

Električni krugovi - Lab

Lab 5. Priprema

Električni krugovi s operacijskim pojačalom

– moj najdraži programski jezik je lemljenje –

Todd K. Whitehurst

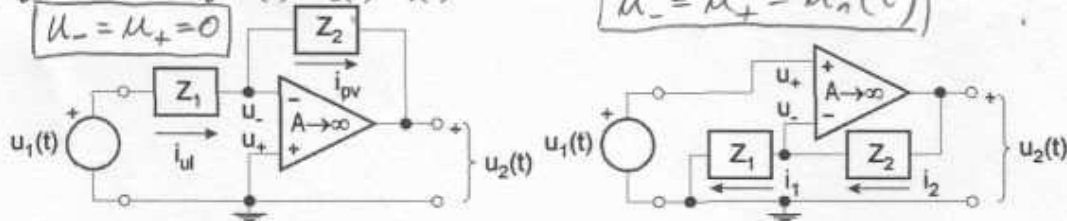
Ime i Prezime: _____

Asistent: _____

Grupa: _____

Napomena: Ukoliko nema dovoljno prostora neka student doda list papira na kojemu će postupak koji je doveo do rješenja. **Lab Pripremu** treba odštampati dvostrano i popuniti je te pričvrstiti dodatnu stranicu papira pomoću spajalice. Popunjena **Lab Priprema** se predaje asistentu na početku laboratorijskih vježbi.

1. Za električne krugove sa operacijskim pojačalom prikazane slikom 1 izračunati naponske prijenosne funkcije $T(s) = U_2(s)/U_1(s)$.



Slika 1 (a) Invertirajuće pojačalo. (b) Neinvertirajuće pojačalo.

$$I_{UL} = I_{PV}$$

$$\frac{U_1(s)}{Z_1} = - \frac{U_2(s)}{Z_2}$$

$$T(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = - \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$U_- = U_+ = U_n(t)$$

$$\frac{U_-(s)}{Z_1} = \frac{U_2(s)}{Z_1 + Z_2}$$

$$\frac{U_1(s)}{Z_1} = \frac{U_2(s)}{Z_1 + Z_2}$$

$$T(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = 1 + \frac{Z_2}{Z_1}$$

2. Za električni krug prikazan slikom 1(a) izračunati naponske prijenosne funkcije $T(s) = U_2(s)/U_1(s)$, ako su uvrštene impedancije $Z_1(s)$ i $Z_2(s)$:

a) $Z_1(s) = R_1$ i $Z_2(s) = R_2$

$$T(s) = - \frac{Z_2}{Z_1} = - \frac{R_2}{R_1}$$

b) $Z_1(s) = R_1$ i $Z_2(s) = C_2 \rightarrow Z_2 = \frac{1}{sC_2}$

$$T(s) = - \frac{Z_2}{Z_1} = - \frac{1}{sR_1C_2}$$

c) $Z_1(s) = R_1$ i $Z_2(s) = R_2 \parallel C_2 = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{sC_2}}{R_2 + \frac{1}{sC_2}}$

$$T(s) = - \frac{Z_2}{Z_1} = - \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + sR_2C_2}$$

e) $Z_1(s) = C_1 + R_1$ i $Z_2(s) = R_2$

$$Z_1 = R_1 + \frac{1}{sC_1} = \frac{sR_1C_1 + 1}{sC_1}$$

d) $Z_1(s) = C_1$ i $Z_2(s) = R_2$ $Z_1 = \frac{1}{sC_1}$

$$T(s) = - \frac{Z_2}{Z_1} = - sR_2C_1$$

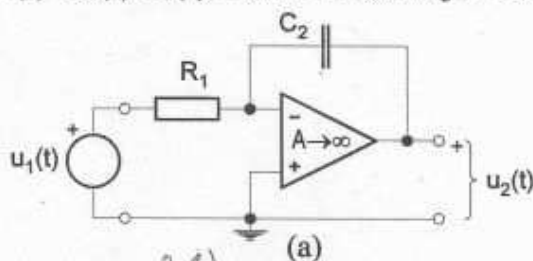
f) Za krug 1(b) $Z_1(s) = R_1$ i $Z_2(s) = R_2$

$$T(s) = 1 + \frac{Z_2}{Z_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

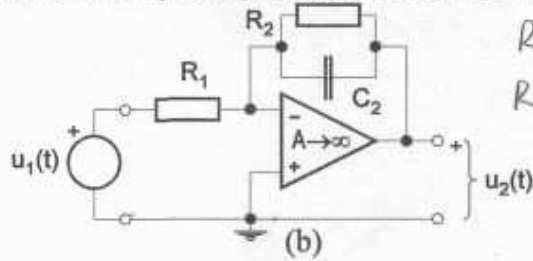
$$T(s) = - \frac{Z_2}{Z_1} = - \frac{R_2}{\frac{sR_1C_1 + 1}{sC_1}} = \frac{-R_2C_1 \cdot s}{1 + sR_1C_1}$$

$$T(s) = - \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{s}{\frac{1}{R_1C_1} + s}$$

3. Za električne krugove prikazane slikom 2 izračunati naponske prijenosne funkcije $T(s) = U_2(s)/U_1(s)$, ako su zadane vrijednosti elemenata $R_1 = 5\text{k}\Omega$, $R_2 = 20\text{k}\Omega$ i $C_2 = 100\text{nF} = 10^{-7}\text{F}$



(a)



(b)

Slika 2 Električni krugovi u zadatku 3.

$T(s)$ iz ZADATKA 2b)

$$T(s) = -\frac{1}{sC_2R_1} = -\frac{1}{s \cdot 10^{-7} \cdot 5 \cdot 10^3}$$

$$T(s) = -\frac{2000}{s}$$

$T(s)$ iz ZADATKA 2c)

$$T(s) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + sR_2C_2}$$

$$T(s) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{R_2C_2 \left(\frac{1}{R_2C_2} + s \right)}$$

$$T(s) = -\frac{2000}{500 + s}$$

- 3.1 Kako se zove električni krug na slici 2(a), a kako na slici 2(b)?

NA SLICI 2(a) JE: IDEALNI INTEGRATOR

NA SLICI 2(b) JE: REALNI INTEGRATOR

- 3.2 Za krug na slici 2(a): Koliko iznosi vremenska konstanta kruga? Ako je zadana naponska pobuda $u_1(t) = 0.25 S(t)$ [V], kako glasi izraz za napon $u_2(t)$? Koliko iznosi napon $u_2(t_0)$ u trenutku $t_0 = 10$ mili sekundi? Skicirati valne oblike $u_1(t)$ i $u_2(t)$.

$$T = R_1C_2 = 5 \cdot 10^{-4} [\text{s}] = 0.5 [\text{ms}]$$

$$U_1 = \frac{0.25}{s}$$

$$U_2 = T(s) \cdot U_1(s) = -\frac{2000}{s} \cdot \frac{0.25}{s} = -500 \cdot \frac{1}{s^2}$$

$$u_2(t) = -500t \cdot S(t)$$

$$u_2(t_0) = u_2(10\text{ms}) = -500 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = -5\text{V}$$

SKICA VALNIH OBLIKA $u_1(t)$ i $u_2(t)$
JE NA DODATNOJ STRANICI

- 3.3 Za krug na slici 2(b): Koliko iznosi vremenska konstanta kruga? Ako je zadana naponska pobuda $u_1(t) = 0.25 S(t)$ [V], kako glasi izraz za napon $u_2(t)$? Koliko iznosi napon $u_2(t_0)$ u trenutku $t_0 = 10$ mili sekundi? Skicirati valne oblike $u_1(t)$ i $u_2(t)$.

$$T = R_2C_2 = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 0.002 [\text{s}] = 2 [\text{ms}]$$

$$U_1(s) = \frac{0.25}{s}$$

$$U_2(s) = T(s) \cdot U_1(s) = -\frac{2000}{500 + s} \cdot \frac{0.25}{s}$$

$$U_2(s) = -\frac{500}{(500 + s) \cdot s} \rightarrow u_2(t)$$

$$u_2(t) = -500 \cdot \frac{1}{500} (1 - e^{-500t})$$

$$u_2(t) = -1 + e^{-500t}$$

$$u_2(t \rightarrow \infty) = -1$$

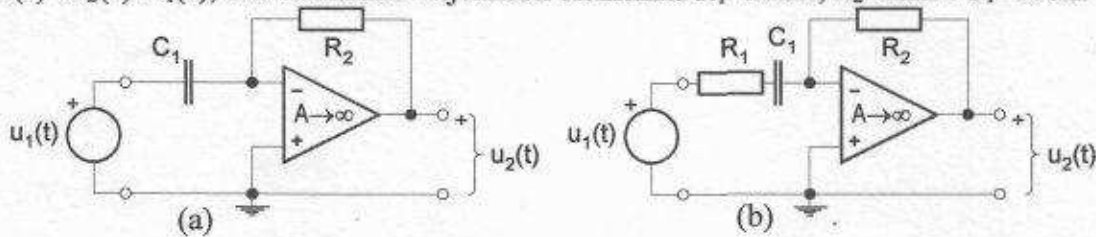
KAKO JE $T = 2\text{ms}$, PRIJELAZNA POJAVA ZAVRŠI VEĆ NAKON 5T TJ. NAKON 10ms.

KRUG NA SLICI 2(b) PONAŠA SE KAO INTEGRATOR SAMO ZA VRIJEME DOK JE NAPON NA KONDENZATORU MALI TJ. ZA VRIJEME $t < T = 2\text{ms}$, A TO SE VIDI NA SKICI.

SKICA VALNIH OBLIKA $u_1(t)$ i $u_2(t)$
JE NA DODATNOJ STRANICI.

ISPRAVAK: $u_1(t) = 10^3 t$

4. Za električne krugove prikazane slikom 3 izračunati naponske prijenosne funkcije $T(s) = U_2(s)/U_1(s)$, ako su zadane vrijednosti elemenata $R_1 = 20\text{k}\Omega$, $R_2 = 5\text{k}\Omega$ i $C_1 = 100\text{nF}$.



$T(s)$ IZ ZADATKA 2d)

Slika 3 Električni krugovi u zadatku 4.

$T(s)$ IZ ZADATKA 2e)

$$T(s) = -s R_2 C_1 = -s \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9}$$

$$T(s) = -5 \cdot 10^{-4} s$$

$$T(s) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{s}{\frac{1}{R_1 C_1} + s} = -\frac{5}{20} \cdot \frac{s}{\frac{1}{20 \cdot 10^3 \cdot 10^{-9}} + s}$$

$$T(s) = -\frac{1}{4} \cdot \frac{s}{500 + s}$$

- 4.1. Kako se zove električni krug na slici 3(a), a kako na slici 3(b)?

NA SLICI 3(a) JE: IDEALNI DERIVATOR

NA SLICI 3(b) JE: REALNI DERIVATOR

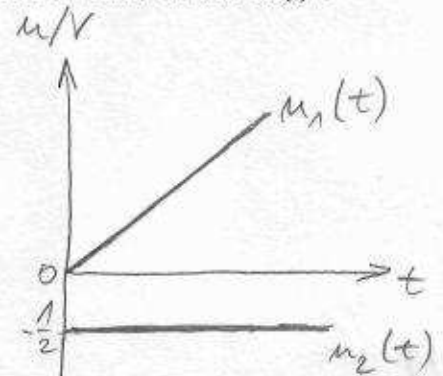
- 4.2. Za krug na slici 3(a): Koliko iznosi vremenska konstanta kruga? Ako je zadana naponska pobuda $u_1(t) = 10^3 t$ S(t) [V], kako glasi izraz za napon $u_2(t)$? Skicirati valne oblike $u_1(t)$ i $u_2(t)$.

$$T = R_2 C_1 = 0,0005 \text{ [s]} = 0,5 \text{ [ms]}$$

$$u_1(t) = 10^3 t \rightarrow U_1(s) = 10^3 \cdot \frac{1}{s^2}$$

$$U_2(s) = T(s) \cdot U_1(s) = -5 \cdot 10^{-4} s \cdot 10^3 \frac{1}{s^2} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{s}$$

$$u_2(t) = -\frac{1}{2} \cdot 1(t)$$



- 4.3. Za krug na slici 3(b): Koliko iznosi vremenska konstanta kruga? Ako je zadana naponska pobuda $u_1(t) = 10^3 t$ S(t) [V], kako glasi izraz za napon $u_2(t)$? Skicirati valne oblike $u_1(t)$ i $u_2(t)$?

$$T = R_1 C_1 = 20 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 0,002 = 2 \text{ [ms]}$$

$$u_1(t) = 10^3 t \rightarrow U_1(s) = 10^3 \frac{1}{s^2}$$

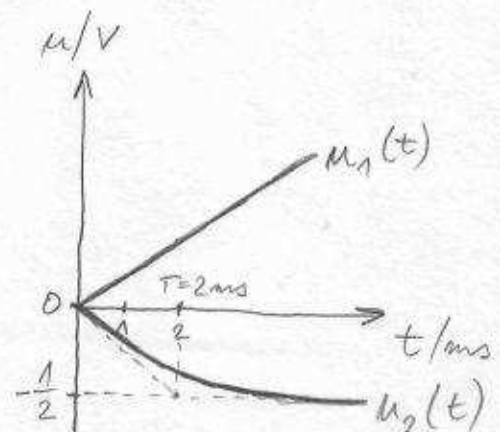
$$U_2(s) = T(s) \cdot U_1(s) = -\frac{1}{4} \frac{s}{500 + s} \cdot 10^3 \frac{1}{s^2}$$

$$U_2(s) = -250 \cdot \frac{1}{(500 + s) \cdot s}$$

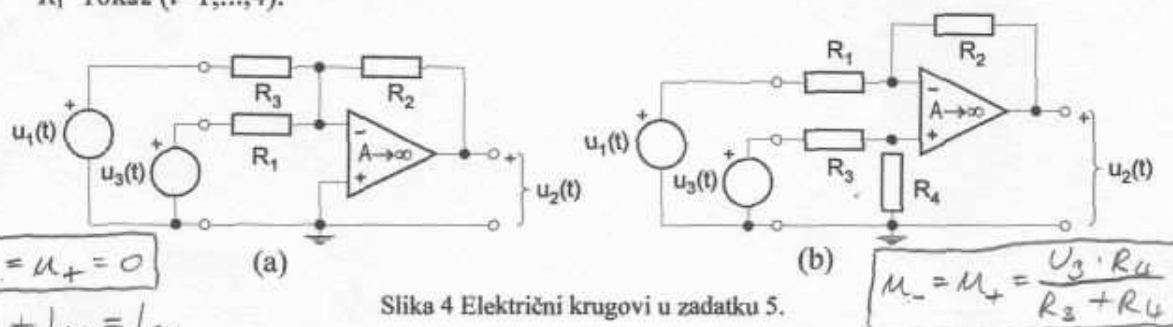
$$u_2(t) = -250 \cdot \frac{1}{500} (1 - e^{-500t})$$

$$u_2(t) = -\frac{1}{2} (1 - e^{-500t})$$

$$u_2(t \rightarrow \infty) = -\frac{1}{2} \text{ [V]}$$



5. Za električne krugove prikazane slikom 4 izračunati naponske prijenosne funkcije $T(s) = U_2(s)/U_1(s)$, kao funkcije otpora R_1 do R_4 . Zatim uvrstiti vrijednosti svih otpora: $R_i = 10k\Omega$ ($i=1, \dots, 4$).



$$U_- = U_+ = 0$$

$$|R_3 + |R_1 = |R_2$$

→ POSTUPAK NA DODATNOJ STRANICI

$$T(s) = -\left(1 + \frac{U_3(s)}{U_1(s)}\right)$$

$$|R_1 = |R_2$$

→ POSTUPAK NA DODATNOJ STRANICI

$$T(s) = \frac{U_3(s)}{U_1(s)} - 1$$

- 5.1 Kako se zove električni krug na slici 4(a), a kako na slici 4(b)?

NA SLICI 4(a) JE: INVERTIRAJUĆI SUMATOR

NA SLICI 4(b) JE: OPĆI SUMATOR

- 5.2 Za krug na slici 4(a): Ako je zadana naponska pobuda $u_1(t) = \sin 100\pi t$ [V], $u_3(t) = 5$ [V] kako glasi izraz za napon $u_2(t)$? Skicirati valne oblike $u_1(t)$, $u_2(t)$ i $u_3(t)$.

$$U_2(s) = T(s) \cdot U_1(s) = -\left(1 + \frac{U_3(s)}{U_1(s)}\right) U_1(s) = -U_1(s) - U_3(s)$$

$$u_2(t) = [-u_1(t) - u_3(t)] \cdot \delta(t) = -5 - \sin 100\pi t = -(5 + \sin 100\pi t)$$

SKICA VALNIH OBLIKA $u_1(t)$, $u_2(t)$ i $u_3(t)$ JE NA DODATNOJ STRANICI

- 5.3. Za krug na slici 4(b): Ako je zadana naponska pobuda $u_1(t) = \sin 100\pi t$ [V], $u_3(t) = 5$ [V] kako glasi izraz za napon $u_2(t)$? Skicirati valne oblike $u_1(t)$, $u_2(t)$ i $u_3(t)$.

$$U_2(s) = T(s) \cdot U_1(s) = \left[\frac{U_3(s)}{U_1(s)} - 1\right] \cdot U_1(s) = U_3(s) - U_1(s)$$

$$u_2(t) = [u_3(t) - u_1(t)] \cdot \delta(t) = 5 - \sin 100\pi t$$

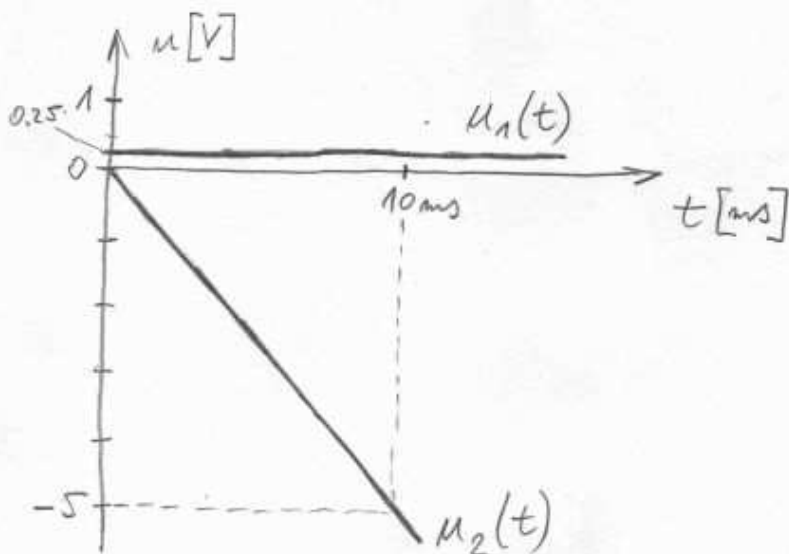
SKICA VALNIH OBLIKA $u_1(t)$, $u_2(t)$ i $u_3(t)$ JE NA DODATNOJ STRANICI

DODATAK UZ ZADATAK 3.SKICA VALNIH OBLIKA $u_1(t)$ I $u_2(t)$ UZ SLIKU 2(a)

$$u_1(t) = 0.25 \cdot S(t)$$

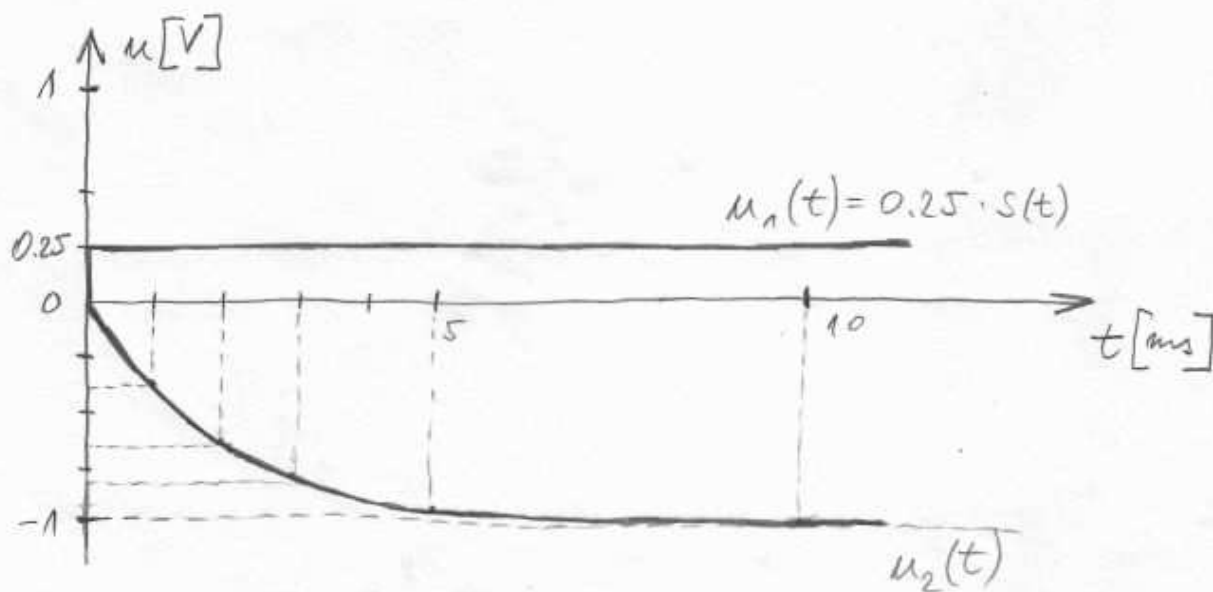
$$u_2(t) = -500t \cdot S(t)$$

$$u_2(t_0 = 10\text{ms}) = -5\text{V}$$

SKICA VALNIH OBLIKA $u_1(t)$ I $u_2(t)$ UZ SLIKU 2(b)

$$u_1(t) = 0.25 \cdot S(t), \quad u_2(t) = (-1 + e^{-500t}), \quad T = 2\text{ms}$$

$t(\text{ms})$	0	1	2	3	5	10	$\rightarrow \infty$
$u_2(t)$	0	-0.39	-0.63	-0.78	-0.91	-0.99	-1



DODATAK UZ ZADATAK 5.

NAPONSKE PRIJENOSNE FUNKCIJE UZ SLIKU 4(a)

$$u_- = u_+ = 0 \quad (\text{POSLEDICA PRIVIDNOG KRATKOG SPOJA})$$

$$I_{R2} = I_{R1} + I_{R3}$$

$$-\frac{U_2}{R_2} = \frac{U_1}{R_3} + \frac{U_3}{R_1} \quad \Big| \cdot \left(-\frac{R_2}{U_1}\right)$$

$$T(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = - \left(\frac{R_2}{R_3} + \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{U_3(s)}{U_1(s)} \right)$$

$$\text{UVRSTIMO OTPORE} \quad R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$T(s) = - \left(1 + \frac{U_3(s)}{U_1(s)} \right)$$

UZ SLIKU 4(b)

$$u_- = u_+ = \frac{U_3 R_4}{R_3 + R_4}$$

$$I_{R2} = I_{R1}$$

$$\frac{U_-(s) - U_2(s)}{R_2} = \frac{U_1(s) - U_-(s)}{R_1}$$

$$\frac{U_3(s) \cdot R_4}{R_2(R_3 + R_4)} - \frac{U_2(s)}{R_2} = \frac{U_1(s)}{R_1} - \frac{U_3 R_4}{R_1(R_3 + R_4)}$$

$$-\frac{U_2(s)}{R_2} = \frac{U_1(s)}{R_1} - \frac{U_3 R_4}{R_3 + R_4} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad \Big| \cdot \left(-\frac{R_2}{U_1(s)}\right)$$

$$T(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = - \frac{R_2}{R_1} + \frac{U_3(s)}{U_1(s)} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right)$$

$$\text{UVRSTIMO} \quad R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$T(s) = \frac{U_3(s)}{U_1(s)} - 1$$