15) Elektrický proud v kovech a polovodičích

vedení elektrického proudu v kovech

* Valenční elektrony kovů jsou prakticky volné (k atomovým jádrům jsou vázány pouze slabými silami) a pohybují se chaoticky
* **Vodivostní** elektrony = elektronový plyn (podobné chování plynu)
* Počet vodivostních elektronů odpovídá přibližně počtu atomů ve vodiči
* Po připojení ke stejnosměrnému zdroji vzniká v celém objemu elektrické pole → **uspořádaný unášivý pohyb vodivostních elektronů**
* Nepravidelnosti krystalové mřížky se projevují jako odpor vodiče
* **Supravodivost** – odpor (olova) při ochlazení pod kritickou teplotu klesá prakticky na nulovou hodnotu→ vodič vede elektrický proud prakticky bez odporu

Odpor kovového vodiče

* Odpor kovového vodiče je přímo úměrný jeho délce, nepřímo úměrný průřezu a závisí na materiálu vodiče:

$R=ρ\frac{l}{S}$ $\left[R\right]=Ω$ $ρ$ – rezistivita (měrný elektrický odpor)$ \left[ρ\right]=Ω∙m$; (tab. 228)

* **Odpor kovového vodiče s rostoucí teplotou roste**, pro velké teplotní intervaly je ale závislost odporu vodiče na teplotě prakticky lineární:

$$R=R\_{1}(1+α∆t)$$

$α$ – teplotní součinitel elektrického odporu; charakteristický pro materiál vodiče; $\left[α \right]=K^{-1}$

* Podobný vztah platí i pro měrný elektrický odpor (rezistivitu):

$$ρ=ρ\_{1}(1+α∆t)$$

vedení proudu v polovodičích

* Pevné látky (např.: Si, Ge, Se, Te, C, sulfid olovnatý, sulfid kademnatý)
* Jejich měrný elektrický odpor (rezistivita) je $10^{-4}Ω∙m$ až $10^{8}Ω∙m$
* Částečně se chovají jako vodiče a částečně jako izolanty (nízké teploty)
* Elektrické **vlastnosti závisejí na vnějších podmínkách** (teplota, osvětlení, tlak, hluk) více než u vodičů
* **S rostoucí teplotou se odpor (R) zmenšuje** (opak kovů – dochází ke generaci)
* Nejjednodušší el. polovodičové součástky:
	+ **Termistor**
		- Využití v obvodech k regulaci a měření teploty, pro stabilizaci elektrických obvodů
		- Odpor termistoru se s rostoucí teplotou rychle zmenšuje (proud v obvodu roste)
	+ **Fotorezistor**
		- Využití v obvodech k regulaci a měření teploty, pro stabilizaci elektrických obvodů
		- Odpor termistoru se s rostoucí teplotou rychle zmenšuje (proud v obvodu roste)
		- Využití: automatické otevíraní/zavírání dveří, ve fotoaparátu, automatický jas mobilu, automatické osvětlení na ulicích

Vlastní (čisté) polovodiče

* Bez příměsí (čistá krystalická látka např. křemík)
* Při nízkých teplotách blízkých jsou všechny valenční elektrony zapojeny do vazeb – polovodič se chová jako izolant
* Při vyšších teplotách vyvolají kmity atomů porušení vazeb
* Elektron se uvolní z vazby a stane se z něj volný elektron
* Na prázdném místě vzniká díra (kladná částice)
* Volné elektrony i díry se v polovodiči chaoticky pohybují
* **Vlastní vodivost polovodiče** = el. vodivost zprostředkovaná elektrony, které se uvolní z atomu
* **Generace = vznik párů elektron – díra**
* **Rekombinace = zánik párů elektron – díra**
* Generace i rekombinace probíhají současně
* Výsledný elektrický proud v polovodiči je součtem proudu elektronového a děrového: $I=I\_{e}+I\_{d}$
* Při stálé teplotě se udržuje dynamická rovnováha mezi generací a rekombinací (hustota děr = hustota volných elektronů)
* S rostoucí teplotou roste i tepelný pohyb atomů → větší počet generací párů elektron-díra → roste vodivost polovodiče
* Vnitřní fotoelektrický jev – generování párů elektron – díra účinkem světelného záření

Nevlastní (příměsové) polovodiče

* **Vodivost polovodiče lze ovlivnit příměsemi**
* Příměsová vodivost – podmíněna zvýšenou hustotou elektronů nebo děr

Si – 14 elektronů (4 jsou valenční)

Polovodiče typu N (negativní)

* Příměsí k čtyřvaznému např. křemíku je pětivazný prvek (P, As, Sb) – páté elektrony, které se neuplatní v kovalentní vazbě, se při vyšších teplotách volně pohybují krystalem
* **Příměsi: donory** (*„donor – dárce“*) – **přebytek valenč. elektronů oproti polovodiči**
* **Elektronová vodivost**
	+ Mnohem více volných elektronů než děr
	+ Elektronová vodivost je způsobena elektrony s **negativním** nábojem
	+ Elektrony – majoritní (většinové) nosiče náboje
	+ Díry – minoritní (menšinové) nosiče náboje

Polovodiče typu P (pozitivní)

* Do krystalu křemíku přidáme třívazné prvky (In, Al, B) – po chybějícím elektronu vznikne díra
* **Příměsi: akceptory** (*„akceptor – příjemce“*) – **nedostatek valenč. elektronů oproti polovodiči**
* **Děrová vodivost**
	+ Převažují díry
	+ Elektronová vodivost děrová je způsobena dírami s **pozitivním** nábojem
	+ Díry – majoritní (většinové) nosiče náboje
	+ Elektrony – minoritní (menšinové) nosiče náboje

**Polovodiče typu P a N mají nulový náboj!**

Polovodičová dioda

* **1 PN přechod**
* Anoda – oblast typu P (kladná)
* Katoda – oblast typu N (záporná)
* V místě rozhraní obou typů vzniká **hradlová vrstva** s el. polem, jehož intenzita brání pronikání děr a elektronů do oblasti přechodu
* Dojde k rekombinaci (elektrony naskáčou do děr)
* Příměsi (donory a akceptory) jsou nepohyblivé (součást mřížky)
* V oblasti přechodu nejsou žádné nosiče náboje → hradlová vrstva se chová jako izolant
* Vodivost závisí na velikosti i orientaci připojeného napětí (**diodový jev**):
	+ **Propustný směr**
		- Zapojená ve směru **P → N**
		- Obvodem **prochází elektrický proud**
		- Elektrické pole přechodu PN je zeslabené elektrickým polem zdroje napětí
		- **Hradlová vrstva se zužuje**, při překročení prahového napětí $U\_{F0}$ zanikne (zmenšení odporu přechodu PN)
* **Závěrný směr**
* Zapojená ve směru **N → P**
* Obvodem prakticky **neprochází elektrický proud** – prochází jen velmi malý proud
* Intenzita elektrického pole PN se zvětší, **hradlová vrstva se rozšíří**
* Elektrický odpor přechodu PN se zvětší

Voltampérová charakteristika polovodičové diody

* Graf závislosti proudu procházejícím diodou na napětí zdroje

$U\_{BR}$ průrazné napětí (závěrný směr), po jeho překročení dochází k velkému nárůstu proudu

$U\_{F0}$ prahové napětí (propustný směr), po jeho překročení, začíná proud růst

* Usměrňovací dioda
	+ Po překročení průrazného napětí – zničení diody
	+ Používají se jako usměrňovače střídavého proudu a napětí

*střídavý proud = změna směru toku napětí*

* Zenerova dioda
	+ Pracuje i po překročení průrazného napětí $U\_{Z}$
	+ Slouží k udržování konstantního napětí (stabilizaci)
* Luminiscenční diody (LED – light emitting diode)
	+ Dioda vydávající světlo (je-li zapojena v propustném směru)
	+ Odebírá malý proud → vhodná jako indikace zapnutí přístroje
	+ Dává ale málo světla → nevhodná k osvětlení
* Fotodiody
	+ Na PN přechod jde světlo, kde se generují páry elektron-díra
	+ Využití: zdroj el. E v solárních článcích

Tranzistor

* **Zesiluje el. proud**
* Tři vývody:
	+ Báze B – uprostřed, velmi tenká vrstva
	+ Kolektor C – větší
	+ Emitor E – menší
* 2 PN přechody
	+ Báze – emitor
	+ Báze – kolektor
* Druhy tranzistorů: NPN a PNP

$$I\_{E}=I\_{B}+I\_{C}$$

$$Ic\gg I\_{B}$$

* Tranzistorový jev: **Malé napětí vzbuzuje v obvodu báze proud, který je příčinou mnohokrát většího proudu v obvodu kolektorovém**.
* Proudový zesilovací činitel $β$ (charakterizuje zesilovací funkci tranzistoru)

$β=\frac{∆I\_{C}}{∆I\_{B}}$ při $U\_{CE}=konst.$

$∆I\_{C}$ změna kolektorového proudu

$∆I\_{B}$ změna proudu báze

$U\_{CE}$ při konstantním napětí mezi kolektorem a emitorem

* V procesoru několik miliard tranzistorů
* Integrovaný obvod – celý funkční elektronický systém obsahující velké množství tranzistorů, diod, rezistorů (popř. dalších součástek) v křemíkové destičce malého rozměru (např. mikroprocesor)