

DENEY 4: MOSFET'Lİ FARK KUVVETLENDİRİCİLERİ

Amaç:

- 1) MOSFET'li fark kuvvetlendiricisine ait DC ve AC analizlerin yapılarak DC çalışma noktasının bulunması, ortak işaret ve fark işaret kazancının, ortak zayıflatma oranının bulunması.
- 2) Akım aynasının kazanç etkisinin incelenmesi.

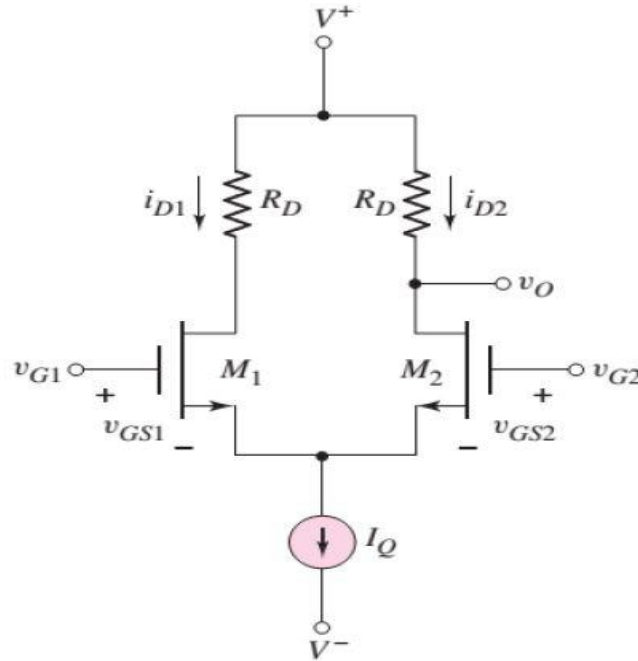
Malzeme Listesi:

Mosfet: 2 x CD4007 Entegre

Direnç: 3 x 10k Ω , 1 x 1.8k Ω

4.1. Genel Bilgi

Fark kuvvetlendiricileri tümdevrelerde en çok kullanılan ve yüksek kazanç sağlayan kuvvetlendirici devrelerinden biridir. Diğer kuvvetlendirici devrelerinde bir adet giriş ve bir adet çıkış bulunmaktayken fark kuvvetlendirici devrelerinde iki adet giriş ve bir adet çıkış bulunmaktadır. Şekil 4.1'de temel bir MOSFET'li fark kuvvetlendiricisi devresi gösterilmektedir.

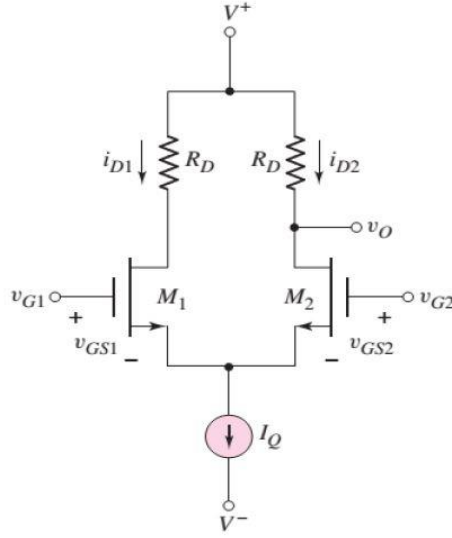


Şekil 4.1 Temel MOSFET'li Fark Kuvvetlendirici Devresi

Şekil 4.1'deki fark kuvvetlendiricisi devresindeki transistörlerin çalışma noktalarını bulmak için DC analiz yapılmalıdır.

4.1.1. DC Analiz

Çıkış akımı ve gerilimlerini bulmak için gerekli olan denklemler aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.2 Temel MOSFET'li Fark Kuvvetlendirici Devresi

- * M_1 ve M_2 transistörü saturasyon bölgesinde çalıştığı varsayılmaktadır.
- * Eğer $V_{G1} = V_{G2} = 0$ ise, M_1 ve M_2 transistörlerinin akım kaynağı I_Q tarafından saturasyon bölgesinde çalışması sağlanmaktadır.
- * M_1 ve M_2 transistörlerinin çıkış dirençleri ihmal edilerek eşleştiği varsayılmaktadır.

$$\begin{aligned} I_{D1} &= K_n (V_{GS1} - V_{TN})^2 \\ I_{D2} &= K_n (V_{GS2} - V_{TN})^2 \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{Bu değerlerin kökü alınıp birbirlerinden çıkartılırsa;}$$

$$\boxed{\sqrt{I_{D1}} - \sqrt{I_{D2}} = \sqrt{K_n} (V_{GS1} - V_{GS2}) = \sqrt{K_n} V_d} \quad (4.1)$$

$$* V_d = V_{G1} - V_{G2} = V_{GS1} - V_{GS2} \quad \text{Fark Modu Giriş Voltajı}$$

$$* V_d > 0, V_{G1} > V_{G2} \text{ ve } V_{GS1} > V_{GS2} \text{ ve } I_{D1} > I_{D2} :$$

$$\boxed{I_{D1} + I_{D2} = I_Q} \quad (4.2)$$

1. denklemin içinde 2. Denklem kullanılacak olursa;

$$(\sqrt{I_{D1}} - \sqrt{I_Q - I_{D1}})^2 = (\sqrt{K_n} V_d)^2 = K_n V_d^2$$



Denklem tekrar düzenlenirse

$$I_{D1} - 2\sqrt{I_{D1}(I_Q - I_{D1})} + (I_Q - I_{D1}) = K_n V_d^2$$

$$\frac{1}{2}(I_Q - K_n V_d^2) = \sqrt{I_{D1}(I_Q - I_{D1})}$$



İki tarafın karesi alınırsa

$$\frac{1}{4}(I_Q - K_n V_d^2)^2 = I_{D1}(I_Q - I_{D1})$$



İkinci dereceden denklem formülü kullanılarak düzenleme yapılırsa;

$$I_{D1} = \frac{I_Q}{2} + \sqrt{\frac{K_n I_Q}{2}} V_d \sqrt{1 - \left(\frac{K_n}{2I_Q}\right) V_d^2} \quad (4.3)$$

$$I_{D2} = \frac{I_Q}{2} - \sqrt{\frac{K_n I_Q}{2}} V_d \sqrt{1 - \left(\frac{K_n}{2I_Q}\right) V_d^2} \quad (4.4)$$



Düzenleme yapılırsa

$$\frac{I_{D1}}{I_Q}, \frac{I_{D2}}{I_Q} = \frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{K_n I_Q}{2}} V_d \sqrt{1 - \left(\frac{K_n}{2I_Q}\right) V_d^2} \quad (4.5)$$

Ek Bilgi:

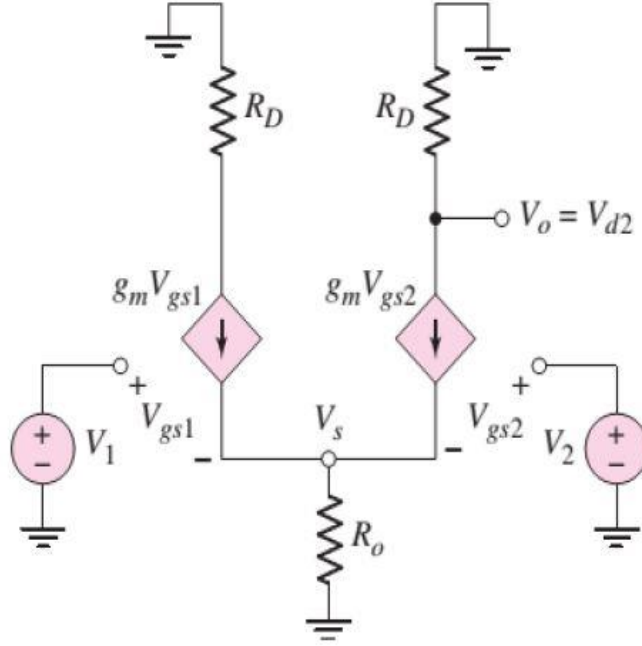
* MOSFET fark kuvvetlendiricisi için maksimum fark giriş sinyali BJT fark kuvvetlendiricisine kıyasla daha büyüktür.

MOSFET fark kuvvetlendiricisinin kazancı BJT fark kuvvetlendiricisinin kazancına kıyasla daha küçüktür.

4.1.2. AC Analiz

Fark Kuvvetlendiricisinin küçük işaret eşdeğer devresinin analizinden farksal mod kazancı, ortak-mod kazancı ve ortak mod bastırma oranı CMRR hesaplanabilir.

Aşağıdaki şekilde MOSFET'li bir fark kuvvetlendiricisinin küçük işaret eşdeğer devresi gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Temel MOSFET'li Fark Kuvvetlendirici Devresinin Küçük İşaret Eşdeğer Devresi

Yukarıdaki devrede V_s düğümüne Kirchoff akım kanunu uygulanırsa;

$$g_m V_{GS1} + g_m V_{GS2} = \frac{V_s}{R_o}$$

eşitliği yazılabilir. Ayrıca yukarıdaki devreye bakıldığı zaman $V_{gs1} = V_1 - V_s$ ve $V_{gs2} = V_2 - V_s$ olduğu görülmektedir.

Bu denklemler kullanılarak V_s bulunacak olursa;

$$g_m(V_1 + V_2 - 2V_s) = \frac{V_s}{R_o} \quad (4.6)$$

$$V_s = \frac{V_1 + V_2}{2 + \frac{1}{g_m R_o}} \quad (4.7)$$

elde edilir. M_2 transistörünün savağındaki tek-taraflı çıkış için;

$$V_0 = V_{d2} = -(g_m V_{gs2}) R_D = -(g_m R_D)(V_2 - V_s) \quad (4.8)$$

yazılabilir. Bu ifade bir önceki eşitlikte yerine konulduğunda;

$$V_0 = -g_m R_D \left[\frac{V_2 \left(1 + \frac{1}{g_m R_0} \right) - V_1}{2 + \frac{1}{g_m R_0}} \right] \quad (4.9)$$

elde edilir. Ortak mod ve farksal mod giriş işaretleri eşitlikleri düzenlendiğinde;

$$V_1 = V_{cm} + \frac{V_d}{2}$$

$$V_2 = V_{cm} - \frac{V_d}{2}$$

yazılabilir. Yukarıdaki V_0 eşitliğine son iki giriş eşitlikleri yerlerine konulduğunda çıkış gerilimi;

$$V_0 = \frac{g_m R_D}{2} V_d - \frac{g_m R_D}{1 + 2g_m R_0} V_{cm} \quad (4.10)$$

şeklinde yazılabilir. Buradan çıkış geriliminin genel ifadesi;

$$V_0 = A_d V_d + A_{cm} V_{cm} \quad (4.11)$$

olur. MOSFET'in geçiş iletkenliği g_m ;

$$g_m = 2\sqrt{K_n I_{DQ}} = \sqrt{2K_n I_Q}$$

Elde edilen g_m , çıkış gerilimi eşitliğindeki yerine konulduğunda farksal-mod kazancı;

$$A_{dm} = \frac{g_m R_D}{2} = \sqrt{2K_n I_Q} \left(\frac{R_D}{2} \right) = \sqrt{\frac{K_n I_Q}{2}} R_D \quad (4.12)$$

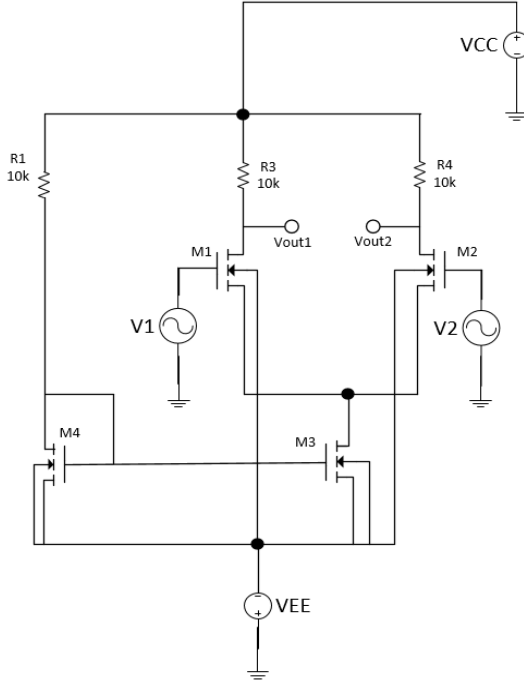
Şeklinde elde edilir. Ortak-mod kazancı ise;

$$A_{cm} = \frac{-g_m R_D}{1 + 2g_m R_0} = \frac{-\sqrt{2K_n I_Q} R_D}{1 + 2\sqrt{2K_n I_Q} R_0} \quad (4.13)$$

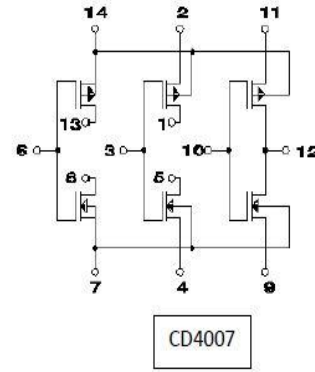
şeklinde elde edilir. Yine bu ifadelerden anlaşıldığı üzere ideal akım kaynağı için $R_0 = \infty$ olduğundan ortak mod kazancı sıfıra eşittir. Yukarıdaki ortak-mod kazancı A_{cm} ve farksal mod kazancı A_d eşitliklerinden ortak mod bastırma oranı $CMRR = |A_d/A_c|$ ifadesinden;

$$CMRR = \frac{1}{2} [1 + 2\sqrt{2K_n I_Q} \cdot R_0] \quad (4.14)$$

elde edilir. Bu ifadeden anlaşıldığı gibi ortak mod bastırma oranı CMRR, MOSFET'li bir fark kuvvetlendiricisinde de BJT'li fark kuvvetlendiricisinde olduğu gibi sabit bir akım kaynağının çıkış direnci R_0 'ın bir fonksiyonudur.



(a)



(b)

Şekil 4.4 a.) Deneyde Kurulacak olan MOSFET'li Fark Kuvvetlendirici Devresi
b) CD4007 Entegresinin İç Yapısı

4.2. Deney Öncesi Yapılacaklar

1. Şekil 4.4 (a)'daki fark kuvvetlendiricisinin AC eşdeğer devrelerini ve çalışma prensiplerini gözden geçirin.
2. Şekil 4.4 (a)'daki deki devrenin kazanç ifadelerini (A_{dd} ve A_{cc}) ve CMRR değerlerini föyde verilen bilgileri kullanarak hesaplayınız. Hesaplamalarınız için SPICE programı kullanabilirsiniz. Bu hesapladığınız değerleri deney sonunda bulduğunuz ölçüm sonuçlarıyla karşılaştıracaksınız.

4.3. Deneyde Yapılacaklar

1. Şekil 4.4.a'daki devreyi kurunuz. + ve - besleme gerilimlerini dikkatli bağlayınız, DC kaynakların ve devrenizin toprak bağlantısının neresi olduğuna dikkat ediniz. (Besleme gerilimleri V_{cc} ve V_{EE} 12 V olacaktır.)
2. Devrenin V_{i1} ve V_{i2} girişlerine fark işareti (a) uygulayınız.

$$V_{i1} = 10\text{mV}.\sin(2\pi.10^3.t)$$

$$V_{i2} = 0\text{V}$$

Farksal çıkış gerilimini ($V_{o1}-V_{o2}$) ölçerek kazancı (A_{dd}) ölçümlerinize göre bulunuz.

Not: Fark işaretini ölçerken 1 probun 2 ucu çıkış noktalarına bağlanacaktır.

3. Devrenin V_{i1} ve V_{i2} girişlerine ortak işaret (b) uygulayınız.

$$V_{i1} = V_{i2} = 10\text{mV}.\sin(2\pi.10^3.t)$$

Ortak çıkış gerilimini (V_{o1} veya V_{o2}) ölçerek kazancı (A_{cc}) ölçümlerinize göre bulunuz.

4. Devrenin CMRR oranını ölçüm değerlerinden yararlanarak hesaplayınız ve ilgili tabloyu doldurunuz.

Not: Simülasyon için kullanılacak mosfet pspice modeli "MODEL BS170 NMOS VTO=1.824 RS=1.572 RD=1.436 IS=1E-15 KP=.1233 CBD=35E-12 PB=1" şeklindedir.

4.4. Deney Sonu Soruları

1. Şekil 4.4 a'daki M3 ve M4 MOSFET'lerinin devredeki görevi nedir? Açıklayınız.
2. BJT'li Fark kuvvetlendiricisi ile MOSFET'li fark kuvvetlendiricisinin CMRR değerlerini karşılaştırınız. Hangi tip devrenin fark kuvvetlendiricisinin CMRR değeri daha yüksektir ve nedenini açıklayınız.
3. Şekil 4.4'deki devrede M3 ve M4 Mosfetleri yerine direnç elemanı kullanılırsa devrenin kazancı nasıl etkilenir? Nedeni ile açıklayınız.