikle nullor modeli, gerilim modundan akım moduna geçişte aktif eleman değişimi de yapıyorsa tercih edilmektedir. Eğer aynı aktif eleman kullanılarak gerilim modundan akım moduna geçiş yapıyorsa; o zaman "Ek Blok Diyagram (Adjoint Block Diagram) Metodu" (11) veya tasarımı daha basit olan "Acar Yöntemi" (12) kullanılabilir. Bu çalışmada aktif eleman değişimiyle birlikte gerilim modlu devreden, akım modlu devreye dönüşüm gerçekleştirileceği için, "Ek Dönüşüm Yöntemi" (Adjoint Transformation Method) uygulanmaktadır (13). Ek Dönüşüm Yöntemi uygulanırken önce devredeki aktif elemanların nullor eşdeğerleri alınır, daha sonra ek dönüşüm yöntemi şu şekilde uygulanır:

- Nullor eşdeğerini oluşturan yapıda nullator-norator çifti birbirleriyle karşılıklı olarak yer değiştirilir.
- Devrede bulunan pasif elemanlar bir değişikliğe uğratılmaksızın aynen alınır.
- Giriş gerilimi bir kısa devre ile yer değiştirilir ve bunun üzerinden akan akım, yeni devrenin çıkış akımı olarak kabul edilir.
- Bir akım kaynağı çıkış portuna bağlanır ve bu yeni devrenin giriş akımı olur.
- Eğer devrede gerilim bağımlı bir gerilim kaynağı (VCVS) varsa, akım bağımlı akım kaynağı (CCCS) ile yer değiştirilir (13,14).

Sonuç olarak, ilk devrenin düğüm admitans matrisi, elde edilen devrenin düğüm admitans matrisinin transpozuna eşit olur (15). Böylece sonsuz giriş empedanslı ve sıfır çıkış empedanslı gerilim kuvvetlendiricisi, sıfır giriş empedanslı ve sonsuz çıkış empedanslı akım kuvvetlendiricisine dönüştürülmüş olur.

Some difficulties can occur in transformation of some universal active elements to nullor equivalent of these elements due to the port characteristics of these elements. When the opamp replaced by nullator-norator pair, one port of norator must be grounded. Similarly, when CCII was required to be replaced by nullator-norator pair, one terminal of nullator in nullor equivalent of CCII must be connected to any terminal of norator. In contrast to CCII and opamp; FTFN can be easily replaced by nullator-norator pair without any restriction (3). Therefore the transformation of voltage mode circuit with opamp to current mode circuit with FTFN makes easy to retransform of nullor equivalent circuit to active element (4). Mostly, the nullor or OFA (Operational Floating Amplifier) terms are used for four terminal nullor (5).

In this study, adjoint transformation method, an important application field of nullor model, which provides the transformation of voltage mode to current mode was described. Thus, it was shown that FTFN provides an easier transformation and to be more flexible than CCII.

2. ADJOINT TRANSFORMATION METHOD

The use of nullor model in active circuit elements has become an important tool in the arising of the current mode instead of voltage mode (3, 5- 10). If active element changes are also made during the transformation from voltage mode to current mode, nullor model is especially preferred. When the transformation is made from voltage mode to current mode using the same active element, "Adjoint Block Diagram Method" (11) or a more simple "Acar Method" (12) can be used. Since the transformation from voltage mode circuit to current mode circuit was performed as well as active element changes, "Adjoint Transformation Method" (13) was used in this study. Before the implementation of adjoint transformation method, the nullor Equation of active elements in the circuit, are taken, and then adjoint transformation method is applied as follows:

- In the structure forming the nullor equivalent, nullator-norator pair are replaced to each other.
- The passive elements in the circuit are taken without any changes.
- Input voltage is replaced with a short circuit, the current flown through this short circuit is accepted as the output current of new circuit.
- Current supply is connected to output port and this current is input current of new circuit.
- If there is voltage dependent voltage supply (VCVS) is replaced by current dependent current supply (CCCS) (13,14).

In conclusion, node admittance matrix of first circuit is equal to the transpose of the obtained circuit's node matrix (15). Thus, voltage amplifier with infinite input impedance and zero output impedance is transformed to current amplifier with zero input impedance and infinite output impedance.

3.EK DÖNÜŞÜM YÖNTEMİ UYGULAMALARI

3.1 Yüksek Geçiren Sallen-Key Süzgecinin Gerilim Modlu İşlemsel Yükselteç Tabanlı Yapıdan Akım Modlu FTFN Tabanlı Yapıya Dönüştürülmesi

Şekil 3'de gösterilen gerilim modlu Yüksek Geçiren (YG) Sallen-Key Süzgecine önceki bölümde anlatılan ek dönüşüm yöntemi uygulamak için, Şekil 4a'da gösterildiği gibi devrenin nullor eşdeğeri alınır. Daha sonra devredeki tüm nullator-noratorların karşılıklı yerdeğiştirilmesiyle Şekil 4b'de gösterilen devre elde edilir. Bulunan devrenin nullor eşdeğeri, akım modlu devrelerden FTFN'in nullor yapısına daha uygun olduğundan, gerilim modlu işlemsel yükselteç yapısından Şekil 5'deki akım modlu FTFN yapısına geçilmiş olur.

Uygulanan yöntem gereğince oluşturulan Şekil 3'deki devre ile Şekil 5'deki devrenin, fonksiyonları sırasıyla Eş.1 ve 2'de verilmiştir. Her iki devrenin de aynı karakteristiğe dolayısıyla da aynı kesim frekanslarına sahip oldukları Eş.3'de görülmektedir. Eş.3'e göre elde edilen 3dB'lik kesim frekansı gerilim ve akım modlu süzgeç için 1.59 KHz'dir. Bu teorik analizlerin doğruluğunu göstermek için, PSPICE elektronik devre benzetim programı kullanılmıştır.

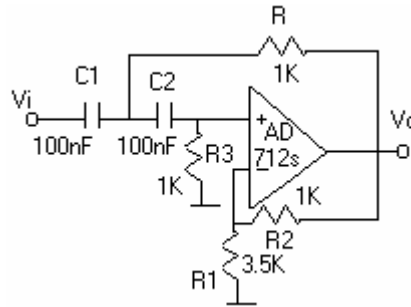


Figure 3. Opamp Based High Pass Sallen Key Filter

Şekil 3. İşlemsel Yükselteç Tabanlı Yüksek Geçiren Sallen-Key Süzgeci

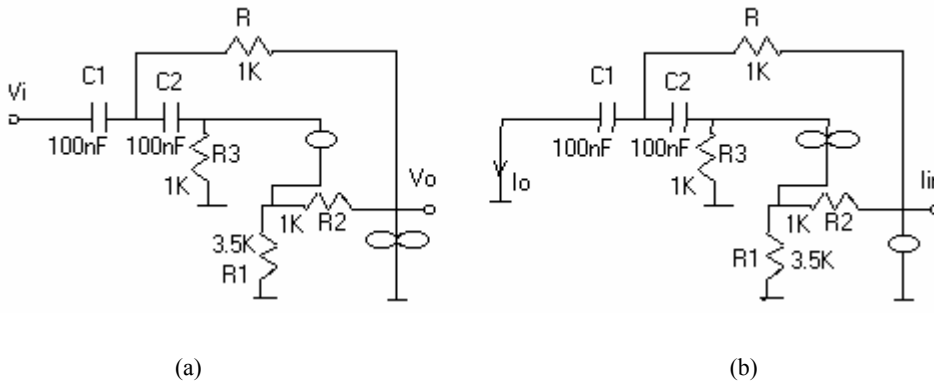


Figure 4. The applying adjoint transformation method to the circuit in Figure 3 (a) Nullor equivalent of circuit in Figure 3 (b) The circuit obtained by applying of adjoint transformation method to circuit in Figure 4a

Şekil 4. Şekil 3'deki devreye Ek Dönüşüm Yönteminin Uygulanması (a) Şekil 3'deki devrenin Nullor Eşdeğeri (b) Şekil 4'daki devreye ek dönüşümünün uygulanması sonucu elde edilen devre

3.THE APPLICATIONS OF ADJOINT TRANSFORMATION METHOD

3.1. The Transformation of High Pass Sallen-Key Filter from Opamp Based Voltage Mode to FTFN Based Current Mode

The nullor equivalent of circuit was taken as shown in Figure 4a for the application of adjoint transformation method to voltage mode High Pass (HP) Sallen-Key Filter in Figure 3 as described above. Later on, the circuit illustrated in Figure 4b was obtained by the replacement of all nullators and norators with each other. Since the obtained nullor equivalent of circuit was more suitable to the nullor model of current mode FTFN the structure was transformed from voltage mode opamp to current mode FTFN as illustrated in Figure 5.

According to the applying method, the functions of circuit in Figure 3 and 5 are given in Eq. 1 and Eq.2 respectively. Eq. 3 shows the both circuits have same characteristics thus the same cut-off frequency. The 3dB cut-off frequency which has obtained according to the Eq.3 was 1.59 KHz for voltage and current mode filter. The PSPICE electronic simulation program was used to verified the theoretical analysis

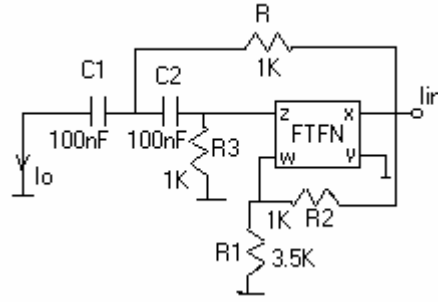


Figure 5. The current mode FTFN equivalent of the circuit in Figure 3
Şekil 5. Şekil 3'deki devrenin akım modlu FTFN eşdeğeri

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{s^2 \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right)}{s^2 + s \left(\frac{1}{C_2 R_3} + \frac{1}{R_3 C_1} - \frac{R_2}{C_1 R R_1} \right) + \frac{1}{R R_3 C_1 C_2}} \quad [1]$$

$$\frac{I_o}{I_i} = \frac{s^2 \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right)}{s^2 + s \left(\frac{1}{C_2 R_3} + \frac{1}{R_3 C_1} - \frac{R_2}{C_1 R R_1} \right) + \frac{1}{R R_3 C_1 C_2}} \quad [2]$$

$$f_{(3dB)} = \frac{1}{2\pi \sqrt{R R_3 C_1 C_2}} \quad [3]$$

Bu programda, hesaplama zamanını kısaltan basit bir doğrusal olmayan FTFN makromodeli kullanılmaktadır (16). Benzetim sonuçları, Şekil 6 ve 7'de sırasıyla; işlemsel yükselteç tabanlı YG Sallen-Key Süzgeç devresi ile FTFN tabanlı YG Sallen-Key Süzgeç devresi için tanıtılmıştır. Her iki yapının benzetim sonuçları birbirleriyle uyumlu olup, teorik analizleri desteklemektedir.

In this program, basic and nonlinear FTFN macromodel that shorten the calculation time is used (16). Simulation result of High Pass Sallen-Key filter based on opamp and based on FTFN were shown in Figure 6 and 7 respectively. The simulation results of both structures were consistent with each other and they confirm the theoretical analysis.

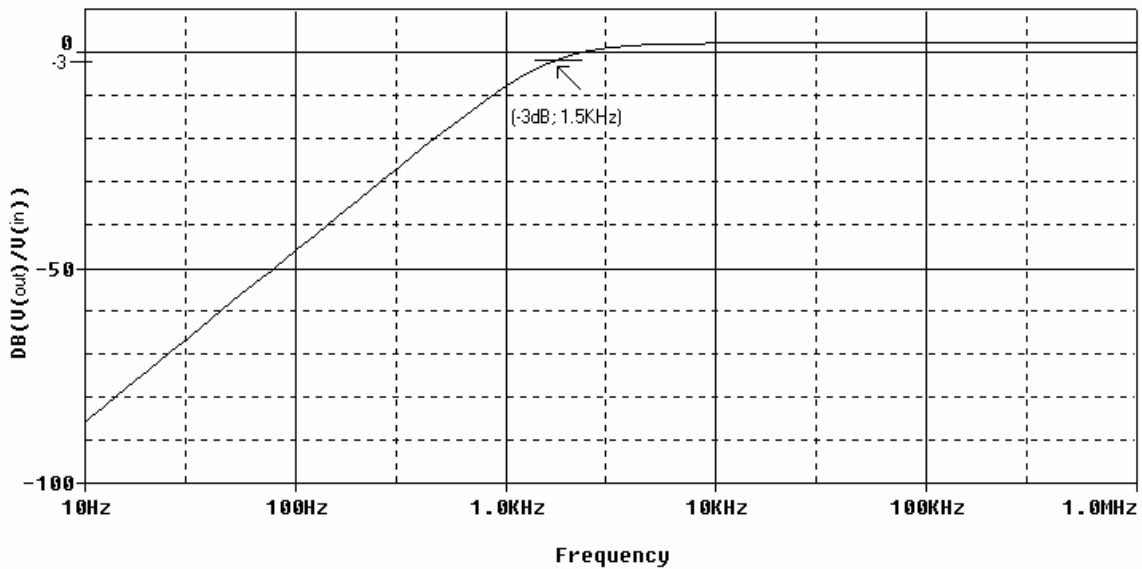


Figure 6. The frequency response of opamp based High Pass Sallen-Key Filter in Figure 3
Şekil 6. Şekil 3'deki işlemsel yükselteç'li YG Sallen-Key Süzgecinin frekans cevabı

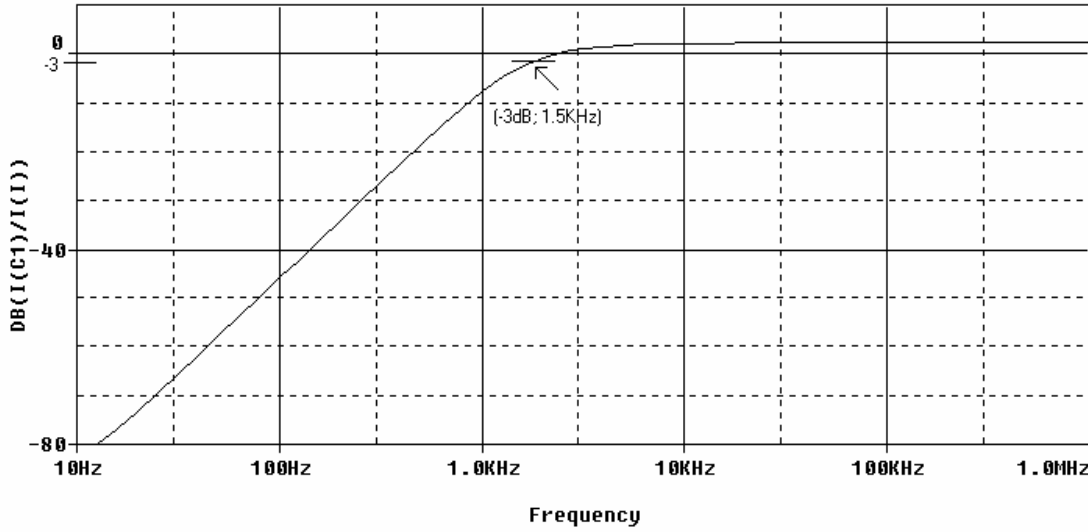


Figure 7. The frequency response of FTFN based High Pass Sallen-Key Filter in Figure 5
Şekil 7. Şekil 5'deki FTFN'li Yüksek Geçiren Sallen-Key Süzgecinin frekans cevabı

3.2 Yüksek Geçiren Sallen-Key Süzgecinin Gerilim Modlu İşlemsel Yükselteç Tabanlı Yapıdan Akım Modlu CCII- Tabanlı Yapıya Dönüştürülmesi

Şekil 3'de gösterilen gerilim modlu YG Sallen-Key Süzgecinin akım modlu CCII-'ye dönüştürmek için önce işlemsel yükseltecin eviren girişiyle, çıkışı arasındaki geribesleme direnci olan R_2 , "Dönüşüm Teoremi" gereğince (6) gerilim modlu CCII tabanlı devreyi elde etmek için Şekil 8'deki gibi çizilmiştir. Daha sonra Ek Dönüşüm Yöntemi gereğince Şekil 9a'da gösterildiği gibi devrenin nullor eşdeğeri alınmıştır. Sonra devredeki tüm nullator-noratorların karşılıklı yerdeğiştirilmesiyle Şekil 9b'de görülen akım modlu nullorlu CCII- tabanlı devre oluşturulmuştur. Devrenin nullor eşdeğerinden akım modlu CCII- yapısına geçişi Şekil 10'da gösterilmiştir.

Ek dönüşüm yöntemi gereğince oluşturulan Şekil 10'daki devre ile Şekil 3'deki devrelerin fonksiyonları dolayısıyla 3 dB'lik kesim frekansları da aynıdır. Daha önce PSPICE benzetim programı yardımıyla elde edilmiş Şekil 6'daki işlemsel yükselteç tabanlı YG Sallen-Key süzgeç devresinin frekans cevabı teorik analizi doğrulamaktadır. Şekil 11'de ise CCII- tabanlı YG Sallen-Key Süzgeç devresi için frekans cevabı verilmiştir. Sonuçlardan açıkça görüldüğü gibi; her iki yapının benzetim sonuçları birbirleriyle ve teorik analizlerle uyumaktadır.

3.2 The Transformation of High Pass Sallen-Key Filter from Opamp Based Voltage Mode to CCII Based Current Mode

For the transformation of High Pass Sallen-Key filter from opamp based voltage mode to CCII based current mode firstly, the feedback resistance R_2 , between the inverting input and output of opamp was illustrated in Figure 8 according to the "Transformation Theorem" (6) to obtain CCII based voltage mode circuit. Then, the nullor equivalent of circuit was taken as illustrated in Figure 9a by the adjoint transformation method. The CCII based current mode nullor circuit shown in Figure 9b was formed by replacing all nullators and norators in the circuit with each other. The transformation of nullor equivalent to CCII based current mode was illustrated in Figure 10.

The circuits in Figure 3 and 10 formed by adjoint transformation method have the same functions thus they also have the same 3 dB cut-off frequency. The frequency response of opamp based High Pass Sallen-Key filter circuit was previously presented in Figure 6 that was formed by PSPICE simulation program confirming the theoretical analysis. The frequency response of CCII based High Pass Sallen-Key Filter circuit was introduced in Figure 11. The results have clearly showed that the simulation result of both structures were in consistent with each others and with theoretical analysis.

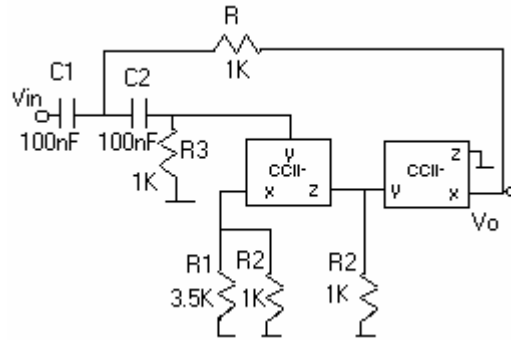


Figure 8. The CCII based voltage mode equivalent of the opamp based circuit in Figure 3
Şekil 8. Şekil 3'deki İşlemsel yükselteç tabanlı devrenin CCII- tabanlı gerilim modlu eşdeğeri

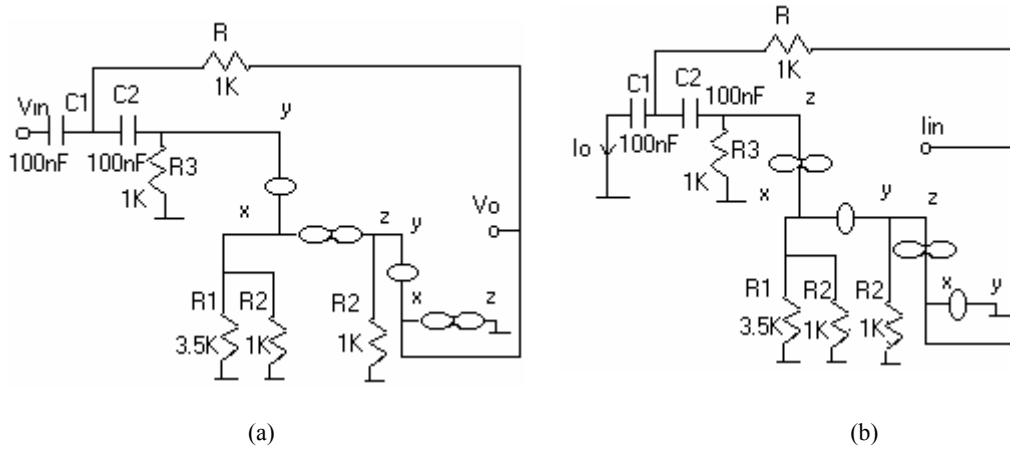


Figure 9. Application of Adjoint Transformation Method to the circuit in Figure 8
 (a) The nullor equivalent of the circuit in Figure 8
 (b) The obtained circuit the result that the applying of adjoint transformation method to the circuit in Figure 9a
Şekil 9. Şekil 8'deki devreye Ek Dönüşüm Yönteminin Uygulanması
 (a) Şekil 8'deki devrenin Nullor Eşdeğeri
 (b) Şekil 9 a'daki devreye ek dönüşümünün uygulanması sonucu elde edilen devre

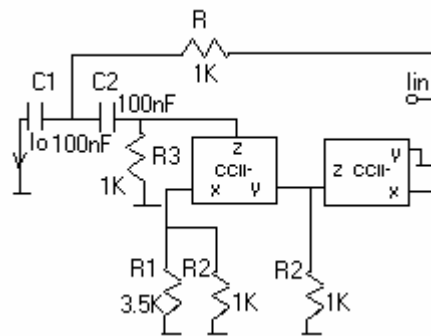


Figure 10. The equivalent of current mode CCII based of circuit in Figure 3
Şekil 10. Şekil 3'deki devrenin akım modlu CCII- eşdeğeri

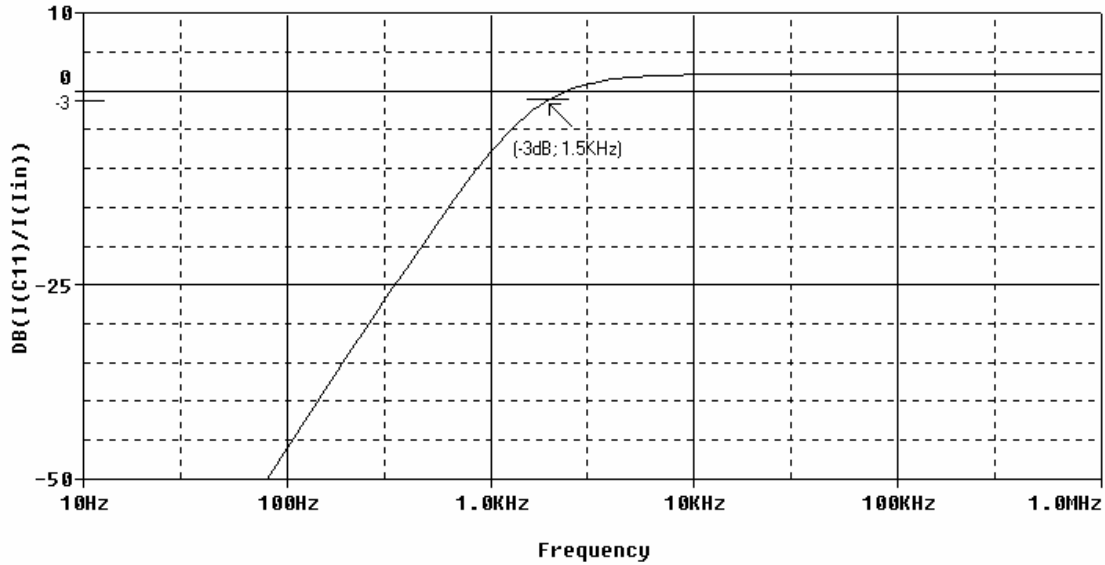


Figure 11. The frequency response of CCII based High Pass Sallen-Key circuit in Figure 10
Şekil 11. Şekil 10'daki CCII-li Yüksek Geçiren Sallen-Key Süzgecinin frekans cevabı

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada; gerilim modlu devreden akım modlu devreye geçişi sağlayan ek dönüşüm yöntemi tanıtılmıştır. Bu yöntemin uygulanmasında aktif devre elemanlarının yerine nullor modeli kullanılmıştır. Ek dönüşüm yöntemiyle, işlemsel yükselteç'li gerilim modlu Yüksek Geçiren Sallen-Key Süzgeç devresinden, akım modlu FTFN ve CCII- tabanlı Yüksek Geçiren Sallen-Key Süzgeç devresine dönüşüm işlemi tanıtılmıştır. Aynı fonksiyona sahip olan gerilim ve akım modlu YG Sallen-Key Süzgeç devrelerinin 3 dB'lik kesim frekansları, PSPICE benzetim programı yardımıyla bulunan grafiklerle doğrulanmıştır. Sonuçta, akım modlu devrelerin bilinen avantajlarından dolayı gerilim modundan akım moduna geçişi sağlayan ek dönüşüm yönteminin oldukça yararlı ve kolay bir yöntem olduğu görülmüştür.

Gerilim modlu devreden, akım modlu FTFN'ye dönüşüm için herhangi bir sınırlamanın olmaması bu çalışmadaki diğer önemli sonuçtur. Çünkü FTFN'nin nullor yapısında, nullator ve norator birbirinden ayrı düşünülmektedir. Hem akım hem de gerilim modunda kullanılabilen FTFN'nin, ek dönüşüm işlemi sırasında sağladığı kolaylıklar nedeniyle universal aktif elemanlar içinde geniş uygulama alanı bulabileceği düşünülmektedir.

4. DISCUSSION AND RESULT

In this study, adjoint transformation method that provides the transformation from voltage mode circuit to current mode circuit was described. In the applying of the adjoint transformation method, nullor model was used instead of active elements. The transformation procedure which transform to voltage mode operational amplifier based the High Pass Sallen-Key Filter to current mode FTFN and CCII based High Pass Sallen-Key Filter by using adjoint transformation method was introduced. The 3 dB cut-off frequency of voltage and current mode High Pass Sallen-Key Filter circuits that have same functions were confirmed by the graph formed with PSPICE simulation program. In conclusion, because of the known advantages of the current mode circuits, adjoint transformation method that transforms the voltage mode to current mode is a beneficial and easy method.

The observation of no restriction in the transformation of voltage mode circuit to current mode FTFN was another important result of this study. Because nullator and norator are considered isolated in the nullor structure of FTFN. It was concluded that the FTFN which can be used in both voltage and current mode provides easiness during the adjoint transformation procedure, therefore it can be found wide applications fields among the universal active elements.

KAYNAKLAR/ REFERENCES

1. Schmid, H., "Approximating the Universal Active Element", *IEEE Transaction on Circuit Systems-II: Analog and Digital Signal Processing*, 47 (11): 1160-1169 (2000).
2. Cabeza, R., Carlosena, A., "Analog Universal Active Devices: Theory, Design and Applications", *Analog Integrated Circuit and Signal Processing*, 12: 153-168 (1997).
3. Al-Zaher, H. A., "The Four Terminal Floating Nullor (FTFN) and Its Applications", Yüksek Lisans Tezi, *King Fahd Üniversitesi* (1997).
4. 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).
5. 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).
6. Papazoğlu, 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).
7. Higashimura, M., "Realisation of Current-Mode Transfer Function Using FTFN", *Electronics Letters*, 27: 170-171 (1991).
8. Chipipop, B., Surakamponorn, W., "Realisation of Current-Mode FTFN-Based Inverse Filter", *Electronics Letters*, 35: 690-691 (1999).
9. Wang, H., Lee, C., "Using Nullors for Realisation of Current-Mode FTFN-Based Inverse Filters", *Electronics Letters*, 35: 1889-1890 (1999).
10. Uzunhisarcıklı, E., Alçı, M., "Gerilim ve Akım Modlu Devreleri Birbirine Dönüştürme Yöntemi ve Osilatör Uygulamaları", *ELECO 2002, Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı*, 39-43 (2002).
11. Chang, C. K, Chen, P., "Realisation of Current-Mode Transfer Function Using Second Generation Current Conveyor", *International Journal of Electronics*, 71: 809-815 (1991),
12. Acar, C., "On the Realisation of Current-Mode Filters Using Second-Generation Current Conveyors", *International Journal of Circuits Theory and Applications*, 25: 229-233 (1997).
13. 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).
14. 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).
15. Svoboda, J. A., "Current Conveyors Operational Amplifiers and Nullors", *Proceedings of the IEE*, 136: 317-322 (1989).
16. Çam, U., Kuntman, H., "Simple and Accurate Nonlinear Macromodel for Four Terminal Floating Nullors (FTFNs)", *International Journal of Electronics*, 88: 435-447 (2001).