

YÜKSEK BAŞARIMLI İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ TASARIMI VE UYGULAMALARI

Gaye GÜNGÖR¹ Hakan KUNTMAN² Sinem ÇİFTÇİOĞLU³

^{2,3}Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi

İstanbul Teknik Üniversitesi, 80626, Maslak, İstanbul

¹e-posta: gungorgaye@hotmail.com

²e-posta: kuntman@ehb.itu.edu.tr

³e-posta: sinem@ehb.itu.edu.tr

Anahtar sözcükler:Devreler ve Sistemler, Aktif Süzgeçler, İşlemsel Kuvvetlendiriciler

ABSTRACT

In this study, high performance operational amplifier topology was realised and this topology was applied to active filter circuits. What differs from the realised topology from conventional two stage operational amplifier is making approximations to reduce output impedance in order to make the circuit capable of driving high capacitive and low resistive loads. It was aimed to obtain high output signal swing range and high gain, high gain bandwidth and high slew rate in the realisation processes of the operational amplifier circuit. Results of SPICE simulations showed that it is possible to obtain above-mentioned factors. Simulation results also showed that realised topology can drive 50pF capacitive output load without facing a stability problem. Since a low supply voltages were used, power dissipation was considerably low. Filter topologies utilizing these proposed operational amplifier were realized and simulated. The comparison of the results with the examples given in the literature was in a good agreement.

1. GİRİŞ

Günümüzde her ne kadar sayısal devreler ön plana çıkmış olsa da analog yapılar da önemini sürdürmektedir. Bunun başlıca nedeni doğadaki işaretlerin analog olması ve analog devrelerin dış dünya ile sayısal devreler arasında bir köprü oluşturmasıdır. Bu nedenle analog ve sayısal devreler birlikte kullanılarak günümüzün elektronik cihazları üretilmekte, yüksek başarılı sayısal devrelerle uyum sağlayabilecek analog devrelerin tasarımı büyük önem kazanmaktadır. Analog yapı bloklarının en önemlilerinden birisi olan işlemsel kuvvetlendiriciler geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu nedenle işlemsel kuvvetlendirici tasarımı oldukça önemlidir.

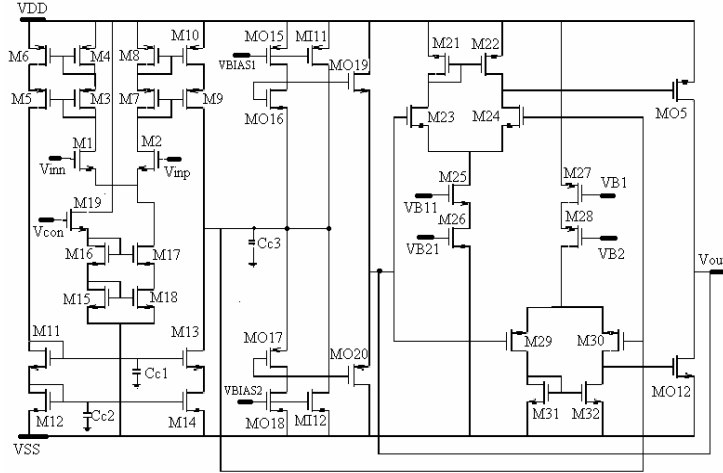
Ancak klasik işlemsel kuvvetlendiricilerin beraberinde getirdiği bazı kısıtlamalar elektronik düzenlerin başarımlarını düşürmektedir. Bu sebeple yüksek başarılı işlemsel kuvvetlendiricilere ihtiyaç vardır. Yüksek başarılı işlemsel kuvvetlendiriciler, yüksek kazanç, yüksek değerlerde kazanç band genişliği çarpımı, büyük yükselme eğimi elde etmek üzere gerçekleştirilen yapılarıdır.

Bu çalışmada büyük yükselme eğimine sahip, büyük kazanç band genişliği çarpımı olan ve aynı zamanda büyük değerli kapasitif yükleri, düşük empedanslı yükleri sürebilen, büyük çıkış işaret salınım aralığı olan işlemsel kuvvetlendirici gerçekleştirilmiştir. Büyük değerli kapasitif yükleri, düşük empedanslı yükleri sürebilmek için işlemsel kuvvetlendiricinin çıkış direnci küçültülmüştür. Bu çalışmada önerilen işlemsel kuvvetlendirici yapısı SPICE benzetim programı yardımıyla simule edilmiştir. Benzetim sonuçları incelendiğinde hedeflenen sonuçlara ulaşıldığı gözlenmektedir. Ayrıca gerçekleştirilen işlemsel kuvvetlendirici devresi düşük besleme gerilimleriyle çalıştığından güç tüketimi azalmıştır.

Oluşturulan iç yapının başarımları süzgeç yapıları kullanılarak sunulmuştur. Elde edilen simülasyon sonuçlarına bakıldığında önerilen yapının ideal yapı ile büyük bir uyum içinde olduğu görülmektedir.

2. ÖNERİLEN DEVRE TOPOLOJİSİ

Önerilen işlemsel kuvvetlendiricinin giriş katı olarak bir işlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi (OTA) kullanılmıştır. Çıkış katı AB sınıfı tamamlayıcı kaynak izleyicisi (Şekil 2) ve sözde kaynak izleyici (Şekil 3) iki katın birleştirilmesinden oluşmaktadır.

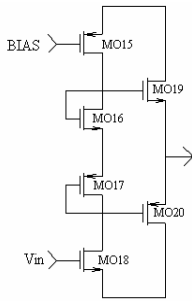


Şekil 1 Çıkış katında hata kuvvetlendiricisi kullanılarak önerilen devre

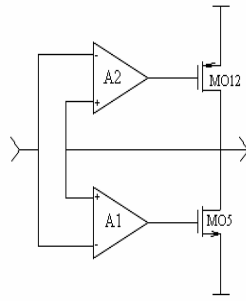
Transistör boyutları:

M1,M2,M25,M26,MO18,MI12=15u; M3,M4,M5, M6,M7,M8,M9,M10=13u; M11,M12, M13,M14, M15,M16,M17,M18,M19=2.5u; M21,M22, M29, M30=23u;M23,M24,M31,M32=5u; MO5,MO15, MI11=10u; M27,M28=40U; MO16,MO19=185u; MO17,MO20=250u; MO12=46u.

Bütün transistörler eş uzunluktadır (L=1u)



Şekil 2 AB sınıfı kaynak izleyicisi



Şekil 3 Sözd e kaynak izleyici

Çıkış katı iki hata kuvvetlendiricisi ve iki transistör içeren (MO5-MO12) ortak kaynak devresi (sözd e kaynak izleyici) tarafından sürülmektedir. Hata kuvvetlendiricileri arasında küçük bir ofset geriliminin oluşturulmasıyla, çıkış katı sükunette çalışırken çıkış transistörleri olan MO5 ve MO12 kesime gider böylece MI11, MI12 ve MO15-MO20 transistörlerini kapsayan kaynak izleyici V_o düğümünü sürer.

Çıkış işaret salınım aralığı MO19 ve MO20 transistörlerinin geçit-kaynak gerilimleriyle sınırlanmaktadır. Bu sınırlama tamamlayıcı ortak kaynak devresinin varlığıyla iyileştirilmektedir. Hata kuvvetlendiricisinin doğal toprak özelliğinden dolayı MO17 ve MO20 transistörlerinin geçit-kaynak gerilimleri eşittir ve bu durum MO16 ve MO19 için de

geçerlidir. Bu şekilde geçit-kaynak gerilimi daha iyi kontrol edilebilmektedir çünkü gerilim MO19 ve MO20 den akan ve etkili değışim gösteren büyük çıkış akımı yerine MO16 ve MO17 den akan akıma bağlıdır.

V_{gs} düşümü transistör boyutlarını ayarlamak koşuluyla olabilecek en küçük şekilde ayarlanarak çıkış salınıminin artırılması sağlanır. Ayrıca çıkış gerilimi V_o , V_{DD} ve V_{SS} beslemelerine MI11 ve MI12 transistörlerinin kullanılmasıyla ulaşabilmektedir. Sonuç olarak beslemeden beslemeye çıkış salınımi elde edilebilmektedir.

3. İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİNİN AC VE DC KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ

Şekil 1'de önerilen devrenin , 0.5µm MIETEC CMOS proses model parametreleri kullanılarak SPICE programında benzetimi yapılmıştır. Şekil 1'de verilen yüksek başarılı işlemel kuvvetlendirici yapısı için besleme gerilimleri $V_{DD} = 2.5V$ ve $V_{SS} = -2.5V$ olarak seçilmiştir. Şekil 4'de işlemel kuvvetlendirici devresinin DC gerilim geçiş eğrisi verilmiştir. Burada işlemel kuvvetlendirici'nin evirmeyen ucundan (-2.5V,+2.5V) aralığında bir gerilim taraması yapılmıştır ve çıkıştaki gerilimin kırılma limitleri $V_{O(max)} = 2.5V$ ve $V_{O(min)} = -2.5V$ olarak belirlenmiştir.İşlemel kuvvetlendiricinin giriş dengesizlik gerilimi V_{OS} değeri $-18.79 \mu V$ olarak belirlenmiştir.

Şekil 5'de yüksek başarılı işlemel kuvvetlendirici yapısı için çıkışta 50pF lık yük kapasitesi varken kompanzasyon kapasiteleri $C_{C1}=2pF$, $C_{C2}=1.5pF$, $C_{C3}=1.5pF$ iken AC kazanç eğrisi verilmiştir. İşlemel kuvvetlendirici devresinin açık çevrim

kazancı 82dB olarak, kazanç band genişliği çarpımı 13.93MHz, 3dB kesim frekansı 1.96kHz olarak ölçülmüştür.

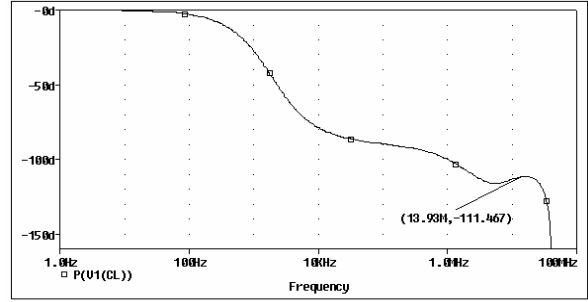
Şekil 6'da yüksek başarılı işlemsel kuvvetlendirici yapısı için çıkışta 50pF lık yük varken faz karakteristiği görülmektedir. Faz payı 69° olarak ölçülmüştür.

Şekil 7'de yüksek başarılı işlemsel kuvvetlendirici yapısı için çıkış açık devre iken AC kazanç eğrisi verilmiştir. Bu durumda işlemsel kuvvetlendirici devresinin, kazanç band genişliği çarpımı 12.957MHz olarak ölçülmüştür.

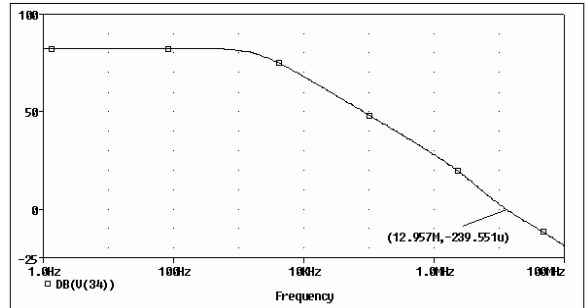
Şekil 8'de yüksek başarılı işlemsel kuvvetlendirici yapısı için çıkış açık devre iken faz karakteristiği görülmektedir. Faz payı 73° olarak ölçülmüştür.

Şekil 9'da yüksek başarılı işlemsel kuvvetlendirici yapısı için buffer konfigürasyonunda çıkışta 50pF lık yük kapasitesi varken devrenin basamak cevabı görülmektedir. $V_{O(max)} = 2.49V$, $V_{O(min)} = -2.5V$ olarak ölçülmüştür.

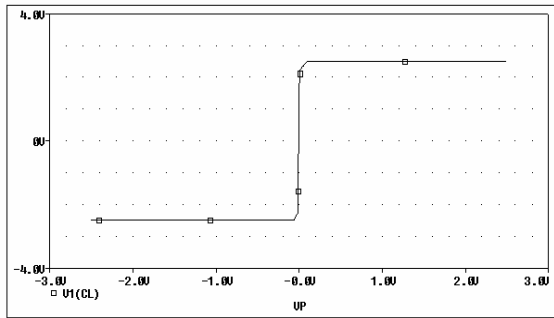
Şekil 10'da yüksek başarılı işlemsel kuvvetlendirici yapısı için çıkış empedansının frekansla değişim eğrisi görülmektedir. Çıkış direnci $R_O = 0.685k\Omega$ olarak ölçülmüştür.



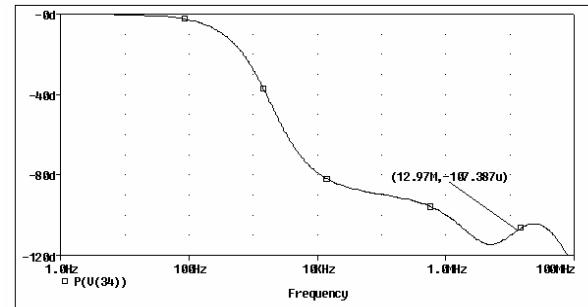
Şekil 6 Yüksek başarılı işlemsel kuvvetlendirici devresi için faz eğrisi ($C_L = 50pF$)



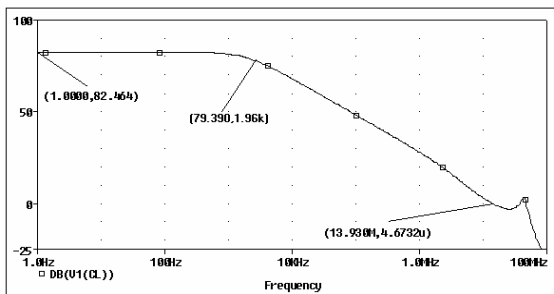
Şekil 7 Yüksek başarılı işlemsel kuvvetlendirici devresi için kazanç eğrisi ($C_L = 0$)



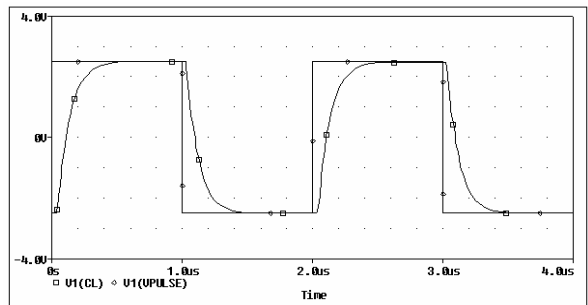
Şekil 4 Yüksek başarılı işlemsel kuvvetlendirici yapısı için DC gerilim geçiş eğrisi



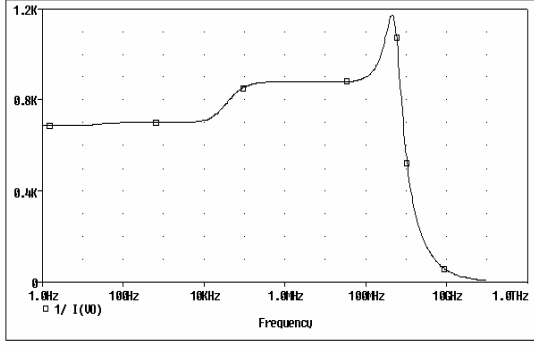
Şekil 8 Yüksek başarılı işlemsel kuvvetlendirici devresi için faz eğrisi ($C_L = 0$)



Şekil 5 Yüksek başarılı işlemsel kuvvetlendirici devresi için kazanç eğrisi ($C_L = 50pF$)



Şekil 9 Yüksek başarılı işlemsel kuvvetlendirici devresi için basamak cevabı ($C_L = 50pF$)

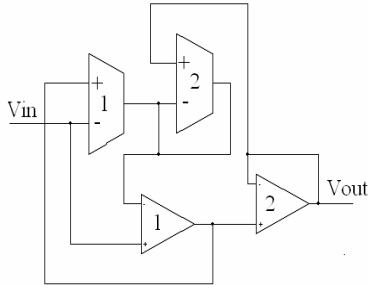


Şekil 10 Yüksek başarımli işlemsel kuvvetlendirici devresi için çıkış direncinin frekansla değişim eğrisi

4. UYGULAMA DEVRELERİ

Geçmişte pasif olarak gerçekleştirilen süzgeç yapıları günümüzde entegre devre teknolojisinde meydana gelen gelişmelerle birlikte aktif olarak çip üzerinde gerçekleştirilebilmektedir. Bu amaçla, gerçekleştirilen işlemsel kuvvetlendirici devresi sadece aktif elemanlar kullanılarak oluşturulmuş alçak geçiren süzgeç ve yine sadece aktif elemanlar kullanılarak oluşturulmuş çok amaçlı süzgeç yapılarında kullanılacaktır.

Girişi ve çıkışı gerilim olan gerilim modlu ikinci dereceden alçak geçiren süzgeç yapısı Şekil 11 de görülmektedir.



Şekil 11 Alçak geçiren süzgeç yapısı

Şekil 11'deki alçak geçiren süzgeç devresine ilişkin transfer fonksiyonu

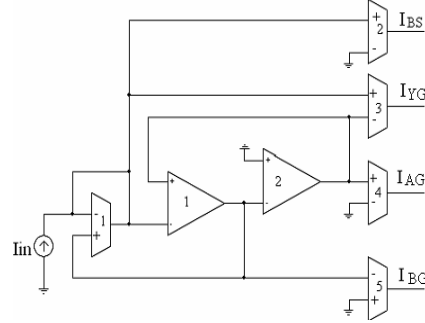
$$T_{AG}(s) = \frac{(g_{m1} + g_{m2})B^2}{g_{m2}s^2 + (g_{m1} + g_{m2})Bs + (g_{m1} + g_{m2})B^2} \quad (1)$$

olarak elde edilir. (1)'de yer alan B büyüklüğü işlemsel kuvvetlendiricinin kazanç band genişliği çarpımı, g_{m1} ve g_{m2} büyüklükleri de süzgeç yapısında kullanılan geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi (OTA) yapılarının geçiş iletkenliklerini göstermektedir. Yukarıdaki ifadeden süzgecin açıl kesim frekansı w_o ve kalite faktörü Q aşağıdaki gibi bulunur.

$$w_{O(AG)} = B \sqrt{1 + \frac{g_{m1}}{g_{m2}}} \quad (2)$$

$$Q_{AG} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{g_{m1}}{g_{m2}}}} \quad (3)$$

Girişi ve çıkışı akım olan akım modlu ikinci dereceden çok işlevli süzgeç yapısı Şekil 12 de görülmektedir.



Şekil 12 İkinci dereceden çok işlevli süzgeç yapısı

Şekil 12'deki ikinci dereceden çok işlevli süzgeç devresine ilişkin transfer fonksiyonları

$$T_{AG}(s) = \frac{I_{AG}}{I_{in}} = \frac{g_{m4}}{g_{m1}} \frac{B_1 B_2}{\Delta} \quad (4)$$

$$T_{BG}(s) = \frac{I_{BG}}{I_{in}} = \frac{g_{m5}}{g_{m1}} \frac{B_1 s}{\Delta} \quad (5)$$

$$T_{YG}(s) = \frac{I_{YG}}{I_{in}} = \frac{g_{m3}}{g_{m1}} \frac{s^2}{\Delta} \quad (6)$$

$$T_{BS}(s) = \frac{I_{BS}}{I_{in}} = \frac{g_{m2}}{g_{m1}} \frac{s^2 + B_1 B_2}{\Delta} \quad (7)$$

$$\Delta = s^2 + B_1 s + B_1 B_2 \quad (8)$$

Yukarıdaki ifadelerde yer alan B_1 ve B_2 büyüklükleri işlemsel kuvvetlendiricinin kazanç band genişliği çarpımını, g_{m1} , g_{m2} , g_{m3} , g_{m4} ve g_{m5} büyüklükleri de süzgeç yapısında kullanılan geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi (OTA) yapılarının geçiş iletkenliklerini göstermektedir. Yukarıdaki ifadeden süzgecin açıl kesim frekansı w_o ve kalite faktörü Q aşağıdaki gibi bulunur.

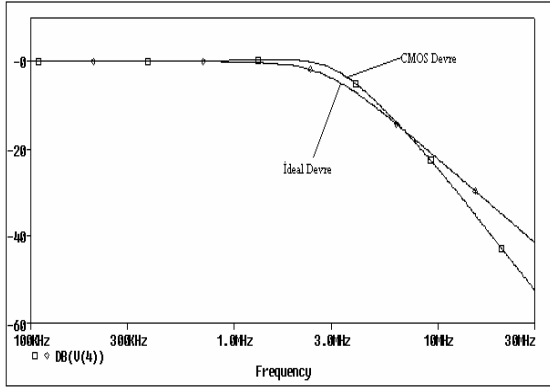
$$w_o = \sqrt{B_1 B_2} \quad (9)$$

$$\frac{w_o}{Q} = B_1 \quad (10)$$

$$Q = \sqrt{\frac{B_2}{B_1}} \quad (11)$$

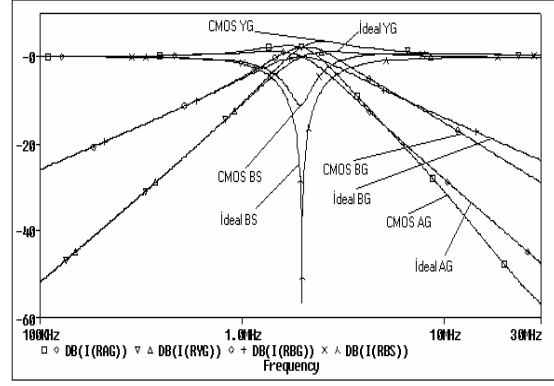
5. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Oluşturulan AG süzgeç yapısı için kazanç eğrisi Şekil 13'de verilmiştir. İşlemsel kuvvetlendiricinin kompanzasyon kapasitesi değiştirilerek süzgeç kesim frekansı istenilen değere ayarlanmıştır. İşlemsel kuvvetlendirici için $C_{C1} = 0.5\text{pF}$, $C_{C2} = 0.5\text{pF}$ ve $C_{C3} = 20\text{pF}$ seçilerek, işlemsel kuvvetlendiricinin B değeri 1.98MHz olarak elde edilmiştir. (5.2) bağıntısı kullanılarak yapılan teorik hesaplama sonucunda $f_0 = 2.8\text{MHz}$ olarak elde edilmiştir. Yapılan benzetim sonucunda ise $f_0 = 3.42\text{MHz}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 13 Alçak geçiren süzgeç için kazanç eğrisi

Oluşturulan çok işlevli süzgeç yapısı için kazanç eğrisi Şekil 14'de verilmiştir. İşlemsel kuvvetlendiricinin kompanzasyon kapasitesi değiştirilerek süzgeç kesim frekansı istenilen değere ayarlanmıştır. İşlemsel kuvvetlendirici için $C_{C1} = 0.5\text{pF}$, $C_{C2} = 0.5\text{pF}$ ve $C_{C3} = 20\text{pF}$ seçilerek, işlemsel kuvvetlendiricinin B değeri 1.98MHz olarak elde edilmiştir. (5.11) bağıntısı kullanılarak yapılan teorik hesaplama sonucunda f_{0AG} , f_{0YG} , f_{0BG} , f_{0BS} 1.98MHz olarak elde edilmiştir. Yapılan benzetim sonucunda ise $f_{0AG} = 2.8\text{MHz}$, $f_{0YG} = 1.45\text{MHz}$, $f_{0BG} = 2.06\text{MHz}$, $f_{0BS} = 1.96\text{MHz}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 14 Çok işlevli süzgeç için kazanç eğrileri

6. SONUÇ

Bu çalışmada, yüksek başarılı işlemsel kuvvetlendirici devresi ortaya konmuştur. Yüksek başarılı işlemsel kuvvetlendiriciler, yüksek değerde birim kazanç band genişliği (kazanç-band genişliği çarpımı) ve yükselme eğimi elde etmek üzere kullanılan yapılardır. Bu çalışmada da amaçlanan, devre tasarımcılarına büyük yükselme eğimli, büyük kazanç band genişliği çarpımına sahip ve büyük kazançlı bir yapı sunmaktır. Ayrıca yapıda besleme gerilimlerinin küçük tutulmasıyla güç tüketimi de düşmektedir.

Oluşturulan iç yapının başarımları uygulama devreleri kullanılarak sunulmuştur. Elde edilen simülasyon sonuçlarına bakıldığında, önerilen yapının ideal yapıyla büyük bir uyum içinde olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kuntman H., 1992, Analog Tümdevre Tasarımı, Sistem Yayıncılık.
- [2] Kuntman H., 1997, Analog MOS Tümdevre Tekniği, İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi, Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul.
- [3] Uygur A., Kuntman H., 2003, A High Performance CMOS Opamp and A LP Filter Design Example for Video Applications, *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, Issue 2, Vol 2.
- [4] Allen P.E., Douglas R.H., 1987, CMOS Analog Circuit Design, Oxford University Press.
- [5] Hogenvorst R., Tero J.P., Huijsing J.H., 1996, Compact CMOS Constant-gm Rail to Rail Input Stage with gm-Control by an Electronic Zener Diode, *IEEE Journal of Solid State Circuits*, Vol. 31, No. 7, 1035-1040.
- [6] Moldovan L., Harry H., 1997, A Rail to Rail Constant Gain Buffered Op-Amp for Real Time Video Applications, *IEEE Journal of Solid State Circuits*, Vol. 32, No. 2, 169-176.