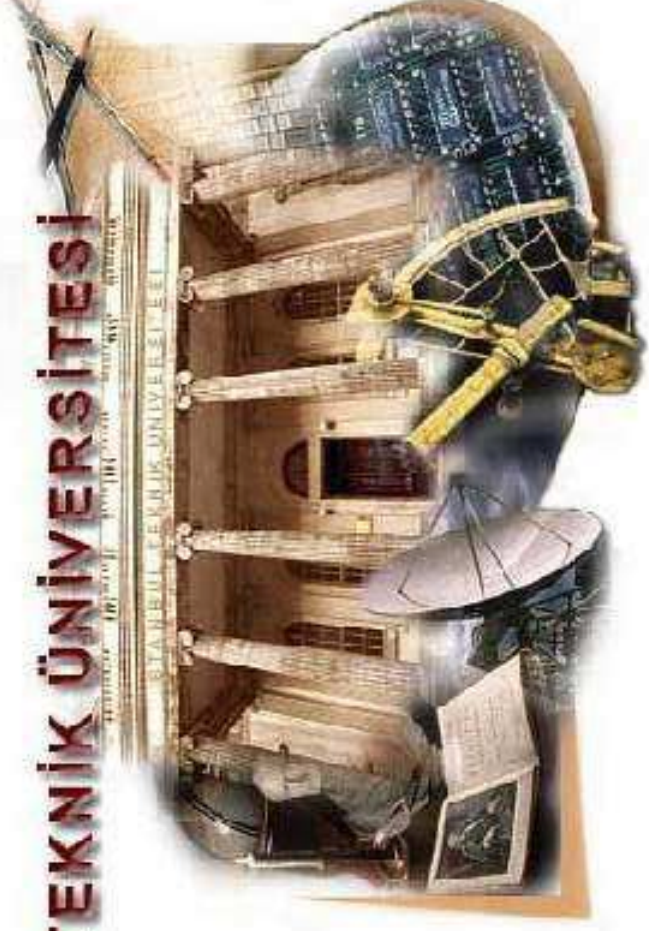


**İSTANBULTEKNİK ÜNİVERSİTESİ**



# **CMOS ECCII ile Yüksek Dereceden Ayarlanabilir Aktif Süzgeç Tasarımı**

**(Design of High-Order Active Filters Employing CMOS ECCIIs)**

*Onur Korhan SAYIN    H. Hakan KUNTMAN*

onurkorhan@hotmail.com

kuntman@ehb.itu.edu.tr



## Giriş:

---

- Bazı işaret işleme uygulamalarında süzgecin karakteristikleri dinamik olarak işarete göre ayarlanamaktadır. Bu da sügeç karakteristiklerinin elektronik olarak ayarlanmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada CMOS ECCII ile yüksek dereceden ayarlanabilir aktif süzgeç tasarlanması amaçlanmıştır.
- Çalışmada aktif eleman olarak CMOS ECCII kullanılmasının nedeni akım modlu devre elemanlarının, gerilim modlu devre elemanlarına göre
  - yüksek frekans cevabına sahip olmalarından
  - daha düşük besleme gerilimlerinde çalışabilmelerinden
  - daha büyük yükselme eğimine sahip olmalarından
  - kolay tasarım prosedürüne sahip olmalarındandır. [1-11]

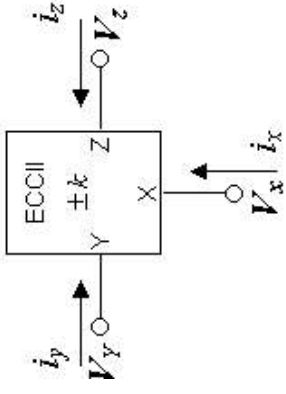


- Bu çalışmada önerilen yüksek dereceden elektronik olarak kontrol edilebilen süzgeç devresinin transfer fonksiyonunun herbir katsayısı, ECCII'nin kontrol akımını değiştirerek ayarlanabilmektedir. [12]
- Alçak geçiren, yüksek geçiren, band geçiren, band söndüren vs. süzgeçler sadece kontrol akımını değiştirerek elde edilebilmektedir.
- Seçilen süzgeçin kalite faktörü ( $Q$ ), köşe frekansı ( $\omega_o$ ) ve kazanç ( $K$ ) değerleride yine kontrol akımını değiştirerek ayarlanabilmektedir.
- Devrenin en büyük avantajlarından biri, istenilen katsayının diğerlerinden bağımsız olarak değiştirilebilmesidir.
- Kullanılan pasif elemanlarının tümünün topraklı olması, tüm devre gerçeklemesi için önem taşımaktadır [11].



# ECCII Yapısı:

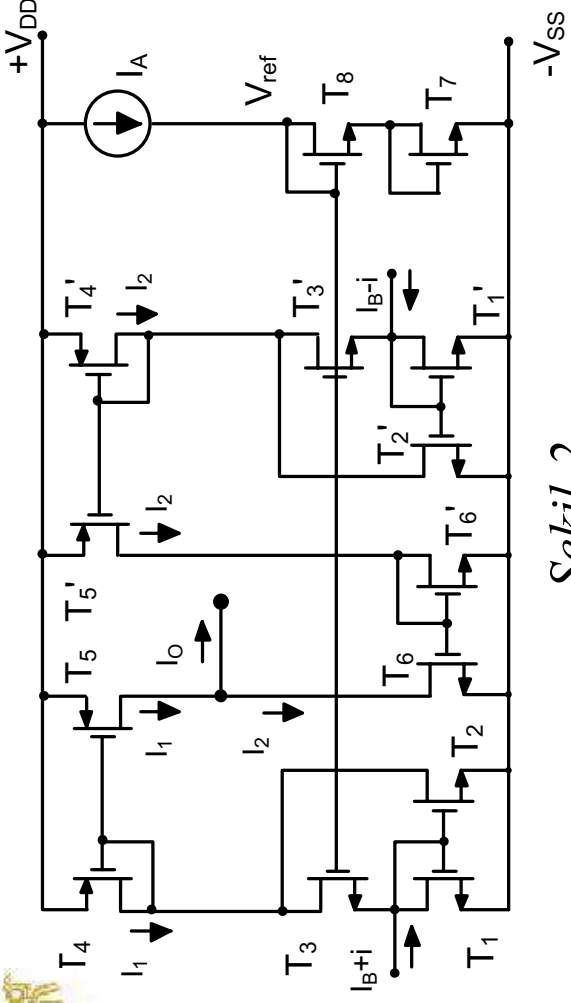
■ Elektronik olarak kontrol edilebilen akım taşıyıcı yapısı, akım transfer oranı bir akım ya da bir gerilimle değiştirilebilen bir akım taşıyıcı düzenidir. ECCII sembolü *Şekil-1*'de gösterilmektedir. ECCII'nin tanım bağıntıları (1)'de verilmiştir.



$$\begin{aligned} i_y &= 0 \\ V_x &= V_y \\ i_z &= \pm k i_x \end{aligned} \quad (1)$$

*Şekil-1: ECCII Sembolü*

- Tanım bağıntısındaki  $k$  büyüklüğü, değeri elektronik yoldan kontrol edilebilen akım transfer oranıdır.
- ECCII,  $k$  büyüklüğü negatif ise eviren ECCII, pozitif ise evirmeyen ECCII olarak adlandırılır.
- ECCII yapısı bir gerilim izleyici ve bir küçük işaret akımı kuvvetlendiricisinden oluşmaktadır. Akım kuvvetlendiricinin yapısı *Şekil-2*'de verilmiştir.



Şekil-2

$$(W/L)_{T5}/(W/L)_{T4} = (W/L)_{T5}'/(W/L)_{T4}' = n \quad (2)$$

$$I_1 = 2I_A + \frac{(I_B + i)^2}{8I_A} \quad (3)$$

$$I_2 = 2I_A + \frac{(I_B - i)^2}{8I_A} \quad (4)$$

$$|I_B| + |i| \leq 4I_A \quad (5)$$

olmak üzere [13], devrenin çıkış akımı:

$$i_o = I_1 - I_2 = \left( \frac{nI_B}{2I_A} \right) \cdot i = ki \quad (6)$$

olur.

■ Bu devrede  $T_1$ ,  $T_2$  ve  $T_3$  transistörlerinden oluşan oluşun yapı grubu ile  $T_1'$ ,  $T_2'$  ve  $T_3'$  den oluşan yapı grubu, kare alan birer devre olarak davranırlar.

■  $T_7$ ,  $T_8$  transistörleri ve  $I_A$  akım kaynağı,  $T_3$  ve  $T_3'$  transistörlerine kutuplama gerilimi sağlayan akım kontrollu bir gerilim referansı devresi oluştururlar.

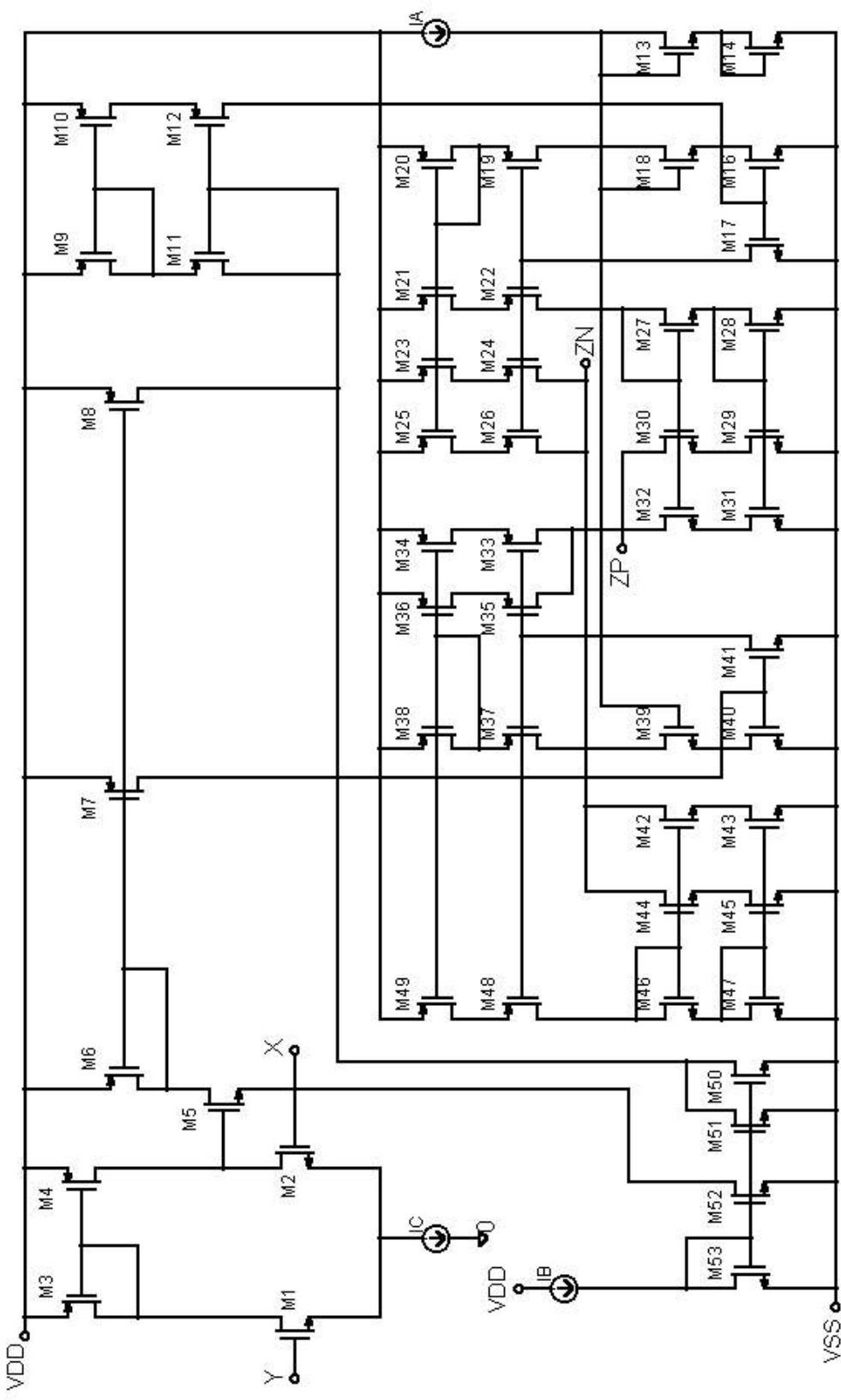
■ Bütün transistörlerin doymada çalışmaları ve  $T_5$  ile  $T_5'$  dışındaki transistörlerin tümünün eşit  $W/L$  oranlarına sahip oldukları kabul edilsin.[12]

■ (6) bağıntısından fark edilebileceği gibi, küçük işaret akımı, değeri elektronik yoldan değiştirilebilen bir  $k$  çarpanıyla çarpılarak çıkışa yansımaktadır.

■ (5) şartı uyarınca, kazancı arttırmak üzere  $I_B$  büyüklüğü istenildiği kadar büyütülemez.



- Devrede kullanılan ECCII yapısının tümü Şekil 3’de verilmektedir. [12]



Şekil-3: ECCII yapısı



- $Z_N$  çıkışı eviren çıkış,  $Z_P$  çıkışı evirmeyen çıkış vermektedir.
- $M_1$ - $M_4$  'e kadar olan transistörler ve  $I_C$  gerilim izleyici olarak çalışır ve  $V_X$ 'i  $V_Y$ 'yi izlemeye zorlar.  $M_5$  akım izleyici olarak çalışır ve X ucunun düşük çıkış empedanslı olmasını sağlar [12].
- $(I_B + i_X)$  akımı  $M_6$  ve  $M_7$  transistörleri oluşturduğu akım aynası ile akım kuvvetlendiricisine taşınır.  $(I_B - i_X)$  akımı,  $M_{50}$  ve  $M_{51}$  transistörlerinin toplam savak akımı olan  $2I_B$ 'den  $M_9$  transistörünün savak akımı olan  $(I_B + i_X)$ 'in çıkartılması ile elde edilir ve  $M_{10}, M_{12}$  transistörleri tarafından kopyalanarak akım kuvvetlendiricisine verilir.
- Akım kuvvetlendiricisinde kullanılan akım aynalarının kazancı n, iki eş transistörün bazlarının ve savaklarının ortak noktalara bağlanması ile 2 yapılmıştır. Böylece  $n=2$  için

$$i_{ZP} = \left( \frac{I_B}{I_A} \right) \cdot i_X \quad (7)$$

$$i_{ZN} = - \left( \frac{I_B}{I_A} \right) \cdot i_X \quad (8)$$

olur [13].





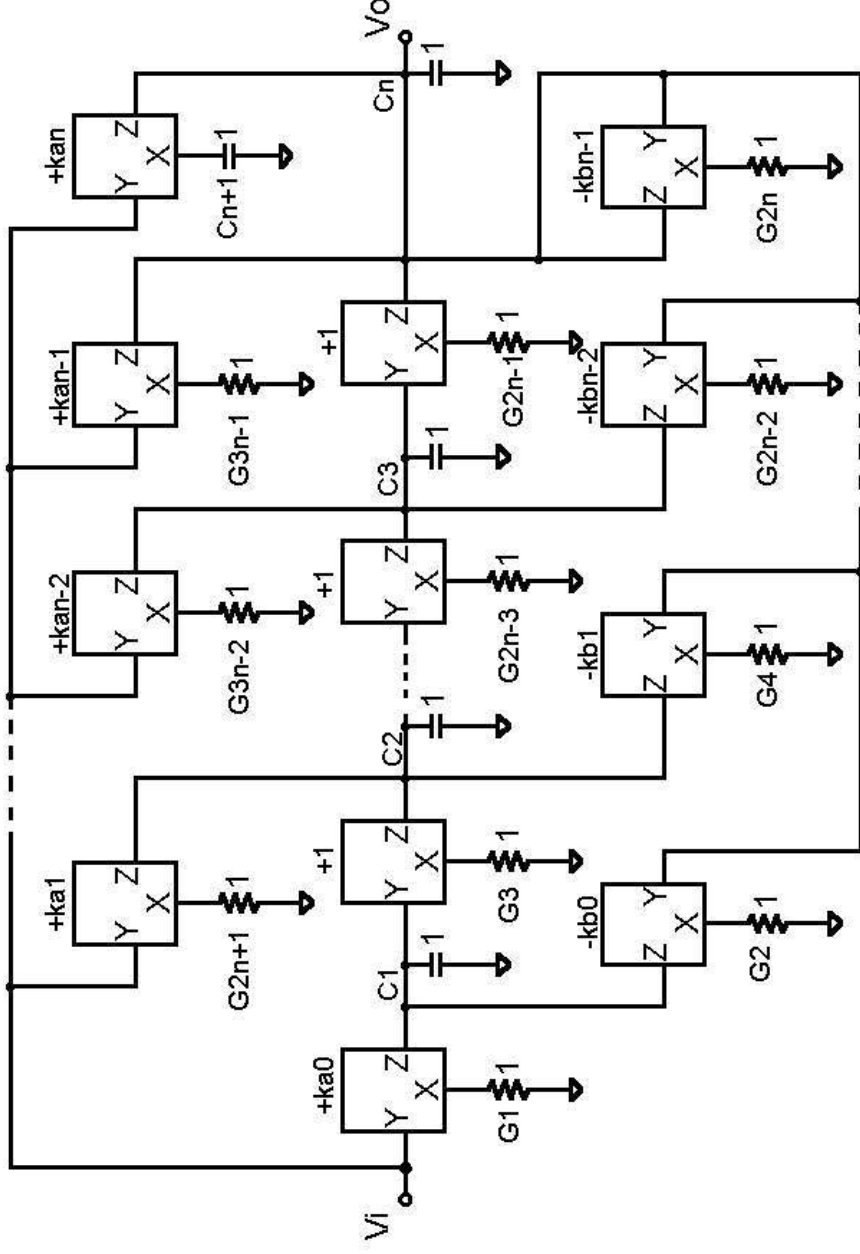
## Yüksek Dereceden Süzgeç Tasarımı :

- ECCII tabanlı yüksek dereceden süzgeç tasarımında Anday ve Güneş tarafından önerilen yöntemden yararlanılmıştır [11]. n. dereceden bir süzgecin transfer fonksiyonu (9)'da verilmiştir:

$$T(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s^1 + a_0}{s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s^1 + b_0} \quad (9)$$

- Bu transfer fonksiyonuna karşı gelen işaret akış diyagramından hareketle elde edilen devre *Şekil-4'*de verilmektedir..
- ECCII bloklarının kazançları ve hangi katsayıyı kontrol ettiği üzerlerinde belirtilmiştir. Pozitif kazançlı olanlar evirmeyen ECCII blokunu, negatif kazançlı olanlar ise eviren ECCII blokunu simgelemektedir. Devrenin transfer fonksiyonu (10)'da verilmiştir.





Şekil-4: Yüksek dereceden ayarlanabilir aktif süzgeç devresi

$$T(s) = \frac{k_{a_n} s^n + k_{a_{n-1}} s^{n-1} + \dots + k_{a_1} s + k_{a_0}}{s^n + k_{b_{n-1}} s^{n-1} + \dots + k_{b_1} s + k_{b_0}} \quad (10)$$



- Transfer fonksiyonundan (10) görüldüğü gibi  $(a_n a_{n-1} a_{n-2} \dots a_1 a_0)$  ve  $(b_{n-1} b_{n-2} \dots b_1 b_0)$  katsayıları birbirinden bağımsız olarak kontrol akımı ile değiştirilebilmektedir.
- $n$ . dereceden bir süzgeç için  $3n$  ECCII,  $3n-2$  direnç ve  $n+1$  kapasitör kullanılmıştır.
- Devrenin transfer fonksiyonunun paydası eleman değerlerine göre yazılımı (11)'de gösterilmektedir. [11]

$$(C_1 C_2 \dots C_{n-1} C_n) s^n + (G_{2n} C_1 C_2 \dots C_{n-1} k_{b_{n-1}}) s^{n-1} + \dots \dots \dots + (G_4 \dots G_{2n-1} C_1 k_{b_1}) s + (G_2 G_3 \dots G_{2n-1} k_{b_0}) \quad (11)$$



## Benzetim Sonuçları :

---

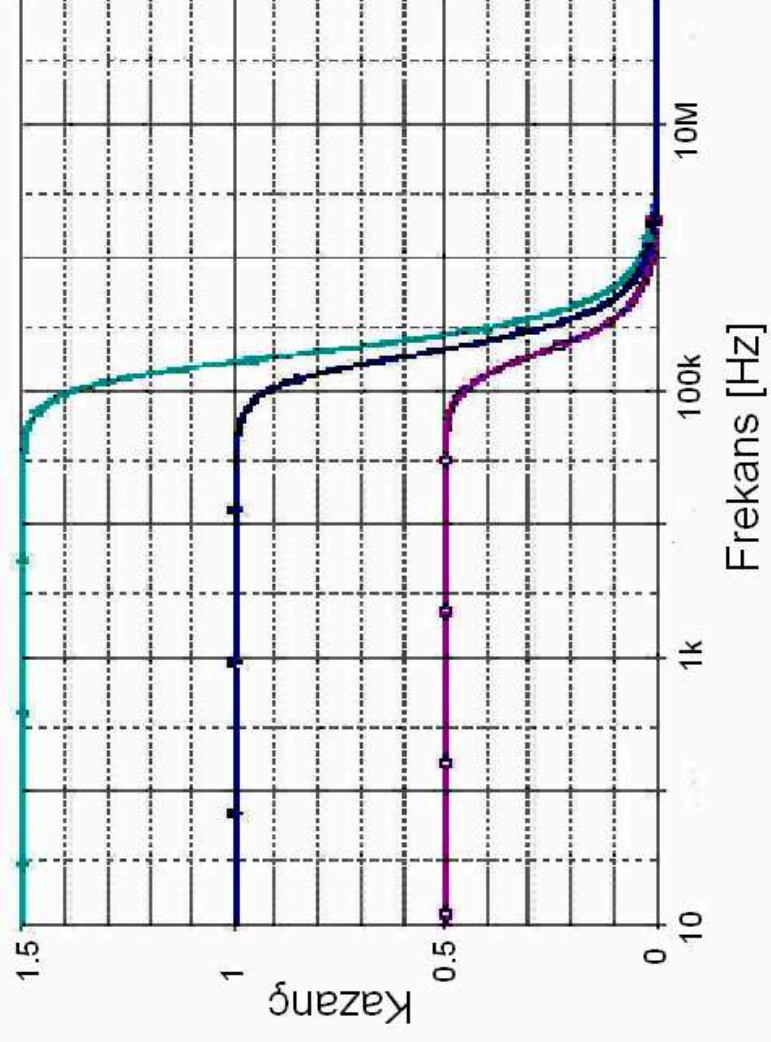
- Benzetimler için önerilen yapıdan hareketle 2. dereceden aktif bir süzgeç devresi kurulmuştur. Devrede tüm direnç ve kapasiteler eşit seçilmiştir. Devrenin transfer fonksiyonu (12)'de verilmiştir:

$$T(s) = \frac{k_{a_2}s^2 + \frac{1}{RC}k_{a_1}s + \frac{1}{R^2C^2}k_{a_0}}{s^2 + \frac{1}{RC}k_{b_1}s + \frac{1}{R^2C^2}k_{b_0}} \quad (12)$$

- Transistör boyutları  $(W/L)=(5/1)$  olarak alındı. Simülasyon için SPICE level 3 modeli kullanıldı. Kutuplama akımları  $I_A=200\mu\text{A}$ ,  $I_B=200\mu\text{A}$  ve  $I_C=100\mu\text{A}$  olarak ayarlanmıştır.



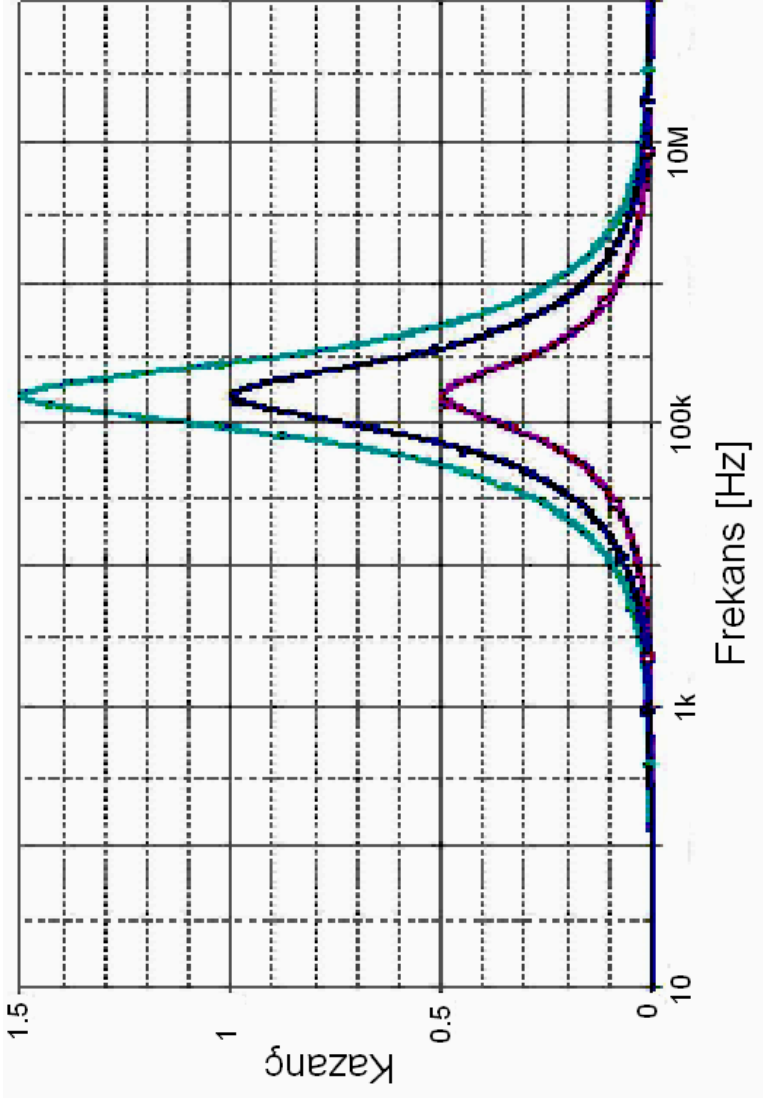
- İlgili ECCII'lerin kontrol akımları  $I_B=0$  yapılarak,  $k_{a2}=0$  ve  $k_{a1}=0$  yapılmış ve süzgeç alçak geçiren olarak çalıştırılmıştır. Süzgecin köşe frekansı 150KHz olarak seçildi. ( $R=10K\Omega$  ve  $C=100pF$ )  $k_{a0}$  süzgeç kazancı, ilgili ECCII'nin kontrol akımı  $I_B$ 'nin sırasıyla  $100\mu A$ ,  $200\mu A$  ve  $300\mu A$ 'e ayarlanması ile 0.5, 1 ve 1.5 olarak değiştirilmiştir. SPICE benzetimi sonucu Şekil-5'de gösterilmiştir.



Şekil-5: Alçak geçiren süzgecin kazancının ayarlanması,  $I_B = 100\mu A$ ,  $200\mu A$  ve  $300\mu A$



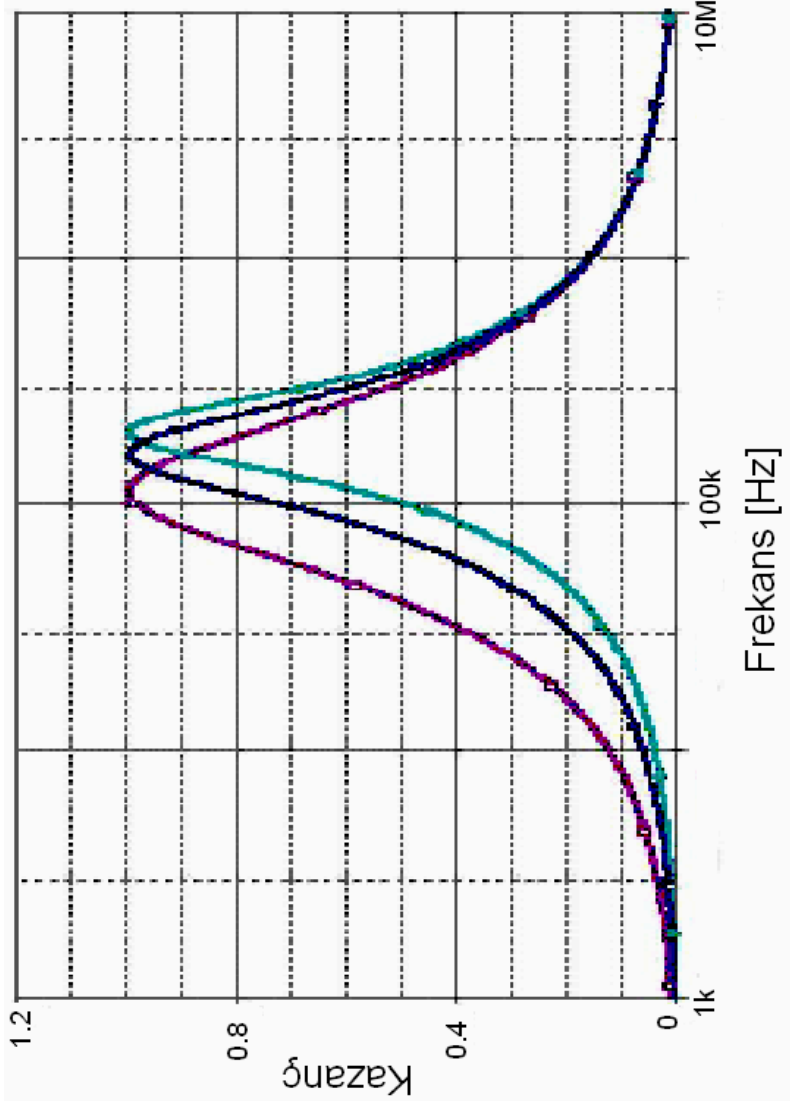
- İlgili ECCII'lerin kontrol akımları  $I_B=0$  yapılarak,  $k_{a2}=0$  ve  $k_{a0}=0$  yapılmış ve süzgeç band geçiren olarak çalıştırılmıştır. Süzgecin merkez frekansı 150KHz olarak seçildi. ( $R=10K\Omega$  ve  $C=100pF$ )  $k_{a1}$  süzgeç kazancı, ilgili ECCII'nin kontrol akımı  $I_B$  'nin sırasıyla 100 $\mu A$ , 200 $\mu A$  ve 300 $\mu A$ 'e ayarlanması ile 0.5, 1 ve 1.5 olarak değiştirilmiştir. SPICE benzetimi sonucu Şekil-6'da gösterilmiştir.



Şekil-6: Band geçiren süzgecin kazancının ayarlanması,  $I_B = 100\mu A$ ,  $200\mu A$  ve  $300\mu A$



- Ayrıca band geçiren süzgecin,  $k_{a1}$  süzgeç kazancı 1'e eşitlenmiş ve bu sefer  $k_{b0}$ , ilgili ECCII'nin kontrol akımı  $I_B$ 'nin sırasıyla 100 $\mu$ A, 200 $\mu$ A ve 300 $\mu$ A'ye ayarlanması ile 0.5, 1 ve 1.5 olarak değiştirilerek süzgecin merkez frekansı kaydırılmıştır. SPICE benzetimi sonucu Şekil-7'de gösterilmiştir.



Şekil-7: Band geçiren süzgecin merkez frekansının ayarlanması,  $I_B = 100\mu$ A, 200 $\mu$ A ve 300 $\mu$ A



## Sonuç :

---

- Bu çalışmada, elektronik olarak kontrol edilebilen ikinci kuşak akım taşıyıcıları (ECCII) kullanılarak yüksek dereceden ayarlanabilir aktif süzgeç tasarımı sunulmuştur.
- Tasarım prosedürü esnek ve basittir.
- Devrede aktif eleman olarak ECCII, pasif eleman olarak direnç ve kapasitör kullanılmış.
- Simülasyon sonuçları öngörülen teorik sonuçlara yakındır.
- Tüm dirençlerin ve kapasitörlerin topraklı olması, tüm devre gerçekleştirilmesi için önem taşımaktadır.



# Kaynakça:

---

- [1] Sedra, A. and Smith, K.C., "A second generation current conveyor and its applications", *IEEE Trans. on Circuit Theory*, 1970, CT-17, pp.132-134
- [2] Tek, H. and Anday, F., "Voltage transfer function synthesis using current conveyors", *Electronics Letters*, 25, 1552-1553, 1989.
- [3] Liu, S.-I., Tsao, H.-W., Wu, J. and -K.Lin, "MOSFET capacitor filters using unity gain CMOS current conveyors", *Electronics Letters*, 26, pp.1430-1431, 1990.
- [4]. Chang, M.C, Toumazou, C., "3V MOS current conveyor for VLSI technology", *Electronics Letters*, 29, 317-318, 1993.
- [5] Sedra, A.S., Roberts, G.W., Gohh, F., "The current conveyor: History, Progress and New Results", *IEEE Proc.*, 137, 78-77, 1990.
- [6] Kamptorn, W.S. , Riewruja, V., Cheevasuvit, F., "Integrable CMOS-base realization of current conveyors", *Int.J. Electronics*, 71, 793-798, 1991.
- [7] Çam, U., Kuntman, H., "A new CCII-based sinusoidal oscillator providing fully independent control of oscillation condition and frequency", *Microelectronics Journal*, Vol.29, Nos.11, pp.913-919, 1998.
- [8] Chang, C.M., Chen, P.-C., "Realization of current-mode transfer function using second-generation current conveyors", *Int. J. Electronics*, 71, 809-815, 1991.
- [9] Çiçekoğlu, O., Kuntman, H., Berk, S., "Allpass Filters using a single current conveyor", *International Journal of Electronics*, 86, No.8, pp.947-955, 1999
- [10] Acar C. and Kuntman, H., "Limitations on input signal level in voltage-mode active-RC filters using current conveyors", *Microelectronics Journal*, Vol.30, No. 1, pp.69-76, 1999.
- [11] Anday, F. and Günes, E. O. : "Realisation of nth-order voltage transfer function using CCII+", *Electronics Letters*, 1995, Vol. 31, No:13, pp1022-1023
- [12] Surakampotorn, W. and Kumwattara, K.: "CMOS-based electronically tunable current conveyor", *Electronics Letters*, 1992, Vol. 28, No:14, pp 1316-1317
- [13] Bult, K. and WallingA, H., "A class of analog CMOS circuits based on the square-law characteristic of a MOS transistor in saturation", *IEEE J.Solid-State Circuits*, 1987, SC-22, pp 357-364

# TEŞEKKÜRLER

