

**Diferenciální (dynamický) odpor diody v pracovním bodě P**

$$r_d = \lim_{\Delta I \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta U}{\Delta I} \right)_P = \left( \frac{dU}{dI} \right)_P$$

**Diferenciální (dynamická) vodivost diody v pracovním bodě**

$$g_d(P) = \lim_{\Delta U \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta I}{\Delta U} \right)_P = \left( \frac{dI}{dU} \right)_P = \frac{1}{r_d(P)}$$

**Výpočet užitím Shockleyho rovnice:**

$$I = I_0 \left( e^{\frac{U}{U_T}} - 1 \right) \Rightarrow g_d = \frac{dI}{dU} = \frac{1}{U_T} I_0 e^{\frac{U}{U_T}} = \frac{I + I_0}{U_T}$$
$$r_d = \frac{1}{g_d} = \frac{U_T}{I + I_0}$$

*V propustném směru:  $I \gg I_0 \Rightarrow g_d = \frac{I}{U_T}, r_d = \frac{U_T}{I}$*

<b><math>I</math> [mA]</b>	<b>0,01</b>	<b>0,1</b>	<b>1,0</b>	<b>10</b>
<b><math>r_d</math> [<math>\Omega</math>]</b>	<b>2590</b>	<b>259</b>	<b>25,9</b>	<b>2,59</b>

*Dynamický odpor pro  $I = 0$  (v počátku charakteristik):*

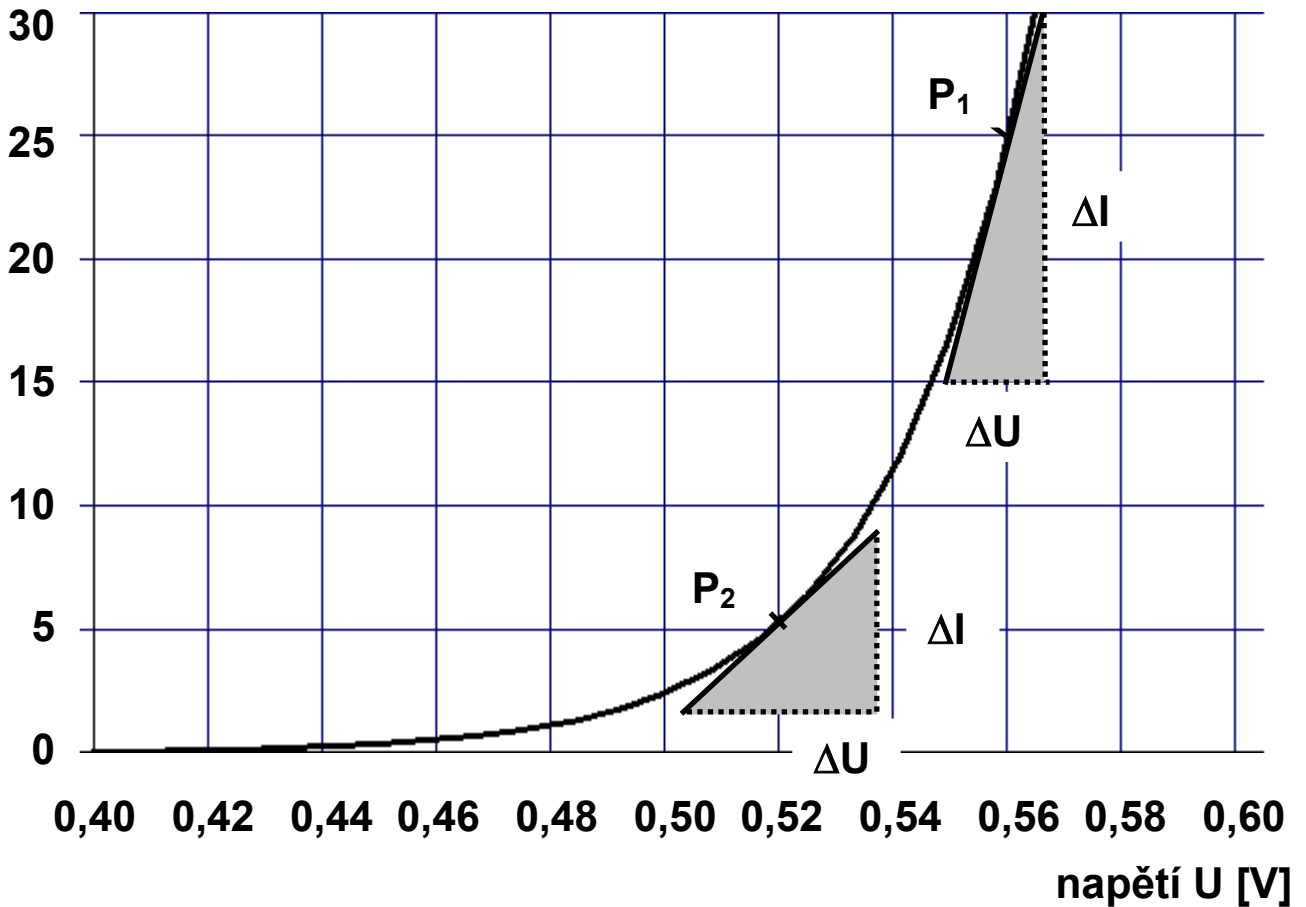
$$I_0 = 10 \text{ pA} \dots r_d = \frac{U_T}{I_0} = \frac{25,9 \text{ mV}}{10 \text{ pA}} = 2,59 \text{ G}\Omega$$

*V závěrném směru:  $I = -I_0 \Rightarrow g_d \rightarrow 0, r_d \rightarrow \infty$*

**(ve skutečnosti proud  $I$  není zcela konstantní a dynamický odpor je veliký  $\approx$  jednotky až desítky  $\text{G}\Omega$ )**

## Grafické určení dynamického odporu diody

proud  $I$  [mA]



Pracovní bod  $P_1$  :  $I(P_1) = 25 \text{ mA}$ ,  $U(P_1) = 0,56 \text{ V}$

$$\Delta I = 15 \text{ mA}, \quad \Delta U = 0,01 \text{ V}$$

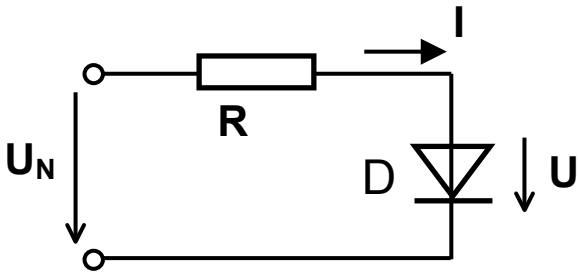
$$r_d(P_1) = \left( \frac{\Delta U}{\Delta I} \right)_{P_1} = \frac{0,01 \text{ V}}{15 \text{ mA}} = 0,67 \Omega$$

Pracovní bod  $P_2$  :  $I(P_2) = 5,1 \text{ mA}$ ,  $U(P_2) = 0,52 \text{ V}$

$$\Delta I = 7,5 \text{ mA}, \quad \Delta U = 0,033 \text{ V}$$

$$r_d(P_2) = \left( \frac{\Delta U}{\Delta I} \right)_{P_2} = \frac{0,033 \text{ V}}{7,5 \text{ mA}} = 4,4 \Omega$$

**Příklad:** Určete proud  $I$  v obvodu a napětí  $U$  na diodě.



$$U_N = 4,5 \text{ V}$$

$$R = 0,560 \text{ k}\Omega$$

dioda D: křemíková

$$U_D = 0,7 \text{ V}$$

• Přesné numerické řešení:

$$U_N = RI + U \dots\dots\dots \text{smyčková rovnice}$$

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{U}{U_T}\right) - 1 \right] \dots \text{rovnice charakteristiky diody}$$

---


$$U_N = RI_0 \left[ \exp\left(\frac{U}{U_T}\right) - 1 \right] + U \dots \text{Ize řešit jedině numericky}$$

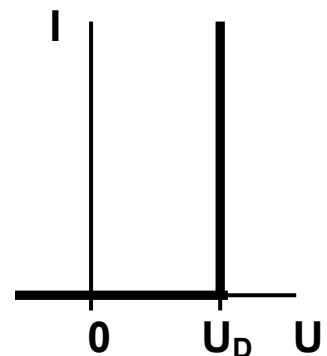
• Přibližná početní metoda:

- aproximujeme charakteristiku diody:
- podle velikosti a polaritu  $U_N$  rozhodneme, zda je dioda otevřená nebo zavřená:

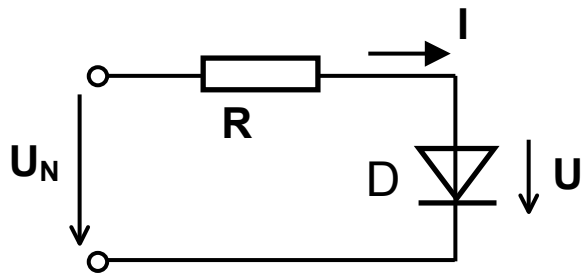
pro danou polaritu napětí  $U_N = 4,5 \text{ V}$  je dioda otevřená

- napětí na otevřené křemíkové diodě je  $U \approx U_D = 0,7 \text{ V}$

- proud v obvodu:  $I = \frac{U_N - U_D}{R} = 6,8 \text{ mA}$



• Grafické řešení:



$$U_N = 4,5 \text{ V}$$

$$R = 0,560 \text{ k}\Omega$$

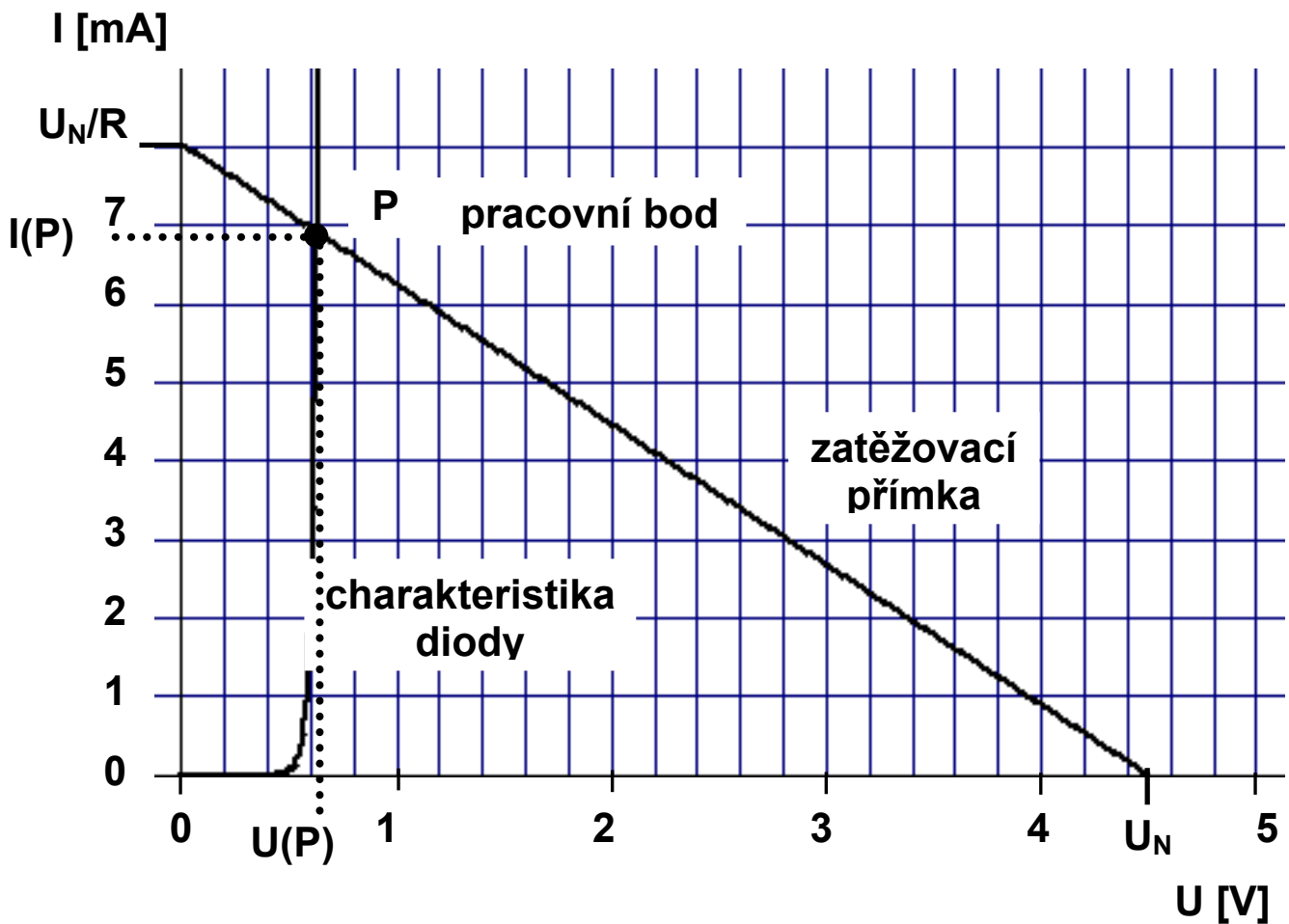
dioda D: křemíková

$$U_D = 0,7 \text{ V}$$

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{U}{U_T}\right) - 1 \right] \quad \dots \text{ rovnice charakteristiky diody}$$

$$U_N = RI + U \quad \dots \text{ smyčková rovnice}$$

... rovnice zatěžovací přímky



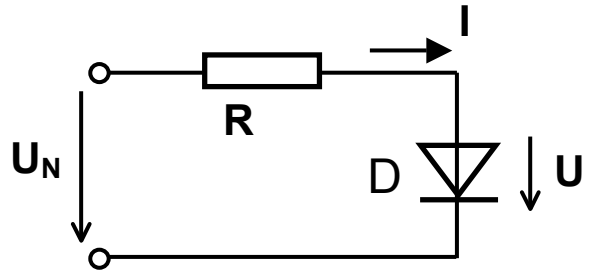
# Zatěžovací přímka a pracovní bod

Rovnice zatěžovací přímky:

$$U_N = RI + U$$

Rovnice charakteristiky diody:

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{U}{U_T}\right) - 1 \right]$$



Změna polohy zatěžovací přímky a pracovního bodu diody

při změně odporu  $R$

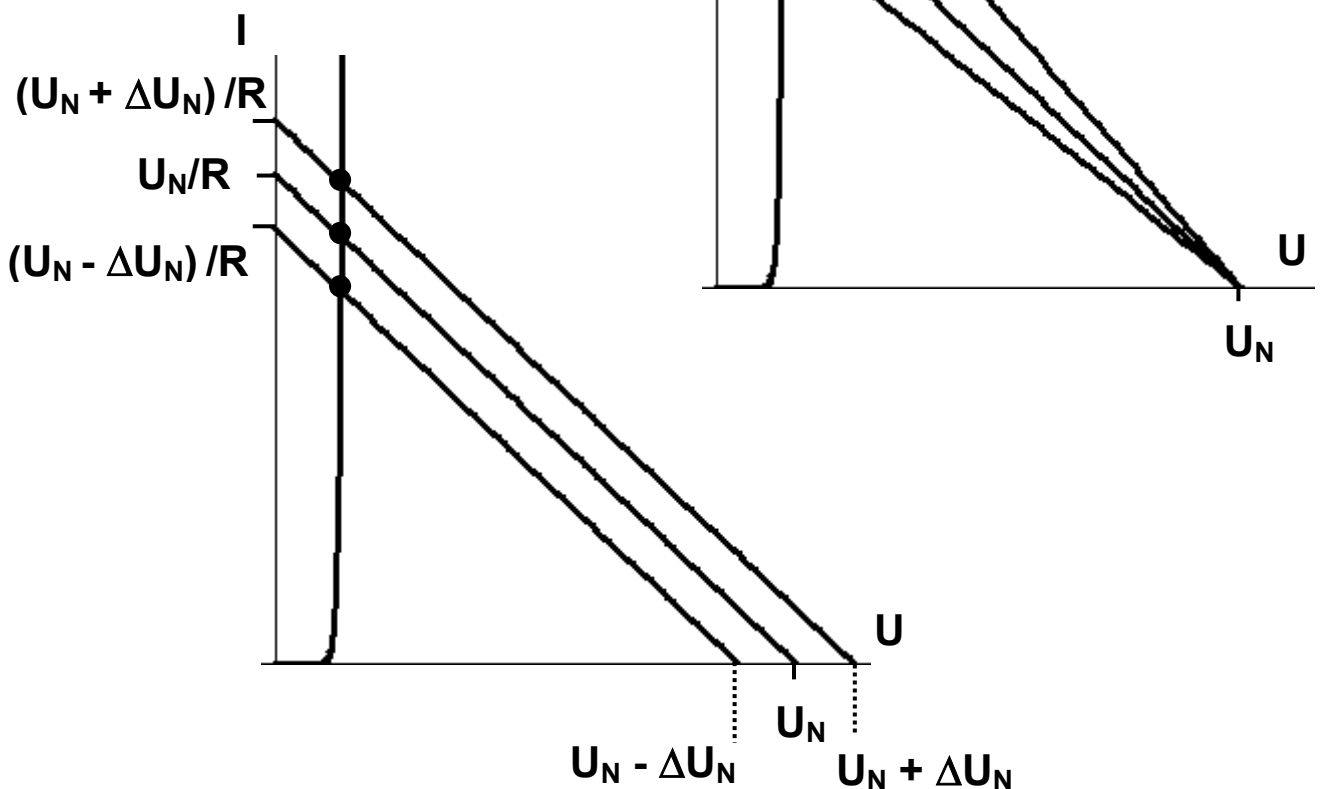
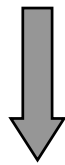


$$U_N / (R - \Delta R)$$

$$U_N / R$$

$$U_N / (R + \Delta R)$$

při změně  
napájecího  
napětí  $U_N$



## Jednoduché obvody s diodami

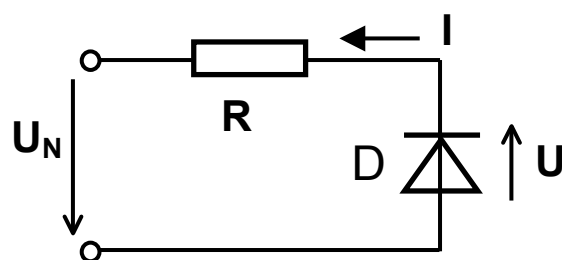
### Příklad:

Určete proud  $I$  v obvodu a napětí  $U$  na diodě  $D$  v těchto případech:

a)  $U_N = 10 \text{ V}$ ,  $R = 1 \text{ k}\Omega$

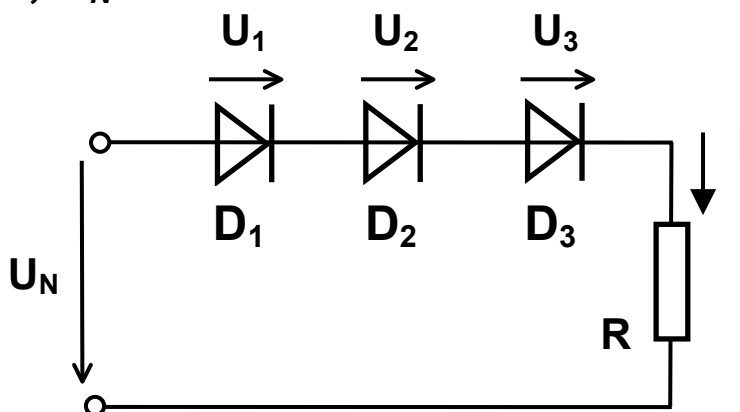
b)  $U_N = 30 \text{ V}$ ,  $R = 1 \text{ k}\Omega$

Dioda je křemíková,  $U_D = 0,7 \text{ V}$ ,  $U_Z = 25 \text{ V}$ .



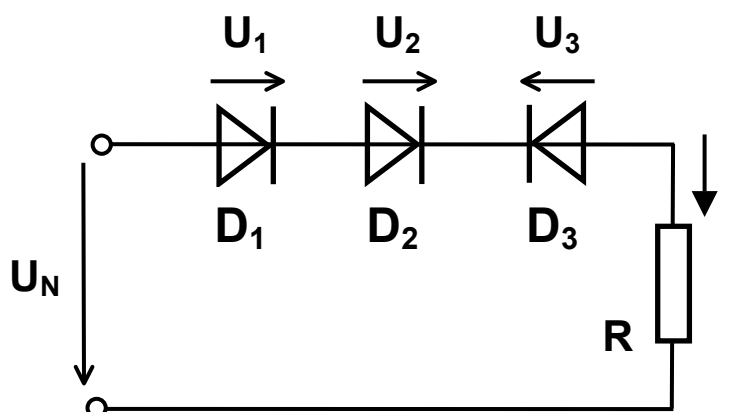
### Příklad: Sériové zapojení diod

Určete proud v obvodu a napětí na diodách. Všechny diody jsou křemíkové téhož typu,  $U_N = 10 \text{ V}$ ,  $R = 1 \text{ k}\Omega$ .



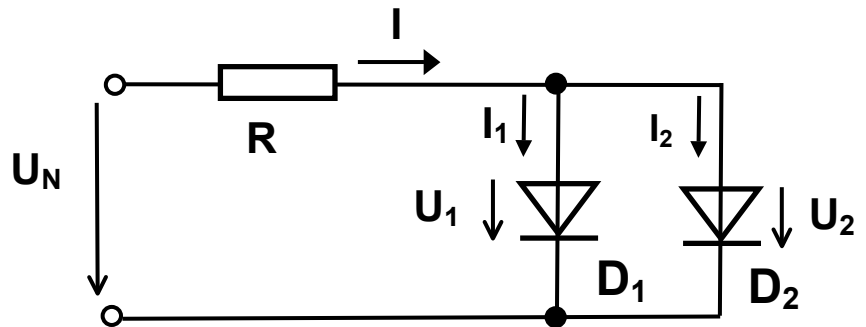
### Příklad:

Určete proud v obvodu a napětí na diodách. Všechny diody jsou křemíkové téhož typu,  $U_N = 10 \text{ V}$ ,  $R = 1 \text{ k}\Omega$ .



### Příklad: Paralelní zapojení stejných diod

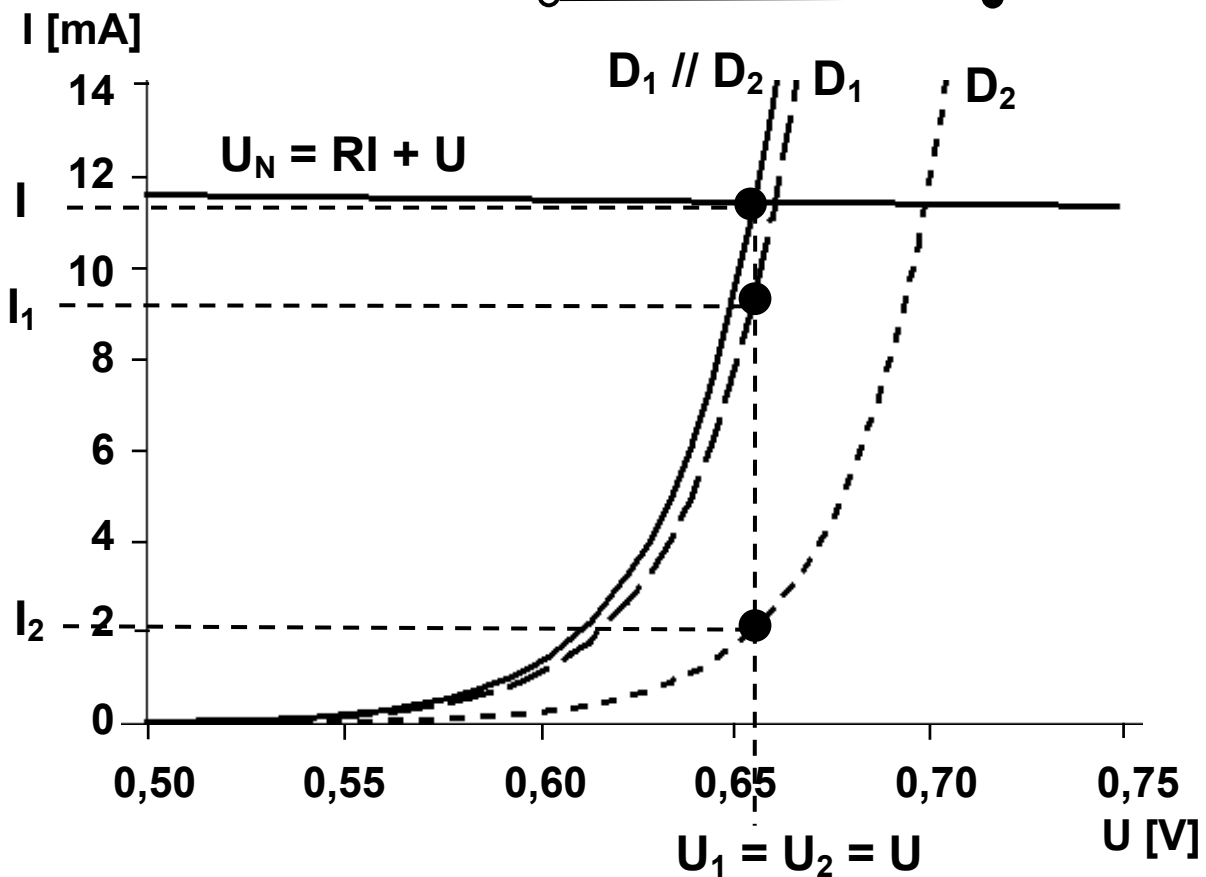
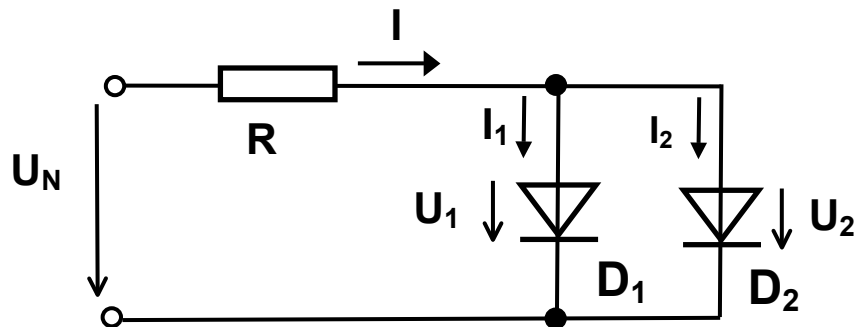
Dvě křemíkové diody  $D_1$ ,  $D_2$  téhož typu jsou zapojeny paralelně,  $U_N = 6\text{ V}$ ,  $R = 1\text{ k}\Omega$ . Určete napětí na diodách, proudy diodami a celkový proud odebíraný ze zdroje.



### Příklad: Paralelní zapojení odlišných diod

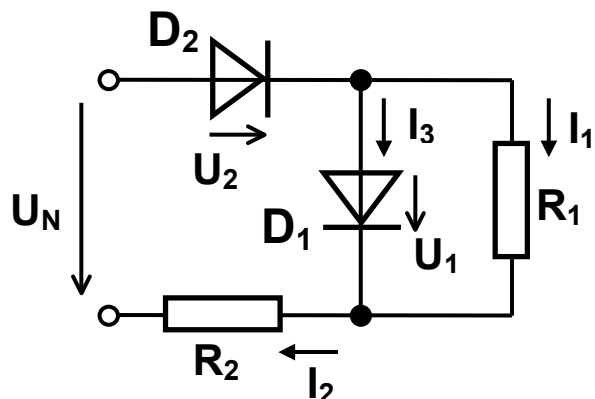
Grafické řešení:

označení:  
 $U_1 = U_2 = U$



### Příklad:

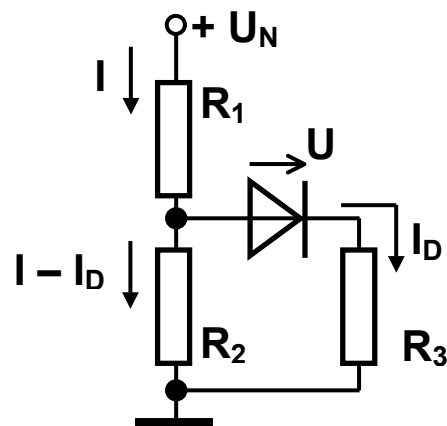
Vypočtete proudy  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  v obvodu. Obě diody jsou křemíkové,  $U_D = 0,7 \text{ V}$ , napájecí napětí  $U_N = 20 \text{ V}$ , odpory  $R_1 = 3,3 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 5,6 \text{ k}\Omega$ .



### Příklad:

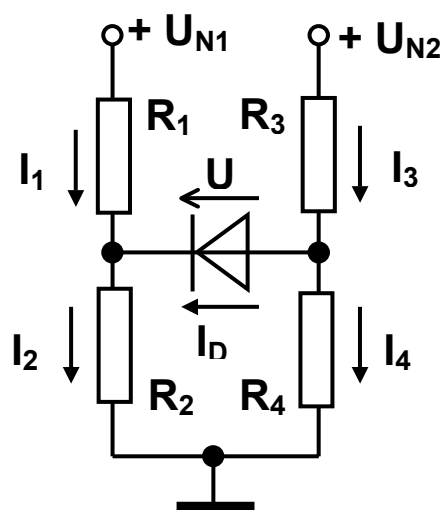
Vypočtete proud  $I$  odebíraný ze zdroje a proud  $I_D$  procházející diodou (křemíková,  $U_D = 0,7 \text{ V}$ ).

$U_N = 15 \text{ V}$ ,  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$ ,  
 $R_3 = 20 \text{ k}\Omega$ .



### Příklad:

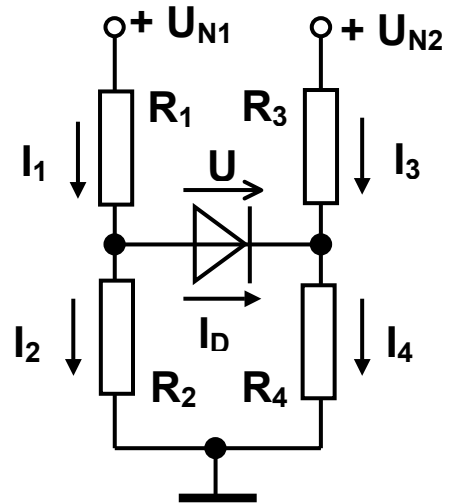
Vypočtete napětí na diodě a proudy ve všech větvích obvodu. Dioda je křemíková,  $U_D = 0,6 \text{ V}$ ,  $U_{N1} = 15 \text{ V}$ ,  
 $U_{N2} = 10 \text{ V}$ ,  
 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10 \text{ k}\Omega$ .





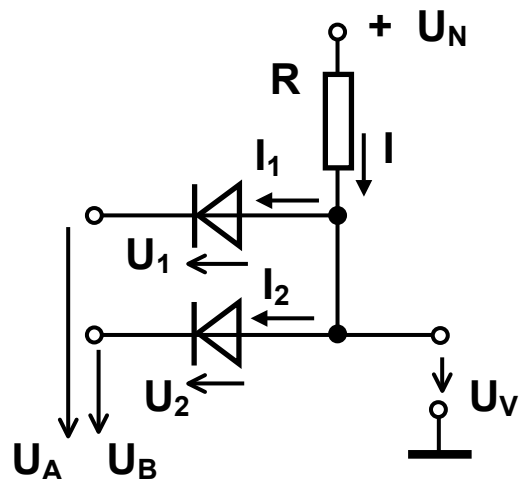
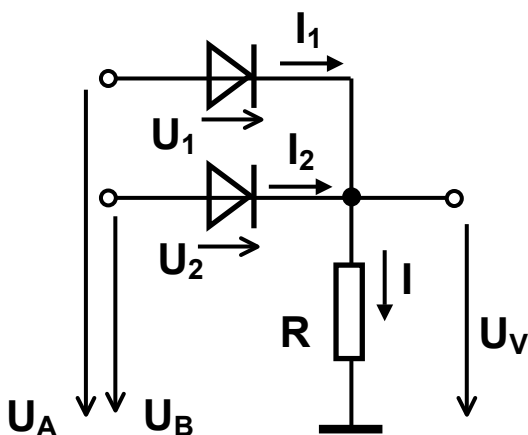
**Příklad:**

Vypočtete napětí na diodě a proudy ve všech větvích obvodu. Dioda je křemíková,  $U_D = 0,7 \text{ V}$ ,  $U_{N1} = 15 \text{ V}$ ,  $U_{N2} = 10 \text{ V}$ ,  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10 \text{ k}\Omega$ .



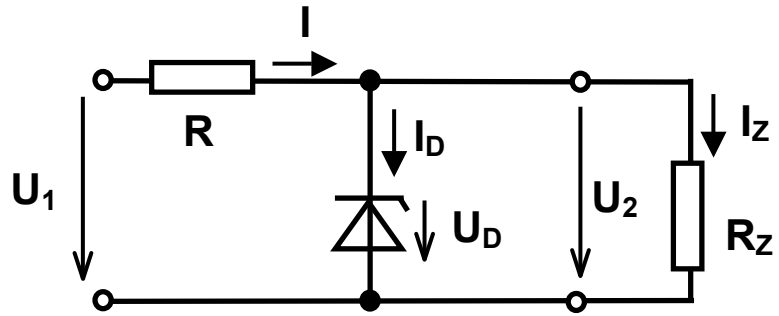
**Příklad: hradlo OR, AND**

Vypočtete vyznačená napětí a proudy pro všechny možné kombinace vstupních napětí  $U_A, U_B = 0$  nebo  $5 \text{ V}$ ;  $R = 1 \text{ k}\Omega$ .



$U_A$ [V]	$U_B$ [V]	$U_1$ [V]	$I_1$ [mA]	$U_2$ [V]	$I_2$ [mA]	$I$ [mA]	$U_V$ [V]
0	0						
5	0						
0	5						
5	5						

## Stabilizátor napětí se zátěží



Vztah mezi výstupním a vstupním napětím:

$$I = I_D + I_Z, \quad I = \frac{U_1 - U_2}{R}, \quad I_D = \frac{U_2 - U_Z}{r_d}, \quad I_Z = \frac{U_2}{R_Z}$$

$$\frac{U_1 - U_2}{R} = \frac{U_2 - U_Z}{r_d} + \frac{U_2}{R_Z}$$

$$U_2 = \frac{\frac{U_1}{R} + \frac{U_Z}{r_d}}{\frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_Z} + \frac{1}{R}} \approx (\text{pro } r_d \ll R, R_Z) \approx U_Z$$

Vztah mezi zvlňením výstupního a vstupního napětí:  
(odvodíme derivováním předcházejícího vztahu)

$$\Delta U_2 = \frac{\frac{\Delta U_1}{R}}{\frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_Z} + \frac{1}{R}} \approx (\text{pro } r_d \ll R, R_Z) \approx \frac{\Delta U_1}{\frac{R}{r_d}} = \frac{r_d}{R} \Delta U_1$$

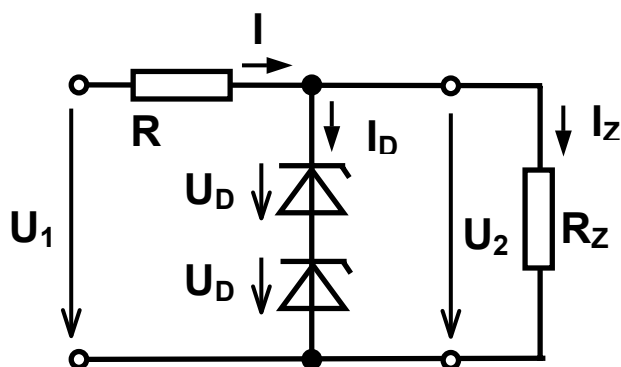
Napěťový činitel stabilizace:

$$S_u = \frac{\frac{\Delta U_1}{U_1}}{\frac{\Delta U_2}{U_2}} = \frac{U_2}{U_1} \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} = \frac{\frac{1}{R} + \frac{1}{r_d} \frac{U_Z}{U_1}}{\frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_Z} + \frac{1}{R}} \times \frac{\frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_Z} + \frac{1}{R}}{\frac{1}{R}} = 1 + \frac{R}{r_d} \frac{U_Z}{U_1}$$

$$\approx (\text{pro } r_d \ll R, R_Z) \approx \frac{R}{r_d} \frac{U_Z}{U_1}$$

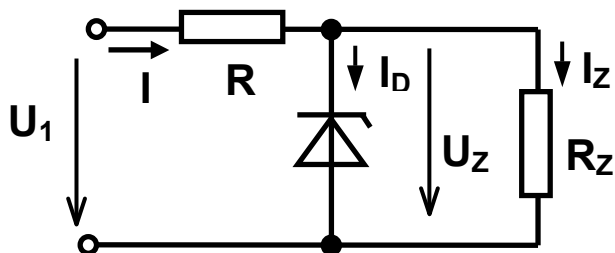
### Příklad

Navrhněte stabilizátor tak, aby při napětí na vstupních svorkách  $U_1 = 30 \text{ V}$  bylo na zátěži  $R_Z = 300 \Omega$  stabilizované výstupní napětí  $U_2 = 20 \text{ V}$ . Uvažte proudové, resp. výkonové zatížení součástí stabilizátoru i v extrémních situacích (tj. odpojená zátěž, zkrat v zátěži). K dispozici jsou stabilizační diody s parametry  $r_d = 2 \Omega$ ,  $U_Z = 9,5 \text{ V}$ .



### Příklad

Stabilizační dioda použitá ve stabilizátoru napětí má parametry  $U_Z = 7 \text{ V}$ ,  $r_d \approx 0$ ,  $I_{D\min} = 20 \text{ mA}$ ,  $I_{D\max} = 200 \text{ mA}$ ; odpor  $R = 200 \Omega$ . Vstupní napětí stabilizátoru kolísá kolem střední hodnoty  $U_1 = 50 \text{ V}$  v mezích  $U_1 \pm \Delta U_1$ ,  $\Delta U_1 = 5 \text{ V}$ . Určete maximální a minimální možnou hodnotu odporu zátěže tak, aby napětí na zátěži bylo stabilizováno na hodnotu  $U_Z = 7 \text{ V}$ . Stanovte maximální výkonové zatížení diody a odporu  $R$ .



## Příklad

Navrhněte stabilizátor napětí zapojený podle schématu tak, aby při kolísajícím vstupním napětí  $U_1 \pm \Delta U_1 = (15 \pm 1) \text{ V}$  se proud zátěží mohl měnit od nuly (tj.  $I_{Z\min} = 0$ ) do co nejvyšší možné hodnoty  $I_{Z\max}$ ; stanovte tuto hodnotu a jí odpovídající velikost zatěžovacího odporu. Dále určete maximální výkonové zatížení odporu  $R$  a diody. Parametry stabilizační diody jsou:  $U_Z = 7 \text{ V}$ ,  $r_d \approx 0$ ,  $I_{D\min} = 1 \text{ mA}$ ,  $I_{D\max} = 12 \text{ mA}$ .

