

Cvičení 5: Charakteristiky a aplikace diod

C5.1: Dioda – vlastnosti

V-A charakteristika, mezní parametry, katalogový list

C5.2: Modely diod a jejich užití

Statické modely: exponenciální, ideální, linearizovaný po částech...

Analýza stejnosměrného pracovního bodu obvodu diody

CP5.1 a CP5.2

C5.3: Náhradní lineární modely (NLO) diody

Určení pracovního bodu CP5.3

Odečet parametrů NLO diody CP5.4

NLO pro změny veličin, výpočet střídavého přenosu obvodu CP5.4, 5.5

C5.4: Teplotní závislost V-A charakteristiky diody

Teplotní závislost závěrného proudu diody

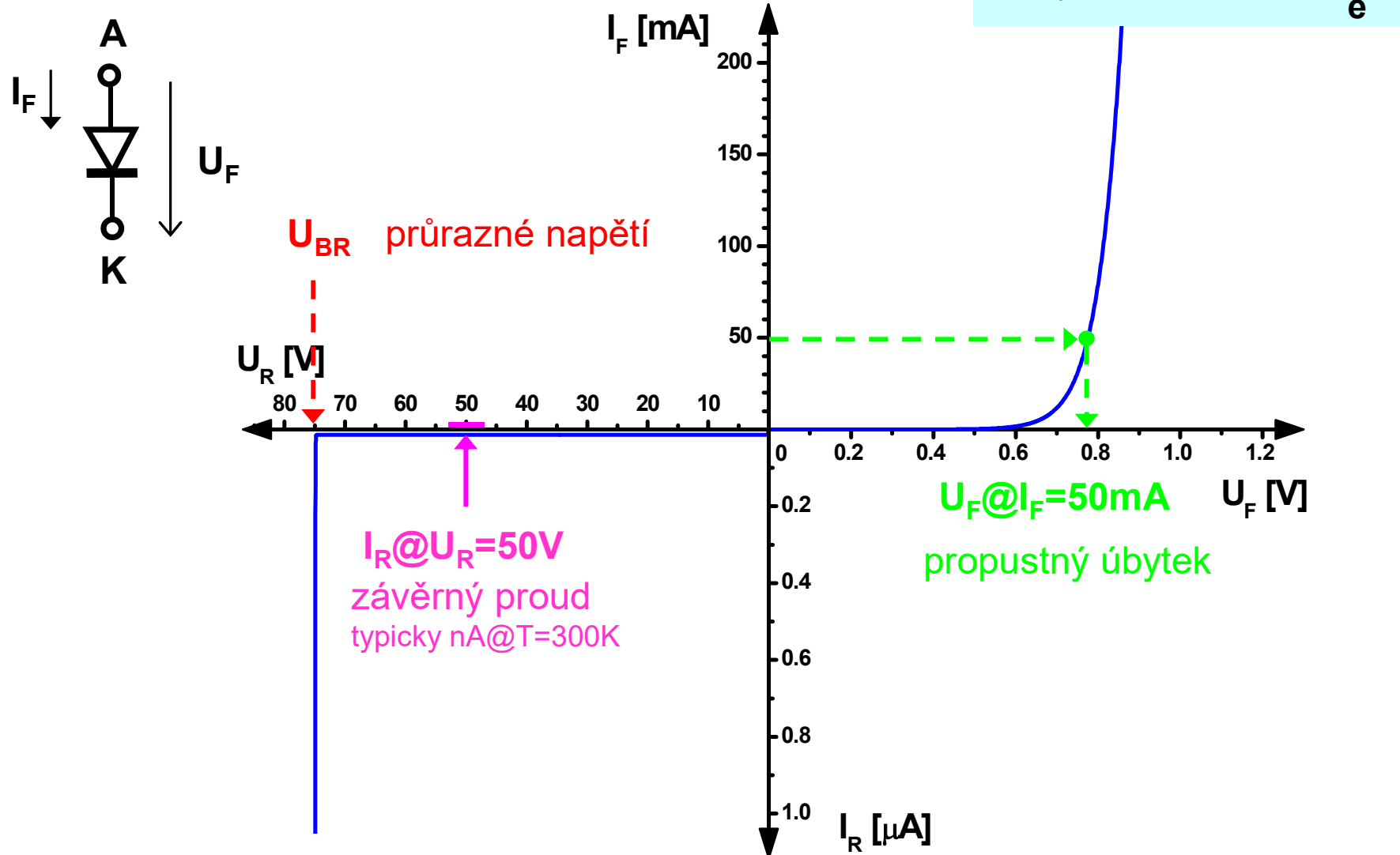
Teplotní závislost propustného úbytku diody CP5.6

C5.5: Zenerova dioda

Činitel stabilizace CP5.7

C5.1 Dioda – vlastnosti

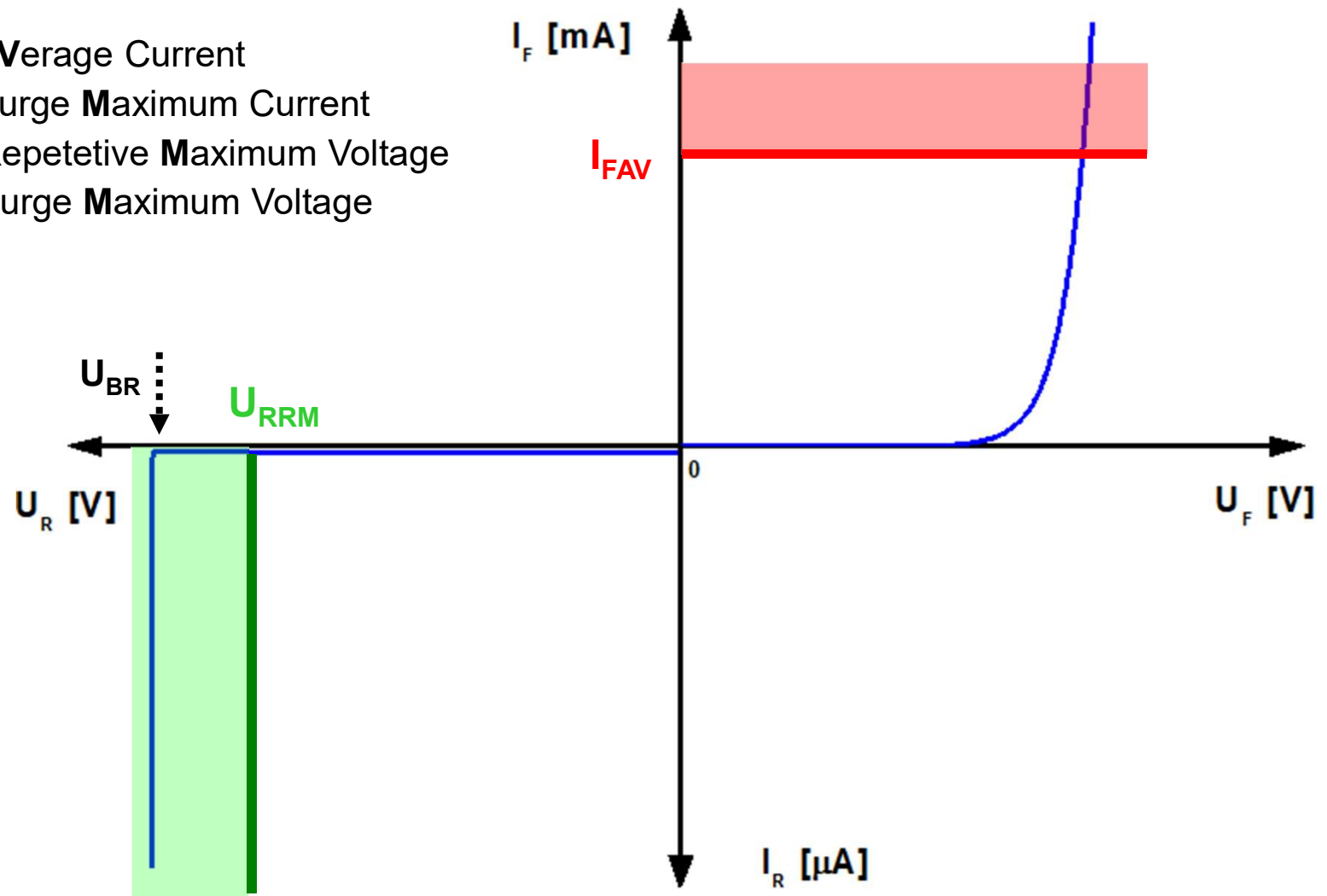
Voltampérová charakteristika



C5.1 Dioda – vlastnosti

Mezní parametry

I_{FAV}	Forward A verage Current
I_{FSM}	Forward S urge M aximum Current
U_{RRM}	Reverse R epetitive M aximum Voltage
U_{RSM}	Reverse S urge M aximum Voltage



C5.1 Dioda – vlastnosti

Katalogový list

U_{RRM} Reverse Repetitive Maximum Voltage

I_{FAV} Forward Average Current

I_{FSM} Forward Surge Maximum Current

U_F Forward Voltage

I_R Reverse Current



May 2009

1N4001 - 1N4007 General Purpose Rectifiers

Features

- Low forward voltage drop.
- High surge current capability.



DO-41
COLOR BAND DENOTES CATHODE

Absolute Maximum Ratings * $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value							Units
		4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007	
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
$I_{F(AV)}$	Average Rectified Forward Current .375 " lead length @ $T_A = 75^\circ\text{C}$	1.0							A
I_{FSM}	Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms Single Half-Sine-Wave	30							A
I^2t	Rating for Fusing ($t < 8.3\text{ms}$)	3.7							A^2sec
T_{STG}	Storage Temperature Range	-55 to $+175$							$^\circ\text{C}$
T_J	Operating Junction Temperature	-55 to $+175$							$^\circ\text{C}$

* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

Thermal Characteristics

Symbol	Parameter	Value	Units
P_D	Power Dissipation	3.0	W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	50	$^\circ\text{C/W}$

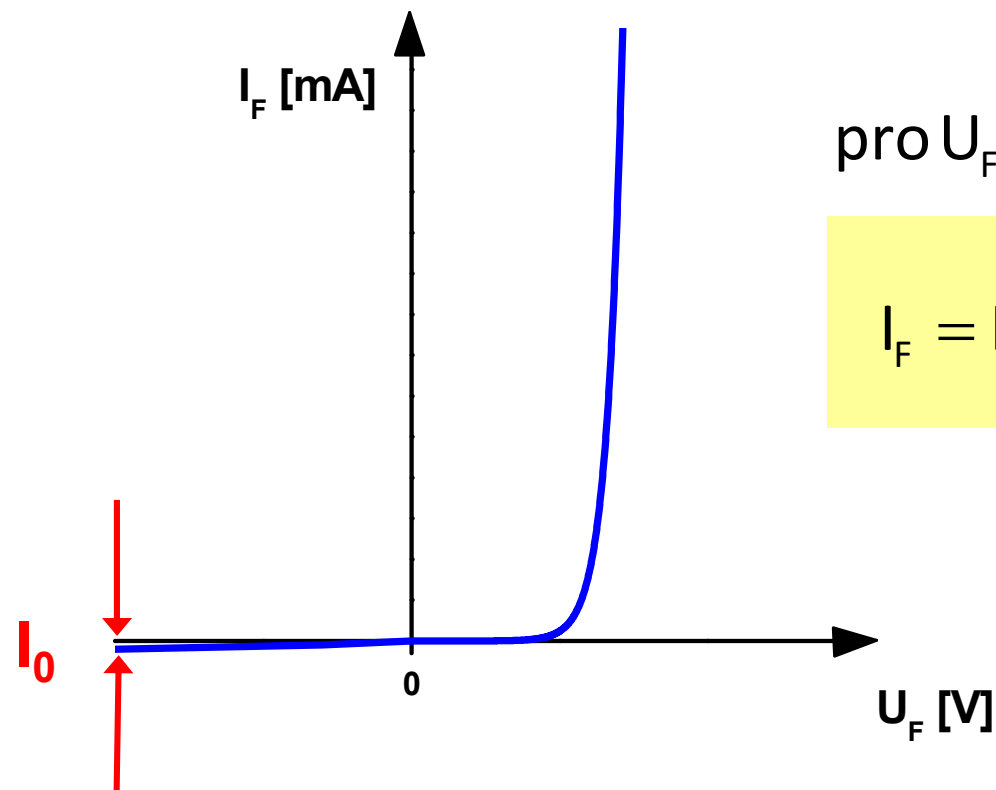
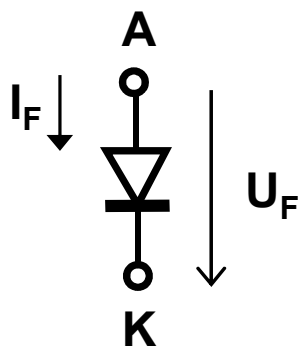
Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_F	Forward Voltage @ 1.0A	1.1	V
I_{rr}	Maximum Full Load Reverse Current, Full Cycle $T_A = 75^\circ\text{C}$	30	μA
I_R	Reverse Current @ Rated V_R	$T_A = 25^\circ\text{C}$	μA
		$T_A = 100^\circ\text{C}$	μA
C_T	Total Capacitance $V_R = 4.0\text{V}$, $f = 1.0\text{MHz}$	15	pF

C5.2 Modely diod a jejich užití

Úplné odporové (statické) modely

Exponenciální



pro $U_F \gg U_T$

$$I_F = I_0 \cdot e^{\frac{U_F}{U_T}}$$

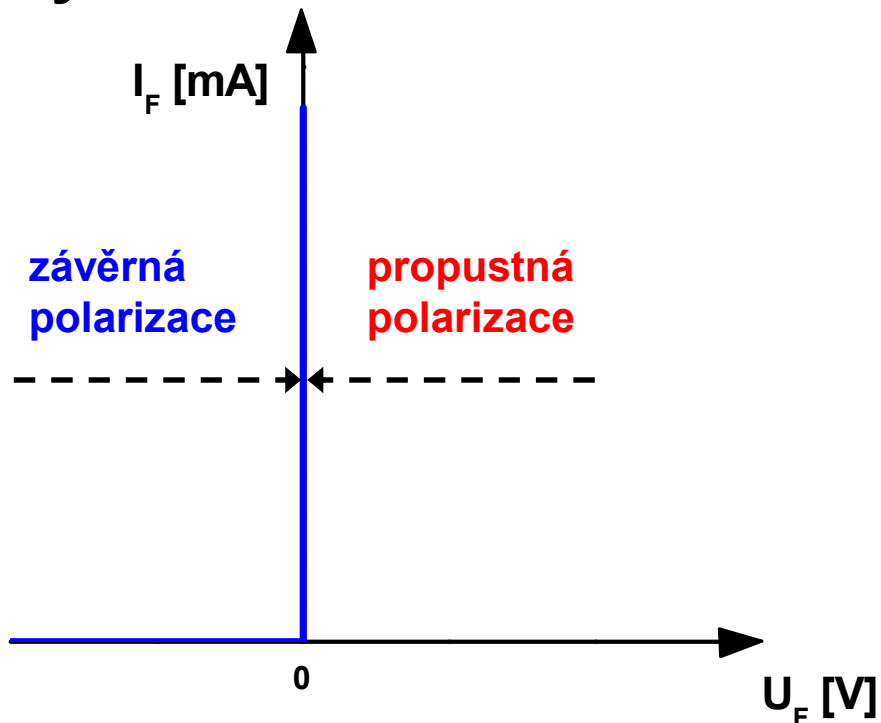
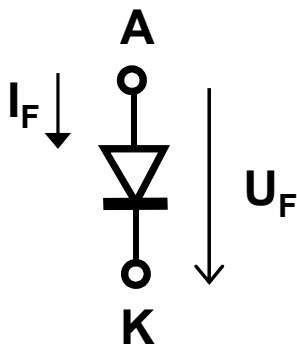
$$I_F = I_0 \cdot \left(e^{\frac{U_F}{U_T}} - 1 \right)$$

$$U_T = kT/e$$

C5.2 Modely diod a jejich užití

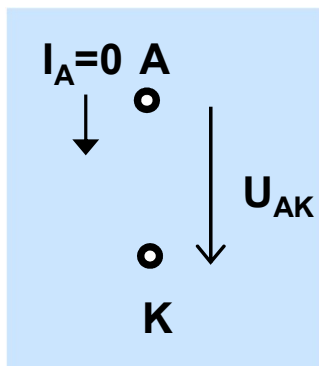
Úplné odporové (statické) modely

Ideální



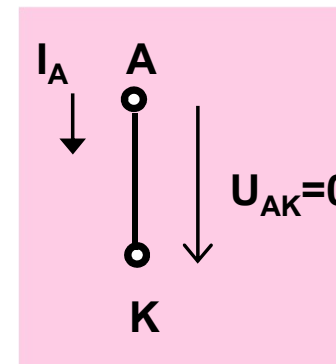
závěrná polarizace

$$U_{AK} < 0 \Rightarrow I_A = 0$$



propustná polarizace

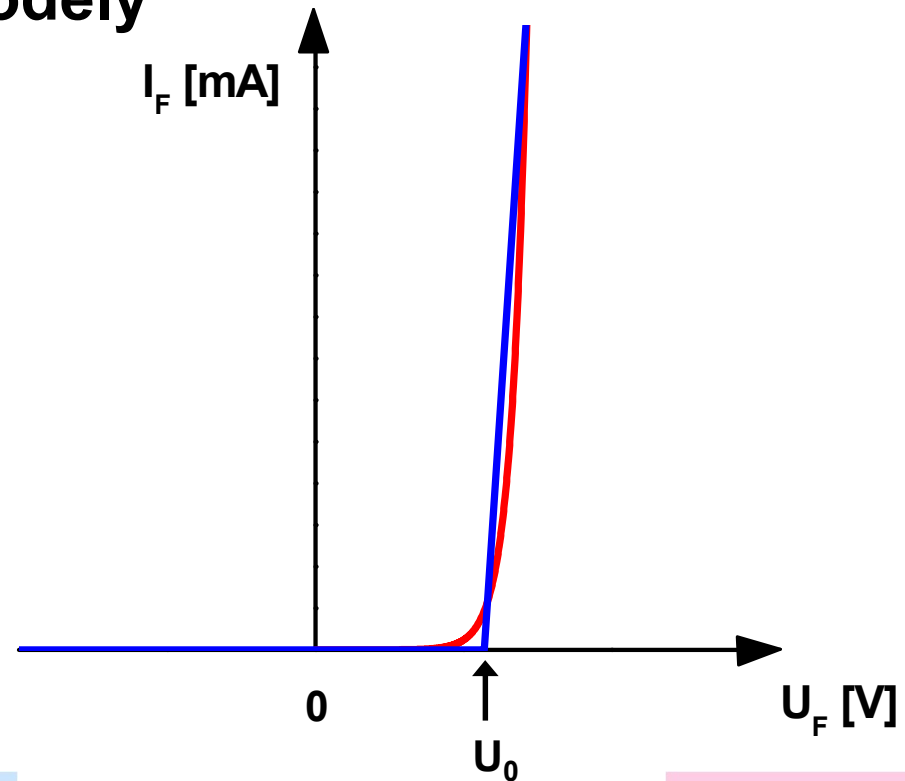
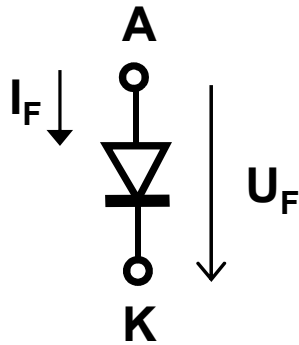
$$I_A > 0 \Rightarrow U_{AK} = 0$$



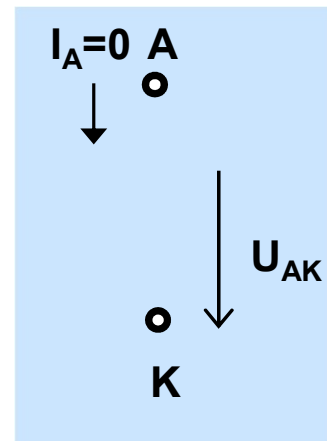
C5.2 Modely diod a jejich užití

Úplné odporové (statické) modely

Linearizovaný po částech



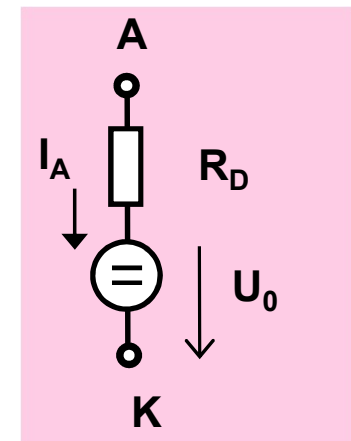
$$U_{AK} < U_0 \Rightarrow I_A = 0$$



$$U_{AK} > U_0$$

$$I_A = (U_{AK} - U_0) / R_D$$

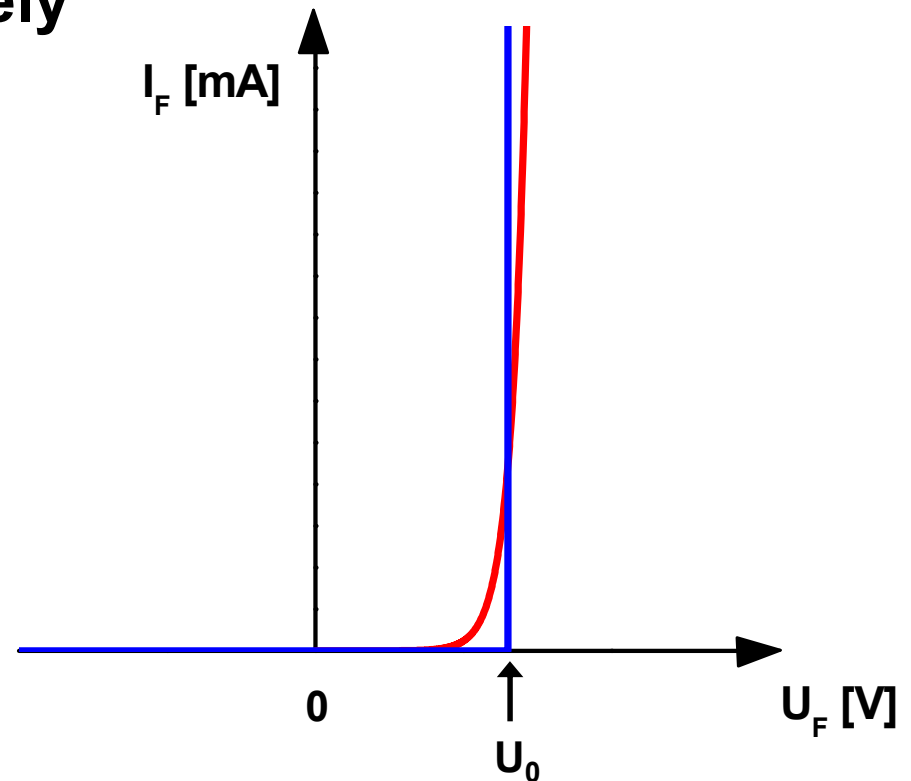
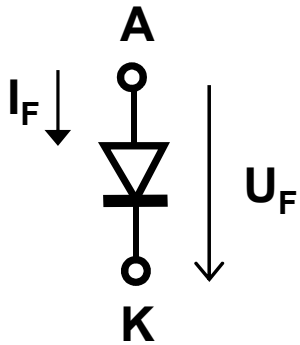
U_0, R_D – parametry modelu



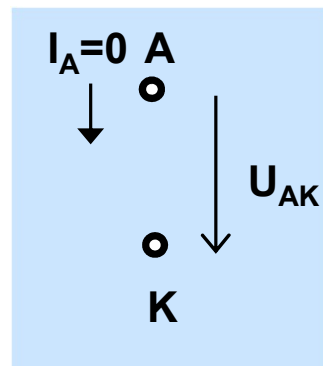
C5.2 Modely diod a jejich užití

Úplné odporové (statické) modely

Aproximace
konstantním zdrojem napětí

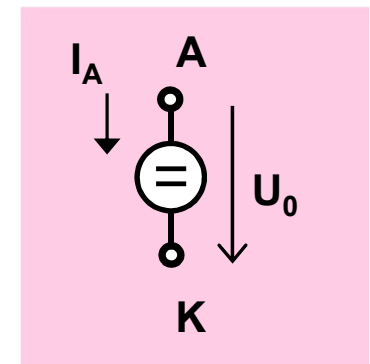


$$U_{AK} < U_0 \Rightarrow I_A = 0$$



$$I_A > 0 \Rightarrow U_{AK} = U_0$$

pro Si@300K $U_0 \approx 0.6-0.7V$

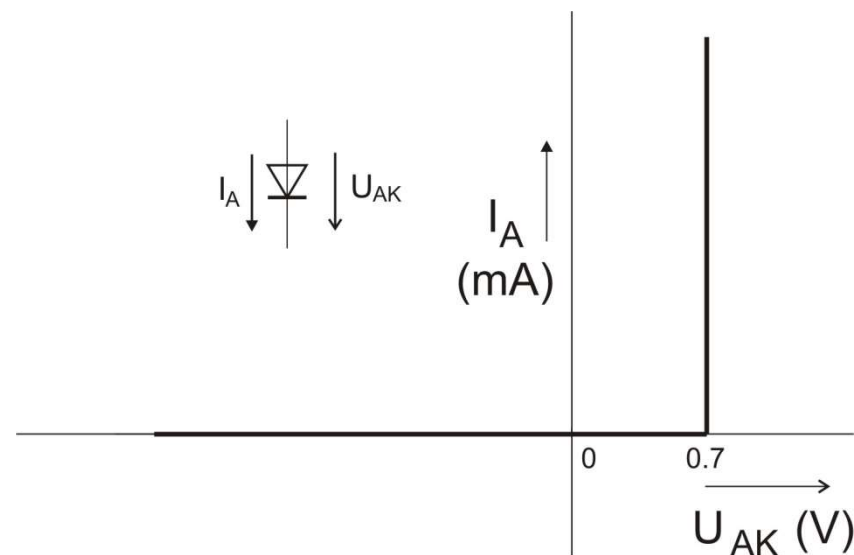
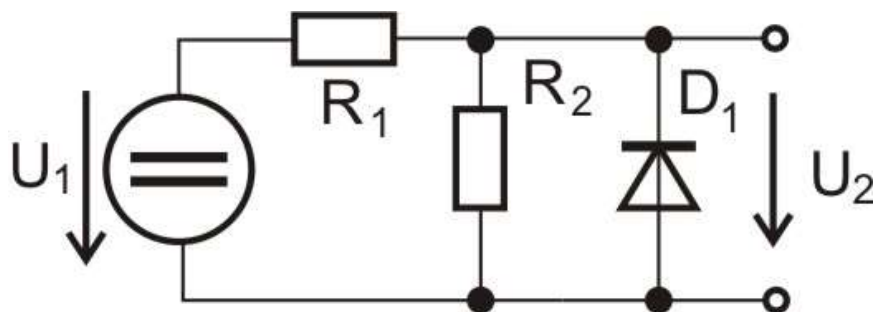


C5.2 Modely diod a jejich užití

Příklad CP5.1:

Pro zadané hodnoty napětí U_1 určete hodnoty napětí U_2 a proud odporem R_1 , je-li R_1 a $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$. Uvažujte VA charakteristiku diody dle obrázku.

A. $U_1 = +10\text{V}$ **B.** $U_1 = -10\text{V}$



C5.2 Modely diod a jejich užití

Příklad CP5.1:

(pokračování)

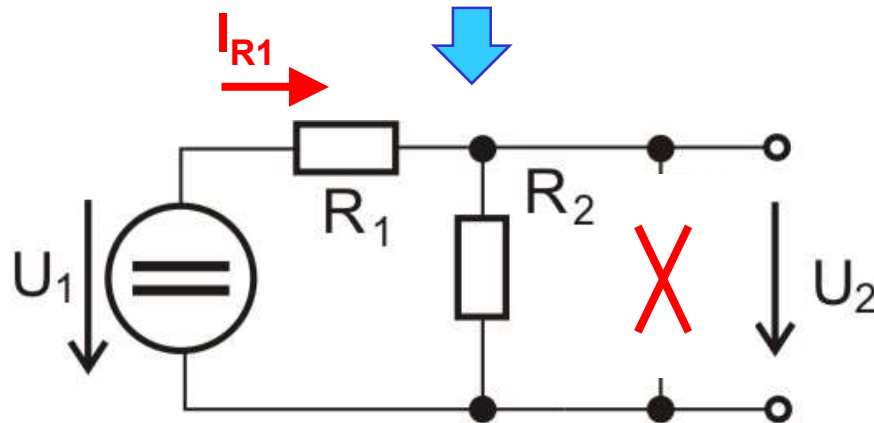
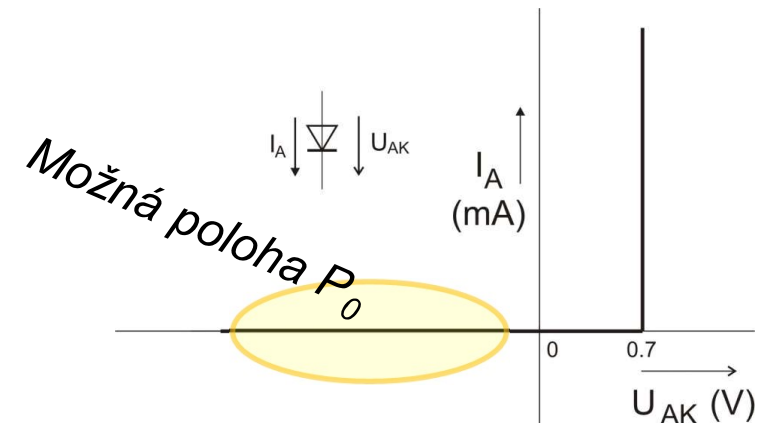
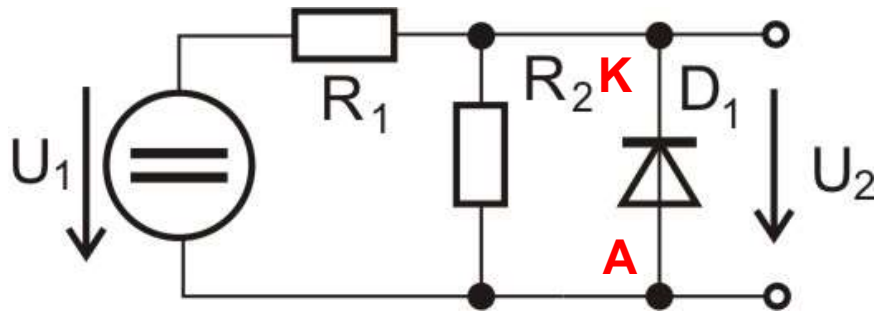
Při $U_1 = +10V$ je napětí U_{AK} diody záporné



Řešení A:



dioda **nevede** proud – diodu nahradíme rozpojenými svorkami



$$U_2 = U_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \frac{1k}{1k + 1k} = 5V$$

$$I_{R1} = \frac{U_1}{R_1 + R_2} = \frac{10}{1k + 1k} = 5mA$$

C5.2 Modely diod a jejich užití

Příklad CP5.1:

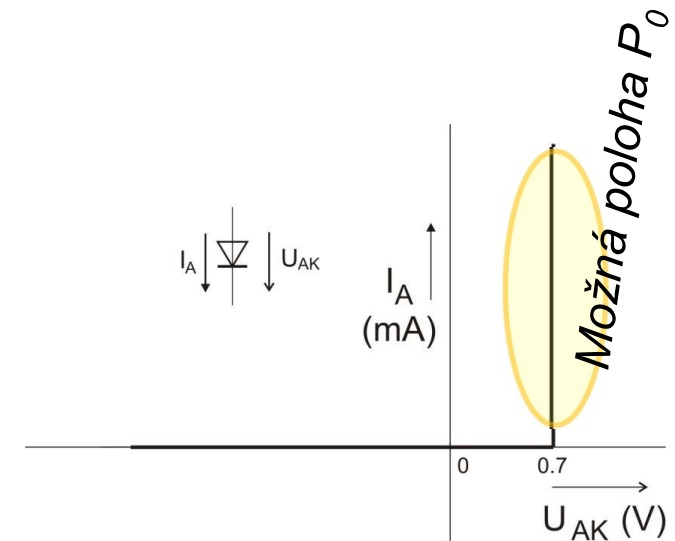
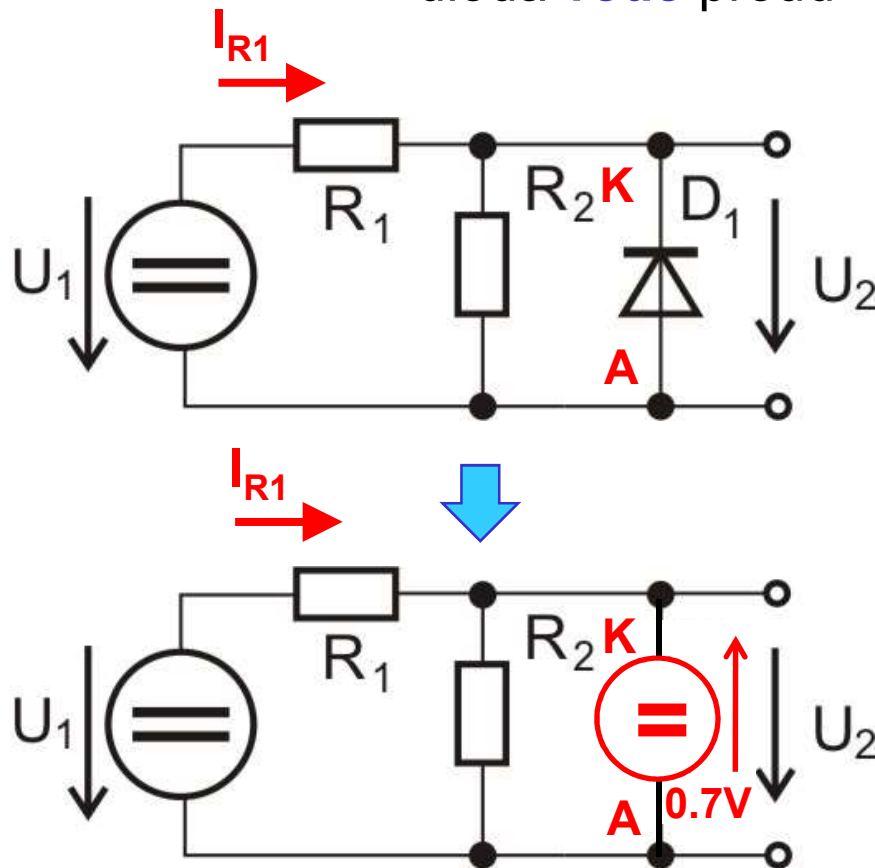
(pokračování)

Při $U_1 = -10V$ je napětí U_{AK} diody kladné, větší než $0.7V$



Řešení B:

dioda **vede** proud – diodu nahradíme zdrojem napětí $0.7V$



$$U_2 = -0.7V$$

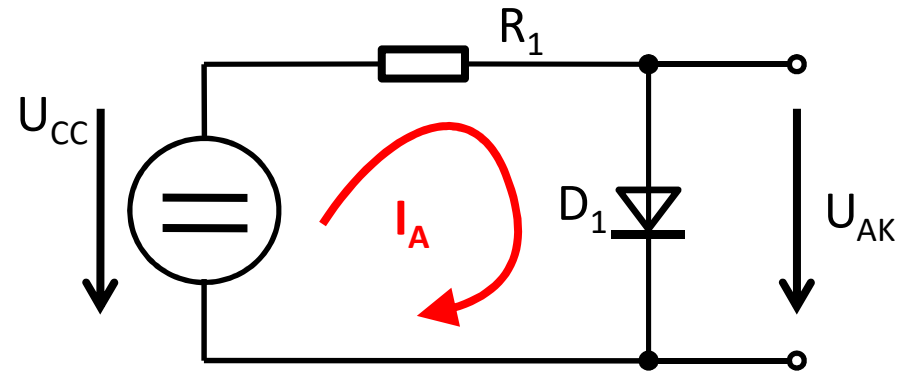
$$I_{R1} = \frac{-U_1 + U_2}{R_1} = \frac{-10 + 0.7}{1k} = -9.3mA$$

C5.2 Modely diod a jejich užití

Příklad CP5.2:

Vypočtěte hodnotu odporu R_1 .

$U_{CC} = 3,3V$, $U_{AK} = 0,7V$ a $I_A = 2mA$.



Řešení:

- 1) Sestavíme obvodovou rovnici proudové smyčky I_A
(2. Kirchhoffův zákon)

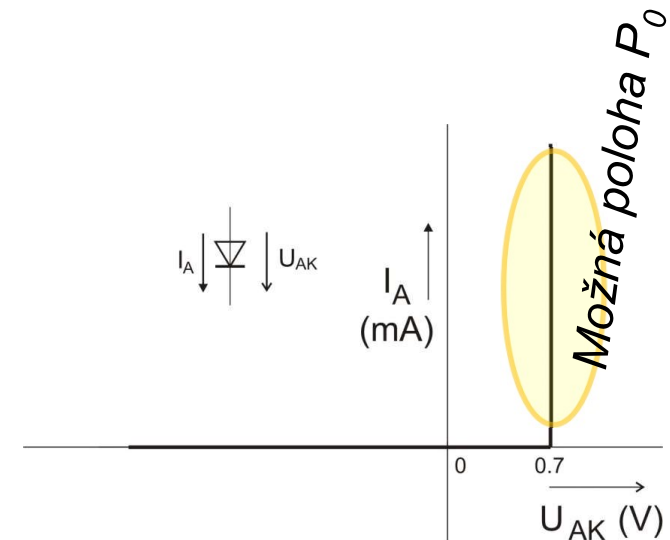
$$-U_{CC} + I_A \cdot R_1 + U_{AK} = 0$$



- 2) Vypočteme R_1 .

$$R_1 = \frac{U_{CC} - U_{AK}}{I_A}$$

$$R_1 = \frac{3,3 - 0,7}{2 \cdot 10^{-3}} = 1300 \text{ } [\Omega]$$

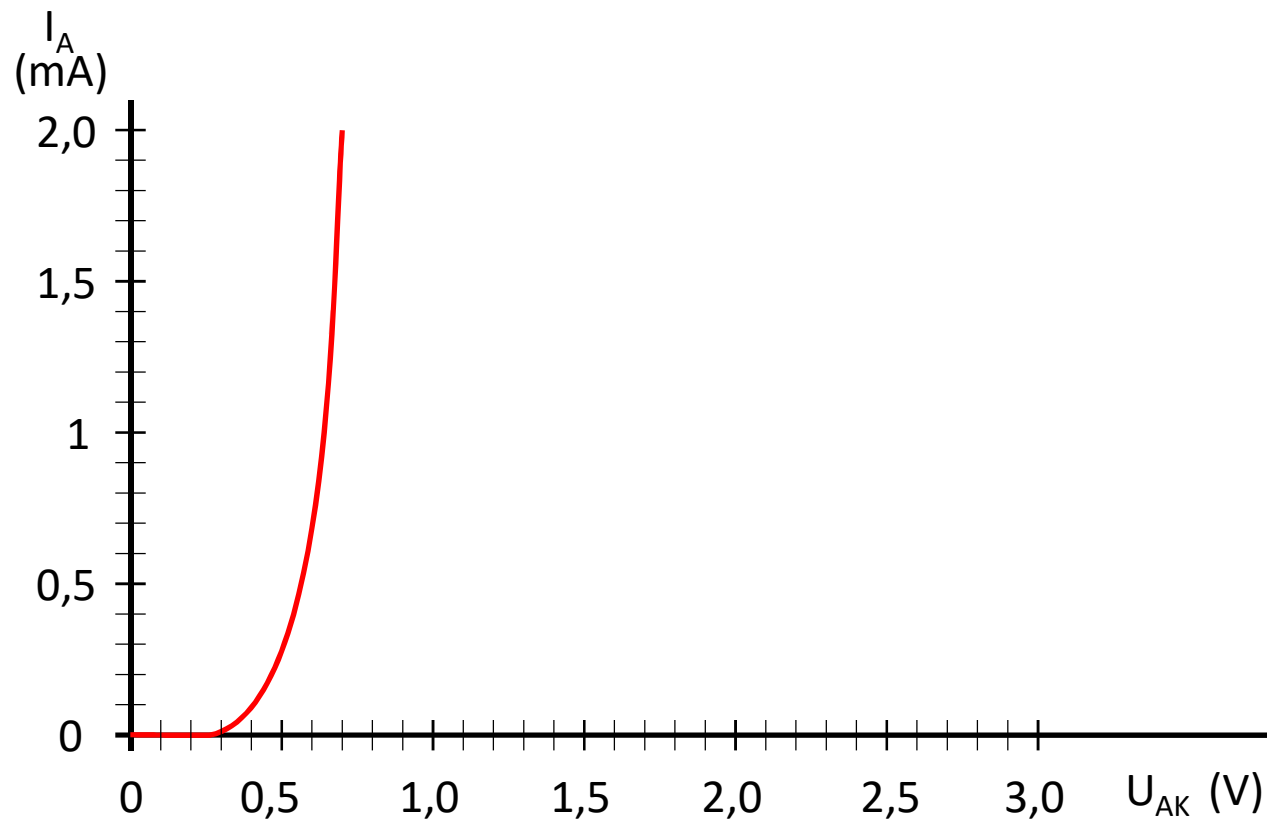
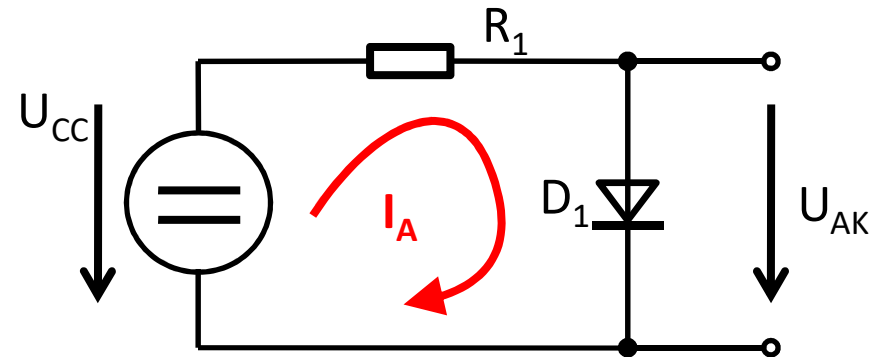


C5.3 Náhradní lineární obvod diody (NLO)

Příklad CP5.3:

Určete pracovní bod P_0 diody v obvodu.

$R_1 = 2\text{k}\Omega$, $U_{CC} = 3\text{V}$.

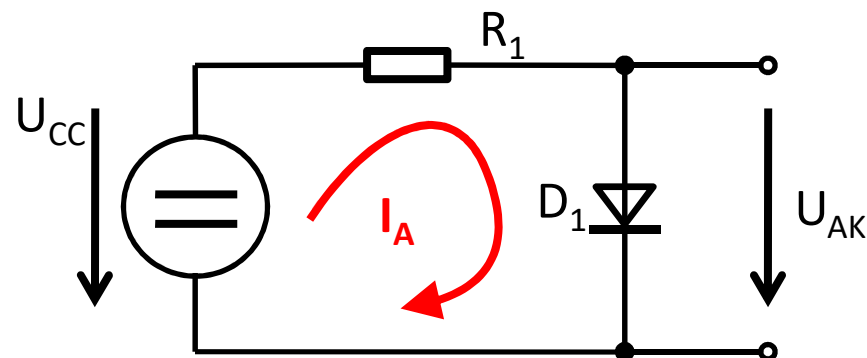


C5.3 Náhradní lineární obvod diody (NLO)

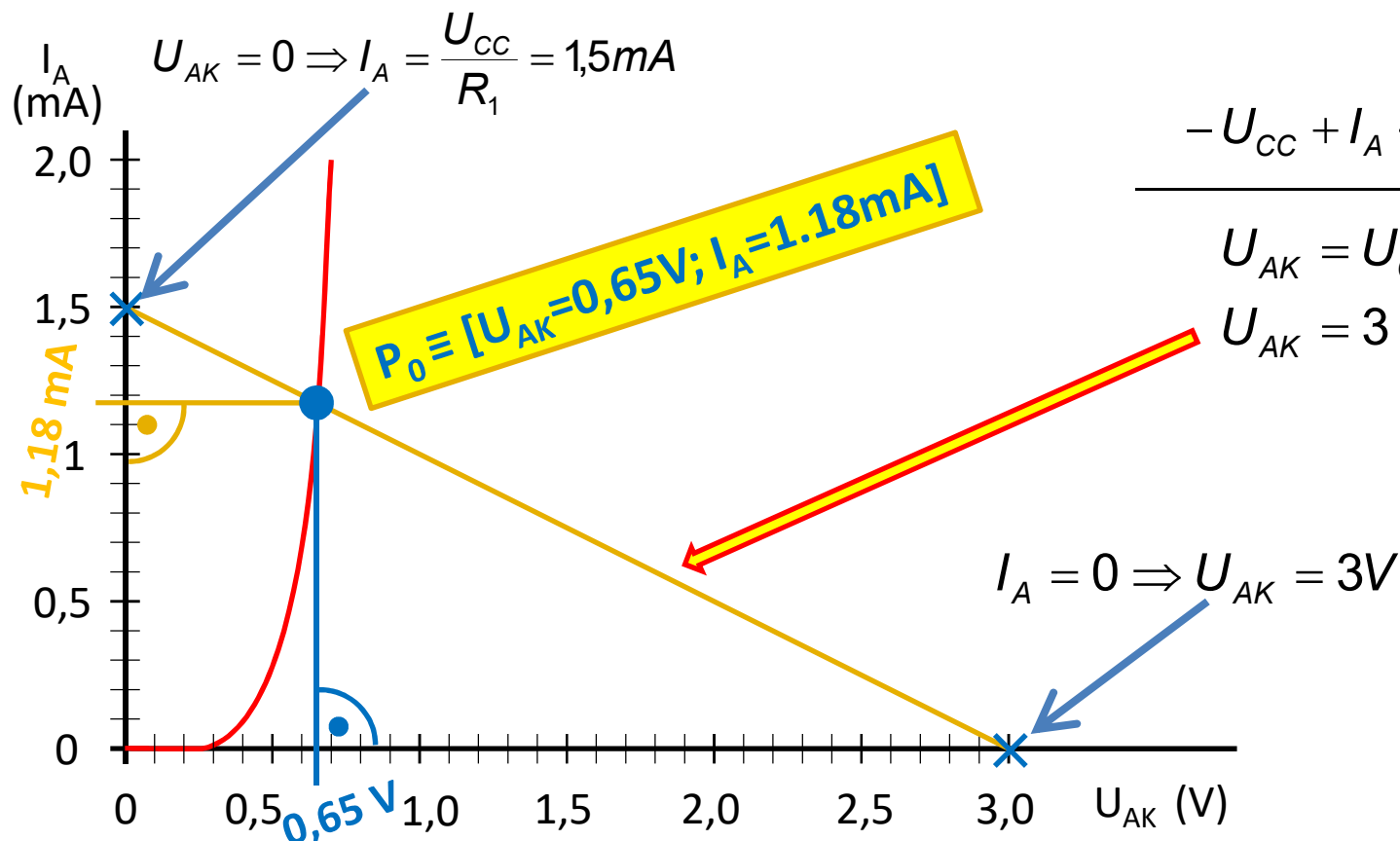
Příklad CP5.3:

Určete pracovní bod P_0 diody v obvodu.

$R_1 = 2\text{k}\Omega$, $U_{CC} = 3\text{V}$.



Řešení:



$$-U_{CC} + I_A \cdot R_1 + U_{AK} = 0$$

$$U_{AK} = U_{CC} - I_A \cdot R_1$$

$$U_{AK} = 3 - I_A \cdot 2000$$

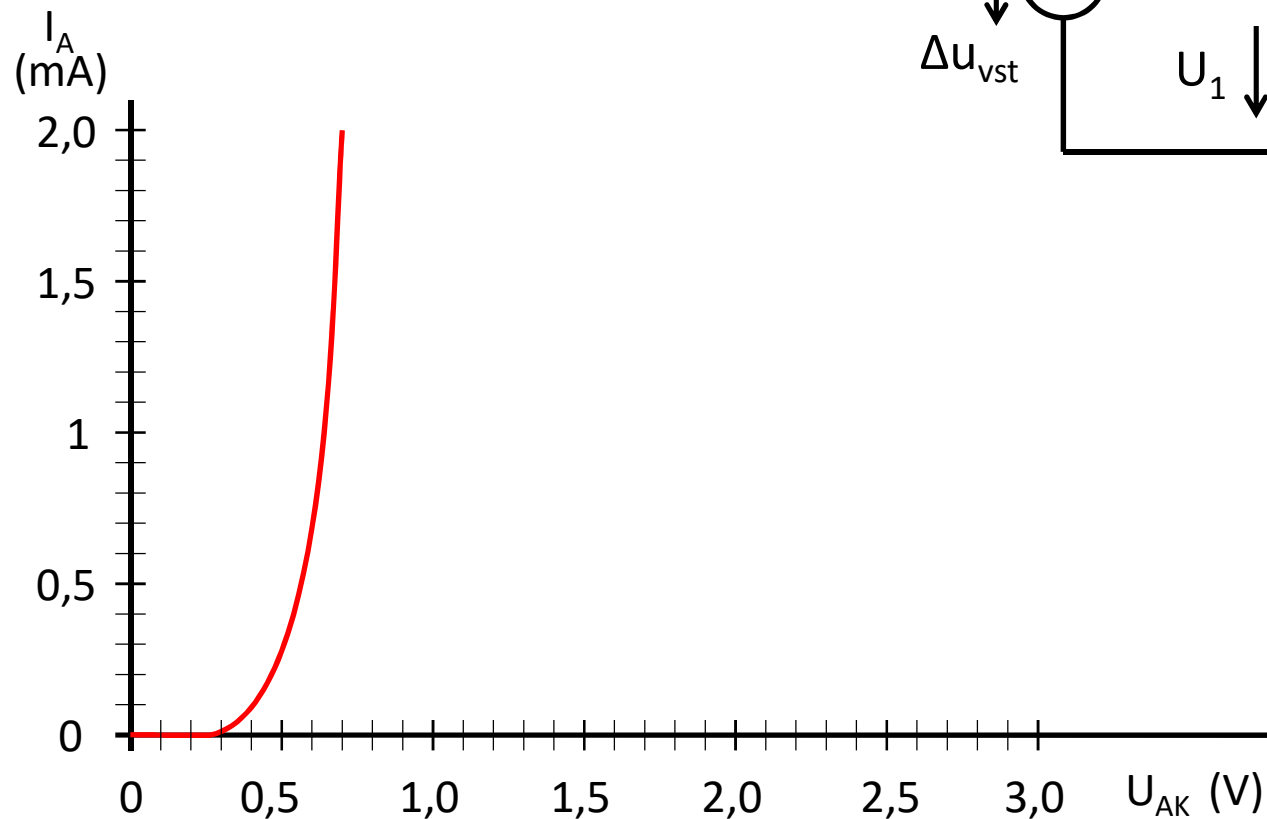
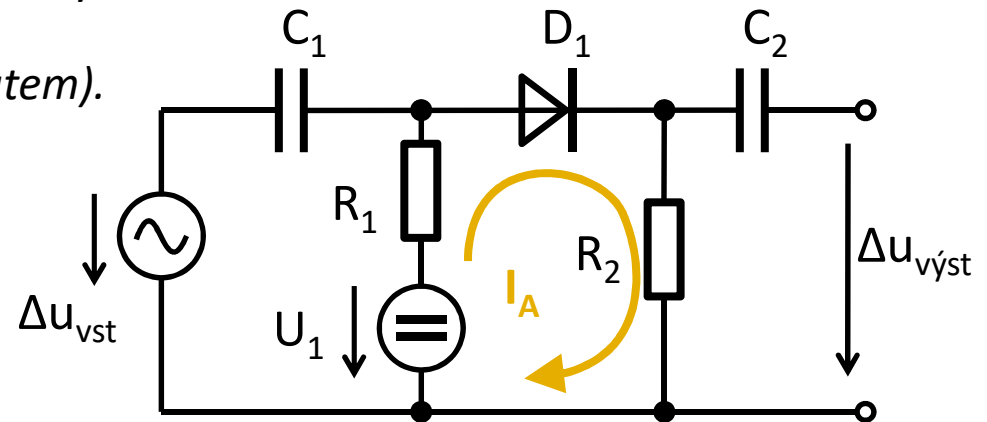
C5.3 Náhradní lineární obvod diody (NLO)

Příklad CP5.4:

Vypočtete střídavou složku výstupního napětí $\Delta u_{\text{výst}}$.

$\Delta u_{\text{vst}} = 10\text{mV}$, $R_1 = R_2 = 1\text{k}\Omega$, $U_1 = 3\text{V}$.

(Pro střídavé signály nahradte kapacitory zkratem).



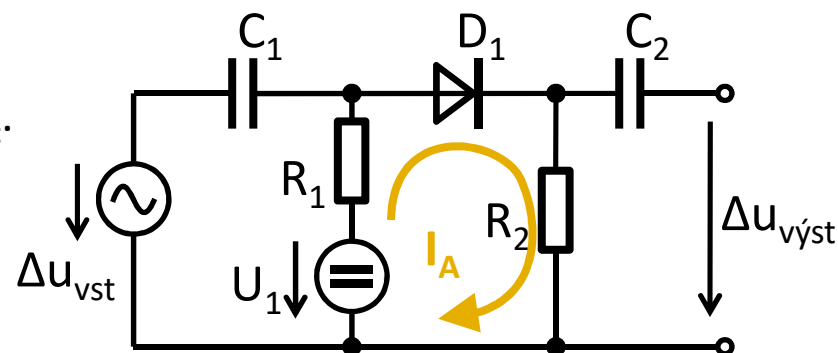
C5.3 Náhradní lineární obvod diody (NLO)

Příklad CP5.4:

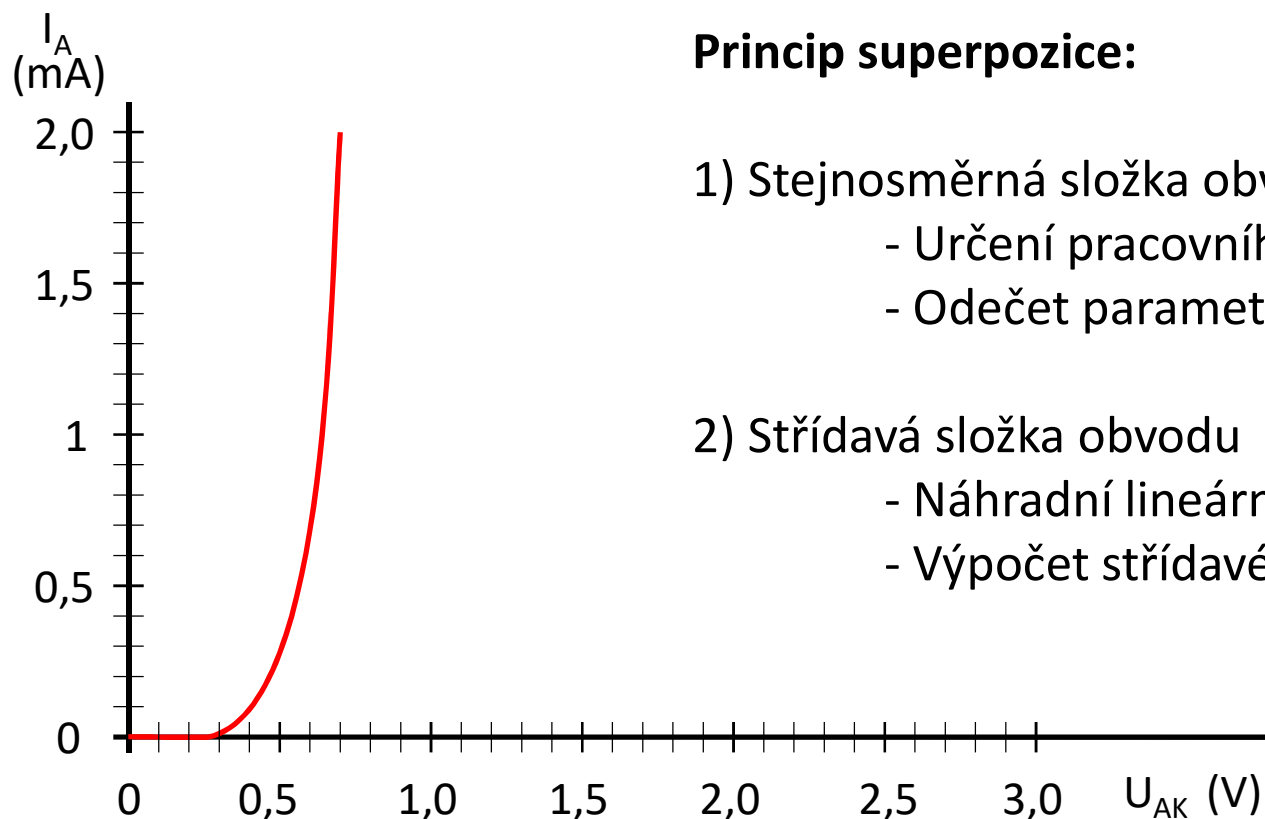
Vypočtete střídavou složku výstupního napětí $\Delta u_{\text{výst}}$.

$\Delta u_{\text{vst}} = 10\text{mV}$, $R_1 = R_2 = 1\text{k}\Omega$, $U_1 = 3\text{V}$.

(Pro střídavé signály nahraďte kapacitory zkratem).



Řešení:



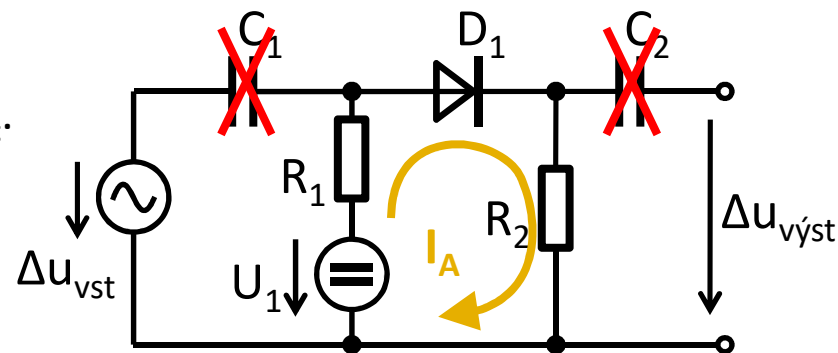
Princip superpozice:

- 1) Stejnosměrná složka obvodu
 - Určení pracovního bodu
 - Odečet parametrů NLO diody
- 2) Střídavá složka obvodu
 - Náhradní lineární obvod pro změny veličin
 - Výpočet střídavého přenosu obvodu

C5.3 Náhradní lineární obvod diody (NLO)

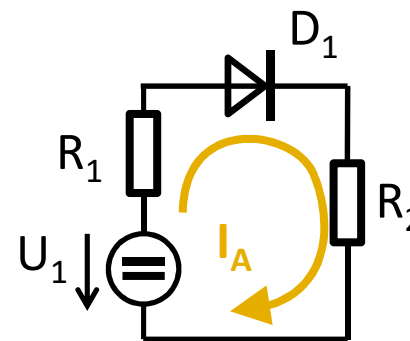
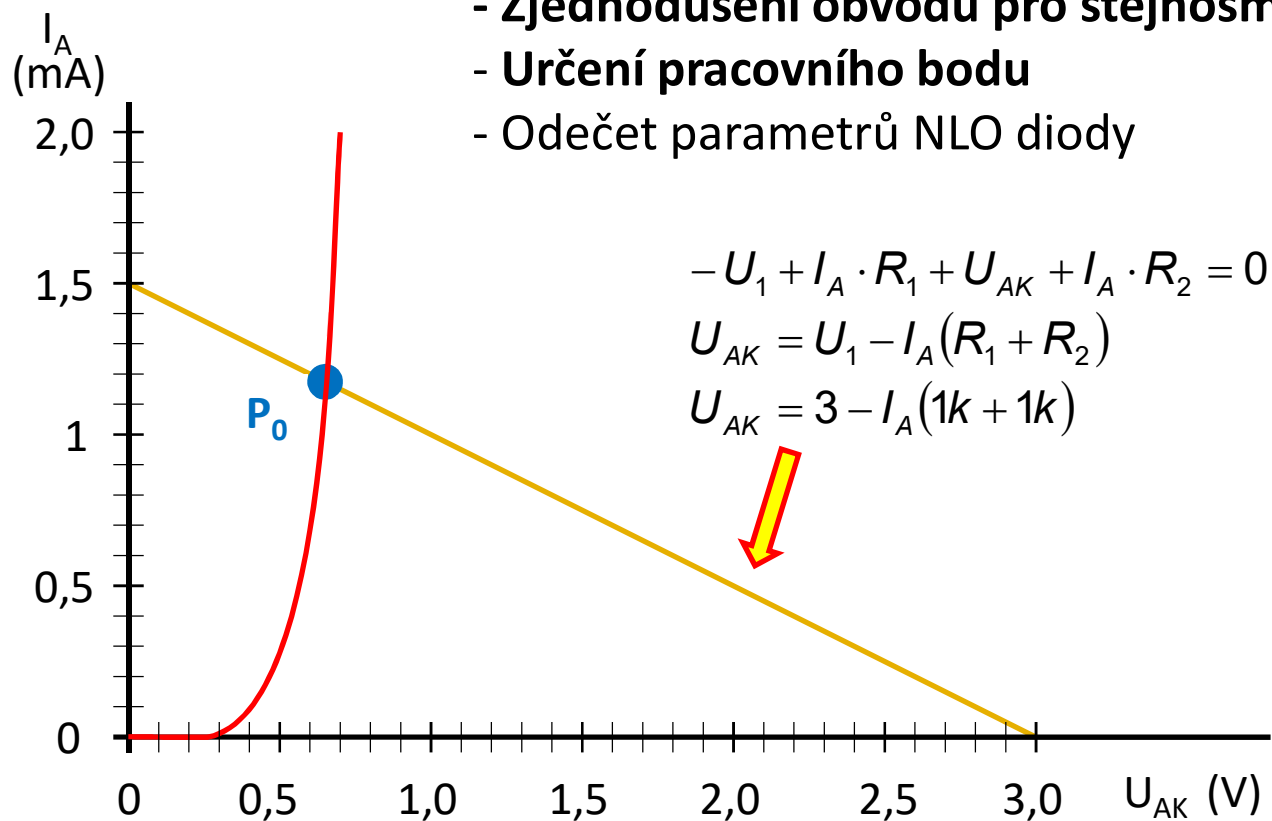
Příklad CP5.4:

Vypočtěte střídavou složku výstupního napětí $\Delta u_{\text{výst}}$.
 $\Delta u_{\text{vst}} = 10\text{mV}$, $R_1 = R_2 = 1\text{k}\Omega$, $U_1 = 3\text{V}$.



Řešení: 1) Stejnosměrná složka obvodu

- Zjednodušení obvodu pro stejnosměrné účely
- Určení pracovního bodu
- Odečet parametrů NLO diody



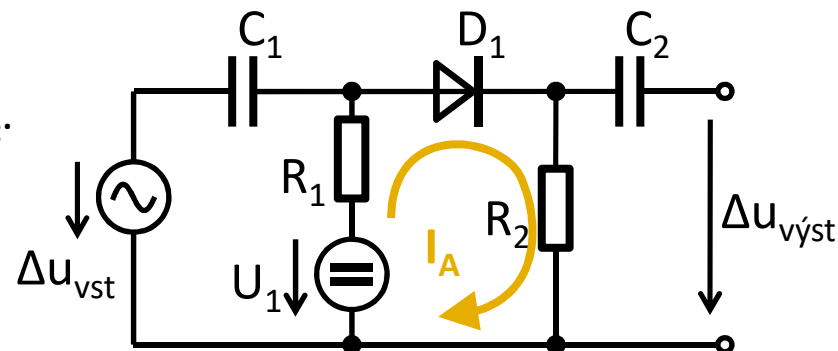
C5.3 Náhradní lineární obvod diody (NLO)

Příklad CP5.4:

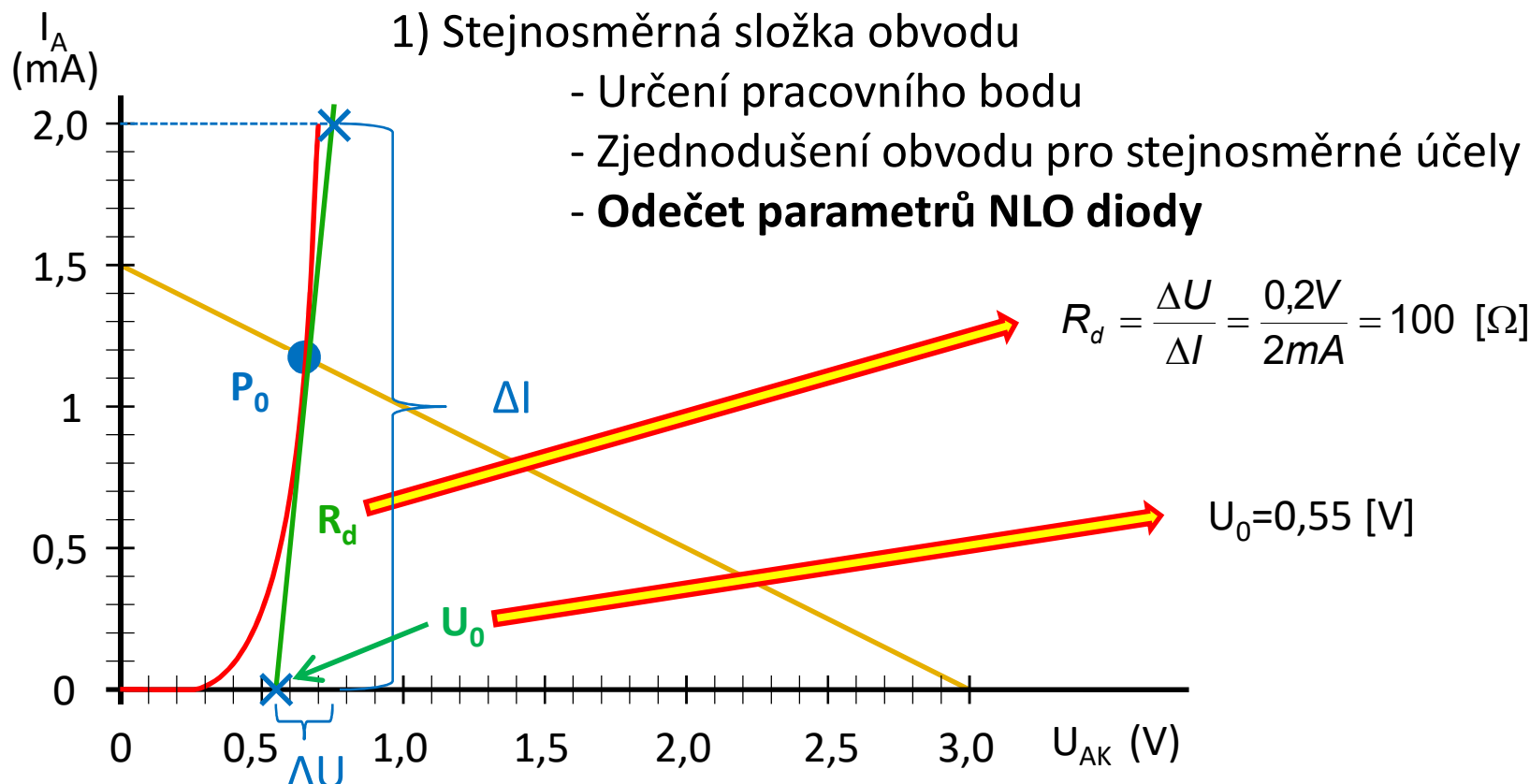
Vypočtete střídavou složku výstupního napětí $\Delta u_{\text{výst}}$.

$\Delta u_{\text{vst}} = 10\text{mV}$, $R_1 = R_2 = 1\text{k}\Omega$, $U_1 = 3\text{V}$.

(Pro střídavé signály nahraďte kapacitory zkratem).



Řešení:



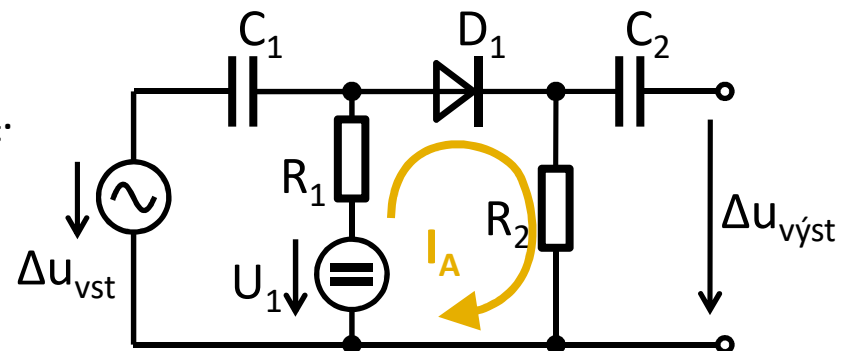
C5.3 Náhradní lineární obvod diody (NLO)

Příklad CP5.4:

Vypočtete střídavou složku výstupního napětí $\Delta u_{\text{výst}}$.

$\Delta u_{\text{vst}} = 10\text{mV}$, $R_1 = R_2 = 1\text{k}\Omega$, $U_1 = 3\text{V}$.

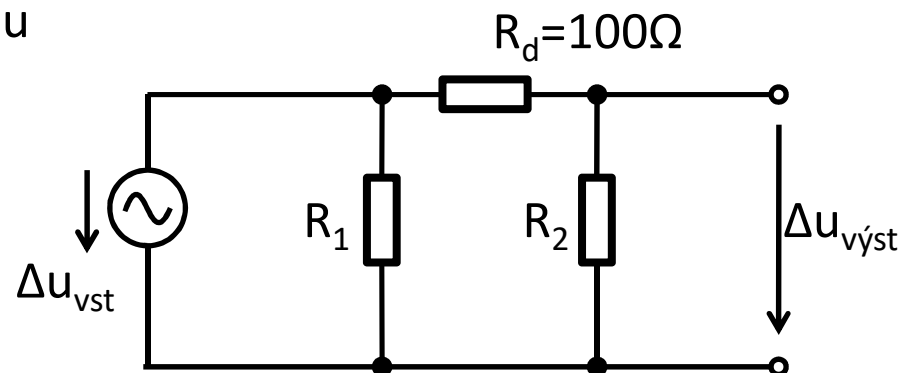
(Pro střídavé signály nahradte kapacitory zkratem).



Řešení:

2) Střídavá složka obvodu

- Náhradní lineární obvod pro změny veličin
- Výpočet střídavého přenosu obvodu



$$\Delta u_{\text{výst}} = \frac{\Delta u_{\text{vst}} \cdot R_2}{R_d + R_2} = \frac{10\text{mV} \cdot 1\text{k}}{100 + 1\text{k}} = 9,1 [\text{mV}]$$

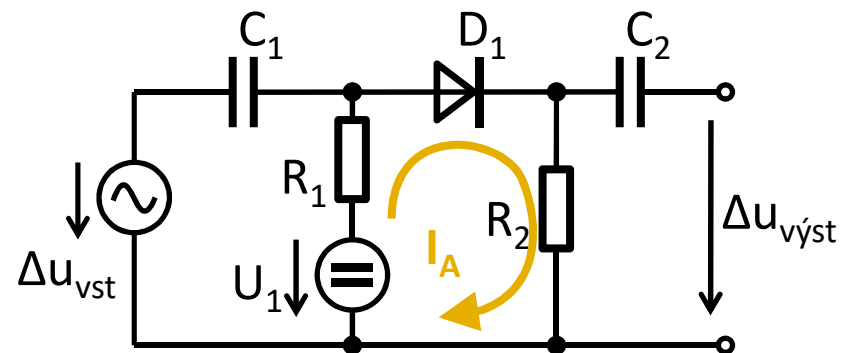
C5.3 Náhradní lineární obvod diody (NLO)

Příklad CP5.5:

Vypočtete střídavou složku výstupního napětí $\Delta u_{\text{výst}}$.

$\Delta u_{\text{vst}} = 10\text{mV}$, $R_1 = R_2 = 1\text{k}\Omega$, $U_1 = 0\text{V}$.

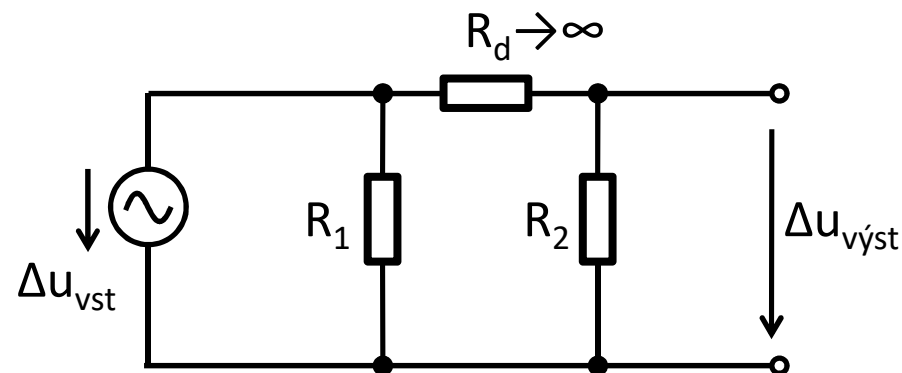
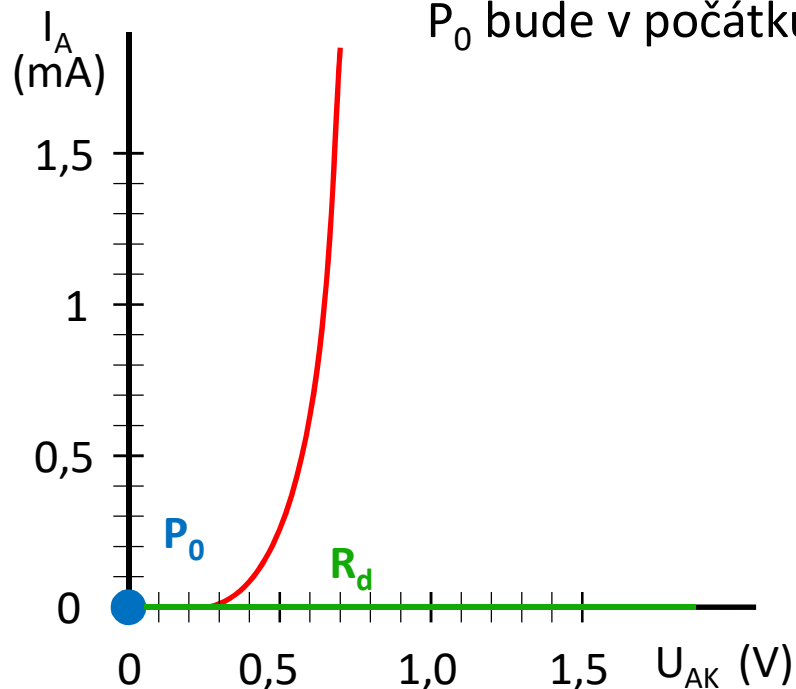
(Pro střídavé signály nahraďte kapacitory zkratem).



Řešení:

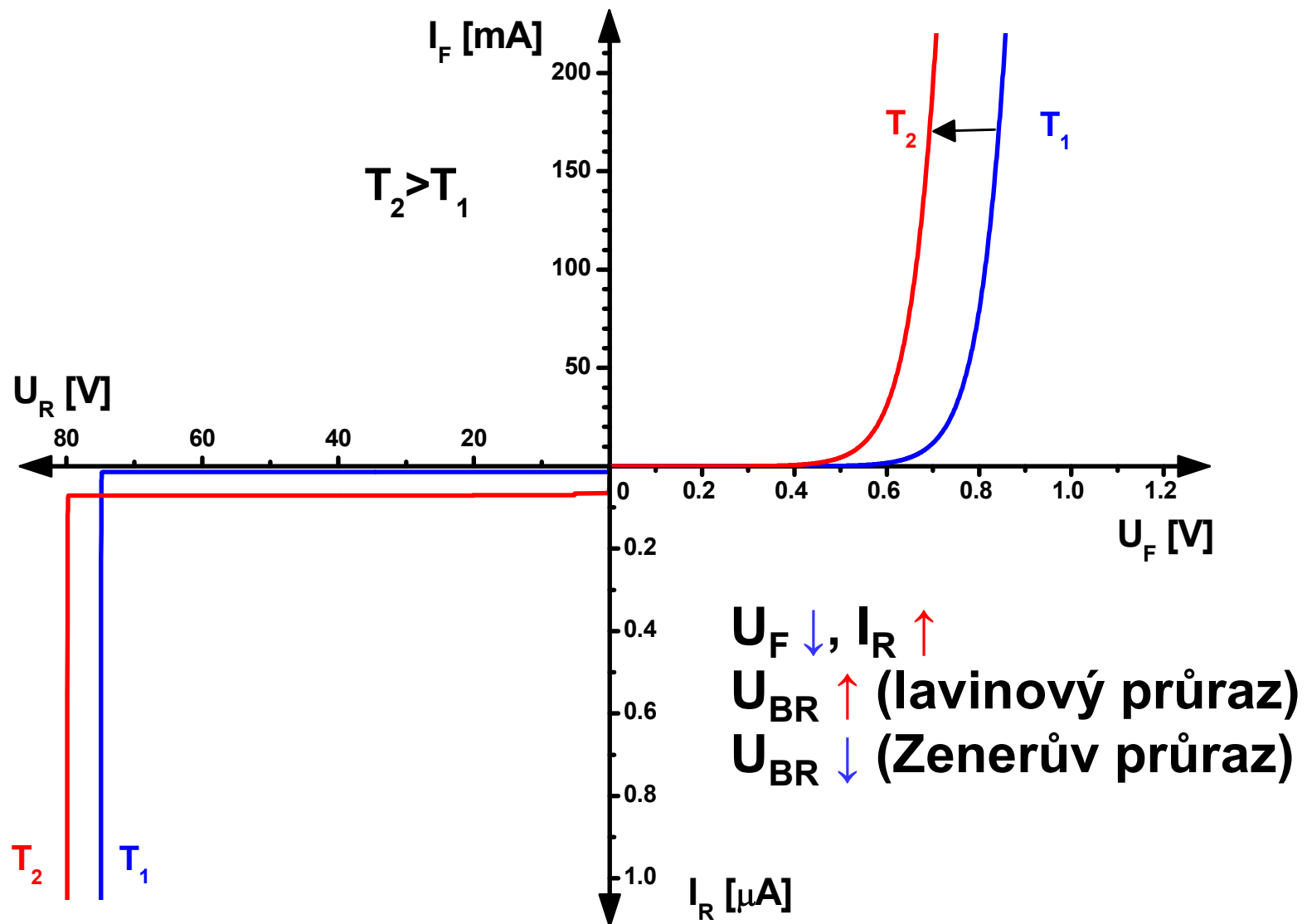
$$U_1 = 0\text{V} \Rightarrow I_A = 0\text{A}$$

P_0 bude v počátku souřadnic $\Rightarrow R_d \rightarrow \infty$



$$\Delta u_{\text{výst}} = \frac{\Delta u_{\text{vst}} \cdot R_2}{R_d + R_2} = \frac{10\text{mV} \cdot 1\text{k}}{\infty} = 0 \text{ [V]}$$

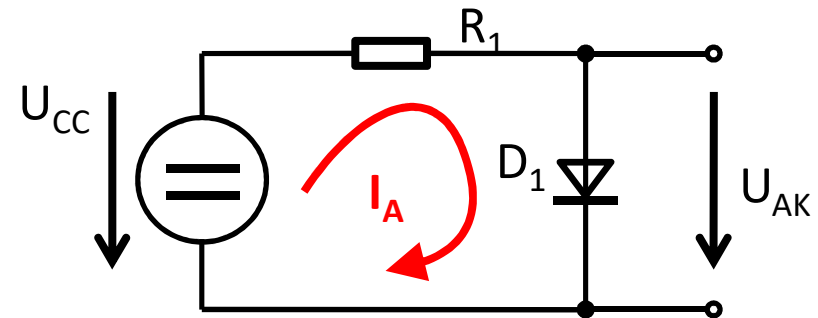
C5.4 Teplotní závislost V-A charakteristiky diody



C5.4 Teplotní závislost V-A charakteristiky diody

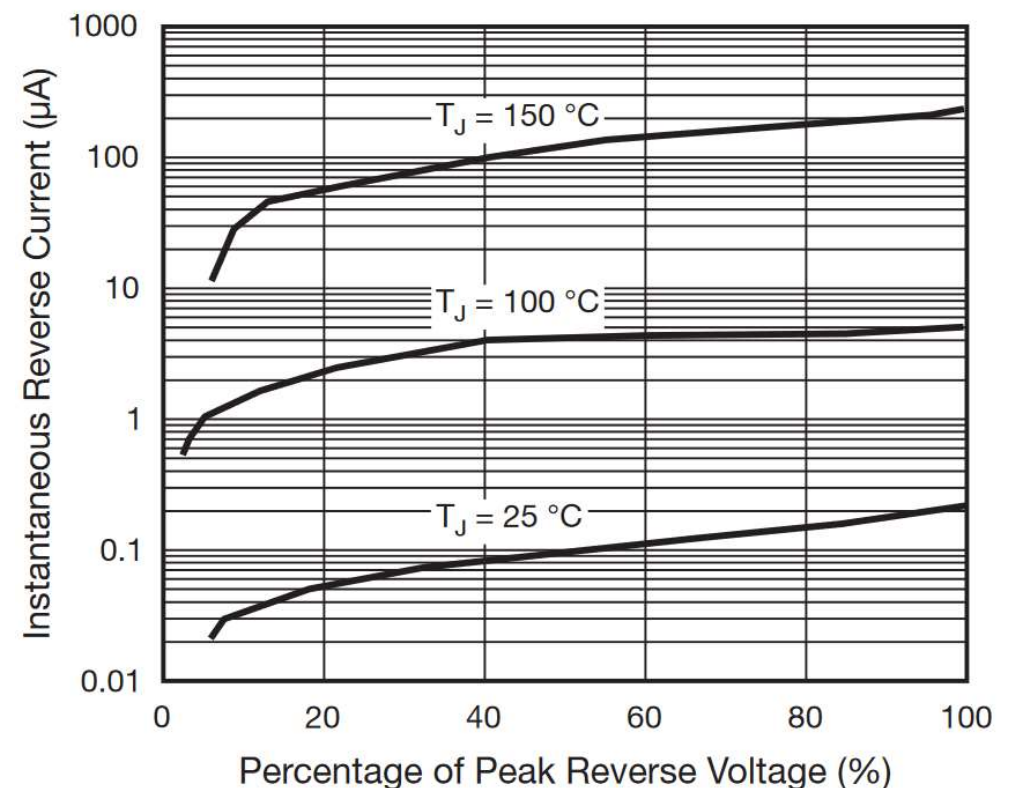
Příklad CP5.6:

A: Vypočtete hodnotu U_{AK} v propustném směru Si diody pro teplotu PN přechodu 150°C
 $U_{CC}=800\text{V}$, $R_1=1\text{k}\Omega$, $U_{AK}=0,65\text{V}@25^{\circ}\text{C}$.
Teplotní koeficient uvažujte $\Delta U_{AK}/\Delta T=-2\text{mV/K}$.



B: Vypočtete samoohřev PN přechodu diody vlivem ztrátového výkonu pro 25°C a 150°C . $U_{CC}=800\text{V}$, $R_1=1\text{k}\Omega$
Uvažujte tepelný odpor $R_{THJA}=50\text{K/W}$.

C: Vypočtete ztrátový výkon závěrně polarizovaného PN přechodu diody 1N4007 pro 25°C a 150°C .
 $U_{CC}=-800\text{V}$, $R_1=1\text{k}\Omega$.

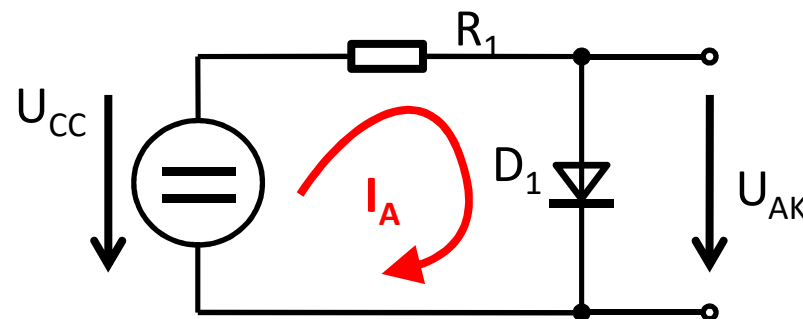


U_{CC} a R_1 uvažujte jako teplotně nezávislé.

C5.4 Teplotní závislost V-A charakteristiky diody

Příklad CP5.6:

A: Vypočtete hodnotu U_{AK} v propustném směru Si diody pro teplotu PN přechodu 150°C
 $U_{CC}=800\text{V}$, $R_1=1\text{k}\Omega$, $U_{AK}=0,65\text{V}@25^{\circ}\text{C}$.
Teplotní koeficient uvažujte $\Delta U_{AK}/\Delta T=-2\text{mV/K}$.



Řešení A:

Úbytek napětí v propustném směru křemíkové diody s PN přechodem lineárně klesá o 2mV/K .

$$U_{AKT2} = U_{AKT1} + (T_2 - T_1) \cdot (\Delta U_{AK} / \Delta T)$$

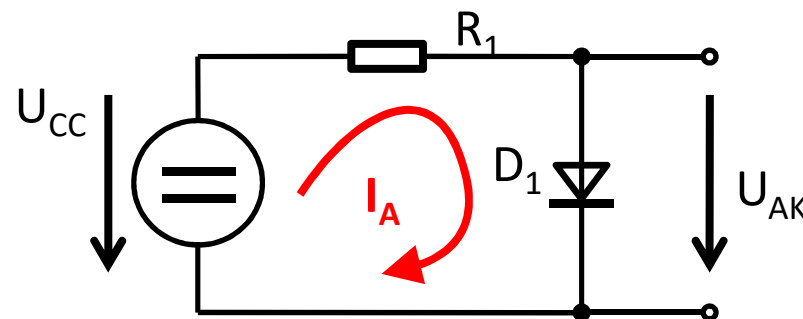
$$U_{AKT2} = 0,65 + (150 - 25) \cdot (-2\text{mV})$$

$$U_{AKT2} = 0,65 - 0,25 = \mathbf{0,40\text{V}}$$

C5.4 Teplotní závislost V-A charakteristiky diody

Příklad CP5.6:

B: Vypočtěte samoohřev PN přechodu diody vlivem ztrátového výkonu pro 25°C a 150°C. $U_{CC}=800V$, $R_1=1k\Omega$
Uvažujte tepelný odpor $R_{THJA}=50K/W$.



Řešení B:

Samoohřev (zvýšení teploty PN přechodu oproti okolní teplotě) vlivem proudu protékajícího diodou vypočteme jako součin ztrátového výkonu diody a jejího tepelného odporu:

$$\Delta T_j = R_{THJA} * P_{D1} \quad @ \quad P_{D1} = U_{AK} * I_A = U_{AK} * (U_{CC} - U_{AK}) / R_1$$

pro 25°C: $P_{D1} = U_{AK} * I_A = 0,65 * (800 - 0,65) / 1k = 0,52 \text{ W}$

$$\Delta T_j = R_{THJA} * P_{D1} = 50 * 0,52W = 26 \text{ K}$$

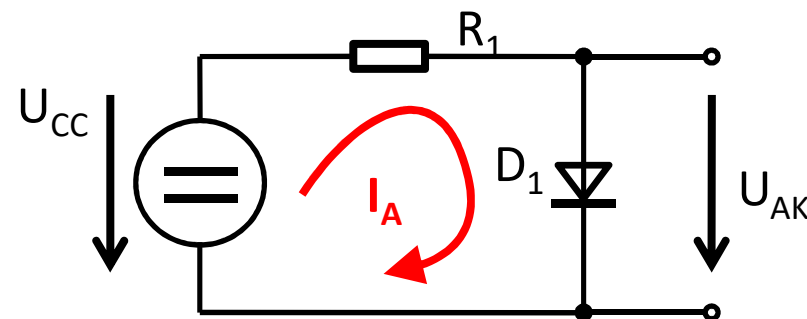
pro 150°C: $P_{D1} = U_{AK} * I_A = 0,40 * (800 - 0,40) / 1k = 0,32 \text{ mW}$

$$\Delta T_j = R_{THJA} * P_{D1} = 50 * 0,32W = 16 \text{ K}$$

C5.4 Teplotní závislost V-A charakteristiky diody

Příklad CP5.6:

C: Vypočtete ztrátový výkon
závěrně polarizovaného PN přechodu
diody 1N4007 pro 25°C a 150°C.
 $U_{CC} = -800V$, $R_1 = 1k\Omega$.



Řešení C:

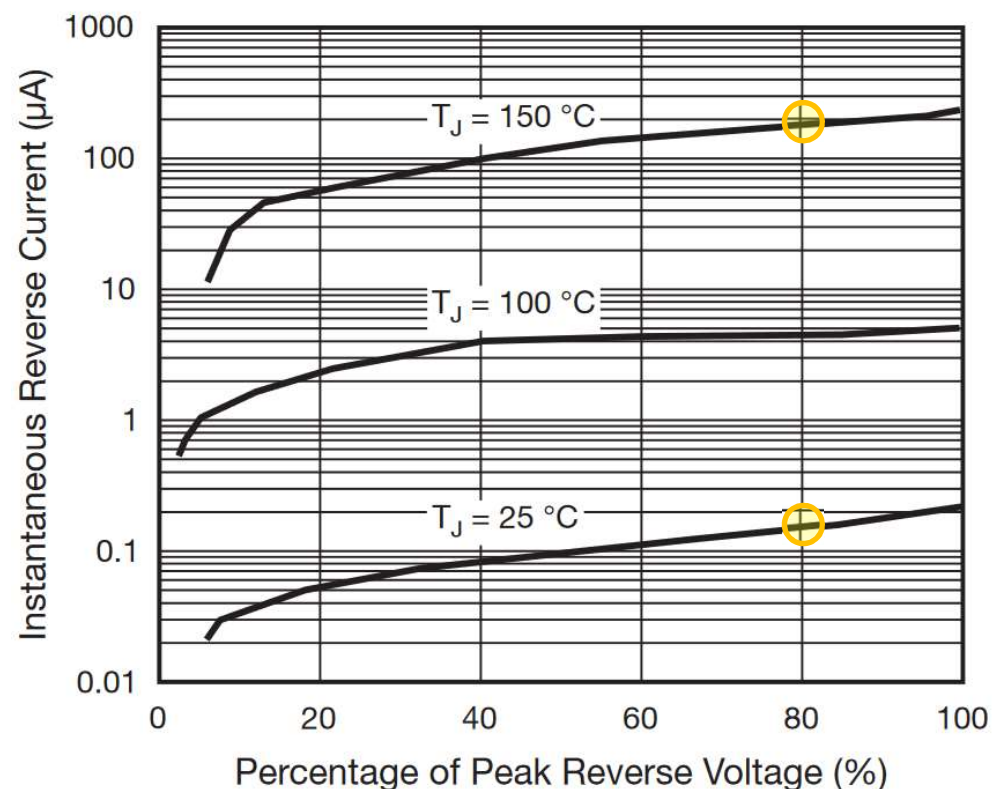
Hodnotu závěrných proudů odečteme
z grafu pro 80% závěrného napětí

pro 25°C:

$$P_{D1} = U_{AK} * I_A = -800 * (-0,15\mu) = 120 \mu W$$

pro 150°C:

$$P_{D1} = U_{AK} * I_A = -800 * (-200\mu) = 0,16 W !!!$$

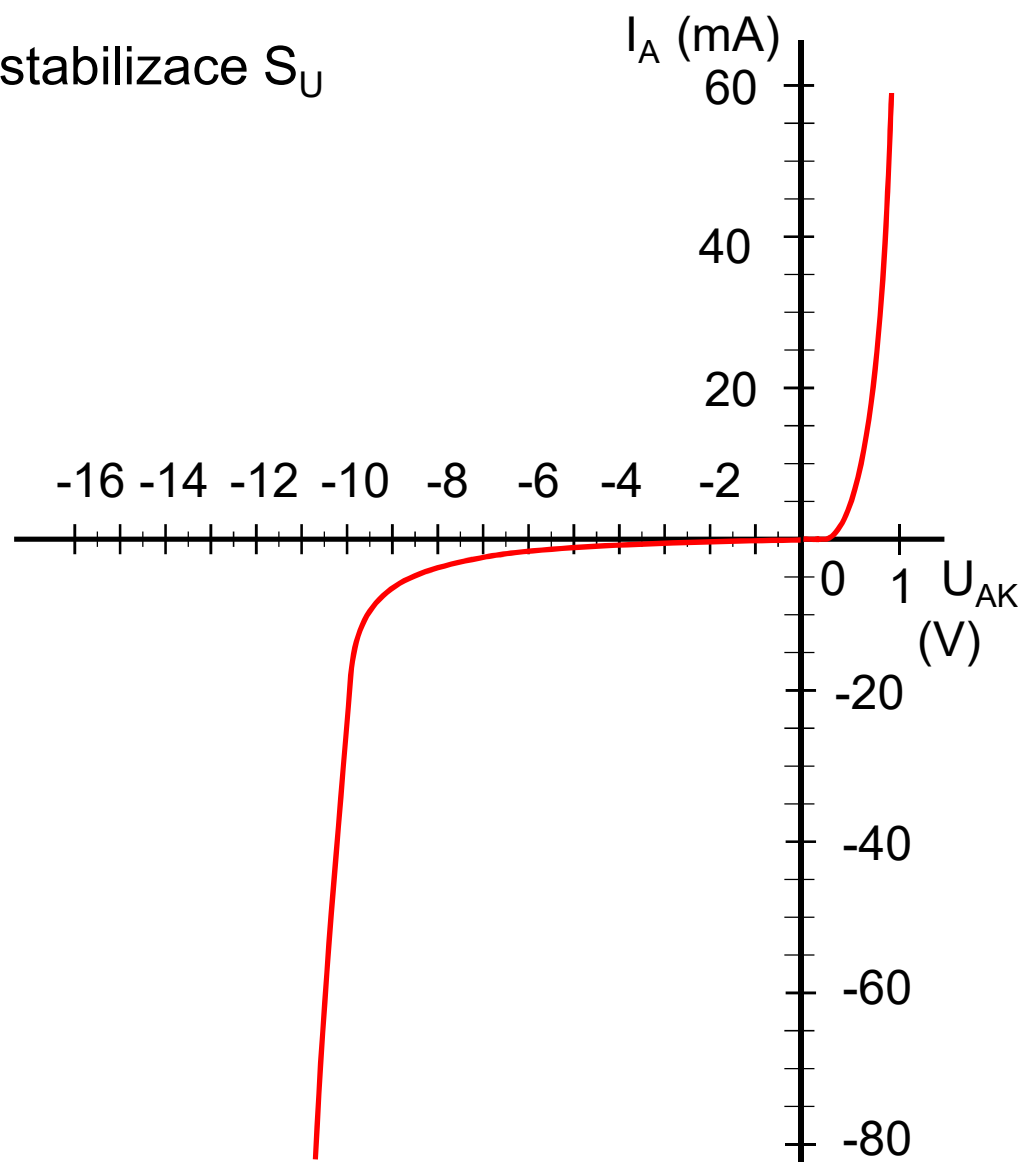
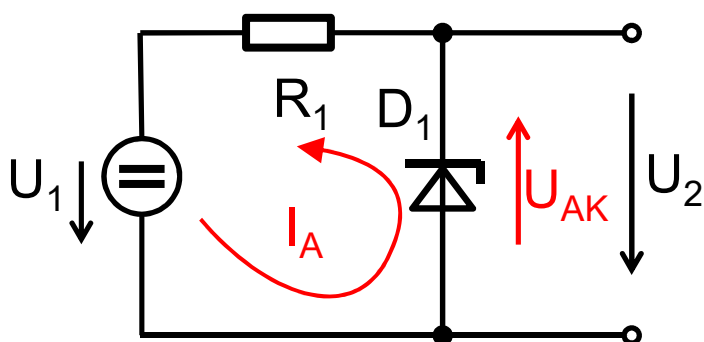


C5.5 Zenerova dioda

Příklad CP5.7:

Vypočtete hodnotu činitele napěťové stabilizace S_U stabilizátoru se Zenerovou diodou.

$R_1 = 200\Omega$, $U_1 = 15V$.



C5.5 Zenerova dioda

Příklad CP5.7:

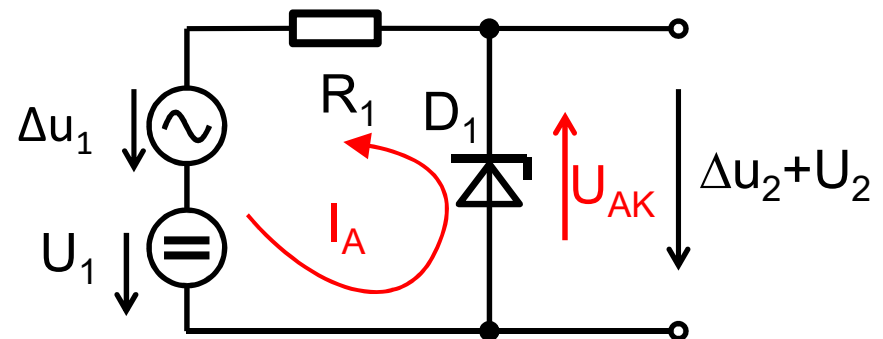
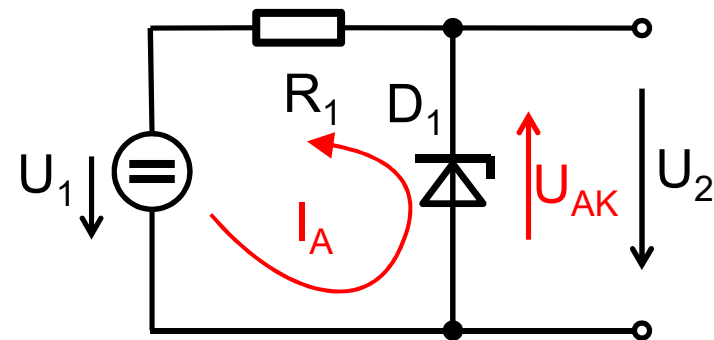
Vypočtete hodnotu činitele napěťové stabilizace S_U stabilizátoru se Zenerovou diodou.

$R_1 = 200\Omega$, $U_1 = 15V$.

Řešení:

Činitel napěťové stabilizace je poměr vstupního a výstupního zvlnění, vztažený k napájecímu a stabilizovanému napětí:

$$S_U = \frac{\frac{\Delta u_1}{U_1}}{\frac{\Delta u_2}{U_2}} = \frac{\Delta u_1}{\Delta u_2} \cdot \frac{U_2}{U_1}$$



C5.5 Zenerova dioda

Příklad CP5.7:

Vypočtěte hodnotu činitele napěťové stabilizace S_U stabilizátoru se Zenerovou diodou.

$R_1 = 200\Omega$, $U_1 = 15V$.

Řešení:

$$S_U = \frac{\frac{\Delta u_1}{U_1}}{\frac{\Delta u_2}{U_2}} = \frac{\Delta u_1}{\Delta u_2} \cdot \frac{U_2}{U_1}$$

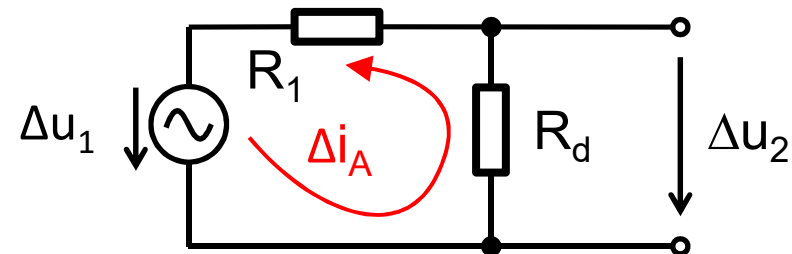
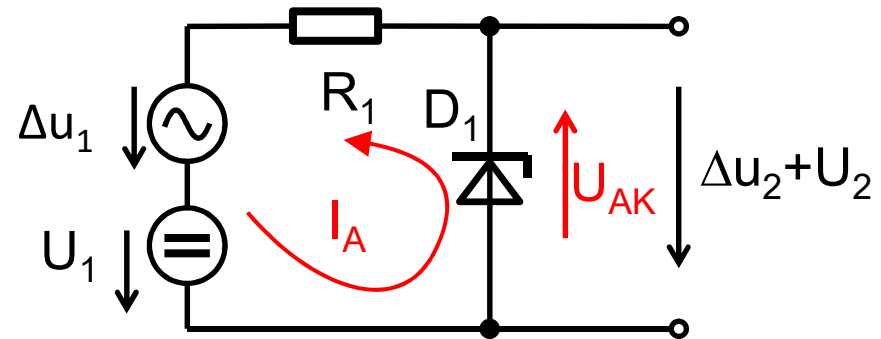
Pro odvození vztahu mezi Δu_1 a Δu_2 sestavíme NLO pro změny obvodových veličin:

$$\Delta u_1 = -\Delta i_A \cdot (R_d + R_1)$$

$$\Delta u_2 = -\Delta i_A \cdot R_d$$

$$S_U = \frac{\Delta u_1}{\Delta u_2} \cdot \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_d + R_1}{R_d} \cdot \frac{U_2}{U_1}$$

kde R_d je diferenciální odpor Zenerovy diody v jejím pracovním bodu.



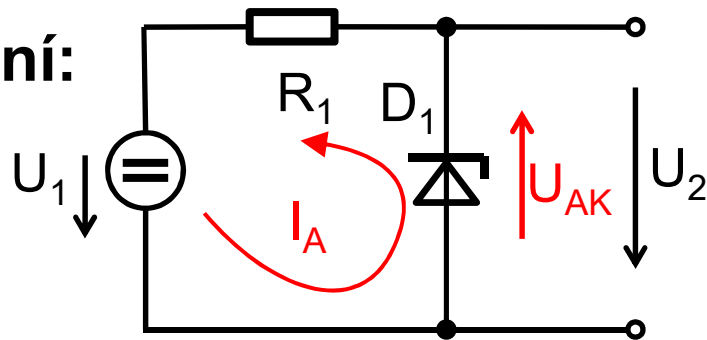
C5.5 Zenerova dioda

Příklad CP5.7:

Vypočtete hodnotu činitele napěťové stabilizace S_U stabilizátoru se Zenerovou diodou.

$R_1 = 200\Omega, U_1 = 15V$.

Řešení:

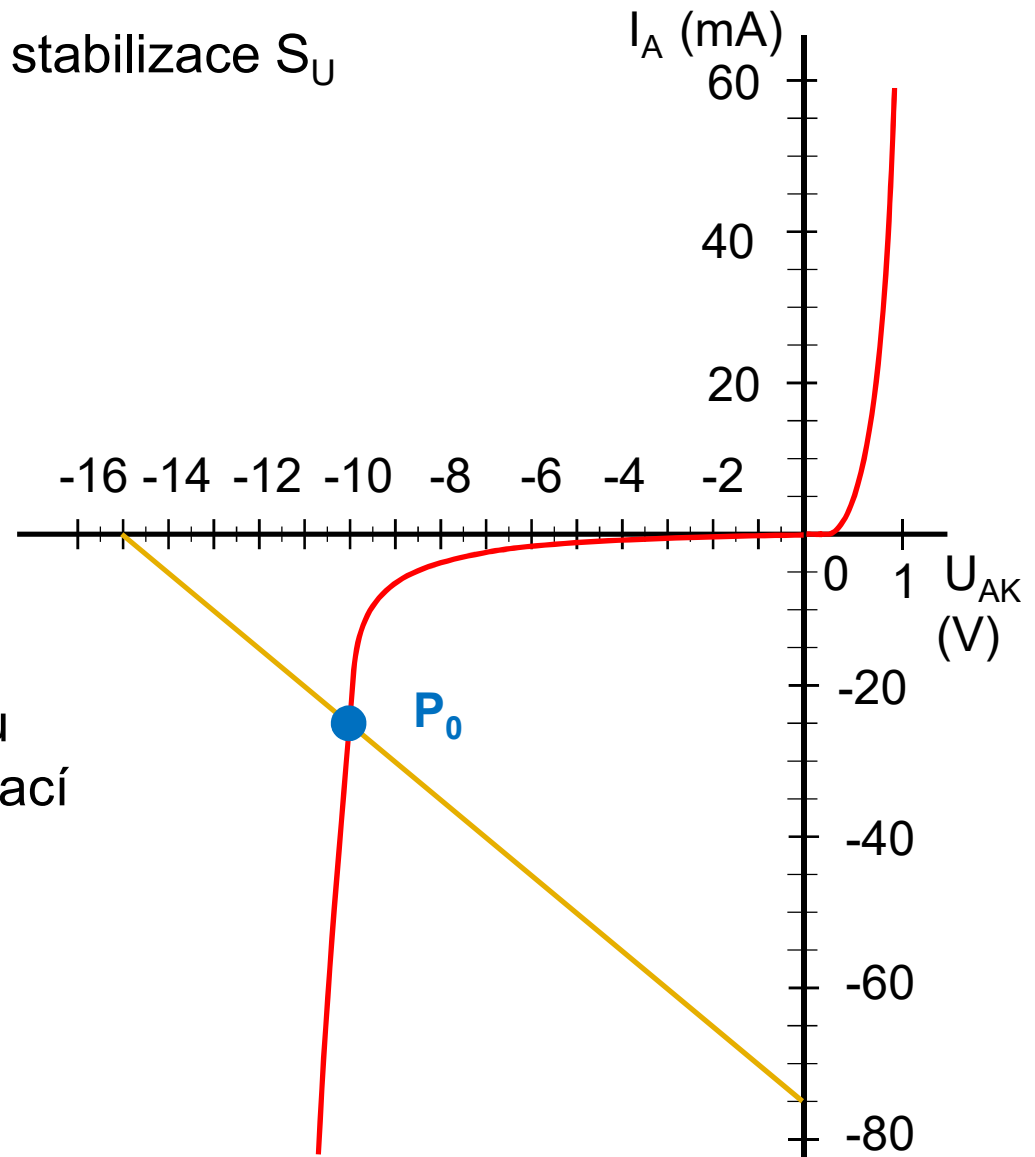


Určení pracovního bodu a dif. odporu Zenerovy diody – sestojíme zatěžovací přímku:

$$U_1 + I_A \cdot R_1 + U_{AK} = 0$$

$$U_{AK} = -U_1 - I_A \cdot R_1$$

$$U_{AK} = -15 - I_A \cdot 200$$



C5.5 Zenerova dioda

Příklad CP5.7:

Vypočtete hodnotu činitele napěťové stabilizace S_U stabilizátoru se Zenerovou diodou. $R_1=200\Omega, U_1=15V$.

Řešení:

Určíme pracovní bod Zenerovy diody a odečteme R_d

$$R_d = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{1,3V}{80mA} \approx 16 [\Omega]$$

Dosadíme do vzorce pro činitel napěťové stabilizace S_U :

$$S_U = \frac{\Delta u_1}{\Delta u_2} \cdot \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_d + R_1}{R_d} \cdot \frac{U_2}{U_1} = \frac{16 + 200}{16} \cdot \frac{10}{15} = 9$$

