

Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

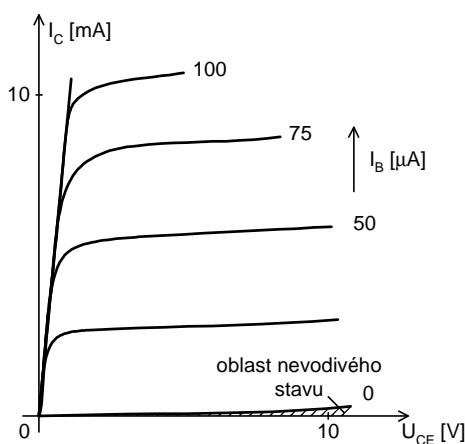
redakce nakladatelství BEN – technická literatura
redakce@ben.cz



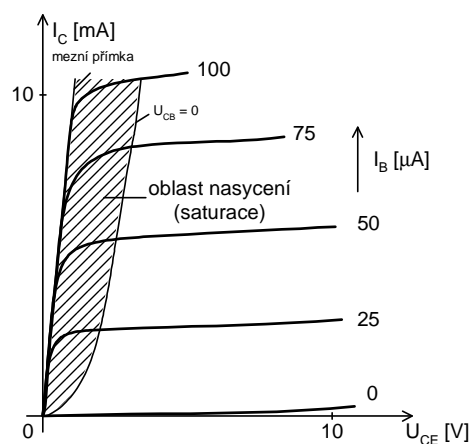
5.8. Pracovní oblast tranzistoru

Pracovní oblast tranzistoru je vymezena tvarem výstupních V-A charakteristik, rozlišujeme:

- **Oblast nevodivého stavu** je vymezena bázovými proudy $I_B \leq 0$, při úplném zavření tranzistoru platí $I_C = I_{CB0}$. Viz obr. 5.25.
- **Oblast nasycení (saturace)** je vymezena mezní přímkou (udává nejnižší napětí U_{CE} , při kterém je tranzistor ještě schopen funkce) a křivkou mezní saturace (platí $U_{CB} = 0$). Viz obr. 5.26.
- **Aktivní oblast** je ohraničena oblastí nevodivého stavu a oblastí nasycení, dále velikostí maximálního proudu kolektoru I_{Cmax} , oblastí lavinového průrazu a hyperbolou ztrát. Viz obr. 5.27.
- **Oblast lavinového průrazu** je vymezena přímkou p, která je vedena místy, kde se výstupní V-A charakteristiky stáčí nahoru a křivkou nulového proudu emitoru $I_E = 0$. Viz obr. 5.28.



Obr. 5.25 Oblast nevodivého stavu

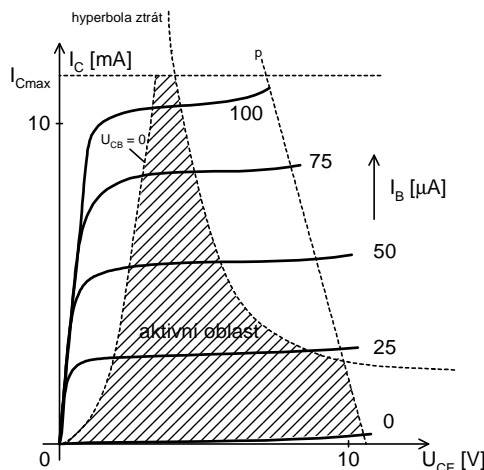


Obr. 5.26 Oblast nasycení (saturace)

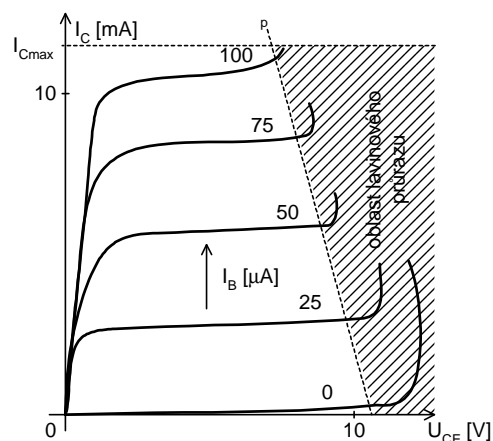
Kromě lavinového průrazu se může vyskytnout i tzv. **druhý (sekundární) průraz**. Je způsoben nehomogenitou PN přechodu, tedy tím, že rozložení proudové hustoty se v různých částech přechodu liší.

V místech zvýšené proudové hustoty dochází při velkých napětích k nadměrnému ohřevu (dojde k růstu koncentrace minoritních nosičů) a k lokálnímu protavení přechodu. Důsledkem je zkrat mezi emitorem a kolektorem.

Pro nastavení správného pracovního režimu je nutno respektovat mezní a charakteristické údaje daného tranzistoru.



Obr. 5.27 Aktivní oblast



Obr. 5.28 Oblast lavinového průrazu

Jako příklad uvedeme parametry tranzistoru BC548:

Mezní hodnoty:

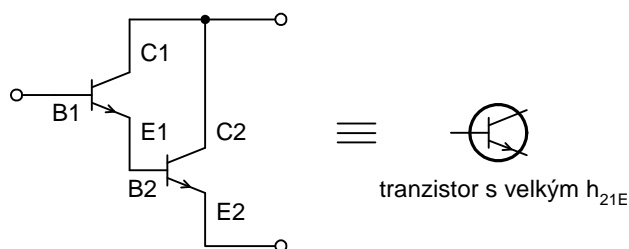
- napětí kolektor – báze $U_{CB0} = 30 \text{ V}$,
- napětí kolektor – emitor $U_{CE0} = 30 \text{ V}$,
- proud kolektoru $I_C = 100 \text{ mA}$,
- závěrné napětí emitor – báze $U_{EB} = 6 \text{ V}$,
- ztrátový výkon kolektoru $P_C = 625 \text{ mW}$ ($t_a = 25^\circ\text{C}$), pokles ztrát. výkonu s teplotou o $5 \text{ mW}/^\circ\text{C}$,

Charakteristické hodnoty:

- zbytkový proud $I_{CES} = 4 \mu\text{A}$ ($U_{CE} = 30 \text{ V}$, $t_a = 125^\circ\text{C}$)
- proudové zesílení $h_{21E} = 110$ až 800 , ($I_C = 2 \text{ mA}$, $U_{CE} = 5 \text{ V}$)
- mezní kmitočet $f_T = 150$ až 300 MHz .

5.9. Darlingtonovo zapojení

Pro získání velké hodnoty proudového zesilovacího činitele h_{21E} lze zapojit dva tranzistory „do kaskády“. Kolektory obou tranzistorů jsou spojeny. Emitor prvního tranzistoru napájí bázi druhého tranzistoru. Výsledný proudový zesilovací poměr je: $h_{21E} = h_{21E_1} \cdot h_{21E_2}$. Určitou nevýhodou daného zapojení je skutečnost, že úbytek mezi B1 a E2 se rovná dvojnásobku běžného napětí U_{BE} .



Obr. 5.29 Darlingtonovo zapojení

5.10. Technologie výroby tranzistoru

Pro výrobu tranzistorů se používají různé technologie. Každá z nich má pozitivní vliv na některou klíčovou vlastnost tranzistoru (velké provozní napětí, velké zesílení, vysoký pracovní kmitočet, vysoké pracovní proudy). Níže uvedený popis je proveden s ohledem na vhodnost jednotlivých výrobních postupů pro předpokládané použití tranzistoru.

Difúzní technologie

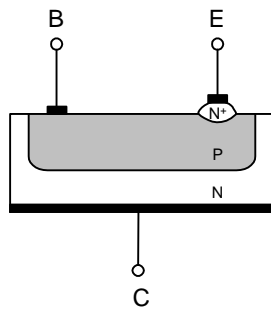
Základem je kolektorová oblast (N), ve které se difúzní technologií vytvoří opačný typ vodivosti – představuje bázi. Emitorový přechod je pak vytvořen slitinovou technologií.

Difúzně – slitinová technologie umožňuje realizovat tranzistory s úzkou bází, takže mezní kmitočty mohou dosahovat stovek MHz. Viz obr. 5.30.

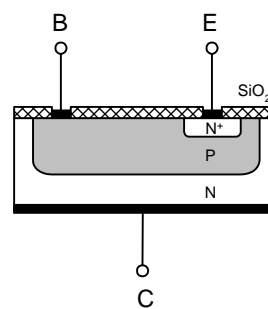
Planární technologie

Slovem „planární“ vyjadřujeme skutečnost, že přívody k jednotlivým elektrodám vybíhají na povrch systému v jedné společné rovině.

Všechny technologické operace probíhají pod ochranou vrstvou SiO_2 . Tato vrstva také pasivuje konečnou strukturu, takže tyto tranzistory jsou velmi stabilní. Vyznačují se malým zbytkovým proudem a malým šumem. Viz obr. 5.31.



Obr. 5.30 Struktura difúzně – slitinového tranzistoru



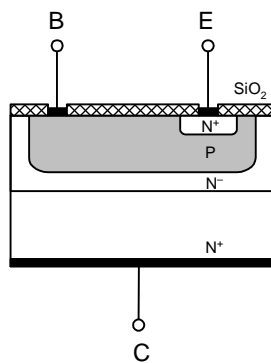
Obr. 5.31 Struktura planárního difúzního tranzistoru

Planárně – epitaxní technologie

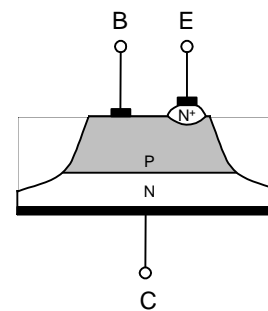
Nedostatkem difúzních technologií je poměrně velký odpor oblasti kolektoru. Vhodným řešením je použití epitaxní technologie.

Základním materiálem je nyní nevlastní polovodič s malým odporem (N^+), na kterém epitaxním růstem vytvoříme monokrystal stejného typu vodivosti s nižší koncentrací donorů (N^-). Dále se již pokračuje stejně jako u difúzní technologie.

Oblast N^- zaručuje velké průrazné napětí a oblast N^+ zase malý sériový odpor kolektoru. Proto jsou tyto typy tranzistorů v současnosti nejrozšířenější. Viz obr. 5.32.



Obr. 5.32 Struktura planárně-epitaxního tranzistoru



Obr. 5.33 Struktura typu MESA

Technologie MESA

Jedná se o zdokonalení difúzní technologie. Konečného tvaru dosáhneme odleptáním okrajů. Výhodou je zmenšení plochy kolektorového přechodu (tedy i zmenšení jeho kapacity). Rovněž dojde (vlivem nové geometrie) k navýšení závěrného napětí kolektorového přechodu. Viz obr. 5.33.

5.11. Mezní kmitočet tranzistoru

V předcházejících úvahách jsme vycházeli z předpokladu časově neproměnných obvodových veličin tj. proudů pro bipolární tranzistory. Neuvažovali jsme poměry v tranzistoru, pokud se proudy budou měnit v čase, tedy tzv. kmitočtovou závislost proudu I_C , pokud se mění kmitočet proudu I_B .

Fyzikální podstatou této kmitočtové závislosti proudu I_C je konečná doba průchodu nosičů oblastí báze. Bude-li se proud do báze konstantní velikosti měnit v čase, pak všechny elektrony injektované z emitoru do báze nestihnou bázi projít až do kolektoru, jak je znázorněno postupně v dolní části obr. 5.34 pro zvyšující se rychlost časových změn. Tento jev se projeví navenek jako zmenšení kolektorového proudu I_C . Protože proudový zesilovací činitel je definován jakožto poměr proudu I_C ku I_B , tj.:

$$h_{21E} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_C}{\text{konst.}} \approx I_C$$

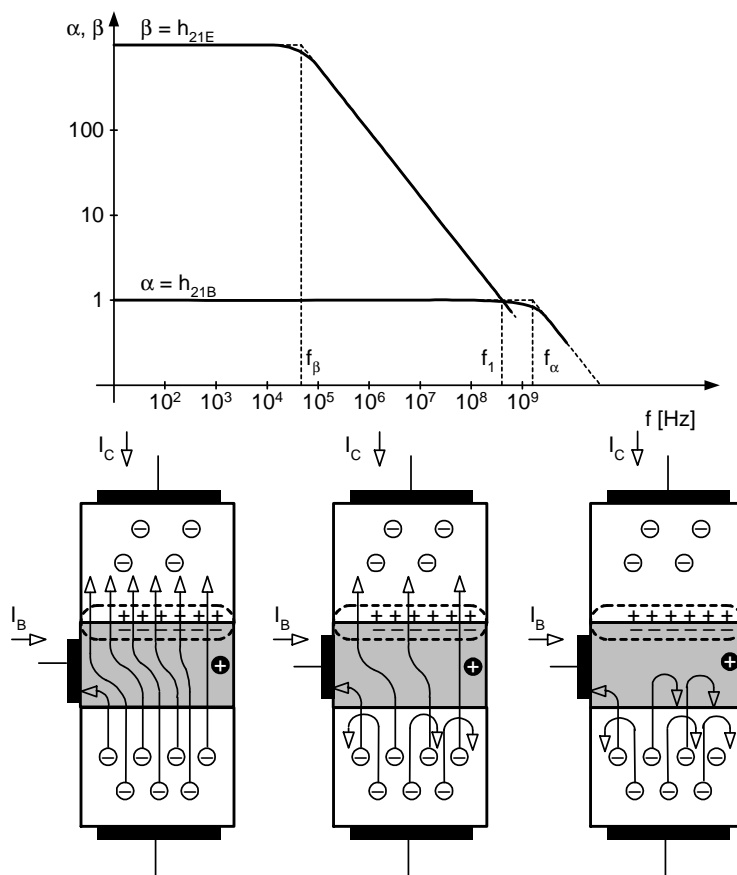
bude tedy h_{21E} úměrný proudu I_C a pak při konstantní velikosti proudu do báze I_B vyvolá popsané zmenšení proudu kolektoru I_C i zmenšení proudového zesilovacího činitele h_{21E} .

Obr. 5.34 pak ukazuje typický průběh kmitočtové závislosti těchto proudových zesilovacích činitelů $\alpha = h_{21B}$ a $\beta = h_{21E}$.

Symboly f_α a f_β určují mezní kmitočty pro zapojení tranzistoru SB nebo SE (jsou definovány poklesem o 3 dB vůči kmitočtové nezávislé hodnotě).

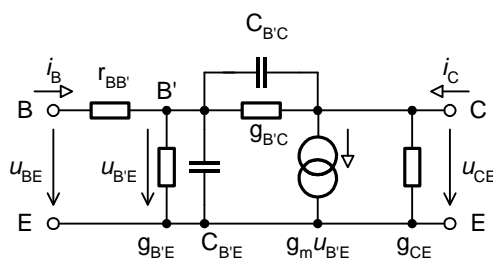
Dále se používají symboly:

- **tranzientní (přechodový) kmitočet f_T** je definován jako součin absolutní hodnoty proudového zesilovacího činitele h_{21E} a kmitočtu v oblasti poklesu charakteristiky,
- **kmitočet jednotkového zesílení f_1** je definován jako kmitočet, při kterém je absolutní hodnota h_{21E} rovna 1.



Obr. 5.34 Závislost proudových zesilovacích činitelů na kmitočtu

Pro reprezentaci tranzistoru na vysokých kmitočtech bylo zavedeno **Giacolettovo náhradní schéma**, viz obr. 5.35. Tento model je použitelný pro kmitočty $f < f_\alpha$.

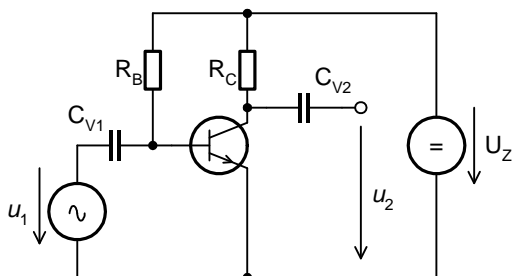


Obr. 5.35 Giacolettovo náhradní schéma tranzistoru

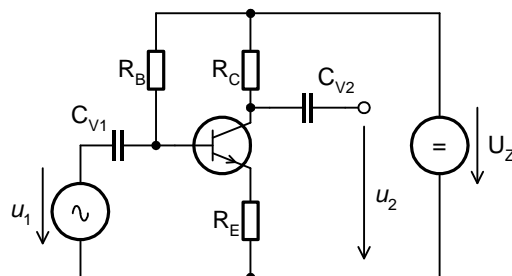
Význam jednotlivých prvků: $r_{BB'}$ je činný odpor báze, $g_{B'E}$ a $C_{B'E}$ představují vodivost a parazitní kapacitu přechodu B-E, $g_{B'C}$ a $C_{B'C}$ představují vodivost a parazitní kapacitu přechodu B-C, g_{CE} je vodivost mezi kolektorem a emitorem, g_m statická (na kmitočtu nezávislá) hodnota strmosti (transkonduktance) tranzistoru.

5.12. Základní zesilovací stupně

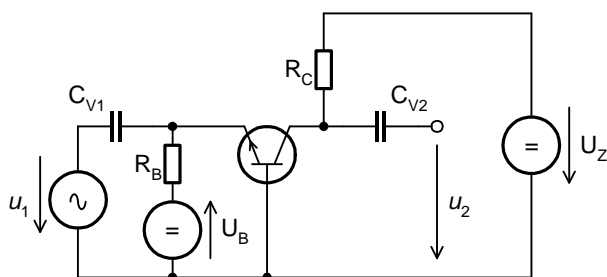
Principiální zapojení SB, SE, SC dle kapitoly 5.2 je pro praktické použití nutno doplnit pracovními rezistory (nastaví pracovní bod tranzistoru) a vazebními kondenzátory (propustí pouze změny signálu). Na obr. 5.36 až 5.39 najdeme reálná zapojení základních zesilovacích stupňů. Tab. 5.2 pak shrnuje jejich vlastnosti.



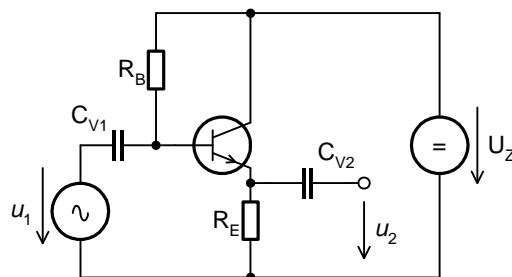
Obr. 5.36 Zesilovací stupeň SE



Obr. 5.37 Modifikovaný stupeň SE



Obr. 5.38 Zesilovací stupeň SB



Obr. 5.39 Zesilovací stupeň SC

Tab. 5.2 Vlastnosti jednotlivých zesilovacích stupňů

Parametr	SB	SE	SC
napětíové zesílení	10 až 100	10 až 1000 mod. SE R_C/R_E	<1
proudové zesílení	<1	10 až 1000	10 až 1000
vstupní odpor	<100 Ω	řádově 1000 Ω	>10 ⁴ Ω
výstupní odpor	řádově 100 k Ω	řádově 1 k Ω	řádově 100 Ω
fázový posuv napětí	0°	180°	0°
využití	pro vysoké kmitočty	nejběžnější zapojení	impedanční převodník

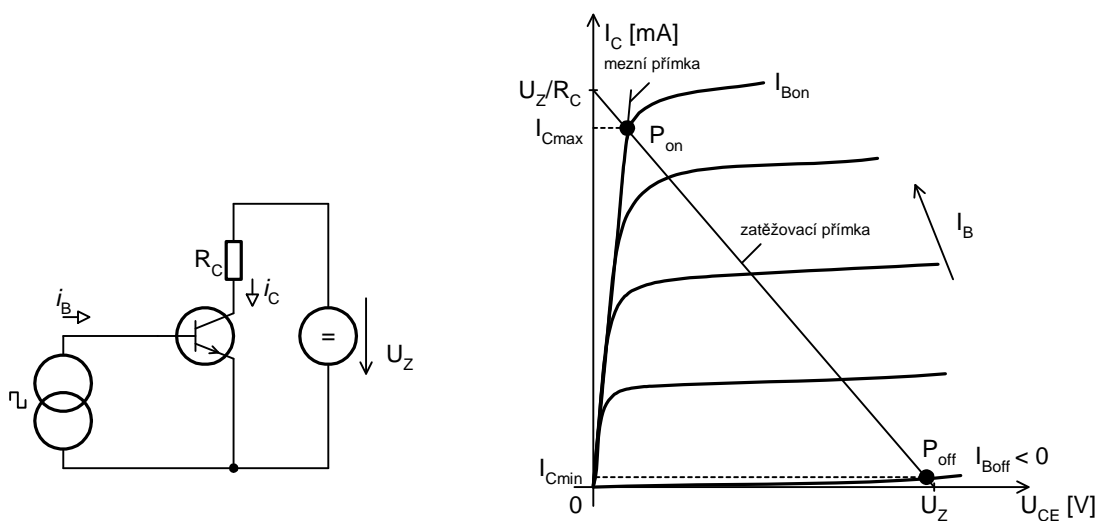
5.13. Tranzistor jako spínač (saturační režim)

Velmi časté je použití tranzistoru pro spínání zátěže. Principiální schéma a pohyb ve výstupních V-A charakteristikách jsou uvedeny formou obr. 5.40.

Pracovní bod P_{on} a proud báze $I_{B_{on}}$ odpovídá zapnutému stavu (kolektorový

proud má hodnotu I_{Cmax}), pracovní bod P_{off} a proud báze I_{Boff} odpovídá vypnutému stavu (kolektorový proud má hodnotu I_{Cmin}).

Všimněte si, že hodnota bazového proudu pro stav vypnuto je záporná. Tím lze urychlit odsávání nadbytečných minoritních nosičů z oblasti báze.



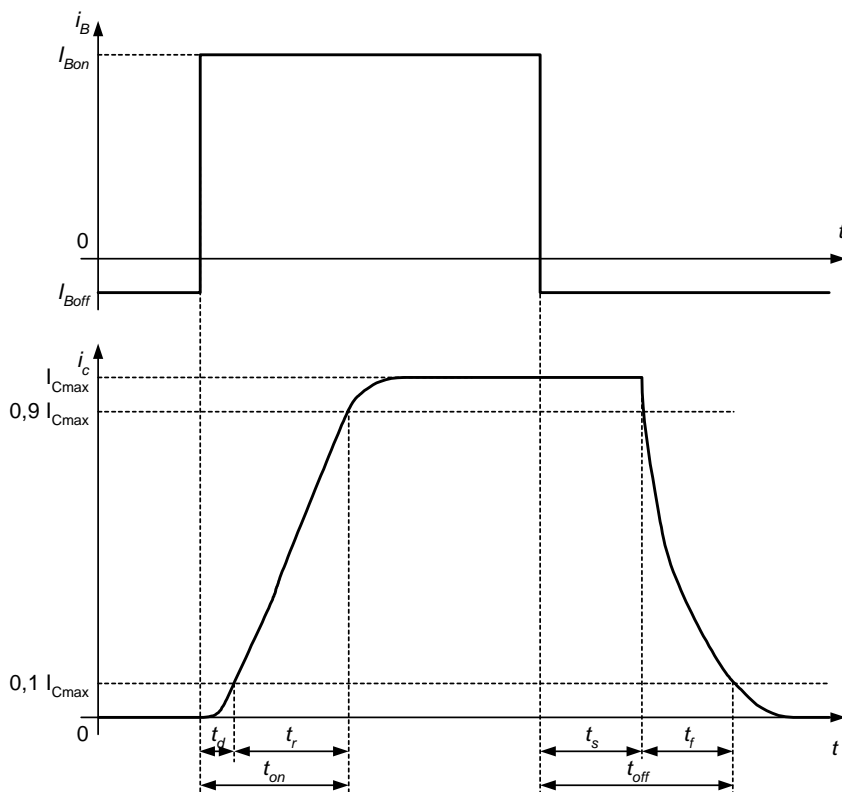
Obr. 5.40 Spínací obvod s tranzistorem

Doba zapnutí t_{on} je tvořena dobou zpoždění t_d a dobou náběhu impulsu t_r . Tedy:

$$t_{on} = t_d + t_r \quad (5-16)$$

Doba vypnutí t_{off} je tvořena dobou přesahu t_s a dobou týlu impulsu t_f . Tedy:

$$t_{off} = t_s + t_f \quad (5-17)$$



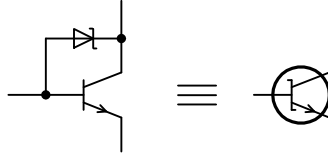
Obr. 5.41 Průběhy proudů při spínání tranzistoru

Při návrhu a konstrukci tranzistoru je možno snížit dobu t_s především zvýšením

5. BIPOLÁRNÍ TRANZISTOR

rekombinace v bázi (například difúzí rekombinačních center nebo jaderným ozářením).

Druhou možností je omezení napětí U_{BC} paralelním připojením Schottkyho diody (má nižší prahové napětí než kolektorový přechod a tedy brání silné injekci děr z báze do kolektoru). Takto lze hodnotu t_s snížit až na desetinu původního stavu! U spínacích tranzistorů je mnohdy Schottkyho dioda již integrována přímo ve struktuře. Dokonce je ustálena nová schématická značka takového tranzistoru, viz obr. 5.42.



Obr. 5.42 Tranzistor se zaintegrovanou Schottkyho diodou

K použití tranzistorů při spínání zátěže se ještě vrátíme v samostatné kapitole 7.