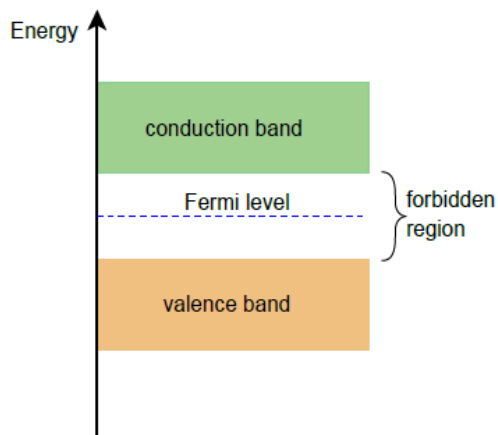


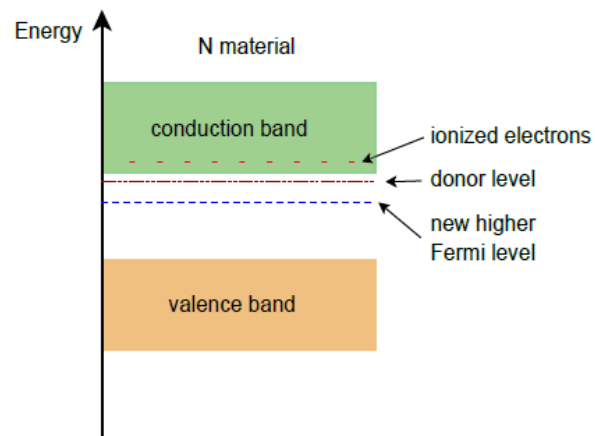
Polovodičové diody

pásová struktura polovodičů

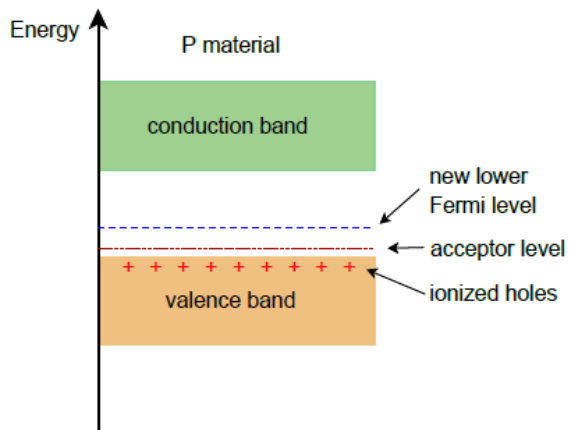
intristický polovodič



polovodič typ N



polovodič typ P

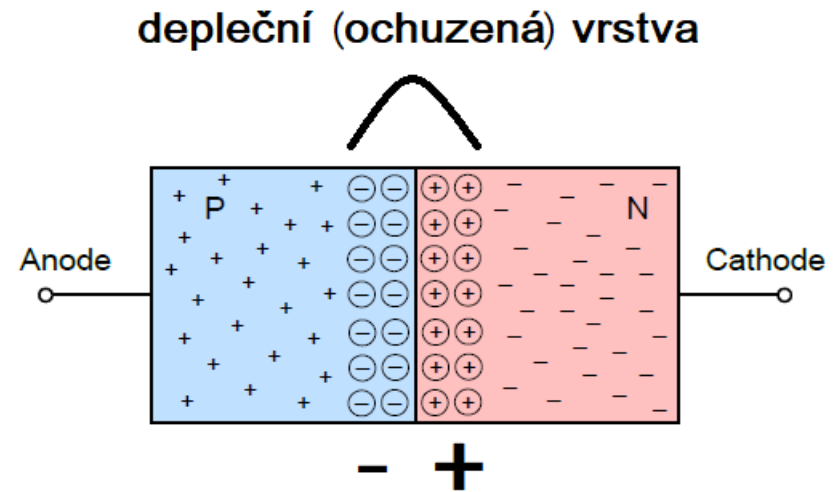
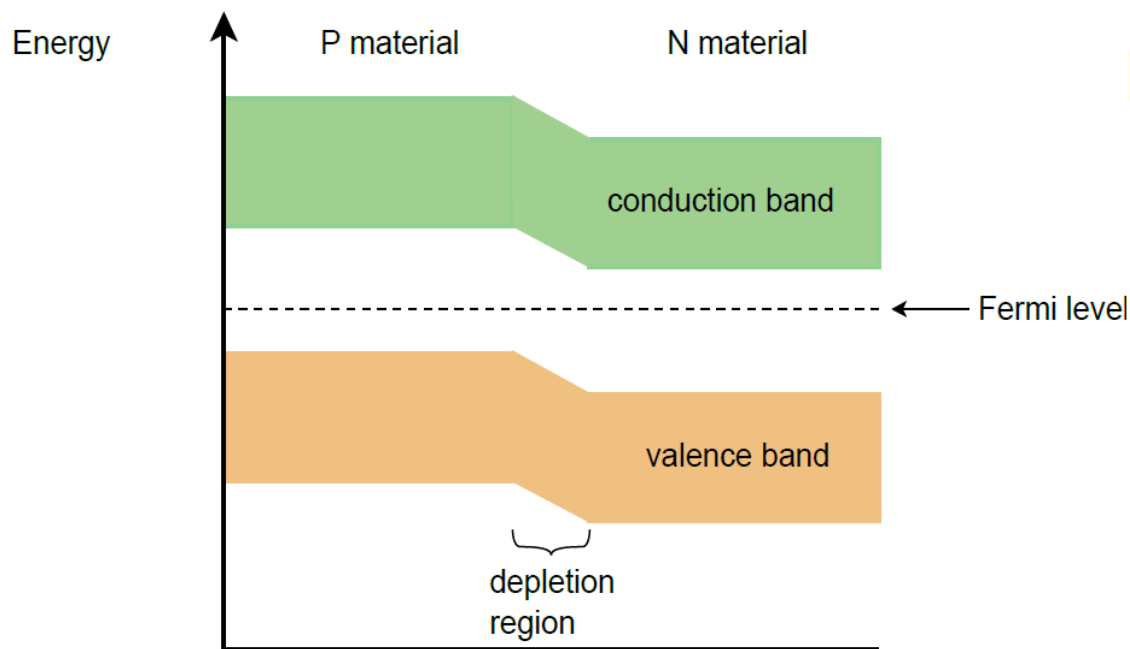


PN přechod

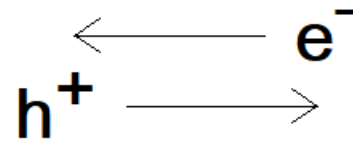
h^+ volná díra

e^- volný elektron

pásová struktura PN přechodu

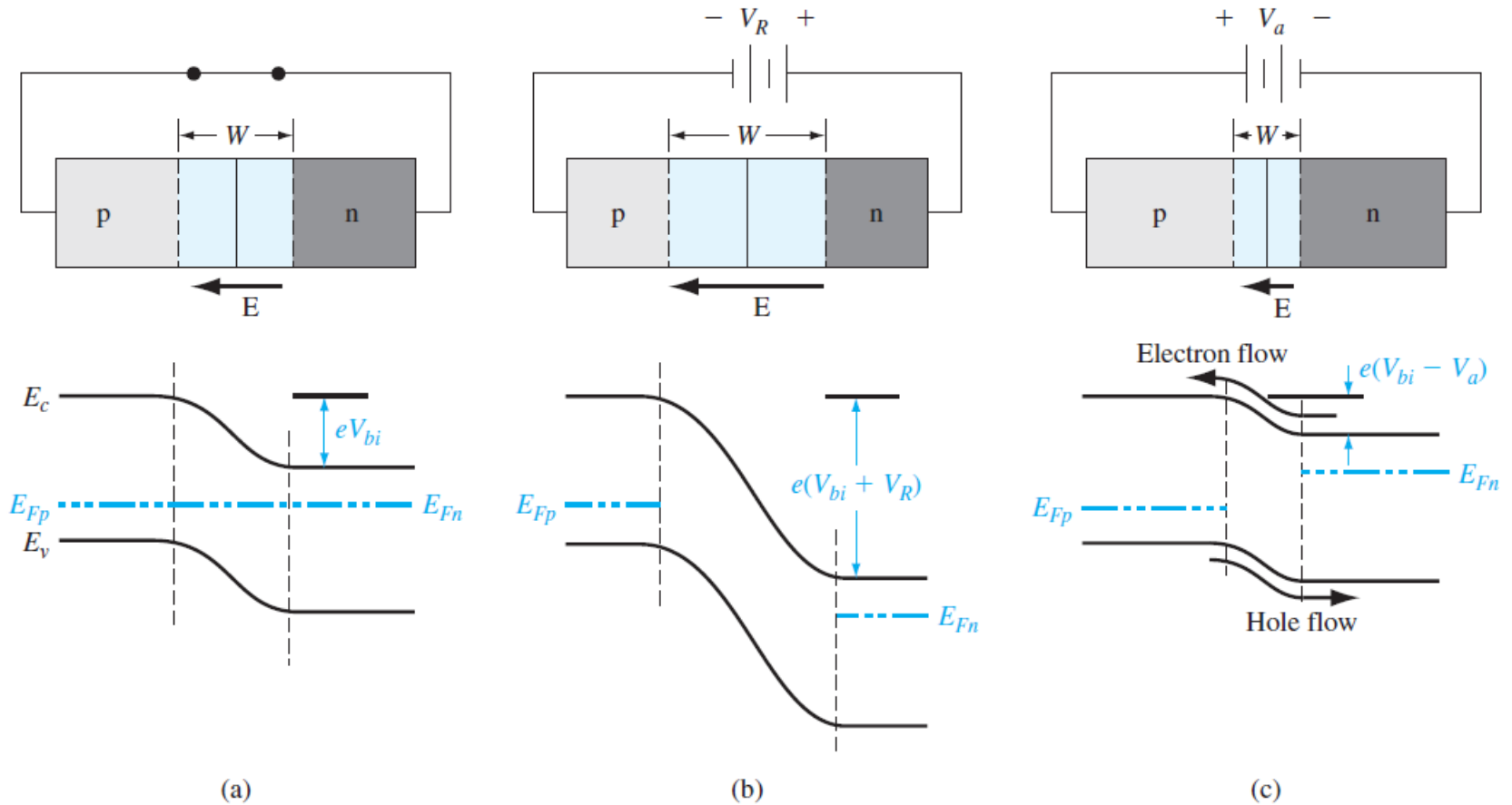


difúze majoritních nosičů



Pásová struktura PN přechodu s přiloženým vnějším napětím

- bez napětí
- závěrný směr napětí
- propustný směr napětí

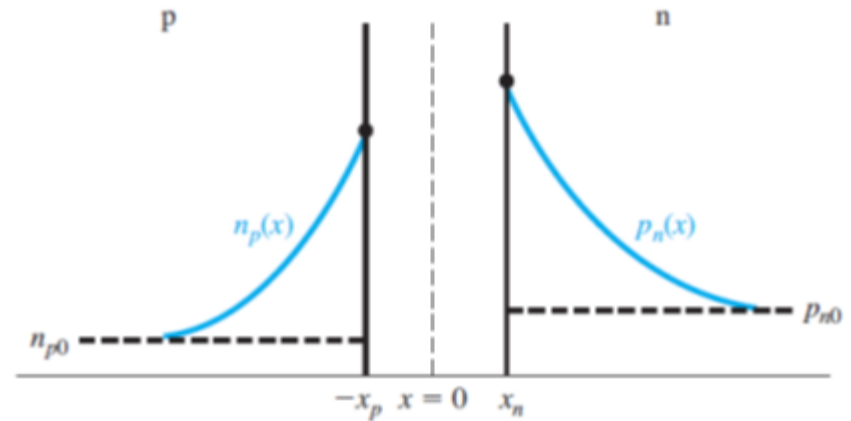


A pn junction and its associated energy-band diagram for (a) zero bias, (b) reverse bias, and (c) forward bias.

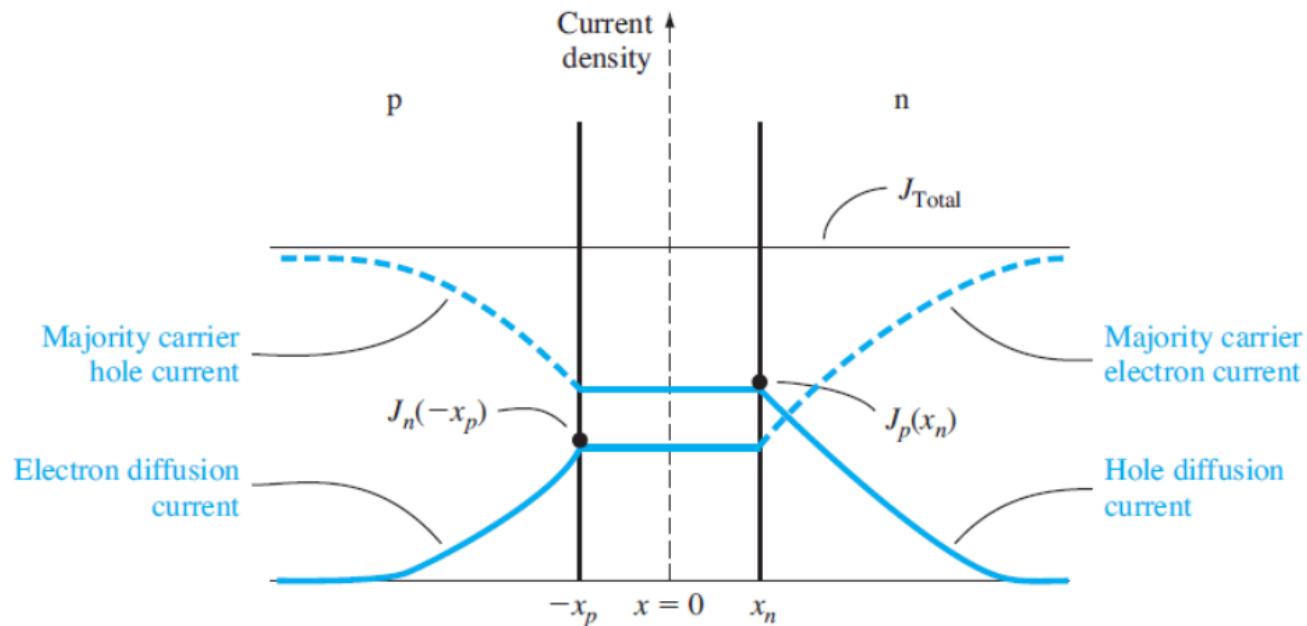
PN přechod v propustném směru

- injekce minoritních nosičů

Difúze minoritních nosičů směrem od PN přechodu



Steady-state minority carrier concentrations in a pn junction under forward bias.

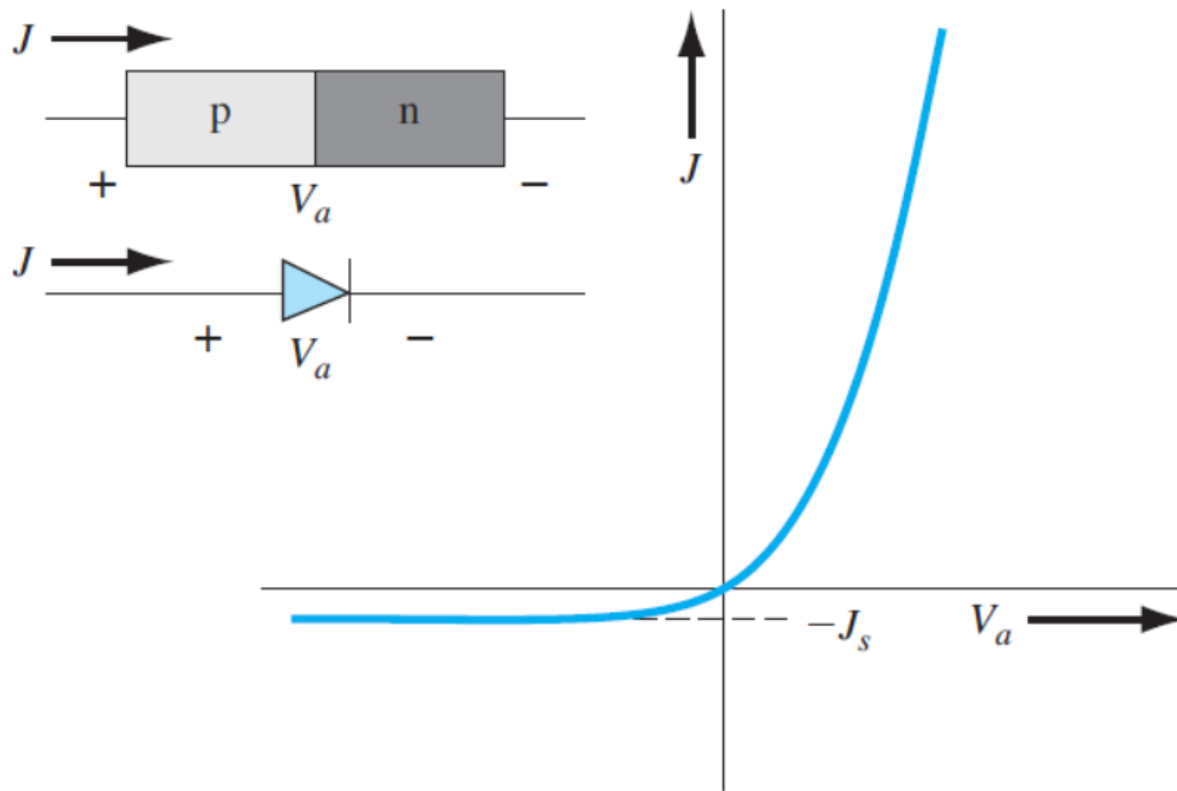


Ideal electron and hole current components through a pn junction under forward bias.

Volt-ampérová charakteristika diody

$$J = J_s \left[\exp \left(\frac{eV_a}{kT} \right) - 1 \right]$$

diodová rovnice

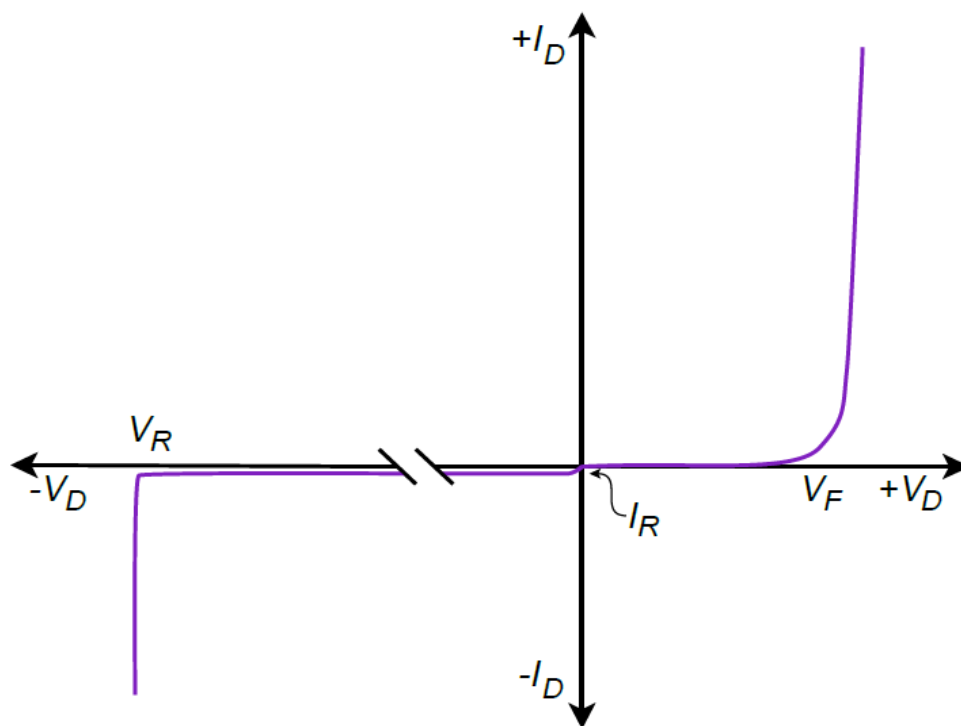


Ideal I – V characteristic of a pn junction diode.

Volt-ampérová charakteristika diody

V_F - prahové napětí diody (Si dioda $V_F = 0.6 \text{ V}$, Ge dioda $V_F = 0.2 \text{ V}$)

V_R - průrazné napětí diody



Teplotní závislost parametrů diody

Pro proud diodou platí vztah:

$$i = I_S(e^{\frac{u_D}{n u_T}} - 1)$$

kde u_D je napětí na diodě

$u_T = \frac{kT}{e}$ kde k – Boltzmanova konstanta, e – náboj elektronu, T – termodynamická teplota

I_S je silně závislé na teplotě

Můžeme pro závislost $I_S(T)$ napsat pro dvě různé teploty:

$$I_{S2} = I_{S1} e^{-\gamma(T_2 - T_1)}$$

γ je konstanta v rozsahu 0.06- 1

Předpokládejme, že diodou prochází konstantní proud $i_D \gg I_S$

Pro napětí na diodě u_{D1} a u_{D2} při teplotě T_1 a T_2 platí přibližné vztahy:

$$u_{D1} = n u_{T1} \ln \frac{i_D}{i_{S1}} \quad u_{D2} = n u_{T2} \ln \frac{i_D}{i_{S2}}$$

Teplotní závislost parametrů diody

Pak lze odvodit vztah pro změnu napětí na diodě Δu_D při změně teploty ΔT při konstantním proudu diodou i_D :

$$\Delta u_D = \frac{nk\Delta T}{e} \left(\ln \frac{i_D}{I_{S1}} + \gamma \Delta T \right) - \gamma \Delta T \frac{mkT_1}{e}$$

Pak přibližně platí:

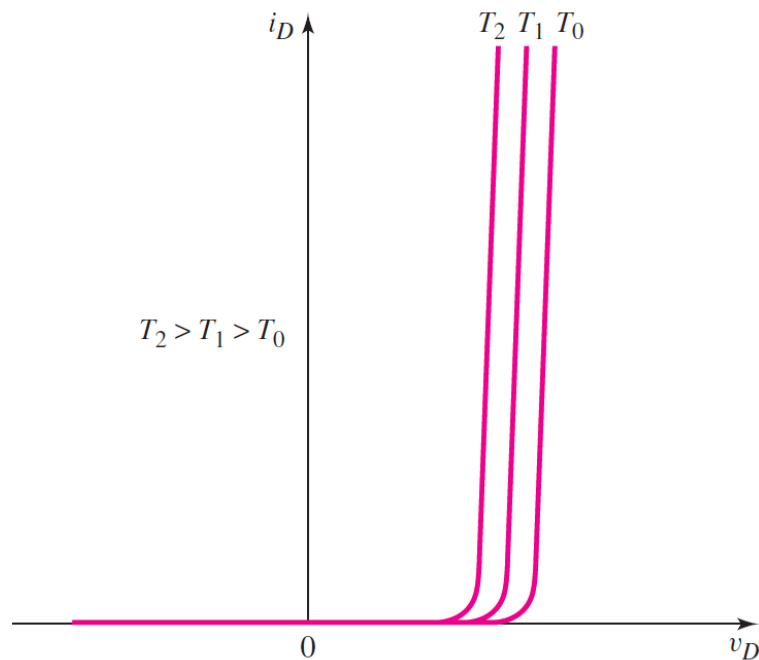
$$\frac{\Delta u_D}{\Delta T} \approx \frac{nk}{e} \left(\ln \frac{i_D}{I_{S1}} - \gamma T_1 \right)$$

Teplotní součinitel křemíkových diod se v praxi pohybuje v okolí teplot $T_1 = 300$ K v rozmezí

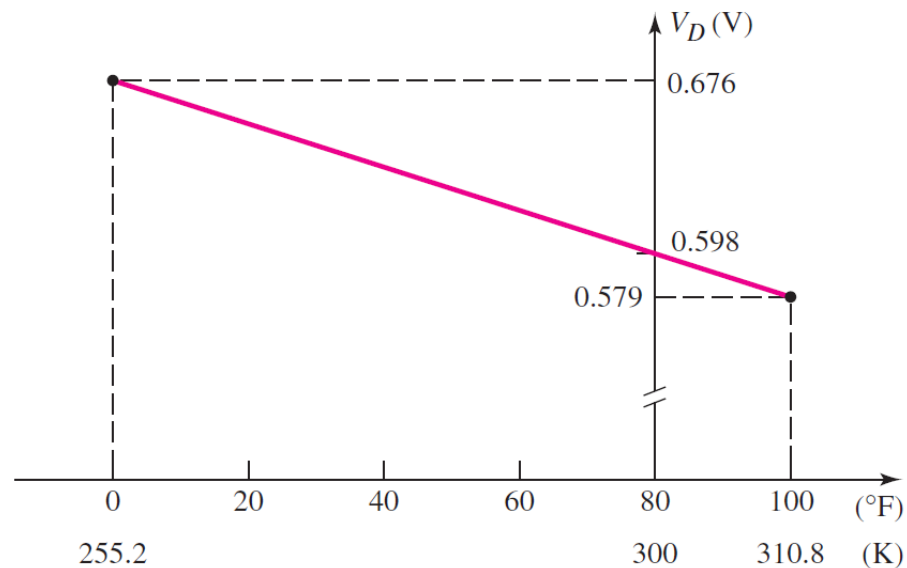
$-4 \text{ mV}/^\circ\text{C} < \frac{\Delta u_D}{\Delta T} < 0$, běžně se teplotní součinitel pohybuje kolem hodnoty:

$$\frac{\Delta u_D}{\Delta T} \approx -2,5 \text{ mV}/^\circ\text{C} \quad \text{v okolí teploty} \quad T_1 = 300 \text{ K}$$

Teplotní závislost parametrů diody

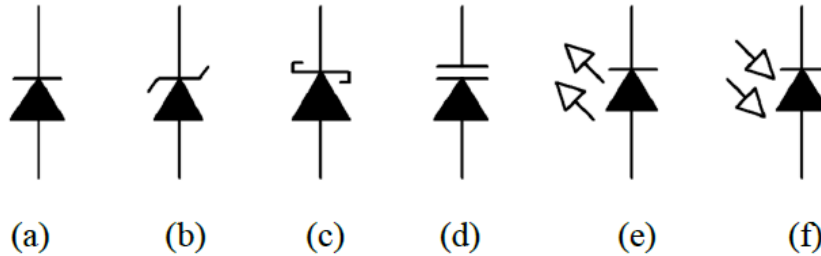


Příklad volt-ampérové charakteristiky diody pro různé teploty PN přechodu



Závislost napětí Si diody na teplotě při konstantním proudu diodou.

Různé typy diod



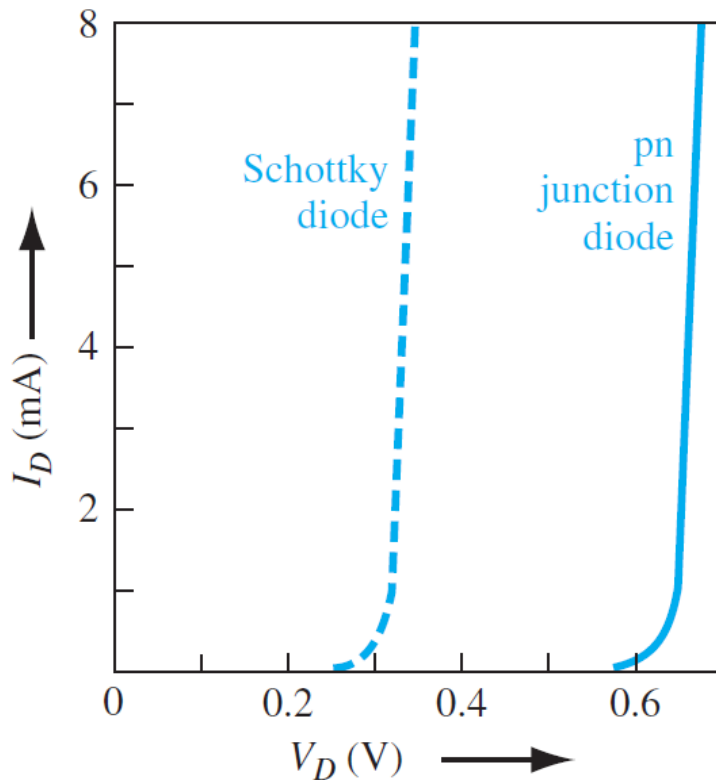
- a) switching or rectifying*
- b) Zener*
- c) Schottky*
- d) varactor*
- e) LED*
- f) photodiode*

- a) usměrňovací dioda - používá se k usměrňování střídavého výkonu nebo signálu
- b) Zenerova dioda - používá se k omezení nebo stabilizaci napětí
- c) Schottkyho dioda – rychlá detekční dioda (kov-polovodič $V_F = 0.3\text{ V}$)
- d) kapacitní dioda - lze pomocí velikosti závěrného napětí měnit kapacitu PN v závěrném směru
- a) LED dioda - zdroj světla
- b) fotodioda - detektor světla

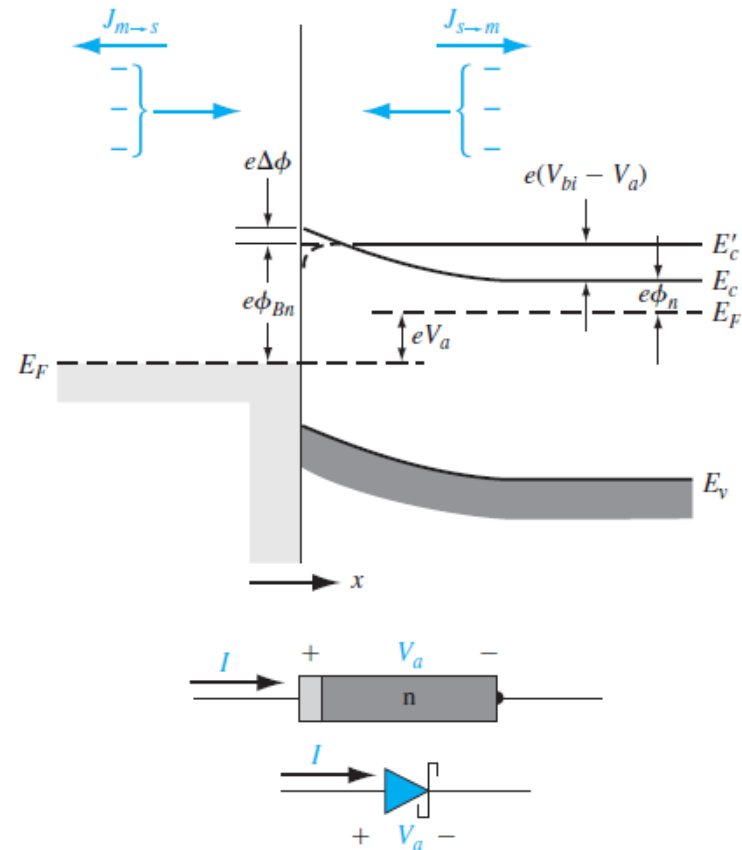
Schottkyho dioda

- pracuje do vysokých frekvencí
- detekce RF signálu

Volt-ampérová charakteristika PN diody a Schottkyho diody.



Schottkyho dioda: přechod kov-polovodič



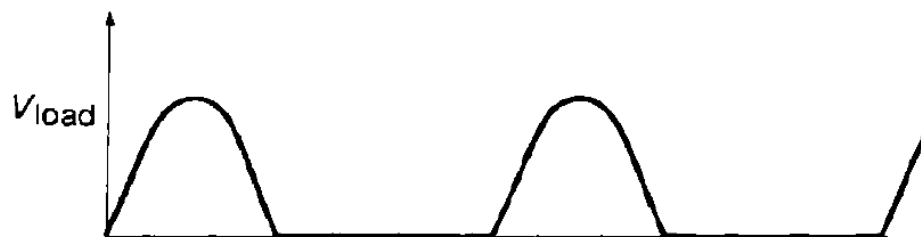
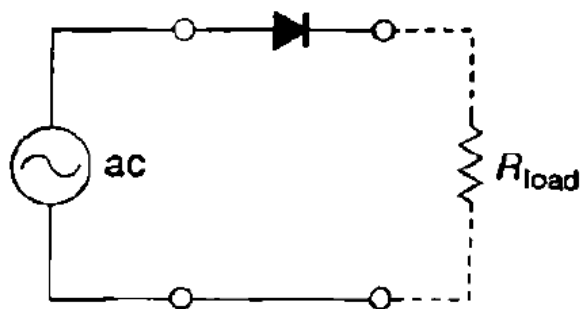
Příklady obvodů s polovodičovými diodami

usměrňovací obvody

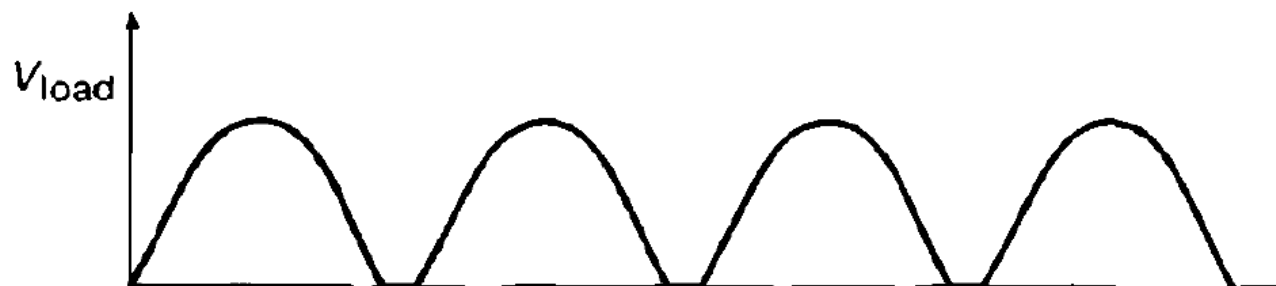
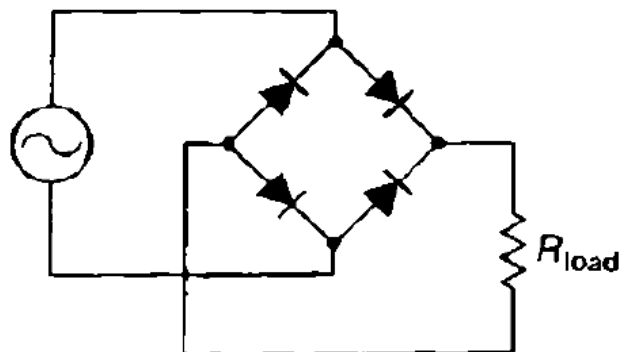
detekční obvody

zdroje referenčního napětí

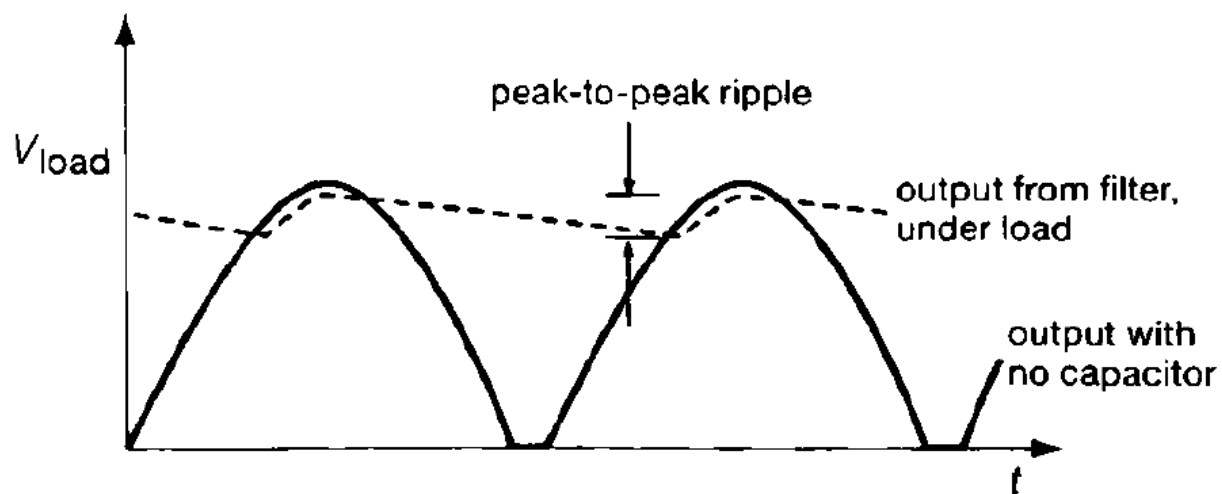
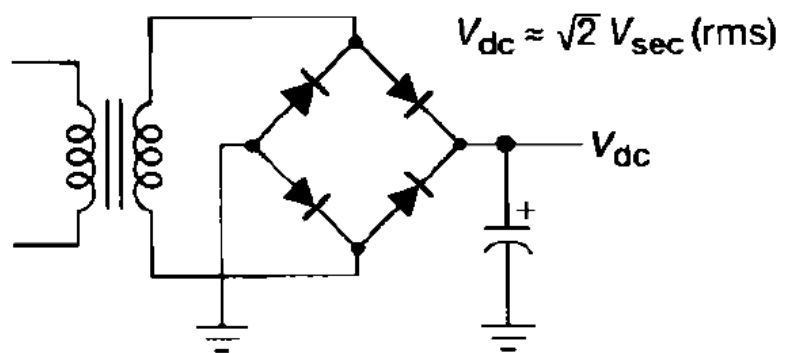
Jednocestný usměrňovač



Dvoucestný usměrňovač

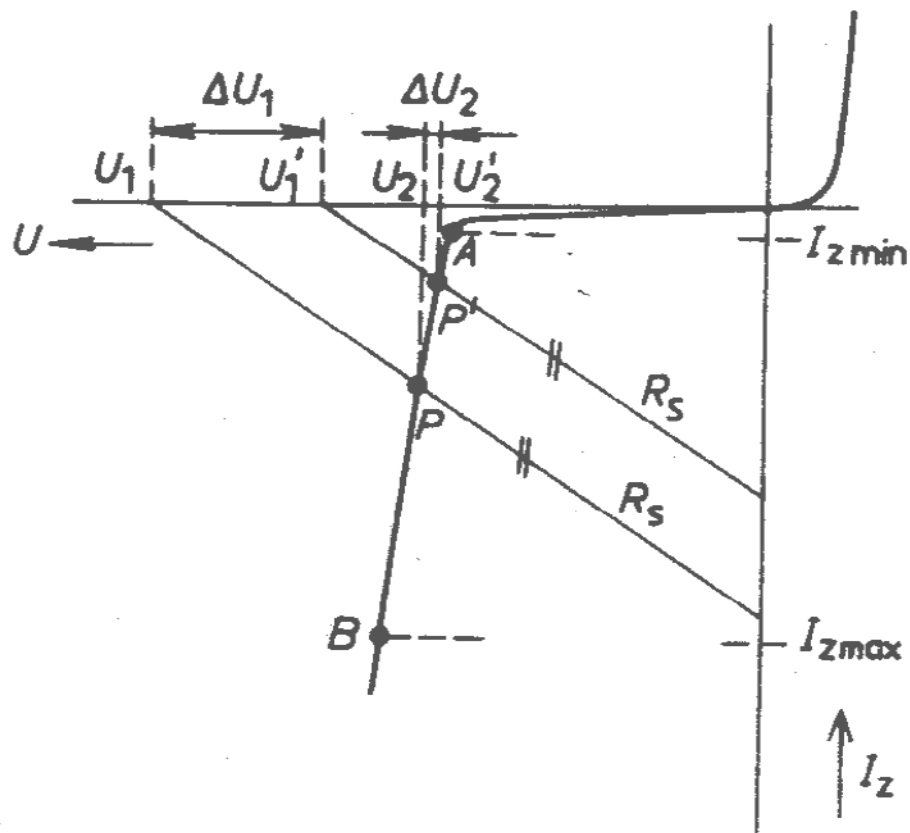
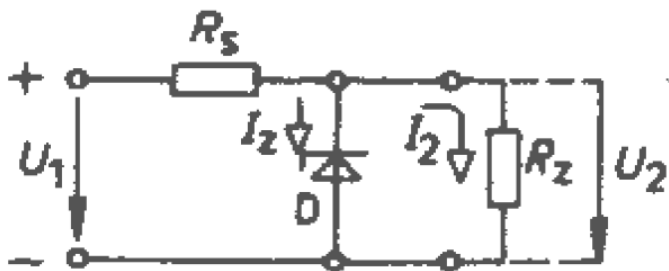


Filtrované dvoucestné usměrnění



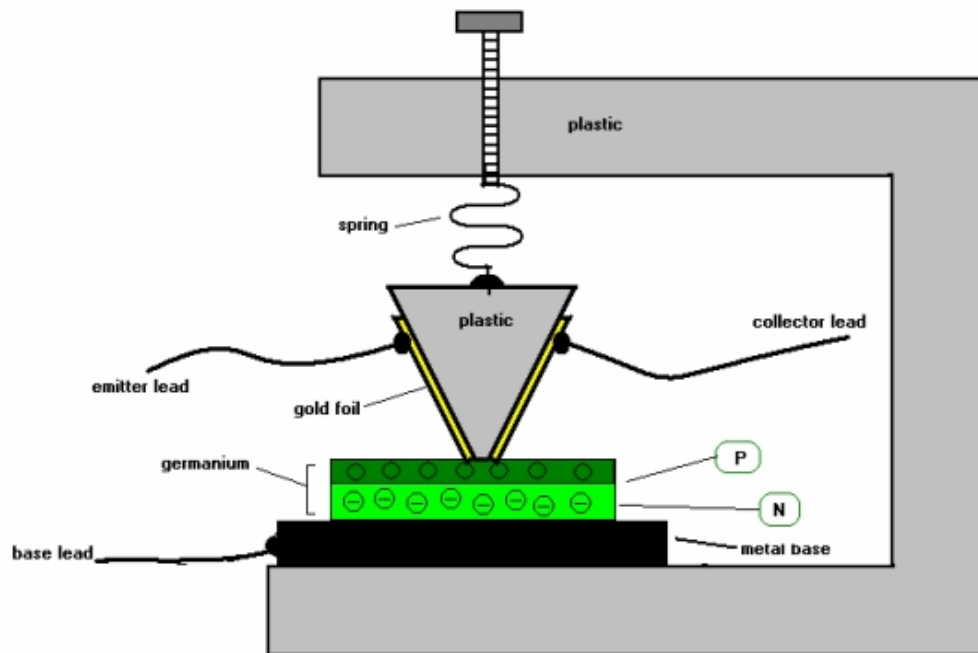
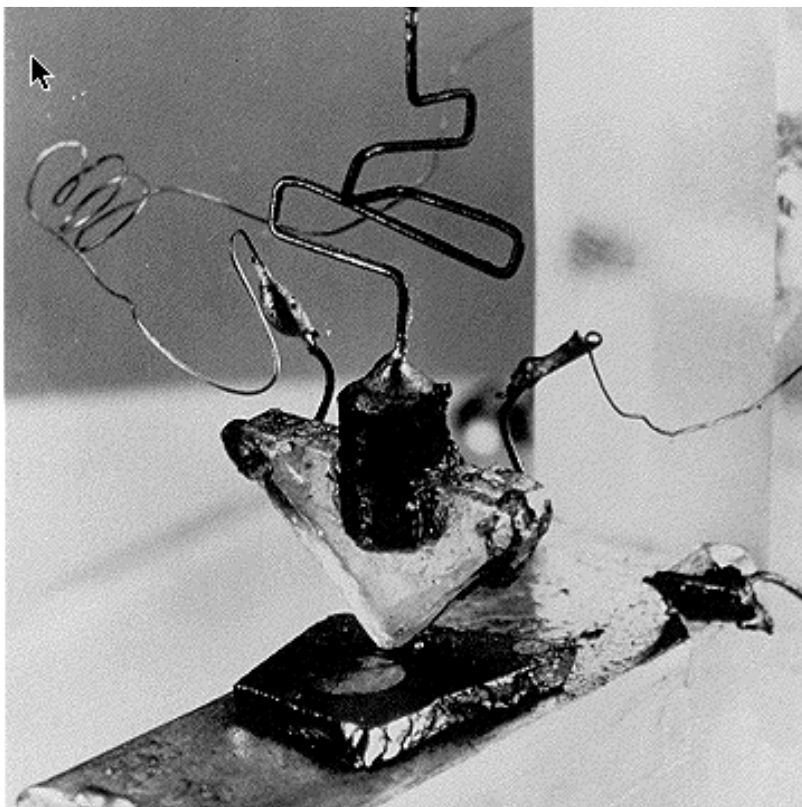
Diodový stabilizátor

- použití Zenerovy diody jako stabilizátoru napětí nebo zdroje referenčního napětí



Bipolární tranzistory

- První tranzistor byl realizován 1947 (Bell Laboratories, Bardeen, Brattain a Shockley)



Bipolární tranzistory

-zesilují RF signály od nejnižších kmitočtů do několika GHz při výstupním výkonu několik mW až do stovek W.

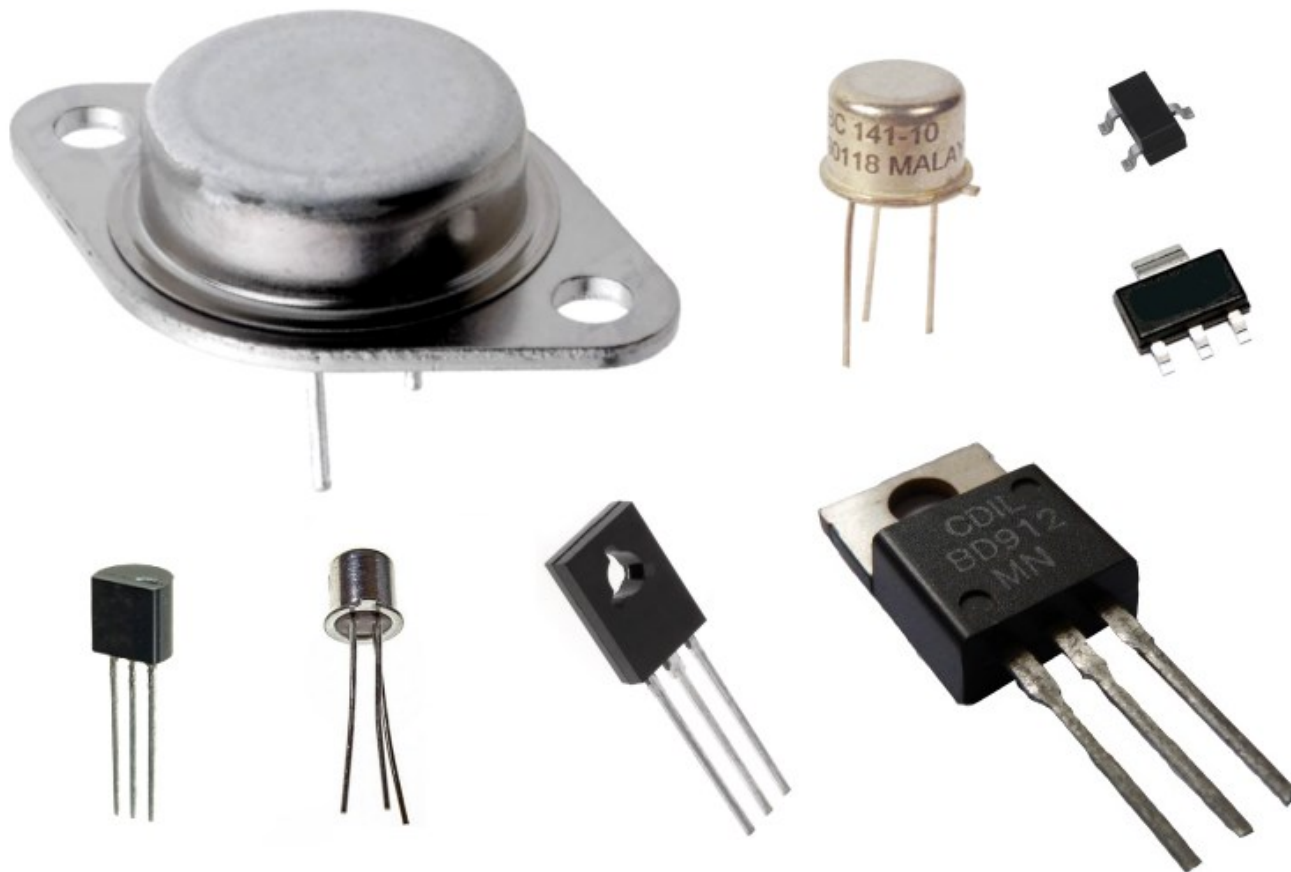
Pracují hlavně s minoritními nosiči – injekce minoritních nosičů do tenké báze.

Je nutné je obvodově tepelně stabilizovat – stabilizace pracovního Bodu.

Mají malý vstupní odpor- jsou řízeny proudem do báze

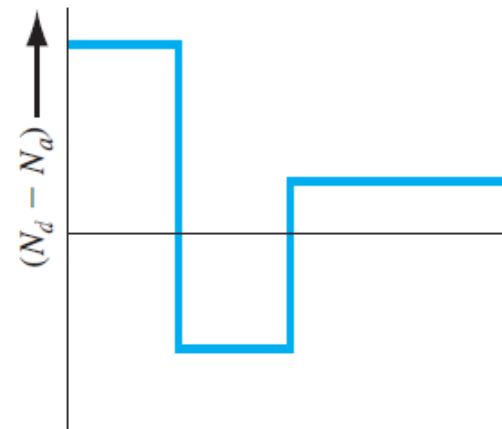
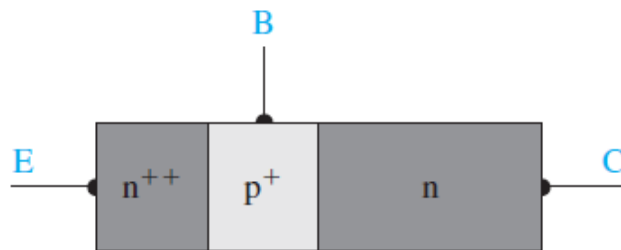
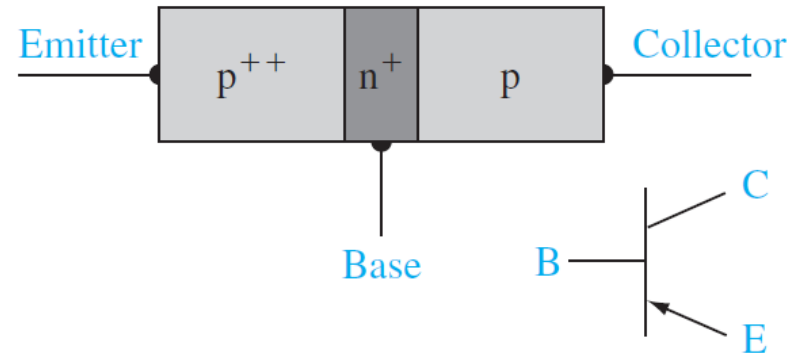
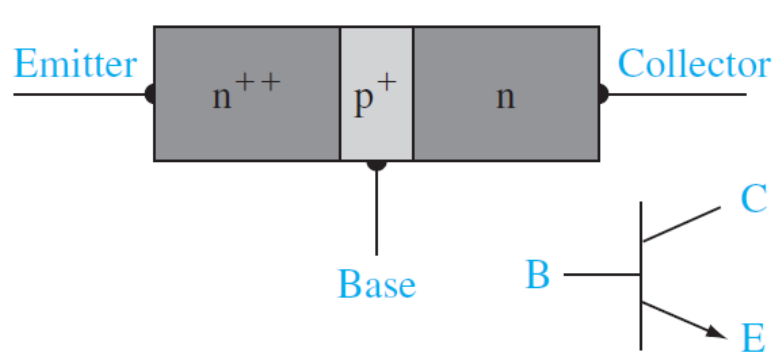
Je možné je zapojovat paralelně ve výkonových prvcích, ale je třeba kompenzovat 'hot spotting' efekt

Bipolární tranzistory

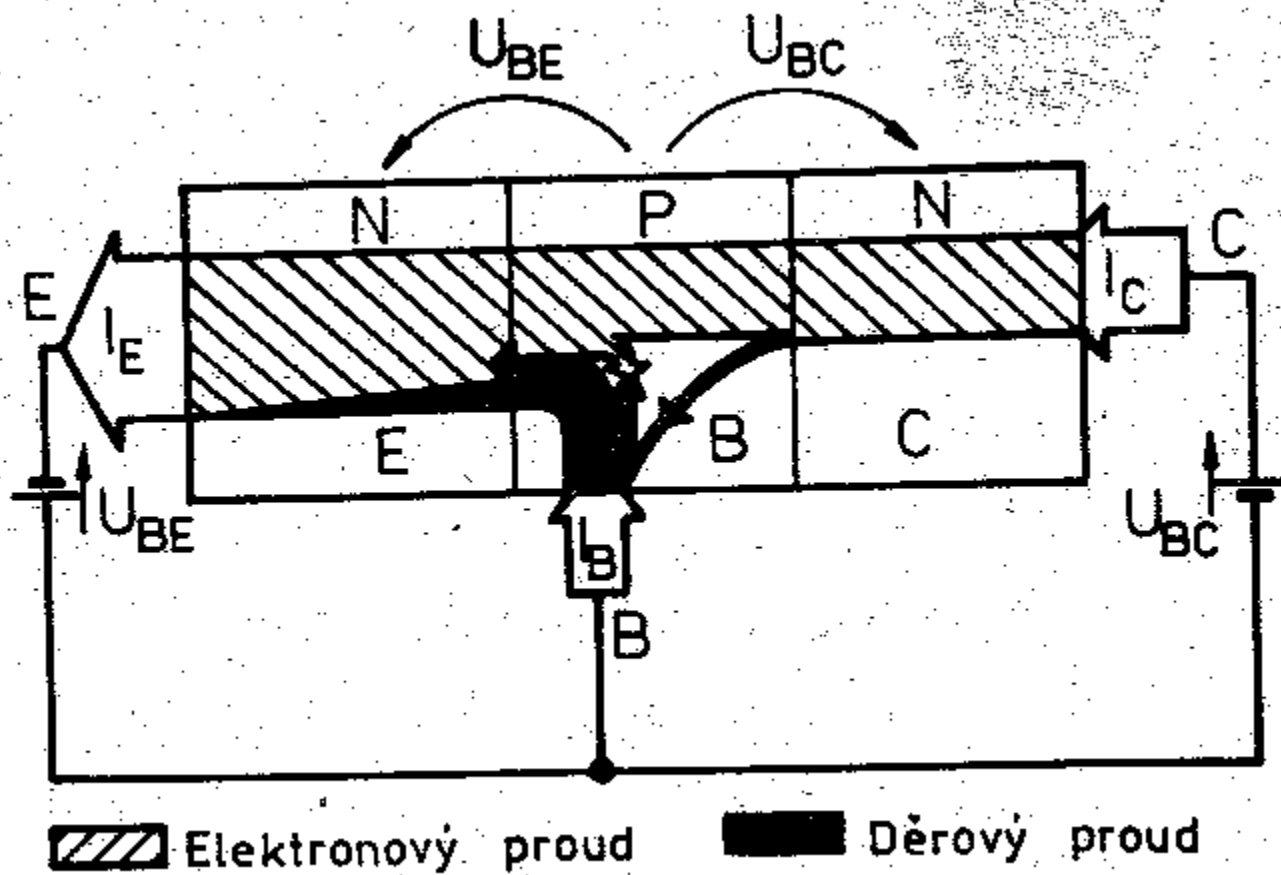


Bipolární tranzistory

struktura bipolárního tranzistoru NPN a PNP a jejich schématické značky



Profil rozdělení dopace v NPN tranzistoru



Funkce bipolárního tranzistoru NPN

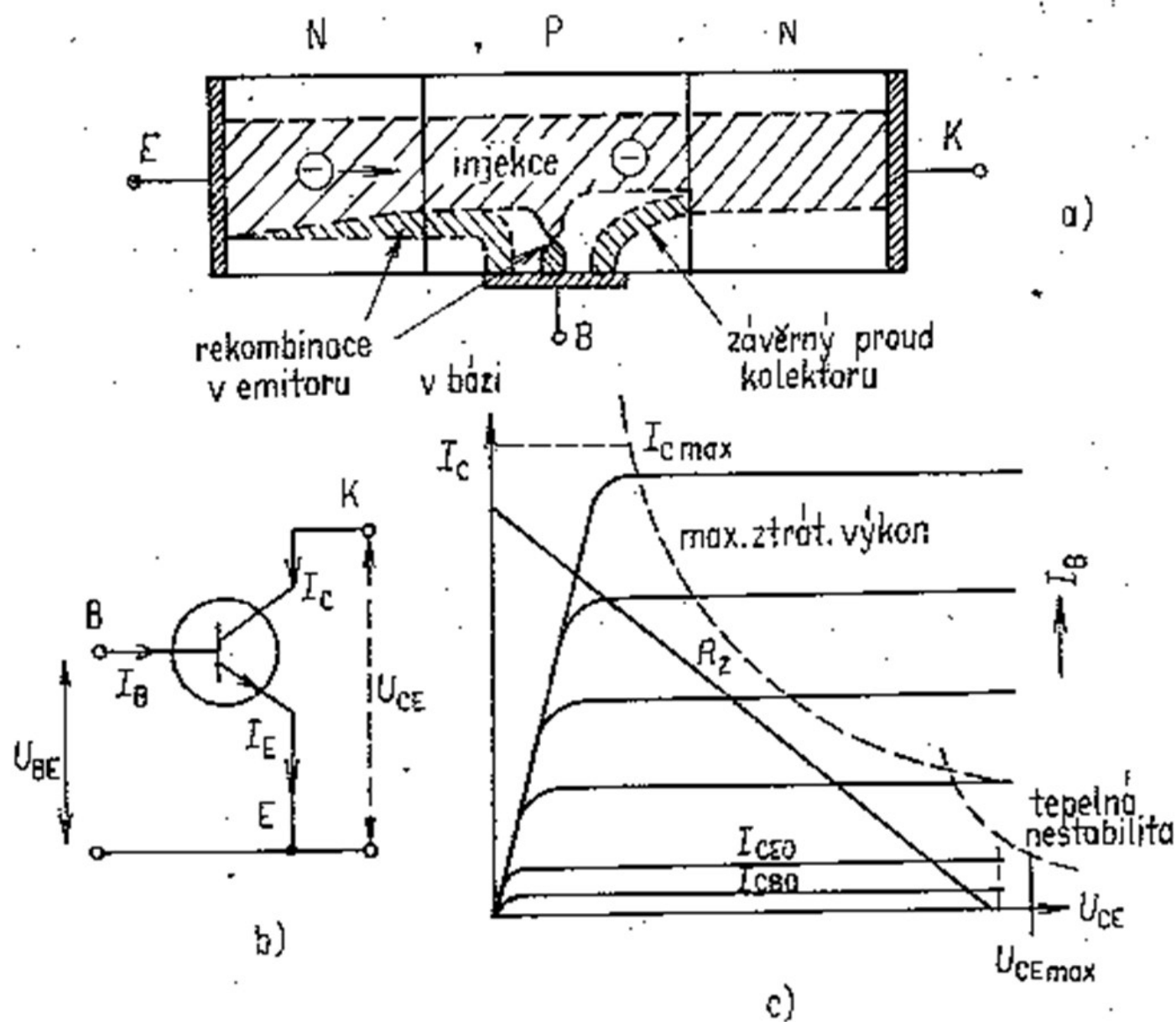
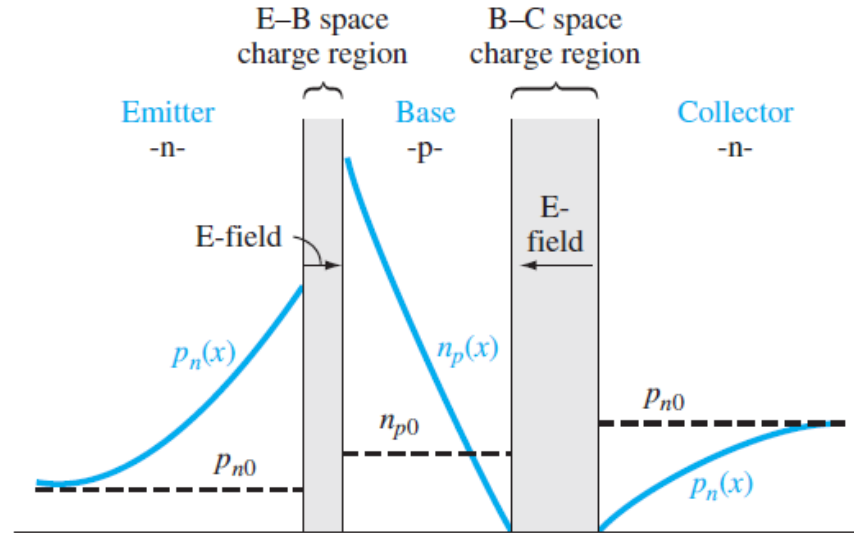
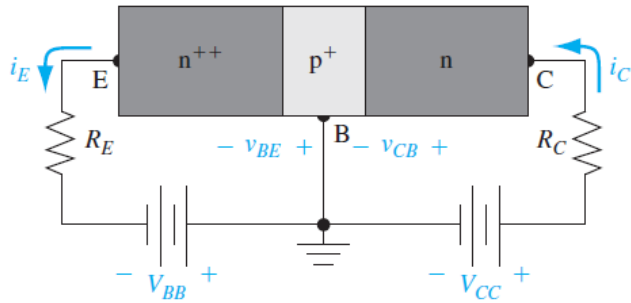


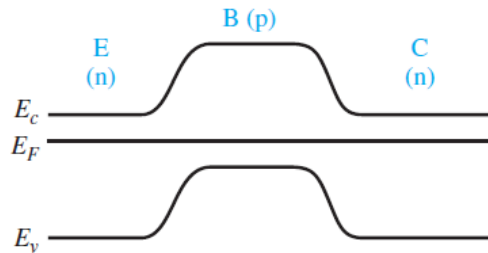
Schéma činnosti bipolárního tranzistoru

Bipolární tranzistory

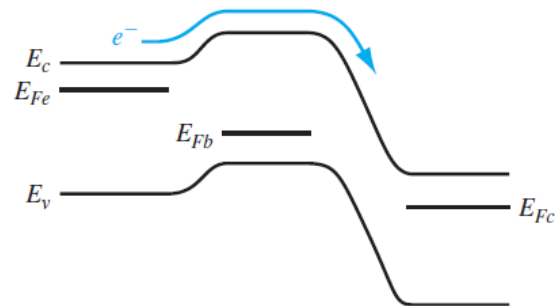


Rozdělení minoritních nosičů v NPN tranzistoru pracujícím v otevřeném stavu

Energetický pásový diagram NPN tranzistoru

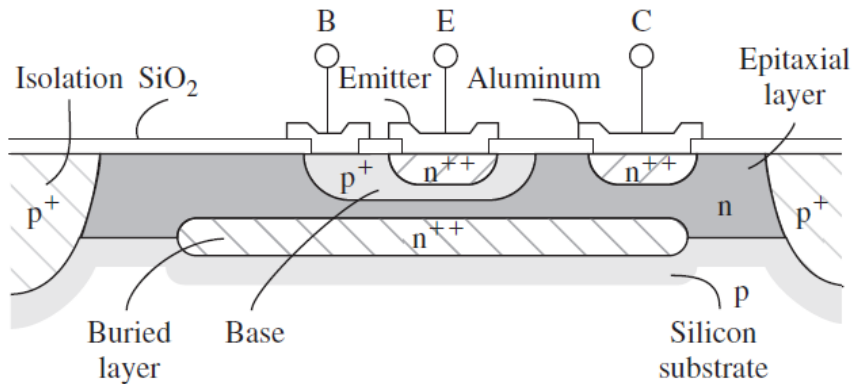


nulové napětí na NPN tranzistoru



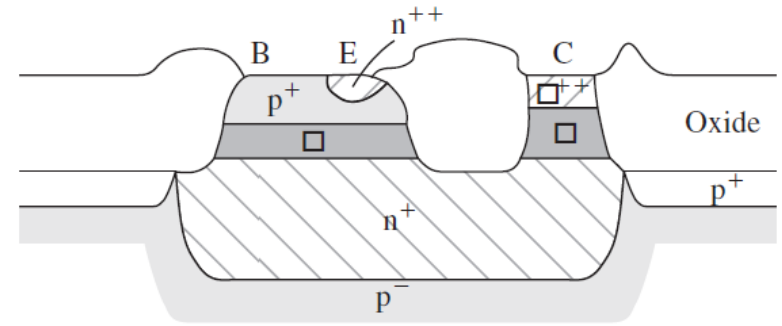
otevřený NPN tranzistor

Bipolární tranzistory



Conventional npn transistor

(a)



(b)

- a) Řez standartním integrovaným obvodem s NPN bipolárním tranzistorem
- b) Řez integrovaným obvodem s NPN tranzistorem izolovaným oxidem.

Literatura:

A. Frohn, W. Oberthur, H. Siedler, M. Wiemer, P. Zastrow, Elektronika-Polovodičové součástky a základní zapojení, BEN Praha 2006, *kapitola 1 str. 16-106, Kapitola 2 str 112-119.*

P. Neumann, J. Uhlíř, Elektronické obvody a funkční bloky 1, skriptum ČVUT (2005).

P. Horowitz, W. Hill, The art of Electronics, Third edition, Cambridge University Press, 1980, 1989, 2015.

Richard. C. Dorf, et. al., The electrical engineering handbook, Electronics, Power Electronics, Optoelectronics, Microwaves, Electromagnetics, and Radar Third edition, Taylor & Francis (2006).

Donald A. Neamen, Microelectronics Circuit Analysis and Design, Published by McGraw-Hill (2010).