

Elektronika pro informační technologie (IEL)

Třetí laboratorní cvičení

Brno University of Technology, Faculty of Information Technology
Božetěchova 1/2, 612 66 Brno - Královo Pole
Petr Veigend, veigend@fit.vut.cz



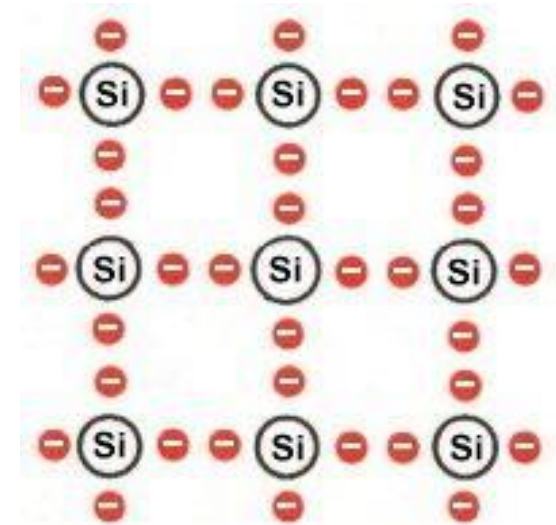
- **Protokol**
- **Polovodičová dioda**
 - Úvod do problematiky
 - **Měření V-A charakteristiky diody**
 - **Pracovní bod**

- V této laboratoři si vyzkoušíme, jak má vypadat protokol z elektrotechnického měření
- Zásady pro tvorbu protokolu jsou do značné míry univerzální (tj. dají se uplatnit i jinde)
- Co nás bude zajímat:
 - Kdo měření provedl, kdy a kde bylo provedeno?
 - Co má být výsledkem měření? Co je cílem laboratoře?
 - Na jakém zařízení měření proběhlo? Jaké byly parametry součástek atp.
 - Jaké byly výsledky měření?
 - Jaký je z těchto měření možné vyvodit závěr?
- Po přečtení protokolu by mělo být možné vaše měření **zopakovat** a dosáhnout **stejných výsledků**

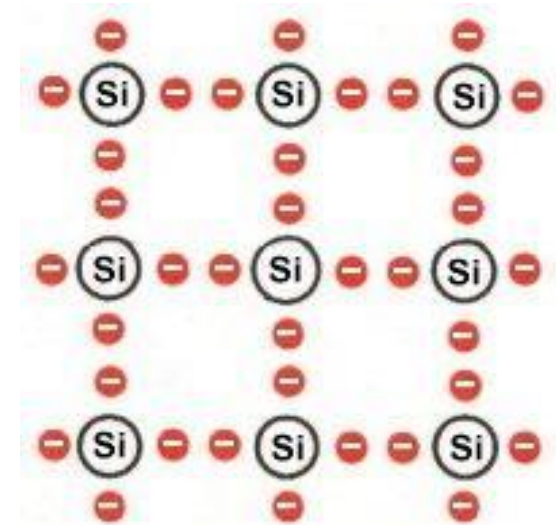
- Protokol máte před sebou vytištěný, k dispozici v Elearningu.
- Odevzdání je **dobrovolné**, do Elearningu
 - Pokud ho odevzdáte, bude k tomu přihlédnuto při žádosti o lepší výslednou známku.
- Odevzdat lze do **8.12.2024, 23:59**.

POLOVODIČOVÁ DIODA

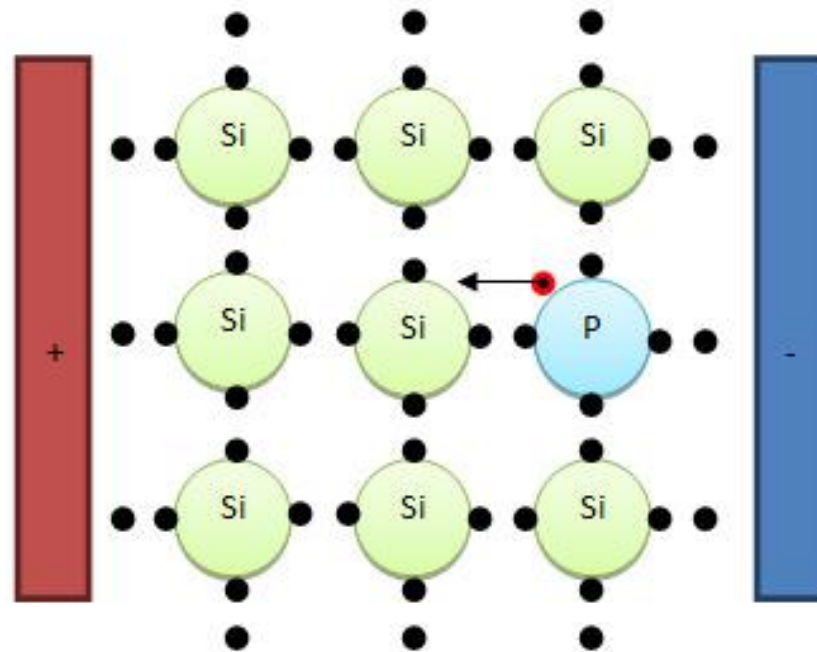
- Rozlišujeme polovodiče **vlastní** a **nevlastní**
- **Vlastní (v praxi se příliš nepoužívají)**
 - **Křemík (Si)**
 - Valenční vrstva – **4 elektrony**, chová se jako elektricky neutrální
 - Příměsí vhodných prvků do čistého křemíku se tento stav naruší → vznik 2 typů polovodičů



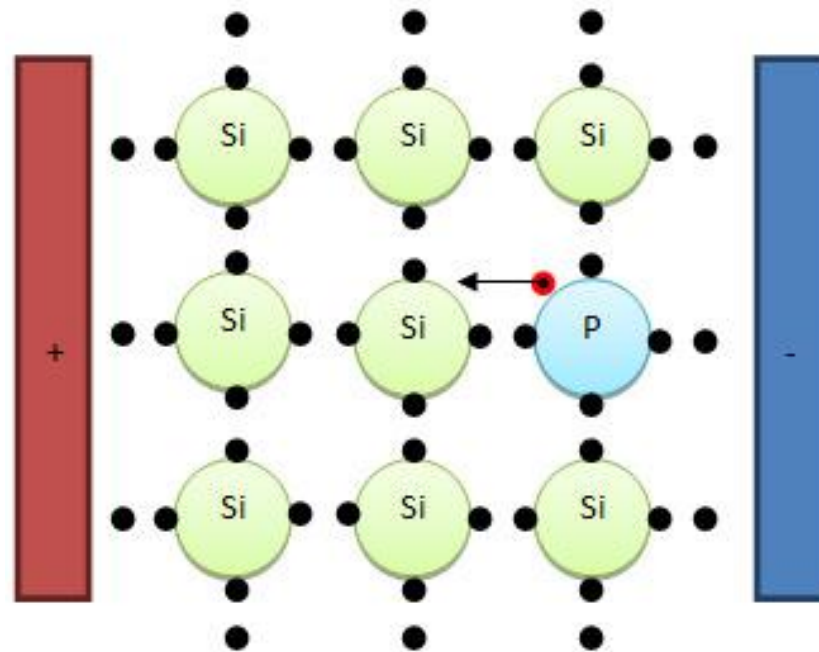
- Rozlišujeme polovodiče **vlastní** a **nevlastní**
- **Vlastní (v praxi se příliš nepoužívají)**
 - Křemík (Si)
 - Valenční vrstva – 4 elektrony, chová se jako elektricky neutrální
 - Příměsí vhodných prvků do čistého křemíku se tento stav naruší → vznik 2 typů polovodičů
- **Nevlastní**
 - polovodiče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



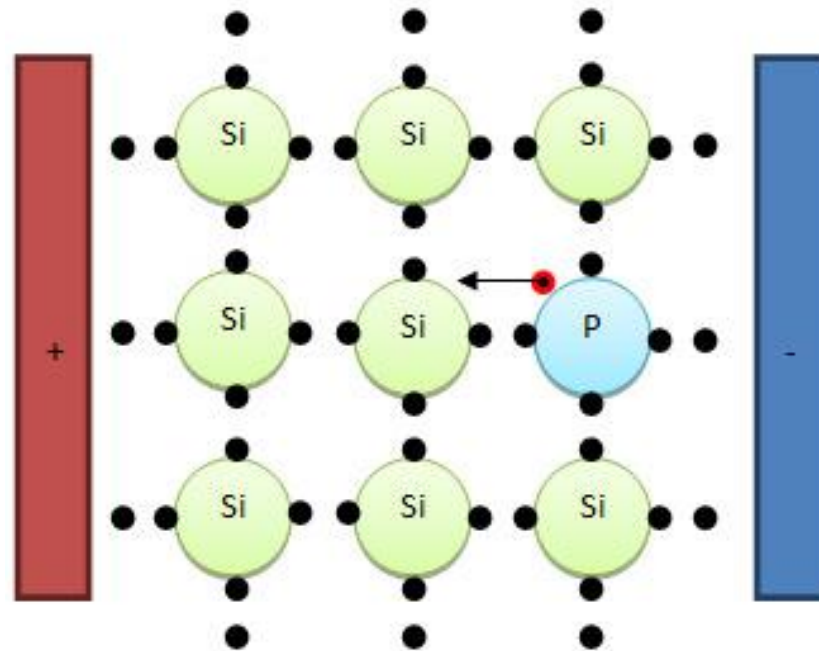
- **Typ N:** elektronová vodivost, příměs o 1 el. více
 - **Příklad:** 5-mocný fosfor (P) – 5 elektronů ve valenční vrstvě



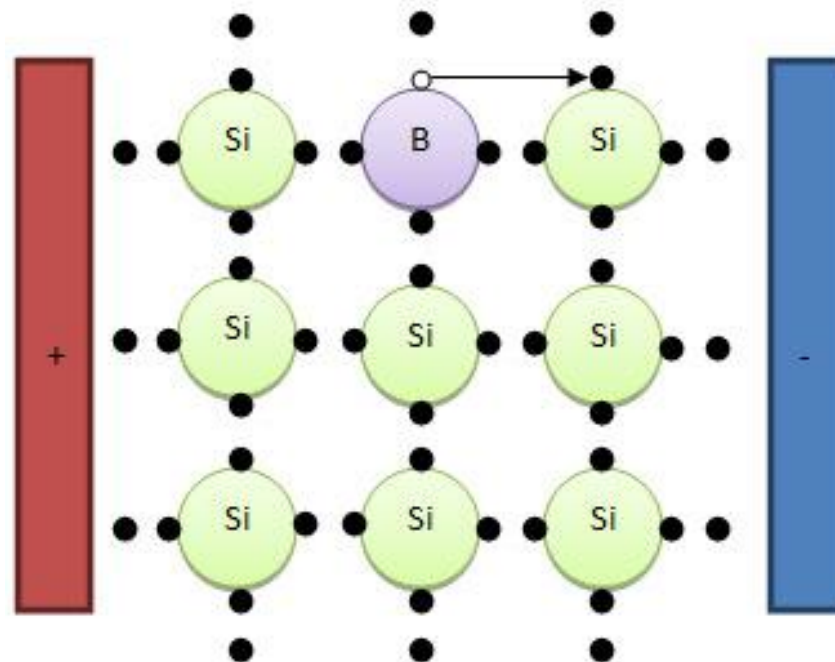
- **Typ N:** elektronová vodivost, příměs o 1 el. více
 - **Příklad:** 5-mocný fosfor (P) – 5 elektronů ve valenční vrstvě
 - v krystalu křemíku od každého atomu fosforu 1 volný elektron



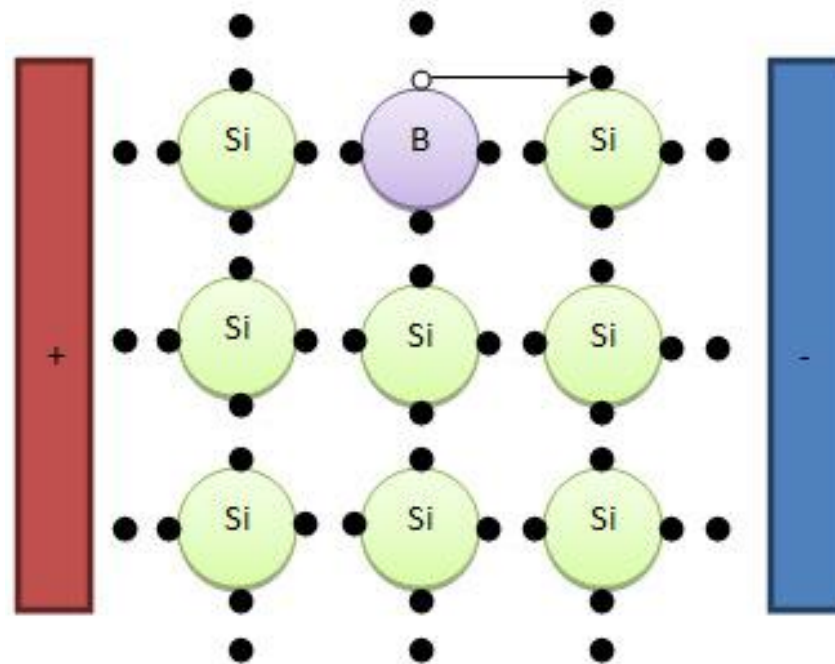
- **Typ N:** elektronová vodivost, příměs o 1 el. více
 - **Příklad:** 5-mocný fosfor (P) – 5 elektronů ve valenční vrstvě
 - v krystalu křemíku od každého atomu fosforu 1 volný elektron
 - Záporně nabitý materiál → polovodič typu N



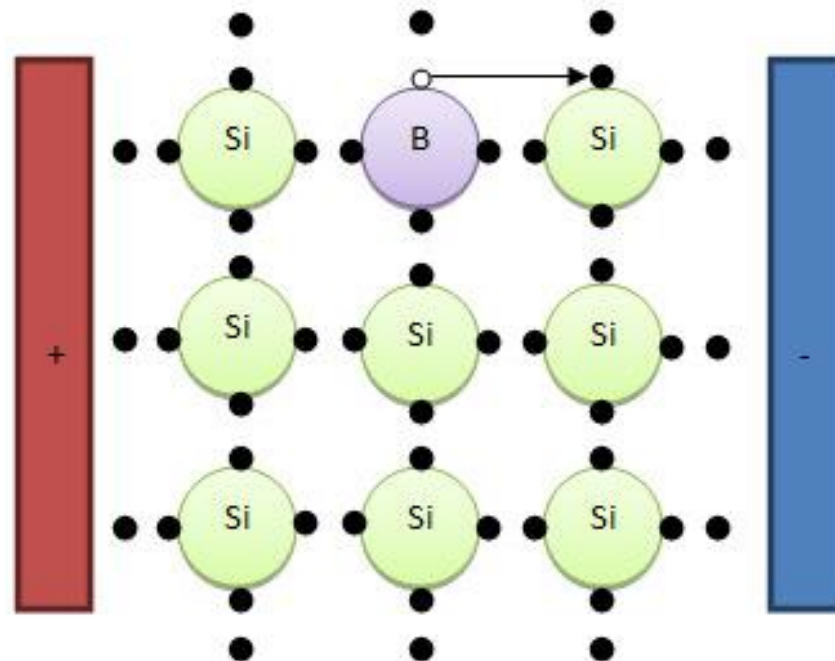
- **Typ P:** děrová vodivost, příměs o 1 el. méně
 - **Příklad:** 3-mocný bor (B) – 3 elektrony ve valenční vrstvě



- **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



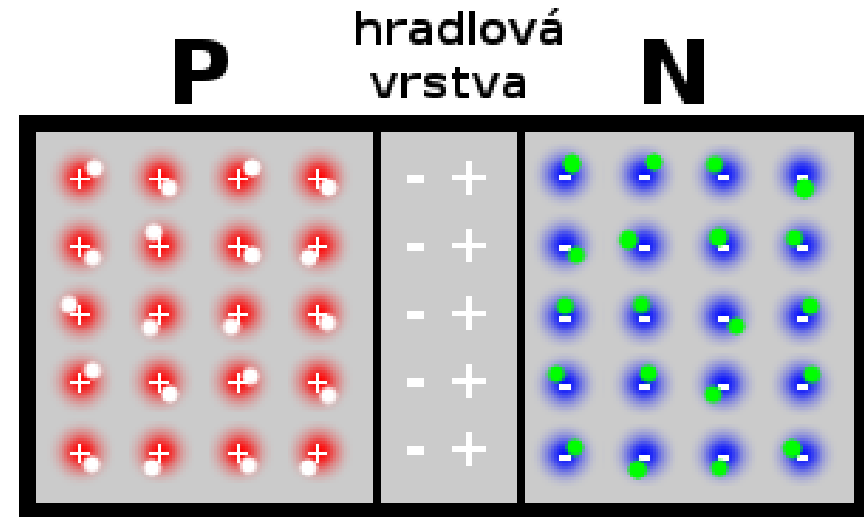
- Příměsi s **5 valenčními elektrony (např. fosfor)**
 - **Donory: dodávají** do krystalu křemíku **volné elektrony**

- 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.

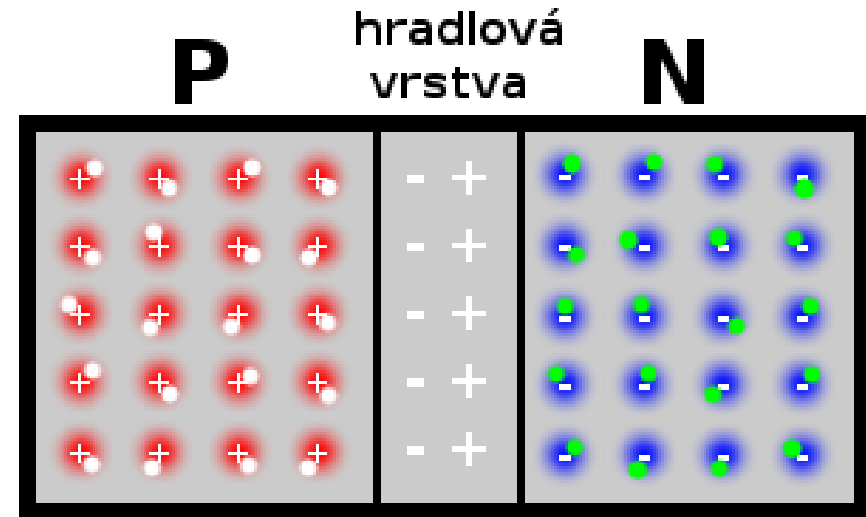
- Příměsi s **5 valenčními elektrony (např. fosfor)**
 - **Donory:** dodávají do krystalu křemíku **volné elektrony**
- Příměsi se **3 valenčními elektrony (např. bor)**
 - **Akceptory:** vytvářejí v křemíku kladně nabitě "díry", které **elektrony přitahují**
- Takto upravené materiály jsou však samy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



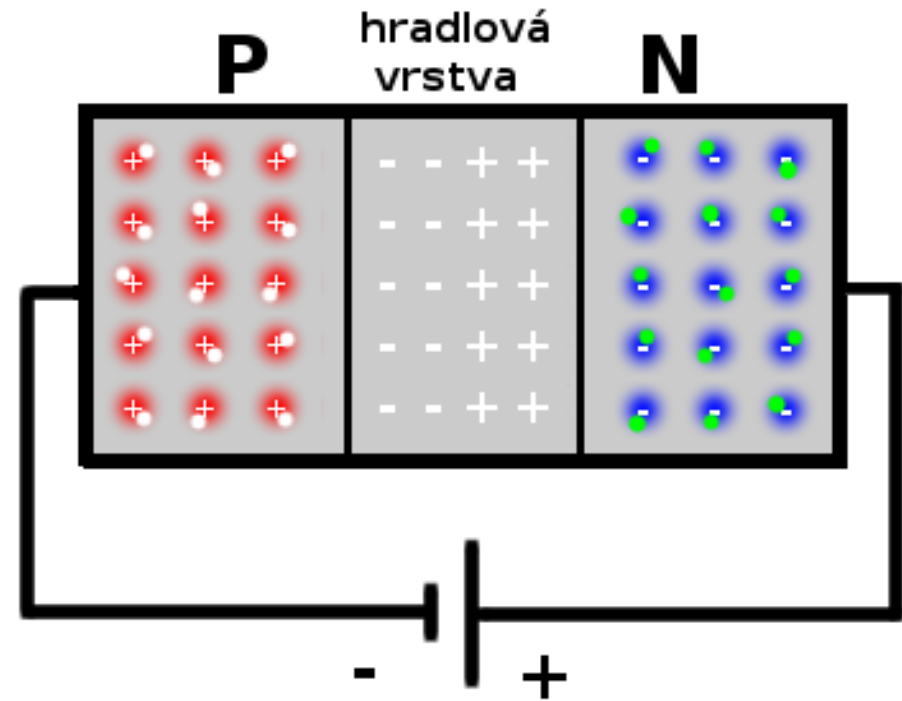
- původní krystal (typ. křemík)
- akceptor s dírou
- donor s volným elektronem
- ionty v původním krystalu vzniklé působením el. pole PN přechodu

- 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)



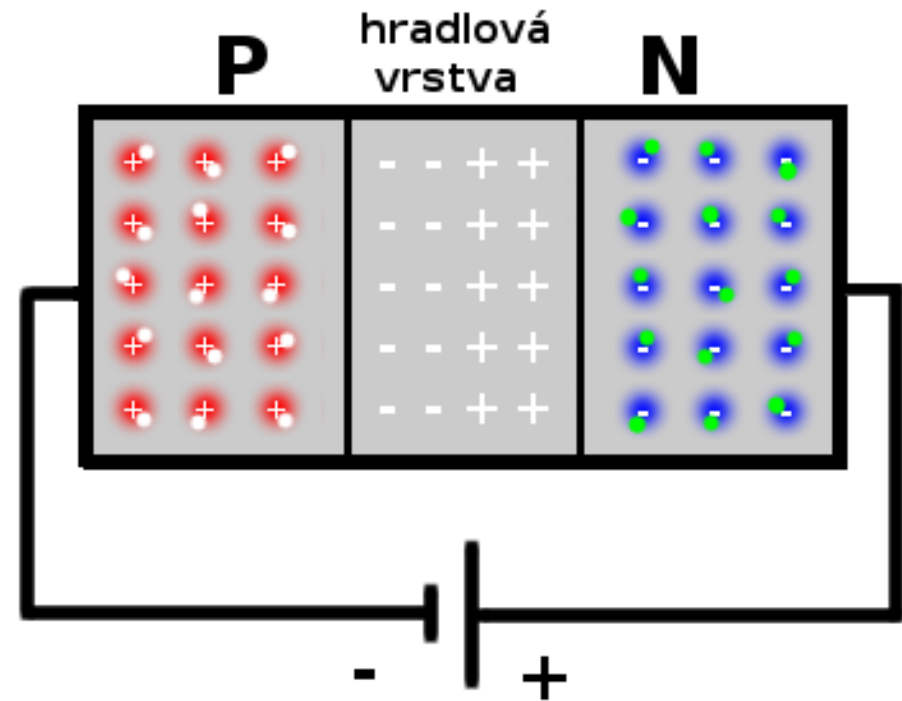
- původní krystal (typ. křemík)
- + akceptor s dírou
- donor s volným elektronem
- + ionty v původním krystalu vzniklé působením el. pole PN přechodu

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



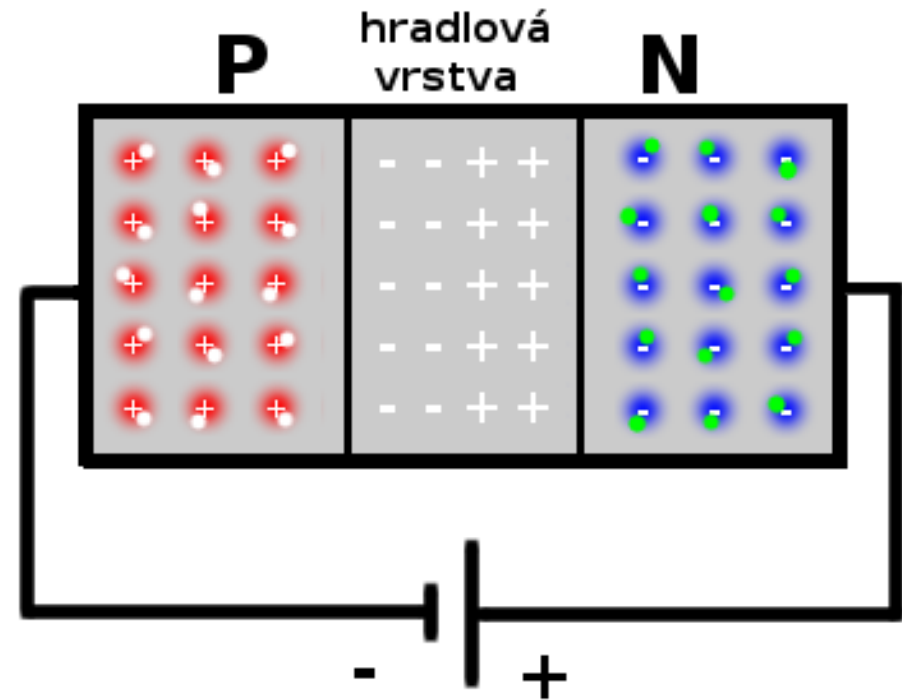
- + hradlová vrstva rozšířena při zapojení v závěrném směru => značný odpor bránící průtoku proudu

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



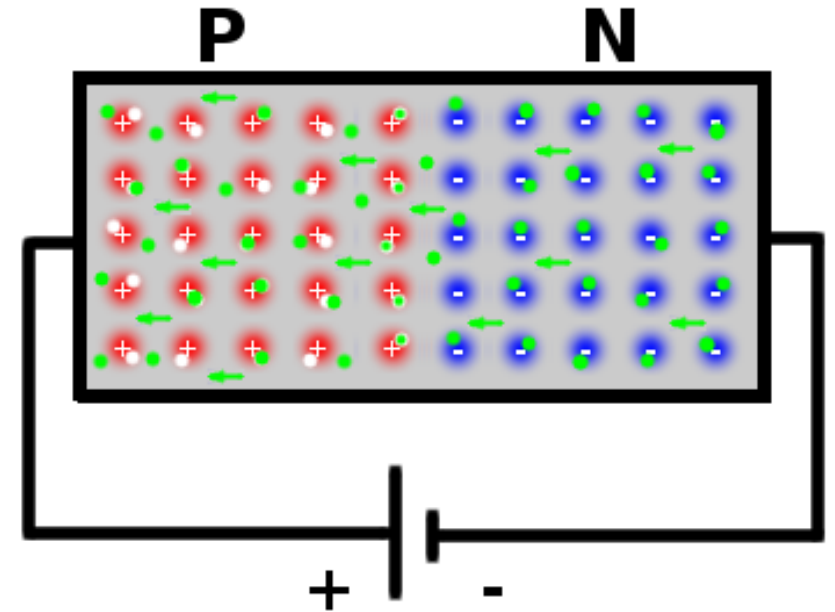
- + hradlová vrstva rozšířena při zapojení v závěrném směru => značný odpor bránící průtoku proudu


- 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**



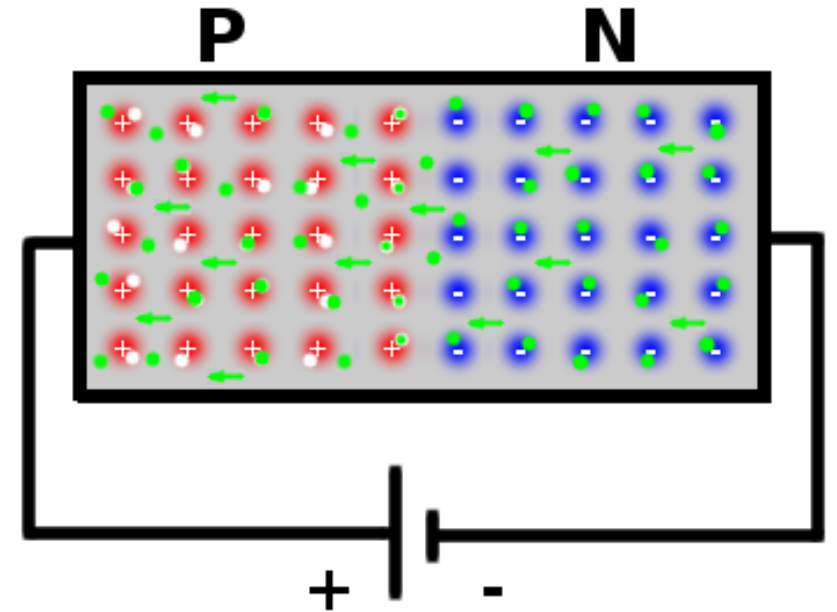
- + hradlová vrstva rozšířena při zapojení v závěrném směru => značný odpor bránící průtoku proudu


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



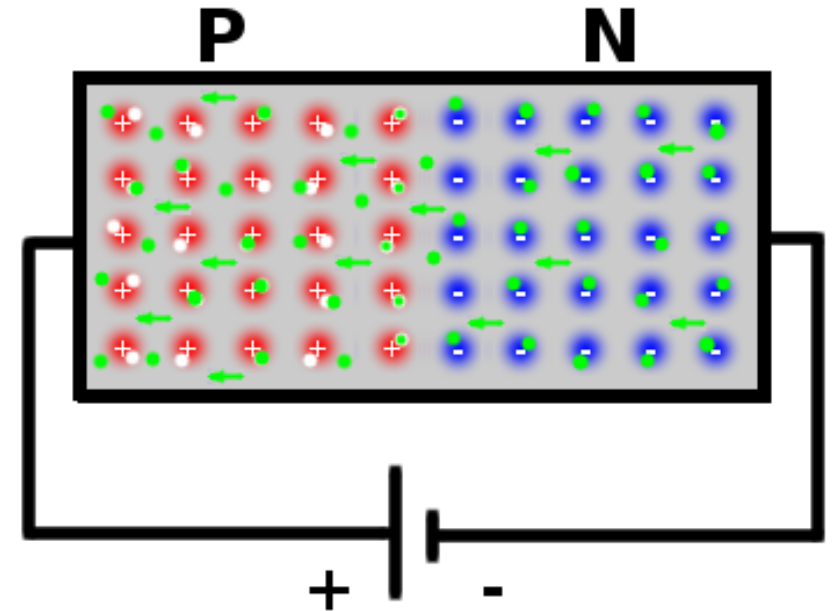
 polarizace PN přechodu tzv. do propustného směru, značná redukce hradlové vrstvy, pokles odporu, prochází elektrický proud


- 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

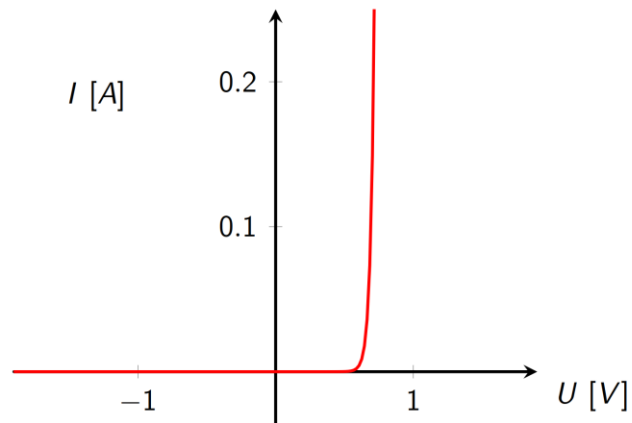
$$I = I_0 \left(e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right)$$

kde:

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

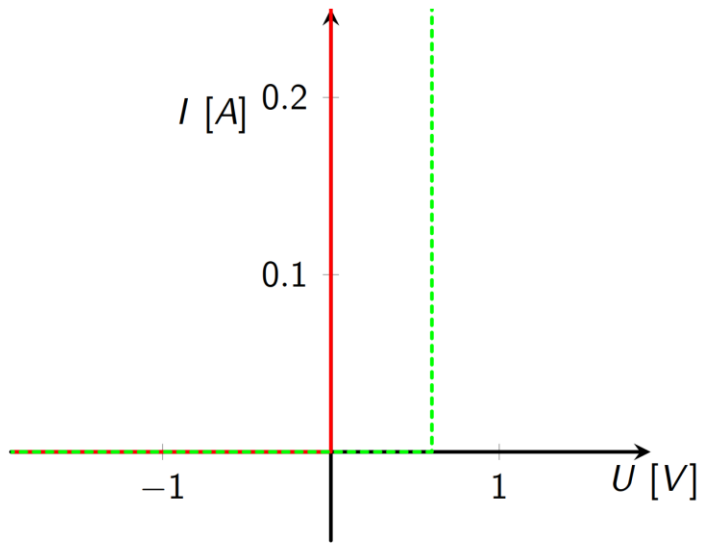
k je Boltzmanova konstanta ($1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$),

T je teplota přechodu PN (300 K)

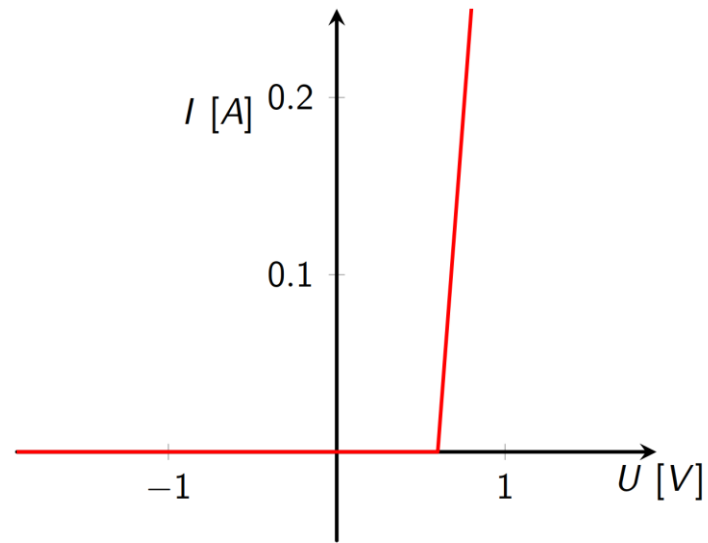


- Lze aproximovat

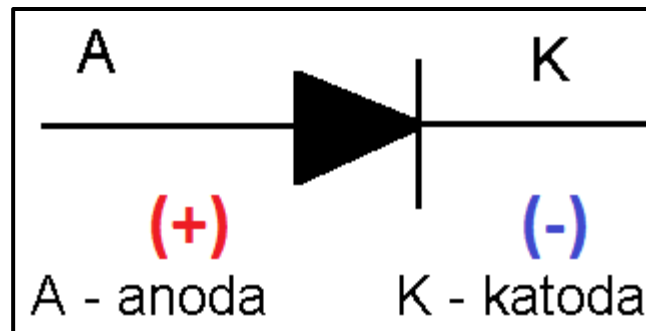
model1: **spínač**; model2: **0.7V+spínač**



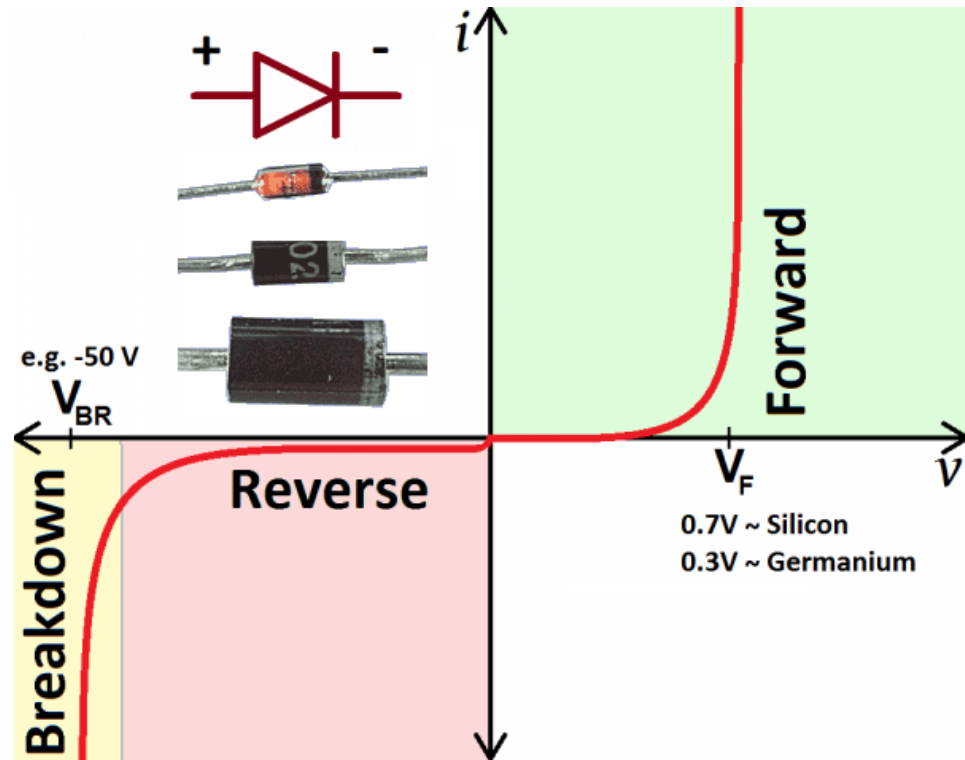
model3: **0.6V+ R_d +spínač**



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

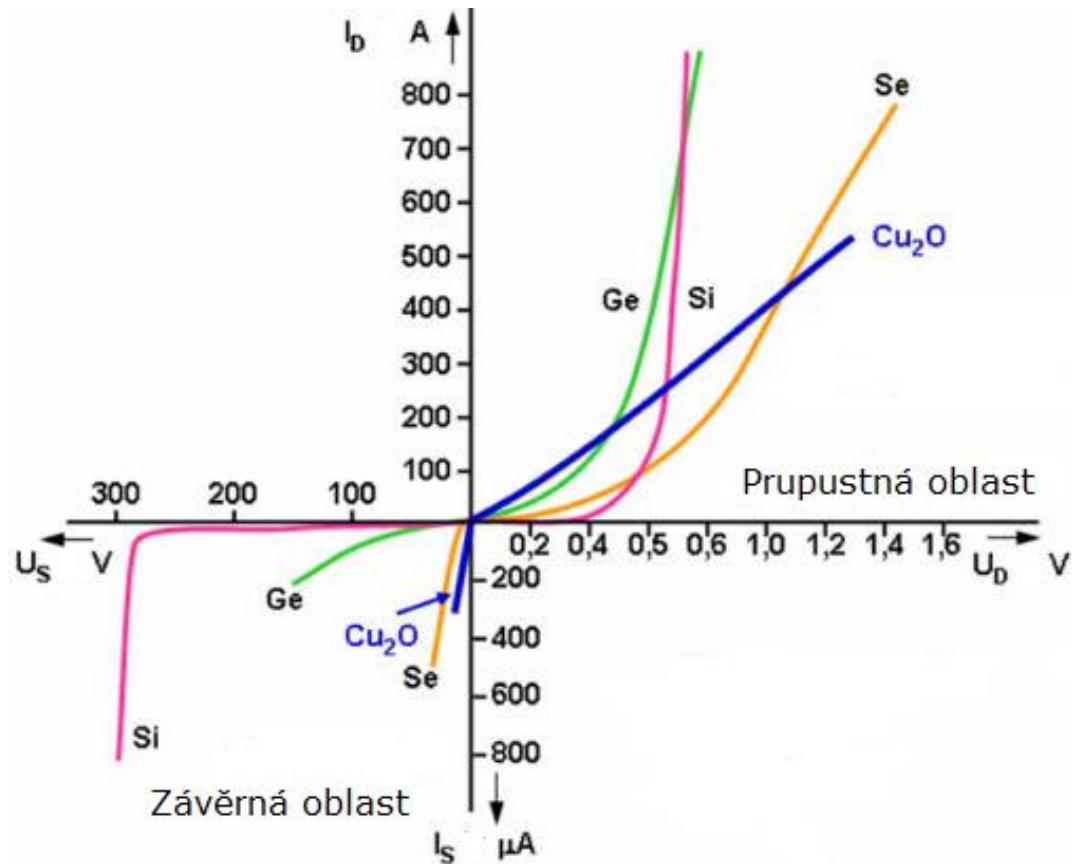


- Skutečná charakteristika ale vypadá takto:

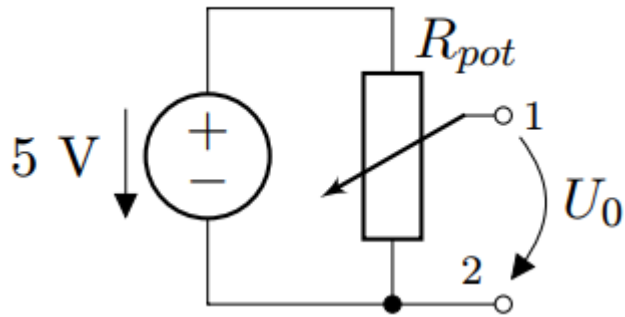


- Diodou prochází proud i v tzv. **závěrném směru**. Pokud překročí maximální povolenou hodnotu,
 - dojde k (destruktivnímu) **průrazu** a u většiny typů diod i k jejich **zničení** (existují výjimky – **Zenerova dioda**)

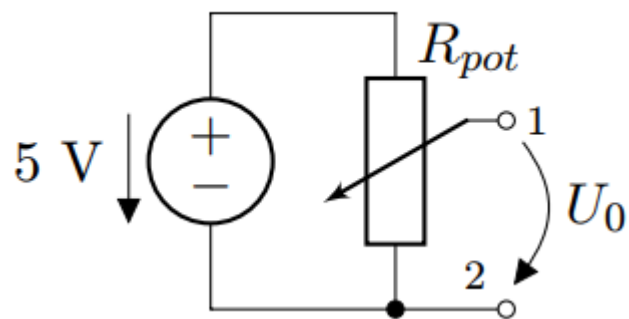
- **Si** – otevírá se při $U_D=0,4V$, otevřená je při $U_D=0,5V$
– průraz cca při cca 300V



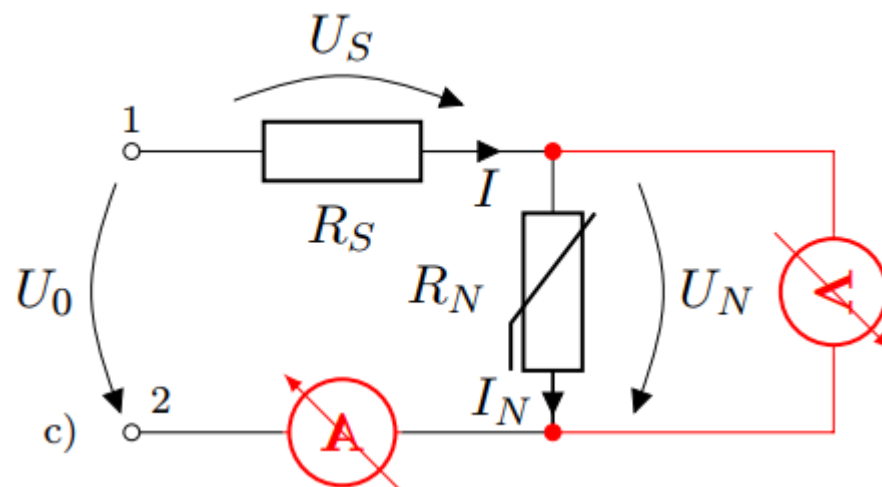
- Zapojte v nepájivém poli



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

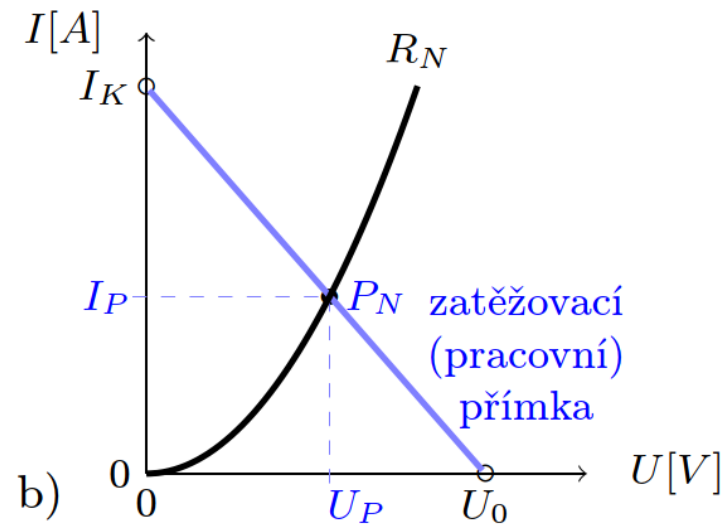


Regulace vstupního napětí

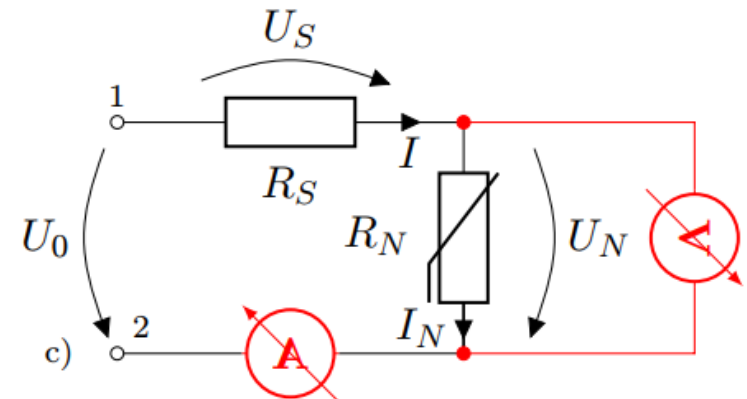


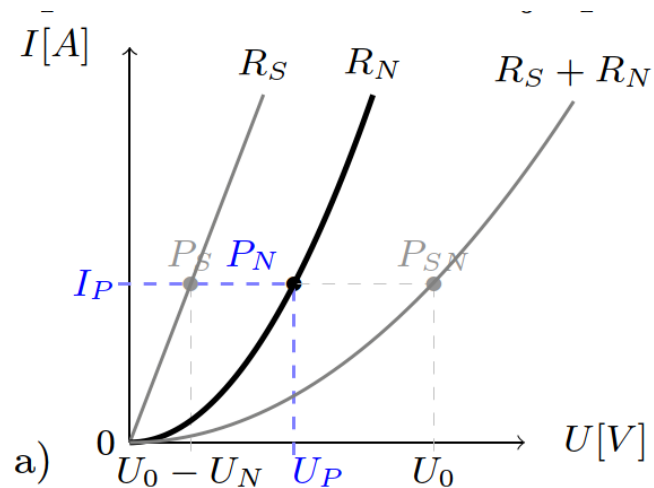
Kompletní zapojení pro změření VA charakteristiky

U_0	0	0.1	0.2	0.4	0.6	1	2	5	[V]
U_N									
I_N									[μ A]



- Napětí $U_0 = 2[V]$
 - Napětí zdroje „naprázdno“
- 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!