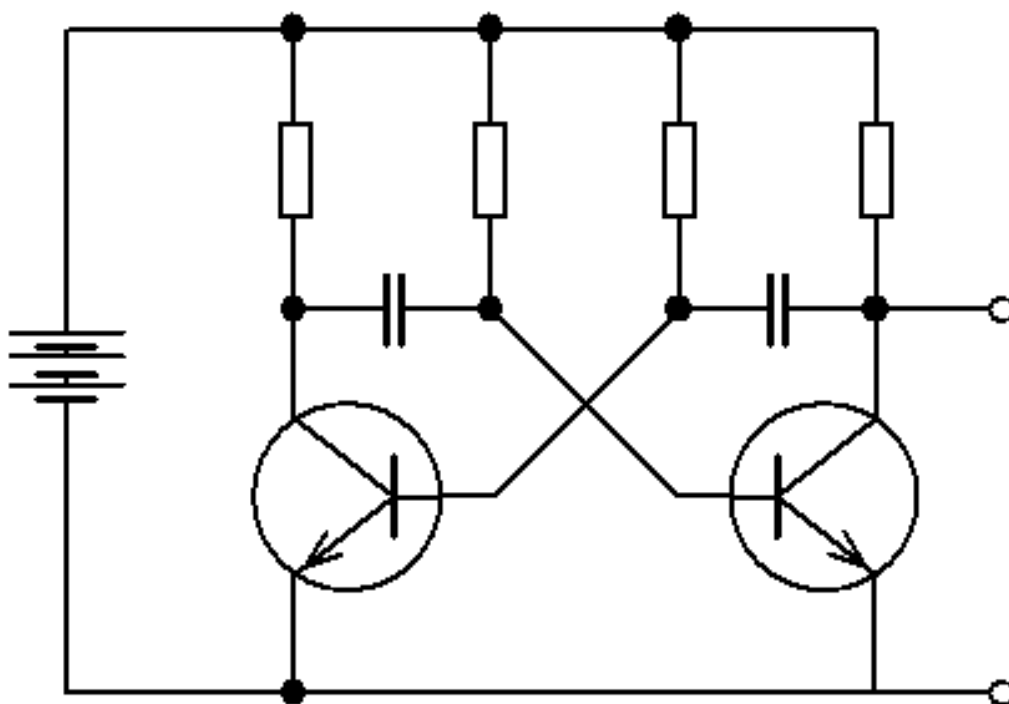


Netradiční sbírka z fyziky VII

Elektrické obvody 4

Jakub Šafařík



Obsah

Úvod 1	
I. Tranzistory	3
1. Bipolární tranzistor	5
2. Parametry tranzistoru	9
3. Měření proudového zesilovacího činitele tranzistoru	13
II. Zapojení tranzistoru do obvodu	15
4. Zapojení bipolárního tranzistor se společným emitorem	17
5. Využití děliče proudu při zapojení tranzistoru SE.....	23
6. Tranzistor jako spínač	27
7. Tranzistor jako spínač opačně.....	31
8. Schodišťový vypínač.....	33
9. Zapojení tranzistorů do kaskády	35
10. V-A charakteristiky bipolárního tranzistoru	39
11. Tranzistorový spínač s fotorezistorem 1.....	41
12. Tranzistorový spínač s fotorezistorem 2.....	43
13. Tranzistor jako zesilovač střídavého napětí	45
14. Tranzistor se střídavým zdrojem signálu	47
Přílohy	50
Katalogový list tranzistoru BC337-40-TAP	50
Doporučená literatura	76

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Struktura bipolárního tranzistoru	5
Obr. 1.2: Schematická značka bipolárního tranzistoru	6
Obr. 1.3: Rozmístění nožiček tranzistoru BC337-40-TAP	6
Obr. 1.4: Skutečná podoba tranzistoru BC337-40-TAP.....	7
Obr. 2.1: Charakteristika tranzistoru BC337-40-TAP	10
Obr. 3.1: Měření proudového zesilovacího činitele multimetrem	13
Obr. 4.1: Zapojení tranzistoru NPN SE s měřicími přístroji.....	17
Obr. 4.2: Zapojení tranzistoru NPN SE s vyznačením napětí.....	18
Obr. 4.3: Výstupní char. tranzistoru v zapojeném obvodu.....	19
Obr. 5.1: Zapojení tranzistoru SE s využitím děliče proudu	23
Obr. 5.2: Tranzistor v zapojení SE s děličem proudu a vyznačením napětí.....	24
Obr. 6.1: Tranzistor jako spínač.....	27
Obr. 6.2: Zapojení tranzistoru jako spínače s vyznačením U a I.....	28
Obr. 7.1: Tranzistor jako spínač opačně	31
Obr. 8.1: Schodišťový vypínač.....	33
Obr. 9.1: Zapojení dvou tranzistorů do kaskády	35
Obr. 10.1: Měření vstupní charakteristiky bipolárního tranzistoru.....	39
Obr. 10.2: Měření výstupní charakteristiky bipolárního tranzistoru	40
Obr. 11.1: Tranzistorový spínač s fotorezistorem 1	41
Obr. 12.1: Tranzistorový spínač s fotorezistorem 2	43
Obr. 13.1: Tranzistor jako zesilovač střídavého napětí.....	45
Obr. 13.2: Průběhy napětí při napájení střídavým zdrojem.....	45
Obr. 14.1: Tranzistor se střídavým zdrojem signálu	47

Seznam rovnic

Rce. 4.1: Výpočet I_B z h_{FE} v obvodu.....	18
Rce. 4.2: Výpočet R_B a R_C v zapojení tranzistoru SE	19
Rce. 5.1: Výpočet odporů pro tranzistor SE s děličem proudů.....	24
Rce. 6.1: Výpočet odporů pro tranzistor s diodou.....	29
Rce. 9.1: Výpočet celkového zesílení tranzistorů v kaskádě	36
Rce. 11.1: Výpočet R_C pro spínač s fotorezistorem 1.....	42
Rce. 11.2: Výpočet R_B pro spínač s fotorezistorem 1.....	42
Rce. 14.1: Výpočet R_B pro střídavý proud.....	48
Rce. 14.2: Výpočet R_C pro střídavý proud.....	48
Rce. 14.3: Výpočet R_1 pro střídavý proud.....	48
Rce. 14.4: Zesílení střídavého proudu tranzistorem	49
Rce. 14.5: Zesílení na zatěžovacím rezistoru.....	49
Rce. 14.6: Napěťové zesílení střídavého proudu tranzistorem.....	49

Předmluva

Svět kolem nás je neodmyslitelně spjat s elektřinou, elektrickými stroji a přístroji, tedy i s elektrickými součástkami, z nichž jsou námi používané funkční celky konstruovány. V moderním světě bychom bez elektrických zařízení, které nám značně usnadňují život, již nebyli schopni fungovat jako společnost, ani jako jedinci. Pochopit do detailu přesné postupy a principy fungování celých elektrických přístrojů se někdy zdá téměř nemožné.

Pokud se však nevzdáme hned na začátku a zahájíme naši objevnou cestu po tajích elektrických přístrojů, nezbyvá nám nic jiného, než rozluštit tajemství elektrických součástek – základních kamenů těchto zařízení. Pochopíme-li základní funkci součástek, můžeme pokračovat dále k větším celkům, kterými jsou elektrické obvody, následně celé funkční bloky až nakonec pochopíme celý mechanismus a funkci vybraného přístroje.

Tento úkol není vůbec jednoduchý, zvláště v době, kdy nás výrobci zařízení nutí stát se pouhými uživateli těchto přístrojů a to velmi často bez možnosti porozumět principu jejich funkce. Věřím, že odpovědi na některé otázky, které si zvědavý uživatel moderních přístrojů ohledně jejich funkce pokládá, nalezne přímo v tomto textu.

Sbírka je čtvrtým dílem série zabývající se elektrickými obvody. Jak se bude postupně počet publikací rozrůstat, bude čtenář mít šanci seznámit se s čím dál větším spektrem součástek a elektrických obvodů.

Ing. Jakub Šafařík, Ing. Paed. IGIP
e-mail: SafarikJ@gybot.cz

V Praze 20. 10. 2018, rev. 1.1.2

Úvod

Sedmý díl sbírky netradičních úloh z fyziky je zaměřen na elektrické obvody. Látka navazuje na předcházející sbírky – Elektrické obvody 1, Elektrické obvody 2 a Elektrické obvody 3, které byly úvodem do elektrických obvodů. Tento text si klade za cíl popsat funkci polovodičových součástek, jejich charakteristiky a následné využití v jednoduchých i složitějších obvodech.

Publikace je rozdělena do čtrnácti kapitol, které na sebe navazují. Pro lepší názornost jsou v kapitole Přílohy uvedeny katalogové listy některých součástek. Postupy sestavení jednotlivých obvodů jsou v učebnici detailně vysvětleny a jejich schémata podrobně popsána. Na základě takto vyložené problematiky by následně neměl být problém vyřešit úkoly, které jsou uvedeny v každé kapitole. Tyto úkoly si kladou za cíl ověřit znalosti a procvičit nabyté zkušenosti v tematice elektrických obvodů. Pro zájemce o hlubší studium problematiky slouží seznam doporučené literatury, ve které je možné nalézt informace sahající za rámec této sbírky.

Při práci s tímto textem ve školních lavicích je doporučeno, aby studenti pracovali ve dvojicích, společně konzultovali návrhy řešení a vybírali nejlepší cestu k dosažení požadovaného cíle. Pro vyřešení zadaných úkolů je většinou možné volit z několika postupů, které se od sebe liší nejen složitostí, ale i vhodností návrhu pro konkrétní využití. V ideálním případě by studenti měli být schopni vybírat postupy, návrhy a řešení, které budou z hlediska časového i finančního optimální.

I. Tranzistory

V předchozím díle učebnice byly detailně popsány polovodičové součástky bez PN přechodu a s jedním PN přechodem. V další kapitole se zaměříme na složitější struktury skládající ze dvou přechodů – tranzistory¹.

Tranzistory jsou aktivní polovodičové součástky, které jsou schopny zesilovat proud, napětí, nebo oboje současně. Je to jejich hlavní výhoda oproti pasivním součástkám – diodám, které tuto vlastnost nemají. Tranzistory můžeme dle jejich konstrukce a principů, na kterých fungují, rozdělit do několika skupin. Základní dělení tranzistorů je:

- bipolární
- unipolární.

Bipolární² tranzistory využívají ke své činnosti jak elektrony, tak díry. Naproti tomu unipolární³ tranzistory si vystačí s nosiči náboje jen jedné polaritě – elektrony pro kanál N, nebo díry pro kanál P. Existují ještě kombinace těchto tranzistorů (např. IGBT). V dalším textu se pro jednoduchost omezíme na bipolární tranzistory. Více o různých typech tranzistorů v [1] a [5].

Existuje mnoho způsobů zapojení tranzistorů, kterými se dají ovlivnit výsledné parametry výstupního napětí či proudu. My se v dalším textu podíváme na ty nejjednodušší a nejzákladnější způsoby.

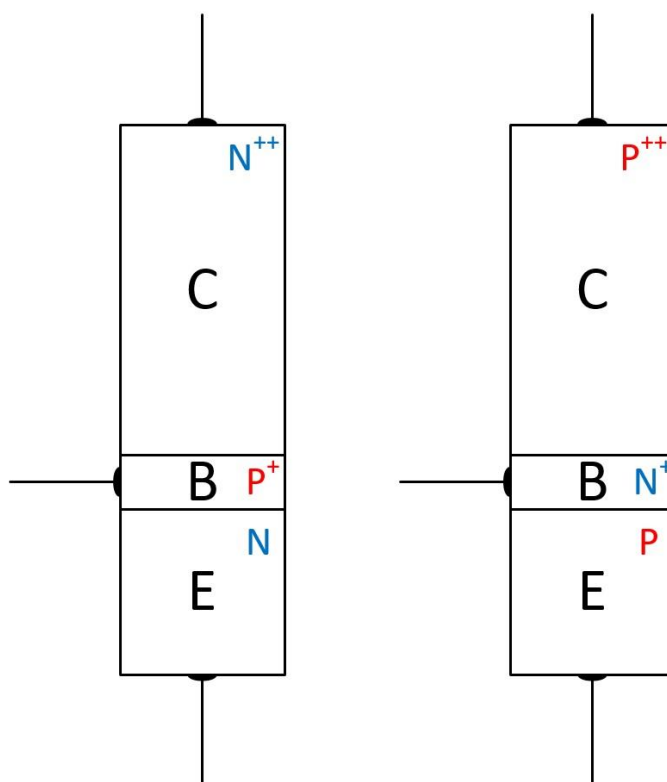
¹ Název součástky pochází ze spojení TRANSfer reSISTOR, autory jsou W. B. Shockley, J. Bardeen a V. H. Brattain, kteří v roce 1947 tranzistor objevili.

² Bipolární tranzistory se někdy označují zkratkou BJT – Bipolar Junction Transistor.

³ Unipolární tranzistory se označují jako polem řízené tranzistory – Field Effect Transistor (FET).

1. Bipolární tranzistor

V následujícím textu se zaměříme na bipolární tranzistor, protože je celkem snadné pochopit jeho funkci v obvodu. Tento typ tranzistoru se skládá ze tří oblastí s různými typy vodivosti. Máme dvě možnosti jak tento tranzistor vytvořit. Bud' tranzistor NPN, nebo PNP – viz Obr. 1.1.

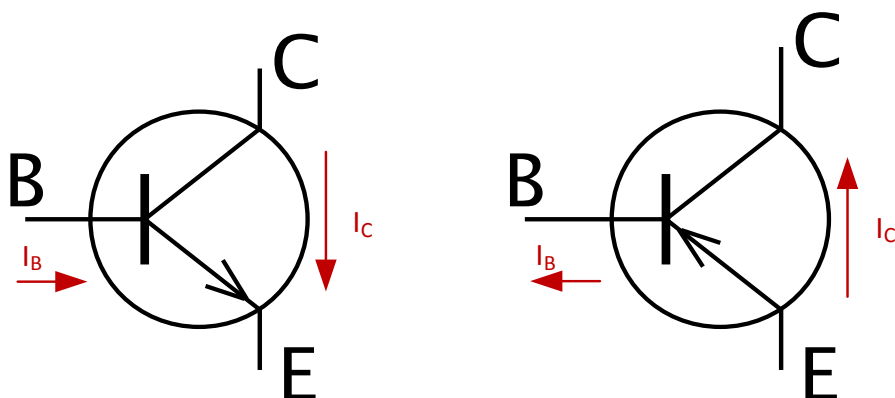


Obr. 1.1: Struktura bipolárního tranzistoru (vlevo NPN, vpravo PNP)

Na Obr. 1.1 jsou písmeny označeny jednotlivé části tranzistorů C – kolektor, B – báze, E – emitor. Zároveň je v obrázku vyznačeno, jak jsou jednotlivé oblasti dotovány. N značí, že majoritními nosiči jsou elektrony, P zase díry. Znaménky + je rozlišena koncentrace nosičů v jednotlivých částech (více + znamená větší koncentraci). Rozdílná koncentrace nosičů je dána snahou dosáhnout co nejlepších elektrických parametrů tranzistoru.⁴ Z těchto důvodů je vidět, že se budeme snažit nezaměňovat kolektor a emitor, i když jsou to oblasti se stejným typem vodivosti.

⁴ S tím také souvisí velikost jednotlivých částí tranzistoru, jak je vidět na Obr. 1.1.

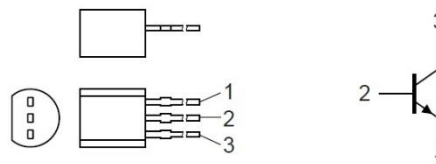
Na Obr. 1.2 je uvedena schematická značka tranzistoru a vyznačen směr elektrického proudu protékajícího tranzistorem (I_B a I_C). Je třeba si uvědomit, že směr pohybu elektronů je opačný, nežli směr toku elektrického proudu.⁵ I_B značí proud tekoucí do báze tranzistoru, I_C proud protékající kolektorem a I_E případně proud tekoucí emitorem. Jelikož proud I_B je řádově (běžně dva až tři řády) menší, nežli I_C , platí, že $I_C \approx I_E$.



Obr. 1.2: Schematická značka bipolárního tranzistoru (vlevo NPN, vpravo PNP)

Rozmístění jednotlivých nožiček tranzistoru můžeme zjistit např. z katalogového listu⁶ tranzistoru (běžně dostupný např. na internetu), který výrobci ke svým součástkám poskytují. Pokud si vybereme reálnou součástku, např. tranzistor s označením - BC337-40-TAP, v katalogovém listě (uveden v kapitole Přílohy - Katalogový list tranzistoru BC337-40-TAP) najdeme obrázek určující rozmístění jednotlivých nožiček, viz Obr. 1.3. **Ne vždy musí být báze uprostřed!**

1	emitter
2	base
3	collector



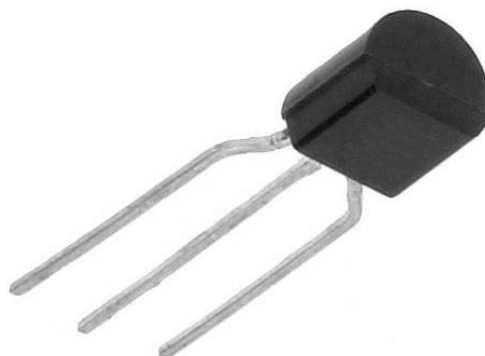
Obr. 1.3: Rozmístění nožiček tranzistoru BC337-40-TAP

Někdy různí výrobci vyrábí stejné typy tranzistorů se stejným označením, parametry součástek se ale liší! Při hledání odpovídajícího katalogového listu je třeba určit správného výrobce, případně hledat danou součástku na stránkách prodejce, tam bývají většinou katalogové listy uvedeny.

⁵ Šipka u emitoru naznačuje směr toku elektrického proudu tranzistorem.

⁶ Někdy se uvádí název datasheet.

Na Obr. 1.4 je uvedena fotka zmíněného tranzistoru BC337-40-TAP. Je nutné určit správně přední a zadní stranu tohoto tranzistoru. Na fotce i Obr. 1.3 je vidět, že jedna strana tranzistoru je plochá a druhá zaoblená.



Obr. 1.4: Skutečná podoba tranzistoru BC337-40-TAP

Úkol

1. Vyberte libovolný tranzistor NPN a určete jeho nožičky pomocí katalogového listu výrobce.
2. Vyberte libovolný tranzistor PNP a určete jeho nožičky pomocí katalogového listu výrobce.

2. Parametry tranzistoru

K tomu, abychom mohli tranzistor využít v obvodu, potřebujeme znát jeho parametry. Tyto parametry jsou důležité proto, abychom tranzistor nezničili (příliš vysokými hodnotami proudů a napětí) a abychom nastavili správné podmínky i pro zbytek obvodu (například připojenou diodu apod.).

Uvedme si příklad s konkrétním tranzistorem – BC337-40-TAP⁷. **Všimněte si označení jednotlivých nožiček!** Pokud si vyhledáme katalogový list (uveden v kapitole Přílohy – Katalogový list tranzistoru BC337-40-TAP), najdeme v něm parametry:

- $V_{CB0} = 50 \text{ V}$, což udává maximální hodnotu napětí U_{CB}
- $V_{CE0} = 45 \text{ V}$, což udává maximální hodnotu napětí U_{CE}
- $V_{EB0} = 5 \text{ V}$, což udává maximální hodnotu napětí U_{BE}
- $I_C = 500 \text{ mA}$, což je maximální proud, který může téci kolektorem
- $I_{CM} = 1 \text{ A}$, což je maximální proud, který může téci kolektorem krátkodobě
- $I_{BM} = 200 \text{ mA}$, což je maximální proud, který může téci bázi krátkodobě
- $P_{tot} = 625 \text{ mW}$, což je celková výkonová ztráta
- $h_{FE} = 250 - 600$ (pro $U_{CE} = 1 \text{ V}$; $I_C = 100 \text{ mA}$) je proudový zesilovací činitel tranzistoru⁸
- V_{CEsat} je saturační napětí mezi kolektorem a emitorem pro zvolený proud; výrobce udává hodnotu $0,7 \text{ V}$ ($I_C = 500 \text{ mA}$; $I_B = 50 \text{ mA}$)
- V_{BEsat} je saturační napětí mezi bázi a emitorem; výrobce udává maximální hodnotu $1,2 \text{ V}$ ($I_C = 500 \text{ mA}$; $U_{CE} = 1 \text{ V}$). Běžně stačí počítat s hodnotou $0,7 \text{ V}$ pro jakýkoliv běžný křemíkový tranzistor.⁹
- $f = 100 \text{ Mhz}$, což je maximální přenosová frekvence ($I_C = 10 \text{ mA}$; $U_{CE} = 5 \text{ V}$)

Výčet výše uvádí jen některé parametry tranzistoru, v katalogovém listu jich lze najít mnohem více, včetně důležitých grafů. Hodnoty v katalogu jsou uvedeny v určitém rozsahu a pro více vstupních proměnných, záleží na konkrétní situaci, který z údajů bude pro nás ten pravý.

Vždy při návrhu obvodu musíme respektovat hodnoty jednotlivých parametrů, aby tranzistor správně fungoval, nebo abychom ho nezničili!

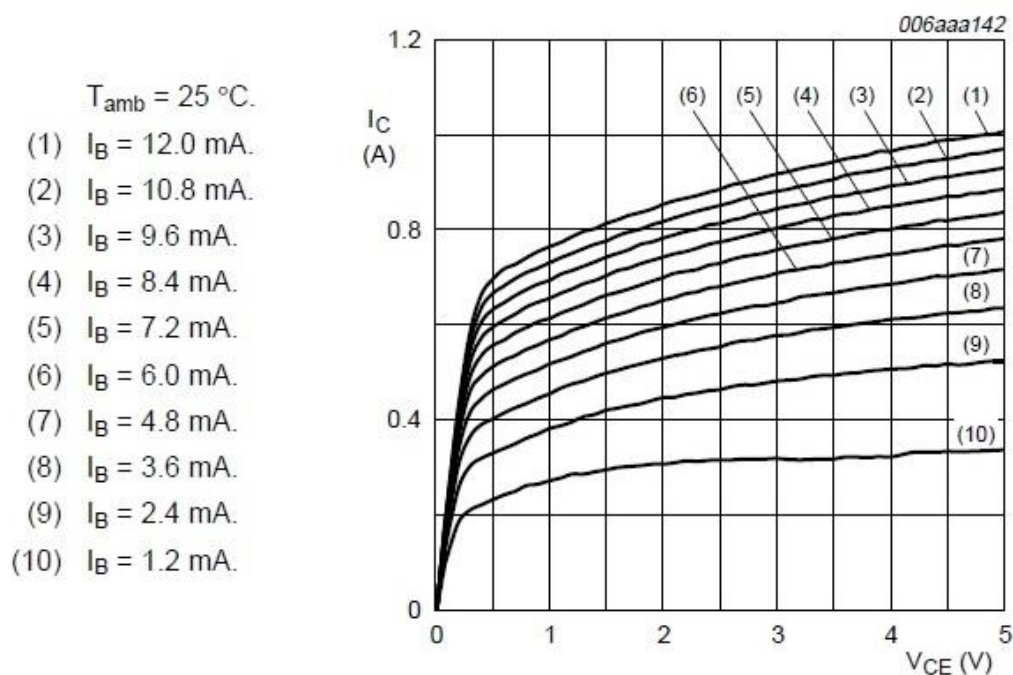
⁷ Samozřejmě vybrat můžeme i jakýkoliv jiný tranzistor.

⁸ Někdy uváděno jako DC current gain.

⁹ Prahové napětí přechodu PN.

Saturační napětí mezi kolektorem a emitorem, budeme ho značit U_{CEsat} , bývá v katalogovém listu uvedeno ve formě charakteristik (výstupní charakteristika tranzistoru). U moderních tranzistorů bývá tato hodnota běžně kolem 0,2 V. Stav saturace (nasycení) znamená, že při dané hodnotě I_B dojde k otevření tranzistoru. Změna velikosti proud I_C při změně U_{CE} je velmi malá.¹⁰ Na Obr. 2.1 je tento stav znázorněn částí křivky, která má téměř lineární průběh a roste pozvolna. Pro naše účely se budeme snažit provozovat tranzistor v této lineární části charakteristiky.

Saturační napětí mezi bází a emitorem je dáno hodnotou pro polovodičový přechod PN a pro běžný křemíkový tranzistor je tato hodnota 0,7 V (prahové napětí polovodičové diody – přechodu PN). Opět je možné tuto hodnotu odečíst z charakteristik (vstupní charakteristika tranzistoru – závislost U_{BE} na I_B) v katalogovém listu (pokud výrobce uvádí).



Obr. 2.1: Charakteristika tranzistoru BC337-40-TAP (závislost I_C na U_{CE})

¹⁰ V ideálním případě se proud I_C se změnou U_{CE} již nemění a charakteristika je vodorovná.

Úkol

1. Vyberte si libovolný tranzistor NPN a najděte v katalogu jeho vlastnosti. Vypište nejdůležitější parametry, viz text výše.
2. Vyberte si libovolný tranzistor PNP a najděte v katalogu jeho vlastnosti. Vypište nejdůležitější parametry, viz text výše.

3. Měření proudového zesilovacího činitele tranzistoru

Jak jsme uvedli v předchozí kapitole, parametry konkrétního tranzistoru je možné zjistit z katalogu výrobce. Většina multimetrů umožňuje velmi snadno změřit jeden ze základních parametrů – proudový zesilovací číselník tranzistoru. Na multimetru je označen jako h_{FE} . U našeho typu multimetru je nutné pro toto měření připojit redukci – viz Obr. 3.1. V levé části redukce se měří tranzistor NPN a v pravé PNP, zdířky pro jednotlivé nožičky jsou popsány příslušnými písmenky.

Vždy je třeba správně určit nožičky vybraného tranzistoru, např. pomocí katalogového listu!



Obr. 3.1: Měření proudového zesilovacího činitele multimetrem

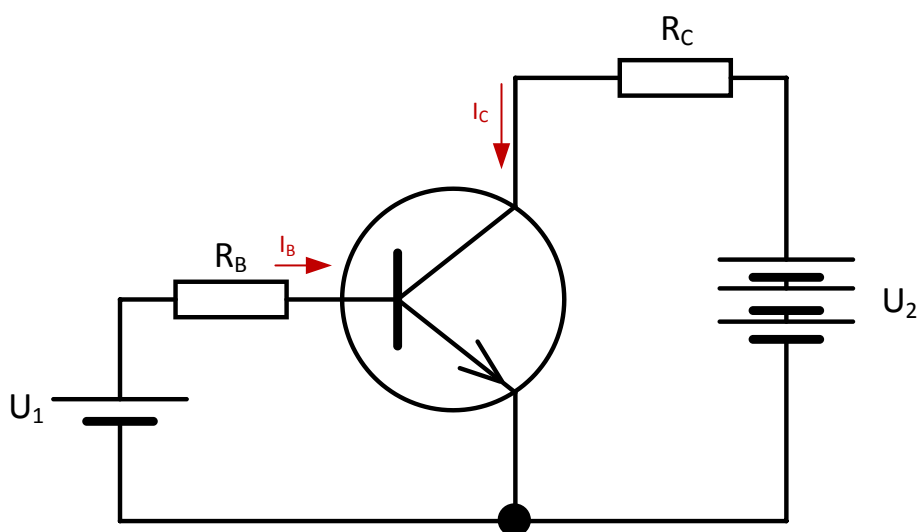
Úkol

1. Pomocí multimetru změřte proudový zesilovací činitel vybraného tranzistoru NPN a porovnejte s hodnotou udávanou výrobcem v katalogovém listu.
2. Pomocí multimetru změřte proudový zesilovací činitel vybraného tranzistoru PNP a porovnejte s hodnotou udávanou výrobcem v katalogovém listu.

II. Zapojení tranzistoru do obvodu

Tranzistor je součástka, která má tři svorky, budeme ho tedy připojovat do dvou částí obvodu. Abychom zapojení mohli realizovat, musí jedna svorka být společná pro obě obvodové části. To lze provést celkem třemi způsoby.¹¹ Pro naše účely bude nejvhodnější realizovat zapojení tranzistoru se společným emitorem (SE).

Každý způsob zapojení, můžeme realizovat dvěma typy tranzistorů (NPN, nebo PNP). Vyberme pro další realizaci zapojení např. tranzistor typu NPN. K tomu, aby tranzistorem vůbec mohl protékat proud I_C (v našich podmínkách řádově desítky až stovky mA), je nejprve nutné do báze přivést malý proud I_B (běžně sto až tisícinásobně menší nežli I_C).¹² Schéma obvodu, který bude splňovat tyto podmínky je uvedeno na Obr. II. 1.



Obr. II. 1: Zapojení tranzistoru NPN se společným emitorem

Na Obr. II. 1 je jako U_1 označen zdroj propojený k bázi a emitoru přes velký odpor R_B (malý proud do báze I_B ve srovnání s I_C), tento zdroj, z obou zakreslených ve schématu, má menší hodnotu napětí. U_2 je silnější zdroj mezi kolektorem a emitorem zapojený přes menší odpor R_C (větší proud v porovnání s I_B). Tranzistor zjednodušeně řečeno funguje jako ventil, který otevíráme proudem I_B a regulujeme tak proud I_C , který tranzistorem protéká.

¹¹ Tranzistor můžeme zapojit se společným emitorem, kolektorem, nebo bází.

¹² Velikosti proudů jsou závislé na realizovaném obvodu a samozřejmě na typech tranzistorů. U různých zapojení se mohou výrazně lišit (i řádově).

Stejně jako u předešlých součástek je nutné hlídat i u tranzistorů, aby nebyly překročeny jejich mezní parametry. Těmito parametry u tranzistoru jsou hlavně:

- U_{CE} – napětí mezi kolektorem a emitorem
- I_C – proud tekoucí do kolektoru
- I_B – proud tekoucí do báze
- P_C – výkon na kolektoru ($P_C = U_{CE} \times I_C$)

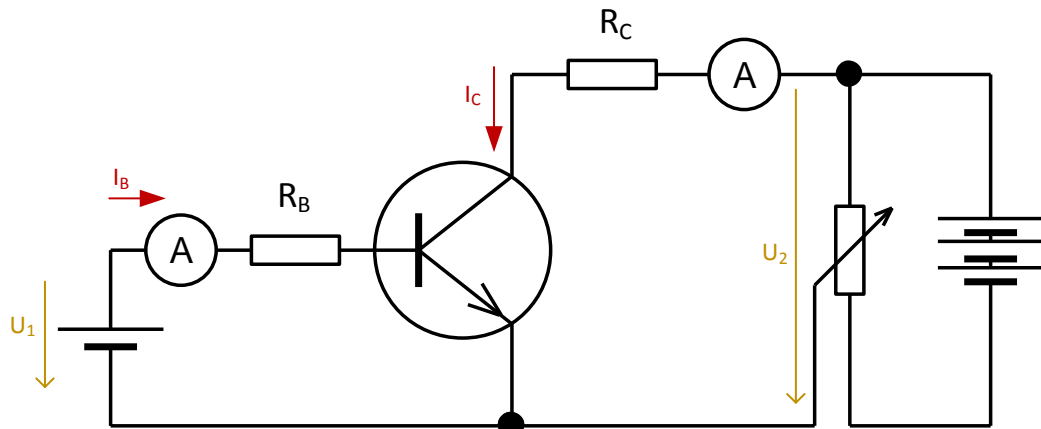
Vždy se musíme ujistit, že v zapojeném obvodu nejsou překročeny mezní parametry součástek!

Úkol

1. Nakreslete zapojení tranzistoru NPN se společným emitorem a vyznačte směr toku elektrického proudu I_B a I_C .
2. Nakreslete zapojení tranzistoru PNP se společným emitorem a vyznačte směr toku elektrického proudu I_B a I_C .

4. Zapojení bipolárního tranzistor se společným emitorem

V předchozí kapitole bylo nastíněno, jak sestavit obvod bipolárního tranzistoru v zapojení se společným emitorem. Pokud bychom chtěli takový obvod realizovat, je nutné určit hodnoty odporů rezistorů R_B a R_C – viz Obr. 4.1.



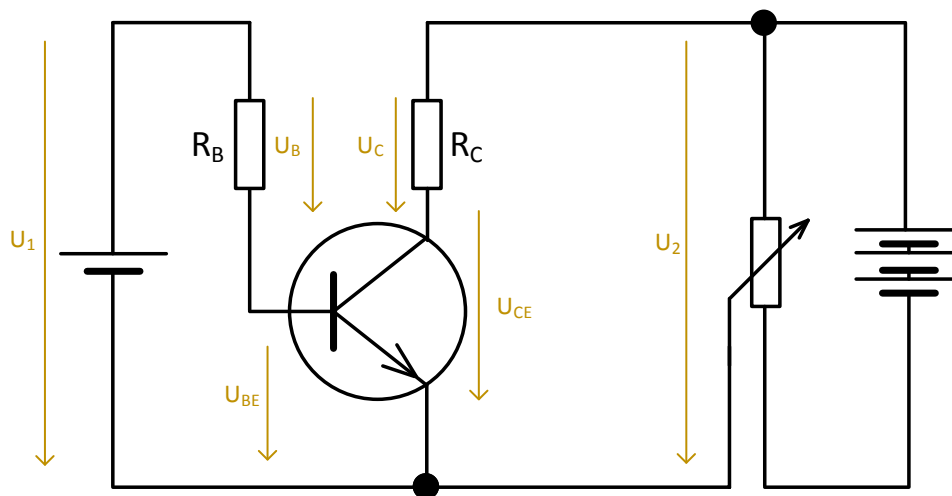
Obr. 4.1: Zapojení tranzistoru NPN SE s měřicími přístroji

V prvním kroku si zjistíme mezní parametry daného tranzistoru a po celou dobu budeme hlídat, aby nebyly překročeny. Další krok je závislý na těchto parametrech. Vypočteme velikosti odporů rezistorů tak, aby odpovídali parametrům tranzistoru (aby nebyly překročeny maximální hodnoty proudů a napětí, případně výkonu...).

Pokud máme k dispozici tranzistor BC337-40-TAP (pozor na to od jakého výrobce), můžeme v katalogovém listu najít jeho parametry – viz kapitola 2. Připomeneme si některé důležité parametry:

- $I_{CM} = 1000 \text{ mA}$
- $I_{BM} = 200 \text{ mA}$
- $P_{tot} = 625 \text{ mW}$
- $V_{CEsat} = 0,7 \text{ V}$ ($I_C = 500 \text{ mA}$; $I_B = 50 \text{ mA}$)
- $V_{BEsat} = 0,7 \text{ V}$
- $h_{FE} = 250$

Při obvodové realizaci je nutné respektovat parametry tranzistoru a samozřejmě i ostatních součástek, které do obvodu zapojujeme (rezistor, reostat, zdroj...). Schéma obvodu z Obr. 4.1 si překreslíme (jedná se stále o stejné zapojení) tak, abychom mohli přehledně vyznačit napětí na jednotlivých prvcích obvodu – Obr. 4.2.



Obr. 4.2: Zapojení tranzistoru NPN SE s vyznačením napětí

Pokud napájecí zdroj v pravé části obvodu má velikost 12 V, na reostatu (dělič napětí) rozdělíme napětí na polovinu, to znamená, že napětí $U_2 = 6$ V. Napěťový zdroj v levé části můžeme realizovat například pomocí ploché baterie $U_1 = 4,5$ V. Dále určíme přibližné¹³ hodnoty odporů R_C a R_B .

V našem případě si určíme, že chceme, aby kolektorem tekla proud $I_C = 300$ mA a $U_{CE} = 2$ V. Napětí U_{CE} běžně volíme okolo poloviny napájecího napětí.¹⁴ Z výstupní charakteristiky – , musíme určit odpovídající I_B . Pro $I_C = 300$ mA a $U_{CE} = 2$ V odečteme (odhadneme) $I_B = 1,2$ mA.

Další možností, jak vypočítat velikost I_B je přes proudový zesilovací činitel h_{FE} . Pokud víme, že I_C má mít velikost 100 mA a $h_{FE} = 250$, pak platí¹⁵:

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}}$$

$$I_B = \frac{300}{250}$$

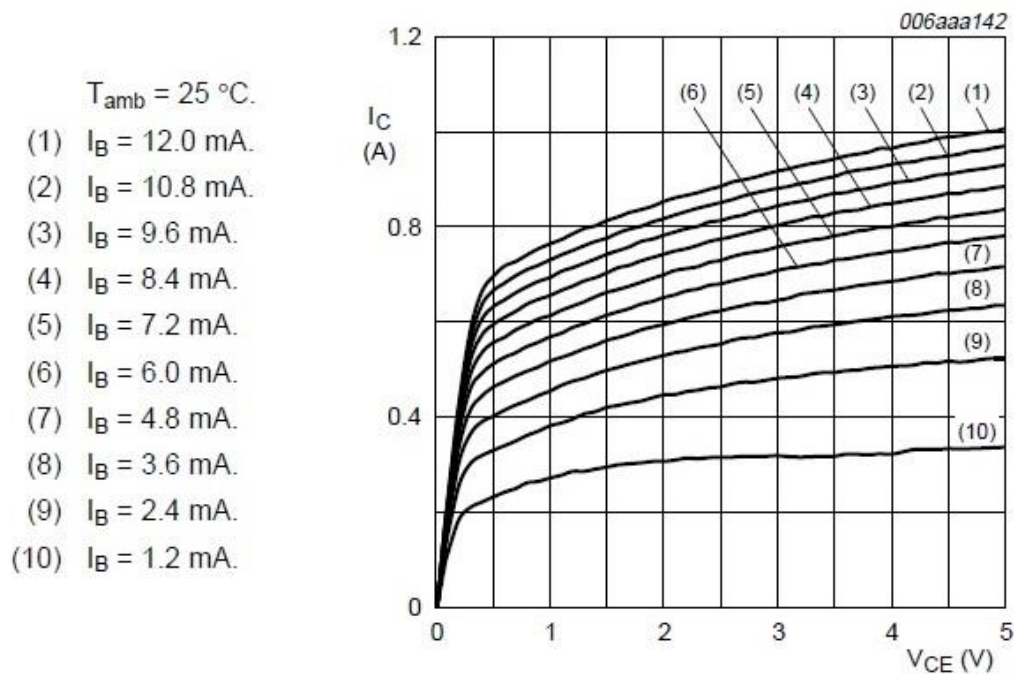
$$I_B = 1,2 \text{ mA}$$

Rce. 4.1: Výpočet I_B z h_{FE} v obvodu

¹³ Přibližné hodnoty proto, že některé parametry obvodu neznáme přesně (průběhy charakteristik, hodnoty saturačních napětí...) nebo zanedbáme (vnitřní odpor zdroje, teplotní závislosti součástek...).

¹⁴ Volba napětí U_{CE} jako polovina napájecího napětí se reálně uplatní např. při zapojení tranzistoru do obvodu střídavého proudu, viz kapitola 13 a 14.

¹⁵ Platí po dosažení saturačního napětí.



Obr. 4.3: Výstupní char. tranzistoru v zapojeném obvodu

Odpor R_B a R_C určíme z **Error! Reference source not found.** pomocí Ohmova zákona:

$$R_C = \frac{U_C}{I_C}$$

$$R_C = \frac{U_2 - U_{CE}}{I_C}$$

$$R_C = \frac{6 - 2}{0,3}$$

$$R_C = 13\ \Omega$$

$$R_B = \frac{U_B}{I_B}$$

$$R_B = \frac{U_1 - U_{BE}}{I_B}$$

$$R_B = \frac{4,5 - 0,7}{0,0012}$$

$$R_B = 3,167\text{ k}\Omega$$

Rce. 4.2: Výpočet R_B a R_C v zapojení tranzistoru SE

Nastavení vhodných proudů tekoucích kolektorem a bází se v praxi označuje jako nastavení pracovního bodu tranzistoru. Většinou se snažíme nastavit pracovní bod tranzistoru do oblasti výstupní charakteristiky, která je lineární (za saturační napětí U_{CE}) – viz . Z hlediska vstupní charakteristiky opět nastavit napětí U_{BE} větší nežli saturační.

Po zapojení obvodu regulujeme napětí U_{CE} reostatem, logicky začneme na nejnižší hodnotě. Pokud necháme odpojen zdroj proudu I_B , který teče do báze, můžeme ověřit, že tranzistorem neprotéká žádný elektrický proud I_C při změnách U_{CE} . Jinými slovy ventil je uzavřen, k jeho otevření musíme do báze pustit proud I_B .

Při každém zapojení kontrolujeme, zda nejsou překročeny maximální hodnoty veličin určené výrobcem (obzvláště při dlouhodobém provozu) – zejména maximální velikosti proudů a výkonů!

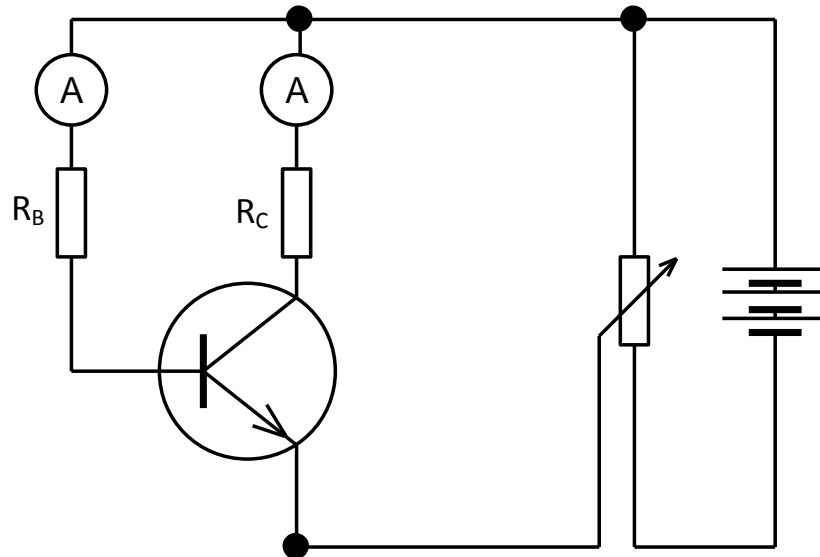
V praxi platí, že pokud nemáme k dispozici přesné velikosti odporů rezistorů, volíme nejbližší vyšší hodnotu, či si požadovaný odpor sestavíme vhodnou sériovou nebo paralelní kombinací rezistorů z dané odporové řady. V našich podmínkách (relativně malé hodnoty napětí a proudů) můžeme použít i blízké nižší hodnoty odporů.

Úkol

1. Navrhňte obvod dle schématu na Obr. 4.1 – vyberte tranzistor, nastavte napájecí napětí a nastavte pracovní bod tranzistoru (vypočtete velikosti odporu rezistorů R_C a R_B). Ověřte funkci tohoto obvodu a změřte obvodové veličiny (proudy a napětí).
2. V zapojeném obvodu dle Obr. 4.1 zkuste měnit hodnoty I_B a sledujte, jak se mění I_C . Můžeme potvrdit tranzistorový jev?
3. Určete, jakých hodnot nabývá proudový zesilovací činitel.
4. Určete, jaké rezistory je nutné použít, aby proud tekoucí kolektorem dosahoval hodnoty 20 mA.
5. Nakreslete schéma zapojení pro tranzistor PNP a realizujte zapojení jako v předchozích bodech.

5. Využití děliče proudu při zapojení tranzistoru SE

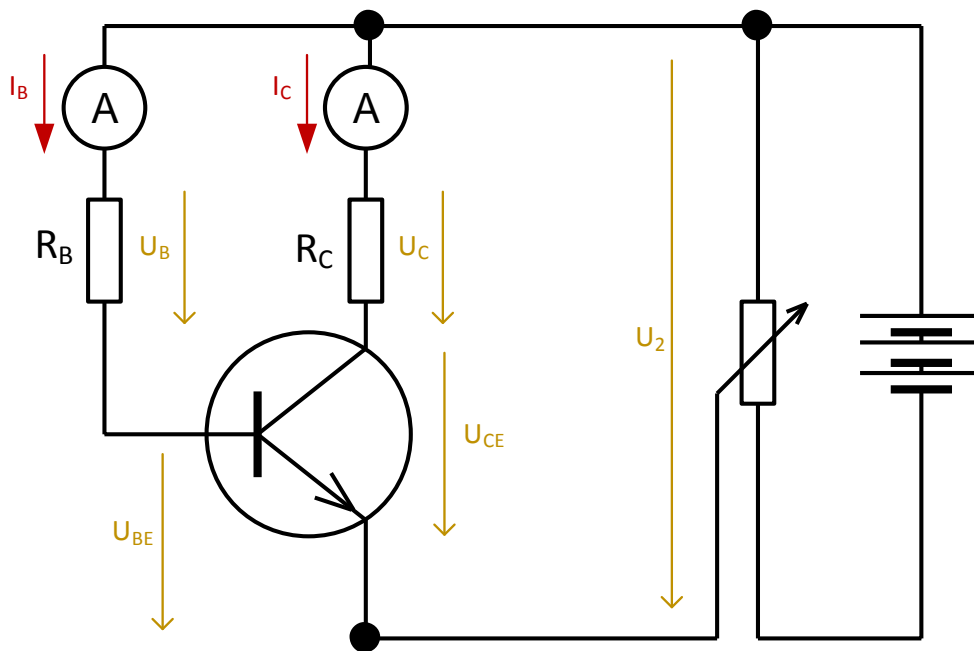
V předchozí kapitole bylo vysvětleno, jak funguje tranzistor v zapojení se společným emitorem. Nevýhodou použitého zapojení je použití dvou napěťových zdrojů. V dalším kroku zkusíme tento nedostatek odstranit. Místo druhého napěťového zdroje použijeme dělič proudu – schéma na Obr. 5.1.



Obr. 5.1: Zapojení tranzistoru SE s využitím děliče proudu

Tranzistorový jev nám umožňuje malými změnami proudu báze docílit velkých změn kolektorového proudu. Ze zdroje tedy teče do tranzistoru elektrický proud, který se rozdělí na část tekoucí do kolektoru (I_C) a část tekoucí do báze (I_B).

Stejně jako v předchozí kapitole (4) použijeme tranzistor BC337-40-TAP a budeme požadovat stejné nastavení pracovního bodu. Tedy na děliči napětí nastavíme napětí 6 V, které bude napájecím napětím pro celou zbývající část obvodu. Opět chceme, aby kolektorem tekla proud $I_C = 300 \text{ mA}$ a $U_{CE} = 2 \text{ V}$. A stejně jako v předchozím případě určíme, že $I_B = 1,2 \text{ mA}$. Pro názornost si opět schéma překreslíme i s vyznačenými proudy a napětími – Obr. 5.2.



Obr. 5.2: Tranzistor v zapojení SE s děličem proudu a vyznačením napětí

Zbývá dopočíst hodnoty odporů R_C a R_B , ty určíme z opět pomocí Ohmova zákona:

$$R_C = \frac{U_C}{I_C}$$

$$R_C = \frac{U_2 - U_{CE}}{I_C}$$

$$R_C = \frac{6 - 2}{0,3}$$

$$\mathbf{R_C = 13 \Omega}$$

$$R_B = \frac{U_B}{I_B}$$

$$R_B = \frac{U_2 - U_{BE}}{I_B}$$

$$R_B = \frac{6 - 0,7}{0,0012}$$

$$\mathbf{R_B = 4,4 \text{ k}\Omega}$$

Rce. 5.1: Výpočet odporů pro tranzistor SE s děličem proudů

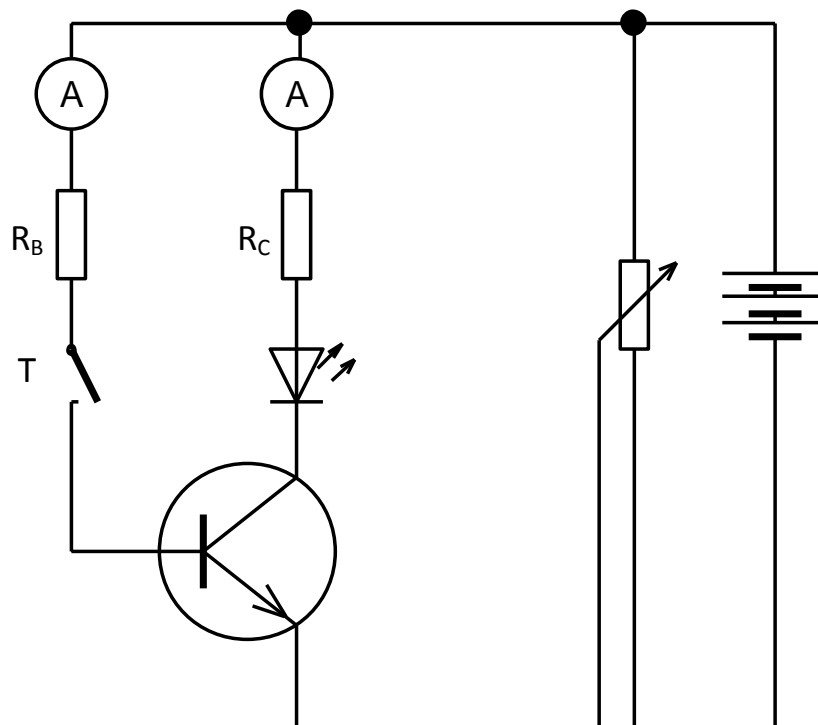
Pokud se chceme přesvědčit o správnosti našeho výpočtu, můžeme napětí U_2 nejprve pomocí reostatu nastavit na 0 V a postupně jeho velikost zvyšovat. Na ampérmetrech sledujeme hodnoty protékajících proudů. Pokud by některý proud byl příliš velký, použijeme rezistory s většími odpory. **Vždy se musíme ujistit, že v zapojeném obvodu nejsou překročeny mezní parametry součástek!**

Úkol

1. Zapojte tranzistor v zapojení se společným emitorem pomocí napěťového děliče – Obr. 5.1.
2. Určete, jaké rezistory je nutné použít, aby proud tekoucí kolektorem dosahoval hodnoty 20 mA a ověřte v zapojení pomocí ampérmetru.
3. Nakreslete schéma zapojení pro tranzistor PNP a realizujte zapojení jako v předchozích bodech.

6. Tranzistor jako spínač

Z předchozích úloh vyplývá, že tranzistor můžeme použít i jako elektronický spínač. Proudem I_B bud' zapínáme, nebo vypínáme proud I_C (zeslabujeme/zesilujeme). V této kapitole zkusíme zapojit obvod s LED diodou, který bude spínaný právě tranzistorem (přes tlačítko T). Schéma je znázorněno na Obr. 6.1.

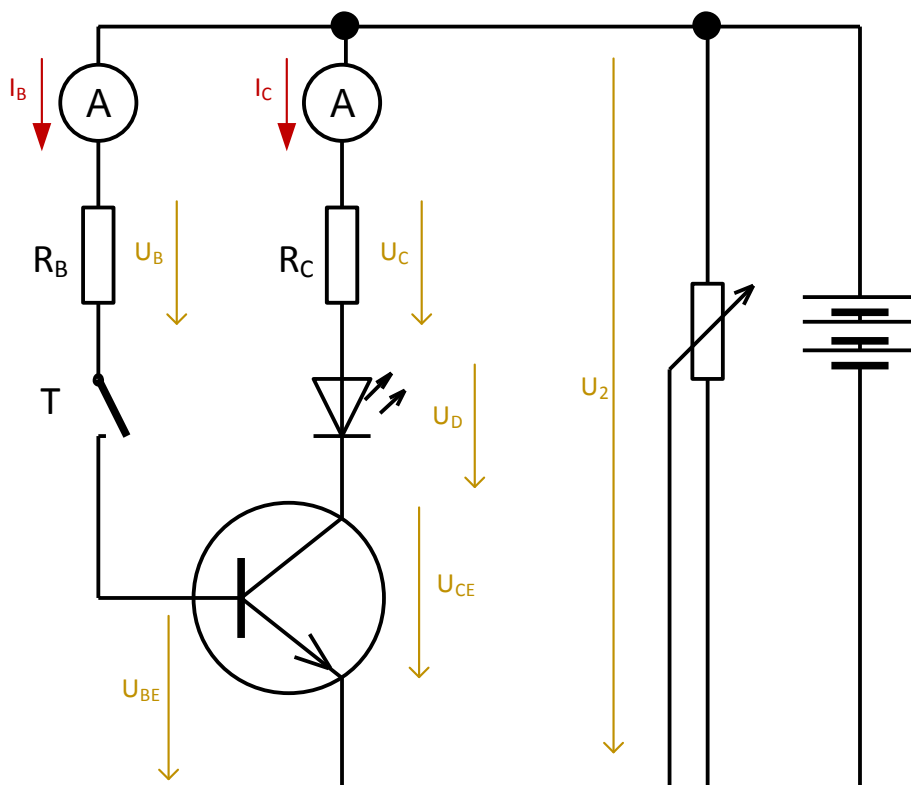


Obr. 6.1: Tranzistor jako spínač

Pro toto zapojení použijeme tranzistor například 2N3904 T092 AMMO¹⁶ a velice důležité pro nás budou i parametry diody, které si vyhledáme v katalogovém listě¹⁷. Použijme-li diodu s následujícími parametry: 2,1 V a 20 mA. Maximální velikostí proudu, který může protékat diodou, je prakticky dán kolektorový proud, $I_C = 20$ mA.

¹⁶ Samozřejmě je možné použít jakýkoliv tranzistor, který splňuje požadované parametry obvodu (proud kolektorem 20 mA; znalost charakteristiky pro tento proud...).

¹⁷ Případně máme k dispozici V-A charakteristiku diody, ze které můžeme požadované napětí a odpovídající proud odečíst.



Obr. 6.2: Zapojení tranzistoru jako spínače s vyznačím U a I

Pro nastavení pracovního bodu tranzistoru nám opět poslouží schéma s vyznačeným napětím – Obr. 6.2. Na děliči napětí nastavíme napětí $U_2 = 6 \text{ V}$. Vzhledem k parametrům diody bude $I_C = 20 \text{ mA}$. Z charakteristiky tranzistoru (uvedena v kapitole Přílohy na **Error! Reference source not found.**) odečteme pro $I_C = 20 \text{ mA}$ hodnotu $I_B = 0,1 \text{ mA}$ a stanovíme si $U_{CE} = 2 \text{ V}$.

Hodnoty rezistorů R_C a R_B určíme obdobnou úvahou jako v předchozích kapitolách. Velikost odporu rezistoru R_C tentokrát bude ovlivněna diodou, která je zapojena v sérii s tímto rezistorem.

$$R_C = \frac{U_C}{I_C}$$

$$R_C = \frac{U_2 - U_{CE} - U_D}{I_C}$$

$$R_C = \frac{6 - 2 - 2,1}{0,02}$$

$$R_C = 95 \Omega$$

$$R_B = \frac{U_B}{I_B}$$

$$R_B = \frac{U_2 - U_{BE}}{I_B}$$

$$R_B = \frac{6 - 0,7}{0,0001}$$

$$R_B = 53 \text{ k}\Omega$$

Rce. 6.1: Výpočet odporů pro tranzistor s diodou

Vždy se musíme ujistit, že v zapojeném obvodu nejsou překročeny mezní parametry součástek!

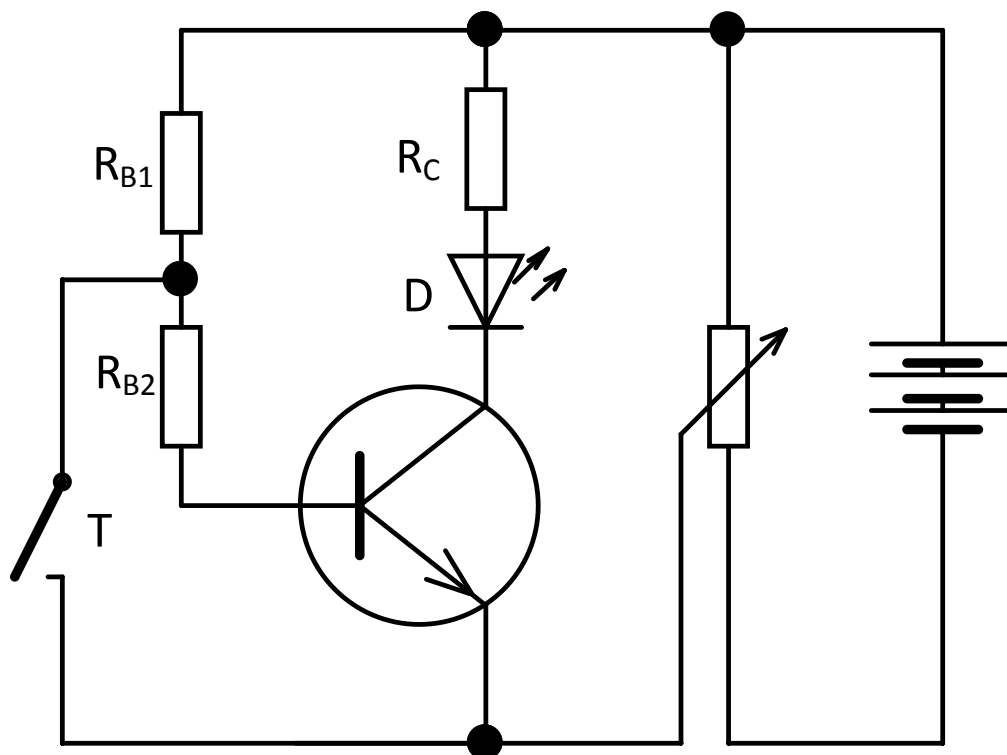
Ve schématu je tlačítko T. Tímto tlačítkem spínáme celý obvod a tedy rozsvěčíme LED diodu. Pokud chceme, aby dioda pouze svítila, není nutné toto tlačítko do obvodu zapojovat.

Úkol

1. Zapojte obvod dle Obr. 6.1. Před sestavením vypočtěte velikosti odporů dle parametrů vybraného tranzistoru a diody. Ověřte správnost výpočtu změřením velikosti protékajících proudů.
2. Opakujte úkol 1. pro různé typy diod.
3. Ve schématu na Obr. 6.1 nahraďte diodu žárovkou, vyberte vhodný tranzistor, vypočtěte odpovídající parametry součástek a ověřte funkci obvodu zapojením.
4. Opakujte předchozí tři úkoly pro tranzistor PNP.

7. Tranzistor jako spínač opačně

V předchozí kapitole jsme si ukázali zapojení tranzistoru jako spínače. Pokud bylo na vstupu sepnuto tlačítko T (do báze tekla proud) dioda svítila (kolektorem protékal proud). Někdy můžeme vyžadovat opačnou funkci. Tedy aby po sepnutí tlačítka naopak dioda zhasla a svítila, pokud je spínač rozpojen. Odpovídající zapojení je uvedeno na Obr. 7.1. Jedná se pouze o malou modifikaci předchozí úlohy.



Obr. 7.1: Tranzistor jako spínač opačně

Funkce obvodu je velmi jednoduchá, pokud je tlačítko T rozpojeno, do báze tranzistoru teče odpovídající proud, který otevře tranzistor a dioda D svítí. Jedná se prakticky o totožný obvod s obvodem na Obr. 6.1. Pokud je tlačítko sepnuto, teče přes něj proud, který je dán velikostí odporu R_{B1} rovnou k zápornému pólu zdroje. Do báze tranzistoru neteče přes rezistor R_{B2} žádný proud, tranzistor tedy není sepnut a dioda nesvítí.

Kvůli jednoduchosti zapojení uděláme obvod zcela analogický k předchozí úloze. Použijeme stejnou hodnotu napájecího napětí, stejnou diodu D, díky tomu nastavíme stejně i pracovní bod tranzistoru. To znamená, že i odpor rezistoru R_C musí být stejný a součet odporů rezistorů R_{B1} a R_{B2} musí dát původní hodnotu R_B . Velikosti R_{B1} a R_{B2} tedy budeme volit okolo poloviny původní hodnoty.

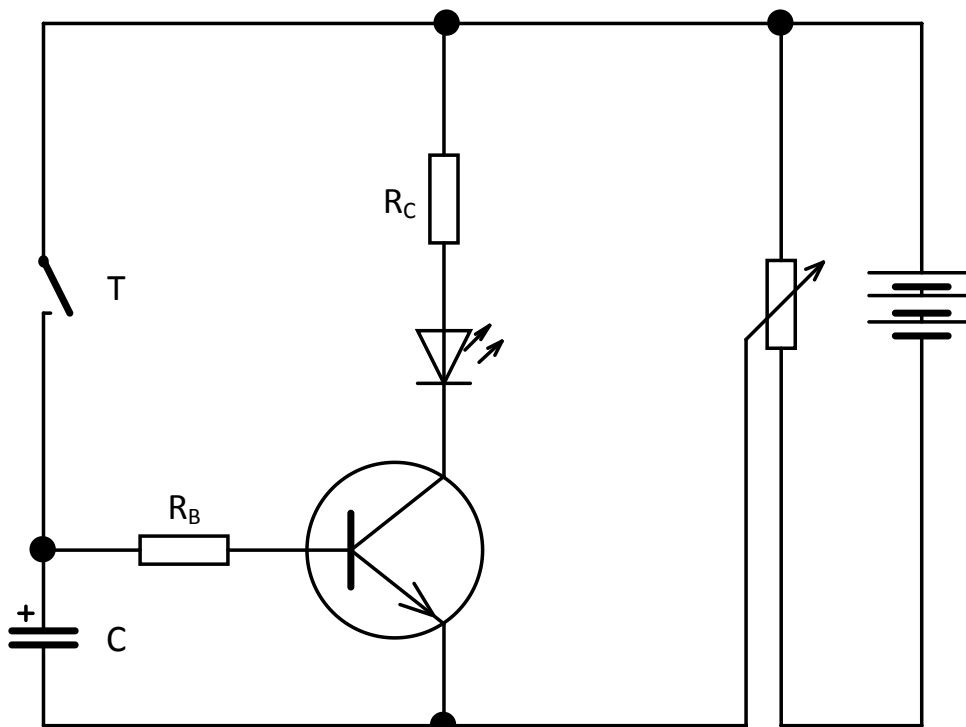
Konkrétní parametry součástek jsou následující: tranzistor (2N3904 T092 AMMO); dioda (2,1 V a 20 mA); R_C (95 Ω); R_{B1} (33 Ω) a R_{B2} (20 Ω).

Úkol

1. Zapojte obvod dle Obr. 7.1. Před sestavením vypočtěte velikosti odporů dle parametrů vybraného tranzistoru a diody. Ověřte správnost výpočtu změřením velikosti protékajících proudů.
2. Opakujte úkol 1. pro různé typy diod.
3. Ve schématu na Obr. 7.1 nahraďte diodu žárovkou, vyberte vhodný tranzistor, vypočtěte odpovídající parametry součástek a ověřte funkci obvodu zapojením.
4. Opakujte předchozí tři úkoly pro tranzistor PNP.

8. Schodišťový vypínač

V další úloze se pokusíme rozšířit vlastnosti spínače a vytvořit tzv. schodišťový vypínač. Tento typ vypínače je známí z klasických domovních chodeb. Sepnutím spínače se rozsvítí světlo, které po nastavené době samo zhasne. Funkci opožděného zhasnutí v obvodu bude plnit kondenzátor. Schéma je znázorněno na Obr. 8.1.



Obr. 8.1: Schodišťový vypínač

Při sepnutí tlačítka T bude protékat do báze tranzistoru přes R_B malý proud, který umožní otevření tranzistoru a průtok většího proudu přes R_C , který rozsvítí diodu. Zároveň se přes sepnuté tlačítko nabíjí kondenzátor C. Po uvolnění tlačítka nedojde k okamžitému zhasnutí diody, protože kondenzátor C bude dodávat přes rezistor R_B proud do báze, bude se vybíjet. Jak se kondenzátor postupně vybíjí, zmenšuje se i proud tekoucí do báze a tranzistor se postupně uzavírá (zmenšuje se hodnota kolektorového proudu) – dioda pohasíná. Při opětovném stisku tlačítka se celý děj opakuje.

Hodnoty rezistorů R_C a R_B a odpovídající tranzistor jsme si určili v kapitole 6.¹⁸ Je třeba pouze vybrat vhodný kondenzátor C tak, aby nebyly překročeny jeho parametry. V našem případě použijeme kondenzátor s kapacitou $100 \mu\text{C}$.¹⁹ **Vždy se musíme ujistit, že v zapojeném obvodu nejsou překročeny mezní parametry součástek!**

Úkol

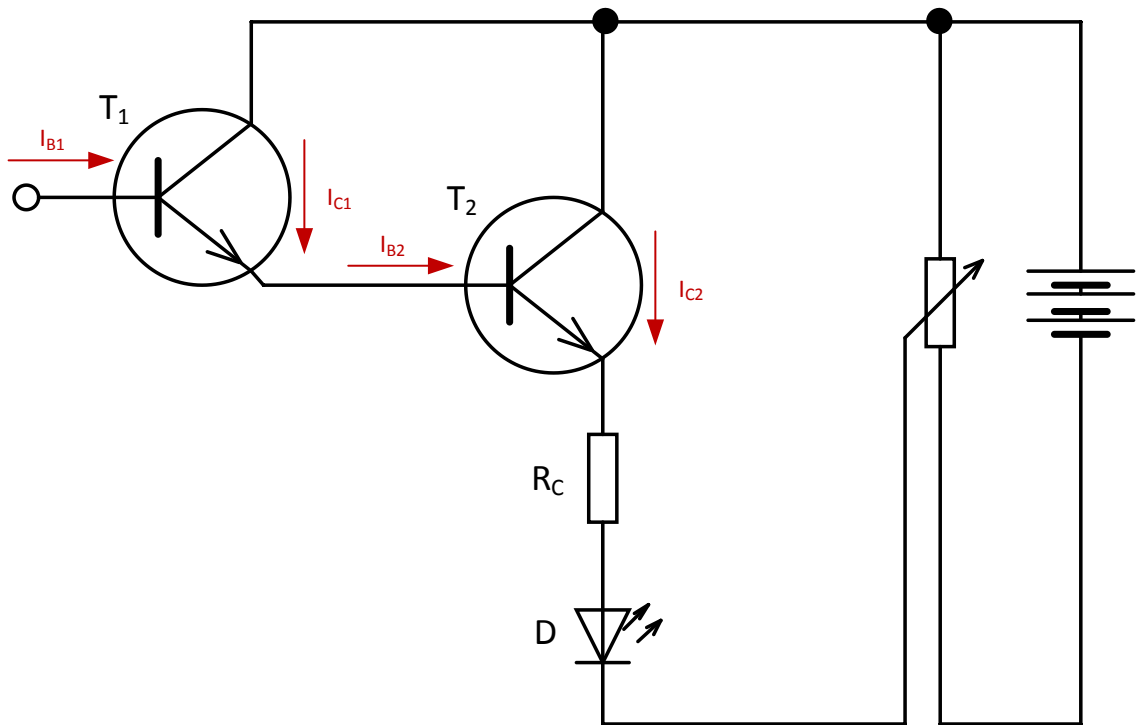
1. Zapojte obvod dle Obr. 8.1. Před sestavením zvolte správně vhodné rezistory a kondenzátor.
2. Jakým způsobem je možné prodloužit/zkrátit dobu svícení diody. Realizujte.
3. Místo diody v obvodu použijte žárovku, vyberte vhodný tranzistor, dopočtete velikosti odporů a obvod realizujte.
4. Opakujte předchozí úkoly pro tranzistor PNP.

¹⁸ Samozřejmě je možné zvolit zcela jiný tranzistor a diodu (žárovku) a dopočítat hodnoty součástek.

¹⁹ Pokud se jedná se o elektrolytický kondenzátor, musíme dát pozor na správnou polaritu zapojení v obvodu.

9. Zapojení tranzistorů do kaskády

Potřebujeme-li zajistit větší zesílení, nežli nám umožňuje jediný tranzistor, je možné zařadit několik tranzistorů do kaskády a celkové zesílení tak znásobit. Nejjednodušší způsob je zapojit takto dva tranzistory v tzv. Darlingtonově zapojení²⁰. Schéma zapojení je na Obr. 9.1.



Obr. 9.1: Zapojení dvou tranzistorů do kaskády

Typy tranzistorů, parametry napájecího zdroje, rezistor R_C a dioda D budou stejné jako v kapitole 6. Reostatem opět nastavíme napětí na 6 V (můžeme ověřit voltmetrem). **Vždy se musíme ujistit, že v zapojeném obvodu nejsou překročeny mezní parametry součástek!**

Chceme opět, aby tranzistorem T_2 protékal elektrický proud, a rozsvítil nám diodu D . Víme, že proud I_{C2} proteče tranzistorem T_2 jen tehdy, pokud je tranzistor otevřen (do báze poteče mnohonásobně menší proud I_{B2})²¹. Proud I_{B2} je zároveň stejný jako proud I_{C1} , který protéká tranzistorem T_1 .²² Aby tranzistorem T_1 mohl protékat proud I_{C1} , musí být do báze přiveden opět mnohonásobně menší proud I_{B1} .

²⁰ Toto zapojení vymyslel v roce 1953 Sidney Darlington, po němž je také pojmenováno.

²¹ Poměr velikostí proudů je roven proudovému zesilovacímu činiteli β – viz kapitola 2 a 3.

²² Navýšení kolektorového proudu o proud báze je zanedbatelné.

Z předchozí úvahy je vidět, že vstupní signál I_{B1} se nejprve zesílí tranzistorem T_1 (dle velikosti proudového zesilovacího činitele β_1 daného tranzistoru T_1) a následně se ještě jednou zesílí pomocí tranzistoru T_2 (dle velikosti proudového zesilovacího činitele β_2 daného tranzistoru T_2). Výsledné zesílení je tedy součinem jednotlivých zesílení:

$$I_{C2} = \beta_2 \cdot I_{B2}$$

$$I_{C2} = \beta_2 \cdot I_{C1}$$

$$I_{C2} = \beta_2 \cdot \beta_1 \cdot I_{B1}$$

$$I_{C2} = \beta \cdot I_{B1}$$

$$\beta = \beta_2 \cdot \beta_1$$

Rce. 9.1: Výpočet celkového zesílení tranzistorů v kaskádě

Samozřejmě by bylo takto možné řadit i více tranzistorů a celkové zesílení ještě dále násobit.

Pokud se proudový zesilovací činitel jednotlivých tranzistorů pohybuje řádově ve stovkách²³, je celkové zesílení v řádu desítek tisíc. Tedy abychom na výstupu tranzistoru T_2 dostali proud I_{C2} , který nám rozsvítí diodu D (cca 20 mA) stačí nám na vstupu tranzistoru T_1 proud I_{B1} v řádu stovek nA. Takovýto proud umí vytvořit i naše tělo. Stačí se tedy dotknout svorky báze tranzistoru T_1 a dioda by se měla rozsvítit. Pokud chceme, aby dioda svítila více, zvětšíme proud I_{B1} tak, že jednou rukou budeme držet svorku báze T_1 a druhou rukou se dotkneme plus pólu zdroje. Tak přes naše tělo bude protékat velmi malý proud (daný odporem našeho těla), který se však dvakrát zesílí na tranzistorech T_1 a T_2 a rozsvítí diodu.

²³ Což je zcela běžná hodnota.

Úkol

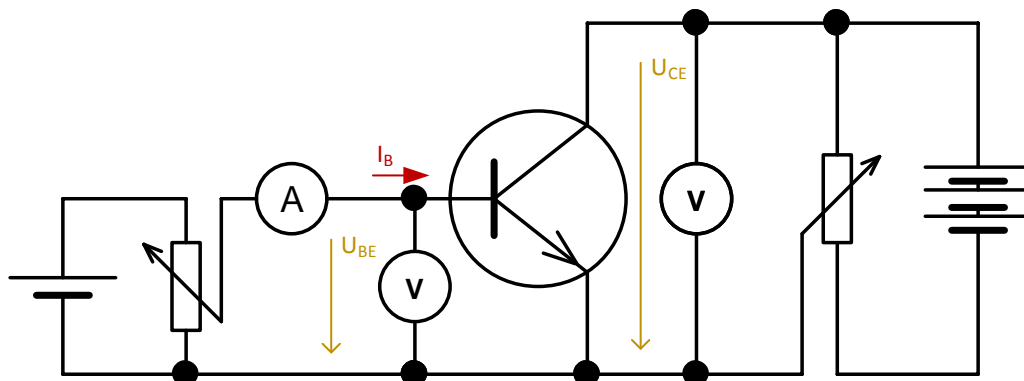
1. Zapojte obvod dle Obr. 9.1. Před sestavením zvolte správně vhodné součástky. Ověřte funkci dvojitého zesilovače tak, přivedením slabého signálu na vstup (dotykem ruky).
2. Mohli bychom do obvodu zapojit i svorku báze tranzistoru T1? Jak bychom museli obvod upravit? Vypočtete velikost odporu, který je nutné připojit. Zapojení zrealizujte.
3. Opakujte předchozí dva úkoly pro tranzistor PNP

10. V-A charakteristiky bipolárního tranzistoru

Z předchozích kapitol je zřejmé, jak funguje tranzistor jakožto zesilovač proudu (případně jako spínač). K nastavení pracovního bodu tranzistoru (výpočtu odporu rezistorů R_B a R_C) jsme potřebovali znát charakteristiky tranzistoru. Ne vždy máme tyto charakteristiky k dispozici (pro všechny požadované hodnoty napětí a proudů). Bude tedy dobré si tranzistor proměřit a charakteristiky si zakreslit. U tranzistoru rozlišujeme dva základní typy charakteristik:

- vstupní charakteristika
- výstupní charakteristika.

Vstupní charakteristikou rozumíme průběh veličin, které se objevují na vstupu tranzistoru. Z předchozího textu je jasné, že u tranzistoru touto veličinou bude proud tekoucí do báze I_B . Průběh tohoto proudu budeme zkoumat v závislosti na změně napětí mezi bází a emitorem U_{BE} při několika konstantních hodnotách U_{CE} . Schéma zapojení pro měření této charakteristiky je uvedeno na Obr. 10.1. Vstupní charakteristikou je charakteristika PN přechodu báze-emitor, jedná se tedy prakticky o V-A charakteristiku polovodičové diody.



Obr. 10.1: Měření vstupní charakteristiky bipolárního tranzistoru

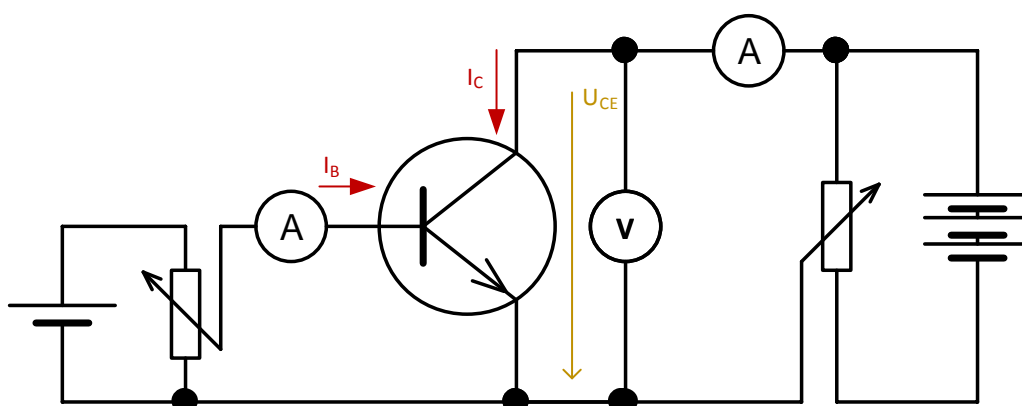
Vyberme tranzistor a zapojme ho dle schématu na Obr. 10.1. Na vstupu i výstupu tranzistoru nejprve nastavíme nulovou hodnotu napětí. První měření provedeme pro $U_{CE} = 0$. Při měření postupně měníme hodnoty U_{BE} pomocí levého potenciometru a odečítáme proud I_B . Pozor na maximální hodnoty, které nesmíme překročit – zjistíme z katalogu výrobce! Proměříme alespoň deset hodnot, hlavně v okolí prahového napětí přechodu PN. Další měření provedeme pro nenulovou hodnotu U_{CE} (např. 5 V pro tranzistor BC337-40-TAP).

Vždy se musíme ujistit, že v zapojeném obvodu nejsou překročeny mezní parametry součástek!

U výstupní charakteristiky zkoumáme závislost proudu tekoucího kolektorem I_C na napětí mezi kolektorem a emitorem U_{CE} pro různé hodnoty proudu báze I_B . Nastavíme tedy vždy konkrétní hodnotu I_B (např. $0 \mu\text{A}$; $1 \mu\text{A}$; $10 \mu\text{A}$; $20 \mu\text{A}$; $30 \mu\text{A}$; $40 \mu\text{A}$; $50 \mu\text{A}$;... pro tranzistor BC337-40-TAP) a pro tu proměříme velikost I_C pro alespoň deset různých hodnot U_{CE} (např. 0 V ; $0,1 \text{ V}$; $0,2 \text{ V}$; $0,3 \text{ V}$; $0,4 \text{ V}$; $0,5 \text{ V}$; $0,6 \text{ V}$; $0,7 \text{ V}$; $0,8 \text{ V}$; $0,9 \text{ V}$; 1 V ; 2 V ; 3 V ; 4 V ; 5 V ;... pro tranzistor BC337-40-TAP). Hodnoty měříme po malých krocích hlavně ze začátku pro $U_{CE} \rightarrow 0 \text{ V}$ – viz Obr. 2.1. Schéma pro měření výstupní charakteristiky je uvedeno na Obr. 10.2.

Pro jiný tranzistor bude nejlepší určit rozsahy měřených hodnot z katalogového listu výrobce (podle charakteristik uváděných výrobcem).

Vždy se musíme ujistit, že v zapojeném obvodu nejsou překročeny mezní parametry součástek!



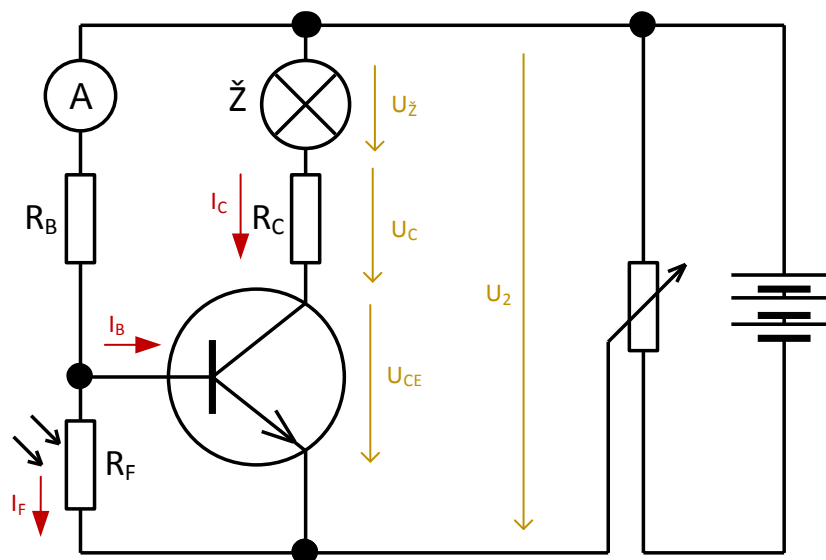
Obr. 10.2: Měření výstupní charakteristiky bipolárního tranzistoru

Úkol

1. Změřte vstupní charakteristiku vybraného tranzistoru NPN, vynesete do grafu a porovnejte s charakteristikami, které udává výrobce (např. v katalogovém listu).
2. Změřte výstupní charakteristiku vybraného tranzistoru NPN, vynesete do grafu a porovnejte s charakteristikami, které udává výrobce (např. v katalogovém listu).
3. Opakujte předchozí dva úkoly pro tranzistor PNP

11. Tranzistorový spínač s fotorezistorem 1

V této kapitole se pokusíme spojit výhody fotorezistoru a tranzistoru. Sestavíme obvod, kde bude rozsvícení a zhasínání žárovky ovlivněno množstvím světla, které dopadá na fotorezistor. Schéma je znázorněno na Obr. 11.1.



Obr. 11.1: Tranzistorový spínač s fotorezistorem 1

Pokud je fotorezistor neosvětlený, má velký odpor (řádově $M\Omega$) a prakticky jím neprotéká proud.²⁴ Veškerý proud protékající přes rezistor R_B tedy teče do báze tranzistoru a otevírá ho. Žárovka tedy svítí. Při osvětlení fotorezistoru výrazně klesá jeho odpor (řádově $k\Omega$) a teče přes něj elektrický proud. Proud z rezistoru R_B se tedy dělí na proud I_B a I_F . Do báze se tedy nedostane dostatečně velký proud, tranzistor se neotevře a žárovka nesvítí (případně do báze teče menší proud a žárovka svítí slaběji).

K sestavení obvodu použijeme tranzistor BC337-40-TAP, neboť již velmi dobře známe jeho parametry – konkrétně výstupní charakteristiku (Obr. 2.1). Napájecí napětí U_2 na reostatu nastavíme na 6 V. Pracovní bod tranzistoru zvolíme tak, že velikost R_C určíme vzhledem k vybrané žárovce. Pokud tedy chceme, aby žárovkou protékal proud $I_C = 200 \text{ mA}$ a víme, že na ni má být napětí 2,5 V (parametry žárovky); dopočteme R_C dle . Pro dané $I_C = 200 \text{ mA}$ odhadneme z výstupní char. např. $U_{CE} = 2 \text{ V}$, tedy $I_B = 0,8 \text{ mA}$. Vychází nám tedy velikost $R_C \approx 7,5 \Omega$. Velikost R_B určíme z pro maximální hodnotu R_F (neteče jím žádný proud). Vyjde nám, že $R_B \approx 6,6 \text{ k}\Omega$.

Vždy se musíme ujistit, že v zapojeném obvodu nejsou překročeny mezní parametry součástek!

²⁴ Velikost R_B jsou řádově $k\Omega$, velikost R_F jsou řádově $M\Omega$ (případně více).

$$R_C = \frac{U_C}{I_C}$$

$$R_C = \frac{U_2 - U_{CE} - U_{\dot{z}}}{I_C}$$

$$R_C = \frac{6 - 2 - 2,5}{0,2}$$

$$\mathbf{R_C = 7,5 \Omega}$$

Rce. 11.1: Výpočet R_C pro spínač s fotorezistorem 1

$$R_B = \frac{U_B}{I_B}$$

$$R_B = \frac{U_2 - U_{BE}}{I_B}$$

$$R_B = \frac{6 - 0,7}{0,0008}$$

$$\mathbf{R_B = 6,625 \text{ k}\Omega}$$

Rce. 11.2: Výpočet R_B pro spínač s fotorezistorem 1

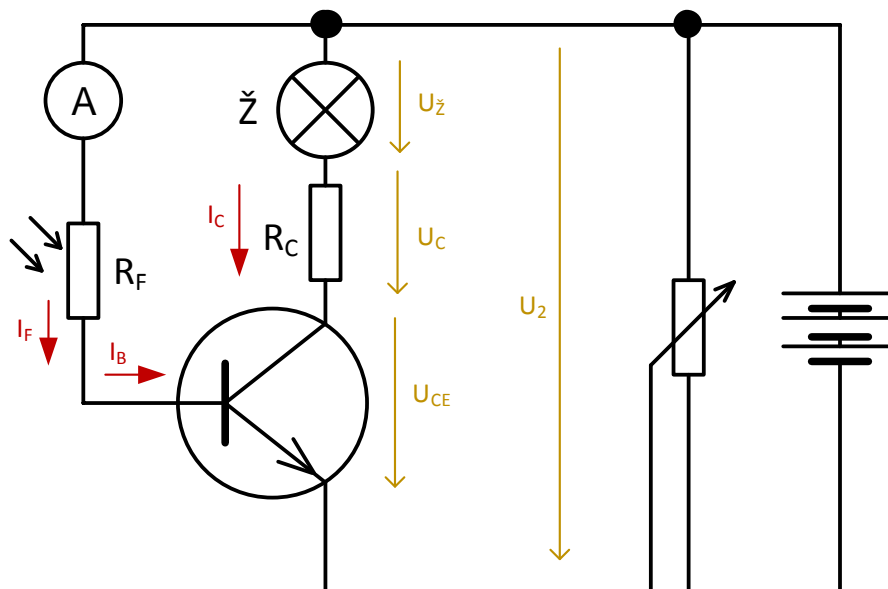
Jelikož jsme se nezabývali přesnými parametry fotorezistoru, stačí odpory rezistorů zvolit přibližně (např. $R_C = 10 \Omega$, $R_B = 6,9 \text{ k}\Omega$) a napětí U_2 postupně zvyšovat od 0 V až po rozsvícení žárovky při zakrytém fotorezistoru.

Úkol

1. Zapojte tranzistorový spínač s fotorezistorem dle Obr. 11.1 a ověřte jeho funkčnost.
2. Ve schématu na Obr. 11.1 zaměňte žárovku za diodu. Vypočtete potřebné velikosti součástek. Obvod zapojte a ověřte jeho funkčnost.
3. Opakujte předchozí dva úkoly pro tranzistor PNP
4. Realizujte obvod na Obr. 11.1, místo fotorezistoru použijte fotodiodu zapojenou v závěrném směru. Jak bude obvod fungovat? Dopačtete parametry součástek.

12. Tranzistorový spínač s fotorezistorem 2

Následující obvod tranzistoru s fotorezistorem bude jiná varianta zapojení z předchozí kapitoly. Schéma je znázorněno na Obr. 12.1. V předchozí úloze žárovka pohasínala při osvětlení fotorezistoru, v této úloze naopak bude žárovka pohasínat při zastínění fotorezistoru.



Obr. 12.1: Tranzistorový spínač s fotorezistorem 2

Tentokrát platí, že pokud je fotorezistor osvětlen, má odpor v řádu $k\Omega$, což je námi vyžadovaná velikost odporu báze R_B – viz např. úloha 4. Tranzistor je tedy odpovídající velikostí proudu I_B otevřen. Pokud fotorezistor není osvětlen, jeho odpor vzroste, řádově $M\Omega$, proud I_B tekoucí přes takto velký odpor není dostatečný, aby otevřel tranzistor.

Pro jednoduchost ponecháme parametry všech součástí a veličin stejné jako v předchozí úloze. Opět k sestavení obvodu použijeme tranzistor BC337-40-TAP, napájecí napětí U_2 volíme 6 V. Pracovní bod tranzistoru nastavíme stejně jako v předchozí úloze – pro žárovku (0,2 A; 2,5 V) $I_C = 200$ mA a $U_Z = 2,5$ V z výstupní char. např. $U_{CE} = 2$ V, tedy $I_B = 0,8$ mA. Stejným výpočtem jako v nám vychází velikost $R_C = 7,5 \Omega$.

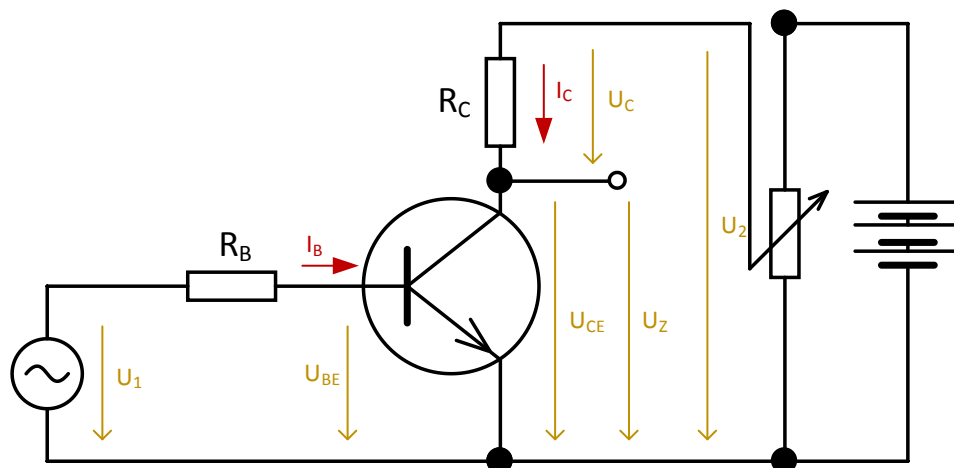
Jelikož jsme se nezabývali přesnými parametry fotorezistoru, stačí odpor rezistoru zvolit přibližně (např. $R_C = 10 \Omega$) a napětí U_2 postupně zvyšovat od 0 V až po rozsvícení žárovky při nezakrytém fotorezistoru.

Úkol

1. Zapojte tranzistorový spínač s fotorezistorem dle Obr. 12.1 a ověřte jeho funkčnost.
2. Ve schématu na Obr. 12.1 zaměňte žárovku za diodu. Vypočtete potřebné velikosti součástek. Obvod zapojte a ověřte jeho funkčnost.
3. Opakujte předchozí dva úkoly pro tranzistor PNP
4. Realizujte obvod na Obr. 11.1, místo fotorezistoru použijte fotodiodu zapojenou v závěrném směru. Dopačtete parametry součástek.

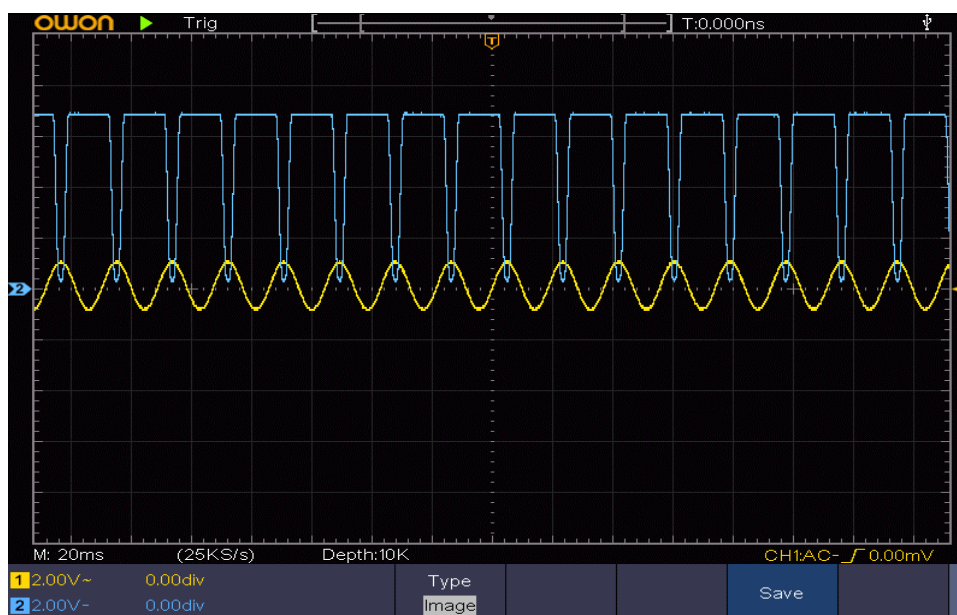
13. Tranzistor jako zesilovač střídavého napětí

V této úloze se podíváme, co se stane, pokud na vstup tranzistoru přivedeme střídavý signál. Vstupní střídavý signál U_1 budeme chtít odebrat na výstupu U_z , což je prakticky napětí U_{CE} . Budeme tedy sledovat změnu napětí U_{CE} v závislosti na změně U_{BE} . Tranzistor tedy bude fungovat, jako zesilovač napětí – malá změna napětí U_{BE} vyvolá velkou změnu U_{CE} . Odpovídající schéma je na Obr. 13.1.



Obr. 13.1: Tranzistor jako zesilovač střídavého napětí

Při analýze obvodu je vidět, že střídavý zdroj pravidelně otevírá a uzavírá tranzistor. Při uzavření tranzistoru je na výstupu U_z je celé napětí U_2 . Při otevírání tranzistoru se zvětšuje kolektorový proud, zvětšuje se úbytek napětí na R_c a klesá napětí U_z až na 0 V. Průběh střídavého napětí U_1 (žluté) a výstupního U_z je uveden na Obr. 13.2.



Obr. 13.2: Průběhy napětí při napájení střídavým zdrojem

Pro jednoduché sestavení obvodu vybereme opět tranzistor BC337-40-TAP a pracovní bod nastavme obdobně jako v předchozích úlohách. Střídavé napětí $U_1 = 2\text{ V}$ (celková amplituda). Napájecí napětí U_2 volíme 6 V ; $U_{CE} = 2\text{ V}$; tedy $I_B = 0,8\text{ mA}$; $I_C = 220\text{ mA}$. Po dopočtu (Rce. 4.2) vychází $R_C = 18\ \Omega$ a nakonec zvolíme $R_B = 1\text{ k}\Omega$.

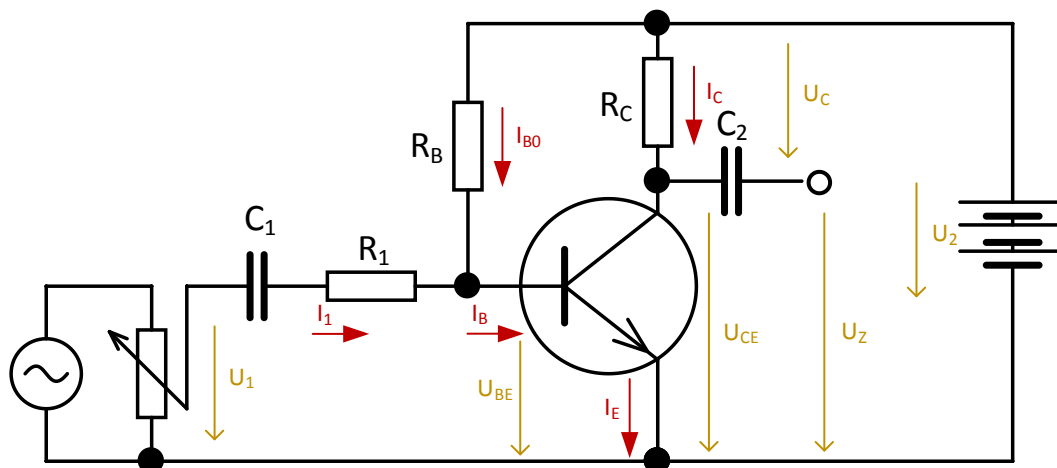
Pro zobrazení průběhů napětí připojíme osciloskop. Kanál číslo 1 připojíme ke zdroji střídavého signálu U_1 (žlutý průběh). Kanál číslo 2 připojíme ke kolektoru tranzistoru U_z (modrý průběh). Pro kanál 1 nastavíme na osciloskopu pod tlačítkem CH1 couplink AC a pro kanál 2 nastavíme tlačítkem CH2 couplink DC (abychom neodfiltrovali stejnosměrnou složku signálu)!

Úkol

1. Zapojte tranzistor jako zesilovač střídavého napětí dle Obr. 13.1 a ověřte jeho funkčnost pomocí osciloskopu.
2. V zapojení úkolu 1 měňte hodnotu střídavého napětí a sledujte, jak se mění výstup.
3. Opakujte předchozí dva úkoly pro tranzistor PNP

14. Tranzistor se střídavým zdrojem signálu

V předchozí kapitole jsme se zabývali chováním tranzistoru, na jehož vstup (U_{BE}) byl přiveden střídavý signál. V této kapitole zapojení upravíme tak, aby výstupní napětí mělo také sinusový charakter. Pro snadnější analýzu se budeme zabývat stavem, kdy se střídavý signál mění jen v malém rozsahu okolo pracovního bodu tranzistoru, který je nastaven do lineární části charakteristiky. Schéma zapojení je na Obr. 14.1.



Obr. 14.1: Tranzistor se střídavým zdrojem signálu

Tranzistor se v zapojení na Obr. 14.1 chová jako zesilovač napětí. Malé vstupní střídavé napětí převede na větší výstupní. V reálném zapojení by za kondenzátorem C_2 byla vůči zemi připojena zátěž (U_Z). Kondenzátory C_1 a C_2 oddělují stejnosměrnou složku signálu na vstupu a výstupu²⁵. Jejich velikost volíme tak, aby pro uvažovaný rozsah vstupních frekvencí představovali zkrat.²⁶ K sestavení obvodu opět použijeme tranzistor BC337-40-TAP.

Pracovní bod tranzistoru nastavíme pomocí rezistoru R_B . Nastavení pracovního bodu uvažujeme za předpokladu $U_1 = 0$ V. Hodnotu napájecího napětí U_2 zvolíme $U_2 = 6$ V. Proud I_{B0} zvolíme dle charakteristik v katalogovém listě (Katalogový list tranzistoru BC337-40-TAP) např. jako $I_{B0} = 2$ mA.

²⁵ Kondenzátor propouští jen střídavý signál, pro stejnosměrný se chová jako rozpojený obvod.

²⁶ Velikost kapacity (odpor kondenzátoru) je nepřímo úměrná frekvenci a kapacitě. Pro signál s frekvencí 50 Hz je odpovídající kapacita kondenzátoru stovky μ F.

$$R_B = \frac{U_2 - U_{BE}}{I_{B0}}$$

$$R_B = \frac{6 - 0,7}{0,002}$$

$$R_B = 2,65 \text{ k}\Omega$$

Rce. 14.1: Výpočet R_B pro střídavý proud

U_{CE} zvolíme jako $U_{CE} = 3 \text{ V}$.²⁷ Z výstupní charakteristiky – Obr. 2.1, odečteme I_C . V našem případě $I_C = 450 \text{ mA}$.

$$R_C = \frac{U_C}{I_C}$$

$$R_C = \frac{U_2 - U_{CE}}{I_C}$$

$$R_C = \frac{6 - 3}{0,45}$$

$$R_C = 7 \Omega$$

Rce. 14.2: Výpočet R_C pro střídavý proud

Při nastavení malého střídavého napětí U_1 , v našem případě zvolíme $U_1 = 2 \text{ V}$, hodnotu proudu I_1 ovlivňuje rezistor R_1 . Stejnoseměrný proud je odfiltrován kondenzátorem C_1 . Proud I_1 zvolíme jako $0,7 \text{ mA}$.²⁸

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1}$$

$$R_1 = \frac{2}{0,0007}$$

$$R_1 = 2,86 \text{ k}\Omega$$

Rce. 14.3: Výpočet R_1 pro střídavý proud

Pokud obvod napájíme střídavým signálem U_1 , platí:

$$\Delta I_1 = \frac{\Delta U_1}{R_1}$$

$$I_B = I_1 + I_{B0}$$

²⁷ Pokud je to možné, velikost U_{CE} běžně volíme jako přibližně polovinu napájecího napětí.

²⁸ Efektivní hodnota střídavého proudu je zvolena tak, aby maximální hodnota byla 1 mA ($I_{ef} = I_m/\sqrt{2}$).

$$\Delta I_C = \beta \cdot \Delta I_B$$

Rce. 14.4: zesílení střídavého proudu tranzistorem

Rezistor R_C v obvodu na Obr. 14.1 funguje jako zatěžovací, můžeme tedy psát:

$$\frac{\Delta U_C}{R_C} = \beta \cdot \frac{\Delta U_1}{R_1}$$

Rce. 14.5: zesílení na zatěžovacím rezistoru

Nakonec upravíme vztah pro napět'ové zesílení střídavého proudu tranzistorem A_U :

$$A_U = \frac{\Delta U_C}{\Delta U_1} = \beta \cdot \frac{R_C}{R_1}$$

Rce. 14.6: Napět'ové zesílení střídavého proudu tranzistorem

Úkol

1. Zapojte tranzistorový se střídavým zdrojem signálu dle Obr. 14.1.
2. V realizovaném obvodu Obr. 14.1 připojte na vstup (U_1) a výstup (U_z) osciloskop a sledujte, jak je bude měnit výstupní napětí v závislosti na změně vstupního střídavého signálu (U_1 měňte pomocí uvedeného potenciometru).
3. Pomocí osciloskopu určete napět'ové zesílení tranzistoru, porovnejte s výpočtem pomocí Rce. 14.6.
4. Opakujte předchozí tři úkoly pro tranzistor PNP.

Přílohy

Katalogový list tranzistoru BC337-40-TAP

45 V, 500 mA NPN general-purpose transistors

Rev. 05 — 21 January 2005

Product data sheet

1. Product profile

1.1 General description

NPN general-purpose transistors.

Table 1: Product overview

Type number	Package		PNP complement
	Philips	JEITA	
BC817	SOT23	-	BC807
BC817W	SOT323	SC-70	BC807W
BC337 [1]	SOT54 (TO-92)	SC-43A	BC327

[1] Also available in SOT54A and SOT54 variant packages (see Section 2).

1.2 Features

- High current
- Low voltage

1.3 Applications

- General-purpose switching and amplification

1.4 Quick reference data

Table 2: Quick reference data

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V_{CE0}	collector-emitter voltage			open base; - $I_C = 10 \text{ mA}$	-	45 V
I_C	collector current (DC)				-	500 mA
I_{CM}	peak collector current				-	1 A
h_{FE}	DC current gain			$I_C = 100 \text{ mA}$; [1]	-	-
BC817; BC817W; BC337		$V_{CE} = 1 \text{ V}$			100	600
BC817-16; BC817-16W; BC337-16					100	250
BC817-25; BC817-25W; BC337-25					160	400
BC817-40; BC817-40W; BC337-40					250	600

[1] Pulse test: $t_p \leq 300 \mu\text{s}$; $\delta \leq 0.02$.

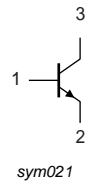
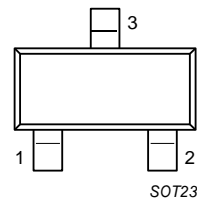
2. Pinning information

Table 3: Pinnin

Pin	Description	Simplified outline	Symbol
-----	-------------	--------------------	--------

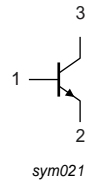
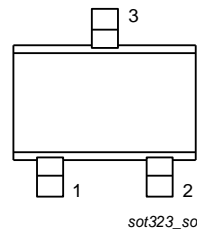
SOT23

1	base
2	emitter
3	collector



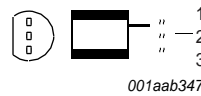
SOT323

1	base
2	emitter
3	collector



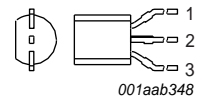
SOT54

1	emitter
2	base
3	collector



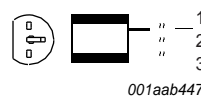
SOT54A

1	emitter
2	base
3	collector



SOT54 variant

1	emitter
2	base
3	collector



3. Ordering information

Table 4:

Ordering information

	Type number ^[1]	Package		Version
		Name	Description	
BC817		-	plastic surface mounted package; 3 leads	SOT23
BC817W		SC-70	plastic surface mounted package; 3 leads	SOT323
BC337 ^[2]	—	SC-43A	plastic single-ended leaded (through hole) package; 3 leads	SOT54

[1] Valid for all available selection groups.

[2] Also available in SOT54A and SOT54 variant packages (see [Section 2](#) and [Section 9](#)).

4. Marking

Table 5:

Marking codes

Type number	Marking code ^[1]
BC817	6D*
BC817-16	6A*
BC817-25	6B*
BC817-40	6C*
BC817W	6D*
BC817-16W	6A*
BC817-25W	6B*
BC817-40W	6C*
BC337	C337
BC337-16	C33716
BC337-25	C33725
BC337-40	C33740

[1] * = -: made in Hong Kong

* = p: made in Hong Kong

* = t: made in Malaysia

* = W: made in China

5. Limiting values

Table 6: Limiting values
In accordance with the Absolute
Maximum Rating System (IEC 60134).

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter	-	50	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base; I_C = 10 mA	-	45	V
V_{EBO}	emitter-base voltage	open collector	-	5	V
I_C	collector current (DC)		-	500	mA
I_{CM}	peak collector current		-	1	A
I_{BM}	peak base current		-	200	mA
P_{tot}	total power dissipation				
	BC817	$T_{amb} \leq 25\text{ °C}$	[1][2] -	250	mW
	BC817W	$T_{amb} \leq 25\text{ °C}$	[1][2] -	200	mW
	BC337	$T_{amb} \leq 25\text{ °C}$	[1][2] -	625	mW
T_{stg}	storage temperature		-65	+150	°C
T_j	junction temperature		-	150	°C
T_{amb}	ambient temperature		-65	+150	°C

[1] Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board, single-sided copper, tin-plated and standard footprint. [2] Valid for all available selection groups.

6. Thermal characteristics

Table 7: Thermal characteristics

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$R_{th(j-a)}$	thermal resistance from junction to ambient					
BC817		$T_{amb} \leq 25\text{ °C}$	[1][2] -	-	500	K/W
BC817W		$T_{amb} \leq 25\text{ °C}$	[1][2] -	-	625	K/W
BC337		$T_{amb} \leq 25\text{ °C}$	[1][2] -	-	200	K/W

[1] Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board, single-sided copper, tin-plated and standard footprint. [2] Valid for all available selection groups.

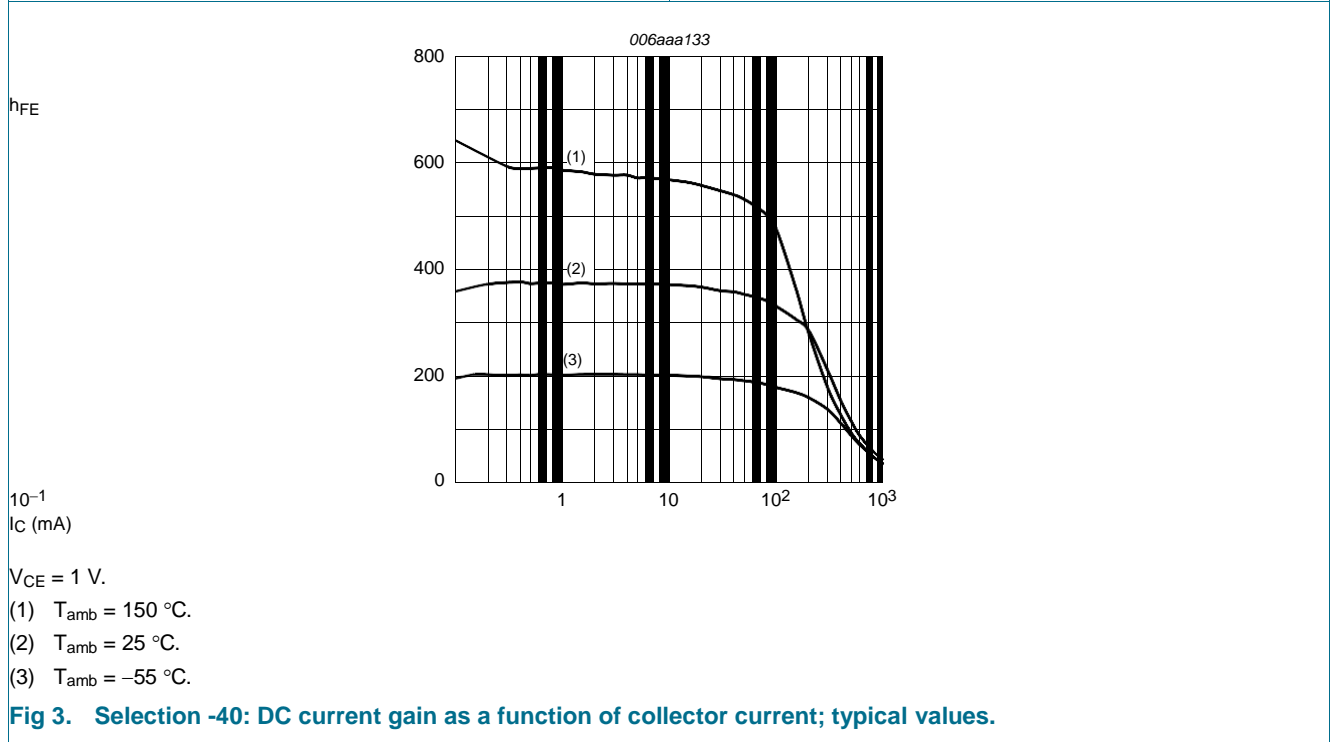
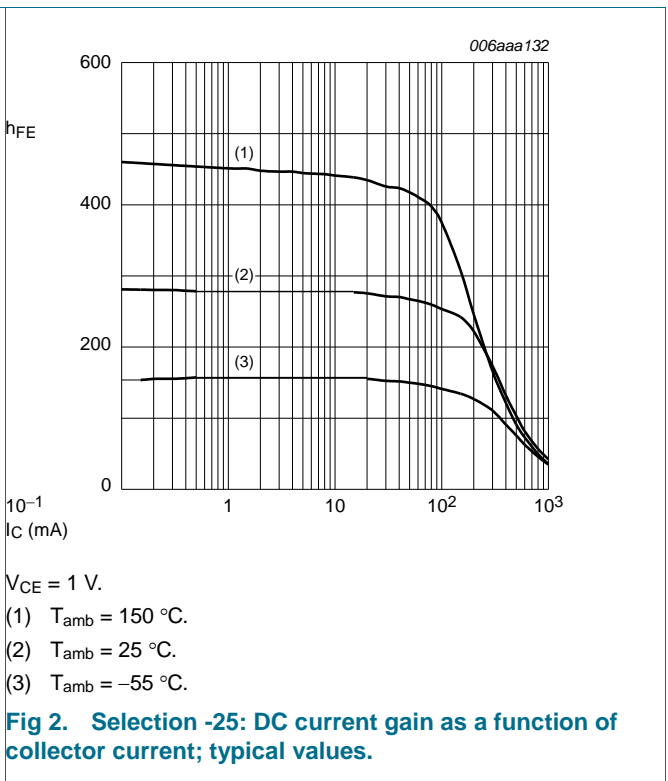
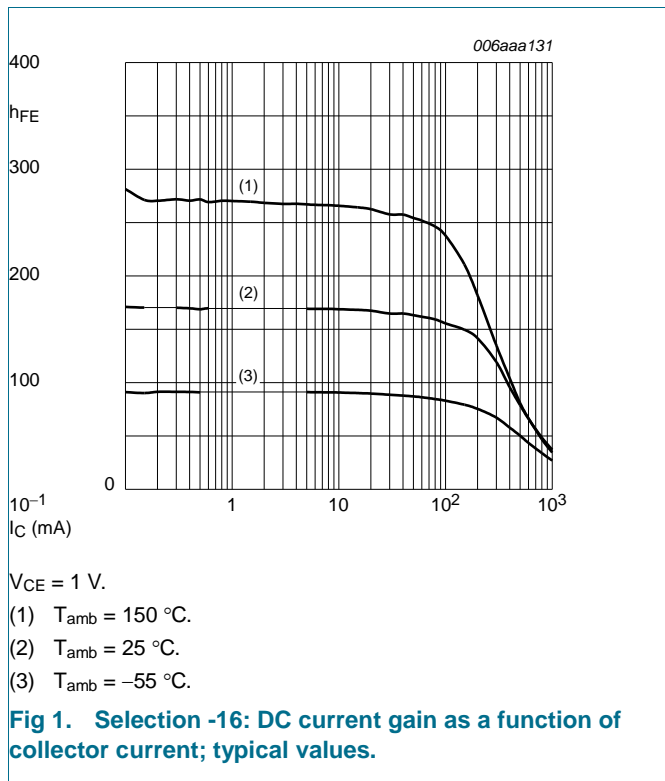
7. Characteristics

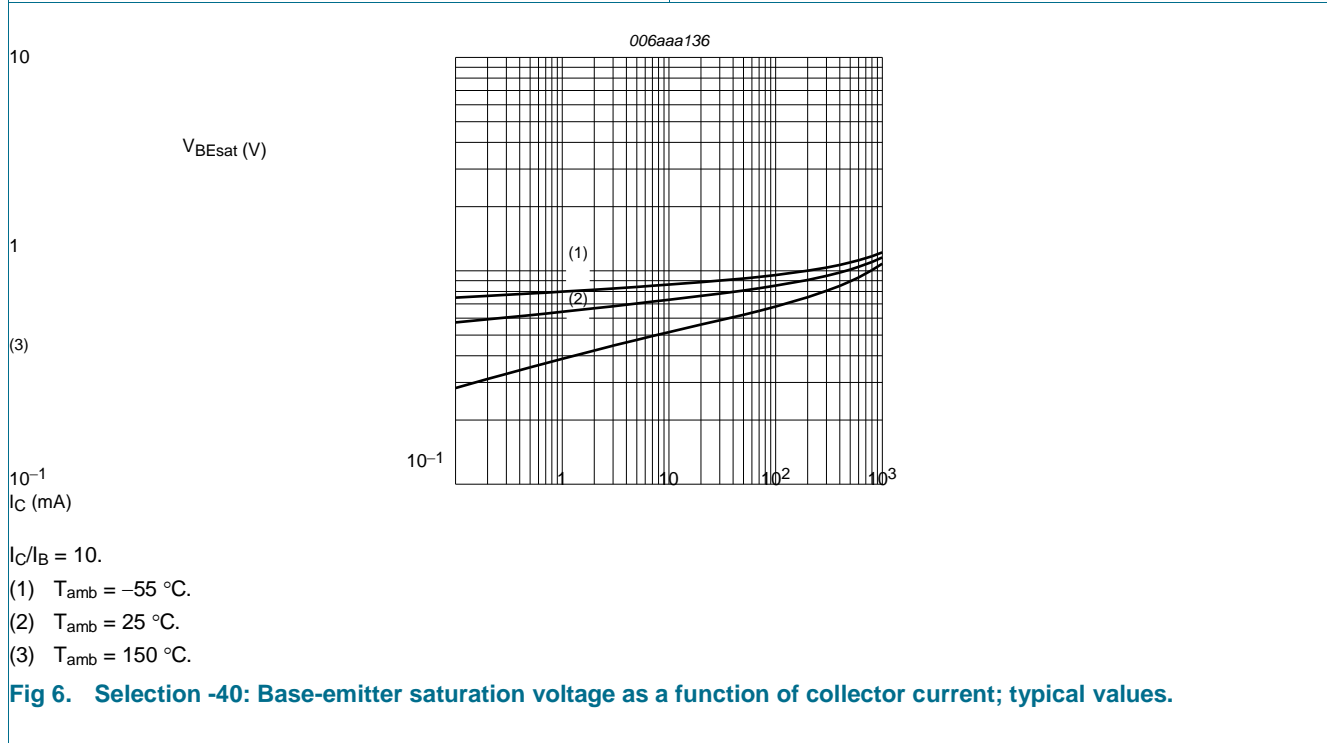
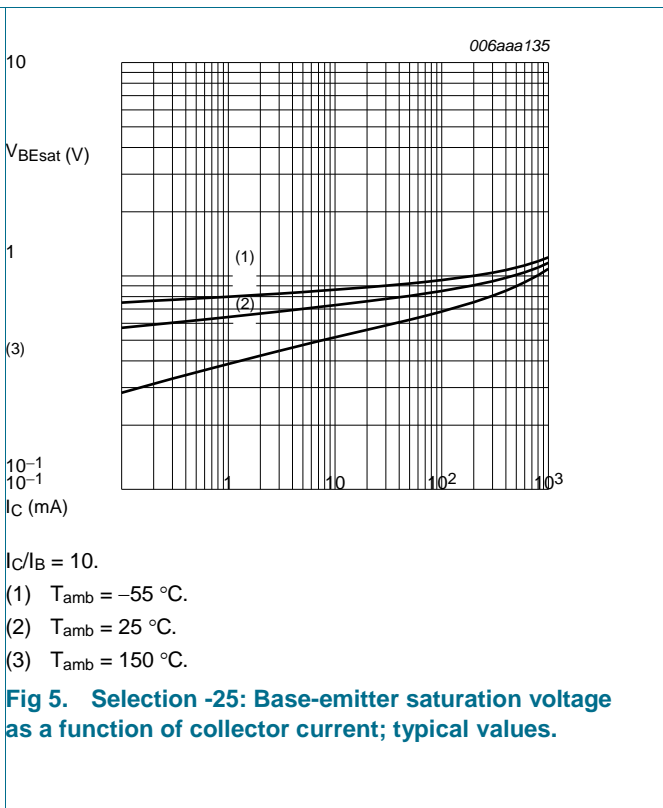
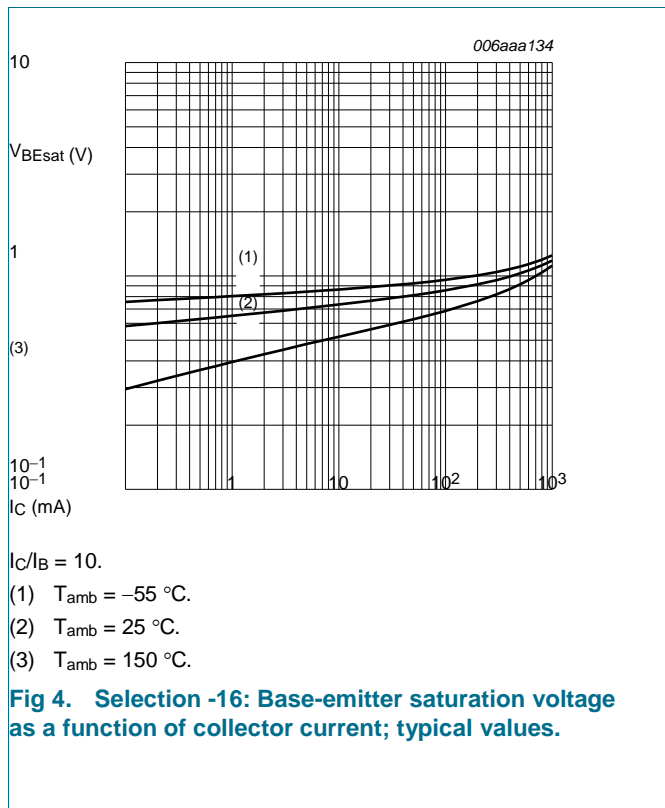
Table 8: Characteristics
 $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified.

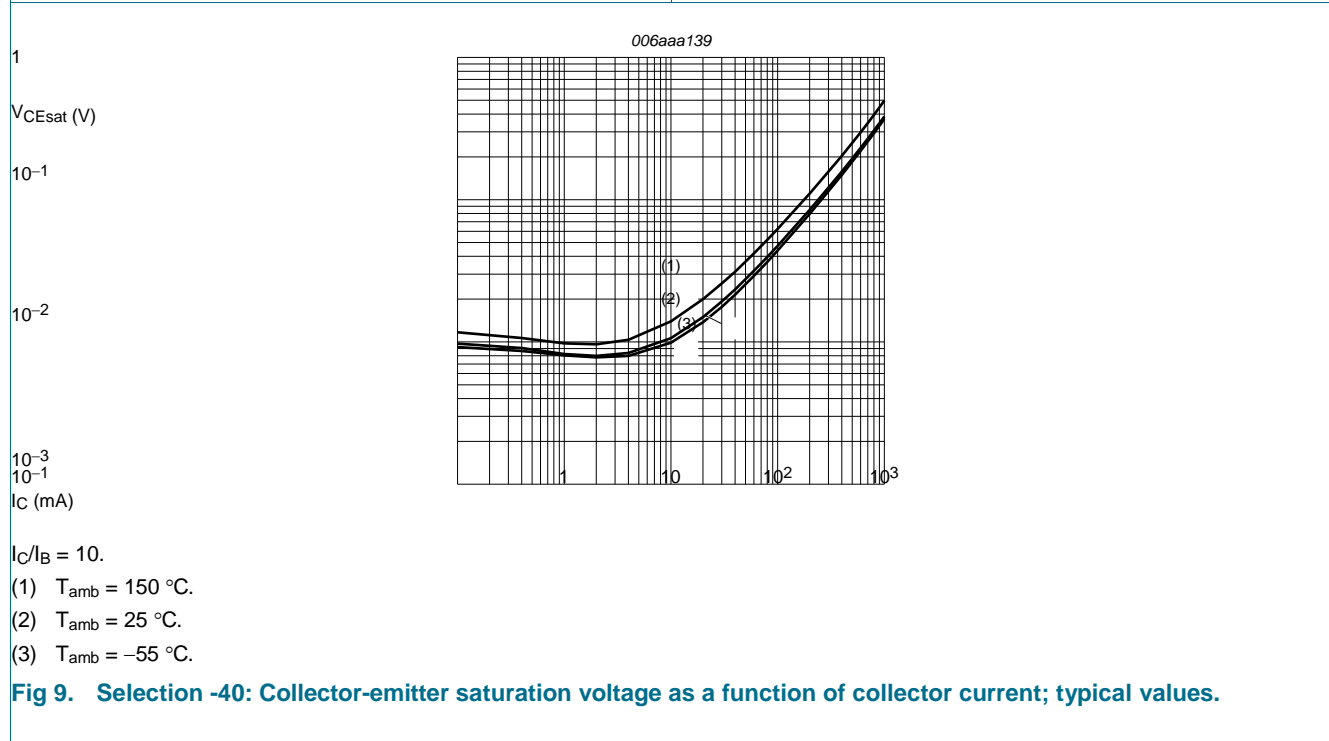
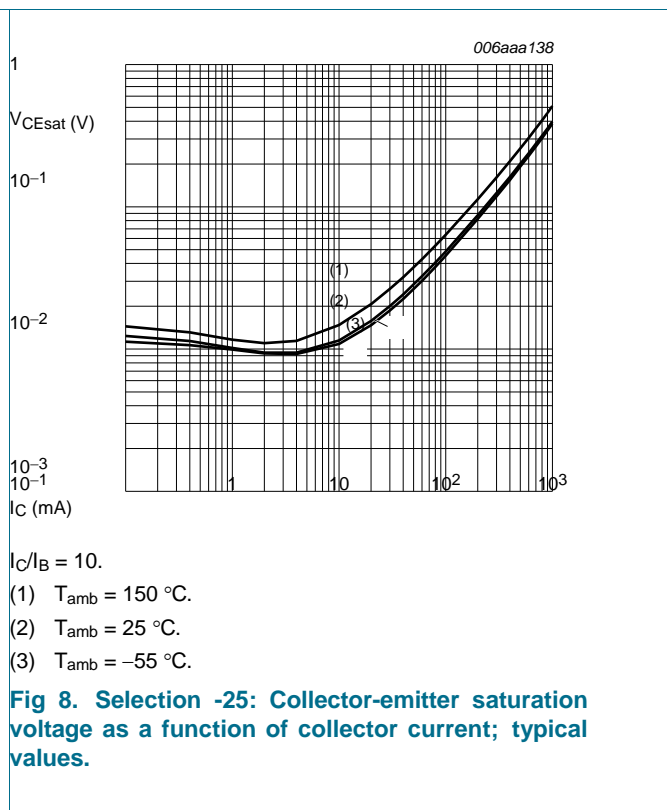
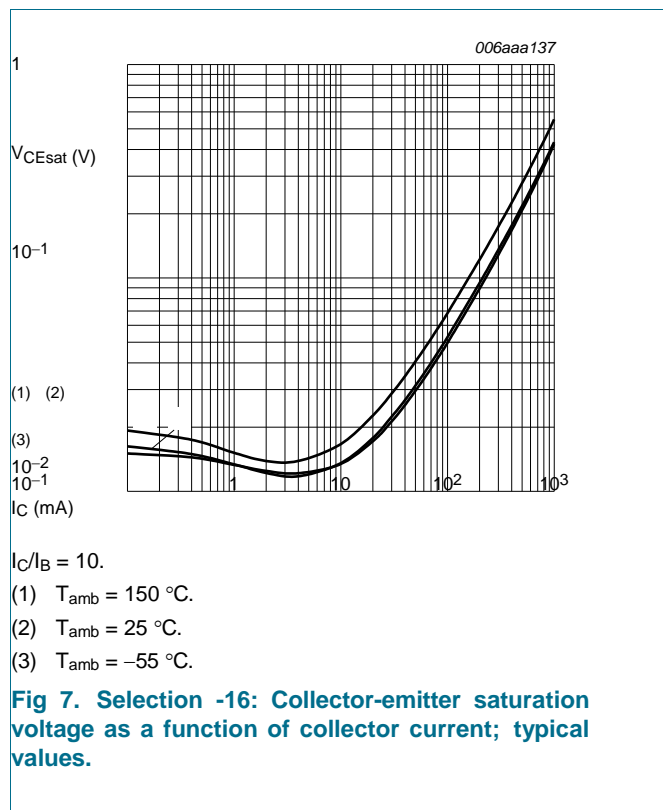
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
I_{CBO}	collector-base cut-off current	$I_E = 0\text{ A}; V_{CB} = 20\text{ V}$	-	-	100	nA
		$I_E = 0\text{ A}; V_{CB} = 20\text{ V}; T_j = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	-	5	μA
I_{EBO}	emitter-base cut-off current	$I_C = 0\text{ A}; V_{EB} = 5\text{ V}$	-	-	100	nA
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 100\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V}$	[1]			
BC817; BC817W; BC337			100	-	600	
BC817-16; BC817-16W; BC337-16			100	-	250	
BC817-25; BC817-25W; BC337-25			160	-	400	
BC817-40; BC817-40W; BC337-40			250	-	600	
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V}$	[1] 40	-	-	
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage	$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}$	[1] -	-	700	mV
V_{BE}	base-emitter voltage	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V}$	[2] -	-	1.2	V
C_c	collector capacitance	$I_E = I_C = 0\text{ A}; V_{CB} = 10\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	-	3	-	pF
f_T	transition frequency	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	100	-	-	MHz

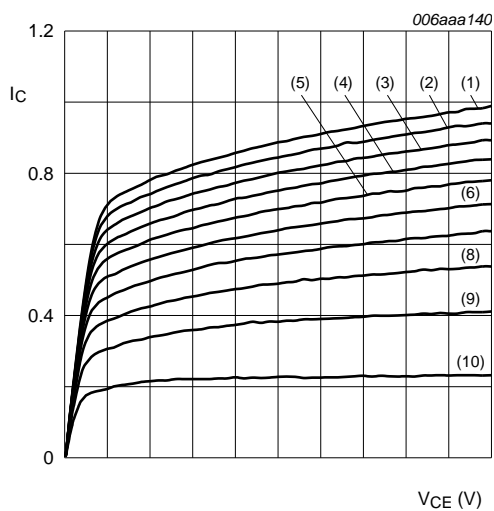
[1] Pulse test: $t_p \leq 300\text{ }\mu\text{s}; \delta \leq 0.02$.

[2] V_{BE} decreases by approximately 2 mV/K with increasing temperature.





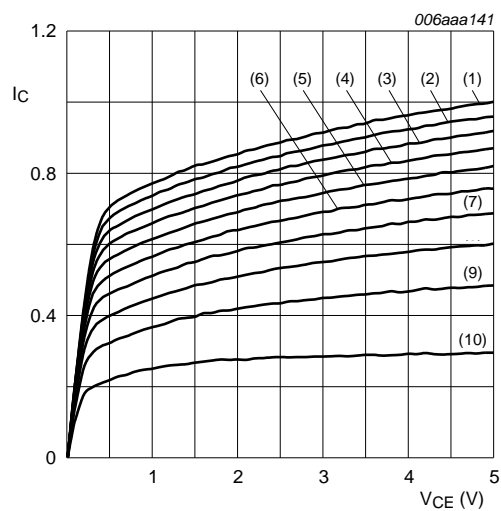




$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$.

- (1) $I_B = 16.0\text{ mA}$.
- (2) $I_B = 14.4\text{ mA}$.
- (3) $I_B = 12.8\text{ mA}$.
- (4) $I_B = 11.2\text{ mA}$.
- (5) $I_B = 9.6\text{ mA}$.
- (6) $I_B = 8.0\text{ mA}$.

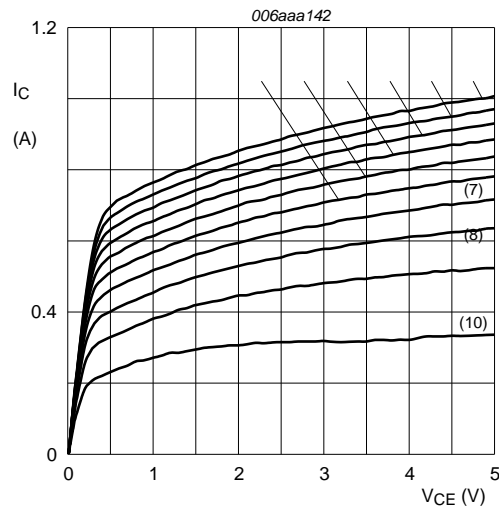
Fig 10. Selection -16: Collector current as a function of



$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$.

- (1) $I_B = 13.0\text{ mA}$.
- (2) $I_B = 11.7\text{ mA}$.
- (3) $I_B = 10.4\text{ mA}$.
- (4) $I_B = 9.1\text{ mA}$.
- (5) $I_B = 7.8\text{ mA}$.
- (6) $I_B = 6.5\text{ mA}$.

Fig 11. Selection -25: Collector current as a function of



$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. (1) $I_B = 12.0\text{ mA}$.

(2) $I_B = 10.8\text{ mA}$.

(3) $I_B = 9.6\text{ mA}$.

(4) $I_B = 8.4\text{ mA}$.

(5) $I_B = 7.2\text{ mA}$.

(6) $I_B = 6.0\text{ mA}$.

8. Package outline

Plastic surface mounted package; 3 leads

SOT23

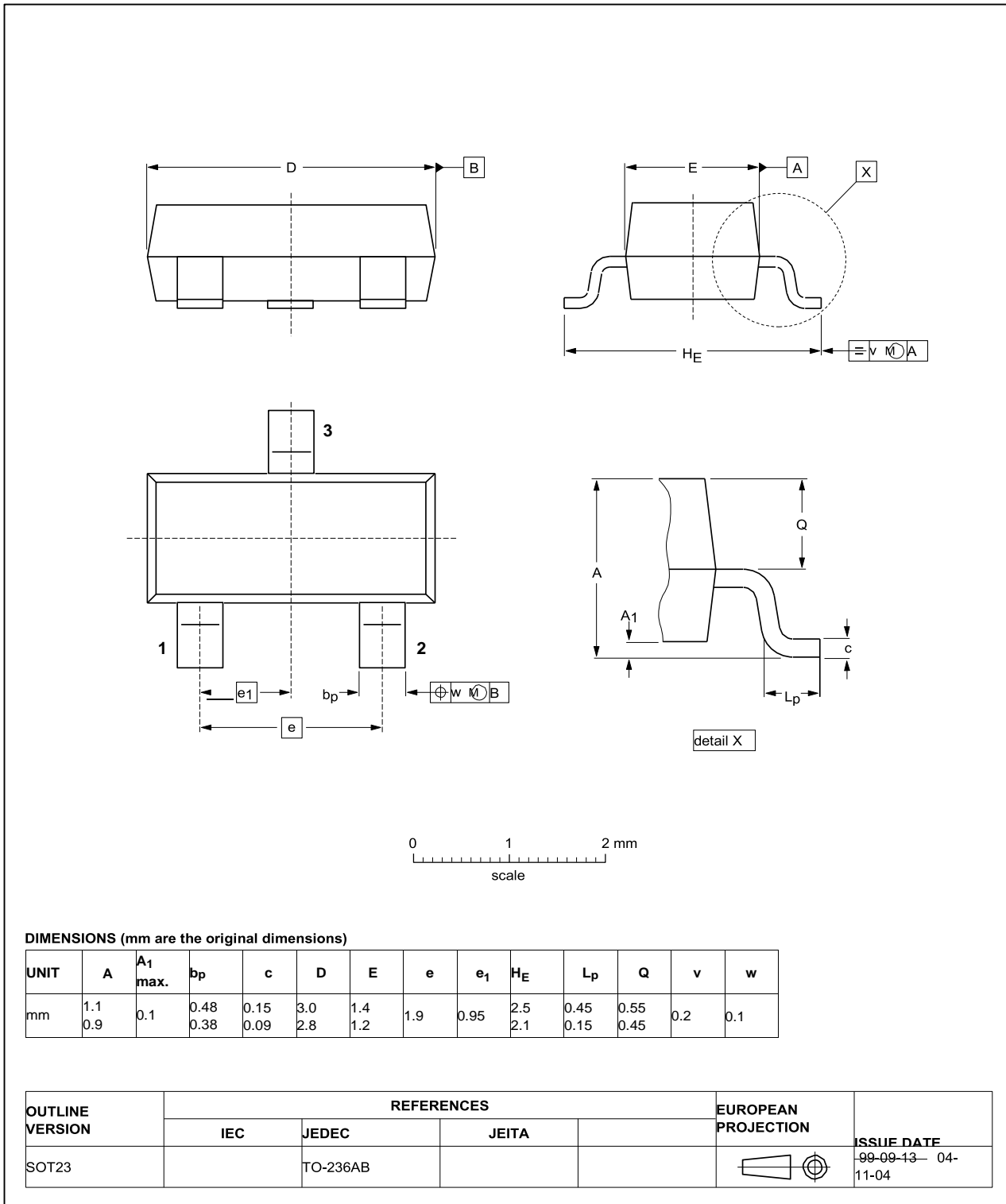


Fig 13. Package outline SOT23 (TO-236AB).

Plastic surface mounted package; 3 leads

SOT323

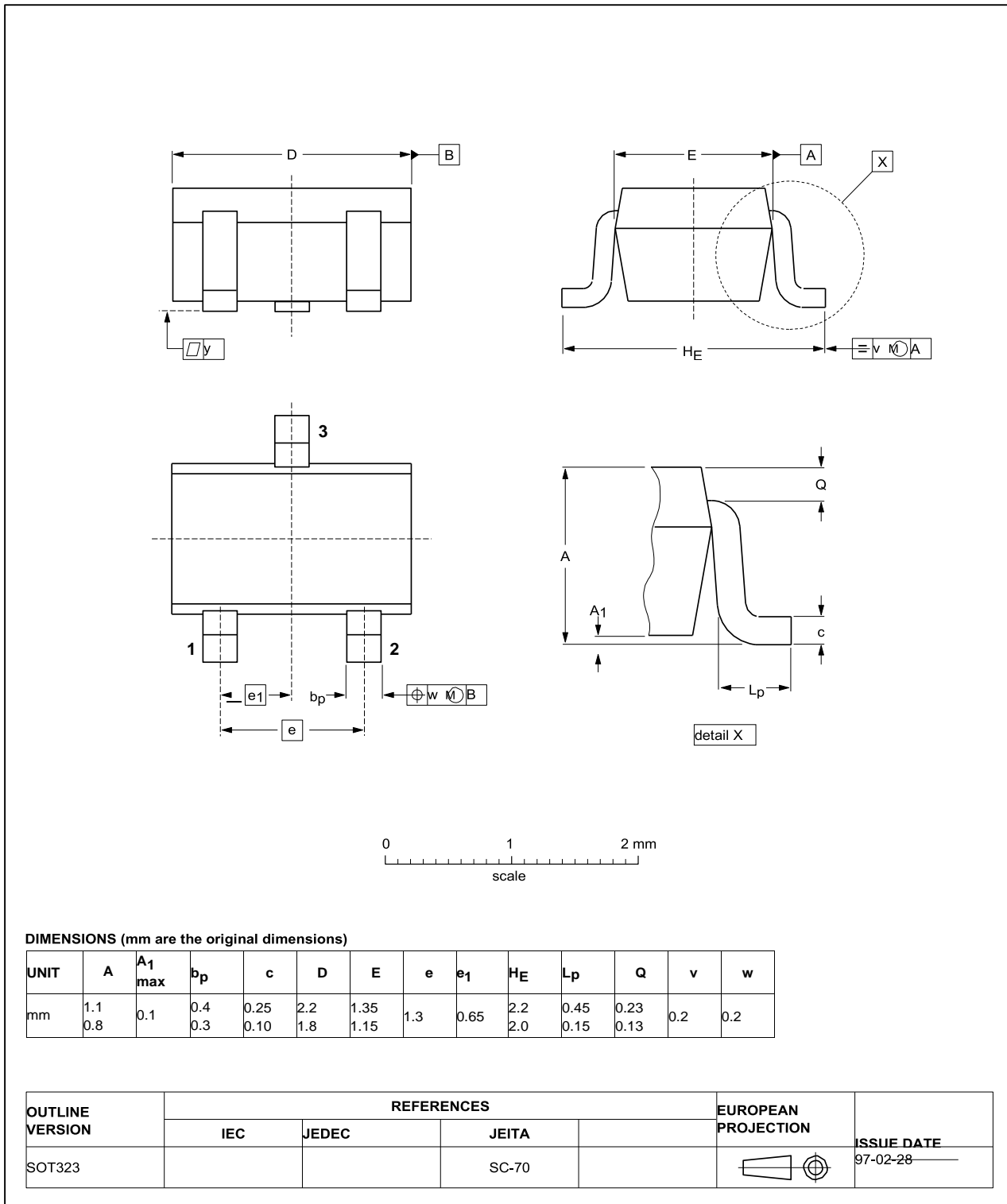
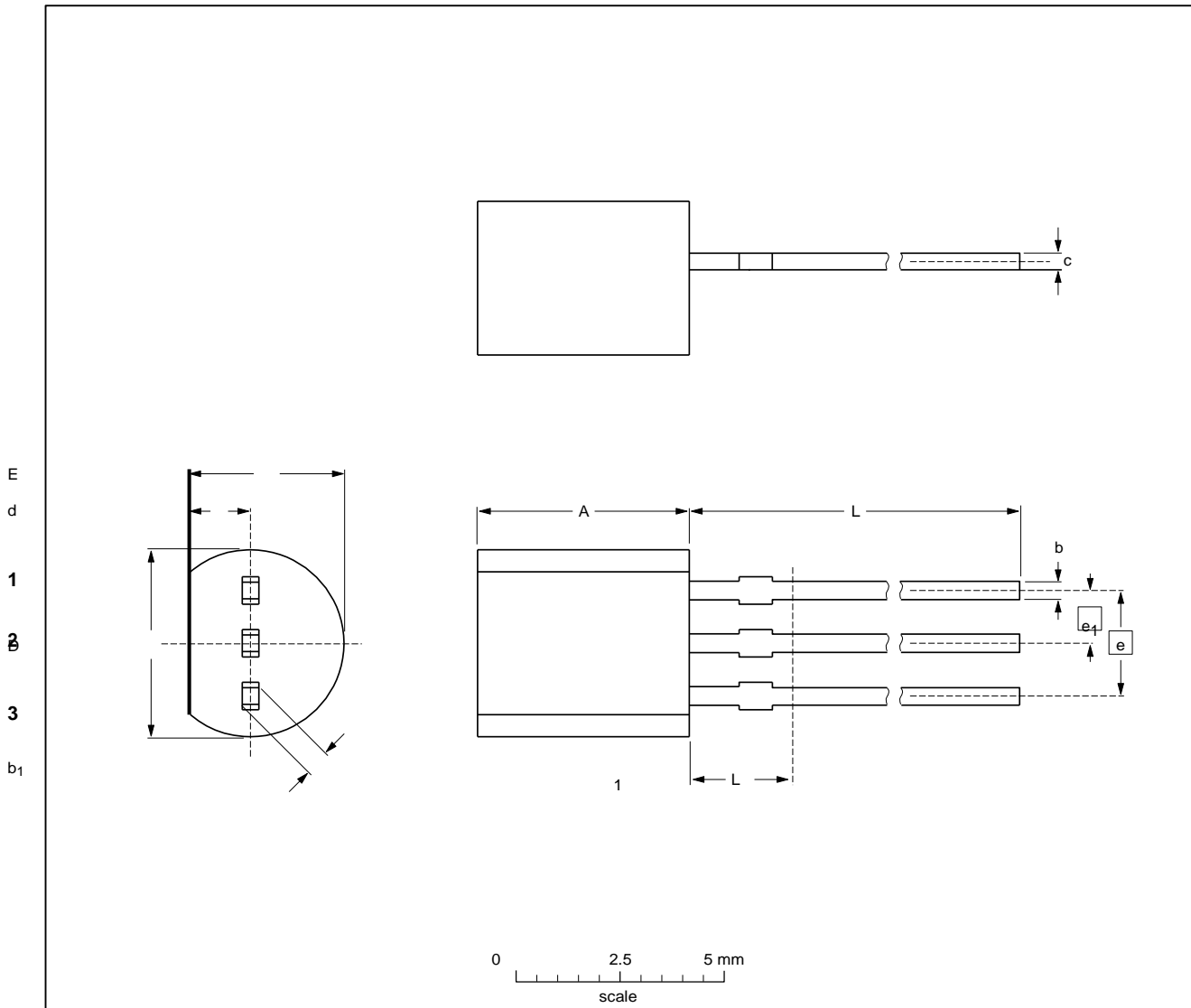


Fig 14. Package outline SOT323 (SC-70).

Plastic single-ended leaded (through hole) package; 3 leads

SOT54



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A	b	b ₁	c	D	d	E	e	e ₁	L	L ₁ ⁽¹⁾ max.
mm	5.2	0.48	0.66	0.45	4.8	1.7	4.2	2.54	1.27	14.5	2.5
	5.0	0.40	0.55	0.38	4.4	1.4	3.6			12.7	

Note

1. Terminal dimensions within this zone are uncontrolled to allow for flow of plastic and terminal irregularities.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	JEITA		
SOT54		TO-92	SC-43A		04-06-28 04-11-16

Fig 15. Package outline SOT54 (SC-43A/TO-92).

Plastic single-ended leaded (through hole) package; 3 leads (wide pitch)

SOT54A

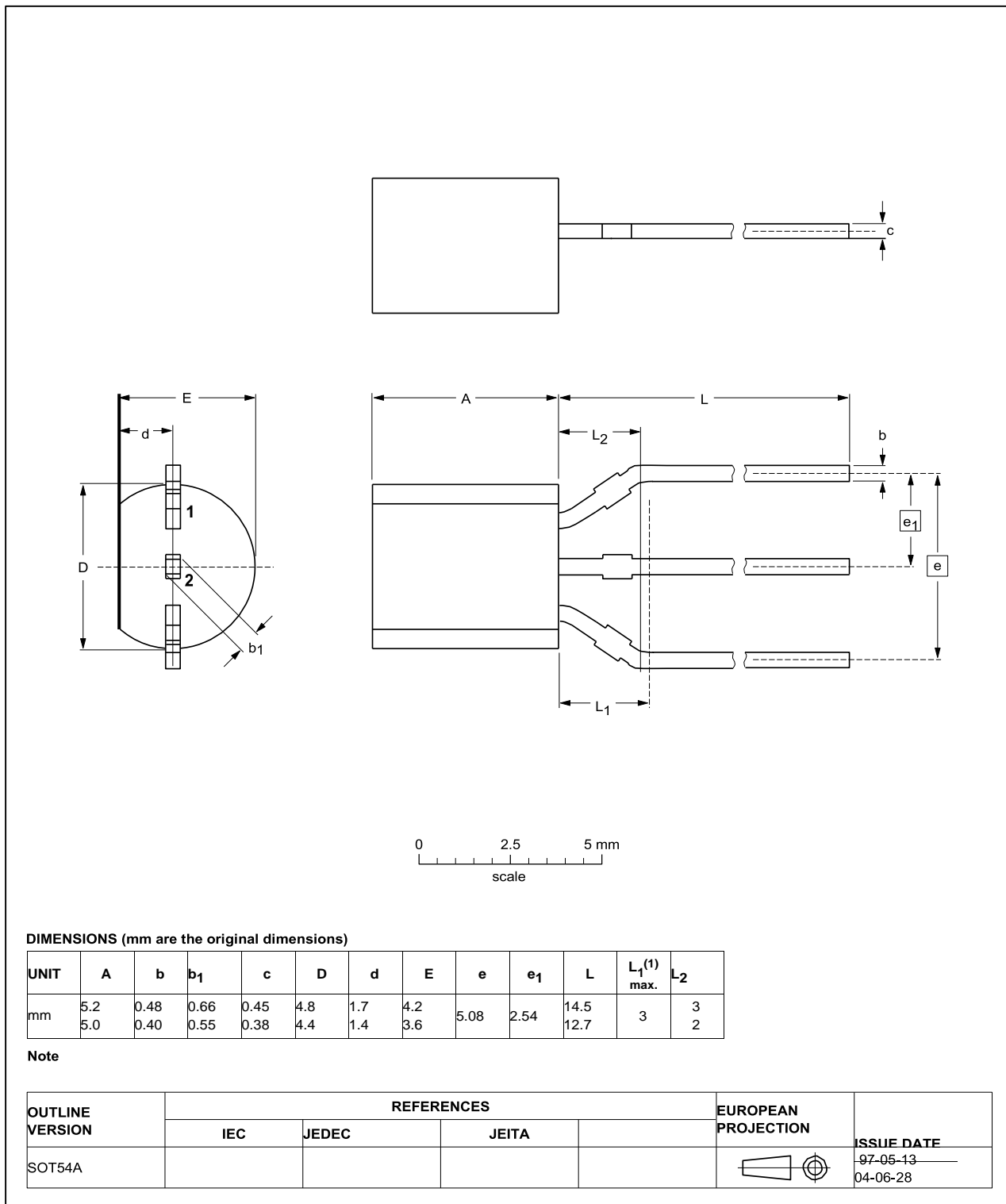
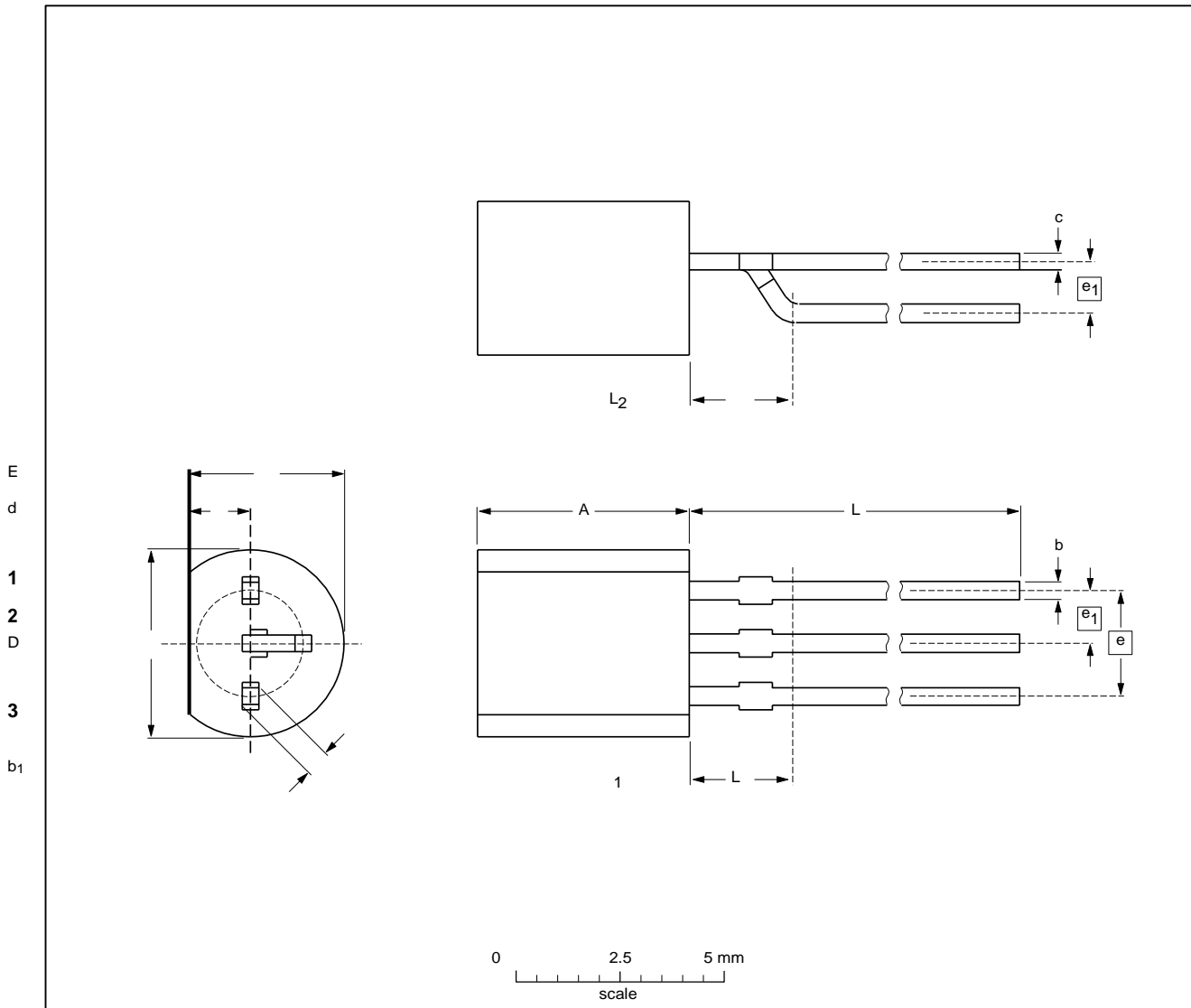


Fig 16. Package outline SOT54A.

Plastic single-ended leaded (through hole) package; 3 leads (on-circle)

SOT54 variant



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A	b	b ₁	c	D	d	E	e	e ₁	L	L ₁ ⁽¹⁾ max	L ₂ max
mm	5.2 5.0	0.48 0.40	0.66 0.55	0.45 0.38	4.8 4.4	1.7 1.4	4.2 3.6	2.54	1.27	14.5 12.7	2.5	2.5

Note

1. Terminal dimensions within this zone are uncontrolled to allow for flow of plastic and terminal irregularities.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	JEITA		
SOT54 variant					04-06-28

Fig 17. Package outline SOT54 variant.

9. Packing information

Table 9: Packing methods

The indicated -xxx are the last three digits of the 12NC ordering code. ^[1] _

Type number	Package	Description		Packing quantity		
				3000	5000	10000
BC817	SOT23	4 mm pitch, 8 mm tape and reel	-215	-	-235	
BC817W	SOT323	4 mm pitch, 8 mm tape and reel	-115	-	-135	
BC337	SOT54	bulk, straight leads	-	-412	-	
BC337	SOT54A	tape and reel, wide pitch	-	-	-116	
BC337	SOT54A	tape ammopack, wide pitch	-	-	-126	
BC337	SOT 54 variant	bulk, delta pinning (on-circle)	-	-112	-	

[1] For further information and the availability of packing methods, see [Section 14](#).

10. Revision history

Table 10: Revision history

Document ID	Release date	Data sheet status	Change notice	Doc. number	Supersedes
BC817_BC817W_ BC337_5	20050121	Product data sheet	CPCN200302007F1	9397 750 14022	BC817_4; BC817W_SER_4; BC337_3

Modifications:

- The format of the data sheet has been redesigned to comply with the new presentation and information standard of Philips Semiconductors.

- This data sheet is a combination of the previous data sheets BC817_4, BC817W_SER_4 and BC337_3.
- [Table 1](#) and [2](#) added
- [Table 3](#) Discrete pinning for SOT54A and SOT54 variant added
- [Table 5](#) Marking codes for BC337, BC337-16, BC337-25 and BC337-40 added
- [Table 8](#) Typical value for C_c changed to 3 pF according to CPCN200302007F1
- [Figure 1](#), [2](#) and [3](#) amended
- [Figure 4](#), [5](#), [6](#), [7](#), [8](#), [9](#), [10](#), [11](#) and [12](#) added
 - [Figure 15](#) changed according to CPCN200405006F
 - [Figure 16](#) and [17](#) added
 - [Section 9](#) added

BC817_4	20040105	Product specification	-	9397 750 12394	BC817_3
BC817W_SER_4	20040225	Product specification	-	9397 750 11944	BC817W_SER_3
BC337_3	19990415	Product specification	-	9397 750 05676	BC337_338_CNV_2

11. Data sheet status

Level	Data sheet status ^[1]	Product status ^{[2][3]}	Definition
I	Objective data	Development	This data sheet contains data from the objective specification for product development. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification in any manner without notice.
II	Preliminary data	Qualification	This data sheet contains data from the preliminary specification. Supplementary data will be published at a later date. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification without notice, in order to improve the design and supply the best possible product.
III	Product data	Production	This data sheet contains data from the product specification. Philips Semiconductors reserves the right to make changes at any time in order to improve the design, manufacturing and supply. Relevant changes will be communicated via a Customer Product/Process Change Notification (CPCN).

[1] Please consult the most recently issued data sheet before initiating or completing a design.

[2] The product status of the device(s) described in this data sheet may have changed since this data sheet was published. The latest information is available on the Internet at URL <http://www.semiconductors.philips.com>.

[3] For data sheets describing multiple type numbers, the highest-level product status determines the data sheet status.

12. Definitions

Short-form specification — The data in a short-form specification is extracted from a full data sheet with the same type number and title. For detailed information see the relevant data sheet or data handbook.

Limiting values definition — Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.

Application information — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. Philips Semiconductors make no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

13. Disclaimers

Life support — These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips Semiconductors customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips Semiconductors for any damages resulting from such application.

Right to make changes — Philips Semiconductors reserves the right to make changes in the products - including circuits, standard cells, and/or software - described or contained herein in order to improve design and/or performance. When the product is in full production (status 'Production'), relevant changes will be communicated via a Customer Product/Process Change Notification (CPCN). Philips Semiconductors assumes no responsibility or liability for the use of any of these products, conveys no license or title under any patent, copyright, or mask work right to these products, and makes no representations or warranties that these products are free from patent, copyright, or mask work right infringement, unless otherwise specified.

14. Contact information

For additional information, please visit: <http://www.semiconductors.philips.com>

For sales office addresses, send an email to: sales.addresses@www.semiconductors.philips.com

Doporučená literatura

- [1] VOBECKÝ, Jan a Vít ZÁHLAVA. *Elektronika: součástky a obvody, principy a příklady*. 2. rozš. vyd. Praha: Grada, 2001, 188 s. ISBN 80-7169-884-9.
- [2] MALINA, Václav. *Poznáváme elektroniku*. 1. vyd. České Budějovice: Kopp, 2006, 430 s. ISBN 80-7232-271-0.
- [3] SVOBODA, Emanuel. *Přehled středoškolské fyziky*. 4. uprav. vyd. Praha: Prometheus, 2006, 531 s. ISBN 80-7196-307-0.
- [4] ROUBALOVÁ, Jitka. *Elektrotechnika* [online]. Plzeň, 2015 [cit. 2016-08-15]. Dostupné z:
http://download.spstrplz.cz/automatizace_vyrobnich_procesu/2_ucebni_texty_KA1/Elektrotechnika.pdf
- [5] MIKULEC, Milan a HAVLÍČEK, Václav. *Základy teorie elektrických obvodů*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02519-5.