ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Tranzistorové zesilovače

Předmět : Elektronické systémy (KEI/ELNS)

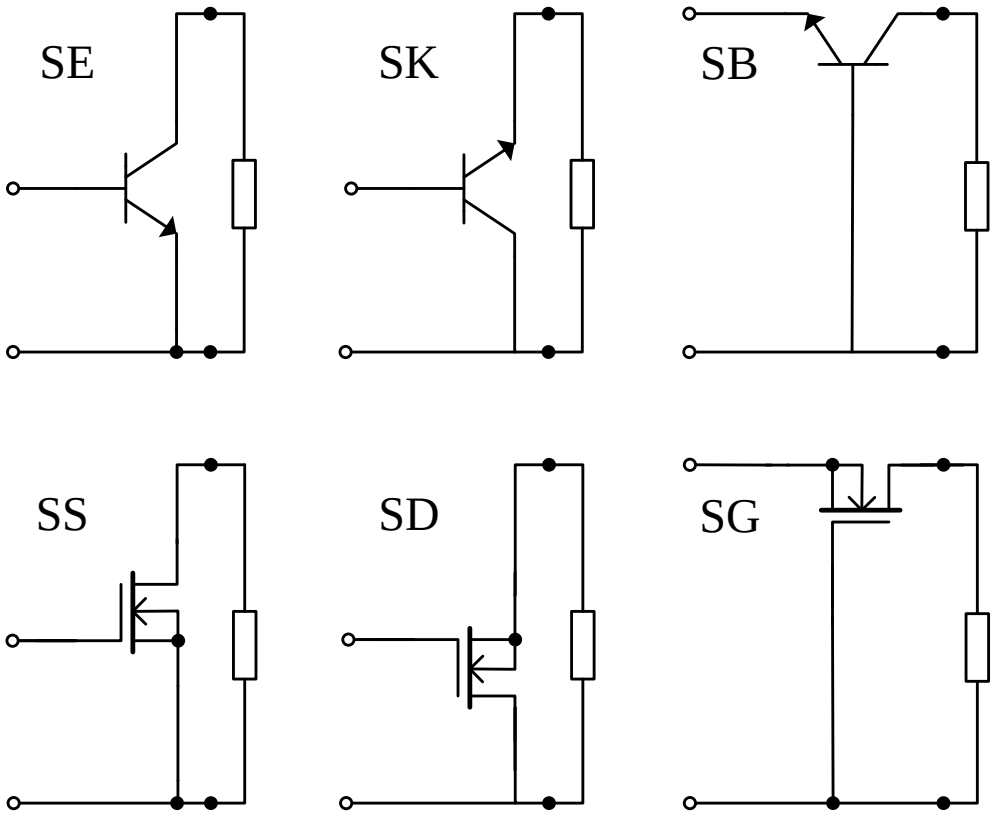
Autor: Ing. Zuzana Petránková, Ph.D., Ing. Václav Koucký CSc.

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače

Tří základní typy zapojení



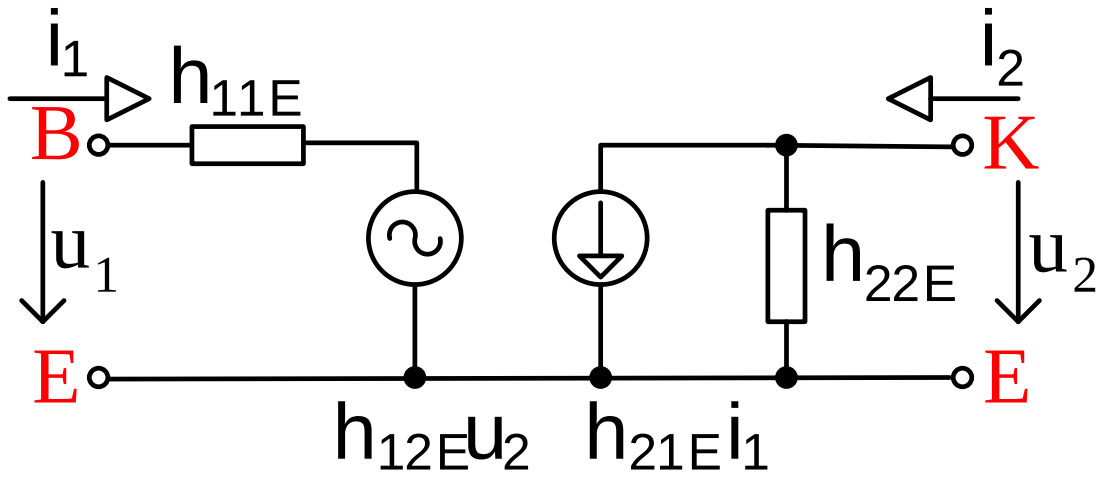
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače s bipolárním tranzistorem

Linearizovaný model tranzistoru pro zapojení SE

$$u_1 = h_{11E}\, i_1 + h_{12E}\, u_2$$
$$i_2 = h_{21E}\, i_1 + h_{22E}\, u_2$$

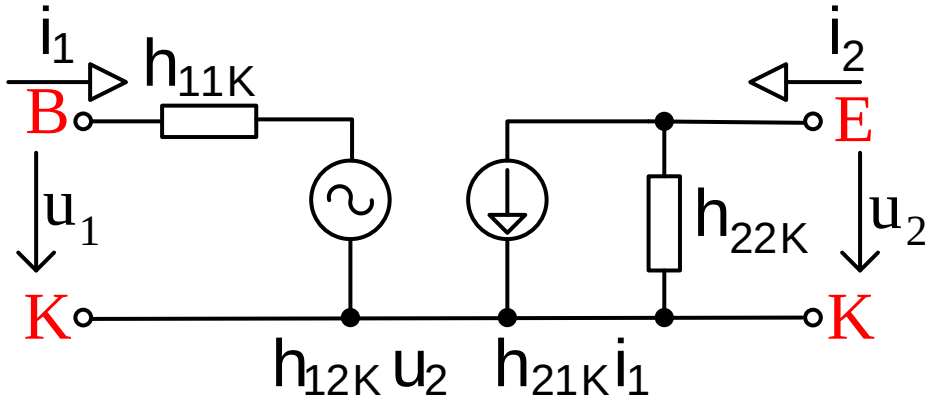


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače s bipolárním tranzistorem

Linearizovaný model tranzistoru pro zapojení SK



$$u_1 = h_{11K}\, i_1 + h_{12K}\, u_2$$
$$i_2 = h_{21K}\, i_1 + h_{22K}\, u_2$$

Přepočet prvků matice H

$$H_E \rightarrow H_K$$

$$h_{11K} = h_{11E}$$
$$h_{21K} = -(1 + h_{21E})$$
$$h_{12K} = 1 - h_{12E} \cong 1$$
$$h_{22K} = h_{22E}$$

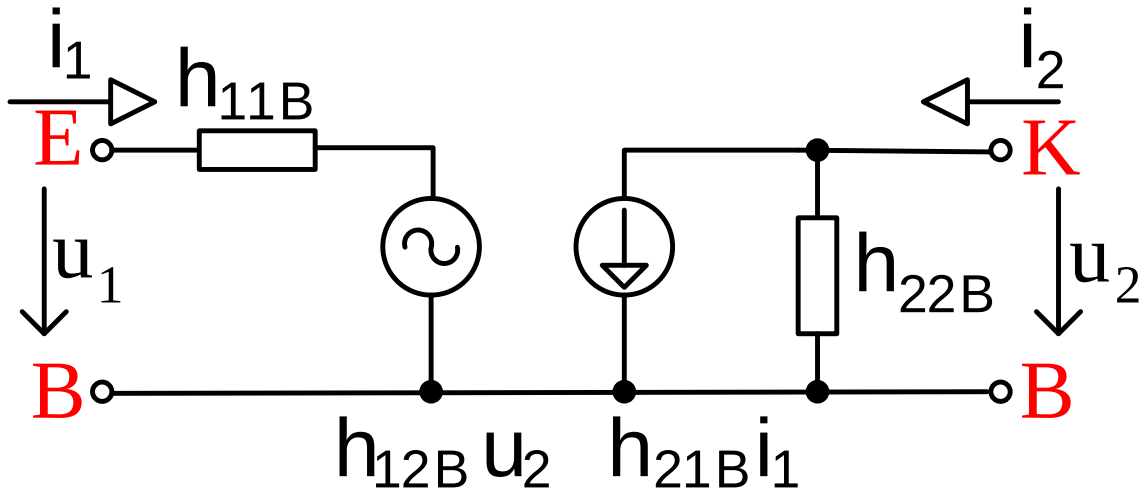
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače s bipolárním tranzistorem

Linearizovaný model tranzistoru pro zapojení SB

$$u_1 = h_{11B}\, i_1 + h_{12B}\, u_2$$
$$i_2 = h_{21B}\, i_1 + h_{22B}\, u_2$$



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače s bipolárním tranzistorem

Přepočet prvků matice H $H_E \rightarrow H_B$

$$h_{11B} = \frac{h_{11E}}{1 + h_{21E} + D_{HE} - h_{12E}} \cong \frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}}$$

$$h_{12B} = \frac{D_{HE} - h_{12E}}{1 + h_{21E} + D_{HE} - h_{12E}} \cong \frac{D_{HE} - h_{12E}}{1 + h_{21E}}$$

$$h_{21B} = -\frac{D_{HE} - h_{12E}}{1 + h_{21E} + D_{HE} - h_{12E}} \cong -\frac{h_{21E}}{1 + h_{21E}}$$

$$h_{22B} = \frac{h_{22E}}{1 + h_{21E} + D_{HE} - h_{12E}} \cong \frac{h_{22E}}{1 + h_{21E}}$$

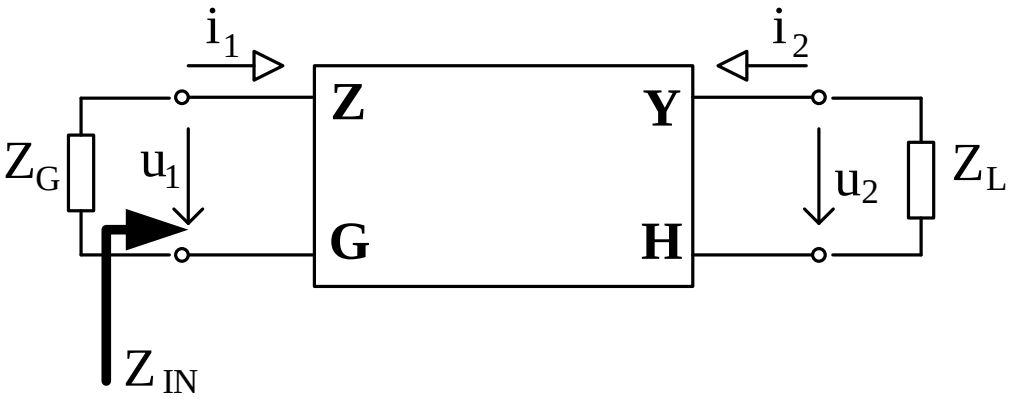
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

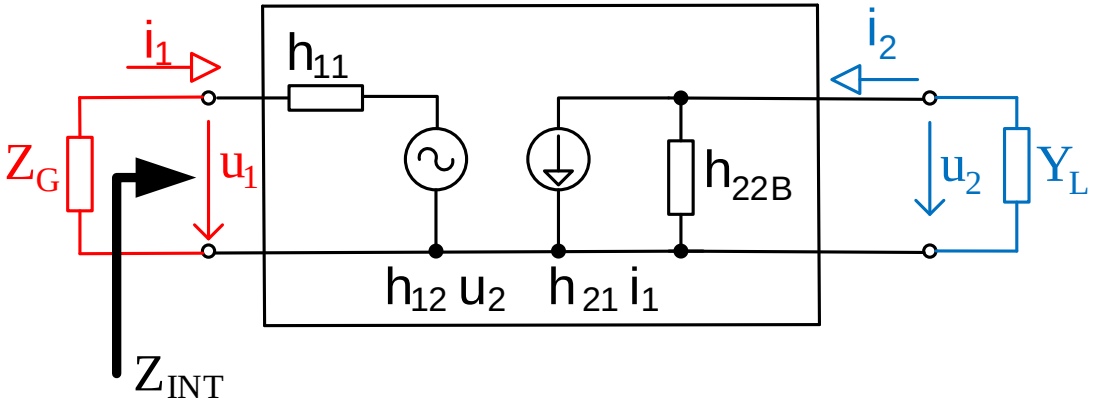
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače s bipolárním tranzistorem

Vstupní impedance tranzistoru

- vztah pro výpočet získáme přímou aplikací obecného vztahu pro výpočet vstupní impedance dvojbranu





$$u_1 = h_{11}\, i_1 + h_{12}\, u_2 = -Z_g i_1$$

$$\mathbf{Z_{INT}} = \frac{u_1}{i_1} = \mathbf{h_{11}} - \frac{\mathbf{h_{21} h_{12}}}{\mathbf{h_{22} + Y_L}}$$

$$i_2 = h_{21}\, i_1 + h_{22}\, u_2 = -Y_L u_2$$

$$u_2 = -\frac{h_{21} i_1}{h_{22} + Y_L}$$

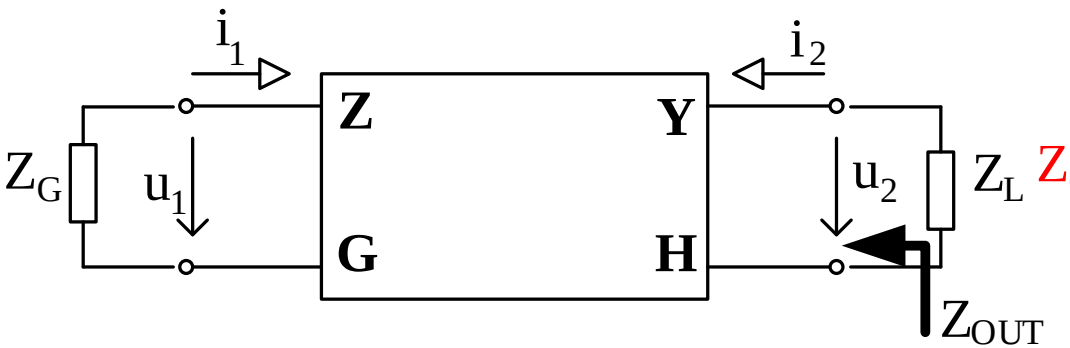
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

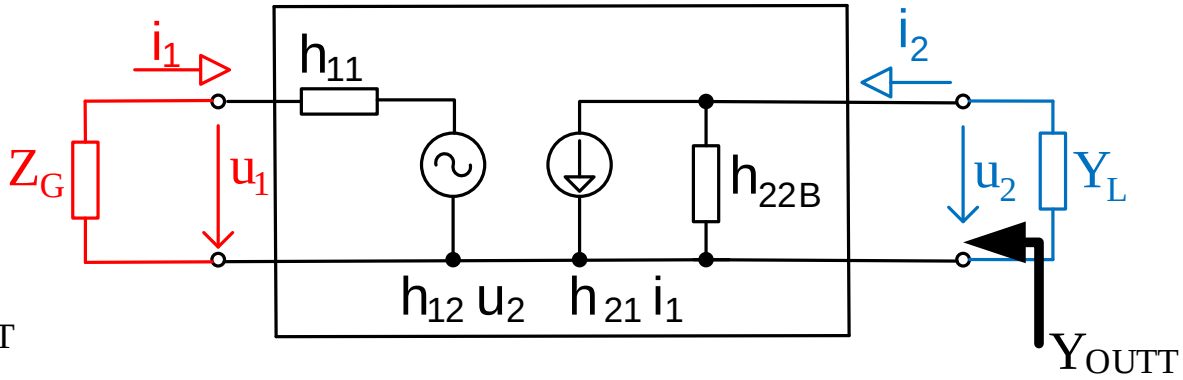
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače s bipolárním tranzistorem

Výstupní admitance tranzistoru

- vztah pro výpočet získáme přímou aplikací obecného vztahu pro výpočet výstupní admitance dvojbranu





$$i_2 = h_{21}\, i_1 + h_{22}\, u_2 = -Y_L u_2$$

$$\mathbf{Y_{OUTT}} = \frac{i_2}{u_2} = \mathbf{h_{22}} - \frac{\mathbf{h_{21}h_{12}}}{\mathbf{h_{22}+Z_g}}$$

$$u_1 = h_{11}\, i_1 + h_{12}\, u_2 = -Z_g i_1$$

$$i_1 = -\frac{h_{12}u_2}{h_{11}+Z_g}$$

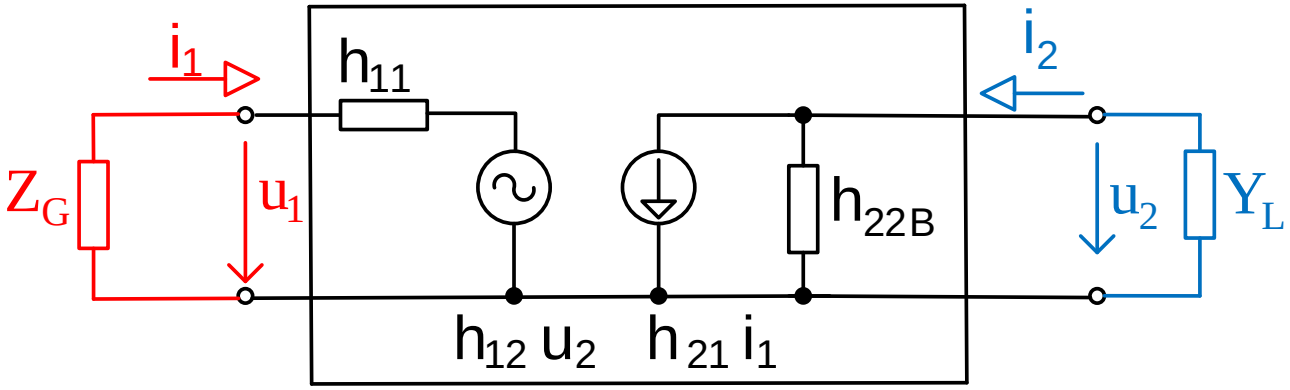
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače s bipolárním tranzistorem

Výstupní napětí zesilovače

- úbytek napětí na zatěžovací admitanci Y_L



$$u_2 = -\frac{h_{21} i_1}{h_{22}+Y_L}$$

$$i_1 = \frac{u_1}{Z_{INT}} = \frac{(h_{22}+Y_L)u_1}{h_{11}(h_{22}+Y_L)-h_{12}h_{21}}$$

$$\mathbf{u_2 = \frac{h_{21} Z_L}{h_{11}+D_H Z_L}}$$

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače s bipolárním tranzistorem – příklad výpočtu

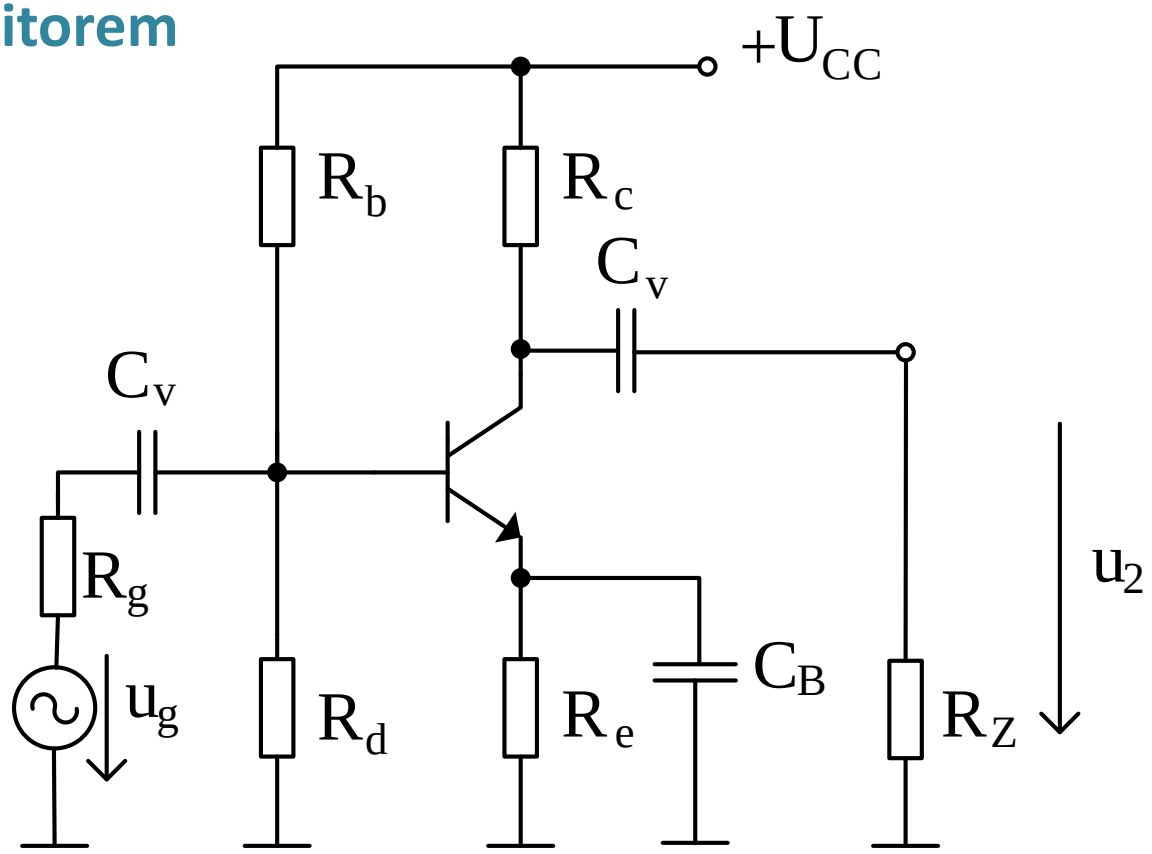
V zapojení se společným emitorem

Prvky matice H:

$h_{11E} = 3000\ \Omega$
$h_{12E} = 0$
$h_{21E} = 200$
$h_{22E} = 300\ \mu S$

Hodnoty součástek:

$R_d = 18000\ \Omega$, $R_b = 56000\ \Omega$
$R_c = 2200\ \Omega\ \Omega$, $R_e = 470\ \Omega$
$u_g = 0.1$ V, $R_g = 600\ \Omega$
$R_z = 3300\ \Omega$

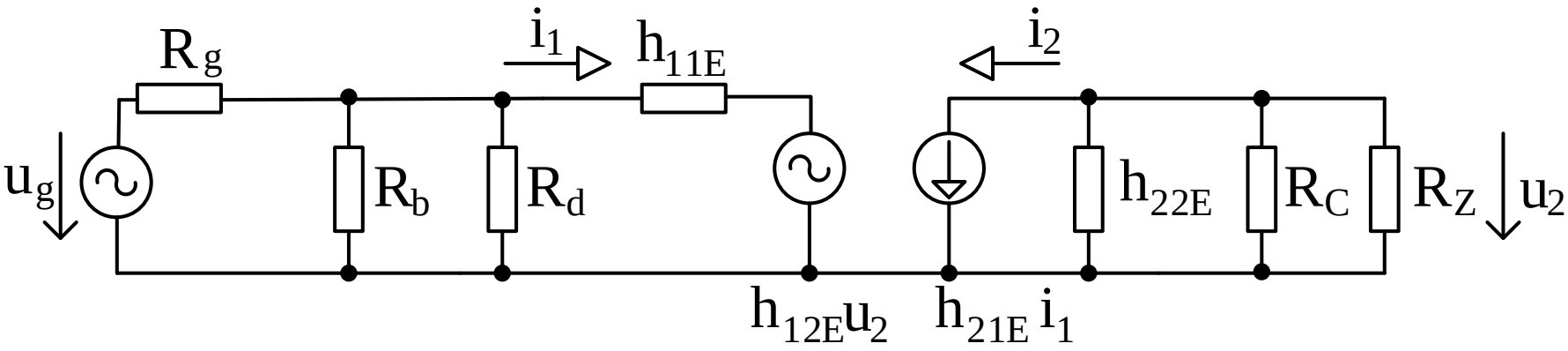


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače s bipolárním tranzistorem – příklad výpočtu

V zapojení se společným emitorem

Linearizovaný model



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače s bipolárním tranzistorem – příklad výpočtu

V zapojení se společným emitorem

Řešení

$$Z_{INT} = h_{11E} - \frac{h_{21E} \cdot h_{12E}}{h_{22E} + Y_L} = \mathbf{3000\ \Omega}$$

$$Z_{IN} = \left(\frac{1}{Z_{INT}} + \frac{1}{R_d} + \frac{1}{R_b}\right)^{-1} = \mathbf{3333\ \Omega}$$

$$Z_{OUTT} = \left(h_{22E} - \frac{h_{21E} \cdot h_{12E}}{h_{11E} + Z_g}\right)^{-1} = \mathbf{3333\ \Omega}$$

$$Z_{OUT} = \left(Y_{OUTT} + \frac{1}{R_C}\right)^{-1} = \mathbf{1325\ \Omega}$$

$$u_2 = -i_2 \cdot \left(h_{22E} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_Z}\right)^{-1} = \mathbf{-5.1\ V}$$

$$A_V = \frac{u_2}{u_1} = \mathbf{-63}$$

Video ukázka výpočtu

https://drive.google.com/file/d/1UhZPXkHkK0ZrivaP8lLnnHglYILrH5nh/view?usp=sharing

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače s bipolárním tranzistorem – příklad výpočtu

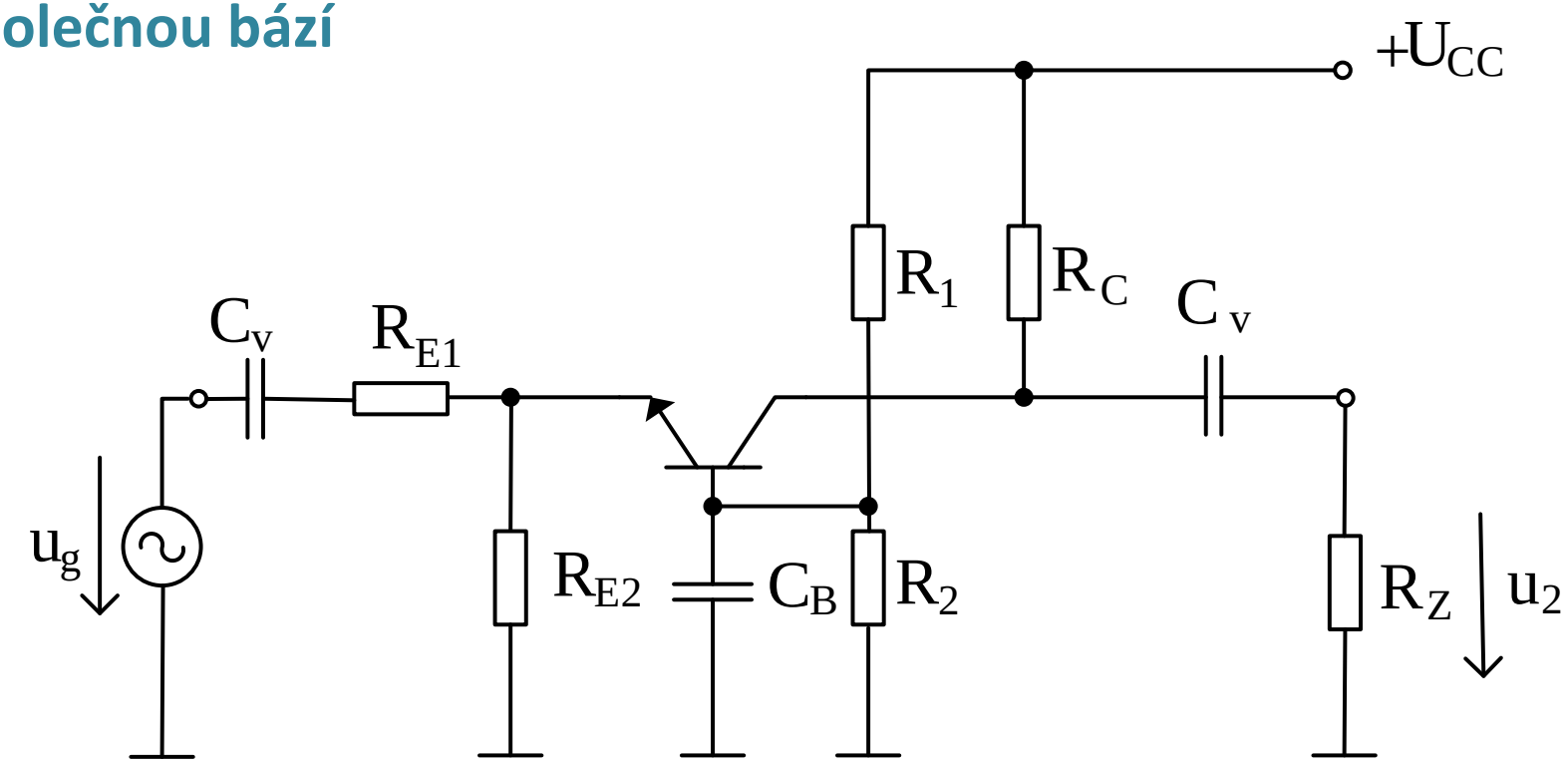
V zapojení se společnou bází

Prvky matice H:

$h_{11B} = 12\ \Omega$
$h_{12B} = 2{,}2 \cdot 10^{-5}$
$h_{21B} = -0{,}99$
$h_{22B} = 10^{-6} S$

Hodnoty součástek:

$R_{E1} = 50\ \Omega$, $R_{E2} = 4700\ \Omega$
$R_1 = 27000\ \Omega$, $R_2 = 12000\ \Omega$
$R_C = 33000\ \Omega$
$u_g = 10$ mV
$R_z = 68000\ \Omega$

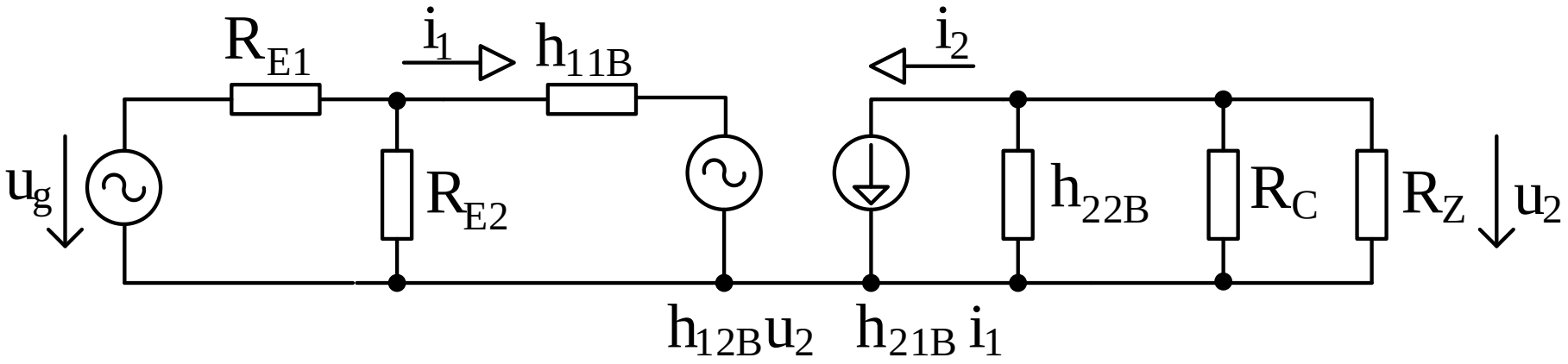


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače s bipolárním tranzistorem – příklad výpočtu

V zapojení se společnou bází

Linearizovaný model



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače s bipolárním tranzistorem – příklad výpočtu

V zapojení se společnou bází

Řešení

$$Z_{INT} = h_{11B} - \frac{h_{21B} \cdot h_{12B}}{h_{22B} + Y_L} = \mathbf{12.5\ \Omega}$$

$$Z_{IN} = R_{E1} + \left(\frac{1}{R_{E2}} + \frac{1}{Z_{INT}}\right)^{-1} = \mathbf{62.4\ \Omega}$$

$$Z_{OUTT} = \left(h_{22B} - \frac{h_{21B} \cdot h_{12B}}{h_{11B} + Z_g}\right)^{-1} = \mathbf{738.39\ k\Omega}$$

$$Z_{OUT} = \left(Y_{OUTT} + \frac{1}{R_C}\right)^{-1} = \mathbf{31.59\ k\Omega}$$

$$u_2 = -i_2 \cdot \left(h_{22B} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_Z}\right)^{-1} = \mathbf{3.44\ V}$$

$$A_V = \frac{u_2}{u_1} = \mathbf{344}$$

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače s bipolárním tranzistorem – příklad výpočtu

V zapojení se společným kolektorem

Prvky matice H:

$h_{11E} = 2200\ \Omega$ $\quad h_{11K} = h_{11E} = 2200\ \Omega$

$h_{12E} = 0$ $\quad h_{12K} = 1 - h_{12E} = 1$

$h_{21E} = 199$ $\quad h_{21K} = -(1 + h_{21E}) = -200$

$h_{22E} = 350\ \mu S$ $\quad h_{22K} = h_{22E} = 350\ \mu S$

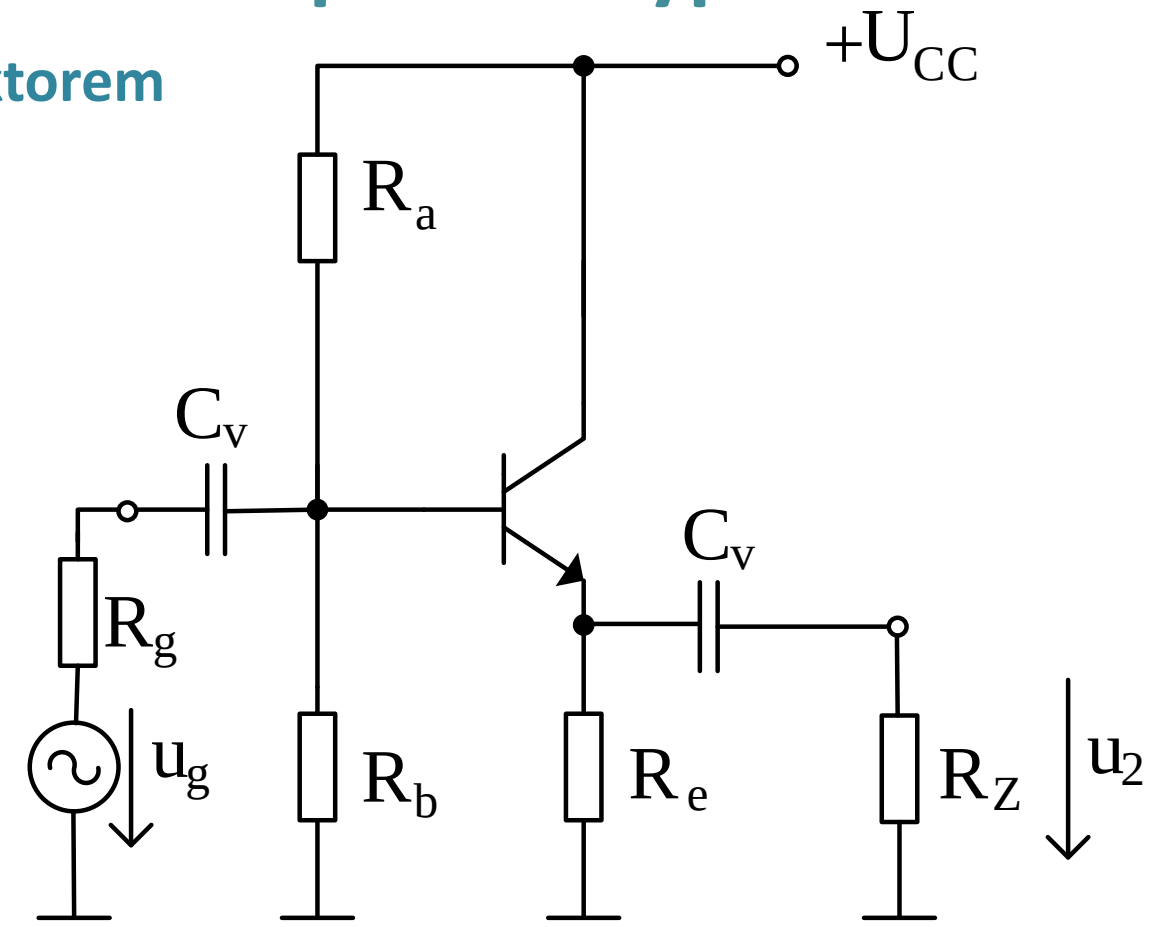
Hodnoty součástek:

$R_a = 68000\ \Omega$, $R_b = 22000\ \Omega$

$R_e = 1200\ \Omega$

$u_g = 1\ V$, $R_g = 8000\ \Omega$

$R_z = 200\ \Omega$



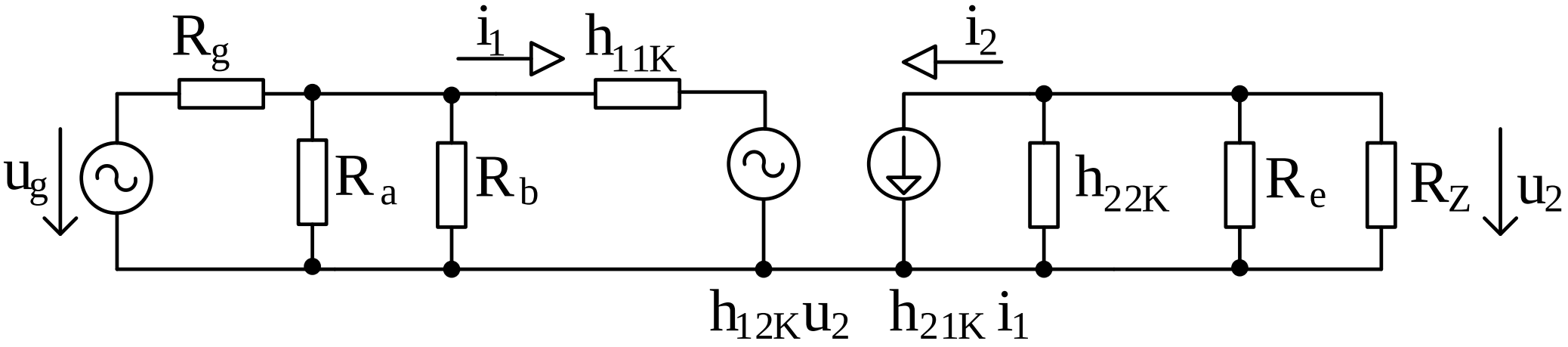
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače s bipolárním tranzistorem – příklad výpočtu

V zapojení se společným kolektorem

Linearizovaný model



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače s bipolárním tranzistorem – příklad výpočtu

V zapojení se společným kolektorem

Řešení

$$Z_{INT} = h_{11K} - \frac{h_{21K} \cdot h_{12K}}{h_{22K} + Y_L} = \mathbf{34545\ \Omega}$$

$$Z_{IN} = \left(\frac{1}{Z_{INT}} + \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b}\right)^{-1} = \mathbf{11.22\ k\Omega}$$

$$Z_{OUTT} = \left(h_{22K} - \frac{h_{21K} \cdot h_{12K}}{h_{11K} + Z_g}\right)^{-1} = \mathbf{30.5\ \Omega}$$

$$Z_{OUT} = \left(Y_{OUTT} + \frac{1}{R_e}\right)^{-1} = \mathbf{36.37\ \Omega}$$

$$v_{OUT} = -i_2 \cdot \left(h_{22E} + \frac{1}{R_e} + \frac{1}{R_Z}\right)^{-1} = \mathbf{0.55\ V}$$

$$A_V = \frac{u_2}{u_1} = \mathbf{0.94}$$

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jednostupňové tranzistorové zesilovače s bipolárním tranzistorem – shrnutí vlastností jednotlivých zapojení

	SE	SK	SB
Z_{IN}	Malá až střední	Velmi velká	Velmi malá
Z_{OUT}	Velká	Velmi malá	Velmi velká
A_U	Velké	<1	Velmi velké
A_I	Velké	Velké	<1

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY