

### Příklad:

Máme nevlastní polovodič typu N, který má koncentraci donorů  $N_D$  a akceptorů  $N_A$ . Odvodte výraz pro závislost koncentrace volných elektronů a děr na koncentraci příměsí.

Zadáno:  $N_A, N_D$

Vypočítat:  $n, p$

$p + N_D = n + N_A$  - nábojová neutralita

$$p \cdot n = n_i^2 \Rightarrow p = \frac{n_i^2}{n}$$

$$\frac{n_i^2}{n} + N_D = n + N_A \quad | \cdot n$$

$$n_i^2 + (N_D - N_A) \cdot n = n^2$$

$n^2 + (N_A - N_D) \cdot n - n_i^2 = 0 \Rightarrow$  kvadratická rovnice

$$n_{1,2} = \frac{-(N_A - N_D) \pm \sqrt{(N_A - N_D)^2 + 4n_i^2}}{2} = \frac{N_D - N_A \pm \sqrt{(N_A - N_D)^2 + 4n_i^2}}{2}$$

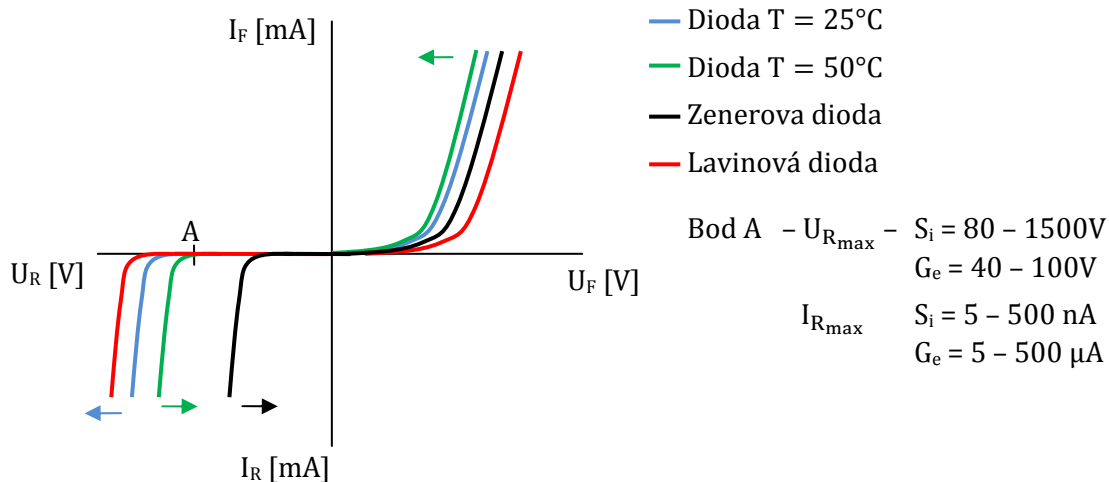
- $N_A - N_D \rightarrow n_i$
- $N_A - N_D \gg n_i \Rightarrow n_i$  zanedbáme

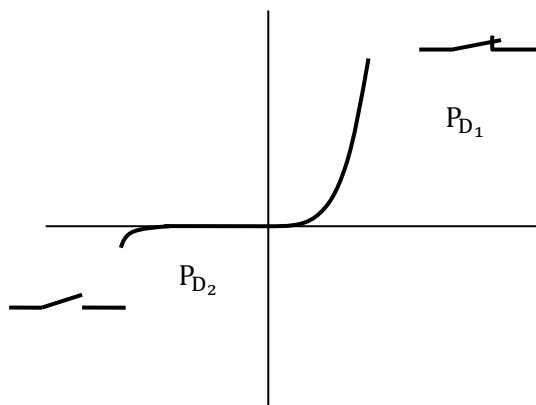
$$n_1 = \frac{N_D - N_A + \sqrt{(N_A - N_D)^2}}{2} = \frac{(N_D - N_A) + \sqrt{(N_D - N_A)^2}}{2} = \frac{N_D - N_A + N_D - N_A}{2} \doteq N_D - N_A$$

mocnina je vždy kladná  $\rightarrow$  členy lze zaměnit

Obdobně i pro  $p$ !!!

### Teplotní závislost PN přechodu (diody)





$P_{D1} = U_F \cdot I_F$  - ztrátový výkon je větší v propustném směru  $\rightarrow$  teče větší proud  $P_{D1} > P_{D2}$

$$P_{D2} = U_R \cdot I_R$$

Příklad:

Dioda BA445:

$$P_{TOT} = 250\text{mW}$$

$$\vartheta_a = 25^\circ\text{C}$$

$$U_F = 1\text{V}$$

$$I_{F_{\max}} = ?$$

$$I_{F_{\max}} = \frac{P_{TOT}}{U_F} = \frac{250}{1} = 250\text{mA}$$

$$P_D \leq P_{TOT}$$

Pozn.:  $P_{TOT}$  je maximální ztrátový výkon, který lze provozovat bez poškození

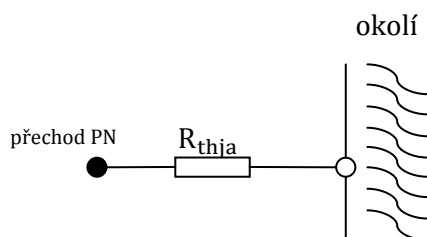
$$P_D = \frac{\vartheta_j - \vartheta_a}{R_{thja}} [\text{W}]$$

$\vartheta_j$  - maximální teplota přechodu

$\vartheta_a$  - teplota okolí

$R_{thja}$  - teplotní odpor přechodu  $\leftrightarrow$  okolí (katalogová hodnota)

## Přechod PN a okolí



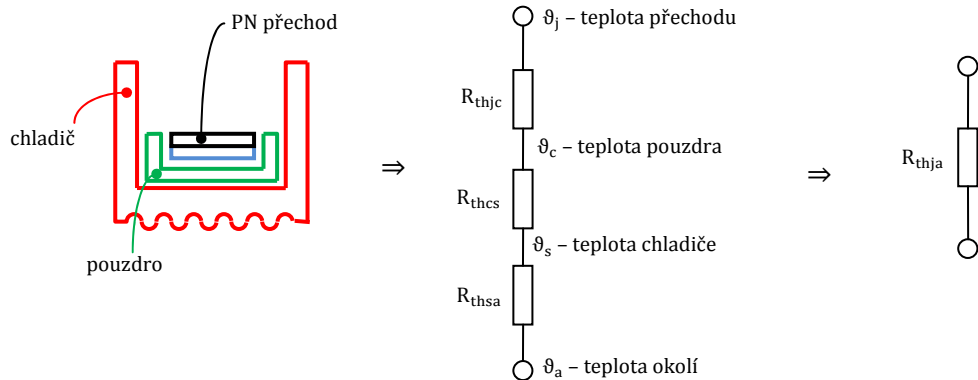
Příklad:

$$\Delta\vartheta = 50^\circ\text{C} = \vartheta_a - \vartheta_j$$

$$R_{thja} = 50\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$P_D = ?$$

$$P_D = \frac{\Delta\vartheta}{R_{thja}} = \frac{50}{50} = 1\text{W}$$



Příklad:

Křemíková dioda

$$\vartheta_j = 150^\circ\text{C}$$

$$R_{thja} = 60\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$I_F = ?$$

$$\vartheta_a = 40^\circ\text{C}$$

$$U_F = 0,8\text{V}$$

$$P_D = \frac{\vartheta_j - \vartheta_a}{R_{thja}} = U_F \cdot I_F$$

$$I_F = \frac{\vartheta_j - \vartheta_a}{R_{thja} \cdot U_F} = \frac{150 - 40}{60 \cdot 0,8} = 2,29\text{A}$$

Příklad:

Stejná dioda z předchozího příkladu, ale s chladičem

$$R_{thjc} = 10\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$R_{thcs} = 2\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$R_{thsa} = 2\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$I_F = \frac{\vartheta_j - \vartheta_a}{(R_{thjc} + R_{thcs} + R_{thsa}) \cdot U_F} = \dots = 9,82\text{A}$$

Příklad:

Křemíková dioda

$$\vartheta_j = 150^\circ\text{C}$$

$$R_{thjc} = 5\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$R_{thcs} = 1,5\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$U_F = 1\text{V}$$

$$I_F = 10\text{A}$$

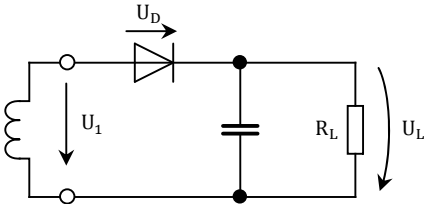
$$P_D = U_F \cdot I_F = \frac{\vartheta_j - \vartheta_a}{R_{thjc} + R_{thcs} + R_{thsa}} \Rightarrow R_{thsa} = \frac{\vartheta_j - \vartheta_a}{U_F \cdot I_F} - (R_{thjc} + R_{thcs}) = \dots = 3,5\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

## Teplotní stabilita zenerovy diody

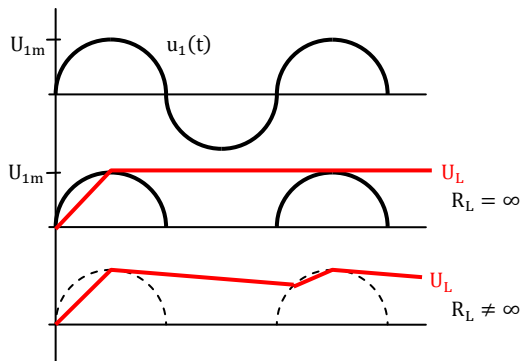


Někdy se pro větší stabilitu používají dvě usměrňovací diody zapojené do série

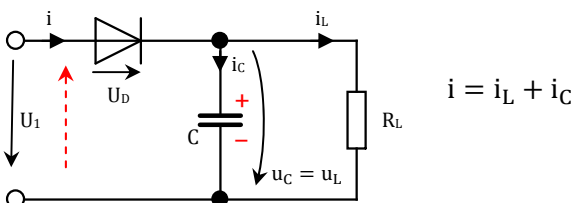
## Jednocestný usměrňovač s kondenzátorem



$$u_1(t) = U_{1m} \cdot \sin(\omega t)$$



- Kondenzátor vyhlazuje pulzující výstupní napětí
- Je-li kondenzátor příliš veliký, potom při prvním zapnutí poteče diodou velký proud (kondenzátor představuje zkrat) a dioda by se poškodila, proto problém řešíme:
  - máme-li síťový transformátor využijeme sekundární vinutí, jehož odpor omezuje proud diodou a v případě, že nepoužijeme síťový transformátor dáváme k diodě do série odpor asi  $5\Omega$
- Na velikost zvlnění má vliv i zátěžovací odpor  $R_L$ , čím je menší, tím teče obvodem větší vybíjecí proud kondenzátoru a uvlnění se zvětšuje.



- Aby nedošlo k poškození diody musí být  $i_L = 0,5 \cdot i$
- **Bez zátěže**  $U_C = U_{1m} U_D < U_R = 2 \cdot U_m$   
aby se dioda v závěrném směru nepoškodila musí být  $U_D < U_R$  a musí být dimenzována na  $2 \cdot U_{1m}$  v praxi vybíráme diodu tak, že  $U_{Rm}$  volíme  $3 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{1eff} = 3 \cdot U_{1m}$

**S odporovou zátěží** -  $I_{D_{max}} = I_0 \cdot \pi$ , kde  $I_0$  je střední hodnota proudu

**S kondenzátorem** -

$$I_0 \cdot \pi = \int_0^{2\alpha_0} I \cdot d\alpha = I \cdot [\alpha]_0^{2\alpha_0} = I \cdot 2\alpha_0$$

$$I_m = I_0 \cdot \frac{\pi}{2\alpha_0}$$

Příklad:

$$U_L = 24V$$

$$I_L = 250mA \Rightarrow C_L = 2500\mu F - \text{empirická volba } C_L: 1mA \text{ z } I_L = 10\mu F \text{ z } C_L$$

$$U_1 = ?$$

$$I_{F_{max}} = (5 - 12) \cdot I_L \text{ (zvolíme } 8,5x)$$

$$I_{F_{max}} = 8,5 \cdot 250 \cdot 10^{-3} = 2,1A$$

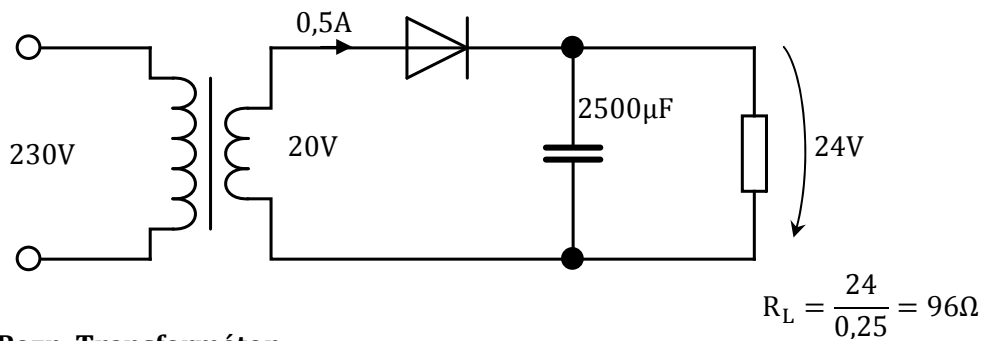
$$U_L \text{ volíme } 1,2 \cdot U_A \Rightarrow U_L = 1,2 \cdot U_1 \Rightarrow U_1 = \frac{U_L}{1,2} = 20V$$

$$U_{Rm} = 3 \cdot \sqrt{2} \cdot U_1 = 3 \cdot \sqrt{2} \cdot 20 = 84,3V$$

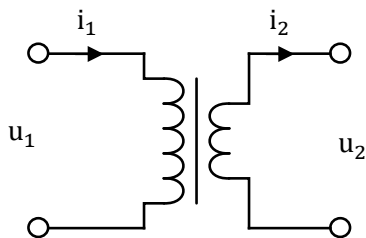
$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{230}{20} = 11,5$$

$$I_L = 0,5 \cdot I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{I_L}{0,5} = 0,5A$$

$$p = \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow I_{1pr} = \frac{I_2}{p} = \frac{0,5}{11,5} = 43,5mA$$



**Pozn. Transformátor**



$$p = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow U_1 = p \cdot U_2, I_1 = \frac{I_2}{p}$$

$$P_{PRIM} = P_{SEK} \Rightarrow U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

$$p \cdot U_2 \cdot \frac{I_2}{p} = U_2 \cdot I_2 \quad \text{souhlasí} \rightarrow OK$$

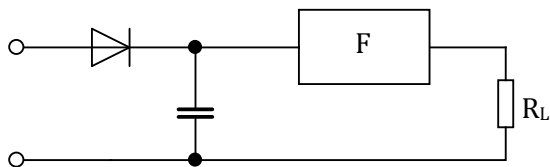
$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} - \text{odpor prim. vinutí}$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} - \text{odpor sek. vinutí}$$

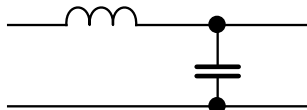
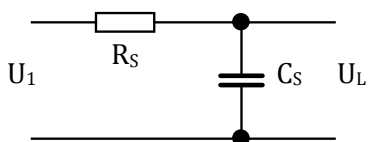
$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{p \cdot U_2}{\frac{I_2}{p}} = p^2 \cdot \frac{U_2}{I_2} = p^2 \cdot R_2$$

- U síťového transformátoru se napětí i proud z primáru transformují do sekundáru lineárně s převodem transformátoru  $p$  a odpory (impedance) se transformují se čtvercem převodu transformátoru.

### Filtrace výstupního napětí



F:



$$\text{činitel zvlnění } \varphi_2 = \frac{U_1}{U_L}$$

$$\varphi_2 = \frac{U_1}{U_L} = 1 + j\omega C_S R_S$$

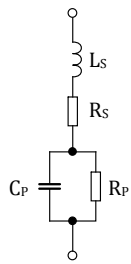
$$U_2 = U_1 \cdot \frac{\frac{1}{j\omega C_S}}{R_S + \frac{1}{j\omega C_S}} = U_1 \cdot \frac{\frac{1}{j\omega C_S}}{\frac{1 + j\omega C_S R_S}{j\omega C_S}} = U_1 \cdot \frac{1}{1 + j\omega C_S R_S}$$

$$\varphi_2 = \left| \frac{U_1}{U_2} \right| = \sqrt{1 + \omega^2 C_S^2 R_S^2} \Rightarrow \omega^2 C_S^2 R_S^2 \gg 1 \Rightarrow \varphi_2 = \sqrt{\omega^2 C_S^2 R_S^2} = \omega C_S R_S = 2\pi f C_S R_S$$

### Přechod kov - polovodič

- velmi rychlý přechod z propustného do závěrného směru
- rychlé (až 1-ty GHz), vysoké frekvence

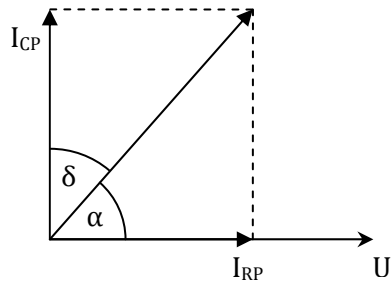
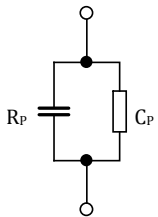
## Náhradní schéma diody



$X_S$  - parametry vývodů

$X_P$  - parametry přechodu

## Varikap



$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} = \omega C_P R_P$$

$$I_{RP} = \frac{U}{R_P}$$

$$I_{CP} = \frac{U}{\frac{1}{j\omega C_P}} = U \cdot j\omega C_P \Rightarrow |I_{CP}| = U \cdot \omega C_P$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_{RP}}{I_{CP}} = \frac{\frac{U}{R_P}}{U \cdot \omega C_P} = \frac{1}{\omega C_P R_P}$$