Bode diagramok, erősítők kisfrekvenciás viselkedése

0. példa:

Fejben számolva töltse ki az alábbi táblázatot!

$a^{dB} = 20 \log_{10} |A|$, $\varphi = \mathrm{arc}(A)$, egy nemtriviális adat: $\log_{10}(2)=0.3$

A	1	-10	0.01	2	5	-5/j	200	$\sqrt{2}$	-8	5/8	$5\cdot10^{-6}$	1+j	$1/(1+j)^2$	2j(1+j)	
a dB	0	20	-40	6	14	14	46	3	18	-4	-106	3	-6	9	
φ rad	0	±π	0	0	0	π/2	0	0	±π	0	0	π/4	-π/2	3/4 π	

1. példa:

Adott egy kétkapu feszültség transzfer függvénye: $K(s) = \dfrac{2+200s}{20+45s+10s^2}$.

Rajzolja fel a töréspontos Bode diagrammokat!

Megoldás: a $K(s)$ transzfer függvényt Bode-normált gyöktényezős alakra kell alakítani, azaz

$$K(s) = \frac{2+200s}{20+45s+10s^2} = k\frac{1+\dfrac{s}{\omega_z}}{\left(1+\dfrac{s}{\omega_{p1}}\right)\left(1+\dfrac{s}{\omega_{p2}}\right)} .$$

A Bode-normált gyöktényezős alak paraméterei a zérusokhoz (számláló) és a pólusokhoz tartozó törésponti frekvenciák (ω_z, ω_{p1}, ω_{p2}) és a k erősítés.

Tehát:

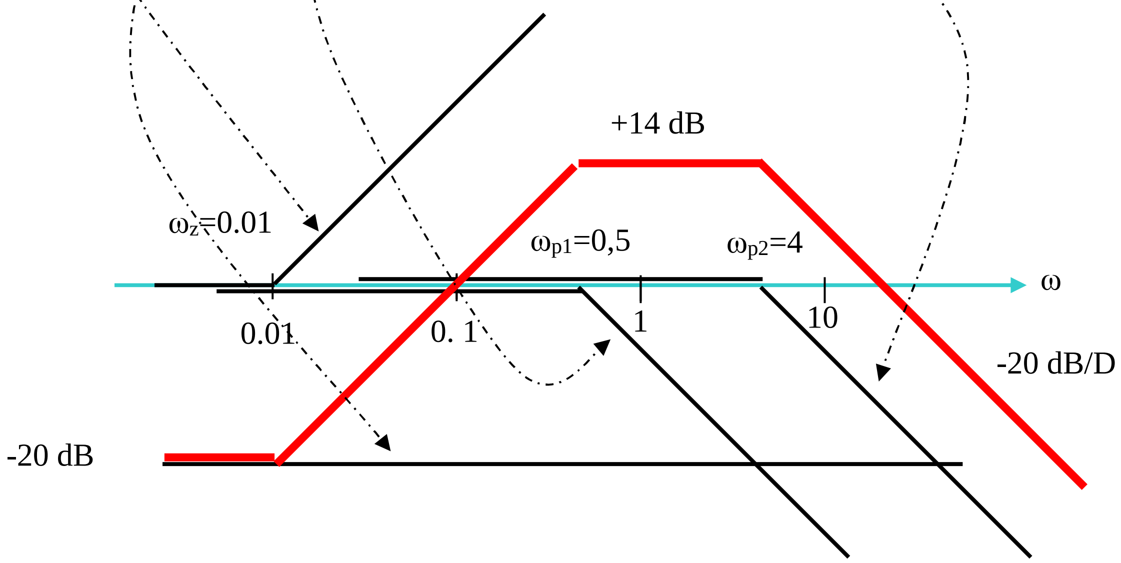
$$K(s) = \frac{2+200s}{20+45s+10s^2} = \frac{2(1+100s)}{20\ \left(1+2{,}25s+0{,}5s^2\right)} = 0{,}1\frac{(1+100s)}{(1+2s)(1+0{,}25s)} = 0{,}1\frac{\left(1+\dfrac{s}{0{,}01}\right)}{\left(1+\dfrac{s}{0{,}5}\right)\left(1+\dfrac{s}{4}\right)}$$

két valós gyök:
$p_1 =$ -0,5 és $p_2 =$ -4

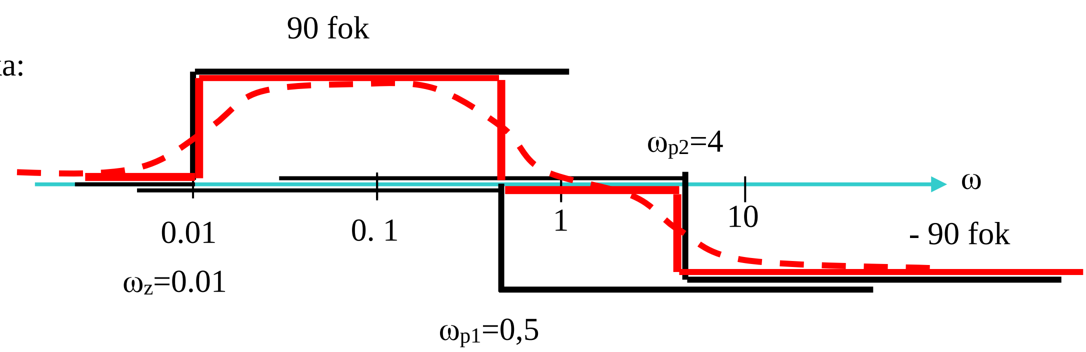
Az eredő Bode diagramm az egyes gyöktényezőkhöz tartozó Bode-diagramm építőkockák grafikus öszege:

$$0{,}1\frac{\left(1+\frac{s}{0{,}01}\right)}{\left(1+\frac{s}{0{,}5}\right)\left(1+\frac{s}{4}\right)}$$

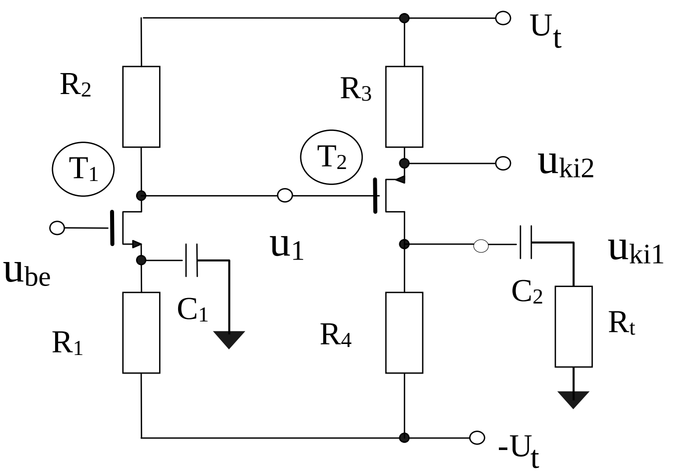
Ampltúdó:



Fázis karakterisztika:



2.) Példa



T_1 n csatornás MOS FET,

$I_{D01} = 1\,\text{mA}, S_1 = 1\,\text{mS}$

T_2 p csatornás MOS FET,

$I_{D02} = 1\,\text{mA}, S_2 = 1\,\text{mS}$

$U_t = 12\,\text{V}, \quad R_1 = R_3 = 6\,\text{k}\Omega,$

$R_2 = R_4 = R_t = 12\,\text{k}\Omega,$

$C_1 = C_2 = 10\,\mu F$

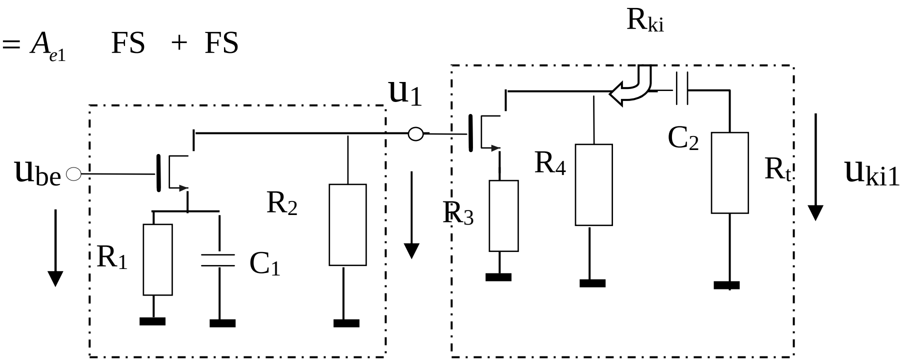
Kérdések:

- frekvencia független kisjelű jellemzők: $\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = ?$ $\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = ?$ $R_{ki1} = ?$ $R_{ki2=?}$
- frekvencia függő kisjelű jellemzők: $\frac{u_{ki1}}{u_{be}}(s) = ?$ $\frac{u_{ki2}}{u_{be}}(s) = ?$ $R_{ki1}(s) = ?$ $R_{ki2}(s) = ?$
    - o Bode diagram?

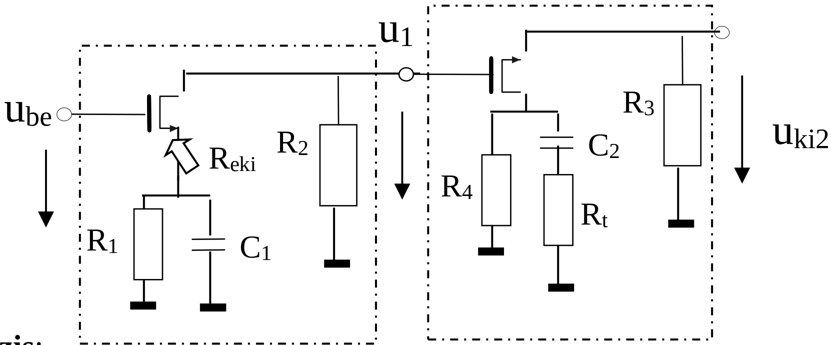
Megoldás:

A feladat dekomponálása:
kétfokozatú erősítő:

$$\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = \frac{u_1}{u_{be}}\frac{u_{ki1}}{u_1} = A_1 A_{21} = A_{e1} \qquad \text{FS} \;+\; \text{FS}$$



$$\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = \frac{u_1}{u_{be}}\frac{u_{ki2}}{u_1} = A_1 A_{22} = A_{e2} \qquad \text{FS} \;+\; \text{FD}$$



Frekvencia független analízis:

- szándékolt kapacitások (csatoló C_2, hidegítő C_1) már rövidzárak
- parazita kapacitások még szakadások

1. fokozat (FS): $\frac{u_1}{u_{be}} = A_1 = -\frac{R_2}{1/S_1} = -S_1 R_2 = -12$

2. fokozat (FS) $\frac{u_{ki1}}{u_1} = A_{21} = -\frac{R_4 \times R_t}{1/S_2 + R_3} = -\frac{S_2(R_4 \times R_t)}{1+S_2R_3} = -\frac{6}{7}$ $\quad R_{ki1} = R_4 = 12k\Omega$

(FD) $\frac{u_{ki2}}{u_1} = A_{22} = \frac{R_3}{1/S_2 + R_3} = \frac{S_2R_3}{1+S_2R_3} = +\frac{6}{7}$ $\quad R_{ki2} = R_3 \times \frac{1}{S_2} = \frac{6}{7}k\Omega$

Eredő: $\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = A_1 A_{21} = (-12)\left(-\frac{6}{7}\right) = 10{,}29$

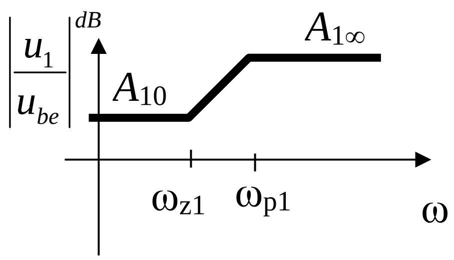
$\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = A_1 A_{22} = (-12)\left(\frac{6}{7}\right) = -10{,}29$ (a két kimenettel egy fázis hasító erősítő)

Frekvencia függő analízis: C értékű kondenzátor impedanciája: $\frac{1}{sC}$

1. fokozat: **hidegítő kondenzátor hatása**, C_1 miatt $u_{be}(s)$ feszültség gerjesztésre frekvencia függő $i_1(s)$ tranzisztor-áram:

$$i_1(s) = \frac{u_{be}(s)}{\frac{1}{S_1} + R_1 \times \frac{1}{sC_1}} = \frac{u_{be}(s)}{\frac{1}{S_1} + \frac{R_1}{1+sC_1R_1}} = \frac{S_1(1+sC_1R_1)}{1+sC_1R_1+S_1R_1}u_{be}(s) = \frac{S_1}{1+S_1R_1}\frac{(1+sC_1R_1)}{1+\frac{sC_1R_1}{1+S_1R_1}}u_{be}(s)$$

$$\frac{i_1(s)}{u_{be}(s)} == \frac{S_1}{1+S_1R_1}\frac{(1+sC_1R_1)}{1+\frac{sC_1R_1}{1+S_1R_1}} \qquad u_1(s) = -R_2 i_1(s)$$



$$\frac{u_1(s)}{u_{be}(s)} == -\frac{R_2S_1}{1+S_1R_1}\frac{(1+sC_1R_1)}{1+\frac{sC_1R_1}{1+S_1R_1}} = A_{10}\frac{1+\frac{s}{\omega_{z1}}}{1+\frac{s}{\omega_{p1}}}$$

$$A_{10} == -\frac{R_2S_1}{1+S_1R_1} = -\frac{12}{7}, \qquad \omega_{z1} = \frac{1}{R_1C_1}, \quad \omega_{p1} = \frac{1}{\left(R_1 \times \frac{1}{S}\right)C_1} = \frac{1}{(R_1 \times R_{eki})C_1},$$

$$A_{1\infty} == A_{10}\frac{\omega_{p1}}{\omega_{z1}} = A_1 = -R_2S_1 = -12$$

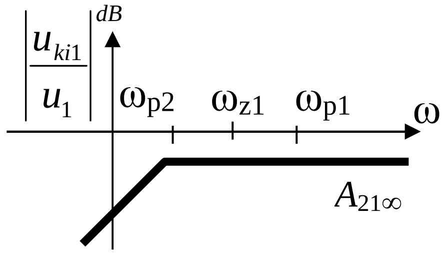
$$\omega_{z1} = \frac{1}{C_1R_1} = \frac{1}{10*10^{-6}*6*10^3} = \frac{1000}{60} = 16.63\frac{rad}{\sec}$$

$$\omega_{p1} = \frac{1+S_1R_1}{C_1R_1} = \frac{1+1*6}{10*10^{-6}*6*10^3} = \frac{7000}{60} = 116.7\frac{rad}{\sec}$$

2. fokozat u_{ki1} kimenetre:

C_2 **csatoló kondenzátor hatása**: $u_1(s)$ feszültség gerjesztésre frekvencia függő $u_{ki1}(s)$ kimeneti feszültség a kollektor köri frekvenciafüggő impedancia miatt

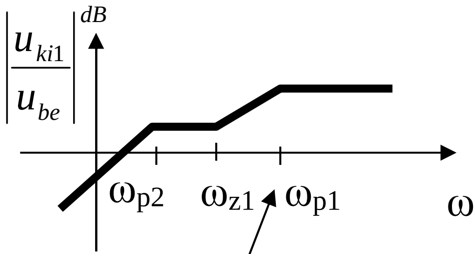
$$\frac{u_{ki1}}{u_1}(s) = -\frac{R_4 \times \left(\frac{1}{sC_2} + R_t\right)}{\frac{1}{S_2} + R_3} \frac{R_t}{\frac{1}{sC_2} + R_t} = -\frac{\frac{R_4 R_t}{R_4 + \frac{1}{sC_2} + R_t}}{\frac{1 + S_2 R_3}{S_2}} = -\frac{S_2 (R_4 \times R_t)}{1 + S_2 R_3} \frac{sC_2 (R_t + R_4)}{1 + sC_2 (R_t + R_4)}$$



$$\frac{u_{ki1}}{u_1}(s) == A_{21\infty} \frac{\frac{s}{\omega_{p2}}}{1 + \frac{s}{\omega_{p2}}}, \quad A_{21\infty} = -\frac{S_2 (R_4 \times R_t)}{1 + S_2 R_3} = -\frac{6}{7}$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{C_2 (R_t + R_4)} = \frac{1}{C_2 (R_t + R_{ki1})} = \frac{1}{10 \cdot 10^{-6} 24 \cdot 10^3} = \frac{1000}{240} = 4{,}17 \frac{rad}{s}$$

Eredő feszültség átvitel:



$$\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = A_{10} A_{210} \frac{\left(1 + \frac{s}{\omega_{z1}}\right)\left(\frac{s}{\omega_{p2}}\right)}{\left(1 + \frac{s}{\omega_{p1}}\right)\left(1 + \frac{s}{\omega_{p2}}\right)}$$

Alsó határfrekvencia: ωp1 = 116,7 rad/s = 18,58 Hz

2. fokozat u_{ki2} kimenetre:

A C_2 csatoló kondenzátornak nincs hatása az $u_{ki2}(s)$ kimeneti feszültségre, így az frekvencia független.

$$\frac{u_{ki2}}{u_1}(s) = A_{22} = \frac{R_3}{1/S_2 + R_3} = -\frac{S_1 R_3}{1 + S_2 R_3} = +\frac{6}{7}$$

$$\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = A_{10} A_{22} \frac{\left(1 + \frac{s}{\omega_{z1}}\right)}{\left(1 + \frac{s}{\omega_{p1}}\right)}$$