

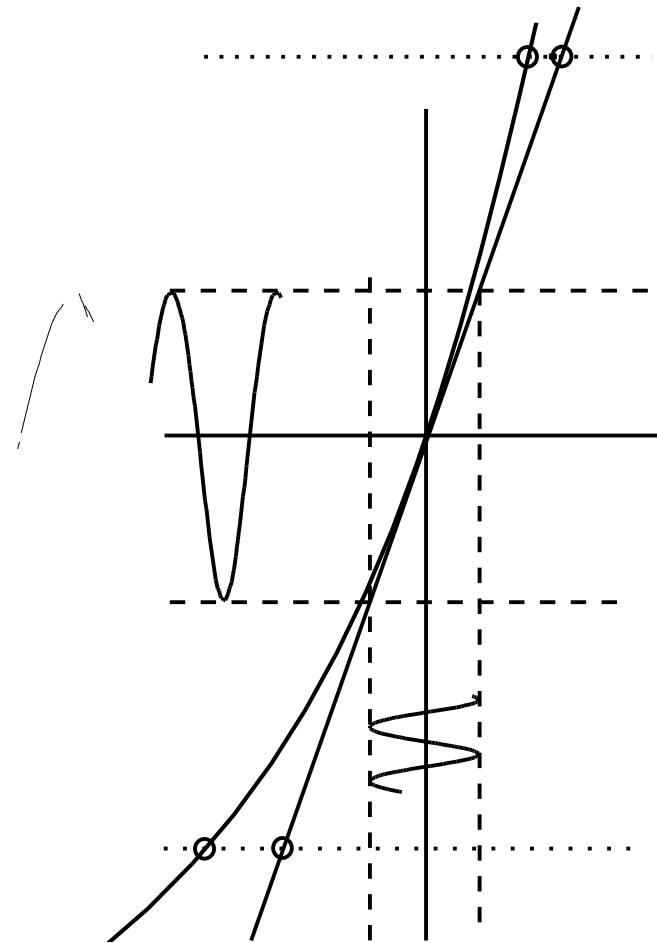
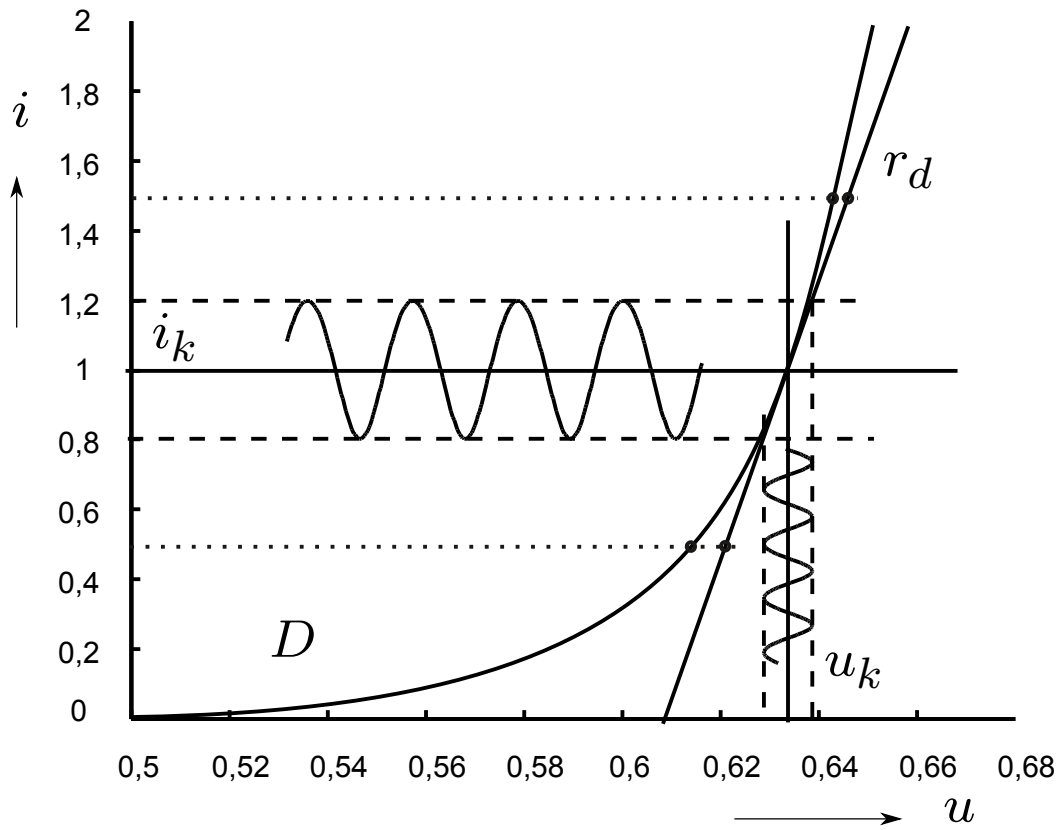
Fakulta biomedicínského inženýrství – Teoretická elektrotechnika

Prof. Ing. Jan Uhlíř, CSc.

Léto 2020

10. Linearizace v okolí klidového (pracovního) bodu

Linearizace v okolí klidového bodu v propustném směru

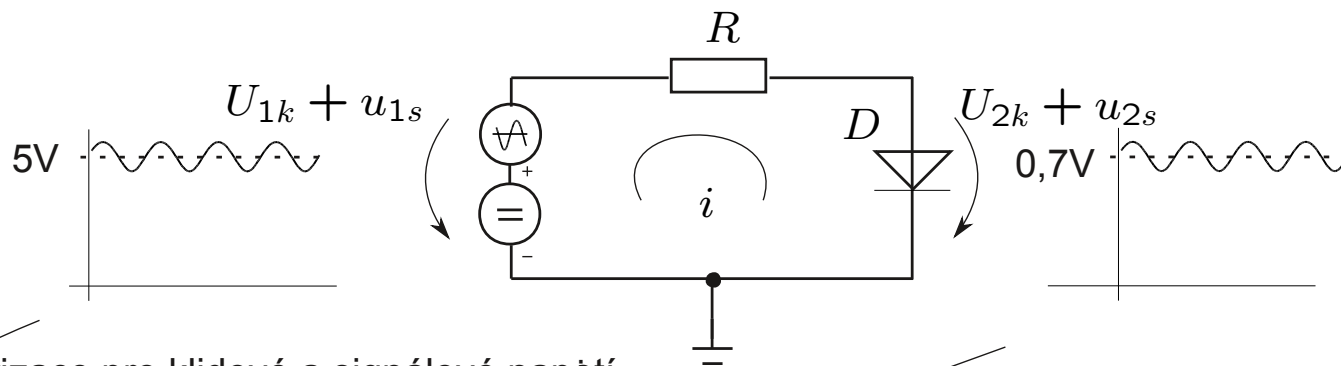


Odvození r_d z aproximace průběhu V-A charakteristiky diody

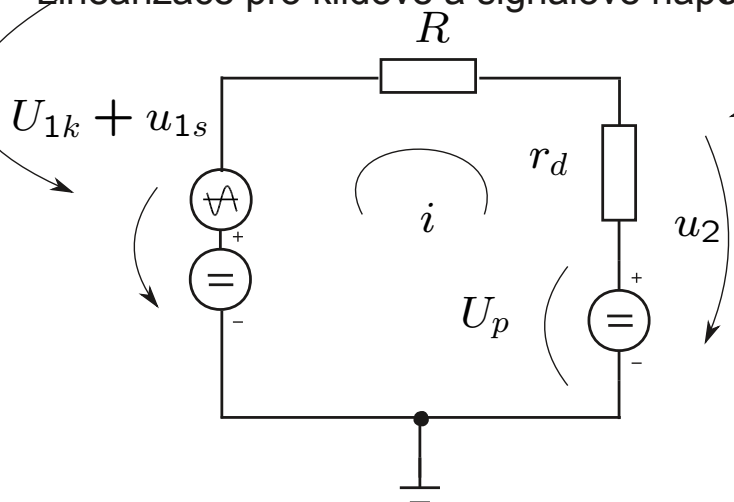
$$i_d = f(u_d) = I_S e^{\frac{u_d}{nU_\theta}} \implies u_d = nU_\theta \ln \frac{i_d}{I_S}$$

$$r_d = \left. \frac{du_d}{di_d} \right|_{u_k, i_k} = \frac{nU_\theta}{i_k}$$

Nelineární obvod s klidovým napětím

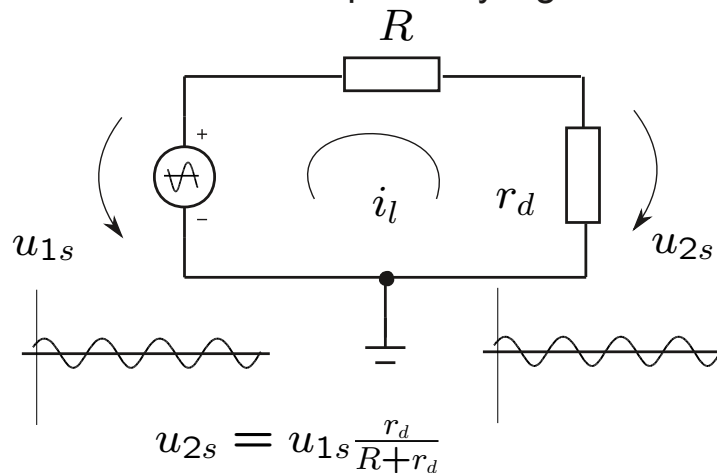


Linearizace pro klidové a signálové napětí



$$u_2 = U_p + (U_{1k} - U_p + u_{1s}) \frac{r_d}{R + r_d}$$

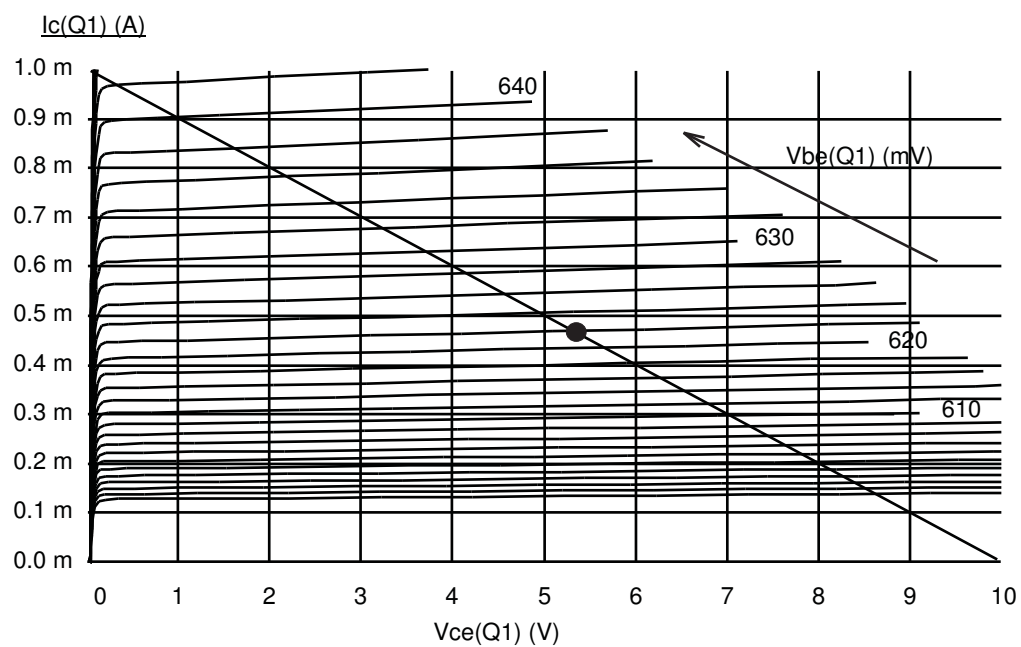
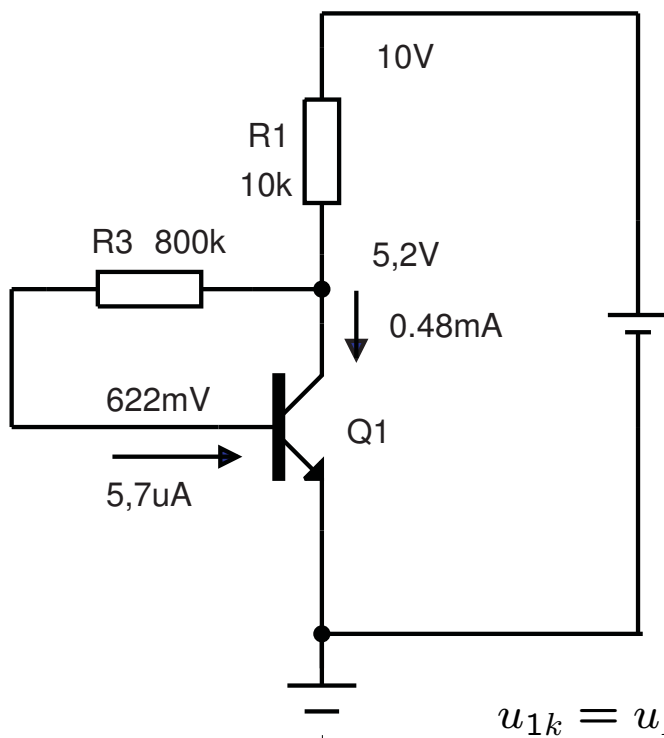
Linearizace pro malý signál



$$u_{2s} = u_{1s} \frac{r_d}{R + r_d}$$

Klidový bod

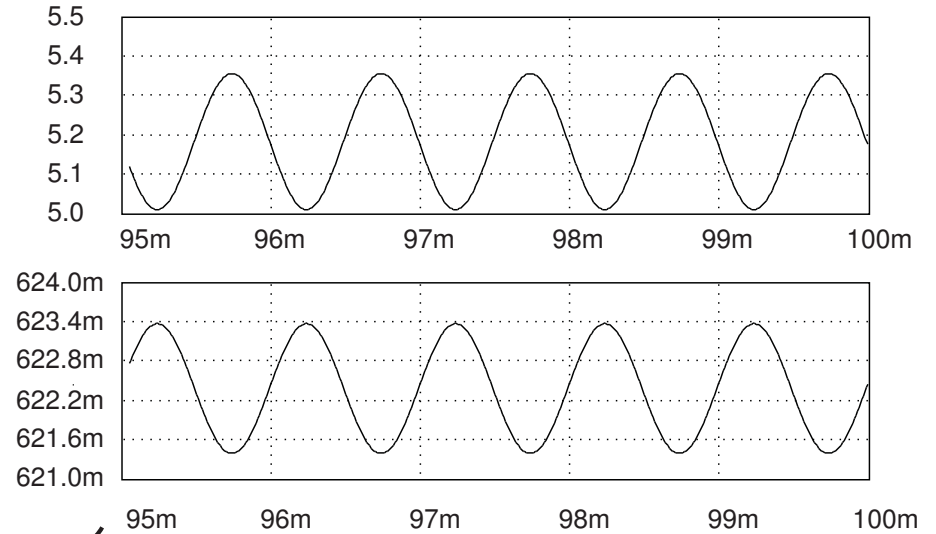
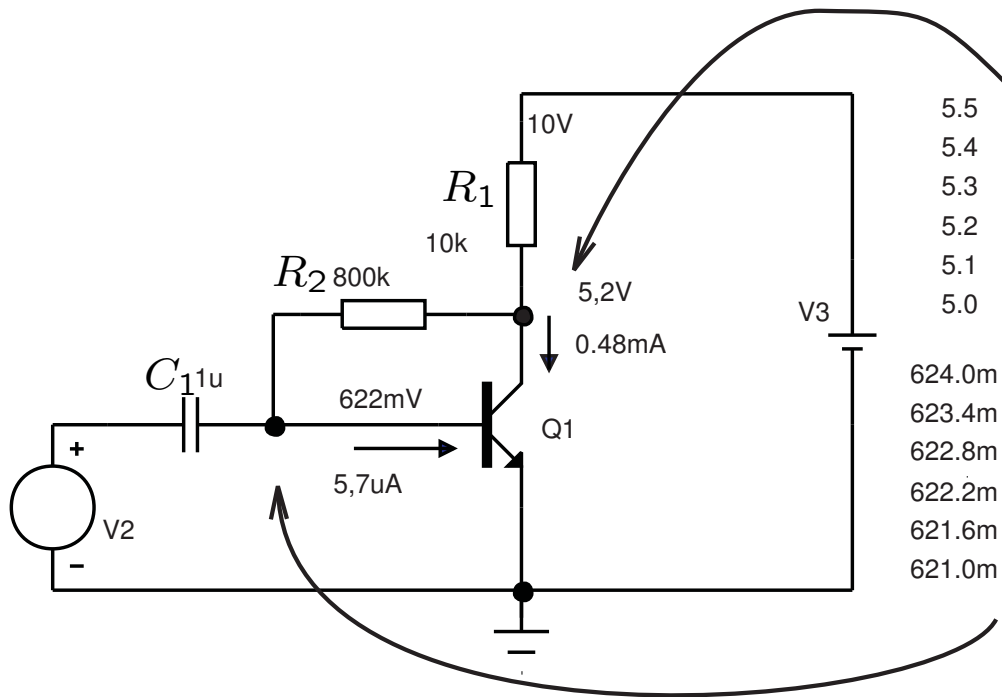
– zesilovač s bipolárním tranzistorem



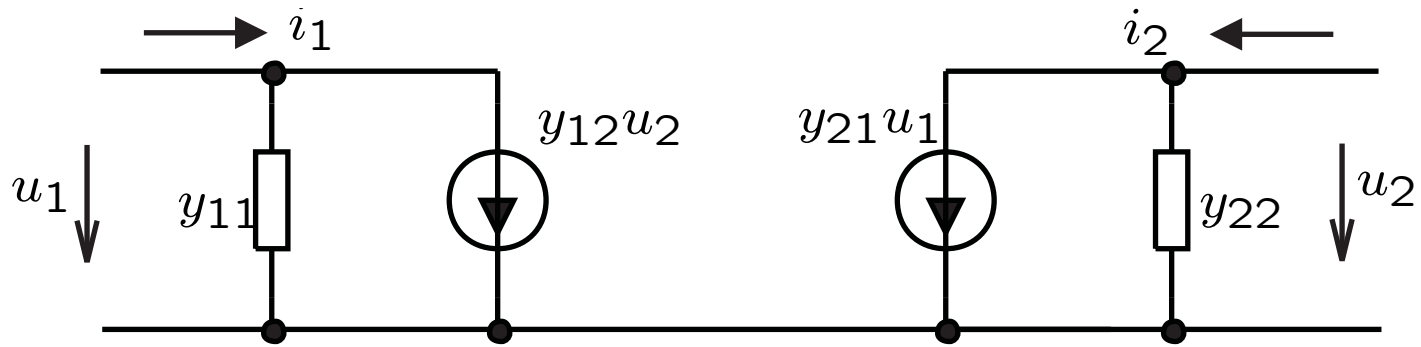
$u_{2k} = u_{CE} = 5,2 V$

Klidový bod a malý signál

– zesilovač s bipolárním tranzistorem



Linearizace v okolí klidového bodu



$$i_{1k} = Y_1(u_{1k}, u_{2k})$$

$$i_{2k} = Y_2(u_{1k}, u_{2k})$$

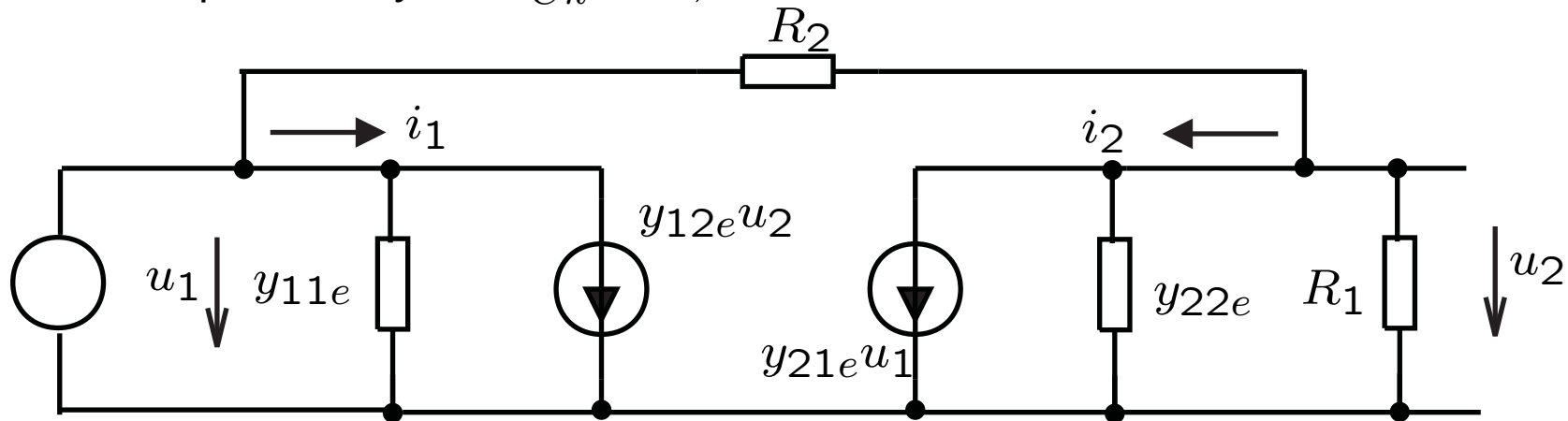
$$y_{11} = \left. \frac{\partial Y_1}{\partial u_1} \right|_{u_{1k}, u_{2k}} \quad y_{12} = \left. \frac{\partial Y_1}{\partial u_2} \right|_{u_{1k}, u_{2k}}$$

$$y_{21} = \left. \frac{\partial Y_2}{\partial u_1} \right|_{u_{1k}, u_{2k}} \quad y_{22} = \left. \frac{\partial Y_2}{\partial u_2} \right|_{u_{1k}, u_{2k}}$$

$$i_1 = y_{11}u_1 + y_{12}u_2$$

$$i_2 = y_{21}u_1 + y_{22}u_2$$

Model pro výpočet vlastností zesilovače s malým signálem ve středním pásmu kmitočtů – pro klidový bod $i_{Ck} \approx 0,5 \text{ mA}$



$$\Rightarrow y_{11} \approx 180 \mu\text{S} = 1/5600\Omega, \quad y_{12} \approx 0, \quad y_{21} \approx 18 \text{ mS}, \quad y_{22} \approx 10 \mu\text{S}$$

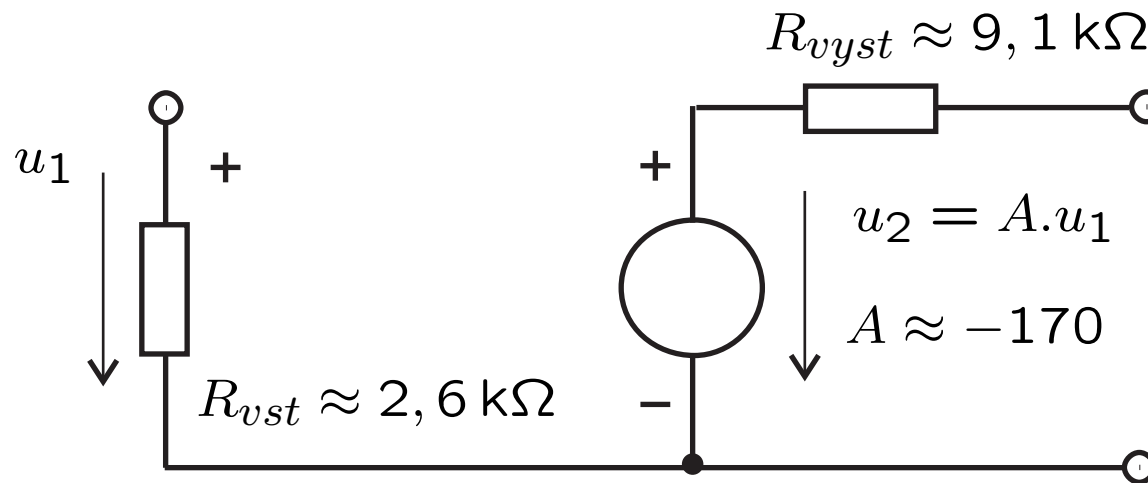
$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 800 \text{ k}\Omega$$

$$A_u = \frac{u_2}{u_1} \approx -y_{21}(R_1 \parallel 1/y_{22}) \approx -170$$

$$R_{vst} \approx (1/y_{11} \parallel R_2/A_u) \approx (5600 \parallel 4700) \approx 2,6 \text{ k}\Omega$$

$$R_{vyst} \approx (R_1 \parallel 1/y_{22}) = 9,1 \text{ k}\Omega$$

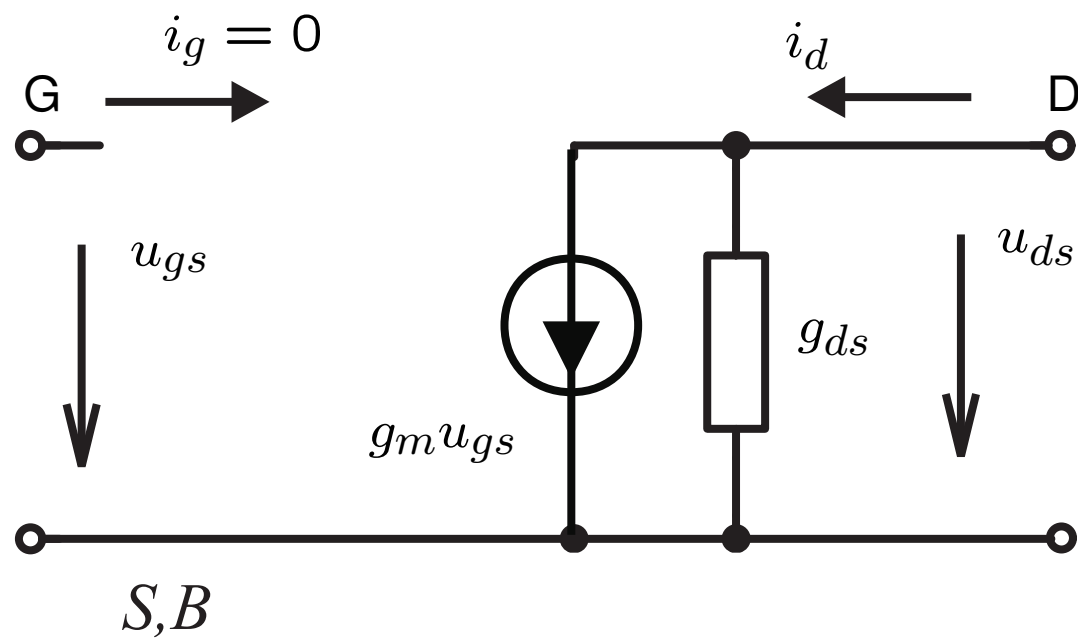
Zjednodušený model zesilovače s napětím řízeným zdrojem napětí a vstupním a výstupním odporem



Základní parametry linearizovaného zesilovače malých signálů:

- R_{vst} , vstupní odpor
- R_{vyst} , výstupní odpor
- A napěťové zesílení

Linearizovaný model MOSFETu v klidovém pracovním bodu



Postup výpočtu vlastností nelineárního obvodu s malým signálem (linearizovaným modelem)

1. Uspořádání obvodu s reálnými nelineárními elementy (zkušený konstruktér)
2. Nastavení klidového bodu se stejnosměrnými zdroji (zkušený konstruktér, grafické postupy, experiment na simulátoru)
3. Linearizace v okolí klidového bodu – parametry linearizovaného modelu (grafický postup, výpočet z aproximativních vztahů, výstup simulačního programu)
4. Sestavení linearizovaného modelu (zkratování stejnosměrných zdrojů napětí) a řešení jeho vlastností metodami SUS, HUS, diferenciálními rovnicemi (ručně, numericky - maticovou analýzou HUS, nebo numerickou integrací)

Při "AC analýze" simulační program uskuteční pro navržené uspořádání nelineárního obvodu postupně 2. až 4. krok automaticky.

Nelineární akumulční prvky

- Kapacitor –

Coulombvoltová závislost náboje na napětí

Obvyklejší je popis závislosti linearizované kapacity na napětí
např. barierová kapacita PN přechodu

- Induktor –

Weberampérová závislost magnetického toku na proudu

Obvyklejší je popis závislosti linearizované indukčnosti na proudu
např. závislost indukčnosti u cívek s feromagnetickým jádrem

Řešení setrvačných obvodů – numerické simulace