Elektronik II

Frekans cevabı: alçak/yüksek frekans, Miller teoremi

Orijinal not: Ders9.pdf

UYARI Bu belge, el yazısı ders notlarından Claude (Anthropic) yardımıyla dijitale aktarılmıştır. Yardımcı kaynak olarak hazırlanmıştır; hata veya eksik içerebilir. Lütfen orijinal notları ve ders kaynaklarını esas alın.

NOTICE *This document was transcribed from handwritten lecture notes with the help of Claude (Anthropic). It is meant as a supplementary resource and may contain errors or omissions. Always check against the original notes and official course material.*

orj. s. 1

BJT

$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

$$r_e = 1/g_m$$

$$r_\pi = (\beta + 1)\, r_e$$

Mosfet

$$g_m = \frac{2I_D}{V_{OV}}$$

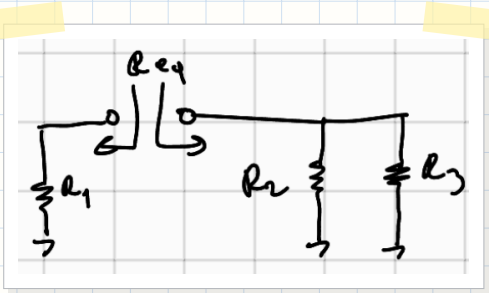
$$r_o = \frac{|V_A|}{I_{C,D}}$$

(BJT bloğundaki r_π satırından MOSFET bloğundaki r_o satırına bir çizgi çekilmiş.)

$$I_D = \tfrac{1}{2}\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

$$I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

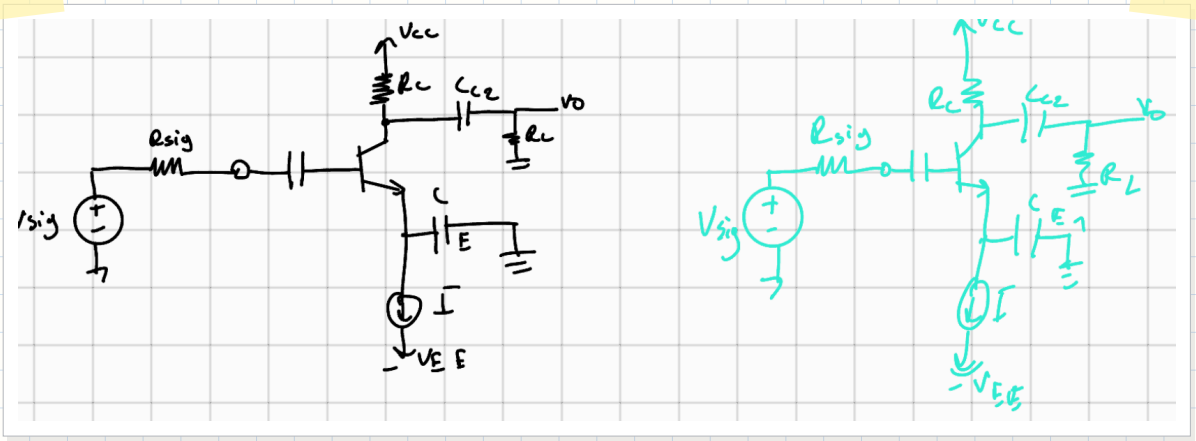
$$f_L = \frac{1}{2\pi}\left(\underbrace{\frac{1}{R_1 C_1}}_{10} + \underbrace{\frac{1}{R_2 C_2}}_{50\ \text{?Hz}\ \Rightarrow\ \text{dominant}} + \underbrace{\frac{1}{R_3 C_3}}_{100} \right)$$



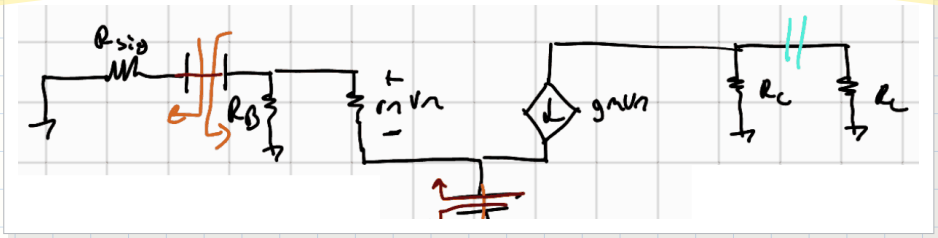
orijinal çizim, s. 1

$$R_{eq} = R_1 + R_2 \parallel R_3$$

The CE amplifier



orijinal çizim, s. 1



orijinal çizim, s. 1

$$R_{CC1} = R_{sig} + R_B \parallel r_\pi$$

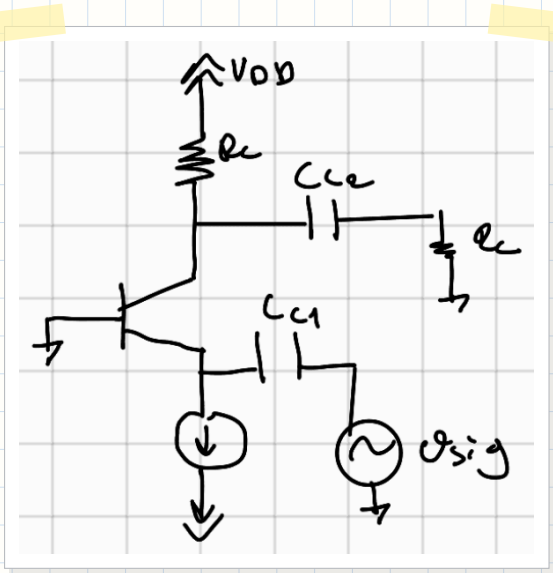
$$R_{E1} = \frac{R_{sig} \parallel R_B + r_\pi}{\beta + 1} = r_e + \frac{R_{sig} \parallel R_B}{\beta + 1}$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{1}{R_{CC1}\,C_{C1}} + \frac{1}{R_{CC2}\,C_{C2}} + \frac{1}{R_{E1}\,C_E}\right]$$

orj. s. 2

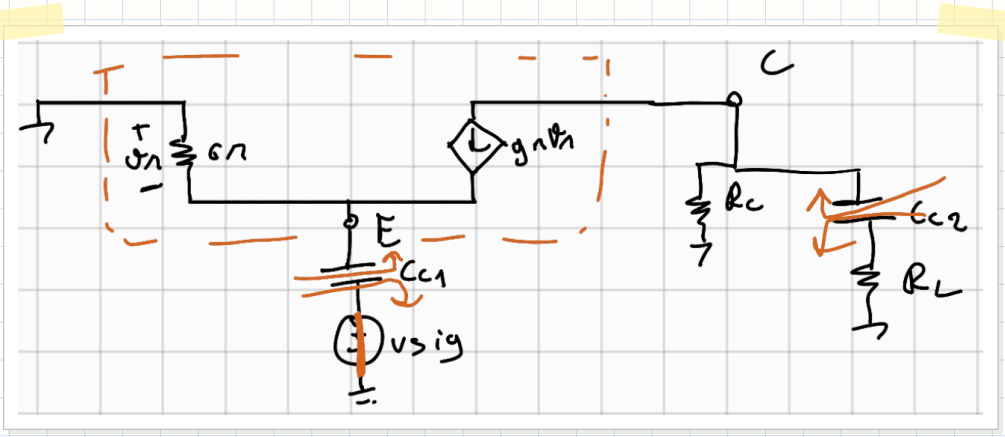
$$R_{CC2} = R_C + R_L$$

Soru



orijinal çizim, s. 2

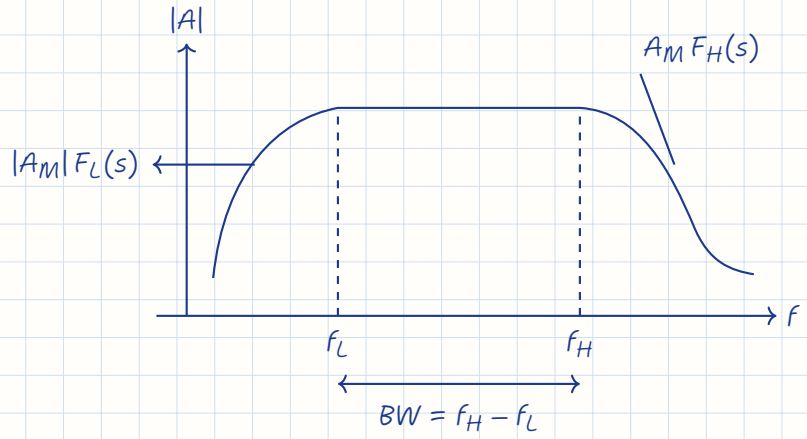
$f_L = ?$



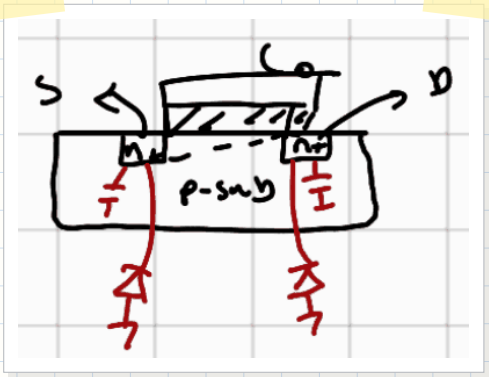
orijinal çizim, s. 2

from C_{C1} $R_{CC1} \approx r_e$

from C_{C2} $R_{CC2} = R_C + R_L$



orj. s. 3



orijinal çizim, s. 3

Triode Region: $C_{gs} = C_{gd} = \frac{1}{2} WL\, C_{ox}$

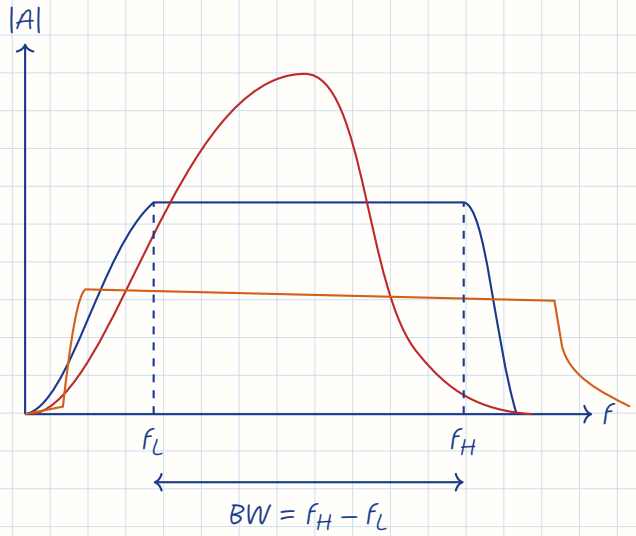
Sat region : $\begin{cases} C_{gs} = \frac{2}{3} WL\, C_{ox} \\ C_{gd} = 0 \end{cases}$

cut off region: $\begin{cases} C_{gs} = C_{gd} = 0 \\ C_{gb} = WL\, C_{ox} \end{cases}$

overlap capacitance: $C_{ov} = WL_{ov}\, C_{ox}$

$$\uparrow I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{\uparrow W}{L} (V_{GS} - V_t)^2$$

$$|A_0| = g_m r_o$$
$$= \frac{2I_D}{V_{OV}} \cdot \frac{V_A' L}{I_D}$$
$$= \frac{2 \cdot V_A' L \uparrow}{V_{OV} \rightarrow}$$

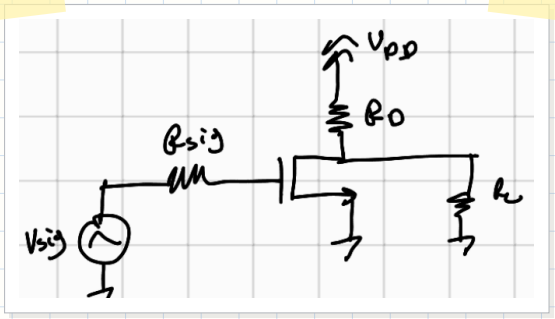


Source body capacitance:

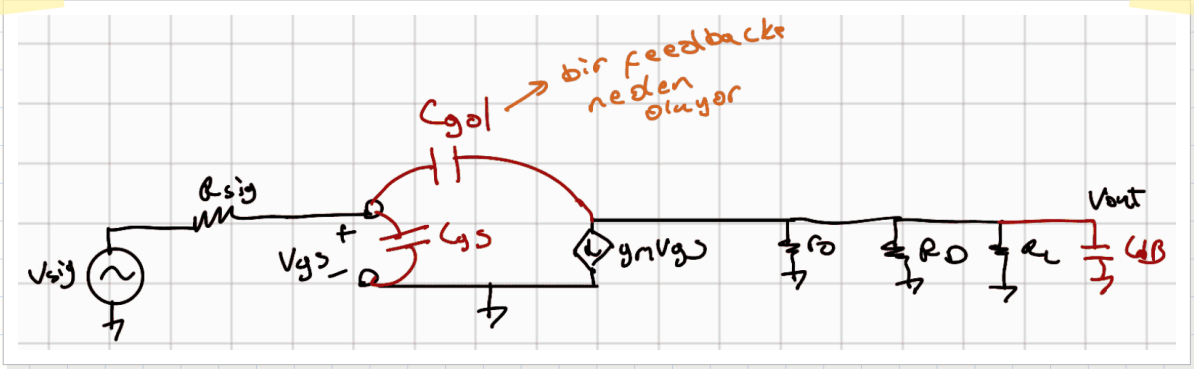
$$C_{sb} = \frac{C_{sb0}}{\sqrt{1 + \frac{V_{SB}}{V_0}}}$$

$$C_{db} = \frac{C_{db0}}{\sqrt{1 + \frac{V_{DB}}{V_0}}}$$

orj. s. 4

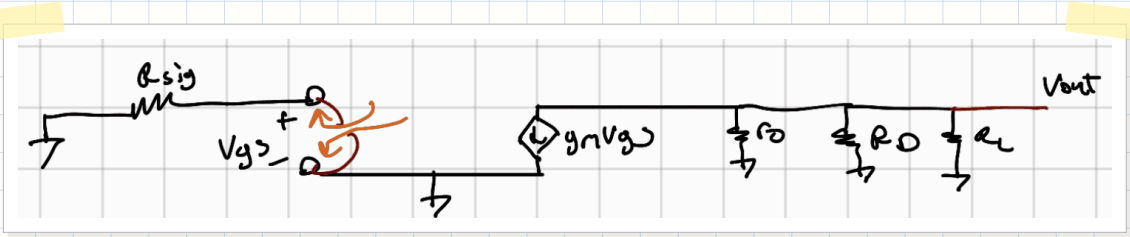


orijinal çizim, s. 4



orijinal çizim, s. 4

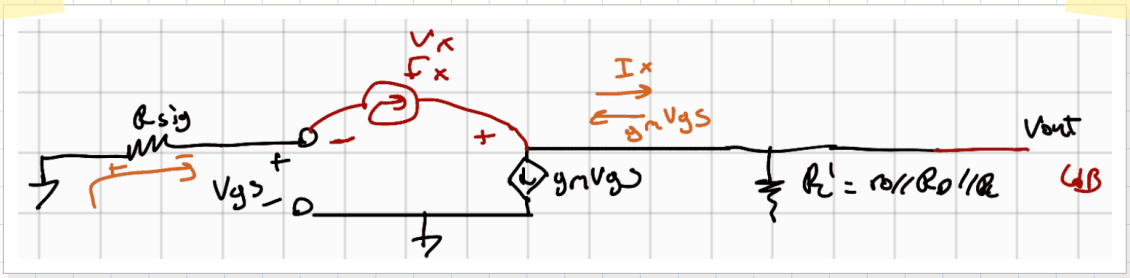
Analiz yaparken açık devre yapılırlar



orijinal çizim, s. 4

$$R_{gs} = R_{sig} \parallel$$

(ifade bu şekilde yarım bırakılmış)



orijinal çizim, s. 4

$$\frac{V_x}{I_x} = ?$$

$$V_{out} = V_x + V_{gs} = (I_x - g_m V_{gs}) R'_L$$
$$V_{gs} = -R_{sig} I_x$$
$$V_x - R_{sig} I_x = (I_x + g_m R_{sig} I_x) R'_L$$

(Aynı denklemler sağ tarafa turuncu kalemle tekrar yazılmış; son satırda g_m ile I_x arasına ok işaretiyle "R_{sig}" eklenmiş.)

orj. s. 5

$$V_x = I_x \left(R_{sig} (1 + g_m R'_L) + R'_L\right)$$

$$\frac{V_x}{I_x} = R_{sig} (1 + g_m R'_L) + R'_L$$

$$R_{gd} = R_{sig} (1 + g_m R'_L) + R'_L$$

$$R_{db} = R'_L$$

(Bu dört satır sağ tarafa turuncu kalemle bir kez daha yazılmış: $V_x/I_x = R_{gd}$ ve $R_{db} = R'_L$.)

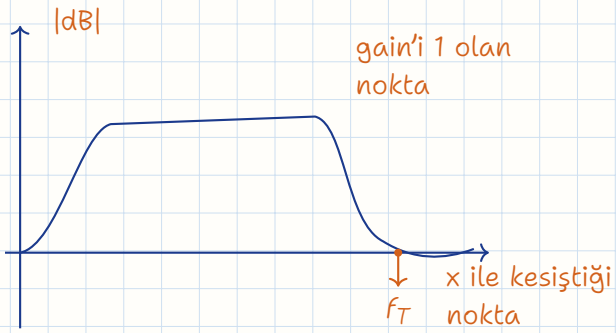
$$\tau = RC$$

$$\tau_H = R_{gs}\,C_{gs} + R_{gd}\,C_{gd} + R_{db}\,C_{db}$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi\,\tau_H}$$

unity gain frequency : $f_T = \dfrac{g_m}{2\pi\,(C_{gs} + C_{gd})}$

(Aynı formül sağ tarafa turuncu kalemle tekrar yazılmış.)



Şekil: Yapıştırılmış basılı şekil ("Model"): MOSFET yüksek frekans küçük işaret eşdeğer devresi (mavi zeminli). G ucundan C_{gd} ile D ucuna; gate düğümünden C_{gs} (V_{gs} "+" üstte, "−" altta) ile source düğümüne; bağımlı kaynaklar $g_m V_{gs}$ ve $g_{mb} V_{bs}$, r_o; source ile gövde (B) arasında C_{sb} (V_{bs}), drain ile gövde arasında C_{db}; S ve B uçları altta. Üzerine siyah kalemle, $g_{mb} V_{bs}$ kaynağının üstünden ve C_{db} kondansatörünün üstünden birer çizgi çekilmiş.
(orijinal notta, s. 5)

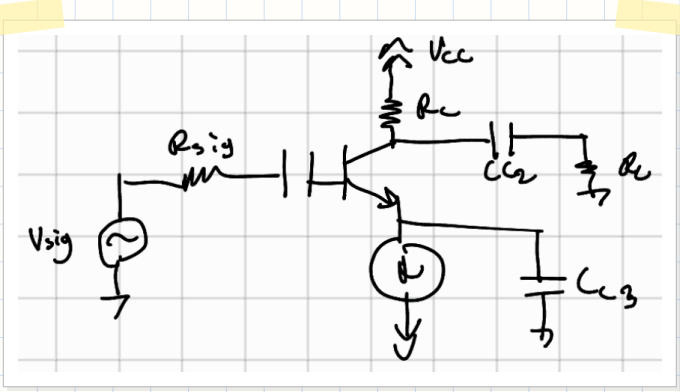
In BJT

$$C_\mu{}^{1} = \frac{C_{\mu 0}}{\left(1 + \dfrac{V_{CB}}{V_{0c}}\right)^m}$$

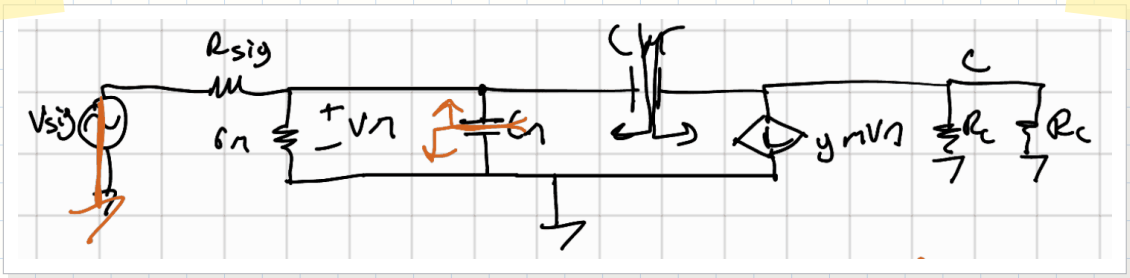
orj. s. 6

Şekil: Yapıştırılmış basılı şekil: BJT hibrit-π yüksek frekans modeli (mavi zeminli). B ucundan r_x ile B' düğümüne; B' ile E arasında r_π (V_π, "+" üstte) ve C_π; B' ile C arasında C_μ; C ile E arasında $g_m V_\pi$ bağımlı kaynağı ve r_o; uçlar B, C ve E.
(orijinal notta, s. 6)

[1] Claude notu: Alt indis el yazısında "n" gibi okunuyor; V_{CB} içerdiği için μ (CB eklemi) seçildi.

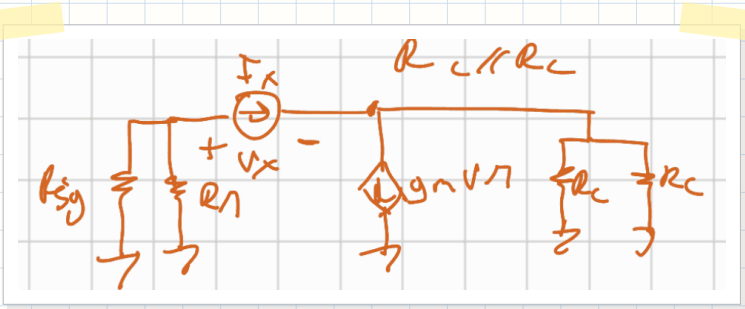


orijinal çizim, s. 6



orijinal çizim, s. 6

$$R_{C\pi} = R_{sig}$$



orijinal çizim, s. 6

Short circuit collector current

orj. s. 7

> *Şekil:* Basılı materyal (ders kitabı, Şekil 9.10): $|h_{fe}|$ (dB) — ω (log ölçek) Bode grafiği; β_0 düzeyinde düz, ω_β'da 3 dB düşüş, sonra −6 dB/octave eğimle ω_T'de 0 dB'ye iniyor. Şekil başlığındaki "Bode plot" sözcükleri elle karalanarak üzeri çizilmiş. Dijitalleştirilmedi.
> *(orijinal notta, s. 7)*

> **Şekil:** Basılı materyal (ders kitabı, Tablo 9.2 "The BJT High-Frequency Model"): hibrit-π yüksek frekans modeli (r_x, r_π, C_π, C_μ, $g_m V_\pi$, r_o) ve model parametrelerinin formülleri. Dijitalleştirilmedi.
> *(orijinal notta, s. 7)*

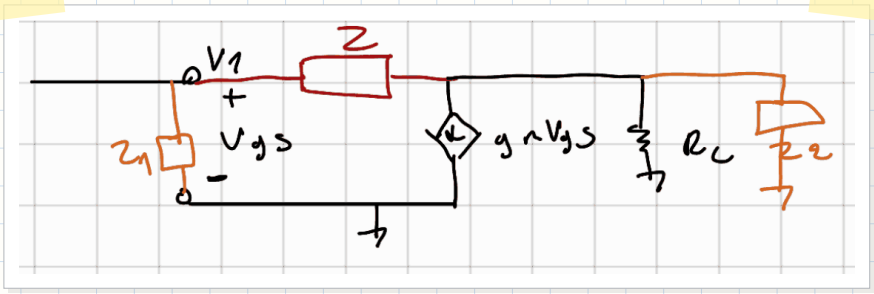
f_H'da dominant olan en küçük olan

Miller's Theorem

$$V_2 = k\,V_1$$

> **Şekil:** Basılı materyal: Miller teoremi şekli. Solda 1 ve 2 uçları arasında Z empedansı (I akımı, $V_2 = KV_1$); eşdeğeri sağda: 1 ucundan toprağa Z_1, 2 ucundan toprağa Z_2; $Z_1 = Z/(1-K)$, $Z_2 = Z/(1-\frac{1}{K})$. Dijitalleştirilmedi.
> *(orijinal notta, s. 7)*

orj. s. 8



orijinal çizim, s. 8

$$V_1 = V_{gs}$$
$$V_2 = -g_m V_{gs} \cdot R'_L$$
$$|K| \approx g_m R'_L$$

> **Şekil:** Basılı materyal (ders kitabı, iki şekil): (1) MOSFET yüksek frekans küçük işaret eşdeğer devresi: V'_{sig}, R'_{sig}, G düğümü, C_{gs} (V_{gs}), G–D arasında C_{gd}, $g_m V_{gs}$, R'_L, C_L ve çıkış V_o. (2) Miller dönüşümünden sonraki eşdeğer devre: girişte C_{gs} ile paralel C_1 (toplam "C_{in}"), çıkışta C_L ile paralel C_2 (toplam "C'_L"). Dijitalleştirilmedi.
> *(orijinal notta, s. 8)*

Görünen kapasitörler low frekansı belirler

Mosfet : $f_T = g_m/2\pi\,(C_{gs} + C_{gd})$

BJT : $f_T = g_m/2\pi(C_\pi + C_\mu)$

$GB = A_M f_H$ $f_T = GB$

