

166441

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BESLEMEDEN BESLEMeye SABİT GEÇİŞ
İLETKENLİKLİ GİRİŞ KATLARI VE
UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Devrim YÜKSEL
504011209

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Aralık 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Ocak 2005

Tez Danışmanı : Prof.Dr. M. Sait TÜRKÖZ
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Ali ZEKİ
Doç.Dr. Shahram MINAEI (D.Ü.)

OCAK 2005

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında değerli yardımlarını esirgemeyen sayın hocalarım Doç. Dr. M.Sait Türköz'e, Doç Dr. Shahram Minaei'ye ve bu süre zarfında sabır ve desteğinden ötürü sevgili eşim Güllüşah Yüksel'e ve oğlum Uğur Bartu'ya teşekkür ediyorum.

Ocak 2005

Devrim YÜKSEL



İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ GİRİŞ KATLARI	3
2.1. Bir Fark Çiftinden Oluşan Giriş Katları	3
2.2. Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katları	8
2.2.1. Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 1	8
2.2.2. Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 2	14
2.2.3. Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 3	16
2.2.4. Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 4	18
2.2.5. Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 5	20
2.2.6. Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 6	23
2.2.7. Yeni Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı	26
3. BESLEMEDEN BESLEMeye İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİLER	32
3.1. Beslemeden Beslemeye Çıkış Katı	32
3.2. Beslemeden Beslemeye İşlemsel Kuvvetlendiricilerin Performans Analizleri	33
3.2.1. İşlemsel Kuvvetlendirici 1	34
3.2.1.1. Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği	36
3.2.1.2. V_{in} - V_{out} Karakteristiği	36
3.2.1.3. Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği	37
3.2.1.4. Faz-Frekans Karakteristiği	37
3.2.1.5. CMRR Karakteristiği	38
3.2.1.6. Yükselme Eğimi Karakteristiği	39
3.2.2. İşlemsel Kuvvetlendirici 2	39
3.2.2.1. Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği	41
3.2.2.2. V_{in} - V_{out} Karakteristiği	41
3.2.2.3. Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği	42
3.2.2.4. Faz-Frekans Karakteristiği	42

3.2.2.5. CMRR Karakteristiği	43
3.2.2.6. Yükselme Eğimi Karakteristiği	44
3.2.3. İşlemsel Kuvvetlendirici 3	44
3.2.3.1. Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği	46
3.2.3.2. V_{in} - V_{out} Karakteristiği	46
3.2.3.3. Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği	47
3.2.3.4. Faz-Frekans Karakteristiği	47
3.2.3.5. CMRR Karakteristiği	48
3.2.3.6. Yükselme Eğimi Karakteristiği	49
3.2.4. İşlemsel Kuvvetlendirici 4	49
3.2.4.1. Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği	51
3.2.4.2. V_{in} - V_{out} Karakteristiği	51
3.2.4.3. Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği	52
3.2.4.4. Faz-Frekans Karakteristiği	52
3.2.4.5. CMRR Karakteristiği	53
3.2.4.6. Yükselme Eğimi Karakteristiği	54
3.2.5. İşlemsel Kuvvetlendirici 5	54
3.2.5.1. Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği	56
3.2.5.2. V_{in} - V_{out} Karakteristiği	56
3.2.5.3. Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği	57
3.2.5.4. Faz-Frekans Karakteristiği	57
3.2.5.5. CMRR Karakteristiği	58
3.2.5.6. Yükselme Eğimi Karakteristiği	59
3.2.6. İşlemsel Kuvvetlendirici 6	59
3.2.6.1. Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği	61
3.2.6.2. V_{in} - V_{out} Karakteristiği	61
3.2.6.3. Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği	62
3.2.6.4. Faz-Frekans Karakteristiği	62
3.2.6.5. CMRR Karakteristiği	63
3.2.6.6. Yükselme Eğimi Karakteristiği	64
3.2.7. Yeni İşlemsel Kuvvetlendirici	64
3.2.7.1. Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği	66
3.2.7.2. V_{in} - V_{out} Karakteristiği	66
3.2.7.3. Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği	67
3.2.7.4. Faz-Frekans Karakteristiği	67
3.2.7.5. CMRR Karakteristiği	68
3.2.7.6. Yükselme Eğimi Karakteristiği	69

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

71

KAYNAKLAR	72
EKLER	73
ÖZGEÇMİŞ	80



KISALTMALAR

NMOS	: N Tipi Metal Oksit Silikon
PMOS	: P Tipi Metal Oksit Silikon
CMOS	: Tamamlayıcı Metal Oksit Silikon
CMRR	: Ortak İşareti Zayıflatma Oranı
DC	: Doğru Akım



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. İşlemsel Kuvvetlendirici Performans Analiz Sonuçları.....	70



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : NMOS Fark Çifti ve Ortak İşaret Giriş Aralığı.....	3
Şekil 2.2 : PMOS Fark Çifti ve Ortak İşaret Giriş Aralığı.....	4
Şekil 2.3 : Tamamlayıcı Fark Çifti ve Ortak İşaret Giriş Aralığı.....	4
Şekil 2.4 : NMOS Fark Çifti Geçiş İletkenliği Karakteristiği.....	5
Şekil 2.5 : PMOS Fark Çifti Geçiş İletkenliği Karakteristiği.....	5
Şekil 2.6 : Tamamlayıcı Fark Çifti Geçiş İletkenliği Karakteristiği	6
Şekil 2.7 : İki Katlı İşlemsel Kuvvetlendirici.....	7
Şekil 2.8 : Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 1.....	9
Şekil 2.9 : Sabit Geçiş İletkenliği Kutuplama Devresi.....	10
Şekil 2.10 : Yenilenmiş Sabit Geçiş İletkenliği Kutuplama Devresi	12
Şekil 2.11 : Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 1 Geçiş İletkenliği Karakteristiği.....	13
Şekil 2.12 : Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 2	14
Şekil 2.13 : Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 2 Geçiş İletkenliği Karakteristiği.....	15
Şekil 2.14 : Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 3.....	16
Şekil 2.15 : Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 3 Geçiş İletkenliği Karakteristiği.....	18
Şekil 2.16 : Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 4.....	19
Şekil 2.17 : Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 4 Geçiş İletkenliği Karakteristiği.....	20
Şekil 2.18 : Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 5.....	21
Şekil 2.19 : Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 5 Geçiş İletkenliği Karakteristiği.....	22
Şekil 2.20 : Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 6.....	24
Şekil 2.21 : PMOS Fark Çifti Girişlerine Kaydırma Gerilimi Uygulanmış CMOS Giriş Katı.....	23
Şekil 2.22 : Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 6 Blok Diyagramı.....	25
Şekil 2.23 : Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 6 Geçiş İletkenliği Karakteristiği.....	26
Şekil 2.24 : Yeni Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı.....	27
Şekil 2.25 : Tamamlayıcı Fark Çifti Geçiş İletkenliği Karakteristiği.....	28
Şekil 2.26 : Minimum Akım Seçme Devresi.....	29
Şekil 2.27 : Yeni Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı Geçiş İletkenliği Karakteristiği.....	31
Şekil 3.1 : Beslemeden Beslemeye AB Sınıfı Çıkış Katı.....	32
Şekil 3.2 : Akım Toplama Devresi.....	34
Şekil 3.3 : İşlemsel Kuvvetlendirici 1.....	35
Şekil 3.4 : İşlemsel Kuvvetlendirici 1 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği.	36
Şekil 3.5 : İşlemsel Kuvvetlendirici 1 V_{in} - V_{out} Karakteristiği.....	36

Şekil 3.6	: İşlemsel Kuvvetlendirici 1 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği.....	37
Şekil 3.7	: İşlemsel Kuvvetlendirici 1 Faz-Frekans Karakteristiği.....	38
Şekil 3.8	: İşlemsel Kuvvetlendirici 1 CMRR-Frekans Karakteristiği.....	38
Şekil 3.9	: İşlemsel Kuvvetlendirici 1 Yükselme Eğimi Karakteristiği.....	39
Şekil 3.10	: İşlemsel Kuvvetlendirici 2.....	40
Şekil 3.11	: İşlemsel Kuvvetlendirici 2 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği.	41
Şekil 3.12	: İşlemsel Kuvvetlendirici 2 V_{in} - V_{out} Karakteristiği.....	41
Şekil 3.13	: İşlemsel Kuvvetlendirici 2 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği.....	42
Şekil 3.14	: İşlemsel Kuvvetlendirici 2 Faz-Frekans Karakteristiği.....	43
Şekil 3.15	: İşlemsel Kuvvetlendirici 2 CMRR-Frekans Karakteristiği.....	43
Şekil 3.16	: İşlemsel Kuvvetlendirici 2 Yükselme Eğimi Karakteristiği.....	44
Şekil 3.17	: İşlemsel Kuvvetlendirici 3.....	45
Şekil 3.18	: İşlemsel Kuvvetlendirici 3 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği.	46
Şekil 3.19	: İşlemsel Kuvvetlendirici 3 V_{in} - V_{out} Karakteristiği.....	46
Şekil 3.20	: İşlemsel Kuvvetlendirici 3 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği.....	47
Şekil 3.21	: İşlemsel Kuvvetlendirici 3 Faz-Frekans Karakteristiği.....	48
Şekil 3.22	: İşlemsel Kuvvetlendirici 3 CMRR-Frekans Karakteristiği.....	48
Şekil 3.23	: İşlemsel Kuvvetlendirici 3 Yükselme Eğimi Karakteristiği.....	49
Şekil 3.24	: İşlemsel Kuvvetlendirici 4.....	50
Şekil 3.25	: İşlemsel Kuvvetlendirici 4 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği.	51
Şekil 3.26	: İşlemsel Kuvvetlendirici 4 V_{in} - V_{out} Karakteristiği.....	51
Şekil 3.27	: İşlemsel Kuvvetlendirici 4 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği.....	52
Şekil 3.28	: İşlemsel Kuvvetlendirici 4 Faz-Frekans Karakteristiği.....	53
Şekil 3.29	: İşlemsel Kuvvetlendirici 4 CMRR-Frekans Karakteristiği.....	53
Şekil 3.30	: İşlemsel Kuvvetlendirici 4 Yükselme Eğimi Karakteristiği.....	54
Şekil 3.31	: İşlemsel Kuvvetlendirici 5.....	55
Şekil 3.31	: İşlemsel Kuvvetlendirici 5 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği.	56
Şekil 3.33	: İşlemsel Kuvvetlendirici 5 V_{in} - V_{out} Karakteristiği.....	56
Şekil 3.34	: İşlemsel Kuvvetlendirici 5 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği.....	57
Şekil 3.35	: İşlemsel Kuvvetlendirici 5 Faz-Frekans Karakteristiği.....	58
Şekil 3.36	: İşlemsel Kuvvetlendirici 5 CMRR-Frekans Karakteristiği.....	58
Şekil 3.37	: İşlemsel Kuvvetlendirici 5 Yükselme Eğimi Karakteristiği.....	59
Şekil 3.38	: İşlemsel Kuvvetlendirici 6.....	60
Şekil 3.39	: İşlemsel Kuvvetlendirici 6 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği.	61
Şekil 3.40	: İşlemsel Kuvvetlendirici 6 V_{in} - V_{out} Karakteristiği.....	61
Şekil 3.41	: İşlemsel Kuvvetlendirici 6 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği.....	62
Şekil 3.42	: İşlemsel Kuvvetlendirici 6 Faz-Frekans Karakteristiği.....	63
Şekil 3.43	: İşlemsel Kuvvetlendirici 6 CMRR-Frekans Karakteristiği.....	63
Şekil 3.44	: İşlemsel Kuvvetlendirici 6 Yükselme Eğimi Karakteristiği.....	64
Şekil 3.45	: Yeni İşlemsel Kuvvetlendirici	65
Şekil 3.46	: Yeni İşlemsel Kuvvetlendirici Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği.....	66
Şekil 3.47	: Yeni İşlemsel Kuvvetlendirici V_{in} - V_{out} Karakteristiği.....	66

Şekil 3.48 : Yeni İşlemsel Kuvvetlendirici Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği.....	67
Şekil 3.49 : Yeni İşlemsel Kuvvetlendirici Faz-Frekans Karakteristiği.....	68
Şekil 3.50 : Yeni İşlemsel Kuvvetlendirici CMRR-Frekans Karakteristiği...	68
Şekil 3.51 : İşlemsel Kuvvetlendirici Yükselme Eğimi Karakteristiği.....	69



SEMBOL LİSTESİ

V_{GS}	: MOS transistor geçit-kaynak gerilimi
V_{Dsat}	: MOS transistor doyma gerilimi
V_T	: MOS transistor eşik gerilimi
V_{cm}	: Ortak işaret gerilimi
g_m	: MOS transistor geçiş iletkenliği
g_{mn}	: NMOS fark çifti geçiş iletkenliği
g_{mp}	: PMOS fark çifti geçiş iletkenliği
g_{mT}	: Toplam geçiş iletkenliği
ω_1	: Birim kazanç bant genişliği
ω_{p2}	: İkinci kutup açılmal frekansı
K_n	: NMOS transistor geçiş iletkenliği parametresi
K_p	: PMOS transistor geçiş iletkenliği parametresi
W/L	: Kanal genişliğinin kanal boyuna oranı
C_{ox}	: Oksit kapasitesi
μ_n	: NMOS transistor hareket yeteneği
μ_p	: PMOS transistor hareket yeteneği
V_{DD}	: Pozitif besleme gerilimi
V_{SS}	: Negatif besleme gerilimi
f_{3dB}	: 3 dB düşme frekansı
SR^+	: Pozitif yönde yükselme eğimi
SR^-	: Negatif yönde yükselme eğimi
GBW	: Birim kazanç bant genişliği

BESLEMEDEN BESLEMeye SABİT GEÇİŞ İLETKENLİKLİ GİRİŞ KATLARI VE UYGULAMALARI

ÖZET

Bu çalışmada, işlemsel kuvvetlendiricilerin ortak işaret aralığını artırmak için önerilen giriş katları incelendi ve yeni bir giriş katı tasarlandı. Önerilen giriş katı ile düşük gerilimli, beslemeden beslemeye sabit geçiş iletkenlikli işlemsel kuvvetlendirici tasarlandı.

İkinci bölümde, önce NMOS, PMOS ve tamamlayıcı fark çiftinden oluşan giriş katları hakkında genel bilgi verildi. Daha sonra, giriş katının geçiş iletkenliğini sabitleştirmek için kullanılan yöntemler anlatıldı ve sabit geçiş iletkenliğine sahip giriş katları PSPICE simülasyon programı vasıtasıyla incelendi. Bu bölümün sonunda, sabit geçiş iletkenliği elde etmek için yeni bir yöntem önerildi ve bu yöntem ile elde edilen giriş katı PSPICE simülasyon programı yardımıyla incelendi.

Üçüncü bölümde, öncelikle beslemeden beslemeye işlemsel kuvvetlendirici tasarlamak için kullanılacak AB sınıfı beslemeden beslemeye çıkış katı tanıtıldı. Sonra, bu çıkış katı ve incelenen giriş katları ile yedi adet işlemsel kuvvetlendirici gerçekleştirildi. İşlemsel kuvvetlendiricilerin simülasyonları PSPICE programı vasıtasıyla yapıldı. Elde edilen simülasyon sonuçları birbirleri ile karşılaştırıldı.

Son bölümde ise bu çalışmanın neden önem taşıdığı ve tasarlanan yeni beslemeden beslemeye sabit geçiş iletkenlikli giriş katlarının ve işlemsel kuvvetlendiricilerin literatürdeki yerinden bahsedildi.

RAIL TO RAIL CONSTANT-GM INPUT STAGES AND APPLICATIONS

SUMMARY

In this thesis, input stages which are proposed to increase the common mode range of a operational amplifier are investigated. And a new input stage is designed. Using this proposed input stage, a new low voltage, rail to rail operational amplifier with constant- g_m is designed.

In the second section, firstly, general information is given about input stages which are consist of NMOS, PMOS and complementary differential pairs. Then, the methods which are used to obtain constant- g_m in the input stage of operational amplifier are described. This constant- g_m input stages are investigated by using PSPICE simulation program. At the end of this section, a new method is proposed to obtain constant- g_m in the input stage. And this input stage is investigated by using PSPICE simulation program.

In the third section, firstly, a class AB rail to rail output stage is described to design a rail to rail operational amplifier. Then, seven new rail to rail operational amplifier are designed by using these input and output stages. These operational amplifiers are investigated by using PSPICE simulation program. These obtained simulation results are compared with each other.

In the last section, the main advantages and importance of the proposed rail to rail, constan- g_m input stage and operational amplifier in scientific literature is discussed.

1. GİRİŞ

Son zamanlarda taşınabilir cihazların hayatımızda daha çok yer alması ile bu cihazların özelliklerinin her geçen gün geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. İhtiyaç duyulan başlıca özellikler ise pillerinin daha uzun süreler dayanması ve daha fazla işlemi bir arada bulundurabilmesidir. Yalnız bu iki özellik birbiriyle tam bir zıtlık içindedir. Aynı boyutlardaki bir cihazın daha fazla fonksiyonu bir arada bulundurabilmesi için, daha fazla elemanı barındırması gerekmektedir. Bu da güç tüketimin artmasına ve böylece pil ömürlerinin düşmesine neden olmaktadır. Güç tüketiminin azaltılması için öncelikle besleme geriliminin ve akımın düşürülmesi gerekmektedir.

Ayrıca, günümüzde transistor kanal boyları mikrometrenin altına ve geçit oksit kalınlığı da sadece birkaç nanometre seviyesine inmiştir. Bu durum, transistörün güvenilirliğini sağlamak için besleme gerilimini düşürmemizi zorunlu kılmıştır. Bunun için uygulanabilir en yüksek besleme gerilimi 5V tan 3V'a hatta 2V seviyelerine inmiştir.

Aynı yonga üzerinde artan eleman yoğunluğu düşük gücü zorunlu kılmaktadır. Bir silikon yonga, birim alan başına ancak belirli miktarda güç harcayabilir. Eleman yoğunluğunun artması birim alanda daha fazla elektronik fonksiyonun gerçekleşmesine izin verdiğinden, aşırı ısınmayı önlemek için her bir elektronik fonksiyona düşen güç tüketimi azaltılmalıdır.

Besleme geriliminin düşmesi ile birlikte, analog devre dizaynında yeni problemler ortaya çıkmıştır. Büyük besleme gerilimlerinde önemli olmayan elektriksel karakteristikler önemli olmaya başlamıştır. Düşük besleme gerilimindeki anahtar dizayn problemi, yüksek besleme gerilimlerinde elde edilen sistem performansının aynen başarılmasıdır. Gerçekten analog devre dizaynında, besleme gerilimi düşüşü, devre modifikasyonlarında birincil önceliktedir. Kazanç, dinamik aralık, hız, bant genişliği, lineerite ve gürültü gibi en önemli analog parametreler besleme gerilimine kuvvetlice bağlıdır.

İşlemsel kuvvetlendirici, A/D, D/A çeviriciler ve filtreler gibi uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan analog bloktur. İşlemsel kuvvetlendirici, eviren ve evirmeyen olmak üzere iki temel yapıda kullanılır. Bu yapılar, farklı ortak işaret giriş aralığına ihtiyaç duyarlar. Bu aralık yaklaşık sıfırdan beslemeden beslemeye kadar değişmektedir. Besleme geriliminin düşüşü ile geleneksel işlemsel kuvvetlendiricilerin ortak işaret giriş gerilimi çok küçülmeye başlamıştır. Bunun başlıca nedeni giriş fark çiftinin kesim gerilimlerinin besleme gerilimi ile aynı oranda düşmemesidir. İşlemsel kuvvetlendiricinin, birim kazanç arabelleği gibi genel amaçlı kullanımlarında bu azalma önemli bir kısıtlamadır. Bu yüzden, özellikle evirmeyen işlemsel kuvvetlendirici devrelerinde işaret gürültü oranını mümkün olduğunca yüksek tutmak için ortak işaret giriş gerilimi mümkün olduğunca geniş tutulmalıdır.

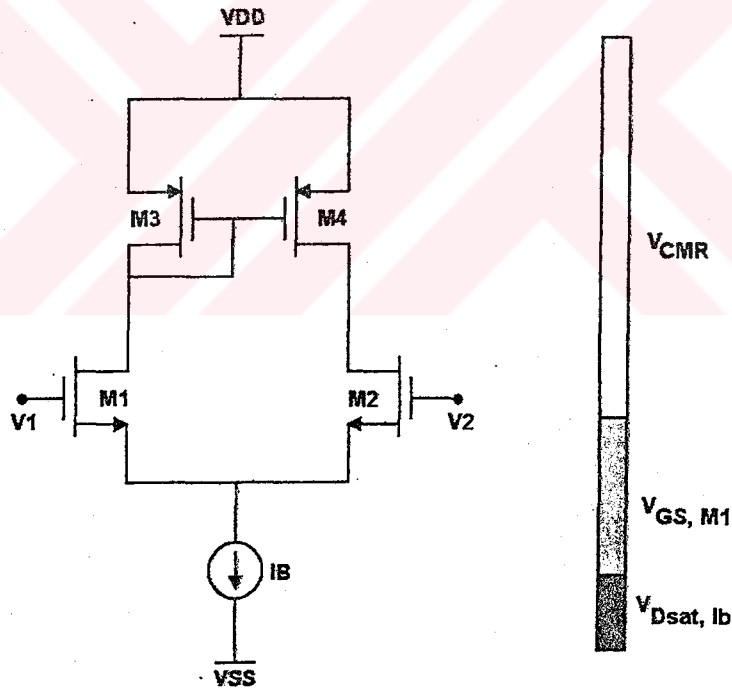
İşlemsel kuvvetlendiricilerin giriş katlarında fark kuvvetlendiricileri kullanılmaktadır. Ancak fark kuvvetlendiricileri kısıtlı bir ortak işaret giriş aralığına sahiptirler. Bu yüzden ortak işaret giriş aralığının beslemeden beslemeye çıkarılması gerekmektedir. Bunun için kullanılan en yaygın yol ise giriş katında n tipi ve p tipi fark çiftlerinin paralel olarak bağlanmasıdır. Bu yöntem tamamlayıcı giriş katı olarak da adlandırılır ve ortak işaret giriş aralığının beslemeden beslemeye çıkmasını sağlar.

2. İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ GİRİŞ KATLARI

2.1 Bir Fark Çiftinden Oluşan Giriş Katları

Her işlemsel kuvvetlendiricinin giriş katı bir fark kuvvetlendiricidir. CMOS teknolojisinde fark kuvvetlendiriciler NMOS veya PMOS fark çiftleri kullanılarak elde edilebilirler.

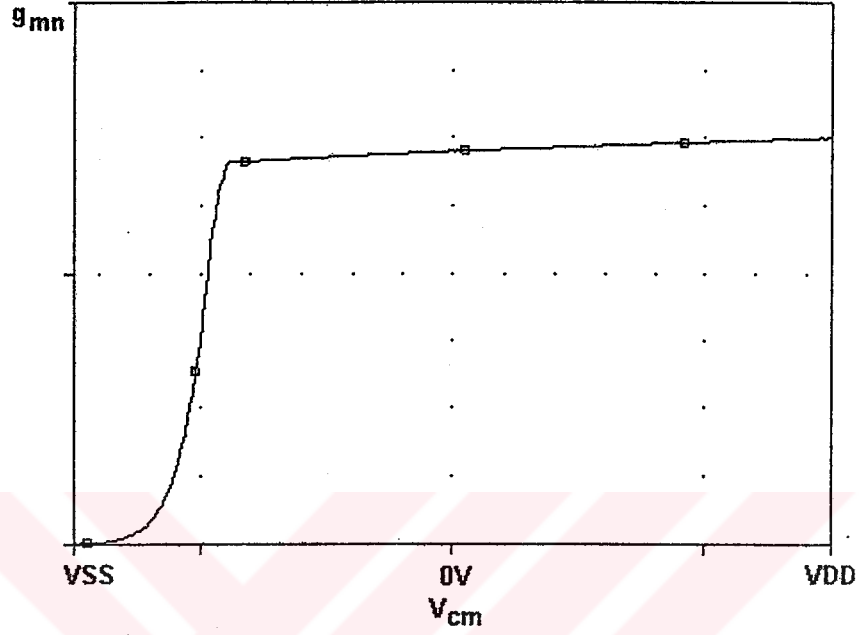
Şekil 2.1’de verilen basitleştirilmiş diyagram kullanılarak yapılan incelemede NMOS fark giriş katının ortak işaret giriş aralığı pozitif beslemeden negatif beslemenin $V_{gs,n} + V_{Dsat, Ib}$ kadar üzerine uzandığı görülmektedir. Bu minimum gerilim NMOS fark çiftini ve kuyruk akım kaynağını doymada tutmak için gereklidir.



Şekil 2.1 NMOS Fark Çifti ve Ortak İşaret Giriş Aralığı

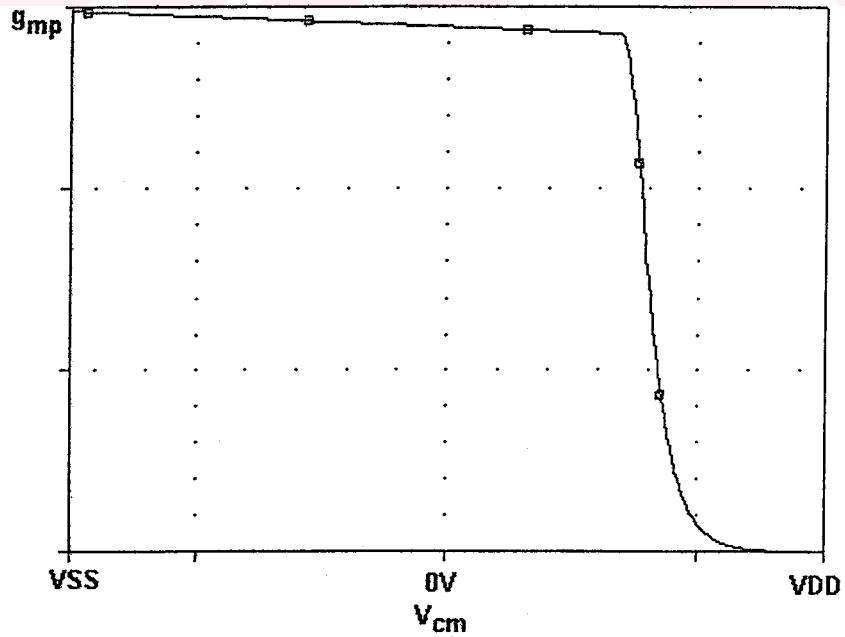
Benzer inceleme PMOS fark çifti için de Şekil 2.2’deki diyagram kullanılarak yapıldığında, ortak işaret giriş aralığının pozitif beslemenin $V_{gs,n} + V_{Dsat, Ib}$ kadar altından negatif beslemeye kadar uzandığı görülmektedir. Bu minimum gerilim PMOS fark çiftini ve kuyruk akım kaynağını doymada tutmak için gereklidir.

Orta bölgelerde ise hem PMOS hem de NMOS fark çifti doymadadır. Ancak bu durum devrenin performansında önemli bir etkiye neden olmaktadır. Bu etkiyi anlamak için her bir çiftin geçiş iletkenliğini inceleyelim. Şekil 2.4'te NMOS çiftin geçiş iletkenliğinin ortak işaret giriş gerilimi ile değişimi görülmektedir.



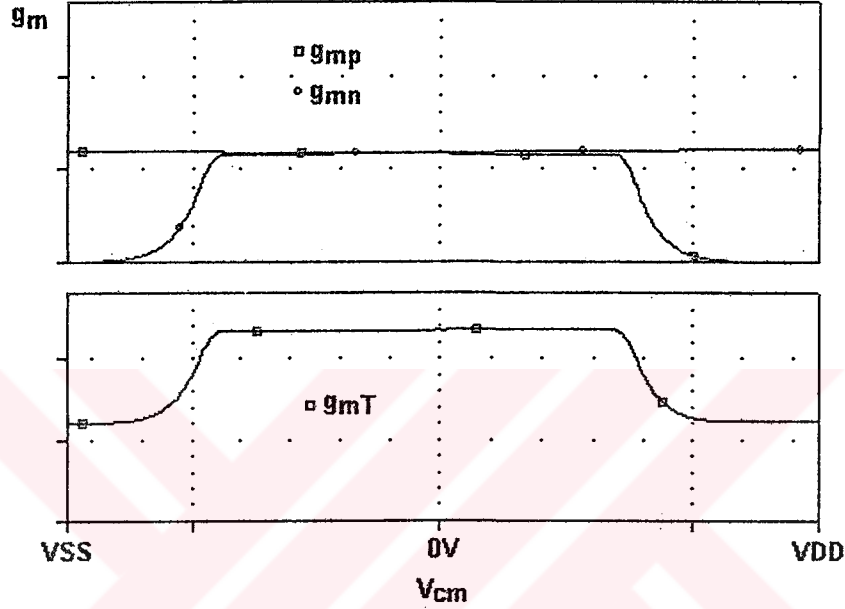
Şekil 2.4 NMOS Fark Çifti Geçiş İletkenliği Karakteristiği

Benzer şekilde PMOS çiftinin geçiş iletkenliği de Şekil 2.5'de verilmiştir.



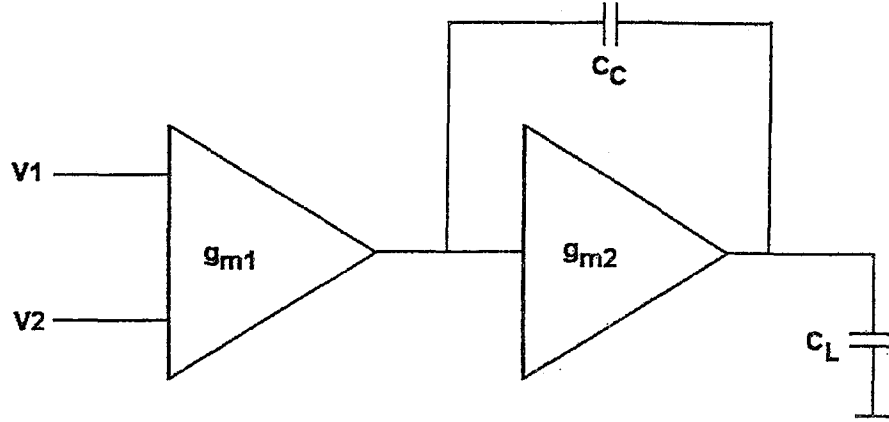
Şekil 2.5 PMOS Fark Çifti Geçiş İletkenliği Karakteristiği

Şekillerden de görüldüğü gibi her bir çiftin geçiş iletkenliği ortak işaret aralığında yaklaşık olarak sabittir ve bu alan dışında sıfıra doğru düşmektedir. Bu iki grafiğin birleştirilmesi ile tamamlayıcı çiftin geçiş iletkenliğinin, ortak işaret giriş gerilimi ile değişim grafiği Şekil 2.6'da olduğu gibi elde edilir. Bunu elde ederken, tamamlayıcı çifti oluşturan çiftlerin kendi çalışma bölgelerinde aynı geçiş iletkenliğini oluşturacak şekilde ayarlandığını kabul ettik.



Şekil 2.6 Tamamlayıcı Fark Çifti Geçiş İletkenliği Karakteristiği

Tamamlayıcı fark çiftinin geçiş iletkenliğinin, ortak işaret giriş geriliminin negatif veya pozitif besleme hattına yakın değerlerinde, yani çiftlerden sadece birinin aktif olduğu durumda hemen hemen sabit olduğu görülmektedir. Ancak ortak işaret giriş geriliminin orta bölge değerlerinde geçiş iletkenliği, her iki fark çiftinin devrede olmasından ötürü diğer bölgelerin iki katı olmaktadır. Geçiş iletkenliğindeki bu büyük değişim, girişi katında tamamlayıcı çift kullanılan işlemsel kuvvetlendiricilerin dizaynında uygun olmayan sonuçlar doğurmaktadır. Bunu Şekil 2.7'de verilen devre ile anlamaya çalışalım.



Şekil 2.7 İki Katlı İşlemsel Kuvvetlendirici

Burada C_C kompanzasyon kapasitesi ve C_L yük kapasitesidir. Bir kuvvetlendiricinin birim kazanç-bant genişliği ve ikinci kutbu yaklaşık olarak şu şekilde verilebilir.

$$\omega_1 = \frac{g_{m1}}{C_C} \quad (2.1)$$

$$\omega_{p2} = \frac{g_{m2}}{C_L} \quad (2.2)$$

Kararlık sebeplerinde ötürü aşağıda şartın gerçekleşmesini isteriz.

$$\omega_{p2} > \alpha \omega_1 = \alpha \frac{g_{m1}}{C_C} \quad (2.3)$$

Burada α , kararlılık gereksinimi tarafından belirlenen bir katsayıdır. Mesela 60° 'lik bir faz payı için yaklaşık 2'dir.

Denklem (2.1)'den de görüldüğü üzere C_C sabit kabul edildiğinde, minimum birim kazanç-bant genişliği elde etmek için, g_{m1} değerinin minimum olması gerekir. Bundan dolayı, ω_1 'nin en kötü durum şartı, g_{m1} 'in minimum olduğu durumdur. Diğer yandan, Denklem (2.3)'ten C_C ve α sabit kabul edildiğinde, birinci ve ikinci kutup arasında minimum mesafe elde etmek için g_{m1} değerinin maksimum olması gerekir. Bundan dolayı, ω_{p2} 'nin en kötü durum şartı g_{m1} 'in maksimum olduğu durumdur. Bu iki durum arasındaki isteklerde bir çatışma olduğu açıkça görülmektedir. Ortak işaret aralığının orta bölgelerinde tamamlayıcı fark çiftin g_{mT} değeri, kenar değerinin iki katıdır. Bu nedenle ω_1 için ihtiyaç duyulan minimum g_{mT} değeri kenar bölgelerde

kararlaştırılır. g_{mT} 'nin maksimum olduğu bölgelerde ise kararlılık için faz payının devamı istenir ve bunun için de g_{m2} 'nin değerinin iki katına çıkması gerekir.

Geçiş iletkenliğinin değişiminden kaynaklanan diğer daha az önemli dezavantaj ise harmonik bozulmadır. İşlemsel kuvvetlendiricilerde bozulma, kuvvetlendiriciye geri besleme yapılarak önemli ölçüde azaltılabilir.

Tamamlayıcı fark çiftinin geçiş iletkenliğindeki büyük değişimler arzu edilmeyen bir olaydır. Bunun başlıca dezavantajı, kuvvetlendiricini uygun olmayan frekans kompanzasyonundan kaynaklan g tüketimidir. Bu nedenle tamamlayıcı fark çifti geçiş iletkenliği değişiminin azaltılması gerekmektedir. Sonraki bölümde bu işlemin nasıl yapılacağı anlatılacaktır.

2.2 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katları

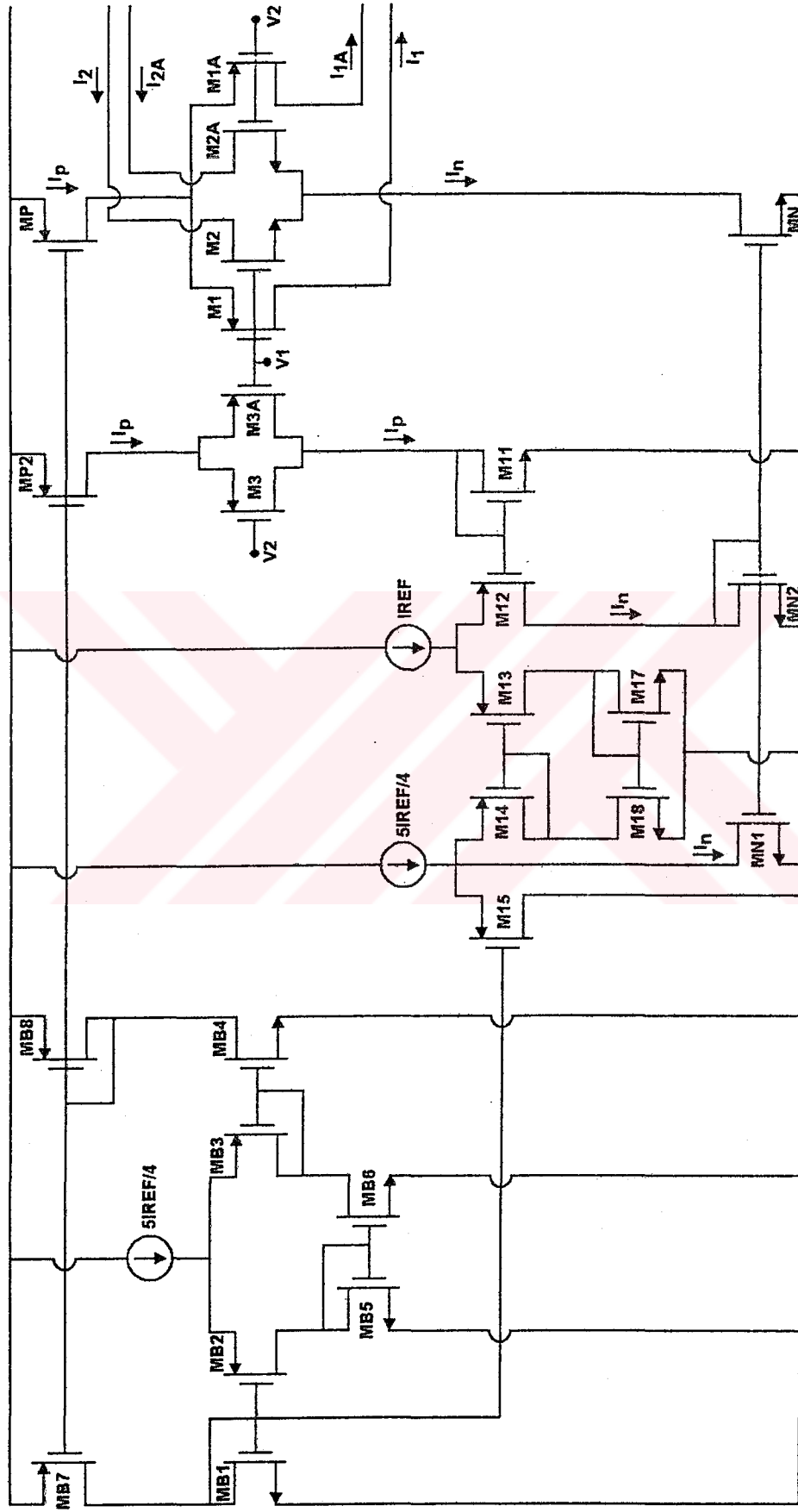
Sabit geçiş iletkenliğine sahip giriş katları elde etmenin birçok yolu vardır. Bu nedenle öncelikle kullanılacak yöntemlerin açıklanması için g_{mT} 'nin formüle edilmesine ihtiyacımız vardır. Tüm transistörlerin doymada çalıştıklarını ve karesel modeli kullandığını varsayalım. Bu durumda tamamlayıcı fark çiftinin geçiş iletkenliği aşağıda şekilde verilir.

$$g_{mT} = g_{mn} + g_{mp} = \sqrt{\mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_n I_n} + \sqrt{\mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_p I_p} \quad (2.4)$$

Bu denklemi incelersek geçiş iletkenliğini nasıl sabit tutacağımıza dair bize bir fikir verebilir. Denklem (2.4)'ten NMOS veya PMOS fark çiftinin kuyruk akımı veya boyutlarının kontrolü ile geçiş iletkenliğinin sabitleştirilebileceği görülebilir. Bu bölümde sabit geçiş iletkenlikli giriş katı elde etmek için kullanılan bu ve buna benzer yöntemlerden bahsedilecektir.

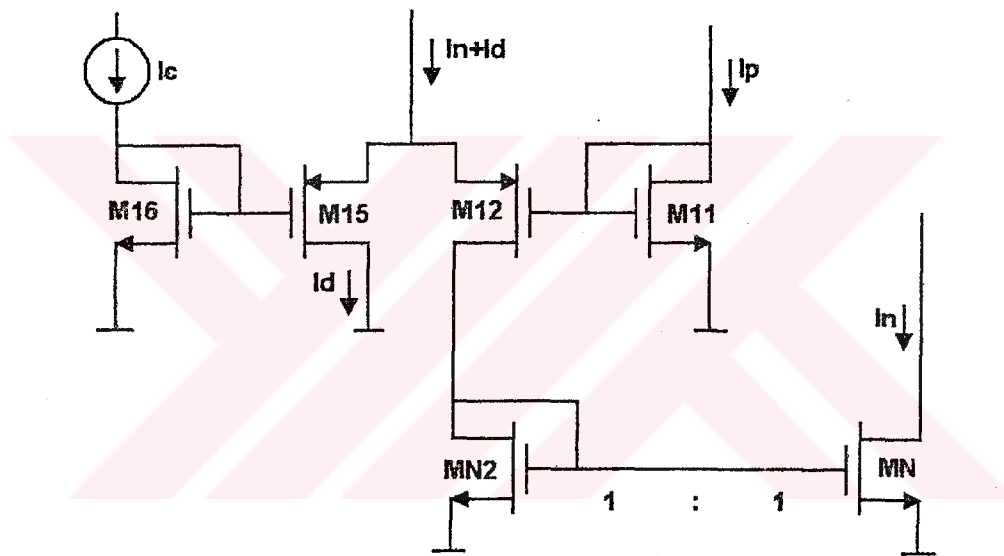
2.2.1 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 1

Sabit geçiş iletkenliği elde etmek için kullanacağımız ilk devre şekil 2.8'de gösterilmiştir [4]. Bu yöntem esas olarak denklem (2.4)'e dayanmaktadır. Burada amaç $\sqrt{I_n} + \sqrt{I_p}$ 'ı sabit tutmaktır. Böylece geçiş iletkenliğinin tüm ortak işaret giriş aralığı boyunca sabit kalmasına çalışılmaktadır.



Şekil 2.8 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 1

İkinci kısım M11-M18, MB1, MN, MN1, MN2'den oluşan geçiş iletkenliğini sabit tutmaya çalışan kısımdır. Burada PMOS fark çiftinin kuyruk akımı I_p 'ye bakılarak NMOS fark çiftinin kuyruk akımı I_n belirlenir. Bu kısmın çalışmasını anlamak için Şekil 2.9'a bakalım.



I_p ikinci kısma M11'den girer ve I_n , MN'den çıkar. M11-M16 transistörleri sabit geçiş iletkenliği için gerekli I_p ve I_n arasındaki ilişkiyi belirler. M12'den akan I_n akımı M12 ve M15'in kaynak ucuna taşınır. Ayrıca, bu uca I_d değerinde sabit bir akım kaynağı bağlanır ve böylece M15 transistöründen I_d akımının akması sağlanır. Aynı zamanda I_c sabit akımı da diyot bağlı M16 transistöründen akıtılarak M15 ve M16 transistörlerinin geçit-kaynak gerilimlerinin sabit olması sağlanır. Bu, M12 transistörünün kaynak ucunda sabit bir gerilim noktası oluşturur. M11 ve M16'nın kaynak uçları toprakta olduğundan aşağıdaki ifade her zaman doğrudur.

10

Tüm transistörlerin doymada çalıştıkları kabul edilerek denklem (2.5) şu şekilde tekrar yazılabilir.

$$\sqrt{\frac{I_c}{K_n}} + V_{T16} + \sqrt{\frac{I_d}{K_p}} + V_{T15} = \sqrt{\frac{I_n}{K_p}} + V_{T12} + \sqrt{\frac{I_p}{K_n}} + V_{T11} \quad (2.6)$$

Burada $K_n = 1/2\mu_n C_{ox}(W/L)_n$ ve $K_p = 1/2\mu_p C_{ox}(W/L)_p$ 'dir.

P tipi transistörler M12 ve M15'in kaynak uçları ortak olduğundan $V_{T12} = V_{T15}$ olarak kabul edilebilir ve böylece birbirlerini yok ederler. Aynı olay M11 ve M16 için de geçerlidir ve $V_{T11} = V_{T16}$ olarak alınabilir. Böylece denklem (2.6) aşağıdaki şekli alır.

$$\sqrt{\frac{I_c}{K_n}} + \sqrt{\frac{I_d}{K_p}} = \sqrt{\frac{I_n}{K_p}} + \sqrt{\frac{I_p}{K_n}} \quad (2.7)$$

Her iki taraf $\sqrt{2K_n K_p}$ ile çarpılarak denklem (2.7) şu şekilde tekrar yazılır.

$$\sqrt{2I_c K_p} + \sqrt{2I_d K_n} = \sqrt{2I_n K_n} + \sqrt{2I_p K_p} \quad (2.8)$$

Denklem (2.8)'e bakıldığında sağ tarafın tamamlayıcı fark çiftinin geçiş iletkenliğine eşit olduğu görülür. $I_c = I_d = I_{ref}/4$ alınarak tamamlayıcı fark çiftinin geçiş iletkenliği, ortak işaret giriş aralığı boyunca sabit tutulur.

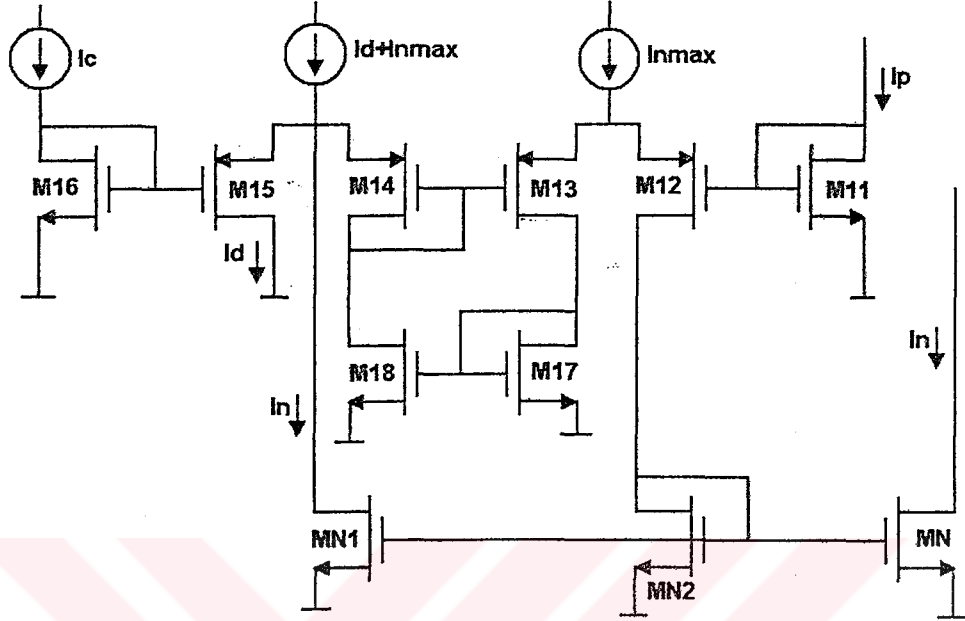
Bu sonucu çıkarırken, denklem (2.6)'da $V_{T11} = V_{T16}$ olarak kabul etmiştik. Ancak ortak işaret giriş gerilimi pozitif beslemeye yaklaştıkça M11'den akan I_p çok küçülür ve bu kabullenme tam olarak doğru olmaz. M11 hala doymada olmasına karşın artık kuvvetli evirtim bölgesinde değildir. Eğer I_p sıfır olursa, denklem (2.6)'ya göre V_{GS11} , sabit V_{T11} ile gösterilecektir. Fakat zayıf evirtim bölgesinde V_{GS} denklem (2.9)'a göre I_d 'ye bağlı olarak düşecektir.

$$I_D = 2nU_T^2 K \exp\left(\frac{(V_G - V_T)/n - V_S}{U_T}\right) \quad (2.9)$$

Burada $U_T = KT/q$ ve n , 1 ile 2 arasında bir sabittir.

V_{GS11} ve V_{GS12} 'nin toplamaları sabit olduğundan, V_{GS11} tasarlanan değeri, V_T 'den daha düşük değerler alacağından, V_{GS12} 'nin değeri artar. Bu da I_n 'nin olması

gerekenden daha büyük değeri almasını ve g_{mT} 'nin I_p 'nin çok küçük değerlerinde daha büyük olmasına neden olur. Bu nedenle g_{mT} artık sabit değildir. Bu sorunu gidermek için Şekil 2.9'daki devre Şekil 2.10'daki gibi yeniden tasarlanmıştır.



Şekil 2.10 Yenilenmiş Sabit Geçiş İletkenliği Kutuplama Devresi

Bu devrede amaç, I_n akımını maksimum değeri olan I_{nmax} ile sınırlamaktır. M12 ve M15'in kaynak uçları birbirinden ayrılmıştır. Bu uçlardaki gerilimler M13, M14, M17 ve M18'den oluşan devre tarafından eşitlenir. M17-M18 akım aynası vasıtasıyla M13 ve M14'ün savak akımları birbirlerine eşitlenir. Böylece geçit kaynak gerilimleri de eşit olmuş olur. Geçit uçları birbirlerine bağlı olduğunda M13 ve M14'ün kaynak uçları ve benzer şekilde M12 ve M15'in kaynak uçları aynı potansiyeldedir. M12 ve M13'ün kaynak ucu I_{nmax} değerinde sabit kaynakla beslendiğinden V_{GS11} 'in ne kadar küçüldüğü artık önemli değildir. I_n , I_{nmax} ile sınırlanmıştır. M15 ve M14'ün kaynak ucuna I_d+I_{nmax} değerinde sabit bir kaynak bağlanmıştır. Bu uca MN1 eklenerek, I_n akımı buradan akıtılmış ve böylece M15'den akan akımın I_d ye eşit olması sağlanmıştır.

Üçüncü kısım, MP2, M3 ve M3A'dan oluşur. Burada, geçiş iletkenliğini sabitlemek için kullanılan ikinci kısım için I_p akımı sağlanır. MP2, M3 ve M3A tamamlayıcı devredeki MP, M1 ve M1A'nın aynısıdır. Böylece MP'den akan akımın aynısı M11'den akıtılmış olur.

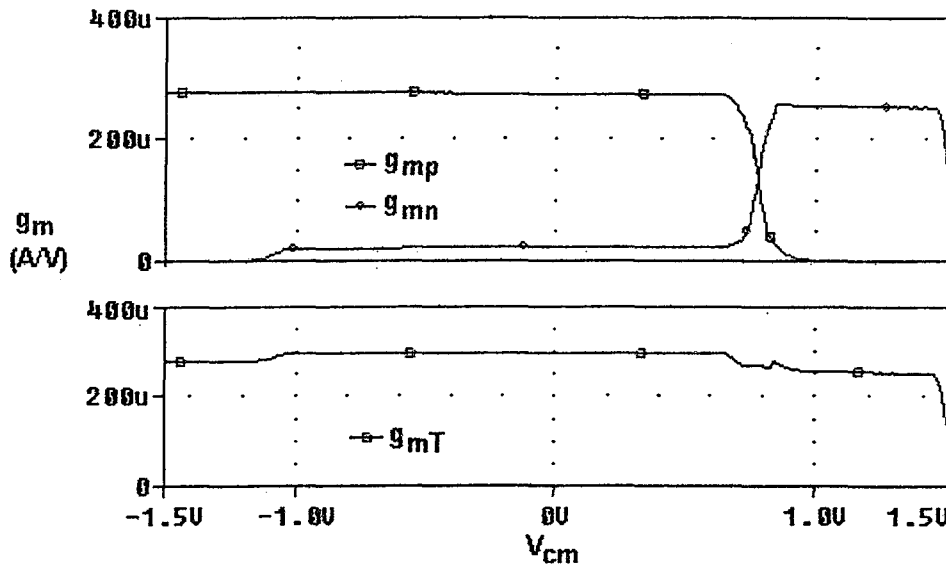
Dördüncü kısım, MB1-MB8'den oluşur. Buradaki amaç I_n 'nin maksimum değeri I_{nmax} ile I_p 'nin maksimum değeri I_{pmax} 'ı eşitlemektir. Böylece ortak işaret giriş gerilimi V_{cm} 'nin besleme gerilimlerine yakın olduğunda, yani yalnızca bir fark çiftin devrede olduğu durumda oluşan geçiş iletkenliklerinin, birbirine eşit olması sağlanır. Burada I_{nmax} referans alınarak I_{pmax} ayarlanmaktadır. Devre $5/4I_{nmax}$ ile beslenmektedir. $a=1:4$ oranında iki adet akım aynası mevcuttur. Devrenin ana parçası, Şekil 2.9'da kullanılan geçiş iletkenliği sabitleme devresinin yapısı ile aynı MB1-MB4'den oluşmaktadır.

$$V_{SGB2} + V_{GSB1} = V_{SGB3} + V_{GSB4} \quad (2.10)$$

Tüm akımlar sabit olduğundan, transistorların zayıf evirtime girmesinden korkmamıza gerek yoktur. O zaman karesel kanun karakteristikleri ile aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$\sqrt{\frac{I_{pmax}}{K_n}} + \sqrt{\frac{aI_{nmax}}{K_p}} = \sqrt{\frac{I_{nmax}}{K_p}} + \sqrt{\frac{aI_{pmax}}{K_n}} \quad (2.11)$$

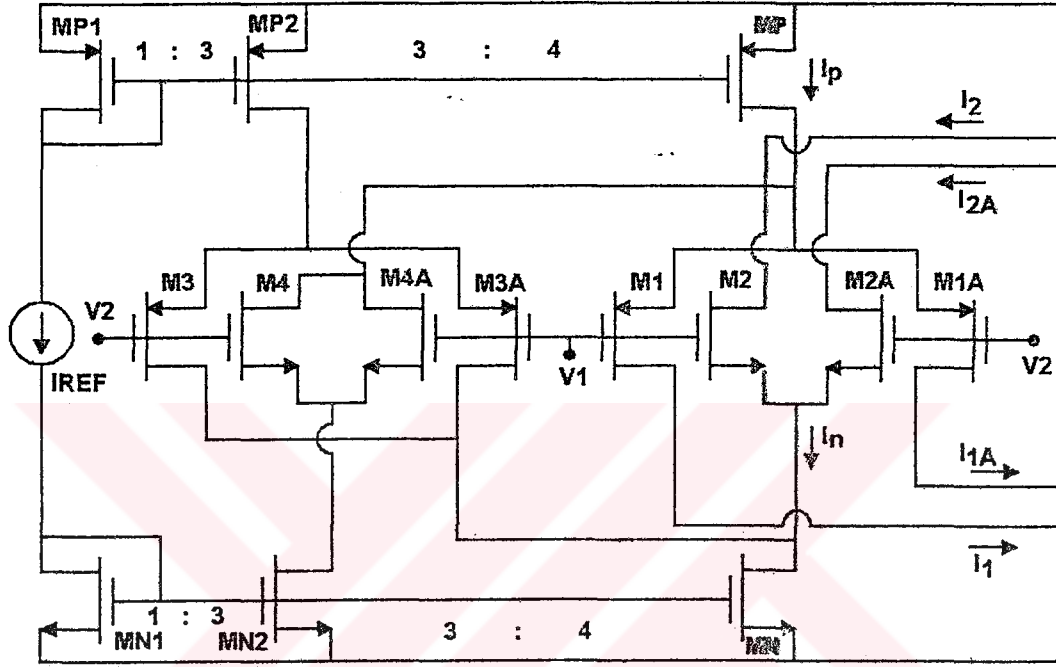
Yapılacak birkaç matematiksel işlem ile $I_{nmax}=I_{pmax}$ olduğu görülür. Devrenin geçiş iletkenliği karakteristiği Şekil 2.11'de sunulmuştur. Geçiş iletkenliği değişimi %17.5'dir



Şekil 2.11 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 1 Geçiş İletkenliği Karakteristiği

2.2.2 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 2

Sabit geçiş iletkenlikli giriş katı elde etmek için kullanacağımız ikinci devre Şekil 2.12'de verilmiştir [5]. Bu devrede başlıca amaç, sadece bir fark çiftin devrede olduğu V_{cm} değerlerinde, tamamlayıcı çifti oluşturan fark çiftlerini $4I_{ref}$ ile, her iki fark çiftinin devrede olduğu V_{cm} değerlerinde ise bu çiftleri I_{ref} ile kutuplamaktır.



Şekil 2.12 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 2

Şekil 2.12'de görülen devrede sabit geçiş iletkenliği, M4 ve M4A'dan oluşan bir NMOS çift ile M3 ve M3A'dan oluşan bir PMOS çiftin paralel bağlanması ile elde edilmiştir. Devrenin nasıl çalıştığını daha iyi anlamak için ortak işaret giriş aralığını üç bölgede inceleyebiliriz.

Birinci bölge, V_{cm} 'nin negatif beslemeye yakın olduğu değerlerdir. Burada yalnızca PMOS fark çiftleri devrededir. M1 ve M1A'dan akan akım MP tarafından sağlanmaktadır. M3 ve M3A'dan akan akım ise MN'ye akıtılmaktadır. M2 ve M2A kesimde olduğunda MN'den hiçbir akım akmayacaktır. Sadece PMOS fark çifti devrede olduğundan toplam geçiş iletkenliği g_{mT} şu şekilde yazılabilir.

$$g_{mT} = g_{mp} = \sqrt{2K_p I_p} = 2\sqrt{2K_p I_{ref}} \quad (2.12)$$

Burada $K_p = 1/2\mu_p C_{ox}(W/L)_p$ ve $I_p = 4I_{ref}$ tir.

İkinci bölge, V_{cm} 'nin pozitif beslemeye yakın olduğu değerlerdir. Burada ise yalnızca NMOS fark çiftleri devrededir. M2 ve M2A'dan akan akım MN tarafından sağlanmaktadır. M4 ve M4A'dan akan akım ise MP'den akıtılmaktadır. M1 ve M1A kesimde olduğunda MP'den hiçbir akım akmayacaktır. Sadece NMOS fark çifti devrede olduğundan toplam geçiş iletkenliği g_{mT} şu şekilde yazılabilir.

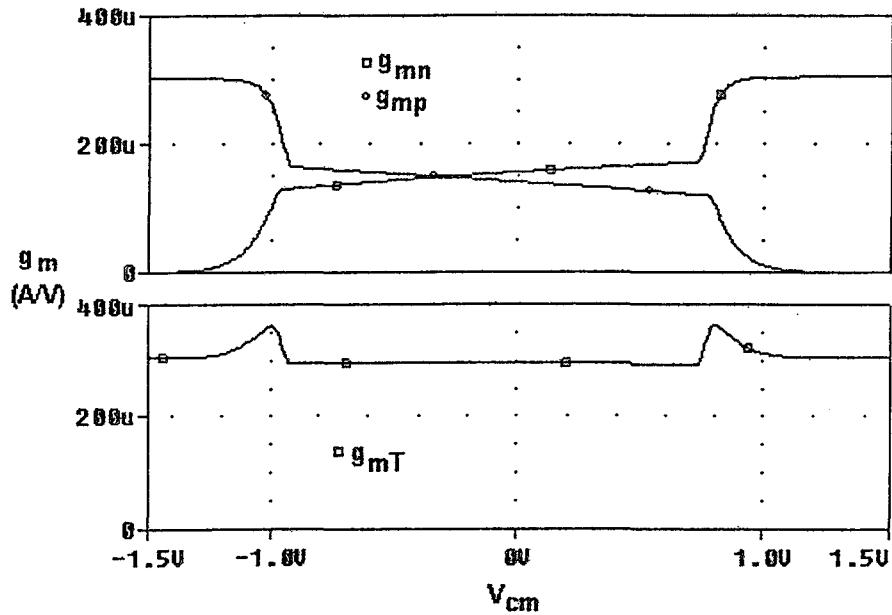
$$g_{mT} = g_{mn} = \sqrt{2K_n I_n} = 2\sqrt{2K_n I_{ref}} \quad (2.13)$$

Burada $K_n = 1/2\mu_n C_{ox}(W/L)_n$ ve $I_n = 4I_{ref}$ tir.

Üçüncü bölge ise orta bölgedir. Bu bölgede hem PMOS hem NMOS fark çiftleri devrededir. Bu bölgede tamamlayıcı fark çiftlerini besleyen MP ve MN'nin akımları ikinci PMOS ve NMOS çiftleri tarafından $3I_{ref}$ azaltılmaktadır. Böylece tamamlayıcı fark çiftleri I_{ref} ile beslenmektedir. Toplam geçiş iletkenliği g_{mT} 'yi aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$g_{mT} = g_{mp} + g_{mn} = \sqrt{2K_p I_p} + \sqrt{2K_n I_n} = 2\sqrt{2K I_{ref}} \quad (2.14)$$

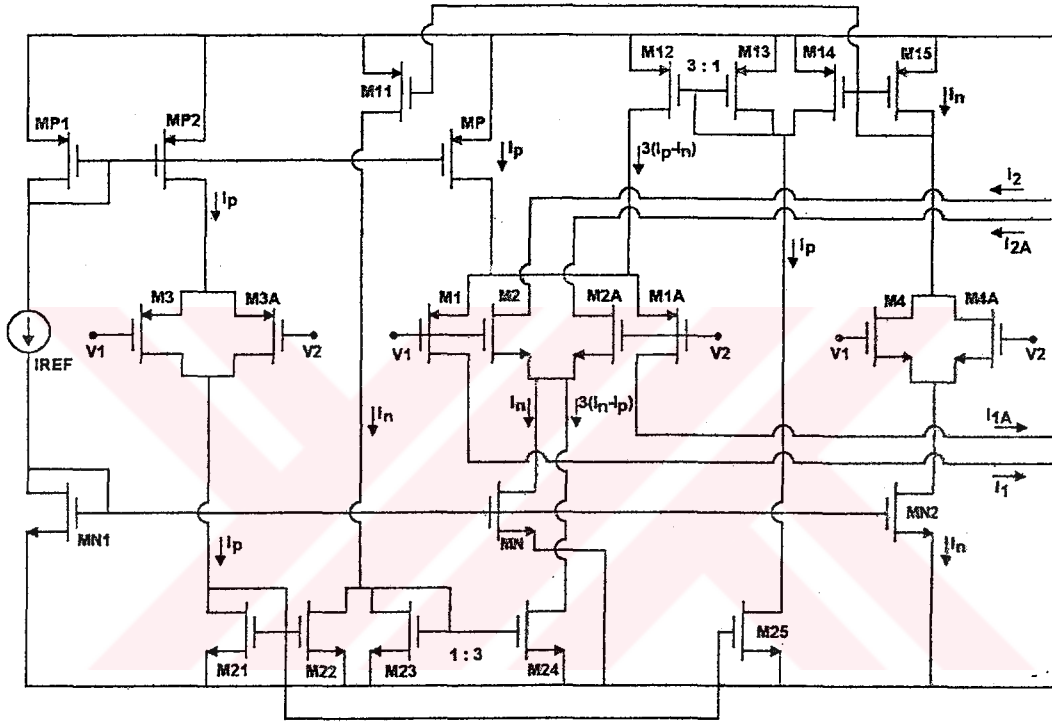
Bu bölgede $K = K_n = K_p$ ve $I_p = I_n = I_{ref}$ 'tir. Devrenin geçiş iletkenliği karakteristiği Şekil 2.13'de sunulmuştur. Geçiş iletkenliği değişimi %22.3'dür.



Şekil 2.13 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 2 Geçiş İletkenliği Karakteristiği

2.2.3 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 3

Sabit geçiş iletkenlikli giriş katı elde etmek için kullanacağımız üçüncü devre Şekil 2.14'de verilmiştir [6]. Bu devrede de başlıca amaç, sadece bir fark çiftin devrede olduğu V_{cm} değerlerinde, tamamlayıcı çifti oluşturan fark çiftlerini $4I_{ref}$ ile, her iki fark çiftinin devrede olduğu V_{cm} değerlerinde ise bu çiftleri I_{ref} ile kutuplamaktır. Ancak burada bir önceki devreden farklı olarak $3I_{ref}$ çıkarılmamakta, tersine eklenmektedir.



Şekil 2.14 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 3

Şekil 2.14'de görülen devrede sabit geçiş iletkenliği, M4 ve M4A'dan oluşan bir NMOS çifti ile M3 ve M3A'dan oluşan bir PMOS çifti içeren iki alt devre ile elde edilmektedir. Bu alt devreler, herhangi bir anda MP'den akan PMOS fark çifti kutuplama akımı I_p ve MN'den akan NMOS fark çifti kutuplama akımı I_n 'yi birbiri ile karşılaştırmakta ve farkın 3 katını sonuca göre PMOS veya NMOS fark çiftinin kutuplama akımına eklemektedir. Devrenin nasıl çalıştığını daha iyi anlamak için ortak işaret giriş aralığını üç bölgede inceleyebiliriz.

Birinci bölge, V_{cm} 'nin negatif beslemeye yakın olduğu değerlerdir. Burada yalnızca PMOS fark çiftleri devrededir. İkinci PMOS ve NMOS çiftlerinden akan akımlar M13 ve M14 tarafından karşılaştırılır ve farkın üç katı M12 tarafından M1 ve

M1A'nın kutuplanmasını sağlayan MP'nin akıttığı akıma eklenir. M3 ve M3A'dan akan akım I_p 'dir. M4 ve M4A kesimde olduğundan hiçbir akım akmaz ve I_n sıfırdır. Böylece PMOS fark çiftinin kutuplama akımı $4I_{ref}$ olur. Sadece PMOS fark çifti devrede olduğundan toplam geçiş iletkenliği şu şekilde yazılabilir.

$$g_{mT} = g_{mp} = \sqrt{2K_p(I_p + 3(I_p - I_n))} = 2\sqrt{2K_p I_{ref}} \quad (2.15)$$

Burada $I_p = I_{ref}$ 'tir.

İkinci bölge, V_{cm} 'nin pozitif beslemeye yakın olduğu değerlerdir. Burada yalnızca NMOS fark çiftleri devrededir. İkinci PMOS ve NMOS çiftlerinden akan akımlar M22 ve M23 tarafından karşılaştırılır ve farkın üç katı M24 tarafından M2 ve M2A'nın kutuplanmasını sağlayan MN'nin akıttığı akıma eklenir. M4 ve M4A'dan akan akım I_n 'dir. M3 ve M3A kesimde olduğundan hiçbir akım akmaz ve I_p sıfırdır. Böylece NMOS fark çiftinin kutuplama akımı $4I_{ref}$ olur. Sadece NMOS fark çifti devrede olduğundan toplam geçiş iletkenliği şu şekilde yazılabilir.

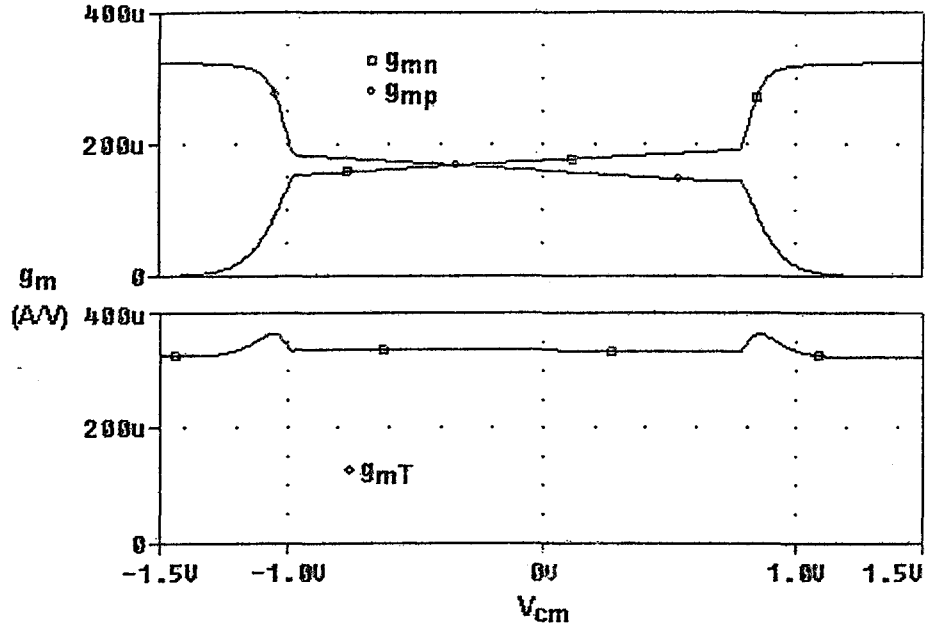
$$g_{mT} = g_{mn} = \sqrt{2K_n(I_n + 3(I_n - I_p))} = 2\sqrt{2K_n I_{ref}} \quad (2.16)$$

Burada $I_n = I_{ref}$ 'tir.

Üçüncü bölge ise orta bölgedir. Bu bölgede hem PMOS hem de NMOS fark çiftleri devrededir. Bu bölgede ikinci PMOS ve NMOS çiftlerinden akan akımlar I_p ve I_n birbirine eşittir ve farkları sıfırdır. Bu nedenle M12 ve M24 hiçbir akım akıtmaz ve böylece tamamlayıcı fark çiftlerini besleyen MP ve MN'nin akımları I_{ref} olarak kalır. Toplam geçiş iletkenliğini aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$g_{mT} = g_{mp} + g_{mn} = \sqrt{2K_p I_p} + \sqrt{2K_n I_n} = 2\sqrt{2K I_{ref}} \quad (2.17)$$

Burada $K_p = K_n = K$ ve $I_p = I_n = I_{ref}$ tir. Devrenin geçiş iletkenliği karakteristiği Şekil 2.15'de sunulmuştur. Geçiş iletkenliği değişimi %13'dür.

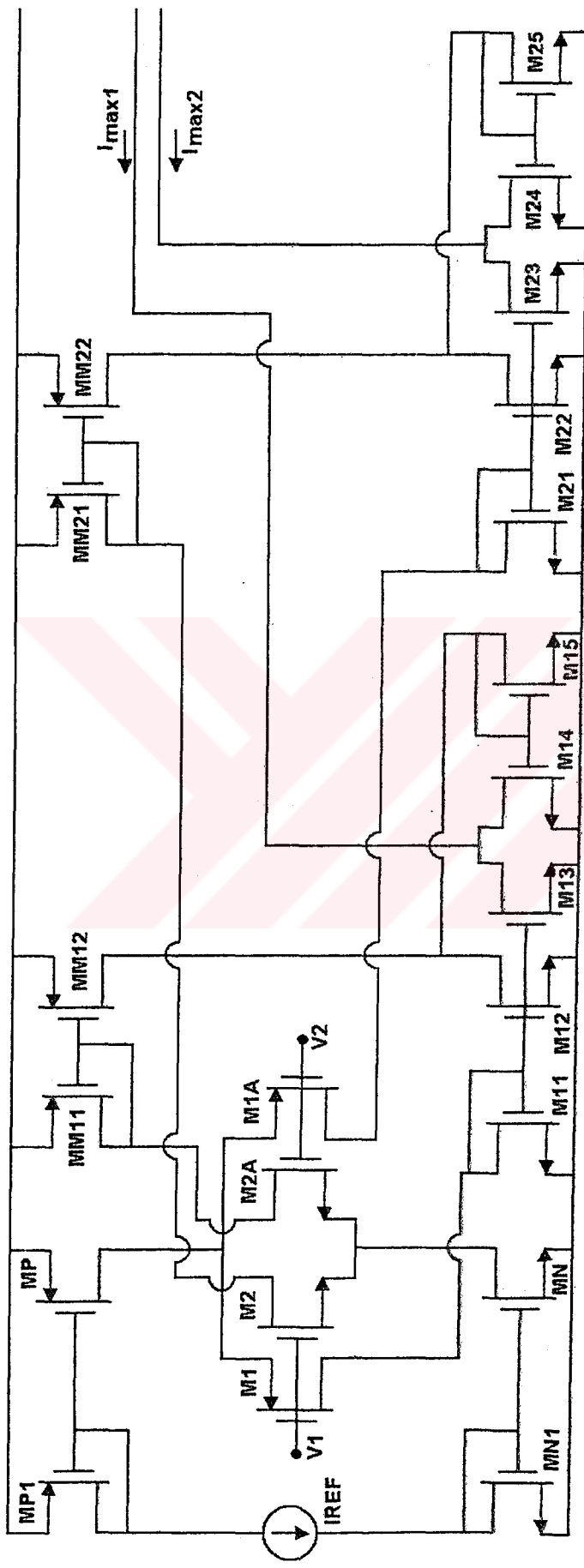


Şekil 2.15 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 3 Geçiş İletkenliği Karakteristiği

2.2.4 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 4

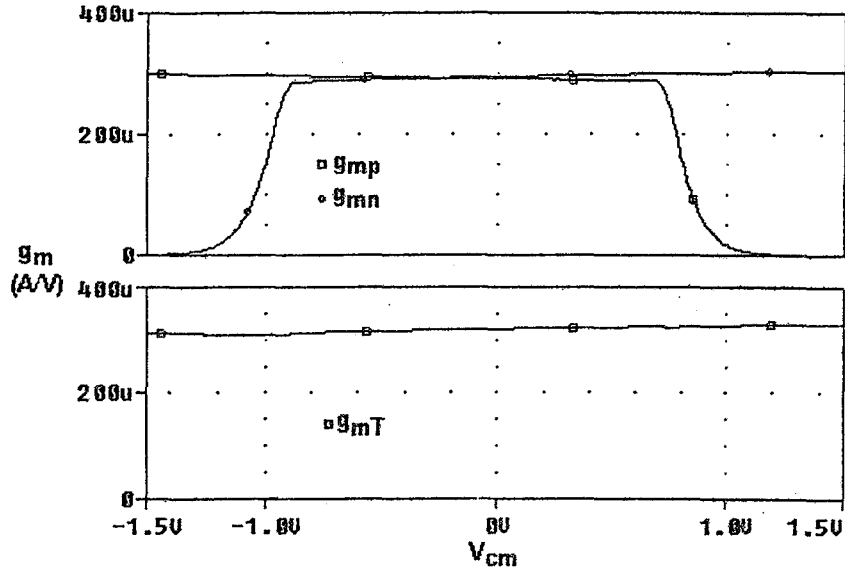
Sabit geçiş iletkenlikli giriş katı elde etmek için kullanacağımız dördüncü devre Şekil2.16'da verilmiştir [7]. Bu devrede başlıca amaç, ortak işaret giriş aralığı boyunca, tamamlayıcı fark çiftini oluşturan çiftelerden akımı maksimum olanını seçmektir.

Şekil 2.16'da görülen devrede sabit geçiş iletkenliği, M11-M15 ve M21-M25'den oluşan iki maksimum akım seçme devresi sayesinde gerçekleşir. Bu iki maksimum akım seçme devresi, tüm ortak işaret giriş aralığı boyunca M1 ile M2A'dan ve M1A ile M2'den akan akımları kıyaslar ve bunlardan maksimum olanını M13-M14 ve M23-M24 üzerinden çıkışa iletir. Böylece devre, tüm ortak işaret giriş aralığı boyunca sanki sadece akımı maksimum olan fark çifti devredeymiş ve diğeri ise kesimdeymiş gibi davranır. Bu sayede toplam geçiş iletkenliği o anki maksimum akımın oluşturduğu geçiş iletkenliğine eşit olur.



Şekil 2.16 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 4

Devrenin toplam geçiş iletkenliği karakteristiği Şekil 2.17’de verilmiştir. Geçiş iletkenliği değişimi %6.3’dür.



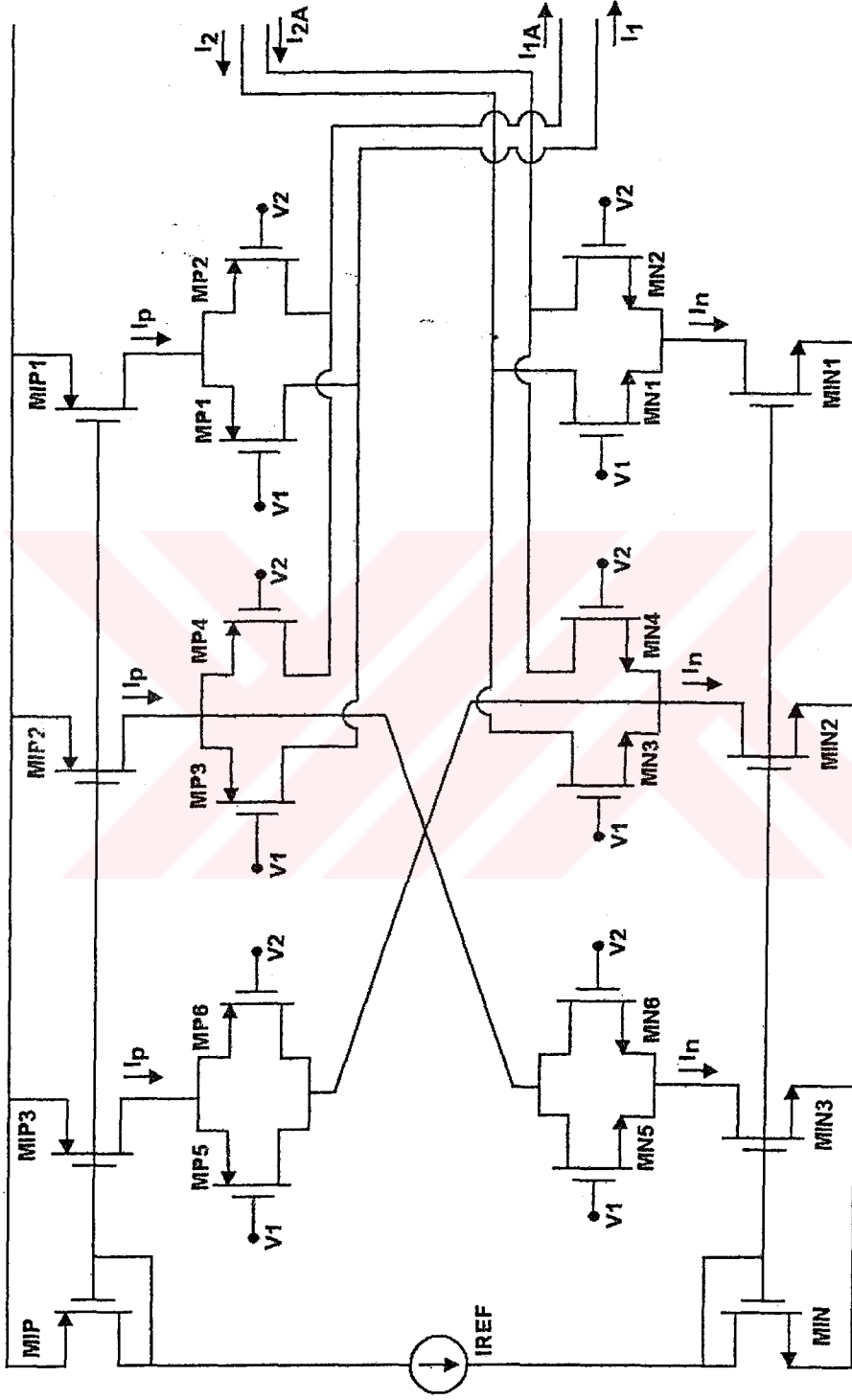
Şekil 2.17 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 4 Geçiş İletkenliği Karakteristiği

2.2.5 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 5

Sabit geçiş iletkenlikli giriş katı elde etmek için kullanacağımız beşinci devre Şekil2.18’de verilmiştir [8]. Bu devrede başlıca amaç, tek bir fark çiftinin devrede olduğu bölgelerde, ek bir fark çiftini devreye sokarak, toplam geçiş iletkenliğinin ortak işaret giriş aralığı boyunca orta bölgedeki geçiş iletkenliğine eşit olmasını sağlamaktır.

Şekil 2.18’de gösterilen devrede tüm PMOS fark çiftlerin W/L oranları eştir. Aynı şekilde tüm NMOS fark çiftlerinin de W/L oranları eştir.

Ortak işaret giriş aralığının orta bölgelerinde, NMOS fark çiftlerinden sadece MN1 ve MN2, PMOS fark çiftlerinden sadece MP1 ve MP2 toplam geçiş iletkenliğine katkıda bulunur. Bu bölgede tüm fark çiftleri devrede olduğundan MP2’den sağlanan akım doğruca MN5 ve MN6 üzerinden MN3’e akar ve böylece MP3 ve MP4’den akan akımlar sıfır olur. Aynı şekilde MN2’den sağlanan akım doğruca MP5 ve MP6 üzerinden MP3’e akar ve böylece MN3 ve MN4’den akan akımlar sıfır olur. Eğer $K_n=K_p=K$ seçilirse toplam geçiş iletkenliği g_{mT} şu şekilde yazılabilir.



Şekil 2.18 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 5

$$g_{mT} = g_{mp1,2} + g_{mn1,2} = \sqrt{2KI_p} + \sqrt{2KI_n} = 2\sqrt{2KI_{ref}} \quad (2.18)$$

Burada $I_p = I_n = I_{ref}$ 'tir.

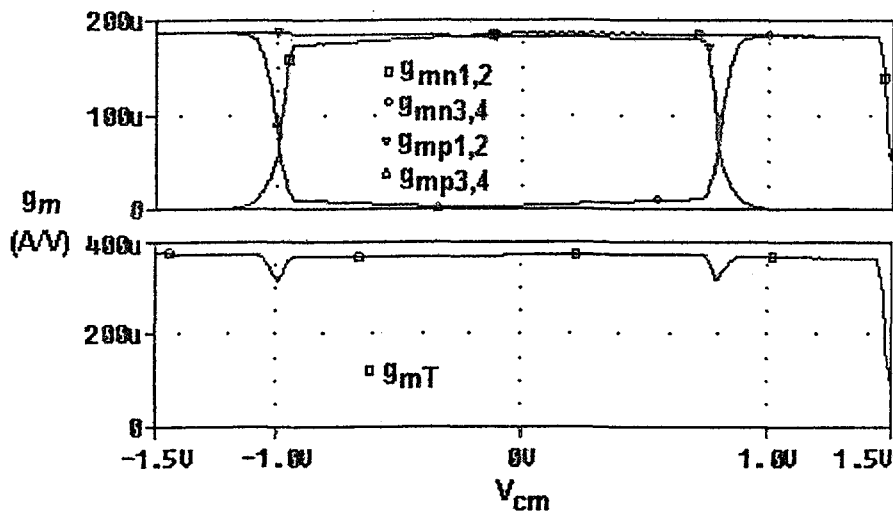
V_{cm} 'nin V_{DD} 'ye yakın değerlerinde, tüm PMOS fark çiftleri kesimdedir. MN2 tarafından sağlanan akımın akıp gideceği bir yol olmadığından, bu akım MN3 ve MN4'den akar. MN3 ve MN4, MN1 ve MN2 ile paralel çalıştığından beraber toplam geçiş iletkenliğine katkıda bulunurlar. Toplam geçiş iletkenliği g_{mT} aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$g_{mT} = g_{mn1,2} + g_{mn3,4} = \sqrt{2KI_n} + \sqrt{2KI_n} = 2\sqrt{2KI_{ref}} \quad (2.19)$$

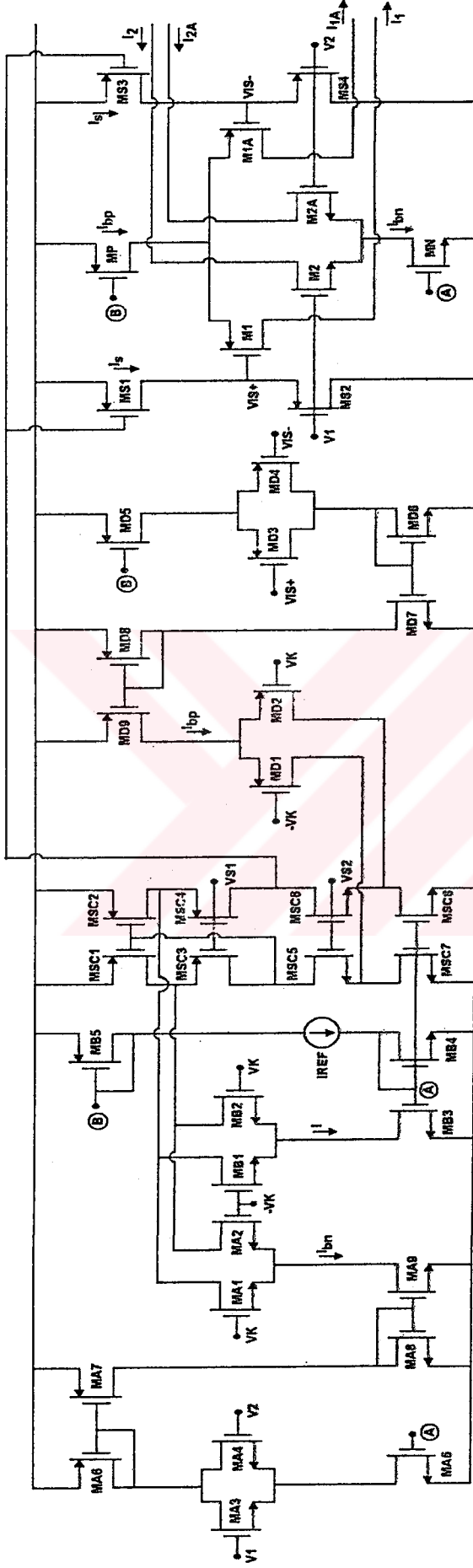
V_{cm} 'nin V_{SS} 'ye yakın değerlerinde ise, tüm NMOS fark çiftleri kesimdedir. MP2 tarafından sağlanan akımın akıp gideceği bir yol olmadığından, bu akım MP3 ve MP4'den akar. MP3 ve MP4, MP1 ve MP2 ile paralel çalıştığından beraber toplam geçiş iletkenliğine katkıda bulunurlar. Toplam geçiş iletkenliği g_{mT} aşağıdaki gibi yazılabilir

$$g_{mT} = g_{mp1,2} + g_{mp3,4} = \sqrt{2KI_p} + \sqrt{2KI_p} = 2\sqrt{2KI_{ref}} \quad (2.20)$$

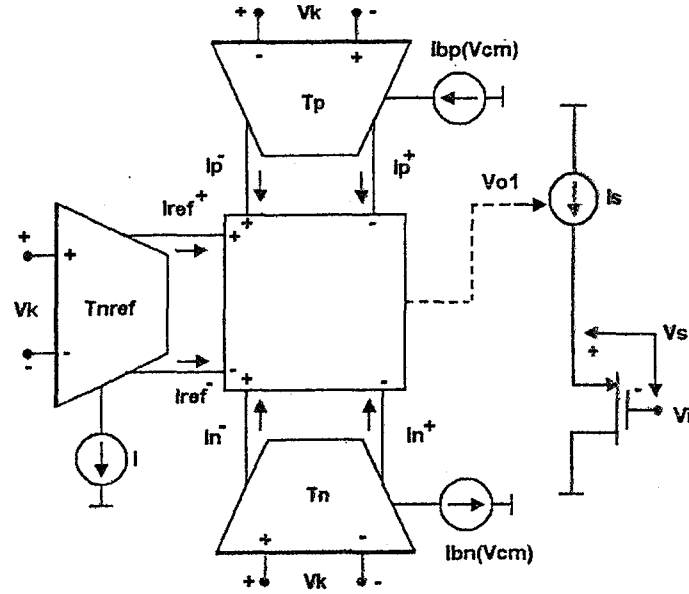
Böylece tüm ortak işaret giriş aralığı boyunca sabit bir geçiş iletkenliği elde edilmiş olur. Devrenin toplam geçiş iletkenliği karakteristiği Şekil 2.19'da verilmiştir. Geçiş iletkenliği değişimi %25'dir.



Şekil 2.19 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 5 Geçiş İletkenliği Karakteristiği



Şekil 2.20 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 6



Şekil 2.22 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 6 Blok Diyagramı

Bu diyagramdaki T_n ve T_{nref} tamamlayıcı fark çiftindeki NMOS fark çifti ile aynı özelliktedirler. Aynı şekilde T_p de PMOS fark çifti ile eşittir. Normalde her üç fark çifti de (T_n, T_{nref} ve T_p) aynı akım seviyesi ($I_{bn}=I_{bp}=I$) ile kutuplanmaktadır. Fakat I sabit bir kaynak iken I_{bn} ve I_{bp} tamamlayıcı fark çiftinde kullanılan çiftlerin kuyruk akımlarıyla eşittir ve değerleri kuvvetlendiricilerin girişlerine bağlanan ortak işaret gerilime bağlıdır. Böylece I_{bn} ve I_{bp} ayar devresinin girişini oluştururlar. Şekil 2.22'den de açıkça görüldüğü üzere, tüm fark çiftleri, işaretleri şekilde gösterilen V_k gerilimleri ile dengeden çıkarılmıştır. Bu V_k gerilimleri yeterince küçük seçilerek, fark çiftlerinin lineer bölgede çalışmaları sağlanmıştır. T_{nref} , T_n ve T_p 'nin çıkış akımları, Şekil 2.22'de kutu ile gösterilen bir akım toplama devresinde belirtilen işaretlerle toplanır. Akım toplama devresinin çıkış noktasındaki gerilim, I_s akımını oluşturarak V_s geriliminin elde edilmesini sağlar.

Bu diyagramda aşağıdaki eşitlik sürekli olarak garanti altına alınmıştır.

$$g_{mn.ref} = g_{mn} + g_{pn} \quad (2.21)$$

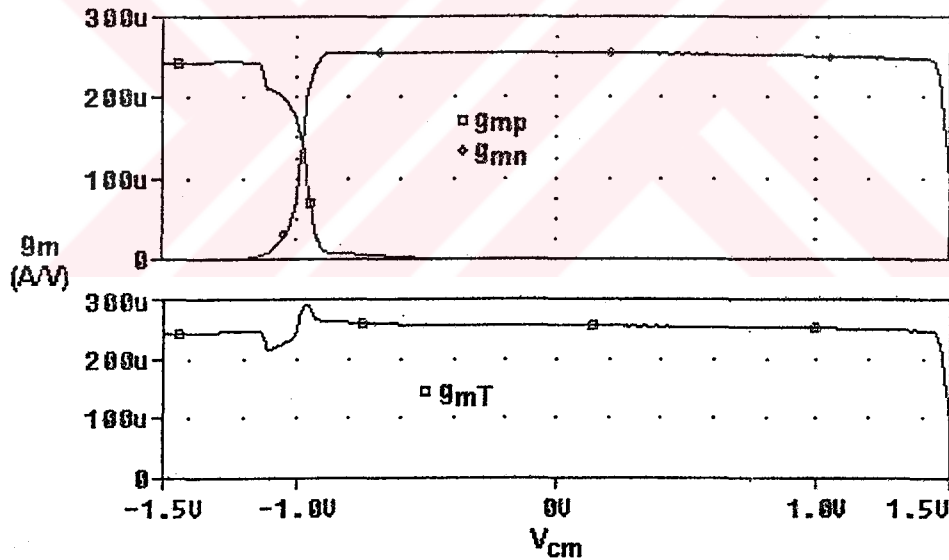
Burada g_{mref} , g_{mn} ve g_{mp} sırasıyla T_{nref} , T_n ve T_p 'nin geçiş iletkenlikleridir.

V_{cm} 'nin pozitif besleme gerilimine yakın değerlerinde, T_{nref} ve T_n düzgün olarak çalışacak ve g_{mref} , g_{mn} 'e eşit olacaktır. Bu durumda akım toplama devresinin çıkış noktasındaki gerilim, tamamlayıcı fark çiftindeki PMOS fark çiftinin kesimde

olmasını sağlayacak I_s 'yi ayarlayacaktır. NMOS fark çifti iletim bölgesine girdiğinde, I_{bn} akımı, dolayısıyla g_{mn} düşmeye başlayacaktır. O zaman denklem (2.21) gereğince akım toplama devresi, gerekli I_s için çıkış gerilimini ayarlayacaktır. Son olarak, V_{cm} negatif besleme değerlerine yaklaştıkça, NMOS fark çifti kesime gidecek ve akım toplama devresi bu sefer toplam geçiş iletkenliğini sabit tutmak için gerekli I_s 'yi oluşturacak çıkış gerilimini sağlayacaktır.

Şekil 2.20'deki devrede MA1, MA2 ve MA9 T_n 'i, MB1, MB2 ve MB3 T_{nref} 'i, MD1, MD2 ve MD9 T_p 'yi, MA3-MA8 T_n için gerekli I_{bn} akımını, MD3-MD8 T_p için gerekli I_{bp} akımını sağlayan monitör devrelerini oluşturur. MCS1-MCS8, I_s akımı için gerekli gerilimi sağlayan akım toplama devresini meydana getirir. MS1-MS4, tamamlayıcı çiftteki PMOS çiftin V_{cm} cevabının negatif V_{cm} değerlerine doğru kaymasını sağlayan V_s gerilimini oluşturan kısımdır.

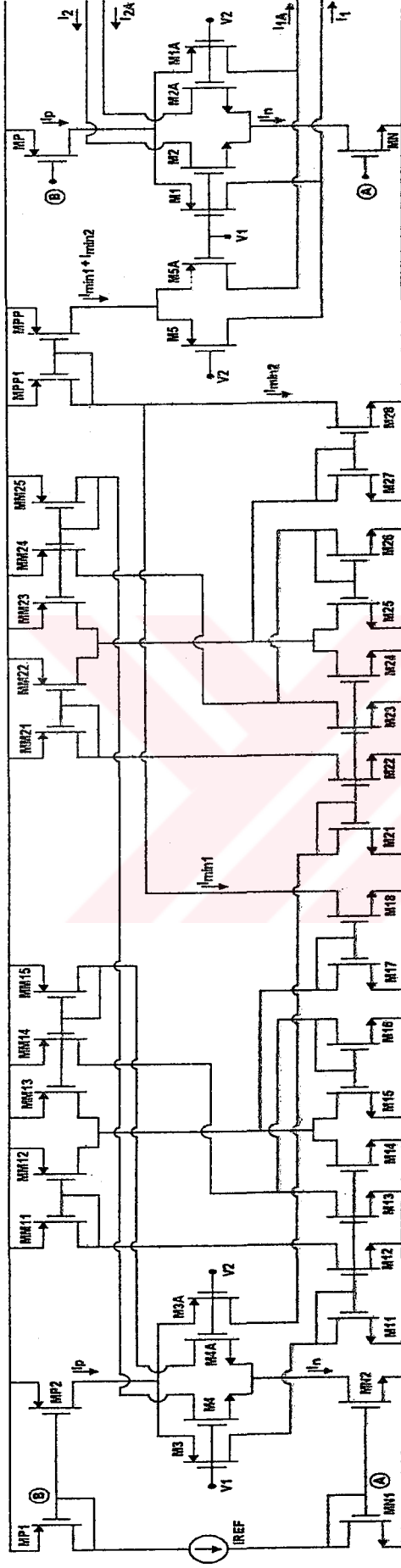
Devrenin toplam geçiş iletkenliği karakteristiği Şekil 2.23'de verilmiştir. Geçiş iletkenliği değişimi %29.6'dır.



Şekil 2.23 Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı 6 Geçiş İletkenliği Karakteristiği

2.2.7 Yeni Bir Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı

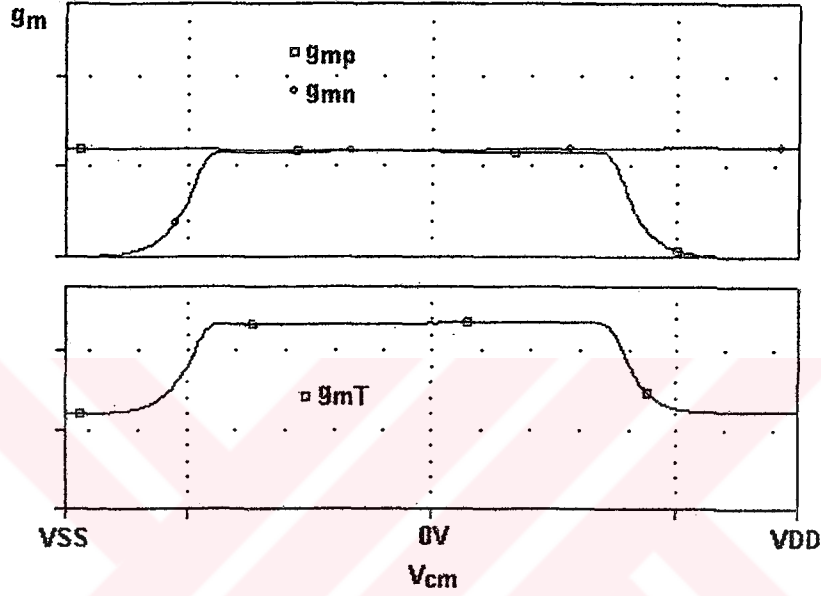
Buraya kadar literatüre sunulmuş altı adet sabit geçiş iletkenlikli giriş katını inceledik. Bu kısımda ise sunulmuş bu yöntemlerden farklı bir yöntemle elde edilmiş yeni bir sabit geçiş iletkenlikli giriş katını inceleyeceğiz.



Şekil 2.24 Yeni Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı

Yeni yöntemle elde edilmiş sabit geçiş iletkenlikli giriş katı Şekil 2.24’de sunulmuştur. Buradaki başlıca amaç, ortak işaret giriş aralığı boyunca tüm geçiş iletkenliği değerlerini, V_{cm} ’nin negatif veya pozitif besleme gerilimi değerlerine yakın olduğu kenar bölgelerdeki geçiş iletkenliği değerlerine eşitlemektir.

Şekil 2.24’deki devrenin çalışma prensibini açıklamak için, tamamlayıcı fark çiftli giriş katının Şekil 2.25’de gösterilen geçiş iletkenliği karakteristiğini inceleyelim.



Şekil 2.25 Tamamlayıcı Fark Çifti Geçiş İletkenliği Karakteristiği

Daha önceki giriş katlarında da gördüğümüz gibi tamamlayıcı fark çiftinin üç çalışma bölgesi vardır. Bu bölgelerde ya fark çiftlerinden biri yada her ikisi devrededir. Şekil 2.25’deki toplam geçiş iletkenliği karakteristiğini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

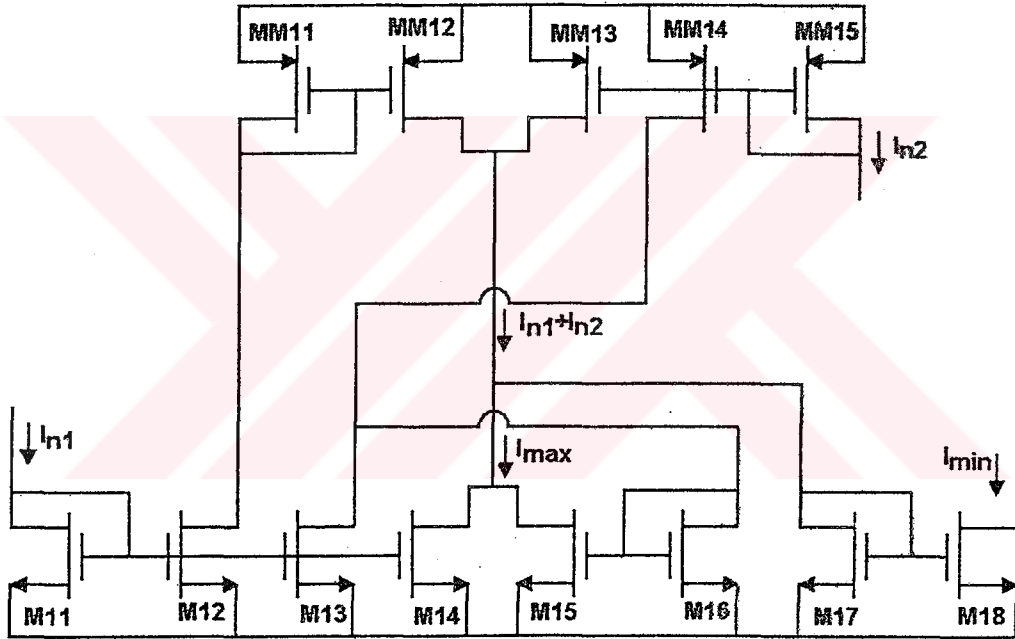
$$g_{mT} = g_{mp} + g_{mn} \quad (2.22)$$

Bizim bu giriş katındaki başlıca amacımız, toplam geçiş iletkenliğini, tüm ortak işaret giriş aralığı boyunca, tek bir fark çiftinin devrede olduğu bölgedeki geçiş iletkenliğine eşitlemektir. Şekil 2.25’de de görüldüğü gibi her iki fark çiftinin devrede olduğu bölgede, fark çiftlerinden birinin toplam geçiş iletkenliğine olan katkısı fazladır. Bunun fazlalığı yok etmek için, bu bölgede fark çiftlerinden birinin geçiş iletkenliğine eşit bir geçiş iletkenliğinin toplam geçiş iletkenliğinden çıkarılması gerekmektedir. Bunun için, ortak işaret giriş aralığının her hangi bir anında fark

çiftlerinden geçiş iletkenliği küçük olan seçilip, bu değere eşit geçiş iletkenliğinin toplam geçiş iletkenliğinden çıkarılması yolu seçilmiştir.

Şekil 2.24’de görülen yeni sabit geçiş iletkenlikli giriş katını dört kısma ayırabiliriz. Birinci kısım geçiş iletkenliği küçük olan fark çiftini bulmakta referans alacağımız, tamamlayıcı giriş fark çiftinin aynısı olan ikinci bir tamamlayıcı fark çiftidir. Bu kısımda, tamamlayıcı giriş fark çiftinin eşleniği kullanılarak, ikinci ve üçüncü kısımda kullanacak devrelerin giriş akımları oluşturulur.

İkinci ve üçüncü kısım yeni giriş katının en önemli kısımlarıdır. Bunlar, ortak işaret giriş aralığı boyunca her hangi bir anda, küçük geçiş iletkenliğine sahip fark çiftinin kutuplama akımını seçmemizi sağlayacak minimum akım seçme devreleridir.



Şekil 2.26 Minimum Akımı Seçme Devresi

Şekil 2.26’da bir minimum akım seçme devresi görülmektedir. Burada, PMOS fark çiftinden gelen akım M11, NMOS fark çiftinden gelen akım da MM15 üzerinden devreye girmektedir. Öncelikle M13-M16 vasıtasıyla akımlardan büyük olan belirlenmekte, bulunan akım MM12 ve MM13 ten akan toplam akımdan çıkarılmaktadır. Çıkan akım bizim istediğimiz minimum akımdır ve M17-M18 vasıtasıyla girişlerine tamamlayıcı fark çiftinden zıt girişler uygulanan, devrenin dördüncü kısmını oluşturan PMOS fark çiftinin kutuplama transistörü MPP’ye aktarılmaktadır. Bu PMOS fark çiftinin girişlerine zıt işaret uygulandığından,

buradan elde edilecek geçiş iletkenliği, toplam geçiş iletkenliğinden çıkarılacaktır. Böylece, amacımız olan sabit geçiş iletkenliği, tüm ortak işaret giriş aralığı boyunca elde edilmiş olacaktır. Yeni giriş katının toplam geçiş iletkenliğini şu şekilde yazabilir.

$$g_{mT} = g_{mp} + g_{mn} - g_{m,\min} \quad (2.23)$$

Ortak işaret giriş geriliminin negatif beslemeye yakın olduğu bölgelerde, yalnızca PMOS fark çifti devrededir. NMOS fark çifti kesimde olduğu için minimum akım sıfırdır ve dördüncü kısmı oluşturan PMOS fark çiftinin kutuplama akımı sıfır olur. Bu durumda, toplam geçiş iletkenliği,

$$g_{mT} = g_{mp} \quad (2.24)$$

olur.

Ortak işaret giriş gerilimi orta bölgeye doğru ilerledikçe, NMOS fark çifti devreye girer. Minimum akım seçme devreleri, NMOS fark çiftinin kutuplama akımını alarak dördüncü kısma yollarlar. Bu durumda, toplam geçiş iletkenliği,

$$g_{mT} = g_{mp} + g_{mn} - g_{mn} = g_{mp} \quad (2.25)$$

olur.

Ortak işaret giriş gerilimi aynı bölgede biraz daha ilerlediğinde, bu sefer PMOS fark çiftinin akımı minimum olur ve minimum seçme devreleri bu akımı dördüncü kısma iletir. Bu durumda, toplam geçiş iletkenliği,

$$g_{mT} = g_{mp} + g_{mn} - g_{mp} = g_{mn} \quad (2.26)$$

olur.

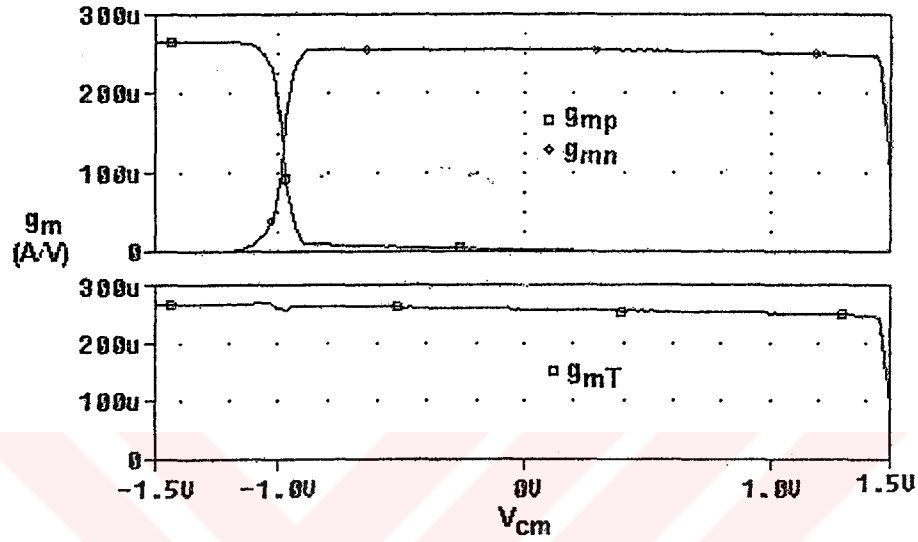
Ortak işaret giriş geriliminin pozitif beslemeye yakın olduğu bölgede ise yalnızca NMOS fark çifti devrededir ve minimum akım sıfırdır. Bu durumda, toplam geçiş iletkenliği,

$$g_{mT} = g_{mn} \quad (2.27)$$

olur.

Eğer tamamlayıcı fark çiftini oluşturan transistorların boyutları $g_{mp}=g_{mn}$ olacak şekilde seçilirse, tüm ortak işaret giriş aralığı boyunca sabit bir geçiş iletkenliği elde edilir.

Devrenin toplam geçiş iletkenliği karakteristiği Şekil 2.27’de verilmiştir. Geçiş iletkenliği değişimi %8.3’dür.



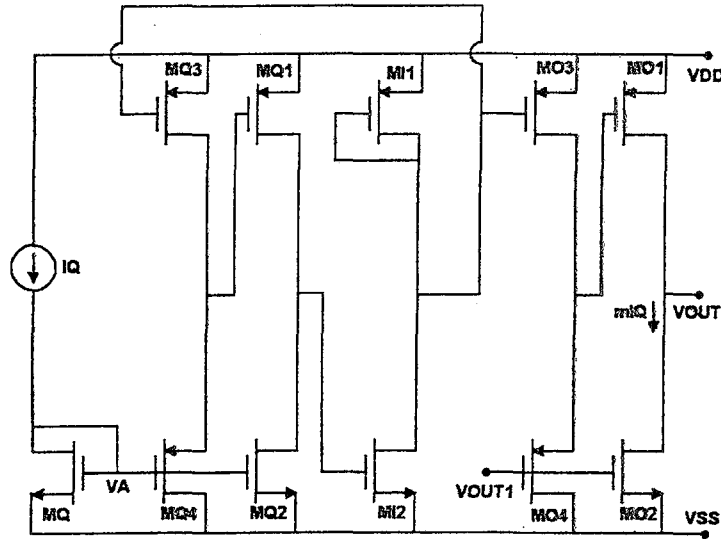
Şekil 2.27 Yeni Sabit Geçiş İletkenlikli Giriş Katı Geçiş İletkenliği Karakteristiği

3. BESLEMEDEN BESLEMeye İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİLER

Bu çalışmada başlıca amacımız, geçiş iletkenliği tüm ortak işaret giriş aralığı boyunca sabit olan yeni bir giriş katı elde etmektir. Elde ettiğimiz yeni sabit geçiş iletkenlikli beslemeden beslemeye giriş katının etkinliğini gözlemleyebilmek için bir işlemsel kuvvetlendiricide kullanacağız. Bu nedenle, bir beslemeden beslemeye işlemsel kuvvetlendirici için beslemeden beslemeye giriş katının yanı sıra bir de beslemeden beslemeye çıkış katının olması gerekmektedir. Bu bölümde, işlemsel kuvvetlendiricimizi tamamlayacak çıkış katı ve bir önceki bölümde ele aldığımız giriş katları ile elde edilen işlemsel kuvvetlendiricilerin performansları karşılaştırılacaktır.

3.1 Beslemeden Beslemeye Çıkış Katı

İşlemsel kuvvetlendiriciler için kullanacağımız beslemeden beslemeye çıkış katı Şekil 3.1’de gösterilmiştir [10]. İşlemsel kuvvetlendiricinin çıkışta beslemeden beslemeye çalışması için yüksek sürüşlü push-pull çıkış katı kullanılmıştır. Bu push-pull çıkış katı iki tamamlayıcı MOS transistorun ortak kaynak konfigürasyonu ile elde edilmiştir. DC güçten tasarruf için de AB sınıfı kutuplama ile beslenmiştir.



Şekil 3.1 Beslemeden Beslemeye AB Sınıfı Çıkış Katı

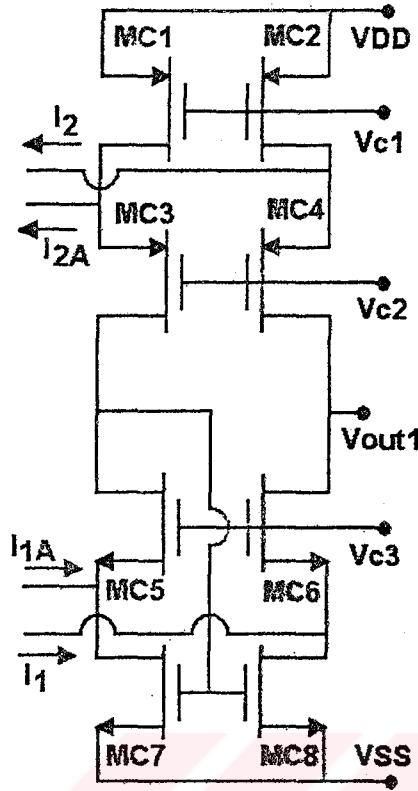
Şekil 3.1’de görülen MO2, V_{out1} ile doğrudan sürülmektedir. Buradaki V_{out1} , giriş katının geçiş iletkenliklerini topladığımız, birinci katın çıkışını oluşturan akım toplama devresinin çıkış gerilimidir. MO3 ve MO4’den oluşan kat, çıkış katındaki MO1’i sürmek için kullanılır. Sürücü katın kutuplama akımına bağlı olan kaydırma geriliminin miktarı, çıkış kolundan akan sükunet akımını belirler. Böylece, $I_{OB,Q}$, MO3’ten akan kutuplama akımının düzgün olarak ayarlanması ile belirlenebilir.

Bu amaç, MQ-MQ4, MI1 ve MI2’den oluşan devre ile sağlanır. MQ1-MQ4, çıkış katındaki MO1-MO4’ün sırasıyla eşleridir. Diyot bağlı MQ dan akan I_Q akımı, V_A gerilimini belirler. I_Q akımının bir eşi de MQ2’den akar. MQ1-MQ4, MI1 ve MI2 den oluşan statik geri besleme devresi, MQ1’den de I_Q akımının akması için, MQ3 ve MQ4’den oluşan sürücü kat için gerekli düzgün kaydırma gerilimi ΔV_S ’yi sağlayacak, V_Q gerilimini oluşturur. Oluşturulan bu V_Q gerilimi, aynı ΔV_S ’yi oluşturmak için, MO3-MO4, MQ3-MQ4 ün eşi olduğundan, MO3’ün girişine de uygulanır. İşlemsel kuvvetlendirici, kapalı çevrim konfigürasyonunda bağlandığında, kapalı çevrimi oluşturan geri besleme, çıkış katının düzgün olarak kutuplanması için, V_{out1} ’in sükunet değerini V_A değerine eşitler. Böylece, sükunette, mI_Q değerindeki $I_{OB,Q}$ akımın çıkış kolundan akması sağlanır. 1:m aynalama oranı için, MO1-MO4’ün boyutları, MQ1-MQ4’ün boyutlarının m katı olmalıdır. MI1 ve MI2 transistörleri, açıklanan geri besleme çevrimi için, işaret değişimini sağlamaktadır.

Sonuçta, AB sınıfı çıkış katı, V_{out1} geriliminin işaretine göre büyük miktarlardaki akımı, yüke aktarır veya yükten çeker.

3.2 Beslemeden Beslemeye İşlemsel Kuvvetlendiricilerin Performans Analizleri

Buraya kadar iki katlı bir işlemsel kuvvetlendiricinin giriş ve çıkış katını oluşturduk. Bunların yanı sıra, birinci katın çıkış katını oluşturacak bir devreye daha ihtiyacımız vardır. Kullanılan devre Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

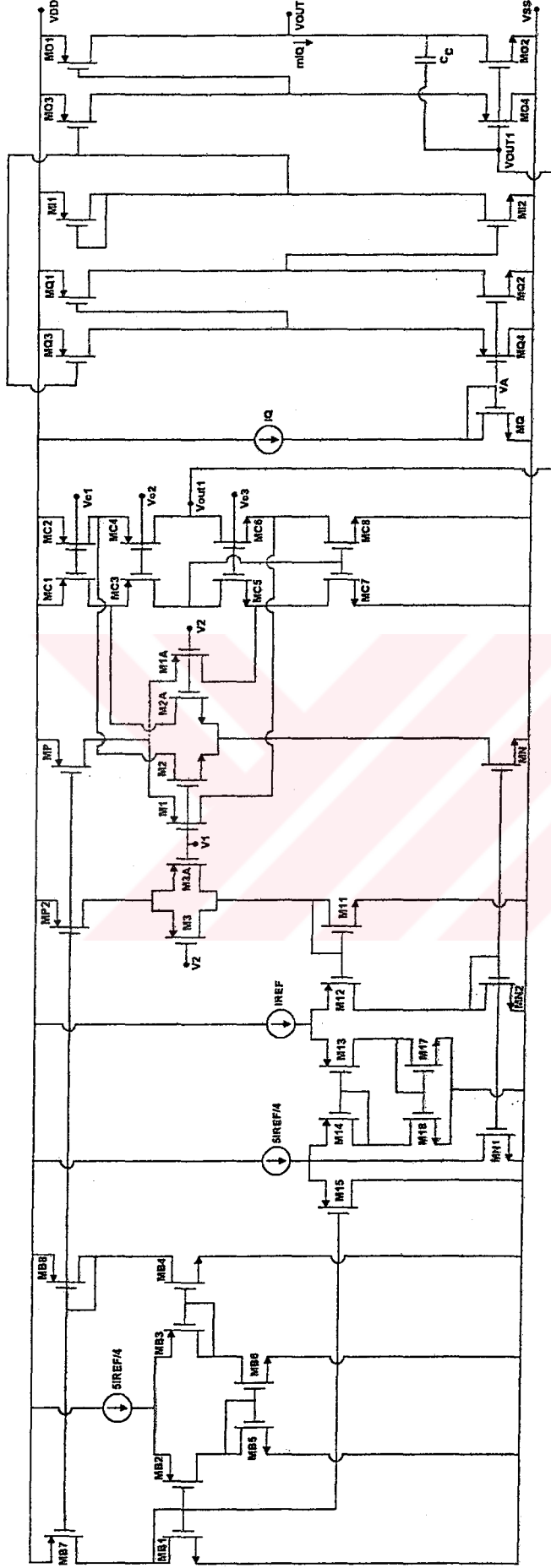


Şekil 3.2 Akım Toplama Devresi

Şekil 3.2’de gösterilen devre, akım toplama devresi olarak da adlandırılır. Bu devre, tamamlayıcı fark giriş katını oluşturan fark çiftlerinin akımlarını toplayarak, geçiş iletkenliklerinin toplanmasını sağlar. Ayrıca giriş katının aktif yükünü oluşturmaktadır. MC1-MC2’den akan akım, devrenin kutuplama akımıdır. MC3-MC6, kutuplama akımına eş akımı, MC7-MC8 ise kutuplama akımının iki katını akıtabilecek şekilde seçilmişlerdir. Aşağıda, sabit geçiş iletkenlikli giriş katına sahip, beslemeden beslemeye iki katlı işlemsel kuvvetlendiricilerin performans analizleri sunulmuştur. Analizlerde kullanılan 0.35 μm MOSIS Level 3 proses parametreleri EK-A’da ve simülasyon kodları EK-B’de verilmiştir.

3.2.1 İşlemsel Kuvvetlendirici 1

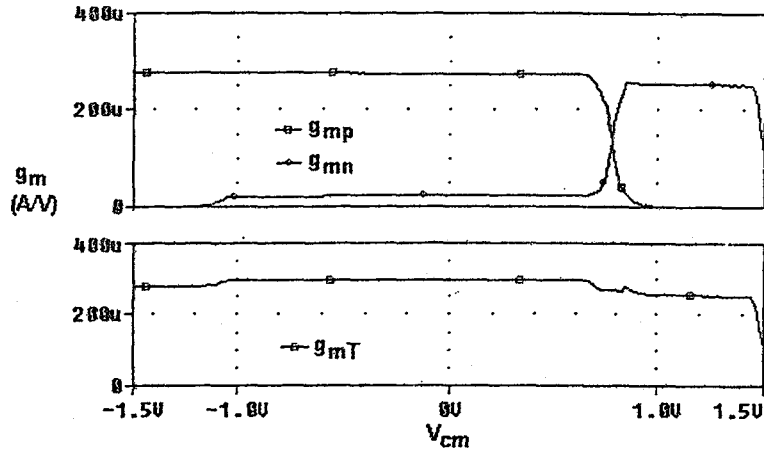
Sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 1 ile yapılan iki katlı işlemsel kuvvetlendirici Şekil3.3’de gösterilmiştir. Ölçümlerde, giriş katının kutuplama akımı $I_{\text{ref}}=20\mu\text{A}$, AB sınıfı çıkış katının sükunet akımı $I_{\text{OB,Q}}=50\mu\text{A}$ olarak alınmıştır. Çıkış ucuna $10\text{K}\Omega/5\text{pF}$ yük bağlanmıştır. Devre $\pm 1.5\text{V}$ ile beslenmiştir.



Şekil 3.3 İşlemsel Kuvvetlendirici I

3.2.1.1 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği

Şekil 3.4’de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 1 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin geçiş iletkenliği- V_{cm} karakteristiği gösterilmiştir.

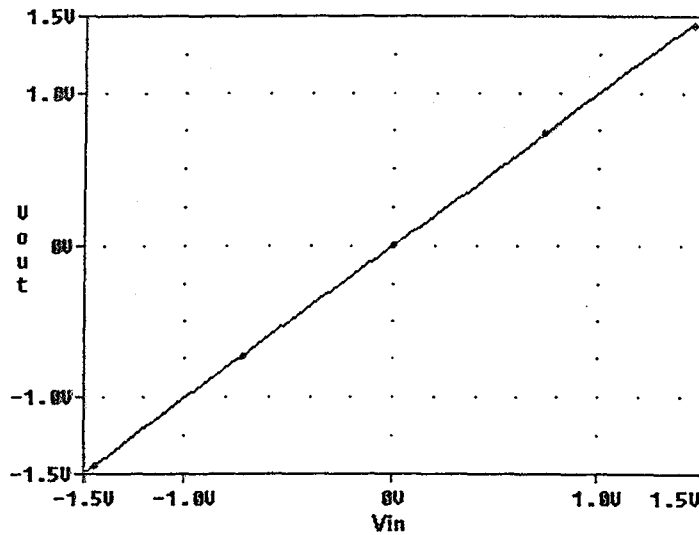


Şekil 3.4 İşlemsel Kuvvetlendirici 1 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği

Şekil 3.4’den de görüldüğü üzere geçiş iletkenliği karakteristiğinde büyük gelişme kaydedilmiştir. Ancak yine de geçiş iletkenliği karakteristiğinde büyük değişimler mevcuttur. Hesaplanan geçiş iletkenliği değişimi % 17.5 olarak bulunmuştur.

3.2.1.2 V_{in} - V_{out} Karakteristiği

Şekil 3.5’de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 1 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin V_{in} - V_{out} karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm, işlemsel kuvvetlendirici evirmeyen, birim kazanç konfigürasyonunda iken yapılmıştır.

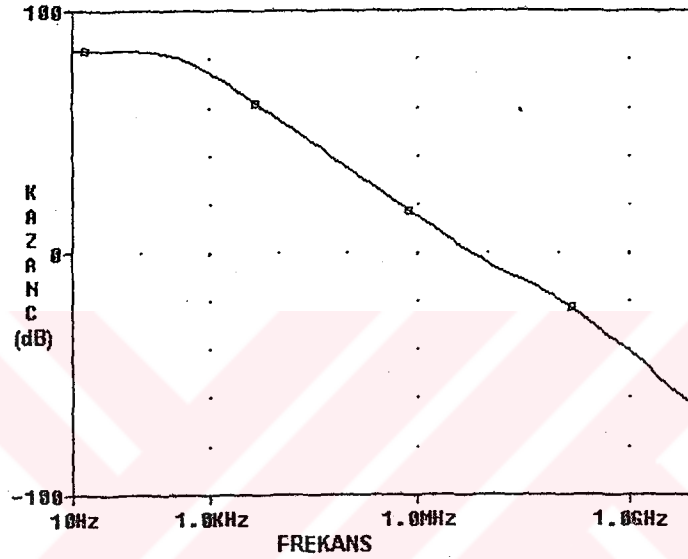


Şekil 3.5 İşlemsel Kuvvetlendirici 1 V_{in} - V_{out} Karakteristiği

Şekil 3.5'den de görüldüğü üzere çıkış gerilimi aralığı yaklaşık olarak beslemeden beslemeye uzanmaktadır. Ölçülen V_{out} , $-1.4777V$ ile $1.4395V$ arasında değişmektedir.

3.2.1.3 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.6'da sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 1 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin açık çevrim kazancı-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi 0V alınmıştır.



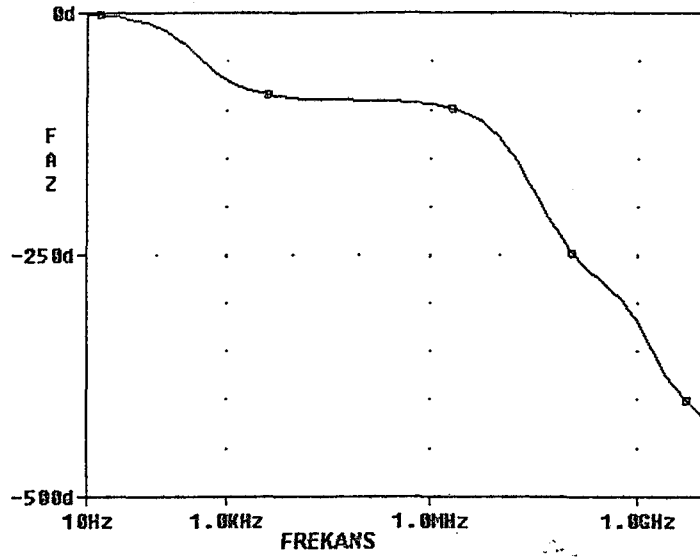
Şekil 3.6 İşlemsel Kuvvetlendirici 1 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği

İşlemsel kuvvetlendiricinin kazancı 83 dB olarak elde edilmiştir. Birim kazanç bant genişliği 5.75 MHz dir. f_{3dB} frekansı 377 Hz olarak ölçülmüştür.

3.2.1.4 Faz-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.7'de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 1 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin faz-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi 0V alınmıştır.

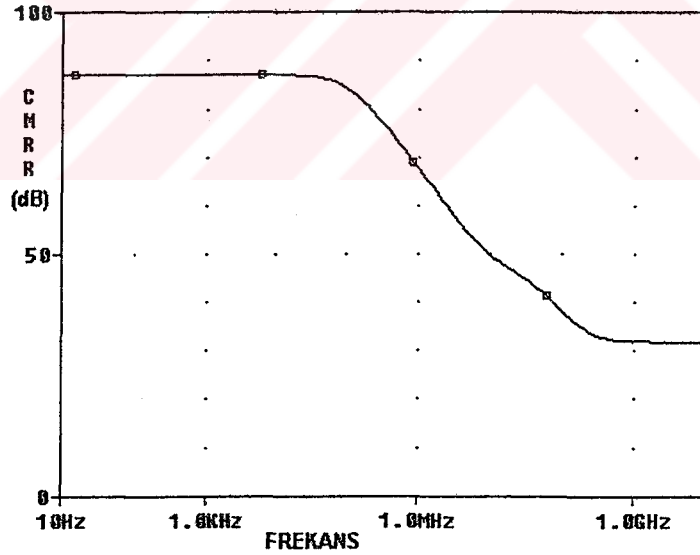
Şekil 3.7'de gösterilen faz-frekans karakteristiğinde, faz açısı -114.5° ve faz payı 65.5° olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.7 İşlemsel Kuvvetlendirici 1 Faz-Frekans Karakteristiği

3.2.1.5 CMRR karakteristiği

Şekil 3.8’de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 1 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin CMRR-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi 0V alınmıştır.

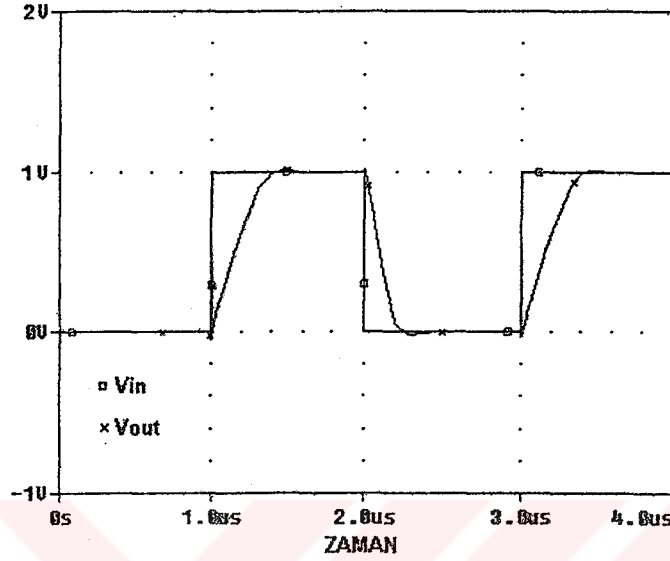


Şekil 3.8 İşlemsel Kuvvetlendirici 1 CMRR-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.8’de gösterilen CMRR-frekans karakteristiğinden, $CMRR_{max}=87dB$ ve $CMRR_{min}=32dB$ olarak ölçülmüştür.

3.2.1.6 Yükselme Eğimi Karakteristiği

Şekil 3.9’da sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 1 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin yükselme eğimi karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm, işlemsel kuvvetlendirici evirmeyen, birim kazanç konfigürasyonunda iken yapılmıştır.

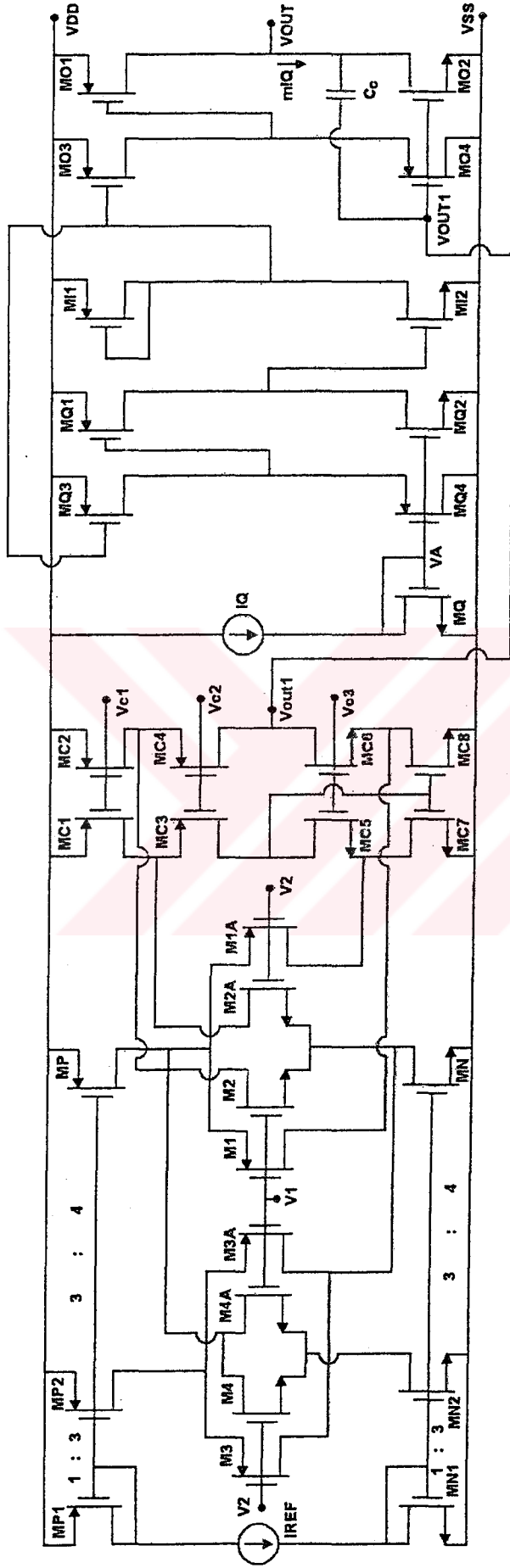


Şekil 3.9 İşlemsel Kuvvetlendirici 1 Yükselme Eğimi Karakteristiği

Şekil 3.9’da gösterilen yükselme eğimi karakteristiğinden, yükselme süresi $0.4\mu s$ ve düşme süresi $0.32\mu s$ olarak ölçülmüştür. Yükselme eğimi $SR^+=2.5V/\mu s$ ve $SR^-=3.125V/\mu s$ olarak bulunmuştur.

3.2.2 İşlemsel Kuvvetlendirici 2

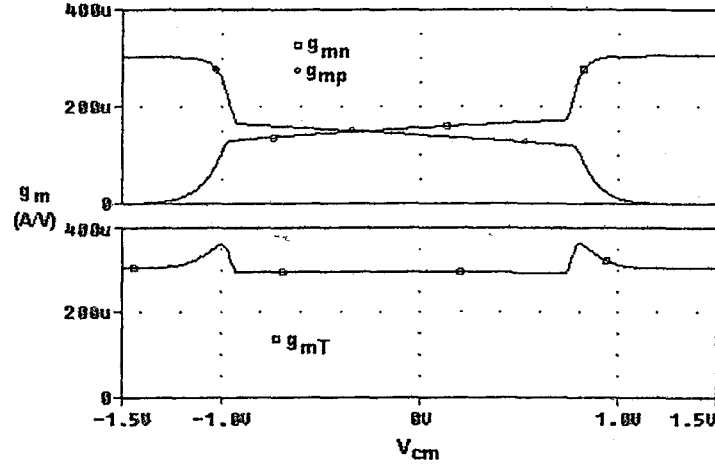
Sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 2 ile yapılan iki katlı işlemsel kuvvetlendirici Şekil3.10’da gösterilmiştir. Ölçümlerde, giriş katının kutuplama akımı $I_{ref}=5\mu A$, AB sınıfı çıkış katının sükunet akımı $I_{OB,Q}=50\mu A$ olarak alınmıştır. Çıkış ucuna $10K\Omega/5pF$ yük bağlanmıştır. Devre $\pm 1.5V$ ile beslenmiştir.



Şekil 3.10 İşlemsel Kuvvetlendirici

3.2.2.1 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği :

Şekil 3.11’de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 2 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin geçiş iletkenliği- V_{cm} karakteristiği gösterilmiştir.

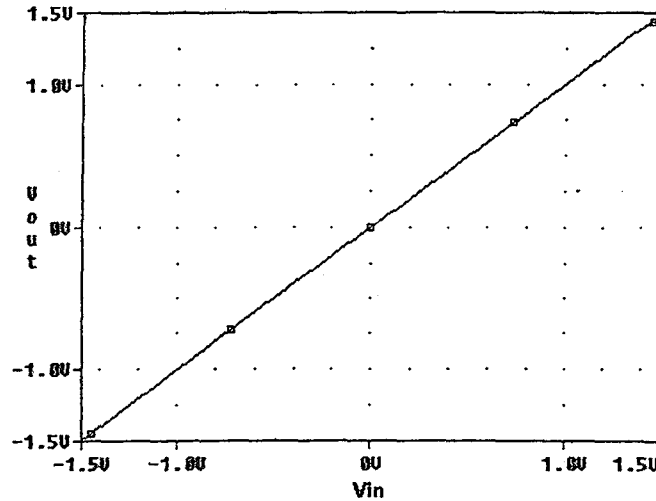


Şekil 3.11 İşlemsel Kuvvetlendirici 2 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği

Şekil 3.11’den de görüldüğü üzere geçiş iletkenliği karakteristiğinde büyük gelişme kaydedilmiştir. Ancak yine de geçiş iletkenliği karakteristiğinde büyük değişimler mevcuttur. Hesaplanan geçiş iletkenliği değişimi % 22.3 olarak bulunmuştur.

3.2.2.2 V_{in} - V_{out} karakteristiği

Şekil 3.12’de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 2 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin V_{in} - V_{out} karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm, işlemsel kuvvetlendirici evirmeyen, birim kazanç konfigürasyonunda iken yapılmıştır.

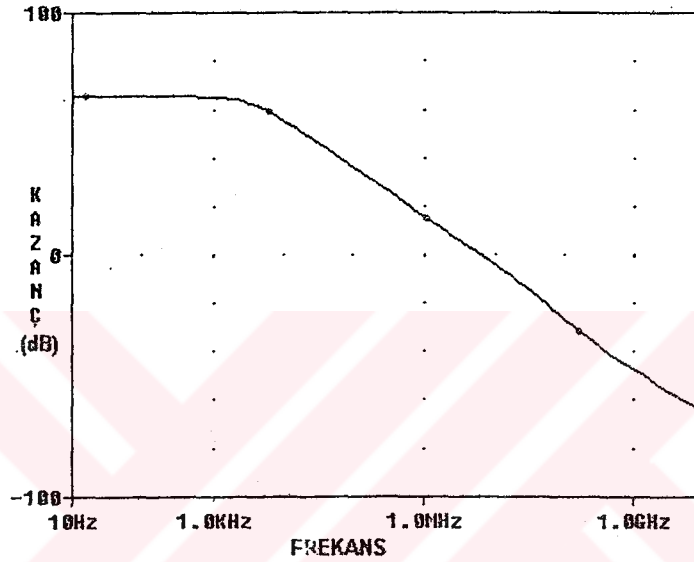


Şekil 3.12 İşlemsel Kuvvetlendirici 2 V_{in} - V_{out} Karakteristiği

Şekil 3.12'den de görüldüğü üzere çıkış gerilimi aralığı yaklaşık olarak beslemeden beslemeye uzanmaktadır. Ölçülen V_{out} , $-1.4834V$ ile $1.4378V$ arasında değişmektedir.

3.2.2.3 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.13'de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 2 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin açık çevrim kazancı-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi $0V$ alınmıştır.



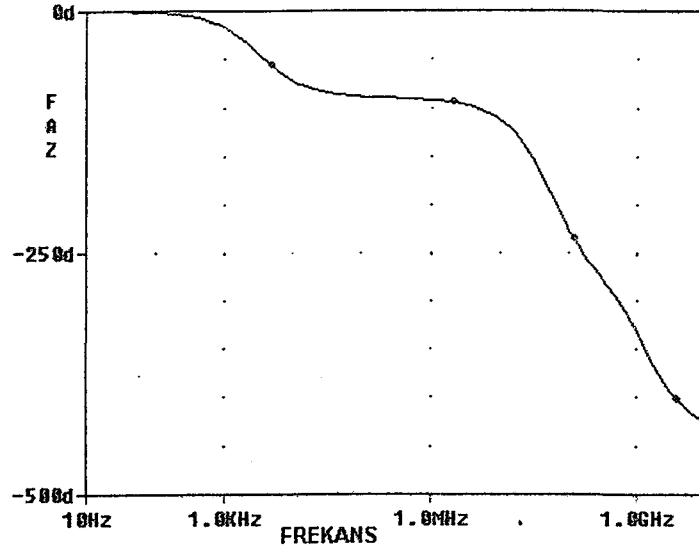
Şekil 3.13 İşlemsel Kuvvetlendirici 2 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği

İşlemsel kuvvetlendiricinin kazancı 65.5 dB olarak elde edilmiştir. Birim kazanç bant genişliği 6.13 MHz dir. f_{3dB} frekansı 3.24 KHz olarak ölçülmüştür.

3.2.2.4 Faz-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.14'de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 2 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin faz-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi $0V$ alınmıştır.

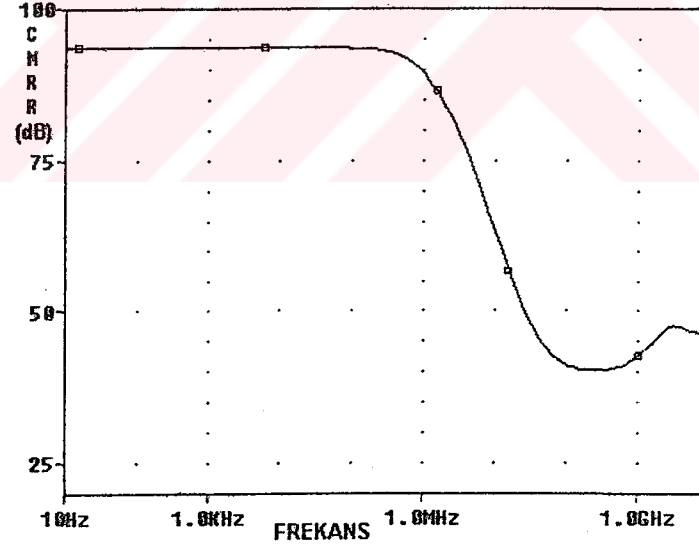
Şekil 3.14'de gösterilen faz-frekans karakteristiğinde faz açısı -104.5° ve faz payı 75.5° olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.14 İşlemsel Kuvvetlendirici 2 Faz-Frekans Karakteristiği

3.2.2.5 CMRR Karakteristiği

Şekil 3.15’de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 2 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin CMRR-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi 0V alınmıştır.

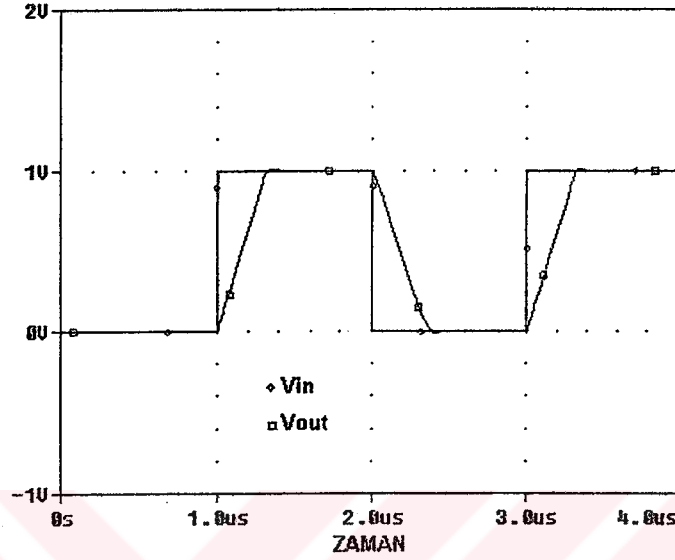


Şekil 3.15 İşlemsel Kuvvetlendirici 2 CMRR-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.15’de gösterilen CMRR-frekans karakteristiğinden, $CMRR_{max}=93.5dB$ ve $CMRR_{min}=40dB$ olarak ölçülmüştür.

3.2.2.6 Yükselme Eğimi Karakteristiği

Şekil 3.16'da sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 2 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin yükselme eğimi karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm, işlemsel kuvvetlendirici evirmeyen, birim kazanç konfigürasyonunda iken yapılmıştır.

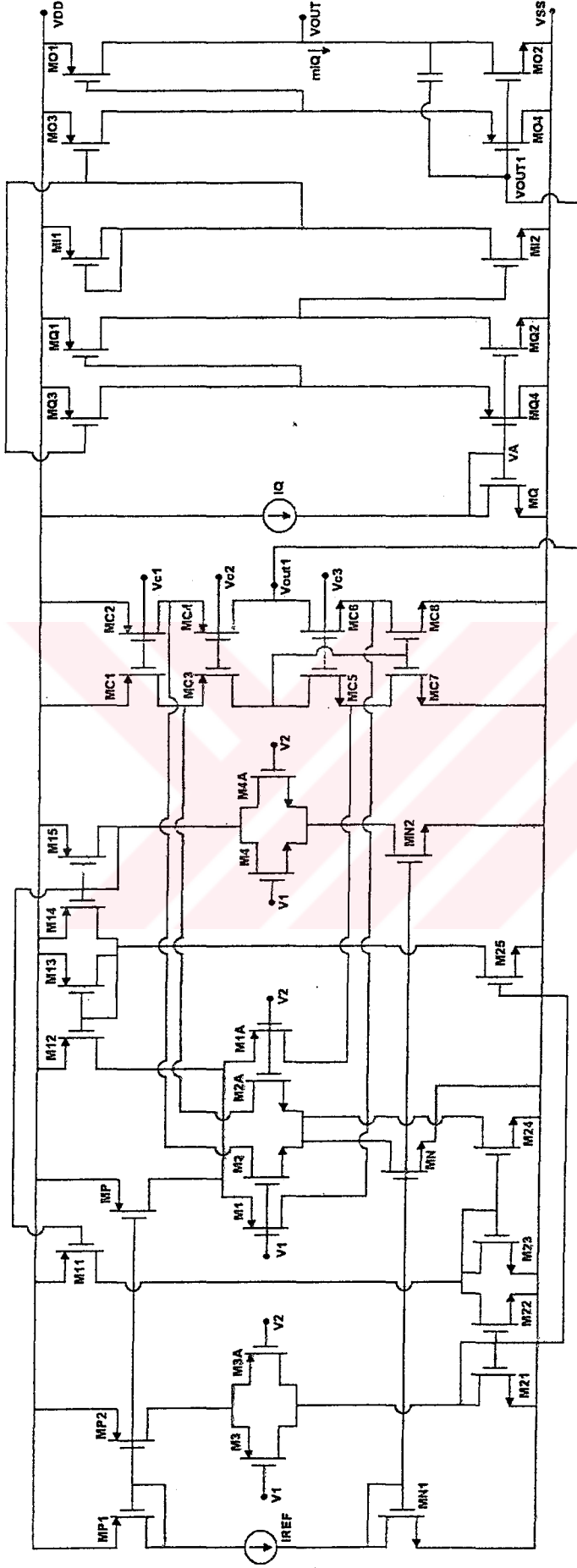


Şekil 3.16 İşlemsel Kuvvetlendirici 2 Yükselme Eğimi Karakteristiği

Şekil 3.16'da gösterilen yükselme eğimi karakteristiğinden, yükselme süresi $0.31\mu s$ ve düşme süresi $0.35\mu s$ olarak ölçülmüştür. Yükselme eğimi $SR^+=3.226V/\mu s$ ve $SR^-=2.857V/\mu s$ olarak bulunmuştur.

3.2.3 İşlemsel Kuvvetlendirici 3

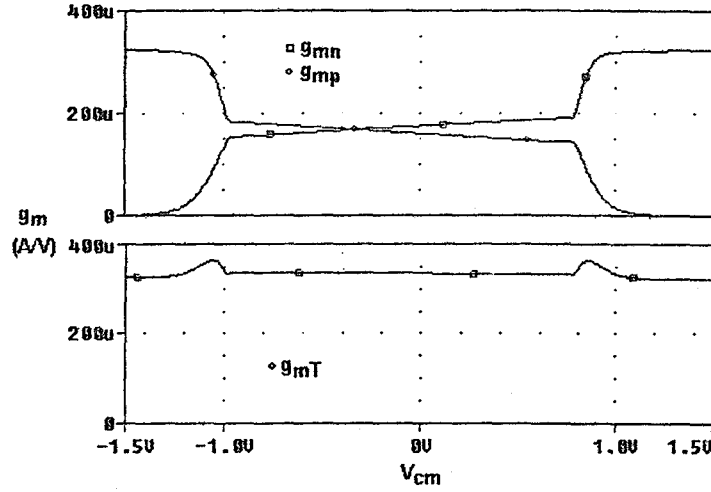
Sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 3 ile yapılan iki katlı işlemsel kuvvetlendirici Şekil3.17'de gösterilmiştir. Ölçümlerde, giriş katının kutuplama akımı $I_{ref}=5\mu A$, AB sınıfı çıkış katının sükunet akımı $I_{OB,Q}=50\mu A$ olarak alınmıştır. Çıkış ucuna $10K\Omega/5pF$ yük bağlanmıştır. Devre $\pm 1.5V$ ile beslenmiştir



Şekil 3.17 İşlemsel Kuvvetlendirici 3

3.2.3.1 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği

Şekil 3.18’de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 3 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin geçiş iletkenliği- V_{cm} karakteristiği gösterilmiştir.

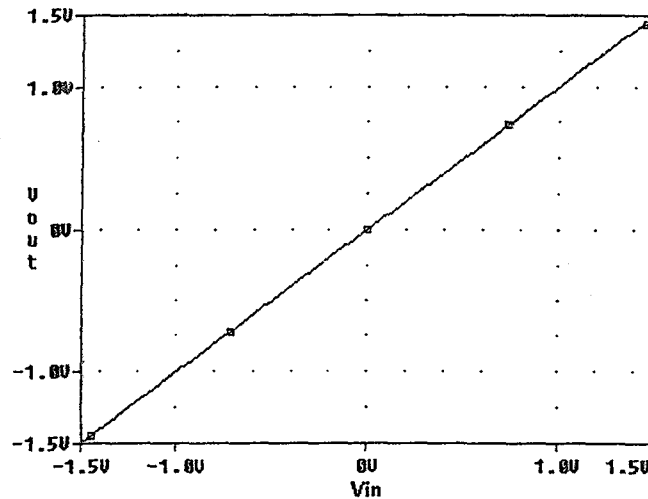


Şekil 3.18 İşlemsel Kuvvetlendirici 3 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği

Şekil 3.18’den de görüldüğü üzere geçiş iletkenliği karakteristiğinde büyük gelişme kaydedilmiştir. Ancak yine de geçiş iletkenliği karakteristiğinde büyük değişimler mevcuttur. Hesaplanan geçiş iletkenliği değişimi % 13 olarak bulunmuştur.

3.2.3.2 V_{in} - V_{out} Karakteristiği

Şekil 3.19’da sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 3 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin V_{in} - V_{out} karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm, işlemsel kuvvetlendirici evirmeyen, birim kazanç konfigürasyonunda iken yapılmıştır.

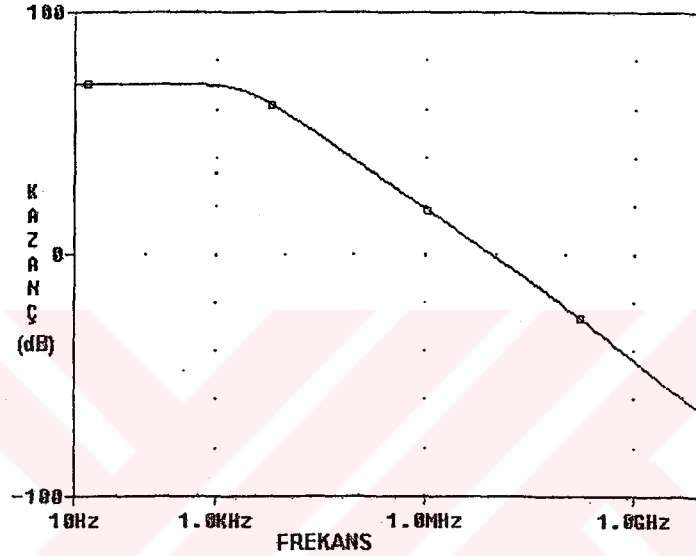


Şekil 3.19 İşlemsel Kuvvetlendirici 3 V_{in} - V_{out} Karakteristiği

Şekil 3.19'dan da görüldüğü üzere çıkış gerilimi aralığı yaklaşık olarak beslemeden beslemeye uzanmaktadır. Ölçülen V_{out} , $-1.4828V$ ile $1.4381V$ arasında değişmektedir.

3.2.3.3 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.20'de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 3 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin açık çevrim kazancı-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi $0V$ alınmıştır.



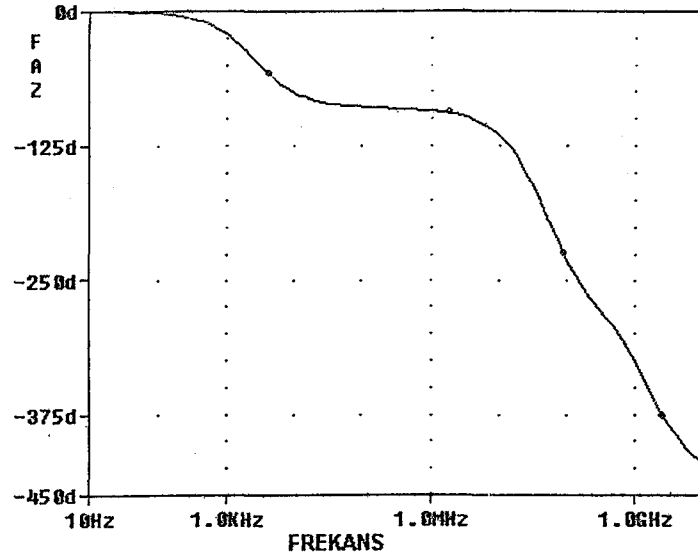
Şekil 3.20 İşlemsel Kuvvetlendirici 3 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği

İşlemsel kuvvetlendiricinin kazancı 70.5 dB olarak elde edilmiştir. Birim kazanç bant genişliği 8.5 MHz dir. f_{3dB} frekansı 2.57 KHz olarak ölçülmüştür.

3.2.3.4 Faz-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.21'de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 3 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin faz-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi $0V$ alınmıştır.

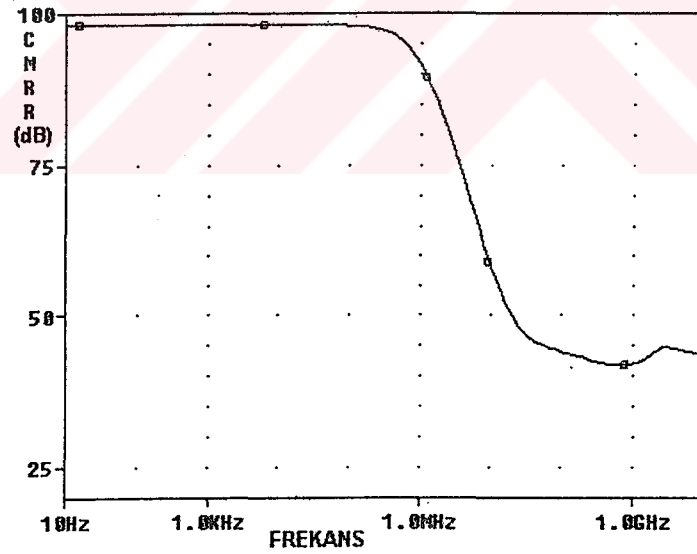
Şekil 3.21'de gösterilen faz-frekans karakteristiğinde faz açısı -113° ve faz payı 67° olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.21 İşlemsel Kuvvetlendirici 3 Faz-Frekans Karakteristiği

3.2.3.5 CMRR Karakteristiği

Şekil 3.22’de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 3 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin CMRR-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi 0V alınmıştır.

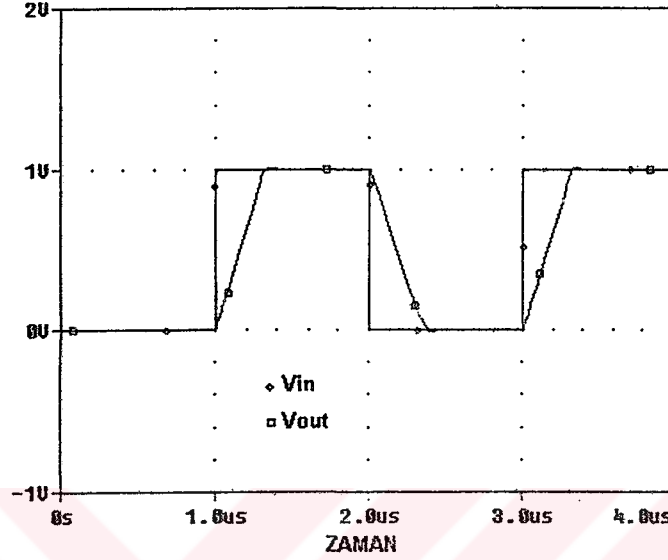


Şekil 3.22 İşlemsel Kuvvetlendirici 3 CMRR-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.22’de gösterilen CMRR-frekans karakteristiğinden, $CMRR_{max}=98dB$ ve $CMRR_{min}=42dB$ olarak ölçülmüştür.

3.2.3.6 Yükselme Eğimi Karakteristiği

Şekil 3.23’de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 3 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin yükselme eğimi karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm, işlemsel kuvvetlendirici evirmeyen, birim kazanç konfigürasyonunda iken yapılmıştır.

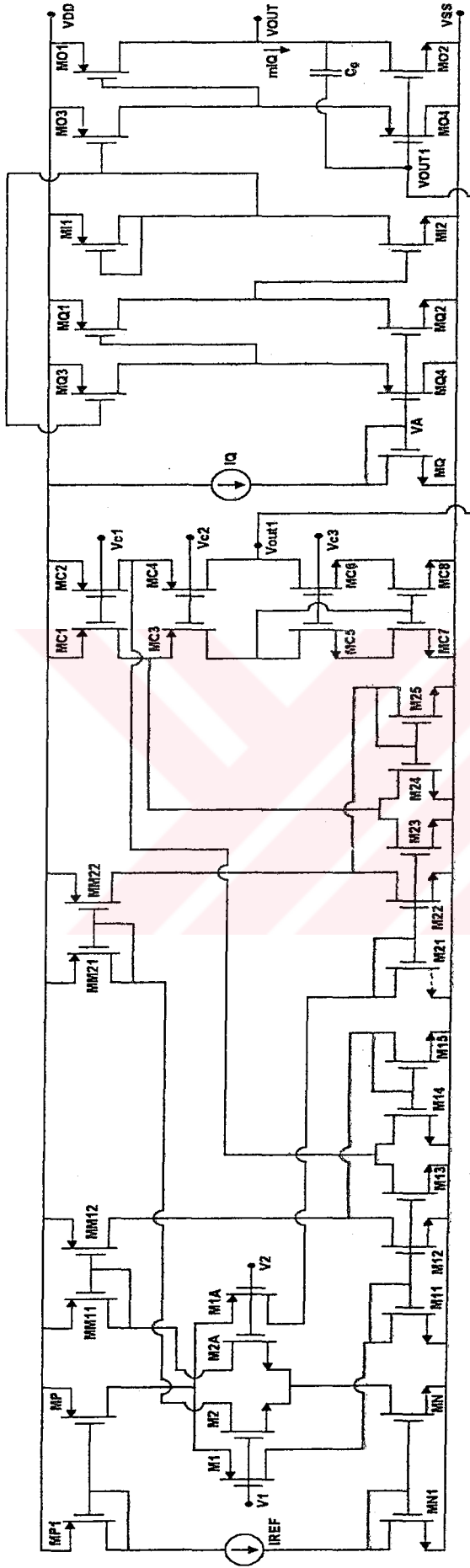


Şekil 3.23 İşlemsel Kuvvetlendirici 3 Yükselme Eğimi Karakteristiği

Şekil 3.23’de gösterilen yükselme eğimi karakteristiğinden, yükselme süresi $0.32\mu s$ ve düşme süresi $0.375\mu s$ olarak ölçülmüştür. Yükselme eğimi $SR^+=3.125V/\mu s$ ve $SR=2.67V/\mu s$ olarak bulunmuştur.

3.2.4 İşlemsel Kuvvetlendirici 4

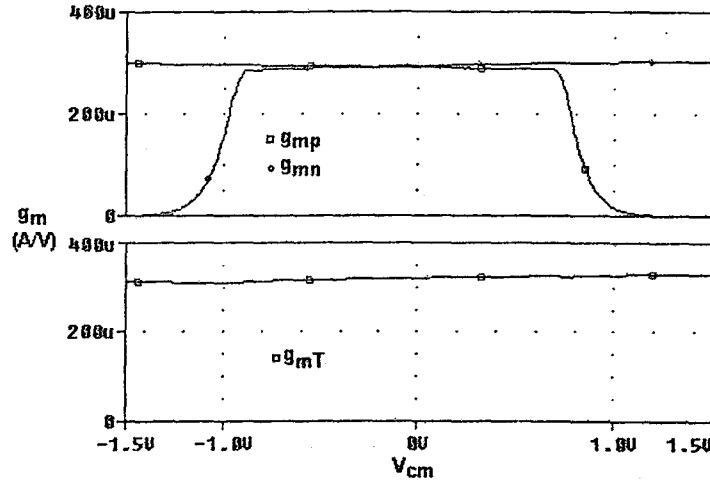
Sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 4 ile yapılan iki katlı işlemsel kuvvetlendirici Şekil3.24’de gösterilmiştir. Ölçümlerde, giriş katının kutuplama akımı $I_{ref}=20\mu A$, AB sınıfı çıkış katının sükunet akımı $I_{OB,Q}=50\mu A$ olarak alınmıştır. Çıkış ucuna $10K\Omega//5pF$ yük bağlanmıştır. Devre $\pm 1.5V$ ile beslenmiştir.



Şekil 3.24 İşlemsel Kuvvetlendirici 4

3.2.4.1 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği

Şekil 3.25’de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 4 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin geçiş iletkenliği- V_{cm} karakteristiği gösterilmiştir.

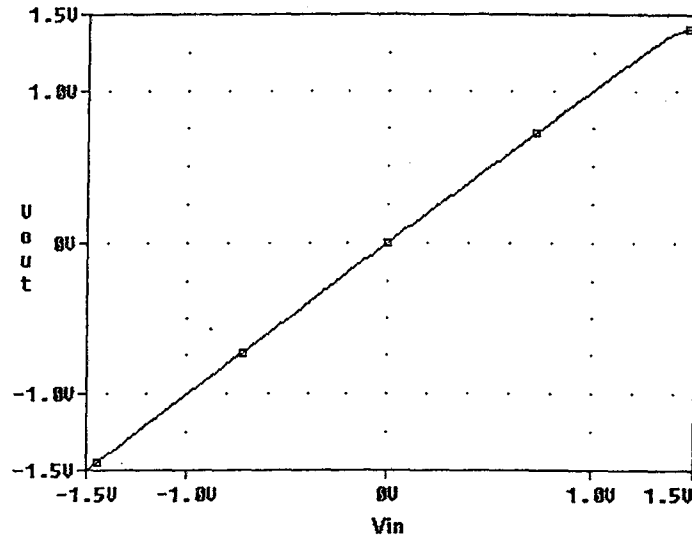


Şekil 3.25 İşlemsel Kuvvetlendirici 4 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği

Şekil 3.25’den de görüldüğü üzere geçiş iletkenliği karakteristiğinde büyük gelişme kaydedilmiştir. Hesaplanan geçiş iletkenliği değişimi % 6.3 olarak bulunmuştur.

3.2.4.2 V_{in} - V_{out} Karakteristiği

Şekil 3.26’da sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 4 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin V_{in} - V_{out} karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm, işlemsel kuvvetlendirici evirmeyen, birim kazanç konfigürasyonunda iken yapılmıştır.

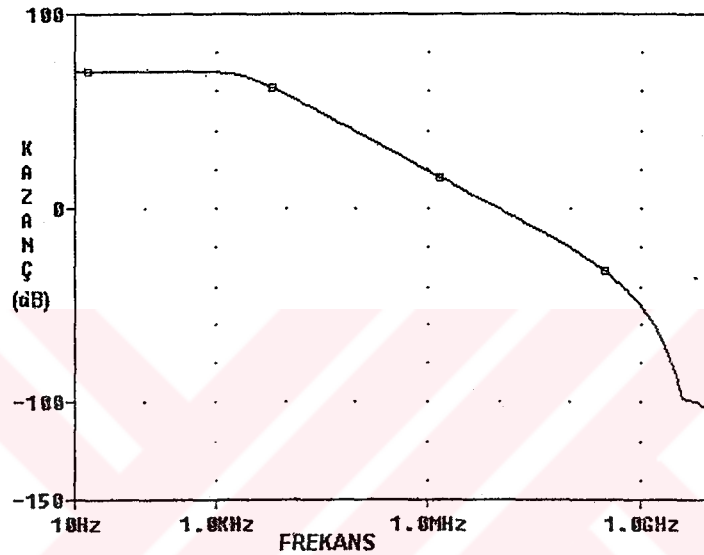


Şekil 3.26 İşlemsel Kuvvetlendirici 4 V_{in} - V_{out} Karakteristiği

Şekil 3.26'dan da görüldüğü üzere çıkış gerilimi aralığı yaklaşık olarak beslemeden beslemeye uzanmaktadır. Ölçülen V_{out} , $-1.4876V$ ile $1.4147V$ arasında değişmektedir.

3.2.4.3 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.27'de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 2 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin açık çevrim kazancı-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi $0V$ alınmıştır.



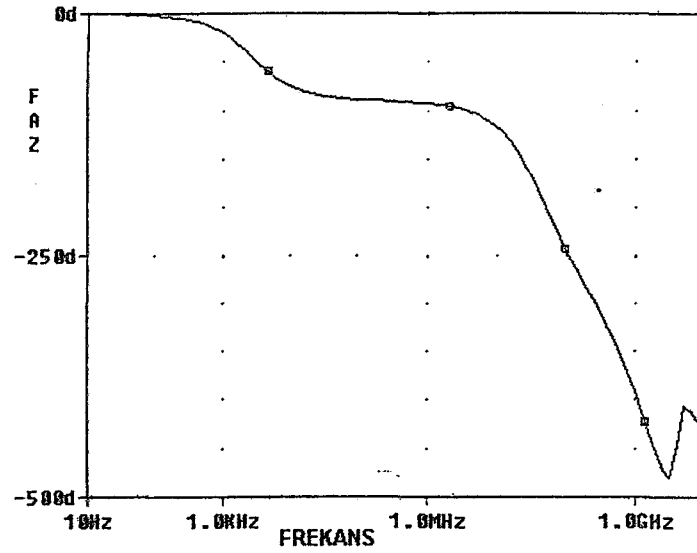
Şekil 3.27 İşlemsel Kuvvetlendirici 4 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği

İşlemsel kuvvetlendiricinin kazancı 70.5 dB olarak elde edilmiştir. Birim kazanç bant genişliği 9 MHz dir. f_{3dB} frekansı 2.65 KHz olarak ölçülmüştür.

3.2.4.4 Faz-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.28'de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 4 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin faz-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi $0V$ alınmıştır.

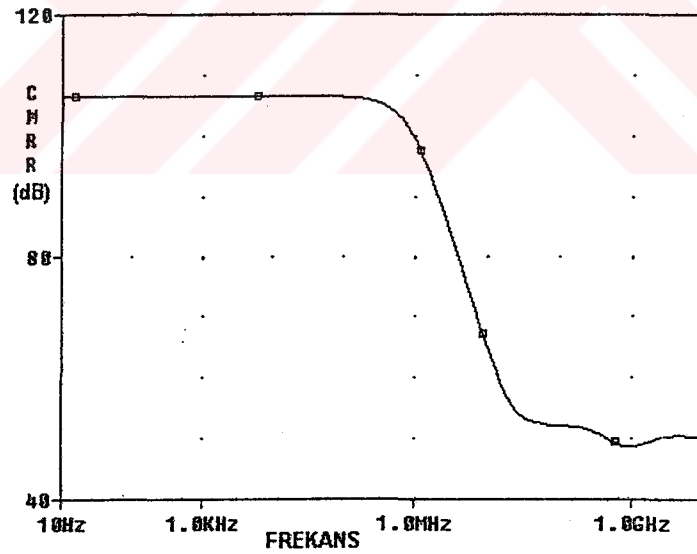
Şekil 3.28'de gösterilen faz-frekans karakteristiğinde faz açısı -116° ve faz payı 64° olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.28 İşlemsel Kuvvetlendirici 4 Faz-Frekans Karakteristiği

3.2.4.5 CMRR Karakteristiği

Şekil 3.29'da sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 4 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin CMRR-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi 0V alınmıştır.

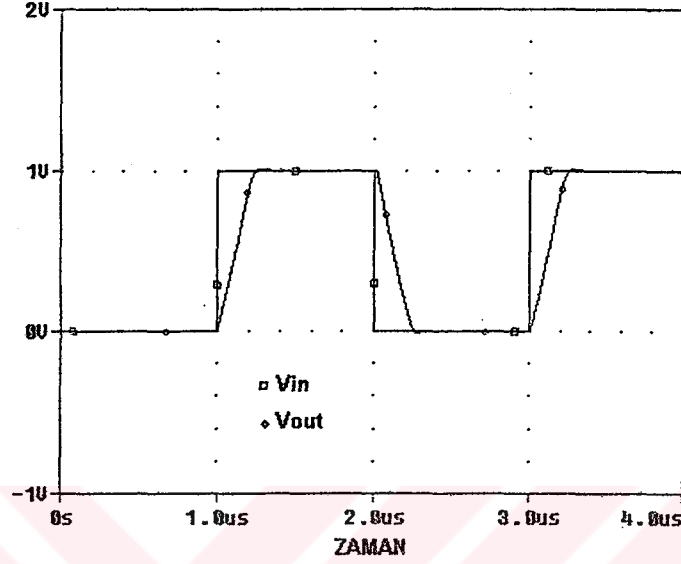


Şekil 3.29 İşlemsel Kuvvetlendirici 4 CMRR-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.29'da gösterilen CMRR-frekans karakteristiğinden, $CMRR_{max}=106dB$ ve $CMRR_{min}=49dB$ olarak ölçülmüştür.

3.2.4.6 Yükselme Eğimi Karakteristiği

Şekil 3.30'da sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 4 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin yükselme eğimi karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm, işlemsel kuvvetlendirici evirmeyen, birim kazanç konfigürasyonunda iken yapılmıştır.

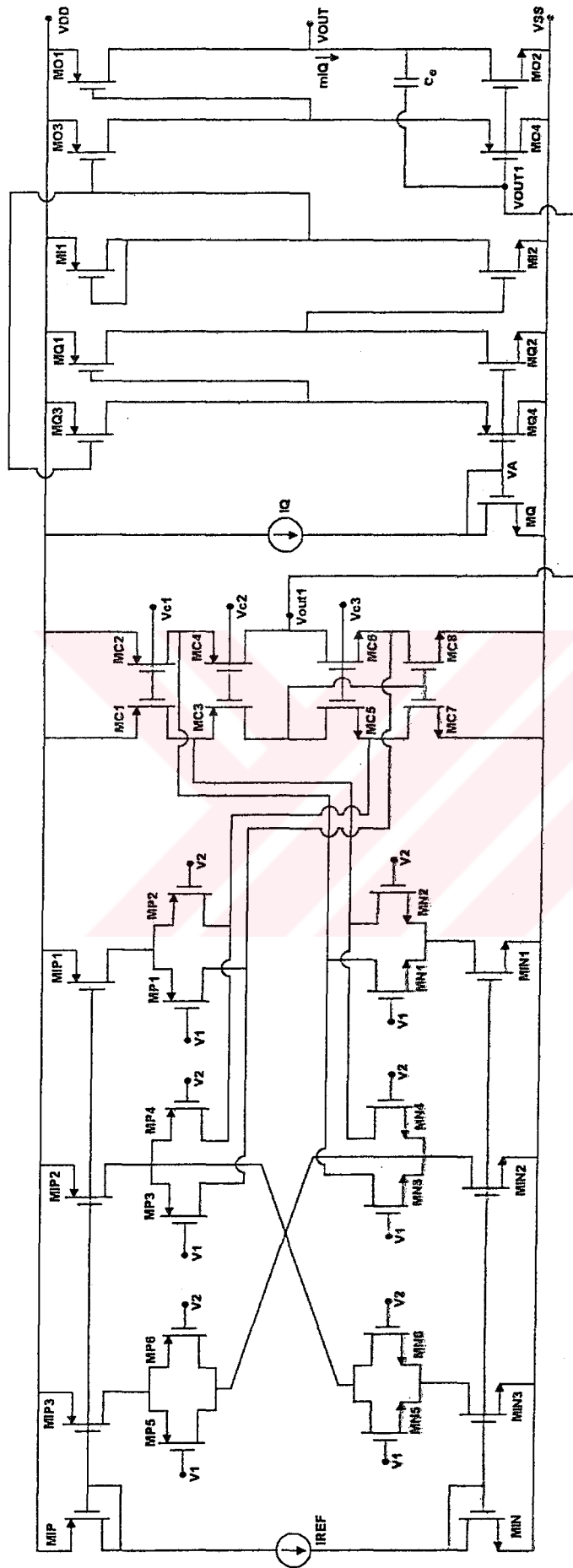


Şekil 3.30 İşlemsel Kuvvetlendirici 4 Yükselme Eğimi Karakteristiği

Şekil 3.30'da gösterilen yükselme eğimi karakteristiğinden, yükselme süresi $0.28\mu s$ ve düşme süresi $0.25\mu s$ olarak ölçülmüştür. Yükselme eğimi $SR^+=3.57V/\mu s$ ve $SR^-=4V/\mu s$ olarak bulunmuştur.

3.2.5 İşlemsel Kuvvetlendirici 5

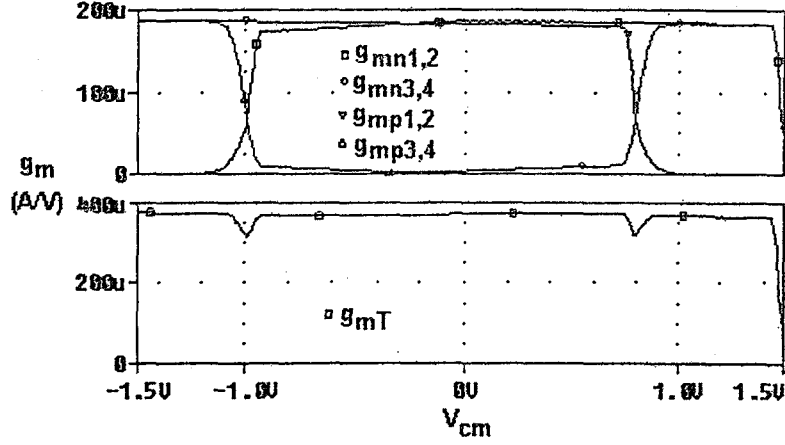
Sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 5 ile yapılan iki katlı işlemsel kuvvetlendirici Şekil 3.31'de gösterilmiştir. Ölçümlerde, giriş katının kutuplama akımı $I_{ref}=10\mu A$, AB sınıfı çıkış katının sükunet akımı $I_{OB,Q}=50\mu A$ olarak alınmıştır. Çıkış ucuna $10K\Omega//5pF$ yük bağlanmıştır. Devre $\pm 1.5V$ ile beslenmiştir.



Şekil 3.31 İşlemsel Kuvvetlendirici 5

3.2.5.1 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği

Şekil 3.32'de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 5 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin geçiş iletkenliği- V_{cm} karakteristiği gösterilmiştir.

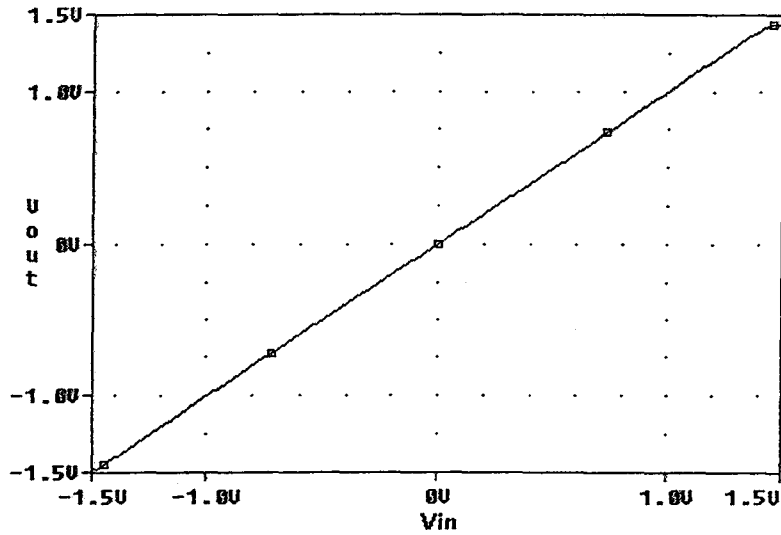


Şekil 3.32 İşlemsel Kuvvetlendirici 5 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği

Şekil 3.32'den de görüldüğü üzere geçiş iletkenliği karakteristiğinde büyük gelişme kaydedilmiştir. Ancak yine de geçiş iletkenliği karakteristiğinde büyük değişimler mevcuttur. Hesaplanan geçiş iletkenliği değişimi % 25 olarak bulunmuştur.

3.2.5.2 V_{in} - V_{out} Karakteristiği

Şekil 3.33'de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 5 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin V_{in} - V_{out} karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm, işlemsel kuvvetlendirici evirmeyen, birim kazanç konfigürasyonunda iken yapılmıştır.

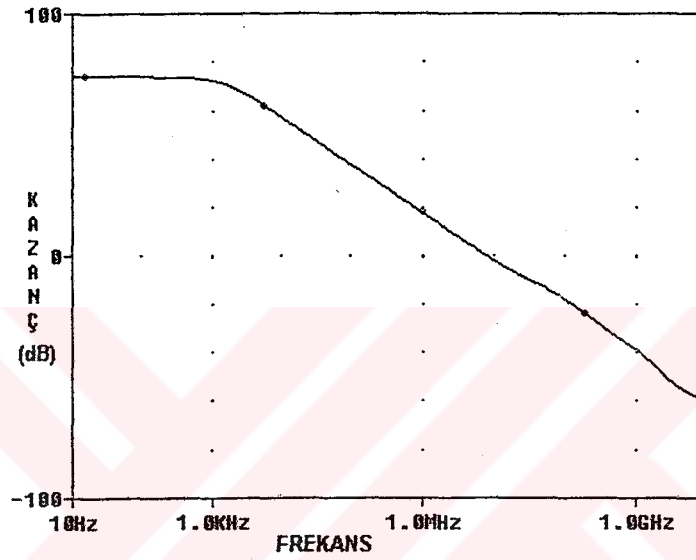


Şekil 3.33 İşlemsel Kuvvetlendirici 5 V_{in} - V_{out} Karakteristiği

Şekil 3.33'den de görüldüğü üzere çıkış gerilimi aralığı yaklaşık olarak beslemeden beslemeye uzanmaktadır. Ölçülen V_{out} , $-1.4829V$ ile $1.4378V$ arasında değişmektedir.

3.2.5.3 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.34'de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 5 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin açık çevrim kazancı-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi $0V$ alınmıştır.



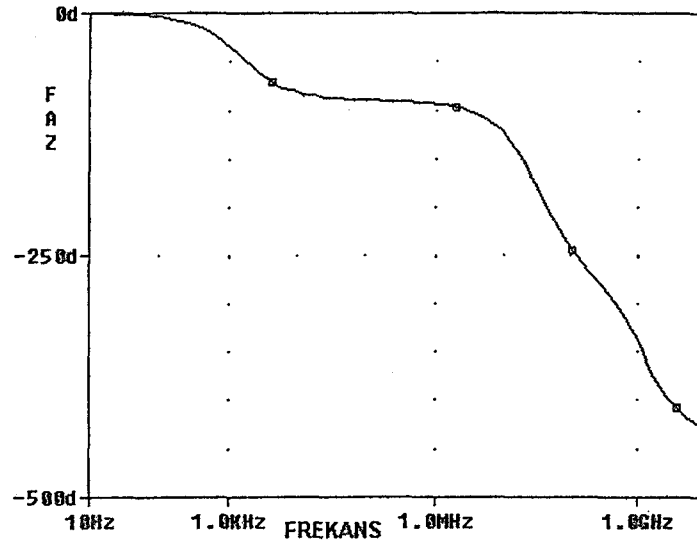
Şekil 3.34 İşlemsel Kuvvetlendirici 5 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği

İşlemsel kuvvetlendiricinin kazancı 74 dB olarak elde edilmiştir. Birim kazanç bant genişliği 7.65 MHz dir. f_{3dB} frekansı 1.48 KHz olarak ölçülmüştür.

3.2.5.4 Faz-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.35'de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 5 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin faz-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi $0V$ alınmıştır.

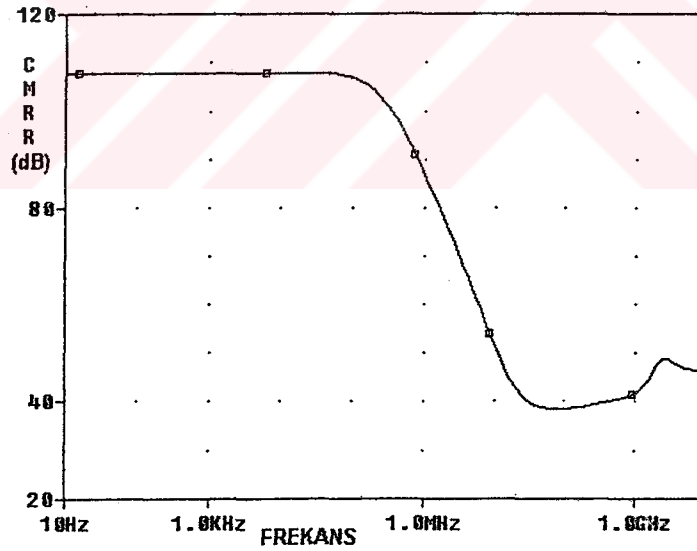
Şekil 3.35'de gösterilen faz-frekans karakteristiğinde faz açısı -118° ve faz payı 62° olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.35 İşlemsel Kuvvetlendirici 5 Faz-Frekans Karakteristiği

3.2.5.5 CMRR Karakteristiği

Şekil 3.36'da sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 5 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin CMRR-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi 0V alınmıştır.

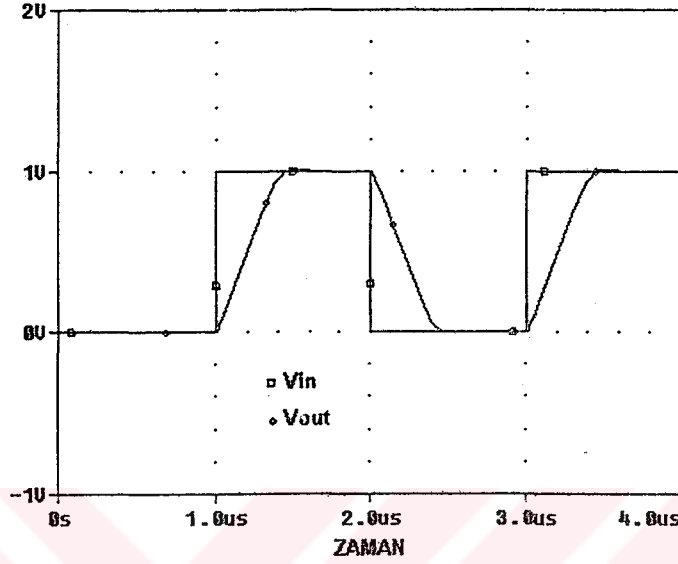


Şekil 3.36 İşlemsel Kuvvetlendirici 5 CMRR-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.36'da gösterilen CMRR-frekans karakteristiğinden, $CMRR_{max}=108dB$ ve $CMRR_{min}=38dB$ olarak ölçülmüştür.

3.2.5.6 Yükselme Eğimi Karakteristiği

Şekil 3.37’de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 5 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin yükselme eğimi karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm, işlemsel kuvvetlendirici evirmeyen, birim kazanç konfigürasyonunda iken yapılmıştır.

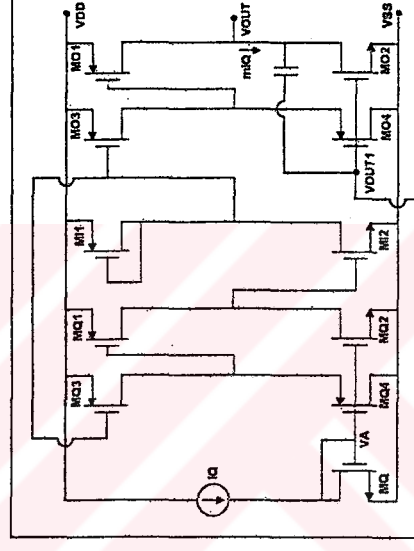
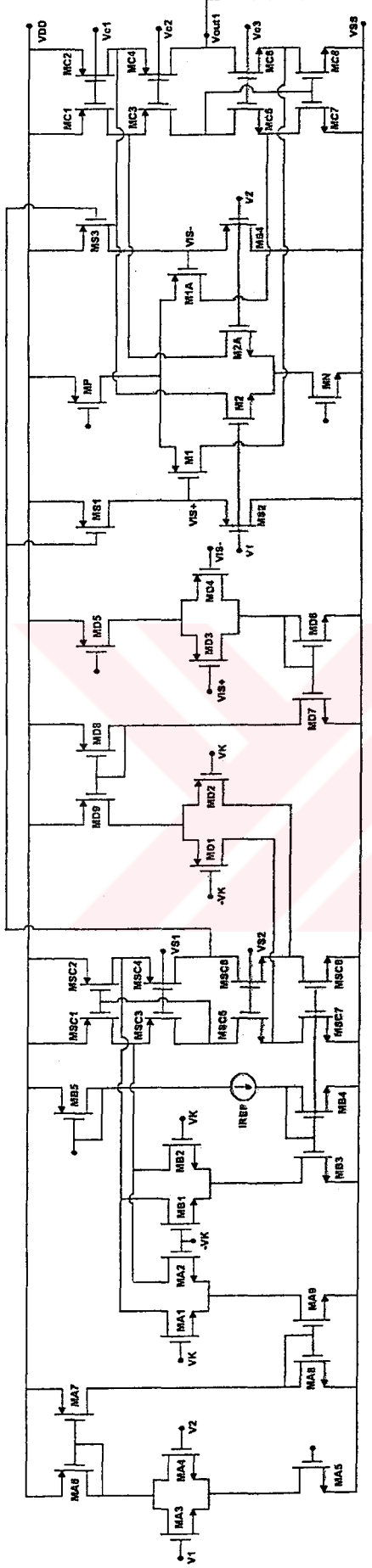


Şekil 3.37 İşlemsel Kuvvetlendirici 5 Yükselme Eğimi Karakteristiği

Şekil3.37’de gösterilen yükselme eğimi karakteristiğinden, yükselme süresi $0.44\mu s$ ve düşme süresi $0.45\mu s$ olarak ölçülmüştür. Yükselme eğimi $SR^+=2.27V/\mu s$ ve $SR^-=2.22V/\mu s$ olarak bulunmuştur.

3.2.6 İşlemsel Kuvvetlendirici 6

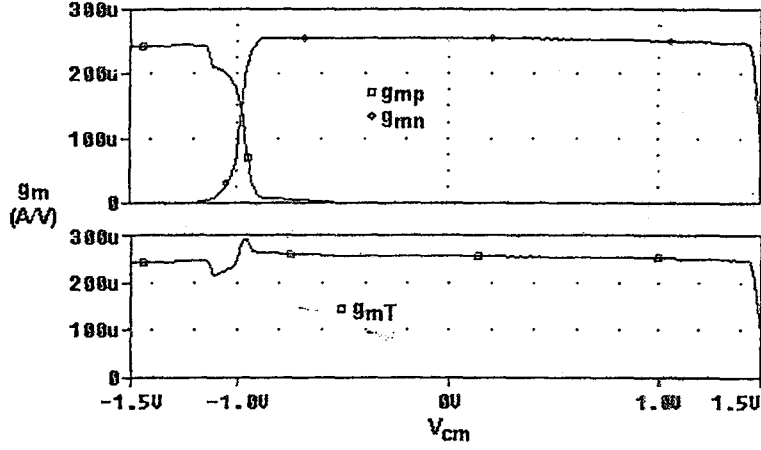
Sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 6 ile yapılan iki katlı işlemsel kuvvetlendirici Şekil3.38’de gösterilmiştir. Ölçümlerde, giriş katının kutuplama akımı $I_{ref}=20\mu A$, AB sınıfı çıkış katının sükunet akımı $I_{OB,Q}=50\mu A$ olarak alınmıştır. Çıkış ucuna $10K\Omega//5pF$ yük bağlanmıştır. Devre $\pm 1.5V$ ile beslenmiştir.



Şekil 3.38 İşlemsel Kuvvetlendirici 6

3.2.6.1 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği

Şekil 3.39'da sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 6 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin geçiş iletkenliği- V_{cm} karakteristiği gösterilmiştir.

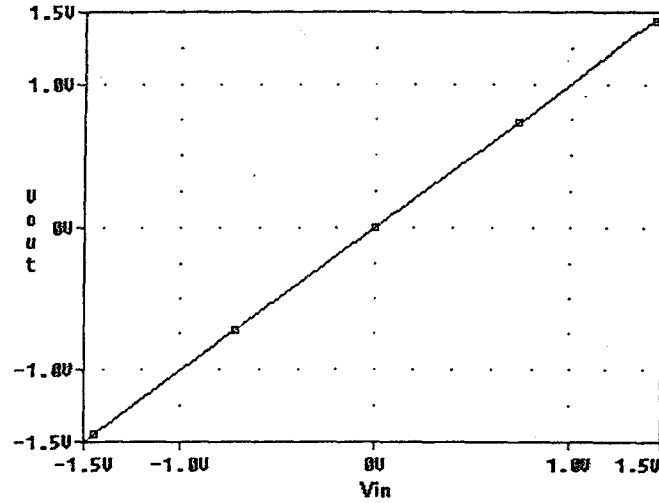


Şekil 3.39 İşlemsel Kuvvetlendirici 6 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği

Şekil 3.39'dan da görüldüğü üzere geçiş iletkenliği karakteristiğinde büyük gelişme kaydedilmiştir. Ancak yine de geçiş iletkenliği karakteristiğinde büyük değişimler mevcuttur. Hesaplanan geçiş iletkenliği değişimi % 29.6 olarak bulunmuştur.

3.2.6.2 V_{in} - V_{out} Karakteristiği

Şekil 3.40'da sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 6 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin V_{in} - V_{out} karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm, işlemsel kuvvetlendirici evirmeyen, birim kazanç konfigürasyonunda iken yapılmıştır.

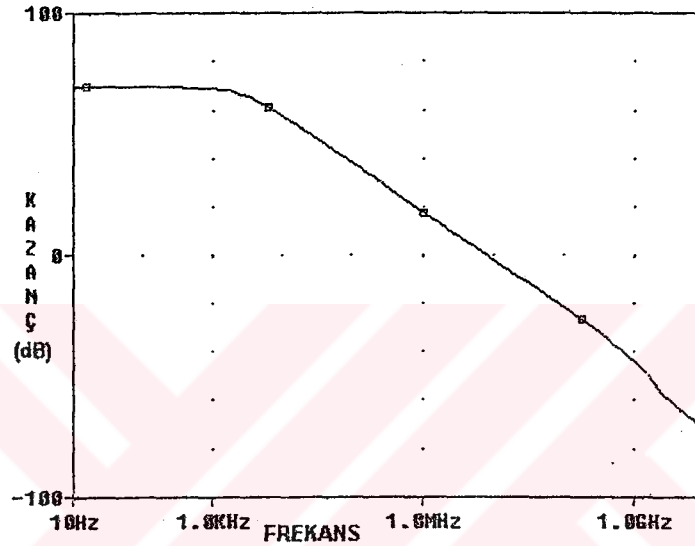


Şekil 3.40 İşlemsel Kuvvetlendirici 6 V_{in} - V_{out} Karakteristiği

Şekil 3.40'dan da görüldüğü üzere çıkış gerilimi aralığı yaklaşık olarak beslemeden beslemeye uzanmaktadır. Ölçülen V_{out} , $-1.4868V$ ile $1.4360V$ arasında değişmektedir.

3.2.6.3 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.41'de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 6 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin açık çevrim kazancı-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi $0V$ alınmıştır.



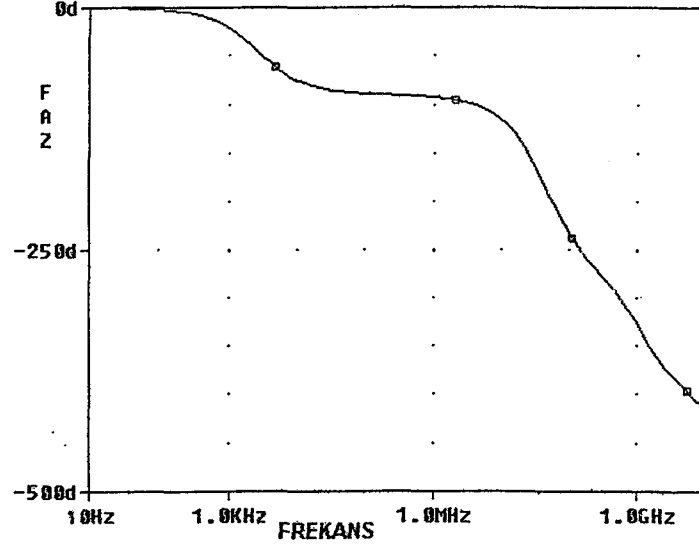
Şekil 3.41 İşlemsel Kuvvetlendirici 6 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği

İşlemsel kuvvetlendiricinin kazancı 69.5 dB olarak elde edilmiştir. Birim kazanç bant genişliği 7.73 MHz dir. f_{3dB} frekansı 2.63 KHz olarak ölçülmüştür.

3.2.6.4 Faz-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.42'de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 6 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin faz-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi $0V$ alınmıştır.

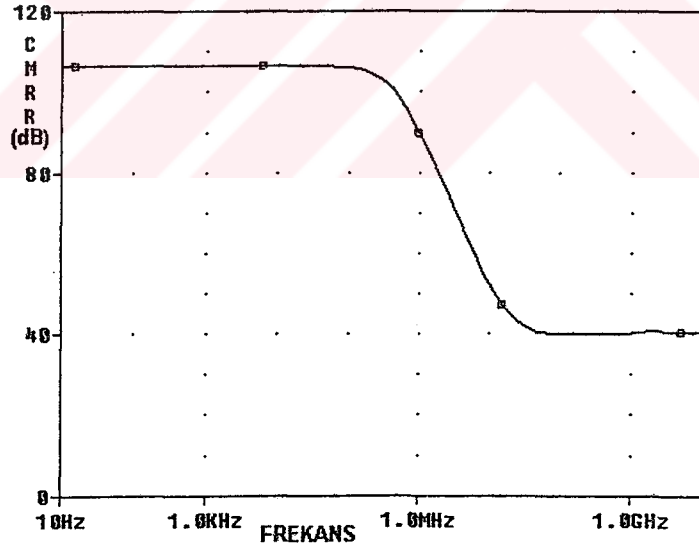
Şekil 3.42'de gösterilen faz-frekans karakteristiğinde faz açısı -111.5° ve faz payı 68.5° olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.42 İşlemsel Kuvvetlendirici 6 Faz-Frekans Karakteristiği

3.2.6.5 CMRR Karakteristiği

Şekil 3.43’de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 6 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin CMRR-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi 0V alınmıştır.

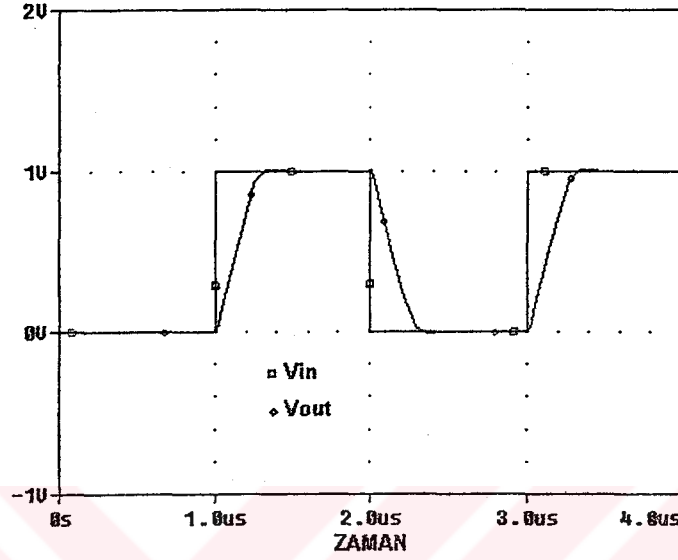


Şekil 3.43 İşlemsel Kuvvetlendirici 6 CMRR-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.43’de gösterilen CMRR-frekans karakteristiğinden, $CMRR_{max}=106dB$ ve $CMRR_{min}=40dB$ olarak ölçülmüştür.

3.2.6.6 Yükselme Eğimi Karakteristiği

Şekil 3.44’de sabit geçiş iletkenlikli giriş katı 6 ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin yükselme eğimi karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm, işlemsel kuvvetlendirici evirmeyen, birim kazanç konfigürasyonunda iken yapılmıştır.

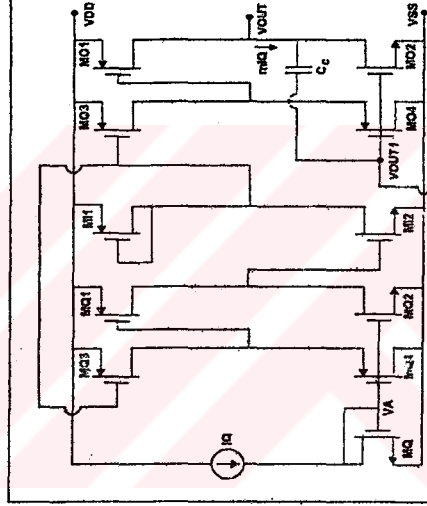
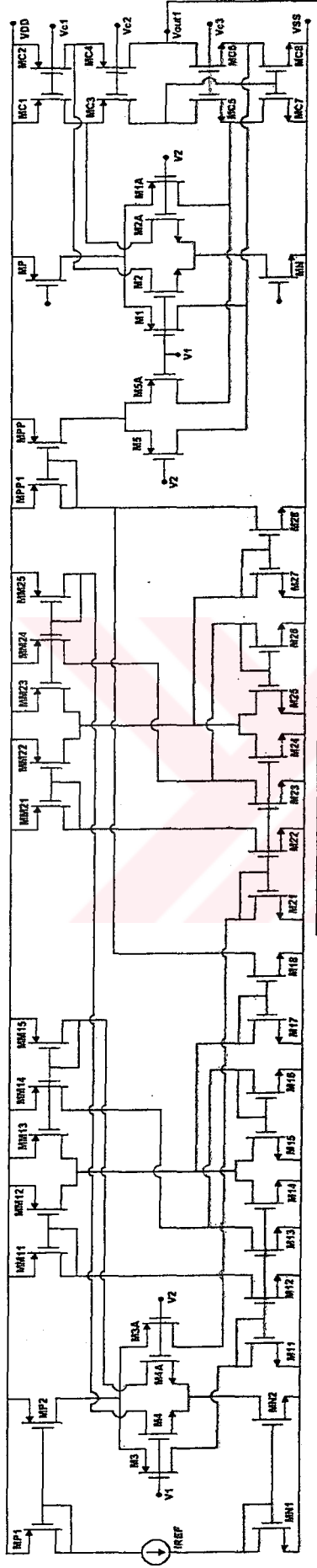


Şekil 3.44 İşlemsel Kuvvetlendirici 6 Yükselme Eğimi Karakteristiği

Şekil 3.44’de gösterilen yükselme eğimi karakteristiğinden, yükselme süresi $0.37\mu s$ ve düşme süresi $0.38\mu s$ olarak ölçülmüştür. Yükselme eğimi $SR^+=2.7V/\mu s$ ve $SR^-=2.63V/\mu s$ olarak bulunmuştur.

3.2.7 Yeni İşlemsel Kuvvetlendirici

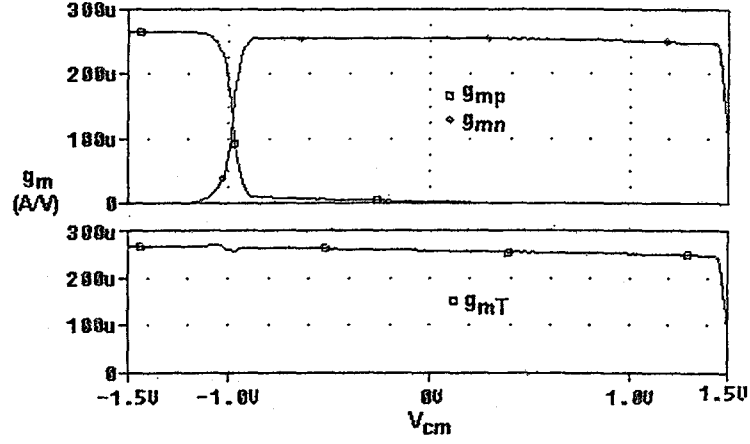
Yeni sabit geçiş iletkenlikli giriş katı ile yapılan iki katlı işlemsel kuvvetlendirici Şekil 3.45’de gösterilmiştir. Ölçümlerde, giriş katının kutuplama akımı $I_{ref}=20\mu A$, AB sınıfı çıkış katının sükunet akımı $I_{OB,Q}=50\mu A$ olarak alınmıştır. Çıkış ucuna $10K\Omega/5pF$ yük bağlanmıştır. Devre $\pm 1.5V$ ile beslenmiştir.



Şekil 3.45 Yeni İşlemsel Kuvvetlendirici

3.2.7.1 Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği

Şekil 3.46'da yeni sabit geçiş iletkenlikli giriş katı ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin geçiş iletkenliği- V_{cm} karakteristiği gösterilmiştir.

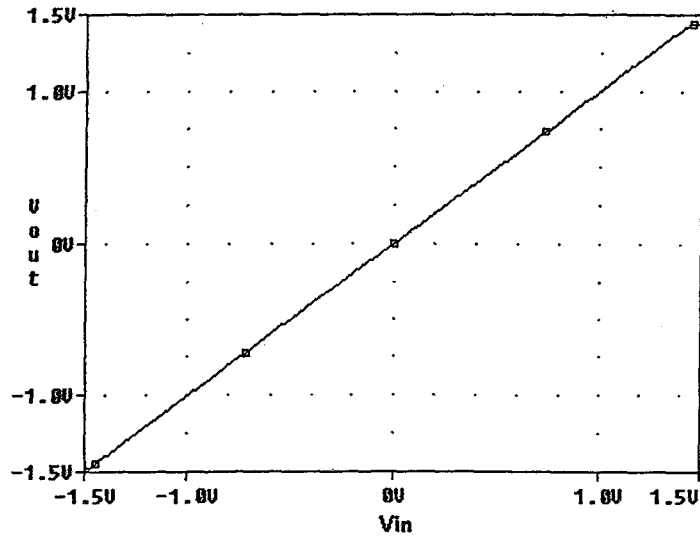


Şekil 3.46 Yeni İşlemsel Kuvvetlendirici Geçiş İletkenliği- V_{cm} Karakteristiği

Şekil 3.46'dan da görüldüğü üzere geçiş iletkenliği karakteristiğinde büyük gelişme kaydedilmiştir. Hesaplanan geçiş iletkenliği değişimi % 8.3 olarak bulunmuştur. Bu değişim oldukça başarılı bir sonuçtur.

3.2.7.2 V_{in} - V_{out} Karakteristiği

Şekil 3.47'de yeni sabit geçiş iletkenlikli giriş katı ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin V_{in} - V_{out} karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm, işlemsel kuvvetlendirici evirmeyen, birim kazanç konfigürasyonunda iken yapılmıştır.

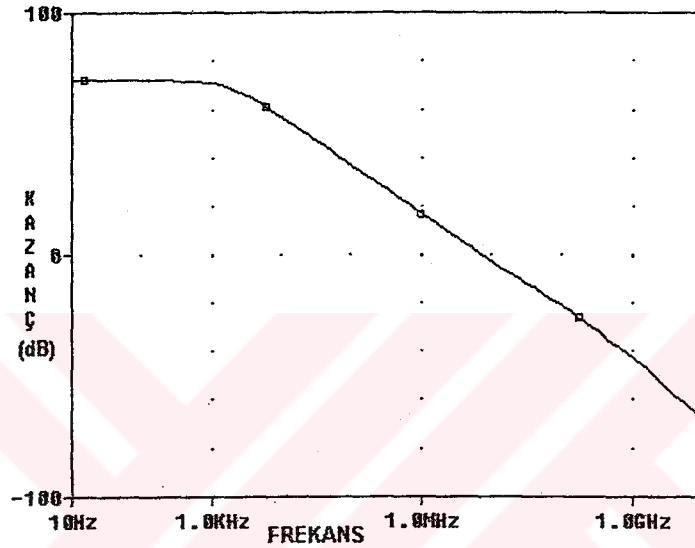


Şekil 3.47 Yeni İşlemsel Kuvvetlendirici V_{in} - V_{out} Karakteristiği

Şekil 3.47'den de görüldüğü üzere çıkış gerilimi aralığı yaklaşık olarak beslemeden beslemeye uzanmaktadır. Ölçülen V_{out} , $-1.4797V$ ile $1.4391V$ arasında değişmektedir.

3.2.7.3 Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.48'de yeni sabit geçiş iletkenlikli giriş katı ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin açık çevrim kazancı-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi $0V$ alınmıştır.



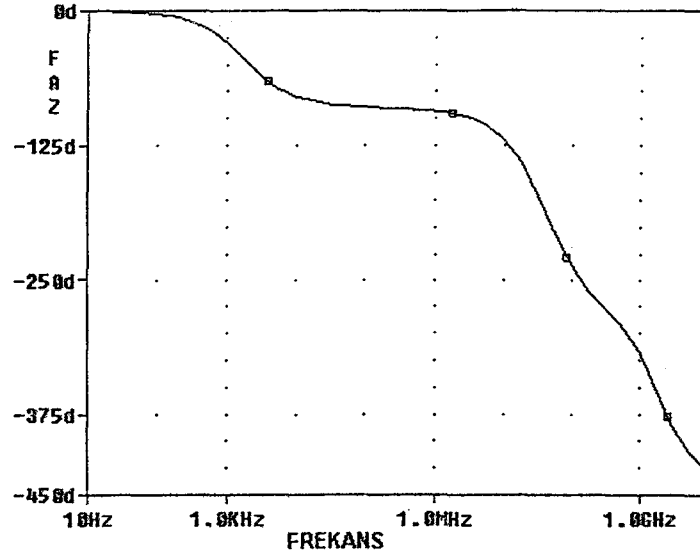
Şekil 3.48 Yeni İşlemsel Kuvvetlendirici Açık Çevrim Kazancı-Frekans Karakteristiği

İşlemsel kuvvetlendiricinin kazancı 72 dB olarak elde edilmiştir. Birim kazanç bant genişliği 7.1 MHz dir. f_{3dB} frekansı 1.75 KHz olarak ölçülmüştür.

3.2.7.4 Faz-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.49'da yeni sabit geçiş iletkenlikli giriş katı ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin faz-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi $0V$ alınmıştır.

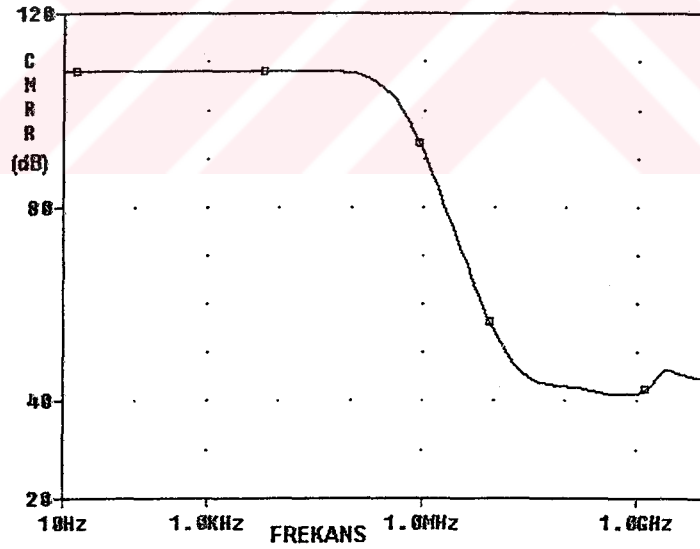
Şekil 3.49'da gösterilen faz-frekans karakteristiğinde faz açısı -112.5° ve faz payı 67.5° olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.49 Yeni İşlemsel Kuvvetlendirici Faz-Frekans Karakteristiği

3.2.7.5 CMRR Karakteristiği

Şekil 3.50’de yeni sabit geçiş iletkenlikli giriş katı ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin CMRR-frekans karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm yapılırken ortak işaret giriş gerilimi 0V alınmıştır.

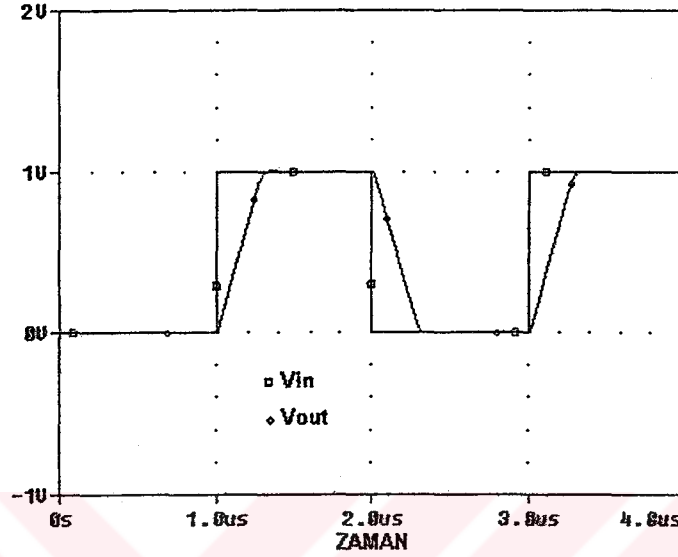


Şekil 3.50 Yeni İşlemsel Kuvvetlendirici CMRR-Frekans Karakteristiği

Şekil 3.50’de gösterilen CMRR-frekans karakteristiğinden, $CMRR_{max}=108dB$ ve $CMRR_{min}=41dB$ olarak ölçülmüştür.

3.2.7.6 Yükselme Eğimi Karakteristiği

Şekil 3.51’de yeni sabit geçiş iletkenlikli giriş katı ile elde edilmiş işlemsel kuvvetlendiricinin yükselme eğimi karakteristiği gösterilmiştir. Ölçüm, işlemsel kuvvetlendirici evirmeyen, birim kazanç konfigürasyonunda iken yapılmıştır.



Şekil 3.51 Yeni İşlemsel Kuvvetlendirici Yükselme Eğimi Karakteristiği

Şekil 3.51’de gösterilen yükselme eğimi karakteristiğinden, yükselme süresi $0.31\mu s$ ve düşme süresi $0.305\mu s$ olarak ölçülmüştür. Yükselme eğimi $SR^+=3.226V/\mu s$ ve $SR^-=3.28V/\mu s$ olarak bulunmuştur.

Yapılan tüm performans analizleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1’den de görüldüğü üzere giriş katının geçiş iletkenliği değişiminde oldukça başarılı bir sonuç elde edilmiştir. Tablo 3.1’de görülen değerler kutuplama akımı $20\mu A$ alınarak bulunmuş değerlerdir. Kutuplama akımı $100\mu A$ ’e çıkartıldığında geçiş iletkenliği değişimleri daha iyi çıkmaktadır. $20\mu A$ kutuplama akımında, sonuçların kötü çıkmasının başlıca sebebi, akım aynalarının hatalarından dolayı kaynaklanan hata akımlarıdır. Kutuplama akımı büyüdükçe hata akımının kutuplama akımına oranı düşmekte ve daha doğru sonuçlar elde edilmektedir. İşlemsel kuvvetlendirici 4 ve yeni sabit geçiş iletkenlikli giriş katı ile yaptığımız işlemsel kuvvetlendirici 7 dışındaki kuvvetlendiricilerde geçiş iletkenliği için bir kesişim noktası belirlenmektedir. Bu kuvvetlendiricilerde, toplam geçiş iletkenliği, ortak işaret giriş aralığının büyük bir kısmında sabit gitmesine rağmen sırf hata akımlarından dolayı, bu kesişim noktalarında geçiş iletkenliği değişimi oldukça

büyük olmaktadır. Bu nedenle Tablo 3.1’de verilen ölçüm sonuçları oldukça büyük çıkmıştır. İşlemsel kuvvetlendirici 4 ve İşlemsel kuvvetlendirici 7’de ise bir kesişme noktasına bağlı olunmadığından daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3.1 İşlemsel Kuvvetlendirici Performans Analiz Sonuçları

	İŞL. KUV.1	İŞL. KUV.2	İŞL. KUV.3	İŞL. KUV.4	İŞL. KUV.5	İŞL. KUV.6	İŞL. KUV.7 (Önerilen)
Gm- Değişimi	%17.5	%22.3	%13	%6.3	%25	%29.6	%8.3
V_{out}	-1.4777 1.4395	-1.4834 1.4378	-1.4828 1.4381	-1.4876 1.4147	-1.4829 1.4378	-1.4868 1.4360	-1.4797 1.4391
Kazanç	83.3dB	65.5dB	70.5dB	70.5dB	74dB	69.5dB	72dB
GBW	5.75 MHz	6.13 MHz	8.5 MHz	9 MHz	7.65 MHz	7.73 MHz	7.1 MHz
Faz Payı	65.5°	75.5°	67°	64°	62°	68.5°	67.5°
CMRR	87dB	93.5dB	98dB	106dB	108dB	106dB	108dB
SR ⁺	2.5V/μs	3.226V/μs	3.125V/μs	3.57V/μs	2.27V/μs	2.7V/μs	3.226V/μs
SR ⁻	3.125V/μs	2.857V/μs	2.67V/μs	4.0V/μs	2.22V/μs	2.63V/μs	3.28V/μs
Güç Tüketimi	2.3 mW	1.9 mW	1.9 mW	2.1 mW	1.9 mW	6.4 mW	2.35 mW

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, tüm ortak işaret giriş aralığı boyunca sabit geçiş iletkenliğine sahip giriş katları incelenmiş ve sabit geçiş iletkenliği elde etmek için yeni bir yöntem önerilmiştir. Giriş katlarının analizleri, çıkışında AB sınıfı beslemeden beslemeye çıkış katı kullanılan iki katlı işlemsel kuvvetlendirici yardımıyla yapılmıştır.

Bir beslemeden beslemeye işlemsel kuvvetlendirici için giriş katının geçiş iletkenliğinin tüm ortak işaret giriş aralığı boyunca sabit kalması çok önemlidir. Bunun en önemli etkisi, frekans kompanzasyonunda yani birim kazanç frekansında ortaya çıkmaktadır. Giriş geçiş iletkenliği ne kadar sabit olursa kullanılacak kapasite değeri o kadar doğru ayarlanabilir ve böylece doğru bir birim kazanç-bant genişliği elde edilir.

Bu çalışma ile doğru kompanzasyon ve böylece doğru birim kazanç bant genişliği elde etmek için gerekli bir beslemeden beslemeye çalışan, tüm ortak işaret giriş aralığı boyunca hemen hemen sabit geçiş iletkenliğine sahip, düşük gerilimli bir giriş katı elde edilmiştir.

Gerçeklenen bu yeni beslemeden beslemeye çalışan, tüm ortak işaret giriş aralığı boyunca sabit geçiş iletkenliğine sahip, düşük gerilimli giriş katının analog devre tasarımında büyük fayda sağlayacağı ön görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kuntman H.**, 1997. Analog Mos Tümdevre Tekniği, İ.T. Elektrik-Elektronik Fakültesi Matbası, İstanbul.
- [2] **Sedra A.S**, 1998. Microelectronic Circuits, Fourth Edition, New York Oxford University Press, New York.
- [3] **Kuntman H.**, 1998. Elektronik Elemanların Modellenmesi, İ.T. Elektrik Elektronik Fakültesi Matbası, İstanbul.
- [4] **Sakurai S. ve Ismail M.**, 1995. Low Voltage CMOS Operational Amplifiers: Theory, Design and Implementation. Kluwer Academic Publishers, Boston
- [5] **Chang I.K., Park J.W., Kim S.J. ve Kwack K.D.**, 1999. A Global Operational Amplifier with Constant-gm Input and Output Stage, IEEE Tencon, 1051-1054
- [6] **Coban A.L. ve Allen P.E.**, 1995. A Low-Voltage CMOS Op Amp with Rail-to-Rail Constant-gm Input Stage and High-Gain Output Stage, IEEE Int. Syms. Circuit Sys., 1548-1551
- [7] **Hwang C., Motamed A. ve Ismail M.**, 1997. LV Opamp with Programmable Rail-to-Rail Constant-gm, IEEE Int. Symp. Circuits Syst., 1988-1991
- [8] **Ahmedi M.M., Lotfi R. ve Bakhtiar M.S.**, 2003. A New Architecture for Rail-to-Rail Input Constant-gm CMOS Operational Transconductance Amplifiers, ISLPED 2003.Proceedings of 2003 Int. Symp., 353-358
- [9] **Carrillo J.M., Duque-Carrillo J.F., Ausin J.L. ve Torelli G.**, 2002. Common Mode Response Shaping in Rail-to-Rail Opamp Input Stages, ISCAS 2002, IEEE Int. Syms., 607-610
- [10] **Carrillo J.M., Duque-Carrillo J.F., Ausin J.L. ve Torelli G.**, 2004. Rail-to-Rail Constan-gm Operational Amplifier for Video Applications, INTEGRATION, the VLSI journal 37(2004), 1-16.

EK A

0.35 micron MOSIS Level 3 parametreleri.

NMOS Parametreleri

TOX=7.9E-9 NSUB=1E17 GAMMA=0.5827871 PHI=0.7 VTO=0.5445549
DELTA=0 UO=436.256147 ETA=0 THETA=0.1749684 KP=2.055786E-4
VMAX=8.309444E4 KAPPA=0.2574081 RSH=0.0559398 NFS=1E12 TPG=1
XJ=3E-7 LD=3.162278E-11 WD=7.046724E-8 CGDO=2.82E-10 CGSO=2.82E-10
CGBO=1E-10 CJ=1E-3 PB=0.9758533 MJ=0.3448504 CJSW=3.777852E-10
MJSW=0.3508721

PMOS Parametreleri

TOX=7.9E-9 NSUB=1E17 GAMMA=0.4083894 PHI=0.7 VTO=-0.7140674
DELTA=0 UO=212.2319801 ETA=9.999762E-4 THETA=0.2020774
KP=6.733755E-5 VMAX=1.181551E5 KAPPA=1.5 RSH=30.0712458 NFS=1E12
TPG=-1 XJ=2E-7 LD=5.000001E-13 WD=1.249872E-7 CGDO=3.09E-10
CGSO=3.09E-10 CGBO=1E-10 CJ=1.419508E-3 PB=0.8152753 MJ=0.5
CJSW=4.813504E-10 MJSW=0.5

EK B

SPICE DEVRE SİMÜLASYON KODLARI

1. İşlemsel Kuvvetlendirici 1

M1 109 1 3 3 PM W=31U L=0.5U
M1A 108 2 3 3 PM W=31U L=0.5U
M2 103 1 4 4 NM W=10U L=0.5U
M2A 102 2 4 4 NM W=10U L=0.5U
MP 3 6 100 100 PM W=20U L=0.5U
MP2 7 6 100 100 PM W=20U L=0.5U
M3 8 2 7 7 PM W=31U L=0.5U
M3A 8 1 7 7 PM W=31U L=0.5U
MN 4 5 50 50 NM W=10U L=0.5U
MN1 12 5 50 50 NM W=10U L=0.5U
MN2 5 5 50 50 NM W=10U L=0.5U
M11 8 8 50 50 NM W=10U L=0.5U
M12 5 8 9 9 PM W=31U L=0.5U
M13 11 10 9 9 PM W=31U L=0.5U
M14 10 10 12 12 PM W=31U L=0.5U
M15 50 13 12 12 PM W=31U L=0.5U
M17 11 11 50 50 NM W=10U L=0.5U
M18 10 11 50 50 NM W=10U L=0.5U
IBIAS1 100 9 DC 20U
IBIAS2 100 12 DC 25U
MB1 13 13 50 50 NM W=10U L=0.5U
MB2 14 13 15 15 PM W=31U L=0.5U
MB3 16 16 15 15 PM W=31U L=0.5U
MB4 6 16 50 50 NM W=10U L=0.5U
MB5 14 14 50 50 NM W=2U L=0.5U
MB6 16 14 50 50 NM W=0.5U L=0.5U
MB7 13 6 100 100 PM W=10U L=0.5U
MB8 6 6 100 100 PM W=30U L=0.5U
IBIAS 100 15 DC 25U
MC1 102 101 100 100 PM W=20U L=0.5U
MC2 103 101 100 100 PM W=20U L=0.5U
MC3 105 104 102 102 PM W=15U L=0.5U
MC4 106 104 103 103 PM W=15U L=0.5U
MC5 105 107 108 108 NM W=5U L=0.5U
MC6 106 107 109 109 NM W=5U L=0.5U
MC7 108 105 50 50 NM W=10U L=0.5U
MC8 109 105 50 50 NM W=10U L=0.5U
VC1 101 0 DC 0.61
VC2 104 0 DC 0.1
VC3 107 0 DC -0.3

MO1 501 502 100 100 PM W=60U L=1U
MO2 501 106 50 50 NM W=20U L=1U
MO3 502 503 100 100 PM W=10U L=1U
MO4 50 106 502 502 PM W=10U L=1U
MQ 506 506 50 50 NM W=10U L=1U
MQ1 504 505 100 100 PM W=30U L=1U
MQ2 504 506 50 50 NM W=10U L=1U
MQ3 505 503 100 100 PM W=5U L=1U
MQ4 50 506 505 505 PM W=5U L=1U
MI1 503 503 100 100 PM W=10U L=1U
MI2 503 504 50 50 NM W=10U L=1U
IQ 100 506 DC 25U

2. İşlemsel Kuvvetlendirici 2

MN1 103 1 3 3 NM W=10U L=0.5U
MN2 102 2 3 3 NM W=10U L=0.5U
MNS 3 6 50 50 NM W=20U L=0.5U
MN1A 4 2 5 5 NM W=10U L=0.5U
MN2A 4 1 5 5 NM W=10U L=0.5U
MNSA 5 6 50 50 NM W=15U L=0.5U
MNSB 6 6 50 50 NM W=5U L=0.5U
MP1 109 1 4 4 PM W=31U L=0.5U
MP2 108 2 4 4 PM W=31U L=0.5U
MPS 4 7 100 100 PM W=80U L=0.5U
MP1A 3 2 8 8 PM W=31U L=0.5U
MP2A 3 1 8 8 PM W=31U L=0.5U
MPSA 8 7 100 100 PM W=60U L=0.5U
MPSB 7 7 100 100 PM W=20U L=0.5U
IREF 7 6 DC 5U

3. İşlemsel Kuvvetlendirici 3

MN1 103 1 4 4 NM W=10U L=0.5U
MN2 102 2 4 4 NM W=10U L=0.5U
MBN 4 5 50 50 NM W=10U L=0.5U
MBN1 5 5 50 50 NM W=10U L=0.5U
MPC1 8 1 9 9 PM W=31U L=0.5U
MPC2 8 2 9 9 PM W=31U L=0.5U
M5 9 6 100 100 PM W=31U L=0.5U
M1 8 8 50 50 NM W=10U L=0.5U
M2 7 8 50 50 NM W=10U L=0.5U
M3 7 7 50 50 NM W=10U L=0.5U
M4 4 7 50 50 NM W=30U L=0.5U
M6 7 11 100 100 PM W=31U L=0.5U
MP1 109 1 3 3 PM W=31U L=0.5U
MP2 108 2 3 3 PM W=31U L=0.5U
MBP 3 6 100 100 PM W=31U L=0.5U
MBP1 6 6 100 100 PM W=31U L=0.5U
MNC1 11 1 12 12 NM W=10U L=0.5U
MNC2 11 2 12 12 NM W=10U L=0.5U
M11 12 5 50 50 NM W=10U L=0.5U

M7 11 11 100 100 PM W=31U L=0.5U
M8 10 11 100 100 PM W=31U L=0.5U
M9 10 10 100 100 PM W=31U L=0.5U
M10 3 10 100 100 PM W=93U L=0.5U
M12 10 8 50 50 NM W=10U L=0.5U
IREF 6 5 DC 5U

4. İşlemsel Kuvvetlendirici 4

M1 111 1 3 3 PM W=31U L=0.5U
M1A 121 2 3 3 PM W=31U L=0.5U
M2 123 1 4 4 NM W=10U L=0.5U
M2A 113 2 4 4 NM W=10U L=0.5U
MN 4 5 50 50 NM W=10U L=0.5U
MN1 5 5 50 50 NM W=10U L=0.5U
MP 3 6 100 100 PM W=30U L=0.5U
MP1 6 6 100 100 PM W=30U L=0.5U
IREF 6 5 DC 20U
M11 111 111 50 50 NM W=10U L=0.5U
M12 112 111 50 50 NM W=10U L=0.5U
M13 103 111 50 50 NM W=10U L=0.5U
M14 103 112 50 50 NM W=10U L=0.5U
M15 112 112 50 50 NM W=10U L=0.5U
MM11 113 113 100 100 PM W=31U L=0.5U
MM12 112 113 100 100 PM W=31U L=0.5U
M21 121 121 50 50 NM W=10U L=0.5U
M22 122 121 50 50 NM W=10U L=0.5U
M23 102 121 50 50 NM W=10U L=0.5U
M24 102 122 50 50 NM W=10U L=0.5U
M25 122 122 50 50 NM W=10U L=0.5U
MM21 123 123 100 100 PM W=31U L=0.5U
MM22 122 123 100 100 PM W=31U L=0.5U

5. İşlemsel Kuvvetlendirici 5

MN1 103 1 3 3 NM W=10U L=0.5U
MN2 102 501 3 3 NM W=10U L=0.5U
MN3 103 1 6 6 NM W=10U L=0.5U
MN4 102 501 6 6 NM W=10U L=0.5U
MN5 11 1 7 7 NM W=10U L=0.5U
MN6 11 501 7 7 NM W=10U L=0.5U
MIN 13 13 50 50 NM W=10U L=0.5U
MIN1 3 13 50 50 NM W=10U L=0.5U
MIN2 6 13 50 50 NM W=10U L=0.5U
MIN3 7 13 50 50 NM W=10U L=0.5U
MP1 109 1 8 8 PM W=31U L=0.5U
MP2 108 501 8 8 PM W=31U L=0.5U
MP3 109 1 11 11 PM W=31U L=0.5U
MP4 108 501 11 11 PM W=31U L=0.5U
MP5 6 1 12 12 PM W=31U L=0.5U
MP6 6 501 12 12 PM W=31U L=0.5U
MIP 14 14 100 100 PM W=31U L=0.5U

MIP1 8 14 100 100 PM W=31U L=0.5U
MIP2 11 14 100 100 PM W=31U L=0.5U
MIP3 12 14 100 100 PM W=31U L=0.5U
II 14 13 DC 10U

6. İşlemsel Kuvvetlendirici 6

VK1 10 0 DC 80M
VK2 0 11 DC 80M
MA5 12 5 50 50 NM W=10U L=0.5U
MA3 13 1 12 12 NM W=10U L=0.5U
MA4 13 2 12 12 NM W=10U L=0.5U
MA6 13 13 100 100 PM W=31U L=0.5U
MA7 14 13 100 100 PM W=31U L=0.5U
MA8 14 14 50 50 NM W=10U L=0.5U
MA9 15 14 50 50 NM W=10U L=0.5U
MA1 23 10 15 15 NM W=10U L=0.5U
MA2 22 11 15 15 NM W=10U L=0.5U
MB4 5 5 50 50 NM W=10U L=0.5U
MB3 16 5 50 50 NM W=10U L=0.5U
MB1 23 11 16 16 NM W=10U L=0.5U
MB2 22 10 16 16 NM W=10U L=0.5U
MB5 6 6 100 100 PM W=31U L=0.5U
IREF 6 5 DC 20U
MD5 20 6 100 100 PM W=31U L=0.5U
MD3 19 7 20 20 PM W=31U L=0.5U
MD4 19 8 20 20 PM W=31U L=0.5U
MD6 19 19 50 50 NM W=10U L=0.5U
MD7 18 19 50 50 NM W=10U L=0.5U
MD8 18 18 100 100 PM W=31U L=0.5U
MD9 17 18 100 100 PM W=31U L=0.5U
MD1 27 11 17 17 PM W=31U L=0.5U
MD2 28 10 17 17 PM W=31U L=0.5U
MSC1 22 21 100 100 PM W=15U L=0.5U
MSC2 23 21 100 100 PM W=15U L=0.5U
MSC3 21 24 22 22 PM W=15U L=0.5U
MSC4 25 24 23 23 PM W=15U L=0.5U
MSC5 21 26 27 27 NM W=5U L=0.5U
MSC6 25 26 28 28 NM W=5U L=0.5U
MSC7 27 5 50 50 NM W=11U L=0.5U
MSC8 28 5 50 50 NM W=11U L=0.5U
VS1 24 0 DC -0.9
VS2 26 0 DC 0.7
MS1 7 25 100 100 PM W=31U L=0.5U
MS2 50 1 7 7 PM W=31U L=0.5U
MS3 8 25 100 100 PM W=31U L=0.5U
MS4 50 2 8 8 PM W=31U L=0.5U
MN 4 5 50 50 NM W=10U L=0.5U
M2 103 1 4 4 NM W=10U L=0.5U
M2A 102 2 4 4 NM W=10U L=0.5U
MP 3 6 100 100 PM W=31U L=0.5U

M1 109 7 3 3 PM W=31U L=0.5U
M1A 108 8 3 3 PM W=31U L=0.5U

7. Yeni İşlemsel Kuvvetlendirici

M3 111 2 7 7 PM W=31U L=0.5U
M3A 121 1 7 7 PM W=31U L=0.5U
MP1 6 6 100 100 PM W=31U L=0.5U
MP2 7 6 100 100 PM W=31U L=0.5U
M4 126 2 8 8 NM W=10U L=0.5U
M4A 116 1 8 8 NM W=10U L=0.5U
MN1 5 5 50 50 NM W=10U L=0.5U
MN2 8 5 50 50 NM W=9.5U L=0.5U
IREF 6 5 DC 20U
M11 111 111 50 50 NM W=10U L=0.5U
M12 112 111 50 50 NM W=9.5U L=0.5U
M13 113 111 50 50 NM W=10U L=0.5U
M14 114 111 50 50 NM W=10U L=0.5U
M15 114 113 50 50 NM W=10U L=0.5U
M16 113 113 50 50 NM W=10U L=0.5U
M17 114 114 117 117 NM W=10U L=0.5U
M18 115 114 118 118 NM W=10U L=0.5U
M19 117 117 50 50 NM W=10U L=0.5U
M20 118 117 50 50 NM W=10U L=0.5U
MM11 112 112 100 100 PM W=31U L=0.5U
MM12 114 112 100 100 PM W=28U L=0.5U
MM13 114 116 100 100 PM W=31U L=0.5U
MM14 113 116 100 100 PM W=28U L=0.5U
MM15 116 116 100 100 PM W=31U L=0.5U
M21 121 121 50 50 NM W=10U L=0.5U
M22 122 121 50 50 NM W=9.5U L=0.5U
M23 123 121 50 50 NM W=10U L=0.5U
M24 124 121 50 50 NM W=10U L=0.5U
M25 124 123 50 50 NM W=10U L=0.5U
M26 123 123 50 50 NM W=10U L=0.5U
M27 124 124 127 127 NM W=10U L=0.5U
M28 115 124 128 128 NM W=10U L=0.5U
M29 127 127 50 50 NM W=10U L=0.5U
M30 128 127 50 50 NM W=10U L=0.5U
MM21 122 122 100 100 PM W=31U L=0.5U
MM22 124 122 100 100 PM W=28U L=0.5U
MM23 124 126 100 100 PM W=31U L=0.5U
MM24 123 126 100 100 PM W=28U L=0.5U
MM25 126 126 100 100 PM W=31U L=0.5U
M1 109 2 3 3 PM W=31U L=0.5U
M1A 108 1 3 3 PM W=31U L=0.5U
MP 3 6 100 100 PM W=31U L=0.5U
M2 103 2 4 4 NM W=10U L=0.5U
M2A 102 1 4 4 NM W=10U L=0.5U
MN 4 5 50 50 NM W=10U L=0.5U
M5 109 1 9 9 PM W=31U L=0.5U

M5A 108 2 9 9 PM W=31U L=0.5U
MPP 9 115 100 100 PM W=31U L=0.5U
MPP1 115 115 100 100 PM W=31U L=0.5U
MC1 102 101 100 100 PM W=20U L=0.5U
MC2 103 101 100 100 PM W=20U L=0.5U
MC3 105 104 102 102 PM W=15U L=0.5U
MC4 106 104 103 103 PM W=15U L=0.5U
MC5 105 107 108 108 NM W=5U L=0.5U
MC6 106 107 109 109 NM W=5U L=0.5U
MC7 108 105 50 50 NM W=10U L=0.5U
MC8 109 105 50 50 NM W=10U L=0.5U
VC1 101 0 DC 0.61
VC2 104 0 DC 0.1
VC3 107 0 DC -0.3
MO1 501 502 100 100 PM W=60U L=1U
MO2 501 106 50 50 NM W=22U L=1U
MO3 502 503 100 100 PM W=10U L=1U
MO4 50 106 502 502 PM W=10U L=1U
MQ 506 506 50 50 NM W=10.5U L=1U
MQ1 504 505 100 100 PM W=30U L=1U
MQ2 504 506 50 50 NM W=10.5U L=1U
MQ3 505 503 100 100 PM W=5U L=1U
MQ4 50 506 505 505 PM W=5U L=1U
MI1 503 503 100 100 PM W=10U L=1U
MI2 503 504 50 50 NM W=10U L=1U
IQ 100 506 DC 25U

ÖZGEÇMİŞ

Devrim Yüksel 1977 Aydın/Nazilli doğumlu. Lise eğitimini Heybeliada Deniz Lisesinde tamamlamıştır. 1999 yılında Deniz Harp Okulu Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 1999-2002 yılları arasında Deniz Kuvvetleri Komutanlığı bağlısı harp gemilerinde Silah Elektronik Subayı olarak çalışmıştır. Halen Deniz Harp Okulu Komutanlığında görevine devam etmektedir.

