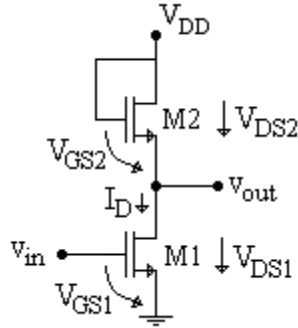


## ELEKTRONİĞE GİRİŞ

### 2006 -2007 BAHAR UYGULAMA 7

**Örnek:** Şekildeki NMOS kanal oluşturmali MOSFET’li evirici devresinde M1 transistörü  $KP_1 = 20 \frac{\mu A}{V^2}$ ;  $V_{T1} = 0,5V$ ;  $\left(\frac{W}{L}\right)_1 = 8$ ;  $\lambda_1 = 0$ ; ile ve M2 transistörü  $KP_2 = 20 \frac{\mu A}{V^2}$ ;  $V_{T2} = 0,5V$ ;  $\left(\frac{W}{L}\right)_2 = 1$ ;  $\lambda_2 = 0$  ile tanımlanmıştır.

- Giriş geriliminin 1.5V olması durumunda devrenin çalışma noktasını bulunuz.
- Giriş geriliminin 0 - 5V arasında değişmesi durumunda devrenin çalışmasını inceleyiniz ve devrenin gerilim transfer eğrisini ( $v_{out} = f(v_{in})$ ) veriniz.



- $v_{in} = 1.5V$

M1 MOSFET’i doymada çalışıyor kabul edelim. Bu durumda:

$$I_{D1} = \frac{1}{2} \beta_1 (V_{GS1} - V_{T1})^2 ; V_{GS1} = v_{in} ; \beta_1 = KP_1 \cdot \left(\frac{W}{L}\right)_1 = 20 \frac{\mu A}{V^2} \cdot 8 = 160 \frac{\mu A}{V^2}$$

$$I_{D1} = \frac{1}{2} 160 \cdot 10^{-6} (1,5 - 0,5)^2 = 80 \mu A = I_{D2} = I_D$$

M2 MOSFET’inin G ve D uçları birbirine bağlı olduğundan daima  $V_{GS2} = V_{DS2}$  olur ve  $V_{DS2} > V_{GS2} - V_{T2}$  şartı her  $V_{GS}$ ,  $V_{DS}$  için sağlanır. M2 MOSFET’i her zaman doymadadır.

$$I_{D2} = \frac{1}{2} \beta_2 (V_{GS2} - V_{T2})^2 = \frac{1}{2} \beta_2 (V_{DS2} - V_{T2})^2$$

$$V_{DS2} = \sqrt{\frac{2I_{D2}}{\beta_2}} + V_{T2}$$

$$V_{DS2} = \sqrt{\frac{2 \cdot 80 \cdot 10^{-6}}{20 \cdot 10^{-6} \cdot 1}} + 0,5 = 3,328V$$

$$V_{DS1} = v_{out} = V_{DD} - V_{DS2} = 5 - 3,328 = 1,672V$$

$V_{DS1} > V_{GS1} - V_{T1}$  kontrolü yapılırsa  $1,672V > 1V$ , başlangıçtaki kabulümüz doğrudur.

- b. Giriş gerilimi 0 – 5V arasında değişirken çıkış geriliminin durumunu inceleyelim.

**$V_{in} < V_{T1}$  iken:**

M1 kesimdedir, dolayısıyla  $I_{D1} = I_{D2} = 0$  olmalıdır.  $I_{D2}$  akımını sıfır yapan  $V_{DS2}$  değeri:

$$I_{D2} = \frac{1}{2} \beta_2 (V_{DS2} - V_{T2})^2 = 0$$

$$V_{DS2} = V_{T2} = 0,5V$$

$$V_{DS1} = V_{DD} - V_{DS2} = 4,5V$$

**$V_{T1} < V_{in}$  ve  $v_{out} > v_{in} - V_{T1}$  iken:**

M1 doymadadır:

$$I_{D1} = I_{D2} = \frac{1}{2} \beta_1 (v_{in} - V_{T1})^2$$

$$V_{DS2} = \sqrt{\frac{2I_{D2}}{\beta_2}} + V_{T2}$$

$$V_{DS1} = V_{DD} - V_{DS2}$$

**$V_{T1} < V_{in}$  ve  $v_{out} > v_{in} - V_{T1}$  iken:**

M1 doğrusal bölgededir:

$$(1) \quad I_{D1} = \beta_1 [(v_{in} - V_{T1}) V_{DS1} - 0,5 V_{DS1}^2]$$

$$(2) \quad I_{D2} = \frac{1}{2} \beta_2 (V_{DS2} - V_{T2})^2$$

$$(3) \quad I_{D1} = I_{D2}$$

$$(4) \quad V_{DS1} = V_{DD} - V_{DS2}$$

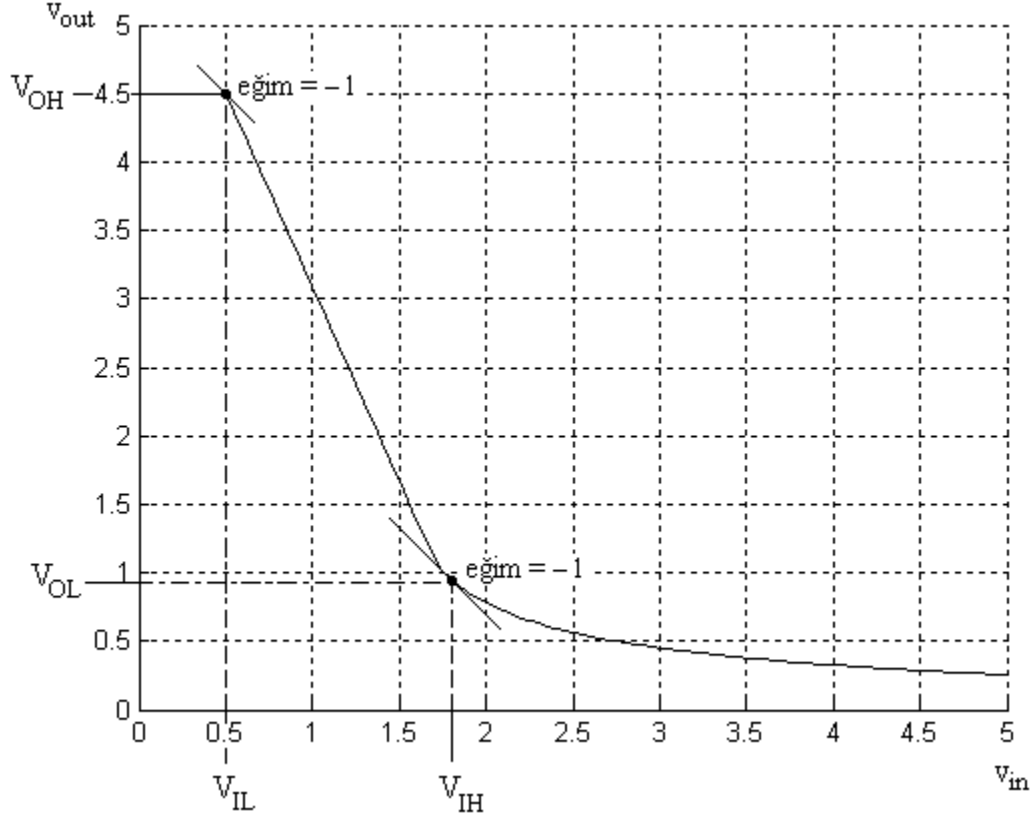
(1), (2), (3) ve (4)'ten

$$\frac{1}{2} \beta_2 (V_{DD} - V_{DS1} - V_{T2})^2 = \beta_1 [(v_{in} - V_{T1}) V_{DS1} - \frac{1}{2} V_{DS1}^2]$$

$$\frac{1}{2} (\beta_1 + \beta_2) V_{DS1}^2 - [\beta_2 (V_{DD} - V_{T2}) + \beta_1 (v_{in} - V_{T1})] V_{DS1} + \frac{1}{2} \beta_2 (V_{DD} - V_{T2})^2 = 0$$

$V_{DS1}$  değeri doyma şartını sağlayacak şekilde seçilir.

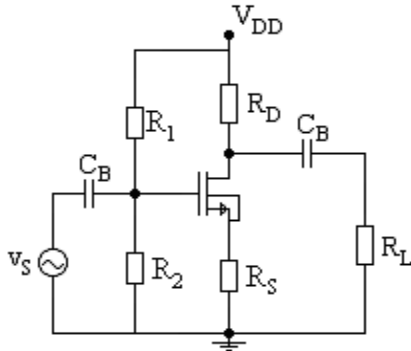
$v_{in}$  geriliminin 0 – 5V arasındaki değerleri için yukarıdaki üç bölümde açıklanan şekilde  $v_{out} = V_{DS1}$  gerilimleri bulunur ve karşılıklı çizdirilirse aşağıdaki NMOS eviricinin gerilim transfer eğrisi elde edilir.



Burada evirici devresi için önemli olan bileşenler gürültü marjı  $NMH + NML$  olarak tanımlanan ( $NMH = V_{OH} - V_{IH}$  ve  $NML = V_{IL} - V_{OL}$ ) büyüklüklerdir. M1 MOSFET'inin  $W/L$  oranı artırılarak gerilim transfer eğrisinin "lojik 1" seviyesinden "lojik 0" seviyesine daha keskin inmesi sağlanabilir.

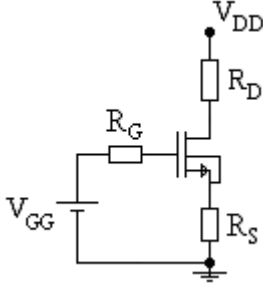
**Örnek:** Şekilde  $V_{T0} = 0.8V$ ;  $\beta = 5mA/V^2$ ;  $\lambda = 0,02$  değerleri ile tanımlanan n-MOS transistörlü bir yükselteç devresi verilmektedir.

- Çalışma noktasını ( $V_{DSQ}$ ,  $I_{DQ}$ ) bulunuz.
- Transistörün verilen çalışma noktasındaki küçük genlikli alternatif işaretler için geçerli eşdeğer devre elemanlarını hesaplayınız.
- Devrenin k.g.a.i. için geçerli ED'sini çiziniz ve gerilim kazancını bulunuz.



$$\begin{aligned} V_{DD} &= 10V \\ R_1 &= 700k\Omega, R_2 = 300k\Omega \\ R_D &= 1k\Omega, R_S = 100\Omega, R_L = 4k\Omega \\ C_B &\rightarrow \infty \end{aligned}$$

- Çalışma noktası için DC analiz:



$$V_{GG} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} = 3V; \quad R_G = R_1 // R_2 = 210k\Omega$$

$$(1) V_{GG} = V_{GS} + I_D R_S; \quad V_{GS} = 3 - 100I_D$$

$$(2) V_{DD} = I_D R_D + V_{DS} + I_D R_S = I_D (R_D + R_S) + V_{DS}; \quad V_{DS} = 10 - 1100I_D$$

$$I_D = -\frac{1}{R_D + R_S} V_{DS} + \frac{1}{R_D + R_S} V_{DD} \quad \text{SYD}$$

FET doymada çalışıyor kabul edelim:

$$(3) I_D = \frac{1}{2} \beta (V_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

(1), (2) ve (3) denklemlerinden

$$I_D = \frac{1}{2} 5 \cdot 10^{-3} (3 - 100I_D - 0,8)^2 [1 + 0,02(10 - 1100I_D)]$$

$$2,5 \cdot 10^{-3} (2,2 - 100I_D)^2 (1,2 + 22I_D) - I_D = 0$$

$$I_{DQ} = 6,422\text{mA}$$

$$V_{GSQ} = 3 - 100I_D = 3 - 0,6422 = 2,3578\text{V}$$

$$V_{DSQ} = 10 - 1100I_D = 10 - 1,16,422 = 2,936\text{V}$$

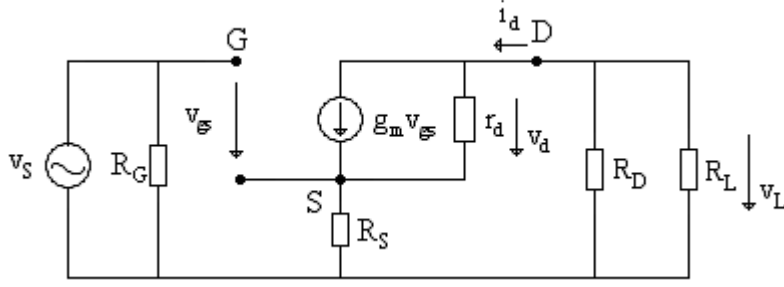
Devre doymada çalışıyor ise  $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$  olmalı.  $2,936\text{V} > 1,5578\text{V}$  o halde varsayımımız doğrudur.

**b.** K.g.a.i. için geçerli ED elemanları:

$$g_m = \left. \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \right|_{V_{DS}=\text{sbt}} = \beta (V_{GS} - V_T) (1 + \lambda V_{DS}) = \frac{2I_D}{(V_{GS} - V_T)} = \frac{2 \cdot 6,422\text{mA}}{1,5578\text{V}} = 8,245 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

$$g_d = \frac{1}{r_d} = \left. \frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} \right|_{V_{GS}=\text{sbt}} = \frac{1}{2} \beta (V_{GS} - V_T)^2 \lambda = \frac{1}{2} 5 \cdot 10^{-3} (1,5578)^2 0,02 = 0,12 \frac{\text{mA}}{\text{V}}; \quad r_d = 8,24\text{k}\Omega$$

c. Gerilim kazancı



$$(1) v_L = -i_d \cdot R_D // R_L = v_d + i_d \cdot R_S$$

$$(2) v_d = (i_d - g_m v_{gs}) \cdot r_d$$

(1) ve (2)'den

$$(i_d - g_m v_{gs}) \cdot r_d + i_d R_S = -i_d R_D // R_L$$

$$i_d (r_d + R_S + R_D // R_L) = g_m r_d v_{gs}$$

$$v_{gs} = \frac{(r_d + R_S + R_D // R_L)}{g_m r_d} i_d$$

$$v_S = v_{gs} + i_d R_S = \left[ \frac{(r_d + R_S + R_D // R_L)}{g_m r_d} + R_S \right] i_d$$

$$v_L = -i_d R_D // R_L$$

$$k_U = \frac{v_L}{v_S} = - \frac{g_m r_d \cdot R_D // R_L}{r_d + R_D // R_L + (1 + g_m r_d) R_S}$$

$$k_U = - \frac{8,245.8,24.0,8k}{8,24k + 0,8k + (1 + 8,245.8,24).0,1k} = -3,411$$