

ELEKTRONICKÉ SOUČÁSTKY

TEMATICKÉ OKRUHY

1. Základní pojmy fyziky polovodičů.

Pásová struktura – její souvislost s elektronovým obalem atomu, vliv na elektrickou vodivost materiálů. Polovodiče vlastní a nevlastní. Technologie přípravy vlastních a nevlastních polovodičů. Elektron a díra - jejich koncentrace a pohyblivost v závislosti na typu materiálu. Elektrická vodivost polovodičů. Drift a difúze nosičů elektrického náboje. Fotovodivost. Generace a rekombinace nosičů přímá a nepřímá rekombinace, podmínka tepelné rovnováhy, doba života nosičů.

2. Polovodičové přechody

Typy polovodičových přechodů a jejich technologie. Přechod PN. Rovnovážný stav přechodu PN. Mechanismy uplatňující se v polovodičovém přechodu. Oblast prostorového náboje /depletiční - vyprázdňená vrstva. Šířka oblasti prostorového náboje. Bariérová kapacita přechodu. Difuzní kapacita přechodu. Pásové diagramy, přechod PN v rovnovážném stavu, v propustném a závěrném směru. Voltampérová charakteristika přechodu PN. Průrazy přechodu PN – lavinový a tunelový, povrchový a tepelný. Přechod kov-polovodič. Problematika vytváření kontaktů na polovodičích.

3. Polovodičová dioda a její využití

Voltampérová charakteristika diody. Dioda v propustném a závěrném směru. Dioda jako usměrňovač, zdroj referenčního napětí, stabilizační dioda, spínač a řízený odpor, diferenciální odpor diody.

Rozdělení diod podle pracovního kmitočtu, max. proudu, maximálního závěrného napětí, a technologie výroby. Kapacitní dioda. Typická zapojení obvodů s diodami. Přehled parametrů vybraných typů diod.

Tunelová dioda. Fotodioda, hlavní parametry fotodiod, hradlový a odporový režim fotodiody, rychlost odezvy, lavinové fotodiody. Struktura PIN.

4. Bipolární tranzistor

Struktura tranzistoru, princip činnosti. Požadavky na strukturu bipolárního tranzistoru. Vlastnosti přechodu v propustném a závěrném stavu – odvození voltampérových charakteristik tranzistoru. Normální a inverzní aktivní režim tranzistoru. Saturační a závěrný režim tranzistoru. Tranzistor jako proudový zdroj. Průrazy tranzistorové struktury – vliv zapojení obvodu báze. Charakteristické závislosti parametrů bipolárních tranzistorů na pracovních podmínkách. Mezní kmitočet tranzistoru. Giacolettovo náhradní schéma. Nelineární modely tranzistoru Ebersův-Mollův a Gummel –Poonův model bipolárního tranzistoru. Lineární a linearizované modely, y-parametry, h-parametry.

5. Bipolární tranzistor - aplikace

Bipolární tranzistor jako proudový zdroj řízený proudem báze. Proudový zdroj s emitorovým odporem, „proudové zrcadlo“. Princip tranzistorového zesilovače, zapojení SE, SB, SC - proudové, napěťové a výkonové zesílení, vstupní a výstupní odpor

(impedance). Nastavení pracovního bodu tranzistorového zesilovače a jeho stabilizace. Tranzistor jako spínač. Výpočet parametrů spínače, spínání do saturace. Odstranění saturačního zpoždění, požadavky na spínací tranzistory.

6. Unipolární tranzistory

Typy unipolárních tranzistorů. Struktura a princip činnosti tranzistoru J-FET.– aktivní, saturační a triodový režim tranzistoru J-FET. Struktura a princip činnosti tranzistoru IGFET. Tranzistor s trvalým a s indukovaným kanálem. Pracovní režimy tranzistoru IGFET. Struktury LMOS, LDMOS, VDMOS a V-MOS.

Charakteristické závislosti parametrů unipolárních tranzistorů na pracovních podmínkách. Linearizovaný model unipolárního tranzistoru.

Struktury CCD. Princip funkce struktury v posuvných registrech, zpožďovacích linkách a optických snímačích.. Polovodičové paměti využívající jevů na strukturách FET -

7. Unipolární tranzistory - aplikace

Tranzistory FET jako proudový zdroj řízený napětím. Princip zesilovače s tranzistorem FET. Zesilovače s tranzistorem FET v aktivním a saturačním režimu. Základní zapojení zesilovacích stupňů, nastavení pracovního bodu. Vlastnosti zesilovačů s tranzistory FET. Oblasti použití zesilovačů s tranzistory FET.

Tranzistor FET jako řízený odpor, nastavení pracovního bodu.

Tranzistory FET jako spínač v číslicových obvodech. Tranzistory FET jako spínač ve spínaných zdrojích – výhody a nevýhody. Tranzistor IGBT, jeho struktura parametry a použití. Rozdělení tranzistorů IGBT podle pracovního kmitočtu.

8. Vícevrstvé spínací součástky

Tyristor, základní struktura, funkce. Náhradní schéma. Tyristor v závěrném, blokovacím a propustném stavu. Možnosti sepnutí tyristoru. Opatření pro potlačení nežádoucího sepnutí. Druhy tyristorů, jejich použití. Triak, náhradní schéma pětivrstvé spínací struktury, princip činnosti. Struktura reálného triaku, možnosti sepnutí – řízení do blízké a vzdálené báze. Diak, struktura diaku, použití v ochranných a spouštěcích obvodech.

Regulační obvody s tyristorem a triakem. Možnosti řízení. Ochranné a spouštěcí obvody.

9. Optoelektronické součástky

Základní fotometrické veličiny. Interakce záření s pevnými látkami /plyny a kapalinami/. Absorpce záření .Závislost účinnosti optoelektronických součástek na vlnové délce. Optoelektronické zdroje. Luminiscenční dioda LED. Princip laseru a jeho uspořádání. Typy laserů. Laserová dioda, - technologie, vlastnosti a použití.

Optoelektronické přijímače. Fotodioda, fotonka, fotonásobič. Fotoodpor, fototranzistor, optron. Přenosové prostředí - optické vlastnosti reálného prostředí, světlovody.

10. Pasivní elektronické součástky

Rezistory - konstrukční typy, jmenovitá hodnota, dovolené zatížení, vlastní šum, práce na vysokých kmitočtech.

Kondenzátory - hlavní typy podle dielektrika a konstrukčního provedení, závislost parametrů kondenzátorů na kmitočtu.

Induktory a transformátory – rozdělení podle materiálu jádra a typu vinutí. Technologie výroby induktorů a transformátorů.

OTÁZKY A PŘÍKLADY

1. Dva vzorky stejného polovodiče (Si), jeden typu P a jeden typu N jsou homogenně dotovány příměsemi, tak že platí $N_D = N_A$. Který vzorek má větší měrný odpor? Zdůvodněte!

Řešení

Vzhledem k mechanismu pohybu děr je pohyblivost děr vždy menší, než pohyblivost elektronů. Větší měrný odpor tedy bude mít vzorek s děrovou vodivostí – polovodič typu P.

2. Sériová kombinace diody a rezistoru $R = 1k$ je připojena na napětí $U_N = 3V$. Dioda je v propustném směru. Známe $I_0 = 10^{-9}A$. ($25^\circ C$). Za předpokladu, že nedojde ke změně teploty vypočtete:

- proud protékající diodou - I_D
 - napětí na diodě - U_D
 - dynamický odpor diody – r_D
 - napětí pro náhradní linearizovaný model.
- O jakou diodu se pravděpodobně jedná?

Řešení

a) b) Při daném proudu diodou je napětí na diodě určeno velikostí jejího saturačního proudu, který se může měnit v rozsahu několika řádů. Protože závislost $U_D = f(I_D)$ je logaritmická stačí v prvním přiblížení pouze řádový odhad proudu protékajícího diodou $I_D = (U_N - U_D)/R$. Úbytek napětí na diodě může být dle typu diody v rozmezí asi 0,1 – 1,5 V, jeho velikost však řádovou velikost proudu neovlivní. V prvním kroku tedy můžeme zvolit U_D libovolně v uvedeném rozmezí (nejlépe $U_D = 0,6 V$). V dalším kroku je možné obdržet přesnější hodnoty proudu i napětí použitím hodnoty U_D získané výpočtem.

c) dosadíme do vztahu $r_d = U_T / I_D$

d) U_0 odvodíme z velikosti U_D

Poznámka: Typ diody lze odhadnout podle saturačního proudu ($I_{0Si} \cdot 10^{-12}A$, $I_{0Ge} \cdot 10^{-9}A$).

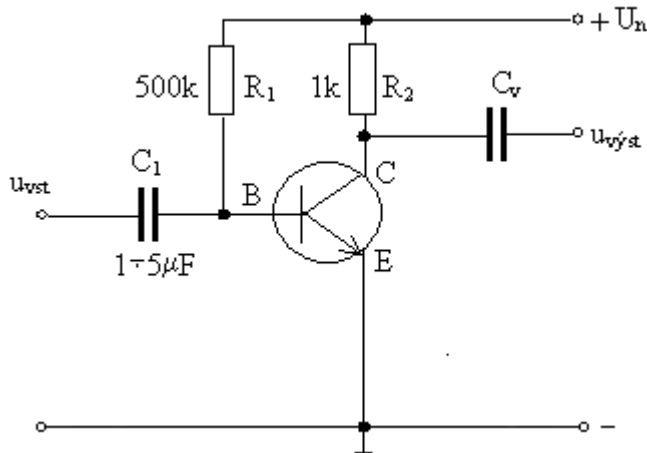
3. Dioda D_1 má koncentraci příměsí $N_D = 10^{16}cm^{-3}$, $N_A = 10^{16}cm^{-3}$, dioda D_2 má koncentraci příměsí $N_D = 10^{16}cm^{-3}$, $N_A = 10^{14}cm^{-3}$. Která z diod bude mít větší průrazné napětí a která větší hodnotu saturačního proudu? Vysvětlete proč.

Řešení

Průrazné napětí se zvětšuje se šířkou přechodu. Ta bude větší u diody s menší koncentrací příměsí.

Saturační proud je nepřímo úměrný koncentraci příměsí – bude větší u diody D_2 s menší koncentrací příměsí v oblasti P.

4. Tranzistor je zapojen podle schématu. $U_n = 10 \text{ V}$. Vypočtete a) pracovní bod tranzistoru, b) napěťové zesílení, c) vstupní a výstupní odpor. Předpokládejte, že v dané pracovní oblasti je proudový zesilovací činitel tranzistoru $h_{21E} = 220$ a velikost impedance kapacitorů velmi malá. Earlyho napětí $U_E = 55 \text{ V}$.



Řešení

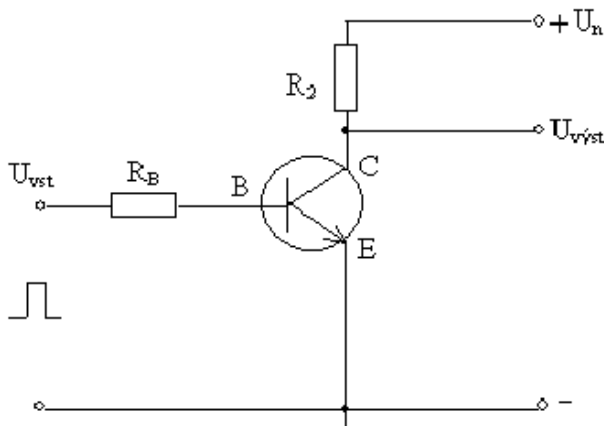
- a) $I_B = (U_n - U_{BE}) / R_1$; $I_C = h_{21E} I_B$; $U_{R2} = R_2 \cdot I_C$; $U_C = U_n - R_2 \cdot I_C$
 b) $A_u \approx - (R_2 / r_E)$; $r_E \approx U_T / I_E$; $I_E \sim I_C$
 c) $R_{VST} \sim h_{11E} = r_B = U_T / I_B$; $R_{VYST} \sim r_C // R_2$; kde $r_C = (U_C + U_E) / I_B$

5. Tranzistorový spínač v zapojení SE má řídicí signál $U_{vst} = +5 \text{ V}$ (sepnuto) a $U_{vst} = 0 \text{ V}$ (rozepnuto). Báze je připojena přes rezistor $R_B = 5600 \Omega$, odpor zátěže (R_Z) je 400Ω . Napětí na zátěži v případě sepnutí tranzistoru má být $U_Z = 15 \text{ V}$.

- a) Nakreslete schéma zapojení.
 b) Zvolte potřebné napájecí napětí U_n a určete požadované parametry spínacího tranzistoru : I_{Cmax} , U_{CEBr} , h_{21Emin} , P_{Cmin} .
 c) Stanovte proudy a napětí v obvodu ve stavu zapnuto a vypnuto. Pro výpočet předpokládejte: $U_{BE} \approx 0,6 \text{ V}$, $U_{CES} < 0,1 \text{ V}$.

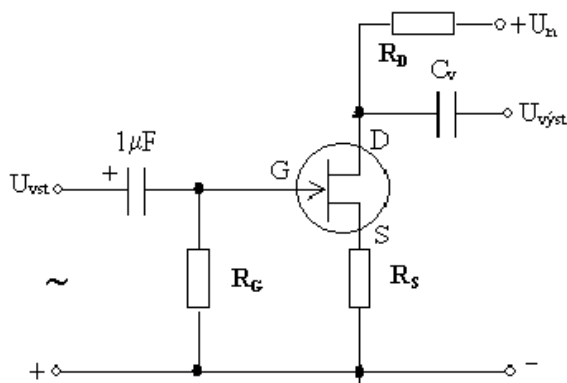
Řešení

a)



- b) $U_N = U_{RZ} + U_{CES} \approx 15 \text{ V}$; $U_{CEBr} > 15 \text{ V}$; $I_{Cmax} > I_C = (U_N - U_{CES})/R_Z$;
 $I_B = (U_B - U_{BE})/R_B$; $h_{21Emin} > I_C/I_B$; $P_{Cmin} > U_{CES} \cdot I_C$
c) ZAPNUTO : $I_C = (U_N - U_{CES})/R_Z$, $I_B = (U_B - U_{BE})/R_B$, $U_{CE} = U_{CES}$, $U_{BE} \approx 0,6 \text{ V}$.
VYPNUTO : $U_{BE} \approx 0$; $I_B \approx 0$; $I_C \approx I_{CE0}$; $U_{CE} = U_N$.

6. Zesilovač s tranzistorem n-JFET je zapojen podle schématu. pracovní bod tranzistoru je nastaven do oblasti saturace. Jak se změní napětí $|U_{GS}|$, strmost tranzistoru g_m , napětí U_{DS} a proud I_D , jestliže: a) R_S se zmenší b) R_D se zmenší c) Napájecí napětí U_n se zvětší. Odpovědi stručně zdůvodněte.



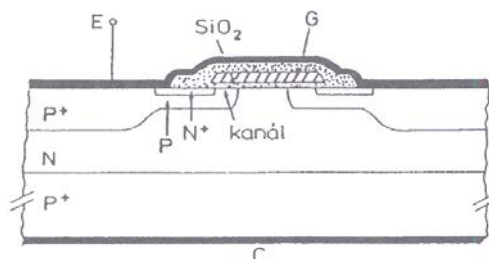
Řešení

Pokud je pracovní bod tranzistoru nastaven do oblasti saturace chová se tranzistor jako proudový zdroj. Hodnota proudu I_D a strmost g_m (derivative převodní charakteristiky v pracovním bodě) je určena velikostí napětí U_{GS} .

- a) U_{GS} se zmenší, neboť se zmenší úbytek napětí na R_S - strmost g_m se zvětší, I_D se zvětší a U_{DS} se zmenší protože se zvětší úbytek na R_D .
b) U_{GS} se nezmění, neboť se nezmění úbytek napětí na R_S - g_m se nezmění, I_D se nezmění, pouze U_{DS} se zvětší, protože na odporu R_D bude menší úbytek napětí.
c) U_{GS} se nezmění, neboť se nezmění úbytek napětí na R_S - g_m se nezmění, I_D se nezmění, pouze U_{DS} se zvětší, protože úbytek napětí na R_D se nezmění a napájecí napětí vzroste.

7. a) Načrtněte strukturu tranzistoru IGBT. b) Stručně vysvětlete její činnost. c) Ve kterých vlastnostech se odlišuje od tranzistorů IGFET a od bipolárních tranzistorů?

Řešení



a)

b) Je to obdoba struktury VDMOS tranzistoru IGFET – kontakt kolektoru kontakt je oddělen vrstvou P^+ . Tak vzniká bipolární tranzistor PNP řízený do báze(= kolektor IGFET) původním tranzistorem IGFET.

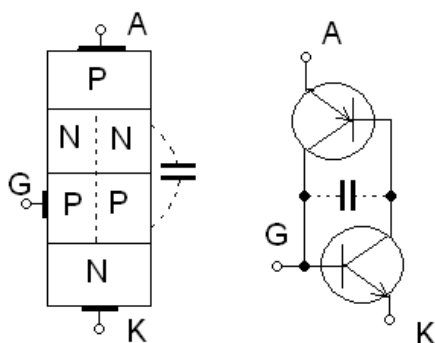
c) **od IGFET:** Napětí U_{DSON} je dané vlastnostmi BT. Proud do báze se odebrává ze spínaného napětí, k úbytku na přechodu BE tranzistoru PNP se ještě přičte úbytek na řídicím tranzistoru IGFET. Napětí U_{DSON} bude tedy poměrně velké i pro malé spínané proudy. Pro standardní tranzistory IGBT je U_{DSON} menší než 2 V a na rozdíl od IGFET roste pouze nepatrně v oblastech velkých proudů (vliv BT). Menší rychlost rozepnutí je daná vypínáním struktury BT - lze zrychlit pomocí rekombinačních příměsí ovšem za cenu zvýšení napětí U_{DSON} .

od BT: Není zapotřebí trvalý proud báze (při srovnatelných proudcích I_C je $I_B \approx 1 A$). Je naopak zapotřebí proudový impuls ($I_{GS} \gg 100 mA$) k nabití i vybití (!) kapacity C_{GS} , popř. C_{DG} . Dosahuje se větších závěrných napětí a menší tepelné závislosti parametrů.

8. Jakými způsoby je možné převést tyristor z blokujícího do sepnutého stavu? Vysvětlete na náhradním schématu tyristoru.

Řešení

Náhradní schéma tyristoru obsahuje dva tranzistory se společným přechodem báze – kolektor:



Při určité velikosti bázového proudu tranzistorů v náhradním schématu se uzavře kladná zpětná vazba a oba tranzistory sepnou. Ke zvýšení bázového proudu může dojít:

1. Zavedení proudového impulsu do hradla (báze tranzistoru NPN) – žádoucí
2. Zvýšením napětí U_{AK} k hodnotě blízké průraznému napětí. Zbytkový proud kolektorového přechodu otevře jeden nebo oba tranzistory – nežádoucí způsob.
3. Zvýšením teploty (=zvýšení zbytkového proudu). Sníží se průrazné napětí, mechanismus průrazu je stejný, jako v případě 2 – nežádoucí způsob.
4. Velká strmost vzrůstu napětí U_{AK} . Oblast prostorového náboje ve společném kolektorovém přechodu má určitou (bariérovou) kapacitu. Touto kapacitou pronikne do bázi obou tranzistorů proudový impuls – výsledek je stejný jako při vnucení spouštěcího impulsu do hradla z cizího zdroje – nežádoucí způsob.

9. V jakých režimech může pracovat fotodiody? Uveďte jejich výhody a nevýhody.

Řešení

a) Hradlový režim – režim solárního článku. Výhoda – nepotřebuje napájecí napětí. Nevýhoda velké setrvačnost, použití maximálně do několika desítek kHz.

b) Odporový režim. Diody je zapojena v závěrném směru. Pracuje jako zdroj proudu řízený osvětlením. Výhoda – malá setrvačnost, použití jako přijímač v optoelektronických zařízeních. Nevýhoda – potřebuje napájecí zdroj.

10. Čím jsou dané parazitní vlastnosti vrstevných rezistorů ? Jak je možné je potlačit?

Řešení

Parazitní indukčnost – vzniká především drážkováním odporové vrstvy při nastavování přesné hodnoty odporu. Bezindukční odpory nejsou drážkovány, mají však mnohem větší rozptyl parametrů. Snížení indukčnosti se dále dosahuje zkrácením přívodů – zde jsou výhodné součástky SMD.

Parazitní kapacita – je daná kapacitou přívodních vodičů a kapacitou jejich připojení. Lze potlačit jen částečně – především malou plochou přívodů. Při zvětšení vzdálenosti přívodů klesá parazitní kapacita ale roste parazitní indukčnost.