

# Elektronika pro informační technologie (IEL)

## Druhé laboratorní cvičení

Brno University of Technology, Faculty of Information Technology  
Božetěchova 1/2, 612 66 Brno - Královo Pole  
Petr Veigend, [iveigend@fit.vut.cz](mailto:iveigend@fit.vut.cz)

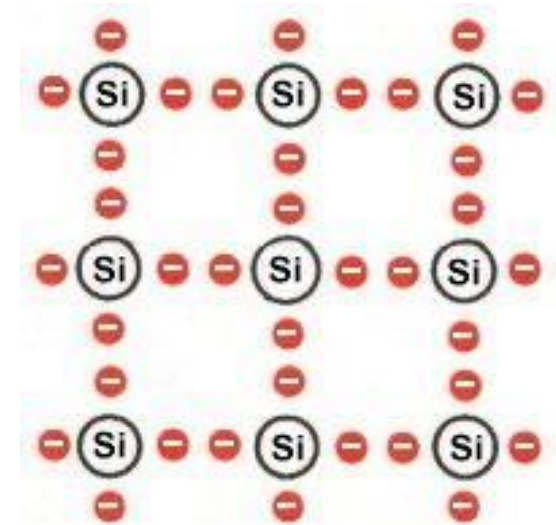


- **Můj profil:** <http://www.fit.vut.cz/person/iveigend/>
- Kancelář: A221
  - Konzultační hodiny: po domluvě emailem

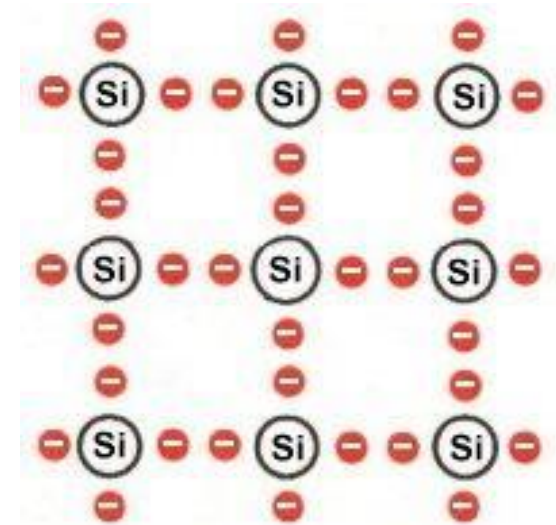
- **Polovodičová dioda**
  - Úvod do problematiky
  - **Měření V-A charakteristiky diody**
  - **Pracovní bod**

# POLOVODIČOVÁ DIODA

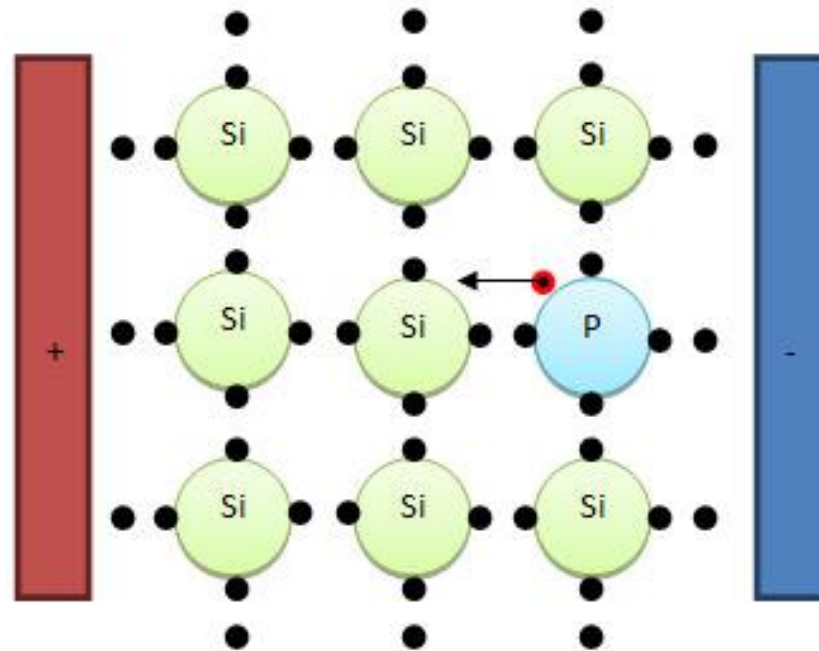
- Rozlišujeme polovodiče **vlastní** a **nevlastní**
- **Vlastní (v praxi se příliš nepoužívají)**
  - **Křemík (Si)**
  - Valenční vrstva – **4 elektrony**, chová se jako elektricky neutrální
  - Příměsí vhodných prvků do čistého křemíku se tento stav naruší → vznik 2 typů polovodičů



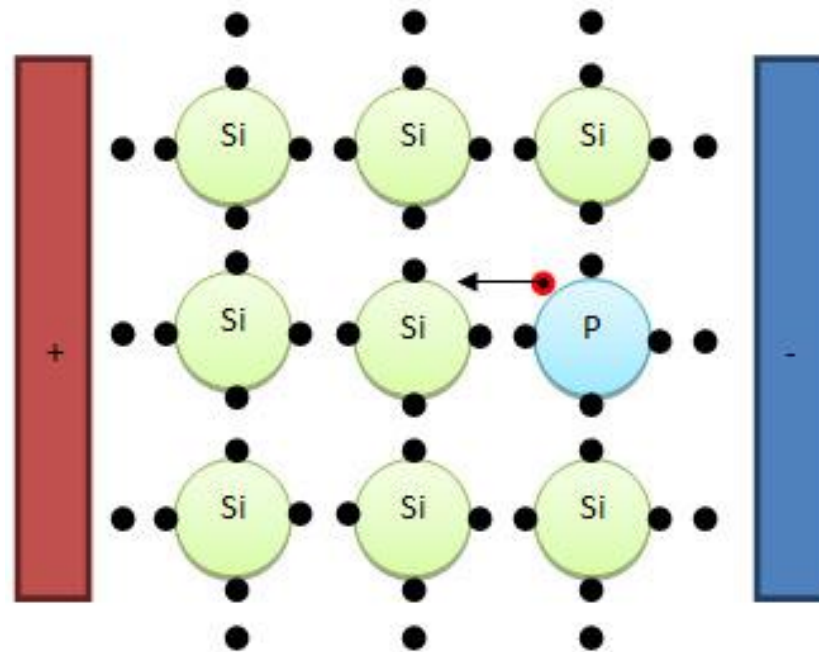
- Rozlišujeme polovodiče **vlastní** a **nevlastní**
- **Vlastní (v praxi se příliš nepoužívají)**
  - Křemík (Si)
  - Valenční vrstva – 4 **elektrony**, chová se jako elektricky neutrální
  - Příměsí vhodných prvků do čistého křemíku se tento stav naruší → vznik 2 typů polovodičů
- **Nevlastní**
  - polovodiče typu P
  - Polovodiče typu N



- **Typ N:** elektronová vodivost, příměs o 1 el. více
  - **Příklad:** 5-mocný fosfor (P) – 5 elektronů ve valenční vrstvě

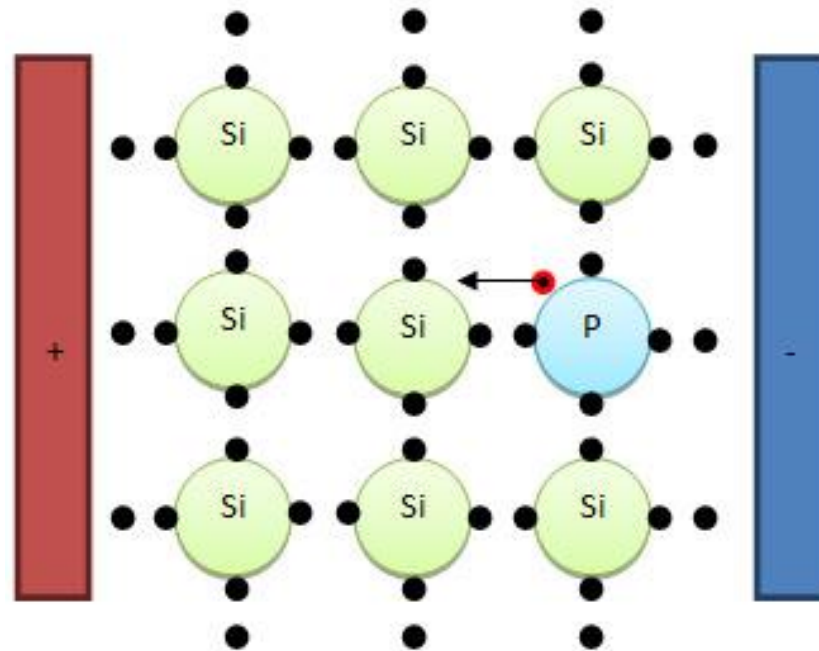


- **Typ N:** elektronová vodivost, příměs o 1 el. více
  - **Příklad:** 5-mocný fosfor (P) – 5 elektronů ve valenční vrstvě
  - v krystalu křemíku od každého atomu fosforu 1 volný elektron

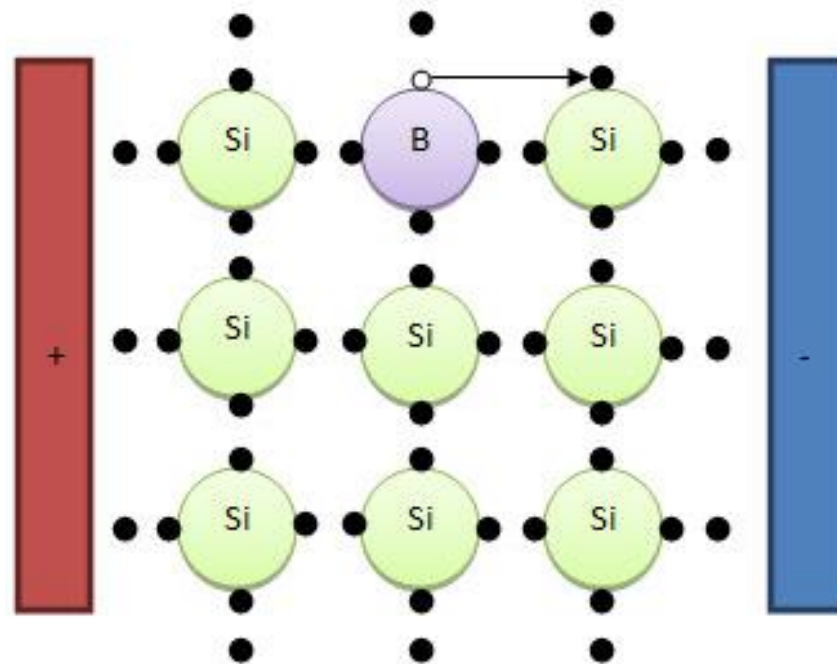




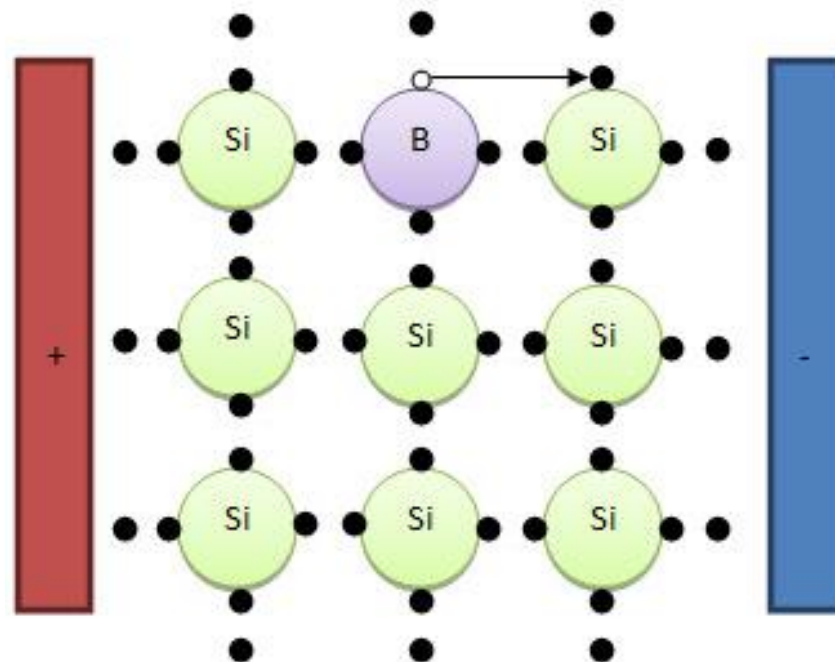
- **Typ N:** elektronová vodivost, příměs o 1 el. více
  - **Příklad:** 5-mocný fosfor (P) – 5 elektronů ve valenční vrstvě
  - v krystalu křemíku od každého atomu fosforu 1 volný elektron
  - Záporně nabitý materiál → polovodič typu N



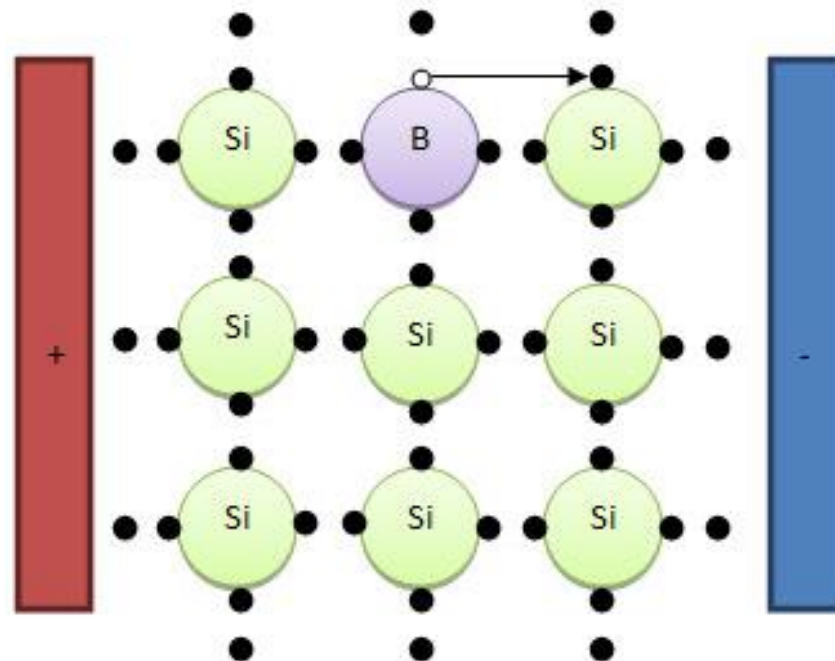
- **Typ P:** děrová vodivost, příměs o 1 el. méně
  - **Příklad:** 3-mocný bor (B) – 3 elektrony ve valenční vrstvě



- **Typ P:** děrová vodivost, příměs o 1 el. méně
  - **Příklad:** 3-mocný bor (B) – 3 elektrony ve valenční vrstvě
  - v krystalu křemíku od každého atomu boru 1 volné místo ("díra")



- **Typ P:** děrová vodivost, příměs o 1 el. méně
  - **Příklad:** 3-mocný bor (B) – 3 elektrony ve valenční vrstvě
  - v krystalu křemíku od každého atomu boru 1 volné místo ("díra")
  - Kladně nabitý materiál → polovodič typu P



- Příměsi s **5 valenčními elektrony** (např. fosfor)
  - **Donory:** dodávají do krystalu křemíku **volné elektrony**

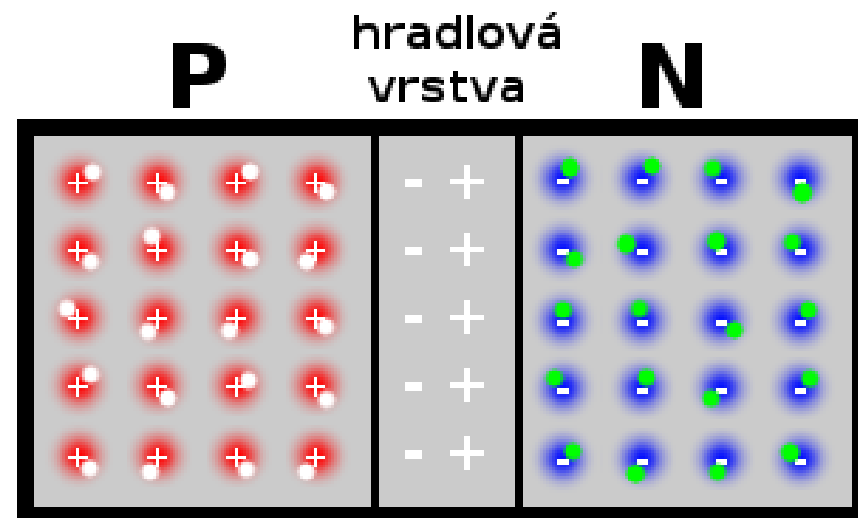
- Příměsi s **5 valenčními elektrony (např. fosfor)**
  - **Donory:** dodávají do krystalu křemíku **volné elektrony**
- Příměsi se **3 valenčními elektrony (např. bor)**
  - **Akceptory:** vytvářejí v křemíku kladně nabitě "díry", které **elektrony přitahují**

- Příměsi s **5 valenčními elektrony (např. fosfor)**
  - **Donory:** dodávají do krystalu křemíku **volné elektrony**
- Příměsi se **3 valenčními elektrony (např. bor)**
  - **Akceptory:** vytvářejí v křemíku kladně nabitě "díry", které **elektrony přitahují**
- Takto upravené materiály jsou však samy o sobě **prakticky nepoužitelné**, jelikož neposkytují dostatek volných elektronů pro vedení proudu.

- Příměsi s **5 valenčními elektrony (např. fosfor)**
  - **Donory:** dodávají do krystalu křemíku **volné elektrony**
- Příměsi se **3 valenčními elektrony (např. bor)**
  - **Akceptory:** vytvářejí v křemíku kladně nabitě "díry", které **elektrony přitahují**
- Takto upravené materiály jsou však samy o sobě **prakticky nepoužitelné**, jelikož neposkytují dostatek volných elektronů pro vedení proudu.
- **Řešení:** spojíme polovodiče typu P a N  
→ **PN přechod**

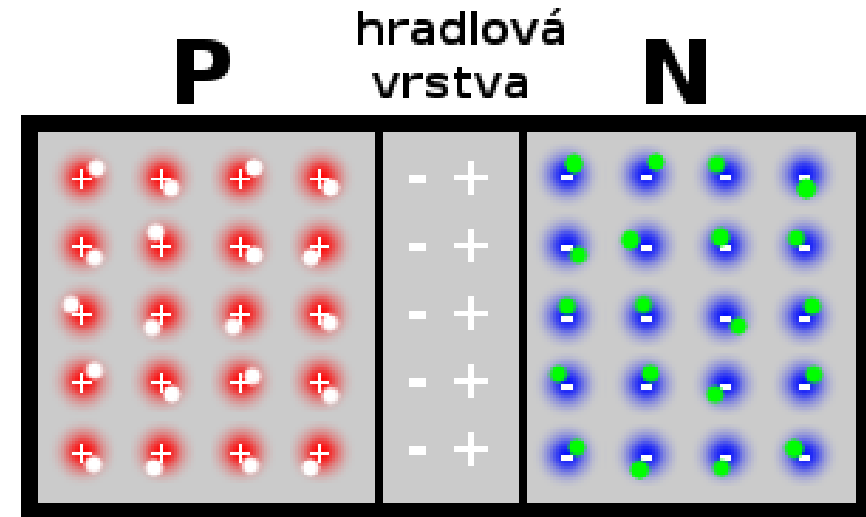


- Rozhraní materiálů P a N  
 → **hradlová vrstva**  
 (potenciálová bariéra)



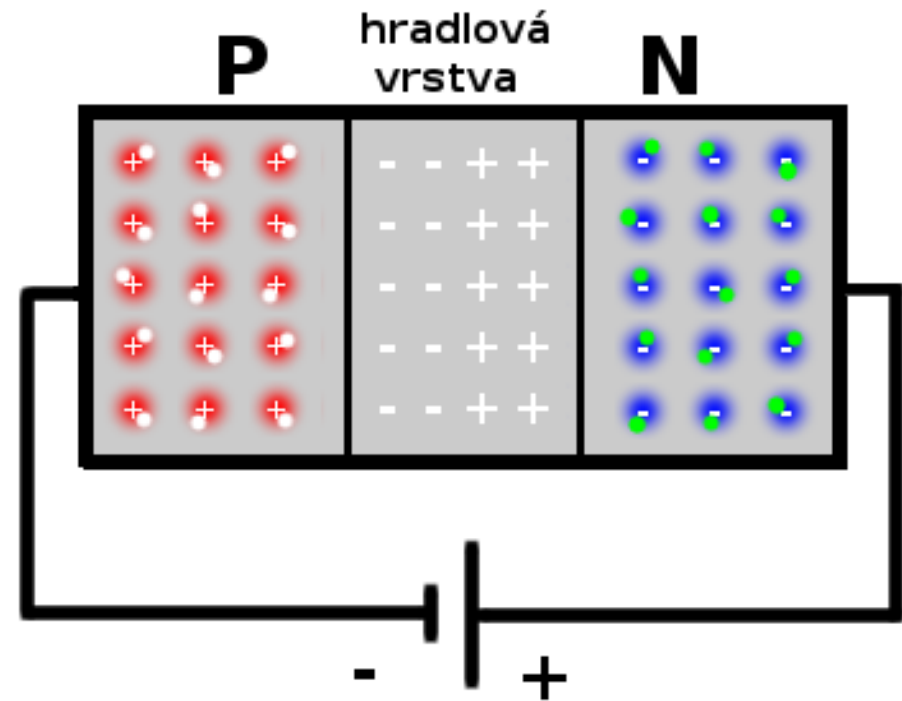
- původní krystal (typ. křemík)
- akceptor s dírou
- donor s volným elektronem
- ionty v původním krystalu vzniklé působením el. pole PN přechodu

- Rozhraní materiálů P a N  
→ **hradlová vrstva**  
(potenciálová bariéra)
- Volné elektrony (-) jsou přitahovány k dírám (+)
  - **rekombinace** – zánik páru  
(elektron se náhodně setká s dírou, ztratí část energie a zaplní díru)



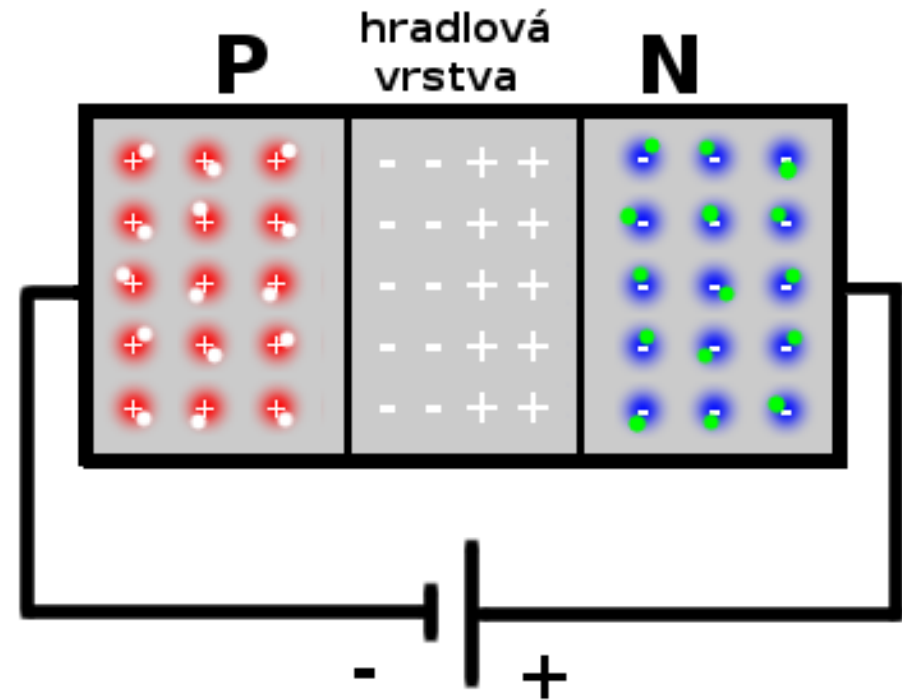
- původní krystal (typ. křemík)
- akceptor s dírou
- donor s volným elektronem
- ionty v původním krystalu vzniklé působením el. pole PN přechodu

- Připojeno vnější napětí
- **Kladná polarita (+)** vnějšího napětí u polovodiče N přitahuje elektrony (-)



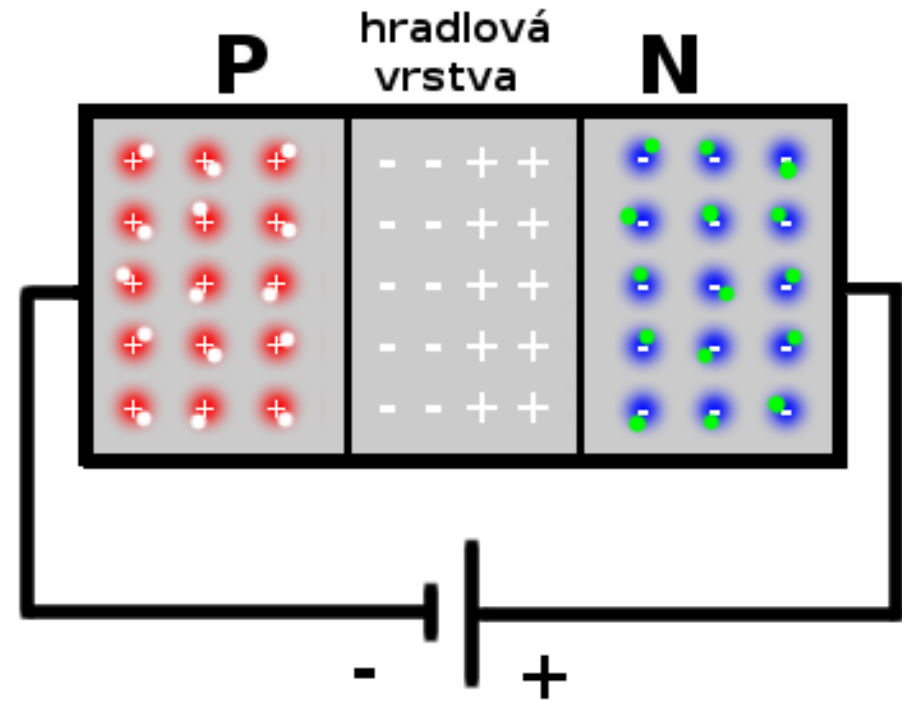
- + hradlová vrstva rozšířena při zapojení v závěrném směru => značný odpor bránící průtoku proudu

- Připojeno vnější napětí
- **Kladná polarita (+)**  
vnějšího napětí u polovodiče N přitahuje elektrony (-)
- **Záporná polarita (-)**  
vnějšího napětí u polovodiče P přitahuje díry (+)



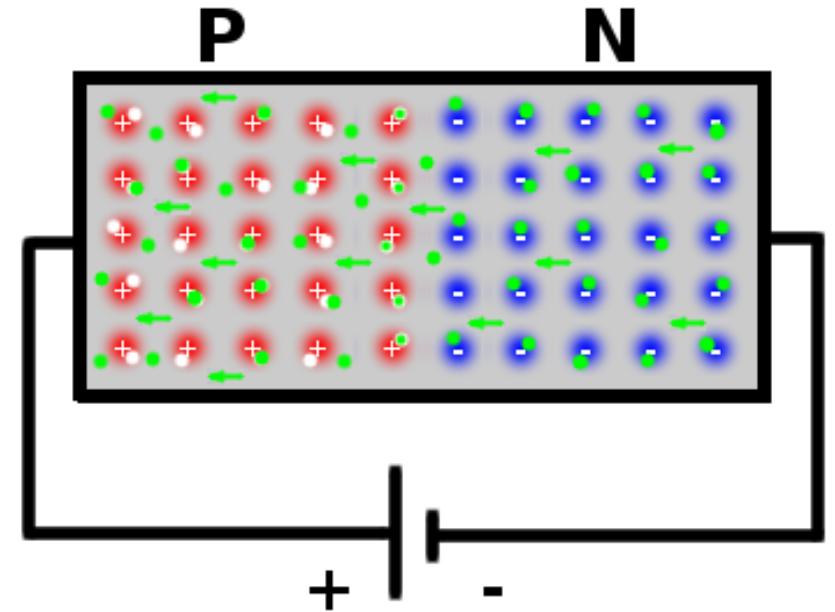
- + hradlová vrstva rozšířena při zapojení v závěrném směru => značný odpor bránící průtoku proudu


- Připojeno vnější napětí
- **Kladná polarita (+)** vnějšího napětí u polovodiče N přitahuje elektrony (-)
- **Záporná polarita (-)** vnějšího napětí u polovodiče P přitahuje díry (+)
- **potenciálová bariéra se zvětšuje a proud neprotéká**



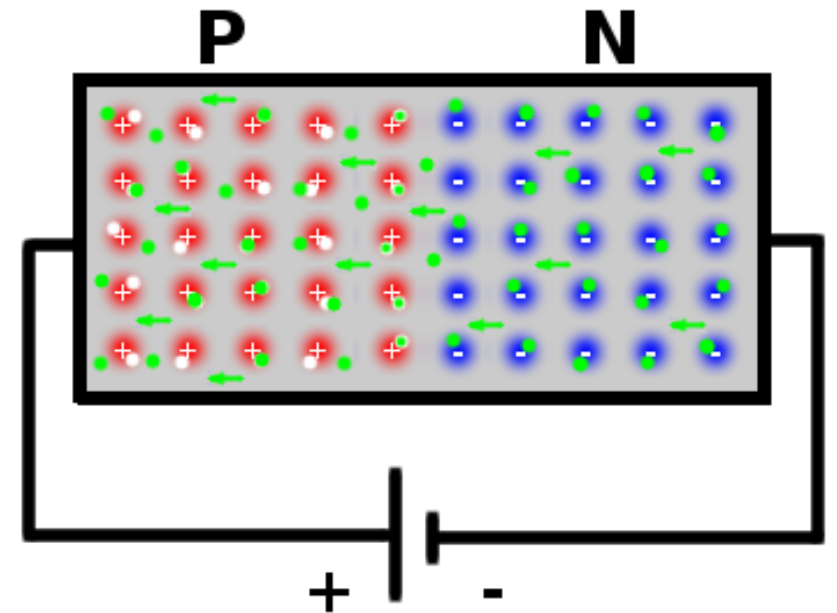
- + hradlová vrstva rozšířena při zapojení v závěrném směru => značný odpor bránící průtoku proudu


- Připojeno vnější napětí
- **Kladná polarita (+)** vnějšího napětí u polovodiče P odpuzuje díry (+)



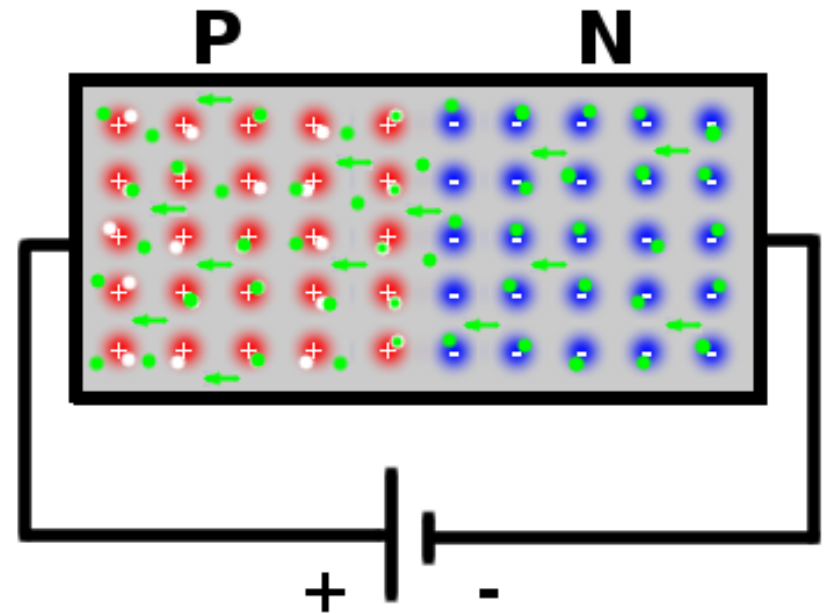
 polarizace PN přechodu tzv. do propustného směru, značná redukce hradlové vrstvy, pokles odporu, prochází elektrický proud


- Připojeno vnější napětí
- **Kladná polarita (+)**  
vnějšího napětí u polovodiče P odpuzuje díry (+)
- **Záporná polarita (-)**  
vnějšího napětí u polovodiče N odpuzuje elektrony (-) a tlačí je směrem k přechodu



 polarizace PN přechodu tzv. do propustného směru, značná redukce hradlové vrstvy, pokles odporu, prochází elektrický proud

- Připojeno vnější napětí
- **Kladná polarita (+)** vnějšího napětí u polovodiče P odpuzuje díry (+)
- **Záporná polarita (-)** vnějšího napětí u polovodiče N odpuzuje elektrony (-) a tlačí je směrem k přechodu
- **potenciálová bariéra zaniká** a začíná **protékat proud**



 polarizace PN přechodu tzv. do propustného směru, značná redukce hradlové vrstvy, pokles odporu, prochází elektrický proud

**dochází k rekombinaci elektronů a děr**



- Analytické řešení

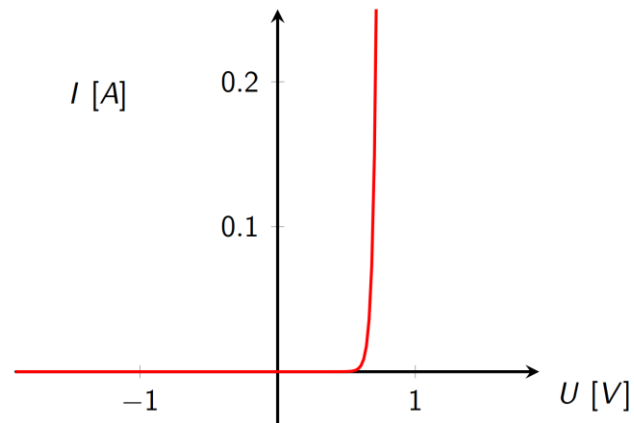
$$I = I_0 \left( e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right)$$

kde:

$e$  je náboj elektronu ( $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ),

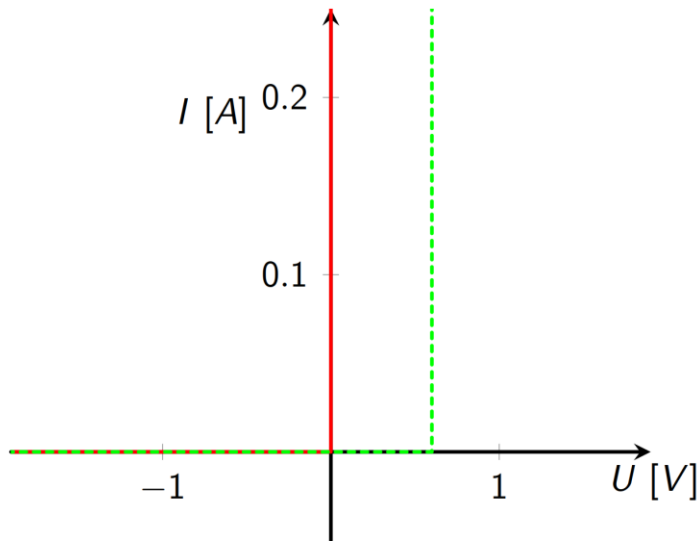
$k$  je Boltzmanova konstanta ( $1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ ),

$T$  je teplota přechodu PN ( $300 \text{ K}$ )

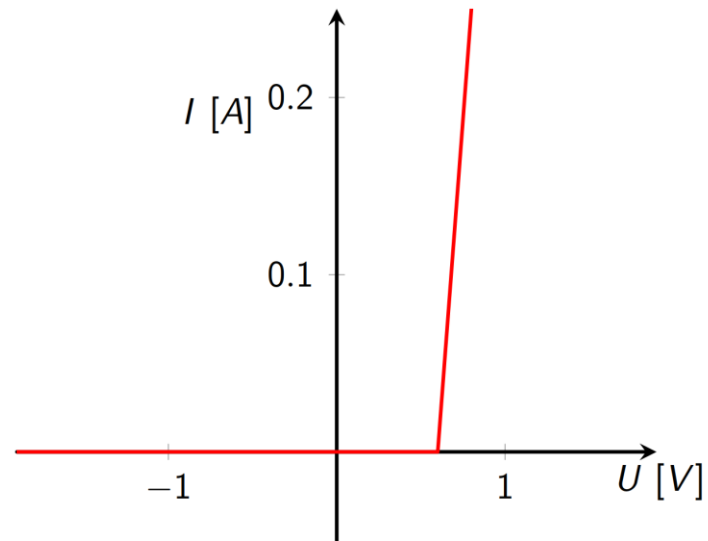


- Lze aproximovat

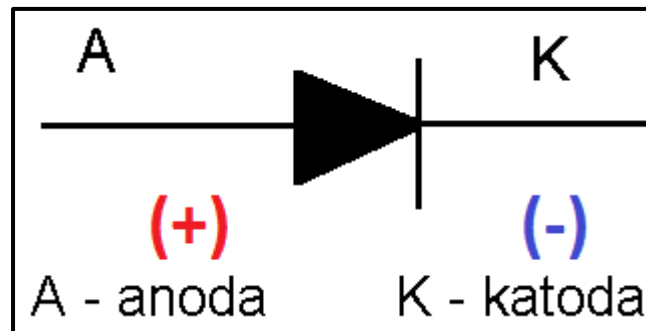
model1: **spínač**; model2: **0.7V+spínač**



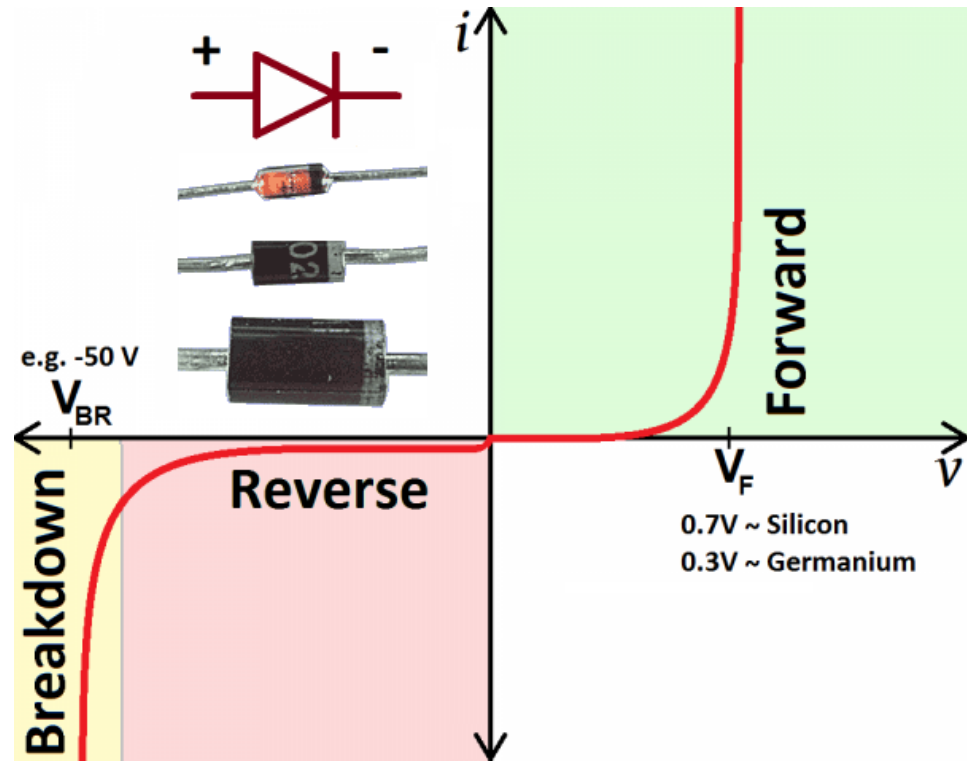
model3: **0.6V +  $R_d$  + spínač**



- Polovodičová dioda má tuto značku:
- Jedná se vlastně o **polovodičový PN přechod**
- Má dvě elektrody
  - kladnou: **anodu, P (delší)**
  - zápornou: **katodu, N (kratší)**

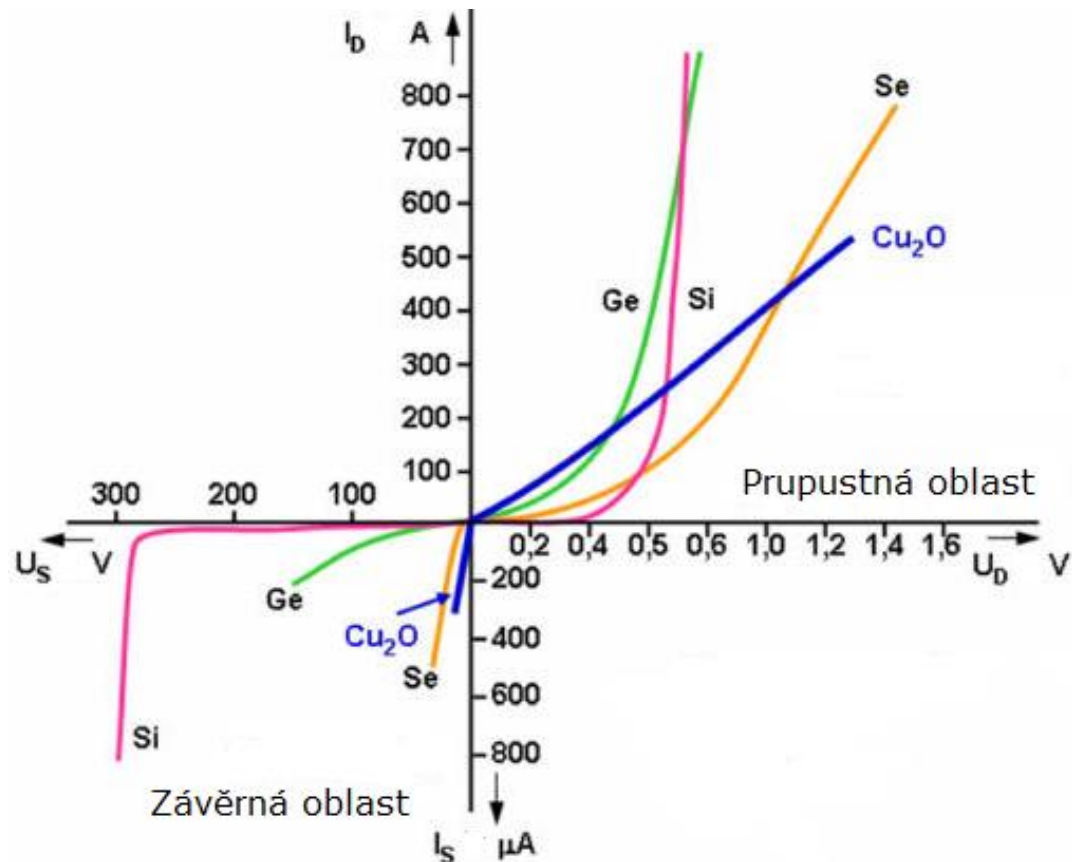


- Skutečná charakteristika ale vypadá takto:

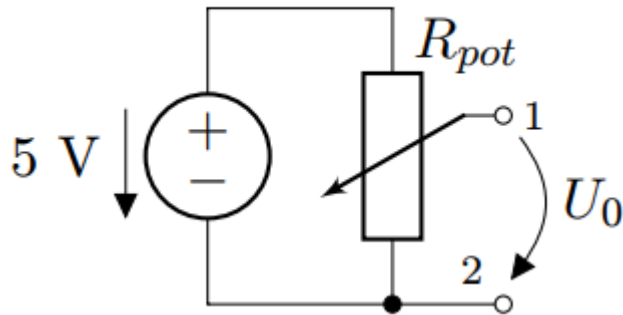


- Diodou prochází proud  $i$  v tzv. **závěrném směru**. Pokud překročí maximální povolenou hodnotu,
  - dojde k (destruktivnímu) **průrazu** a u většiny typů diod i k jejich **zničení** (existují výjimky – **Zenerova dioda**)

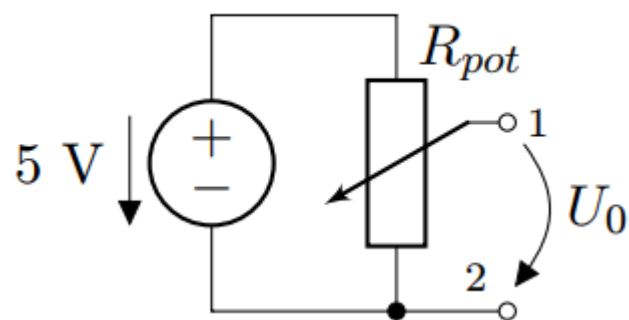
- **Si** – otevírá se při  $U_D=0,4V$ , otevřená je při  $U_D=0,5V$   
– průraz cca při cca 300V



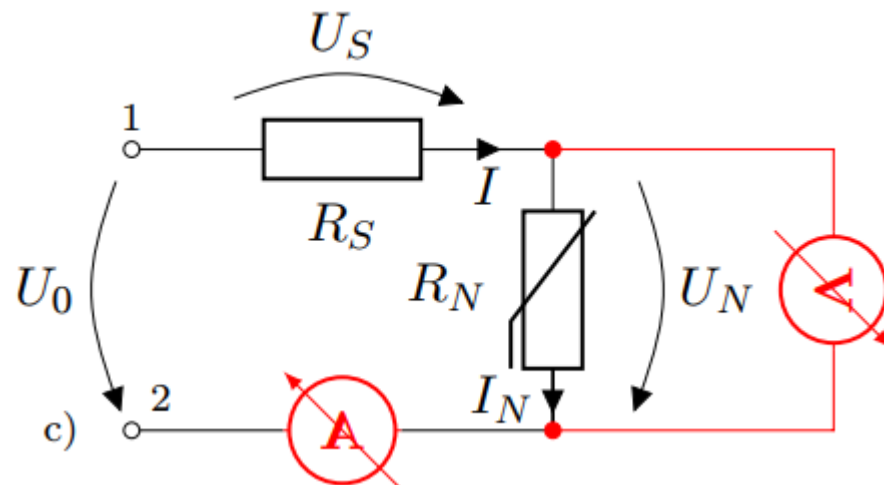
- Zapojte v nepájivém poli



- Připojte multimetr (V, 20V) a sledujte, jak se bude měnit napětí při otáčení knoflíku potenciometru.

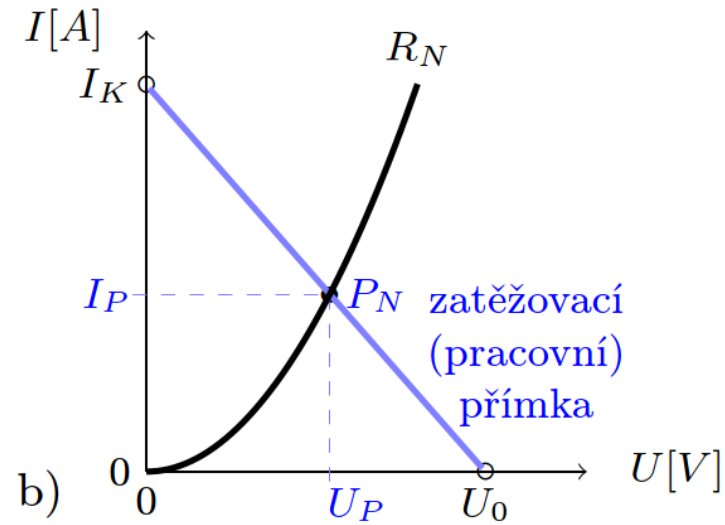


Regulace vstupního napětí

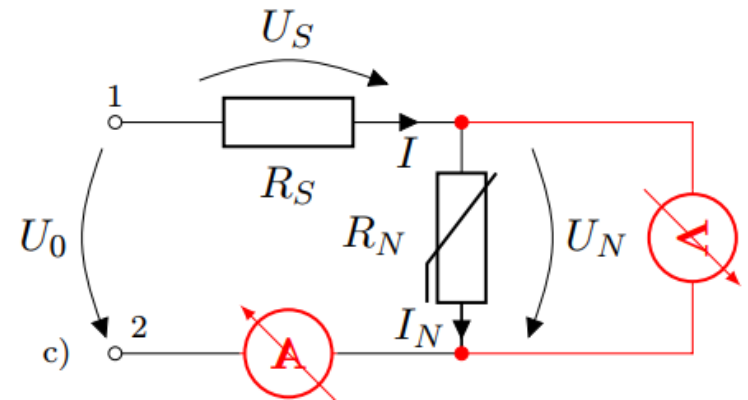


Kompletní zapojení pro změření VA charakteristiky

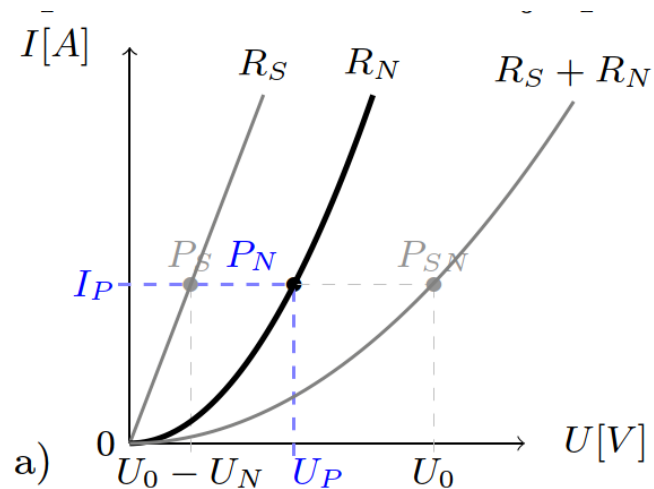
$U_0$	0	0.1	0.2	0.4	0.6	1	2	5	[V]
$U_N$									
$I_N$									[ $\mu$ A]



- Proud nakrátko  $I_K$ 
  - Proud při nahrazení  $R_N$  vodičem
  - $$I_K = \frac{U_0}{R_S}$$







1.  $R_S + R_N$ : závislost napětí na  $U_S + U_N$  na  $I_N$
2. Rovnoběžka s  $I$ , průsečík s  $R_S + R_N$  je bod  $P_{SN}$
3. Rovnoběžka s osou  $U$ . Průsečík s  $I$  je bod  $I_P$ , s VA diody (průběh  $R_N$ ) hledaný pracovní bod diody  $P_N$

Děkuji Vám za pozornost!