
ETC22 - Embedded Technology Club

ETC22C - Embedded Technology Club

Organizovaný ČVUT FEL v r. 2023 pro středoškolské studenty se zájmem o techniku a další její studium

Setkání 3, 30.10.2023

ETC22_D setkání 3, náplň

Dnešní experimenty

Fototranzistor a vyhodnocení blikání zářivek (pokud jsme to ještě nestihli)

Bipolární tranzistor NPN – spínač proudu LED ;,,*spínání proudu*“ rukou

Unipolární tranzistor – NMOSFET

Bipolární tranzistor NPN jako *zesilovač signálu* mikrofону

Zobrazit signál *pískání* pomocí osciloskopu a určit jeho frekvenci

Příští (čtvrté) setkání ETC22 - programování

Programování **Raspberry PI PICO** – graficky pomocí bloků (ti, kteří znají Python, programování pomocí Micropython)

Předběžné info

https://embedded.fel.cvut.cz/sites/default/files/kurzy/ETC22/Prednasky_ETC22_B/ETC22_2023_1_9_RP_PICO.pdf

Pro zájemce - programování **STM32G030** jako Arduino- graficky- Ardublock, případně klasicky jako Arduino.

https://embedded.fel.cvut.cz/sites/default/files/kurzy/ETC22/Prednasky_ETC22_B/presentation_etc.pdf

https://embedded.fel.cvut.cz/sites/default/files/kurzy/ETC22/Prednasky_ETC22_B/abl_getting_started.pdf

Teorie - měření proudu – opakování, info

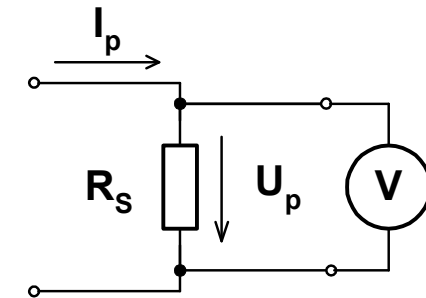
Napětí označení	U jednotka	V – volt
Proud	I jednotka	A – ampér
Odpor	R jednotka	Ω – ohm
Vodivost	G jednotka	S – Siemens

$$G = \frac{1}{R}$$

Měření proudu I_P – nepřímo podle měření spádu napětí U_P na snímacím rezistoru R_S .

Využít Ohmův zákon

$$I_P = \frac{U_P}{R_S}$$

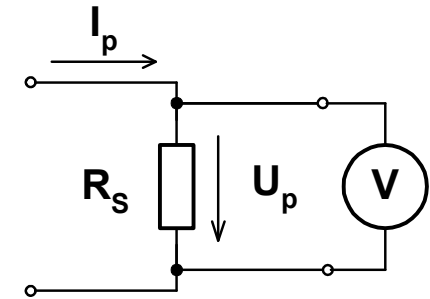


Museli bychom však použít **dělení**, což při počítání „z paměti“ není optimální, při použití **vodivosti G_S** však postačuje **násobení**.

$$I_P = \frac{U_P}{R_S} = U_P \cdot G_S$$

Měření proudu , info

U nás v ETC22 máme **malé proudy**, tedy používáme jednotky **miliampéry mA** (tisíciny Ampéru), prourčení velikosti proudu obvykle používáme R_S v řádu **stovek Ω** , nejčastěji **$R_S = 470 \Omega$** (příp. $235 \Omega = 2 \times 470 \Omega$ paralelně).



Pro zjednodušení výpočtu určíme **vodivost G_S** snímacího **rezistoru**.

$$G_S = \frac{1}{R_S} = \frac{1}{470} = 0,00213 \cong 0,002 \text{ S} = 2 \text{ mS}$$

$$G_S = \frac{1}{R_S}$$

Hodnotu **0,00213 S** (Siemens) **zaokrouhlíme** na $0,002 \text{ S} = 2 \text{ mS}$ (*milisiemens*)

Toto odpovídá situaci, jako bychom místo **odporu 470Ω** používali **500Ω** .

Pro zjednodušení - **dělení 500** nahradíme **násobením** $\times 0,002 \text{ A}$, resp **2 mA**

$I_P = 2 \times U_P$ pro proud **v miliampérech**, (např. $U_P = 1 \text{ V}$, pak $I_P \sim 2 \text{ mA}$), proud pak určíme zjednodušeným výpočtem:

$$I_P = U_P \cdot G_S = U_P \cdot 0,002 \text{ [A]}$$

$$I_P = U_P \cdot G_S = U_P \cdot 2 \text{ [mA]}$$

Měření napětí a proudu – info

Pro určení proudu **místo dělení napětí odporem** 500Ω
nahradíme násobením vodivosti $0,002 \text{ S}$ (Siemens)

Otázka.:

Na rezistoru 470Ω je spád **napětí** $U_p = 0,75 \text{ V}$, jaký **proud** jím teče ?

Odpověď: přibližně. $I = 0,75 \times 2 = 1,5 \text{ mA}$,

(Přesně to je $1,596 \text{ mA}$, tedy to je malá jen odchylka oproti odhadu $1,5 \text{ mA}$ přípustná pro náš odhad velikosti proud, např. při nastavování proudu LED).

Toto můžeme využít např. při měření tranzistoru, určení jeho kolektorového proudu.

Měření napětí a proudu – info

Při řadě experimentů, typicky **při hrubém nastavování proudu** často nepotřebujeme znát zcela přesně jeho velikost, ale postačuje přibližná hodnota.

Úkol - máme **nastavit proud LED $I = 3 \text{ mA}$** , je použit snímací **rezistor $R_S = 470 \Omega$** .
Jaké napětí U_P má být na snímacím rezistoru R_S , pokud **velikost odporu** pro zjednodušení výpočtu **zaokrouhlíme** na **$R_S = 500 \Omega$** ,

$$U_P = R_S \cdot I_P = 470 \cdot I_P \cong 500 \cdot I_P \quad [\text{V}, \Omega, \text{A}]$$

$$U_P = R_S \cdot I_P = 0,47 \cdot I_P \cong 0,5 \cdot I_P \quad [\text{V}, \Omega, \text{mA}]$$

Tedy pro **proud $I_P = 0,5 \text{ mA}$** bude na snímacím rezistoru **napětí $U_P = 0,25 \text{ V}$** ,
pro **1 mA** bude **$0,5 \text{ V}$** , pro **2 mA** napětí **1 V** , pro **3 mA** napětí **$1,5 \text{ V}$** ,..

Otázka: Má se nastavit proud **$I_P = 0,8 \text{ mA}$** , jaké bude **přibližně napětí** (při použití **zjednodušeného výpočtu**) na snímacím rezistoru **$R_S = 470 \Omega$** ?

Určete sami hodnotu.

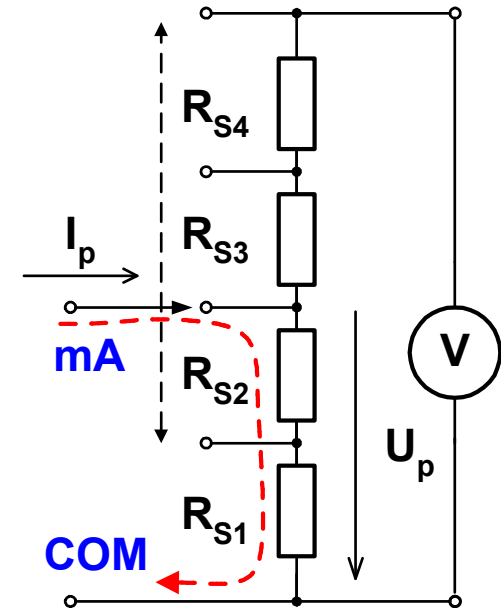
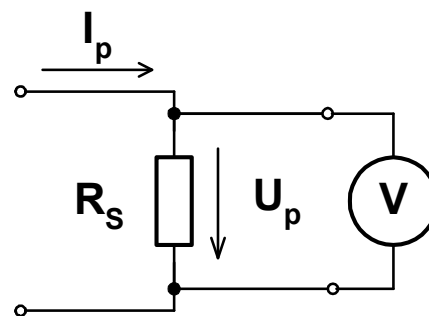
Měření proudu multimetrem- info

Číslicové multimetry – jejich základní verze, mívají základní rozsah **voltmetru 0,2 V**.

Měření proudu podle úbytku napětí na snímacím rezistoru R_S . **Vstupní odpor vlastního („vnitřního“) voltmetru je velmi vysoký – v řádu řádu desítek $M\Omega$** , proud proto teče jen přes snímací rezistor R_S , který je rozdělen na více částí.

Aktuálně zařazené rezistory (dle obr.) $R_{S1} + R_{S2}$ musí mít součet odporů takový, aby při daném maximálním proudu pro daný proudový rozsah na nich vznikl úbytek 0,2 V

Pozn.: Přepínání proudového rozsahu je přepínáním odbočky- z toho vyplývá přerušení měřicího odbodu při přepínání proudového rozsahu.



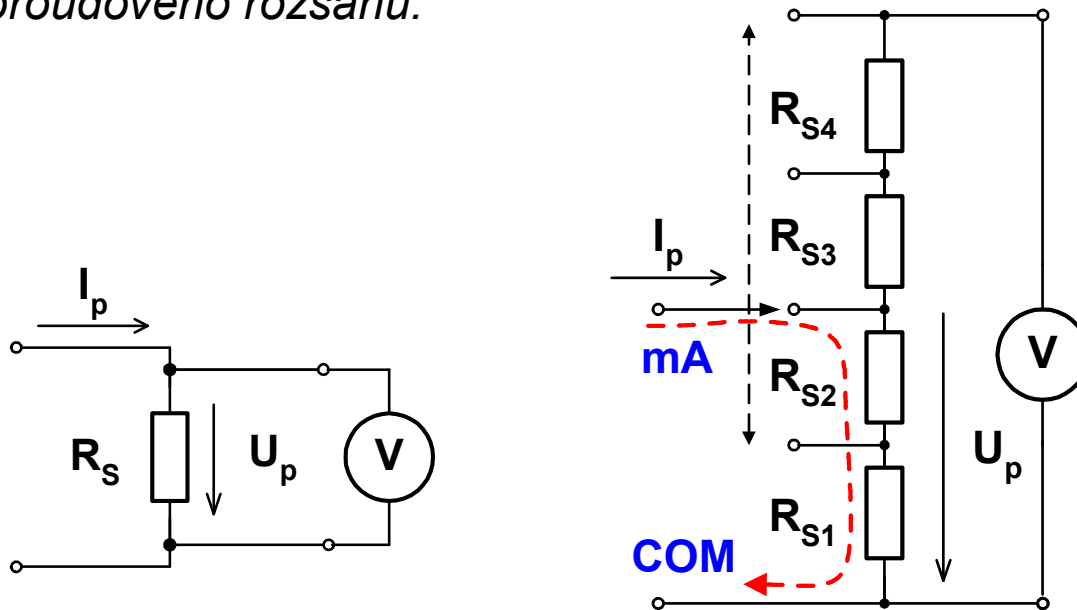
Měření proudu multimetrem- info

Číslicové multimetry – jejich základní verze, mívají základní rozsah voltmetru 0,2 V.

Měření proudu podle úbytku napětí na snímacím rezistoru R_S . Vstupní odpor vlastního („vnitřního“) voltmetru je velmi vysoký – v řádu řádu desítek $M\Omega$, proud proto teče jen přes snímací rezistor R_S , který je rozdělen na více částí.

Aktuálně zařazené rezistory (dle obr.) $R_{S1} + R_{S2}$ musí mít součet odporů takový, aby při daném maximálním proudu pro daný proudový rozsah na nich vznikl úbytek 0,2 V

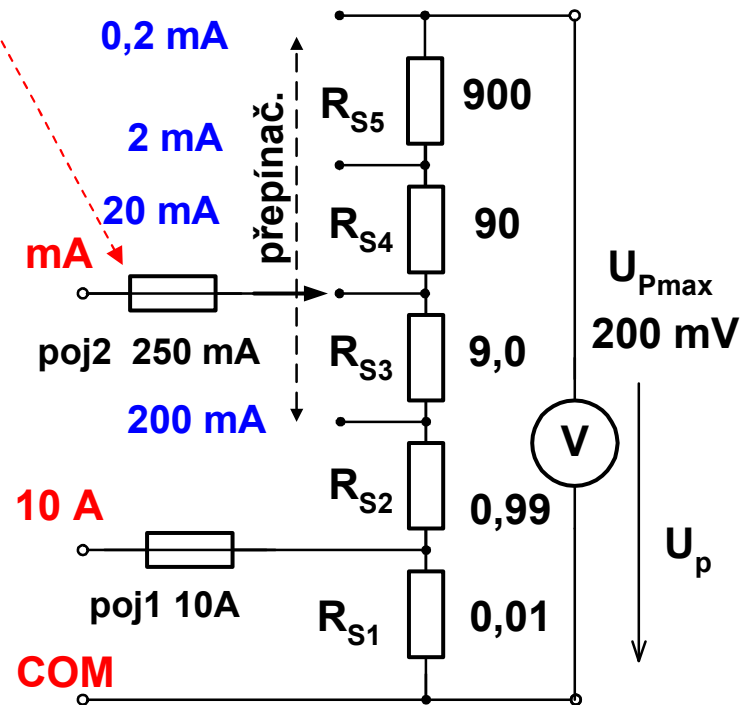
Pozn.: **Přepínání** proudového rozsahu je přepínáním odbočky - z toho vyplývá přerušení měřicího odbodu při přepínání proudového rozsahu.



Měření proudu multimetrem PDM 300 A1, **info**

Pro ilustraci – konkrétní **zapojení obvodů** pro měření proudu multimetru **PDM 300 A1**.

Pozn.: Při měření proudu na rozsahu **200 mA** se u multimetru **PDM 300 A1** již nezanedbatelným způsobem **uplatní odpor pojistky poj2**. Tak např. při proudu **200 mA** na multimetru bude **spád napětí větší než očekávané 0,2 V** (např. i 0,4 V, 0,5 V,..). **Podobně to je i u dalších multimetrů.**



Opakování - Fototranzistor a jeho použití v ETC22

Fototranzistor- FT je polovodičový prvek, kde velikost proudu jím protékajícího závisí na intenzitě dopadajícího světla.

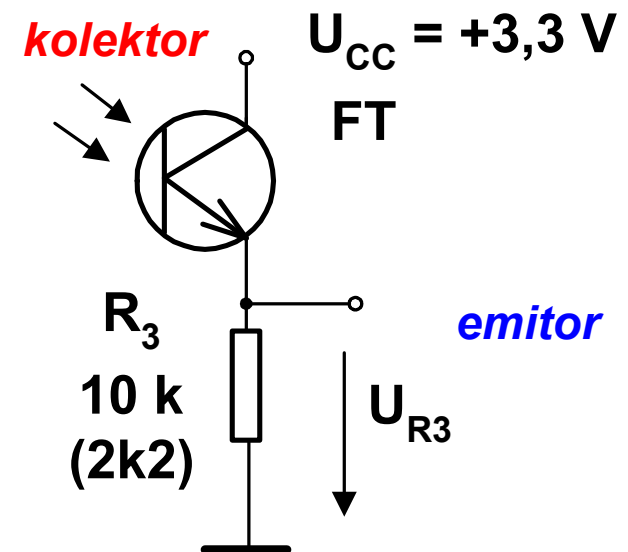
Velmi často umístěn v průhledném plastovém pouzdře jako LED

Kolektor má *kratší vývod* a na pouzdře je *značka- ploška*

FT *při přepólování* – je citlivost podstatně menší (200x až 500x) oproti citlivosti při správném zapojení) .

Rezistor R_3 převádí proud fototranzistoru na napětí U_{R3} , které měříme voltmetrem,

Používáme fototranzistor v pouzdře o průměru 3 mm pro odlišení od LED



Sledování „blikání zářivek“ pomocí FT a osciloskopu

Fototranzistor nasměrovat k zářivkám v místnosti A3-115

Nastavení: **Osciloskop**, Ch1, Sampling rate např. **10 kHz**,
trigger nejdříve „**Auto trigger**“, pak podle potřeby posuvníkem
upravit napět'ovou úroveň pro trigger, zvolit např. „**rising edge**“, a
vypnout „atotrigger“

Určit a zapsat si frekvenci, kterou blikají zářivky nebo levné žárovky LED.

Námět pro domácí experimenty- zkusit doma, zda Vaše LED / žárovky“
doma „blikají“, či „neblikají“.

Levné LED „ žárovky“ (na rozdíl od kvalitních typů s elektronickým měničem)
používají pro omezení proudu často používají pouze kondenzátor,
proud LED je pak **impulsní s periodou 10 ms**.

Pozn.: Klasická zářivková tělesa s tluminkami mají „blikavé světlo“. Modernější typy
s elektronickým předřadníkem mají stálé světlo. Podobně některé levné typy
„úsporných žárovek“- se zářivkou sice používají elektronický předřadník, avšak s
nedostatečnou filtrací usměrněného síťového napětí, proto také částečně blikají.

Opakování - Fototranzistor a jeho demonstrace

Námět na domácí experimenty

Minimální zapojení pro demonstraci funkce fototranzistoru

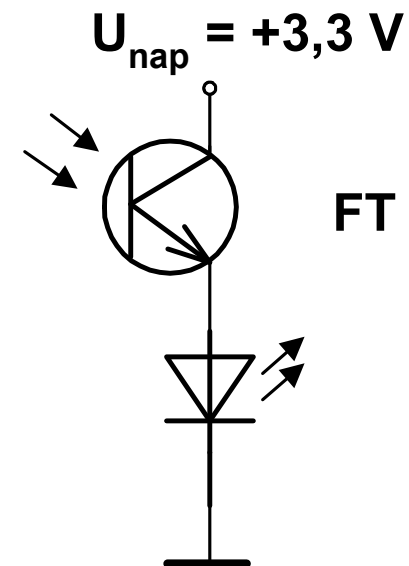
Použít čirou **modro- zelenou LED**, která svítí již i při malém proudu

Osvícením fototranzistoru se slabě rozsvítí i LED. Pro napájení lze použít i **napětí + 5 V**, nebo

Emitor fototranzistoru (delší vývod) je napojen na anodu LED. (delší vývod). Kratší vývod LED (katoda) zapojit na GND, kratší vývod fototranzistoru (kolektor) na zapojit na + napájení.

Poznámka- co dělat, „**když to nefunguje**“:

Zkontrolovat, zda v zapojení nejsou prohozeny vývody.



Tranzistory – proč je v ETC22 zmiňujeme

Máme mikropočítač (např. naše G0- lab, nebo Arduin, Raspberry PI PICO, nebo Raspeberry PI) **a potřebujeme jím řídit otáčky motorku, ovládat světla, generovat hlasité zvuky, ovládat různé akční členy,...**

To **mikroporocesor sám nezvládá**, je schopen svými výstupními piny generovat **jen malé proudy** v řádu jednotek mA miliampérů **a musíme proto použít pomocné „posilovací“ obvody.**

Podobně v automobilu – jsou řídicí procesory, ale akční zásahy musí být přes další pomocné obvody- např. stahování okének,).

<https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor>

Tranzistory – druhy

Existují tzv. **bipolární** tranzistory a **unipolární** tranzistory.

V mikroprocesorech jsou unipolární tranzistory MOSFET – řízené elektrickým polem - proto také FET - **Field Effect Transistor**.
Zkratka MOS pochází ze slov **Metal Oxid Semiconductor**, která vyjadřují strukturu tranzistoru.

V ETC22 si vyzkoušíme **bipolární** tranzistory NPN typu BC546, BC547 (pro nás **to je stejné** - liší se jen maximálním povoleným napětím) a tranzistory řízené polem N MOSFET s kanálem vodivosti typu N, typu BS170.

Tranzistor NPN použijeme pro **zesílení malého proudu** tekoucího do **báze**.

*Velmi zjednodušeně řečeno - v případě, že by proud do báze tranzistoru NPN (s hledem na konkrétní zapojení) byl velký, přejde tranzistor do **režimu spínače**. Velikost proudu kolektoru pak bude omezena pouze vnějším obvodem (zjednodušeně - jeho odporem) .*

Další texty pro studium

Pro přednášky máme v ETC22 velmi malý prostor.

V této prezentaci jsou vloženy také části, na něž ve výkladu při přednášce není čas, ale poslouží pro případné vysvětlení pro zájemce při vlastním studiu.

Tyto slide jsou označeny jako *info*. *Zde uvedené informace mohou být využity pro další domácí experimenty.*

Pro první seznámení s problematikou **tranzistorů** lze využít také knížku **Martin Malý: Hradla, volty, jednočipy Úvod do bastlení, od str. 121**
https://knihy.nic.cz/files/edice/hradla_volty_jednocipy.pdf

Bipolární tranzistor NPN

Tranzistor NPN použijeme pro **zesílení** malého **proudu** tekoucího báze.

Velmi zjednodušeně řečeno - v případě, že by proud do báze (s hledem na konkrétní zapojení) byl velký, přejde tranzistor do **režimu spínače**.

Velikost proudu kolektoru pak bude omezena pouze vnějším obvodem (zjednodušeně - jeho odporem) .

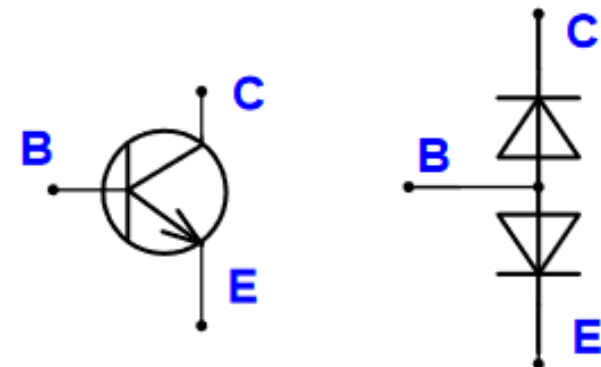
Tranzistor NPN budeme používat také jako **spínač** proudu do LED nebo jako **zesilovač** signálu (zesilovač malého proudu)

Diodový model tranzistoru – vhodný pro experimenty při hledání (rozlišení) vývodů.

B – Báze

E – Emitor

C – Kolektor



Bipolární tranzistor

Bipol. Tranzistor můžeme chápat jako prvek,

kde velikostí (změnami) malého proudu, I_B , který pouštíme do báze (a vytéká dále emitorem), řídíme

velikost (změny) „velkého“ proudu kolektoru I_C , který může vtékat do kolektoru a vytéká pak emitorem.

Poměr velikosti těchto proudů (v lineární oblasti funkce) určuje stejnosměrný proudový zesilovací činitel (*nakrátko*).

$$\beta = h_{21E} = h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

Označujeme jej jako „beta“ β , nebo také h_{21E} (v anglosaké literatuře jako h_{FE}). Velikost β námi používaných tranzistorů BC547 C je cca 400 až 600.

Takto můžeme chápat zesílení malého proudu tranzistorem více též

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Solids/trans.html#c1>

Základní parametry tranzistoru NPN typu BC546

Aby do báze **tekl proud**, musí být napětí U_{BE} (napětí mezi bází a emitorem) alespoň **0,6 V**.

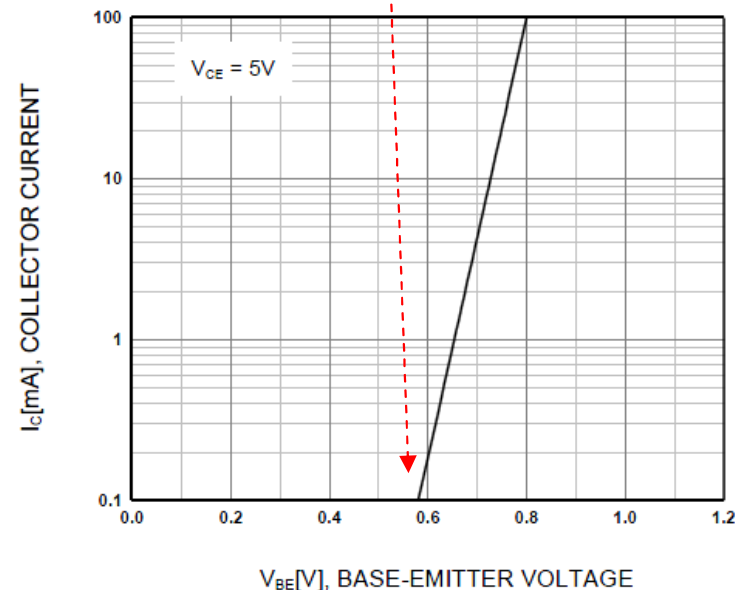
(Analogie – proud vody přes přepad přehrady - až při dosažení dané výšky bariéry)

Pod $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$ proud bází (téměř) **neteče**

Nad $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$ stačí malá změna napětí a **prudce narůstá** proud báze I_B a následně **roste i proud kolektoru I_C**

Závěr – bipolární tranzistor NPN
řídíme **proudem do báze-**
ze zdroje napětí – přes
rezistor

závislost I_C na napětí U_{BE}



Charakteristika tranzist. BC546 – info

Osa X napětí mezi kolektorem a emitorem U_{CE}

Osa Y proud kolektoru I_C

Parametrická **soustava** charakteristik,
kde parametrem je velikost
proudu báze

Z grafu je zřejmé, že při proudu
báze $I_B = 50 \mu\text{A}$ (0,05 mA) je
proud kolektoru **konstantní**
 $I_C = 12,5 \text{ mA}$ a **nezávisí** na
velikosti napětí U_{CE} .

(Čára charakteristika je téměř
rovnoběžná s osou X)

Tomu odpovídá proudový
zesilovací činitel

$$h_{21E} = \beta = 12,5 / 0,05 = 250$$

Velikostí **proudu báze** můžeme
řídit velikost **proudu kolektoru**

závislost I_C na I_B

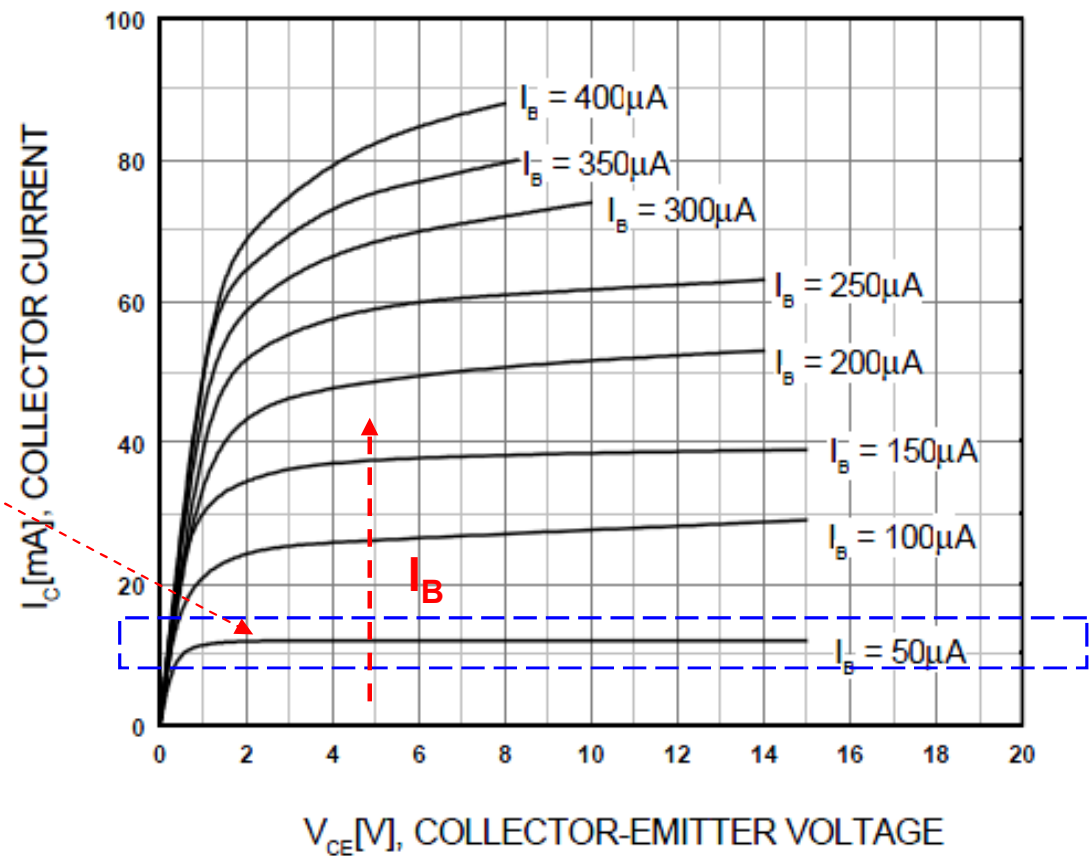


Figure 1. Static Characteristic

Určení zesilovacího činitele tranzist. NPN info

Určit zesílení proudu tranzistorem (stejnoseměrný proudový zesilovací činitel), parametr h_{21E} . Malý proud báze se tranzistorem zesílí. Typická hodnota h_{21E} v řádu set.

Velikost proudu báze – jako rozdíl napájecího napětí a napětí na bázi (cca $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$) děleno R_B .

TI. – kontakt vodičem – pro rozpojení obvodu. Demonstrace funkce rozsvícení a zhasnutí LED. Využijeme v dalším experimentu

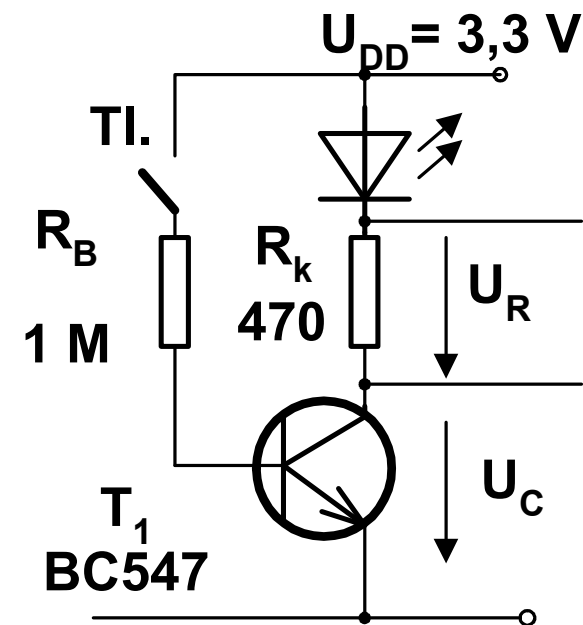
Proud kolektoru – jako spád napětí na R_k , použít Ohmův zákon.

Otázka, jaký proudový zesilovací činitel nakrátko β (beta), také h_{21E} má náš tranzistor ?

$$I_B = (U_{DD} - U_{BE}) / R_B$$

$$I_B = (U_{DD} - 0,6) / R_B$$

$$\beta = h_{21E} = \frac{I_C}{I_B}$$



Bipolární tranzistor jako **spínač**, určení I_B , **info**

Jáký **maximální proud** by mohl téci („přes“) **červenou LED obvodu** (níže), pokud by se **místo tranzistoru** zapojila **propojka** (zkrat vodičem jako **spínač**)?

Předpokládejme **napětí na LED** $U_F = 1,9 \text{ V}$

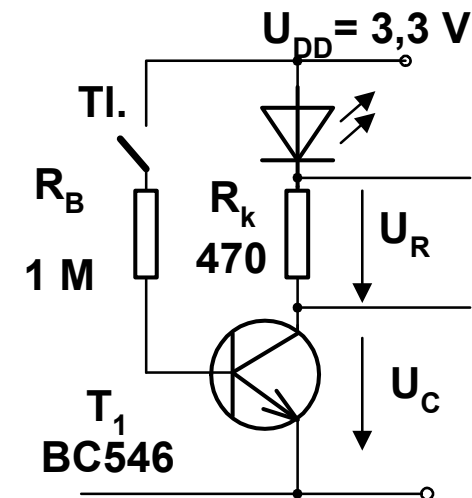
$$I_C = \frac{U_{DD} - U_F}{R_K} = \frac{3,3 - 1,9}{470} = 2,98 \approx 3 \text{ mA}$$

Pokud bychom chtěli tento **spínač nahradit tranzistorem**, musí **umožnit průchod proudu tak, že jej téměř nebude omezovat**.

(analogie otevření hlavního uzávěru vody ve sklepě)

Zvolíme tak **velký proud I_B do báze**, že by tranzistoru **umožnil proud kolektoru např. až $I_C = 30 \text{ mA}$** . K tomu potřebujeme $I_B = 0,12 \text{ mA}$.

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{30}{250} = 0,12 \text{ mA} = 0,00012 \text{ A}$$

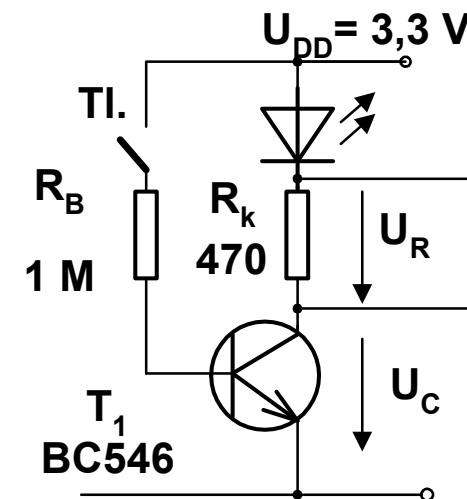


Bipol. tranzistor jako **spínač**, určení R_B info

Určení velikosti R_B , pro spolehlivé **sepnutí tranzistoru** předpoklad $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$ napětí mezi bází a emitorem tranzistoru a volíme $I_B = 0,12 \text{ mA}$.

$$R_B = \frac{U_{DD} - U_{BE}}{I_B} = \frac{3,3 - 0,7}{0,00012} = 21\,666 \, \Omega$$

Vychází $R_B = 21666 \, \Omega$, zvolíme např. $R_B = 10 \text{ k}$, pak $I_B = 0,26 \text{ mA}$, což s velkou **rezervou** zajistí **spolehlivé sepnutí** tranzistoru. Umožnilo by to spolehlivě spínat i větší proud – např. 26 mA .
(Volíme 10 k také proto, že jej máme)



Závěr- tranzistor můžeme použít pro **spínání**

proudu LED o velikosti, kterou by pin procesoru sám nezvládal.

Spínací tranzistor využíváme např. ,pokud budeme **pinem našeho procesoru STM32G030** ovládat blikání LED s proudem 15 mA.

Tranzistor jako spínač pro LED - info

Pro buzení LED v **optickém reflexním snímači** použijeme přímo zdroj + 5 V z něž budeme napájet LED. Impulsy proudu budeme generovat pomocí tranzistoru BC547 fungujícího **jako spínač řízený PWM**

Volby R_B např. 10 k., R_K pro dosažení proudu např. 10 mA.

Výpočet

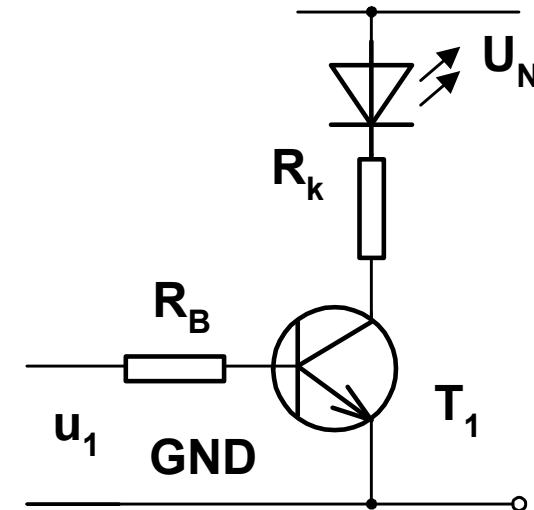
Napětí na **zelené LED** - viz předchozí měření (cca 2,5 V) **sepnutý** tranzistor $U_{CE} = 0,1 \text{ V}$

Určit velikost odporu R_K pro zvolenou velikost proudu LED a $U_N = +5 \text{ V}$

Volba R_K ... 2x 470 Ohmů paralelně, odhadnout velikost proudu a pak i změřit.

Využijme např. v dalších úlohách pokud bychom potřebovali pinem procesoru ovládat LED s proudem 15-20 mA, což je pro vlastní výstup procesorou již příliš velký proud.

(Tak lze např. u ověřit funkci reflexního snímače s větším budicím proudem LED)



Experiment. Tranzistor NPN – detektor lži

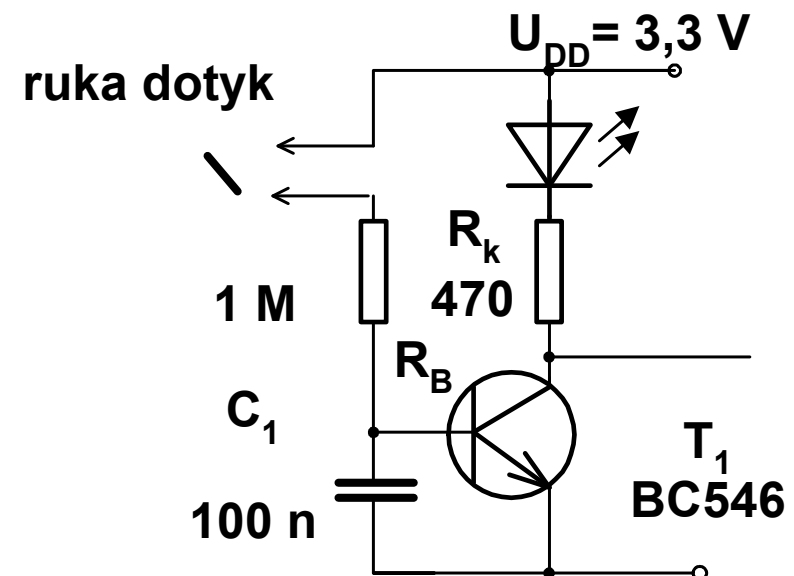
Experiment – ovládání svitu LED tranzistorem

Tranzistorem BC546 (547) **zesílit** malý proud procházející přes detekční obvod. s rezistorem R_B . Uzavřít obvod – propojkou **vodičem** a pak **přes prsty** ruky nebo i přes obě ruce – **LED bude svítit** podle odporu kůže. Je možno uzavřít obvod i přes dvě osoby (viz. „vyděřžaj pioněr“) a indikovat dotyk osob.

*Poznámka: Rušivé signály ze sítě 50 Hz („brumy“), které mohou vzniknout při dotyku ruky v místě, kde bylo tlačítko, lze odstranit; připojit **keramický kondenzátor 100 nF** (mezi bází a emitor T_1), který slouží pro filtraci rušivých signálů.*

Obvod tak bude reagovat jen na propojení obou kontaktů.

Vyzkoušejte „detektor podání ruky“



Experiment – demonstrace funkce kondenzátoru

Experiment – zpožděné zhasnutí LED s využitím NPN a kondenzátoru

Do obvodu přidáme kondenzátor $C_B = 22 \text{ M}$ (47 M) 22 mikrofaraďů

Kondenzátor přes R_O krátkodobě nabijeme, LED se **rozsvítí** a bude svítit a postupně pohasínat i po rozpojení kontaktu.

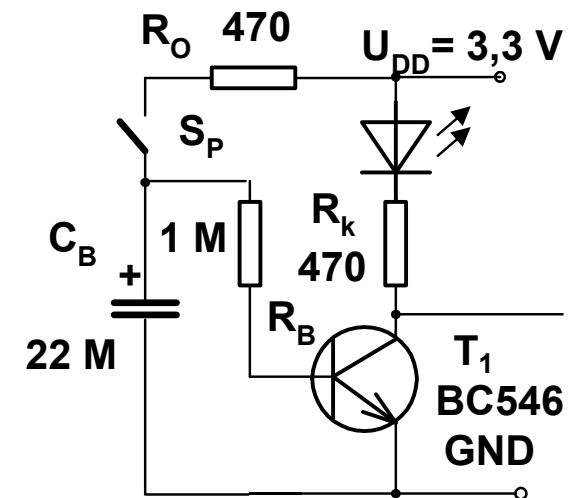
Čas prodložení svitu bude řádově desítky sekund.

Jak to funguje?

Nabijeme kondenzátor na napětí + 3,3 V

přes ochranný rezistor R_O (omezuje velikost nabíjecího proudu, může být i jiná podobná hodnota v řádu stovek Ω). Po odpojení od zdroje kondenzátor C_B poskytuje proud do báze tranzistoru a tím se také postupně vybíjí. Doba do zhasnutí souvisí c časovou konstantou obvodu $\tau = R_B \times C_B$ (22 sekund).

Zrychlení vybíjení- přidat paralelně k R_B další rezistor **1M**, případně i dva rezistory



Literatura další pro experimenty

.
Knížka- knížky (free) pro zájemce o elektroniku

https://www.talkingelectronics.com/te_interactive_index.html

Zde jsou též experimenty s bipolárními tranzistory NPN, PNP

<https://www.talkingelectronics.com/projects/200TrCcts/1-100TransistorCircuits.pdf>

<https://www.talkingelectronics.com/projects/200TrCcts/101-200TransistorCircuits.pdf>

Unipolární tranzistor, MOSFET

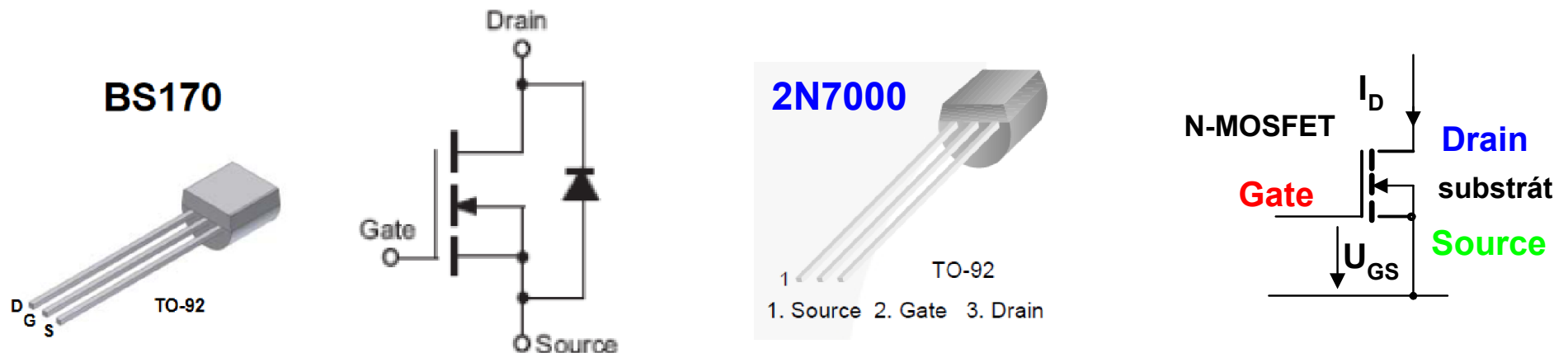
Použijeme unipolární tranzistor **BS170** řízený elektrickým polem
FET - Field Effect Transistor – tranzistor **řízeným polem**

Používáme typ s indukovaným **kanálem N**, také označovaný jako
N MOSFET tranzistor, **Metal Oxid Semiconductor**

Mezi Gate a kanálem je tenký izolant – **Oxid křemíku (pozor citlivé.)**

Mezi Gate a kanálem nemůže téci proud, kanál se ovládá pouze
elektrickým polem vyvolaným **kladným nábojem** na **Gate** proti
substrátu (v BS170 je substrát spojen s elektrodou D).

Elektrody: D – Drain, G –gate, S – source



Unipolární tranzistor, MOSFET – typy, info

V ETC22 používáme **N MOSFET** tranzistor.

Existují také typy **P MOSFET** s kanálem **P**.

My používáme „**diskrétní**“ součástku - tranzistor. V pouzdře je umístěn jediný tranzistor.

Současné **integrované obvody** (mikroprocesory, paměti, podpůrné obvody logické obvody....používají tranzistory MOSFET. Na čipu integrovaného obvodu se kombinují tranzistory **NMOSFET** a **PMOSFET**. Protože se jedná o komplementární typy (Complementar), označují se příslušné obvody, že jsou vyrobeny technologií CMOS (Komplementární MOS).

Na jednom polovodičovém **křemíkovém čipu – integrovaném obvodu** - jsou integrovány (podle typu) tisíce, miliony, desítky milionů - a více – tranzistorů MOSFET. V případě pamětí to jsou i miliardy tranzistorů.

Více:

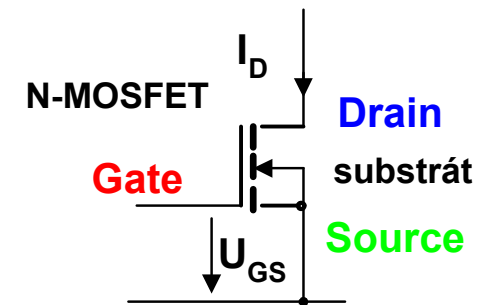
https://en.wikipedia.org/wiki/Integrated_circuit

<https://en.wikipedia.org/wiki/CMOS>

https://en.wikipedia.org/wiki/Flash_memory

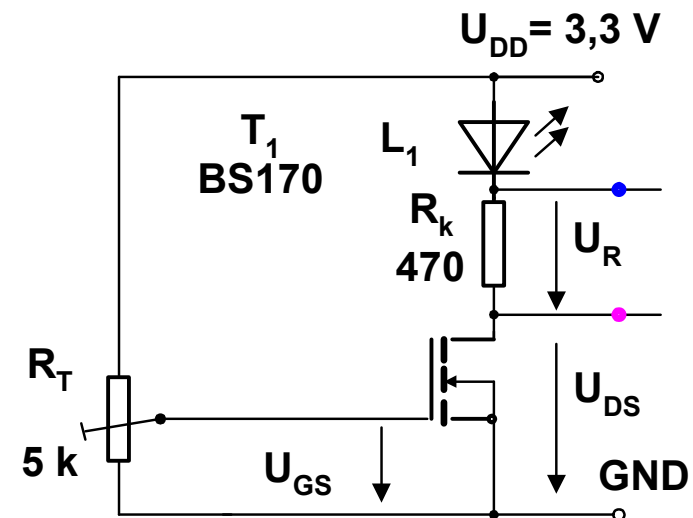
MOSFET, prahové napětí, info

V ETC22 používáme unipolární tranzistor **BS170** řízený polem FET (*Field Effect Transistor*) s indukovaným **kanálem N**.



NMOSFET FET – Field Effect Transistor – tranzistor řízeným polem

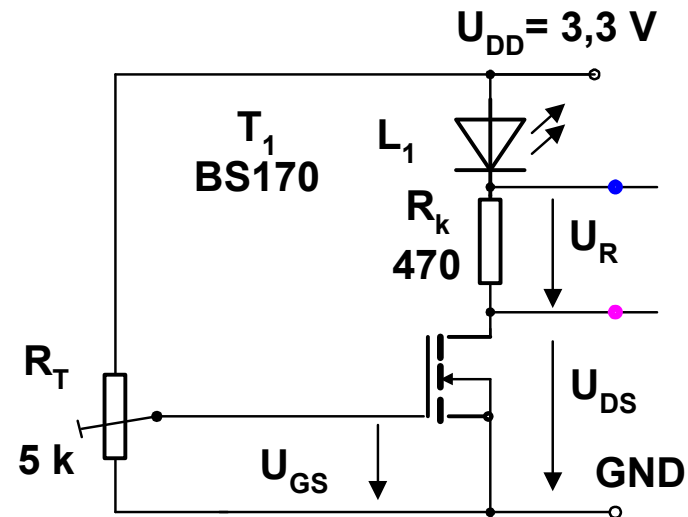
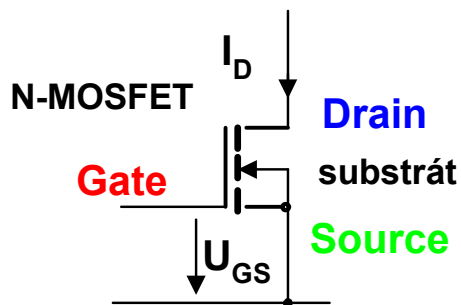
Přivedením **kladného náboje** na gate a překročení **prahového napětí** na gate - $U_{GS(th)}$ cca 2 V se v polovodiči vytvoří (indukuje) **vodivý kanál N**



MOSFET, měření **prahového napětí**, info

Měřením určit velikost **prahového napětí** $U_{GS(th)}$, při kterém tranzistor a začíná vést proud – např $I_{DS}=1$ mA , začíná **svítit LED**

Pomocí odporového potenciometrického **trimru** zvětšovat **napětí na Gate** proti **source** a **zaznamenat napětí**, při kterém začíná **svítit LED**.



Experiment, MOSFET jako spínač ON , OFF

V experimentu vyměníme **tranzistor** a místo NPN BC546 a dáme tam **BS170**.

Případně pro jednoduchost můžeme v zapojení i **ponechat** rezistor 1 M.

Vodičem **zapínáme** nebo **vypínáme** proud LED- poloha ON, OFF (přepojujeme vodič)

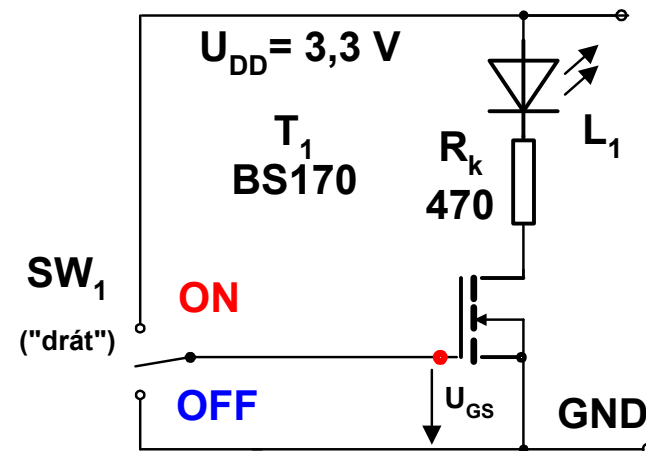
MOSFET je jako spínač, což si potvrdíme **změřením** napětí na něm při **SW₁** v poloze **ON**. LED se rozsvítí.

Experiment 2: Vodič připojíme jedním koncem na **U_{DD} = +3,3 V**, druhým koncem se na chvíli dotkneme elektrody **G gate** a dáme vodič pryč. Tranzistor by měl **zůstat sepnutý** a LED svítit. Je to působením náboje, který zůstal na G- gate.

Jen pro skutečně vážné zájemce:

Změřit napětí **U_{DSON}** (mezi source a drain), změřit napětí na **R_K**, z toho určit velikost **I_{DS}**.

Určíme odpor **R_{DSON} = U_{DSON} / I_{DS}** sepnutého tranzistor, Hodnota cca jednotky Ohmů (do 10 Ohmů).



Experiment „ovládání“ tranzistoru nabitým předmětem

Působení náboje na **GATE** - budeme demonstrovat i přiblížením plastu nabitého třením (statická elektřina).

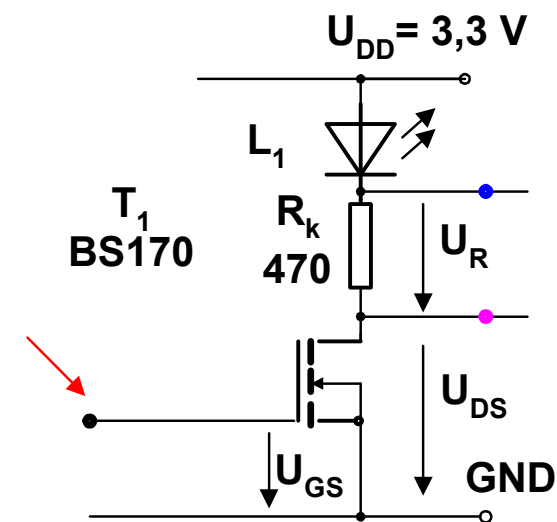
Zkusit **nabít gate** plastovým předmětem po jeho tření (statická elektřina).

Působením náboje na Gate se LED rozsvítí.

Také je možné vodičem z U_{DD} Gate nabít, LED bude svítit a dotykem prstu Gate vybit, čímž LED zhasneme. Ovládání je možné též přiblížením a vzdálením nabitého předmětu (např. naší platové dózy po tření látkou,...).

Případně i demonstrovat působení statické elektřiny, pokud je nositel nabitý (sundání svetru,..) – pouze přiblížení (ne dotyk).

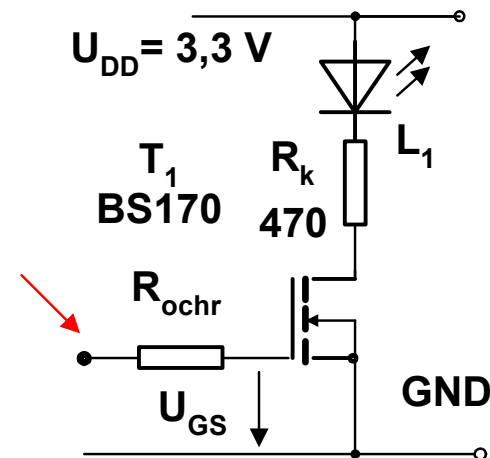
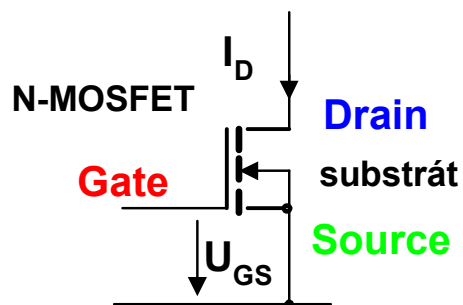
Pozn.: Tyto pokusy **mohou být i destruktivní** pokusy (prorazí se izolační vrstva oxidu mezi gate a substrátem) ale „**za tu osvětlu to stojí**“.



MOSFET a citlivost na brumy, info

Náboj lze přivést **na Gate** připojením ss (stejnoseměrného) napětí proti substrátu. V BS170 elektroda **substrát** je spojena s elektrodou **Source**.

R ochranný 1 M, **dotyk prstu na Gate**, LED se rozsvítí působením kapacitně vázaných proudů ze sítě 230 V/50 Hz – sledovat **osciloskopem** napětí na Drain- proti GND. Bude tam složka o frekvenci 50 Hz (perioda 20 ms), tzv „**brumy**“ - nízká frekvence. Tranzistor se bude spínat a rozpínat s frekvencí 50 Hz.



Porovnání zapoj. NPN BC546 a MOSFET BS170, [info](#)

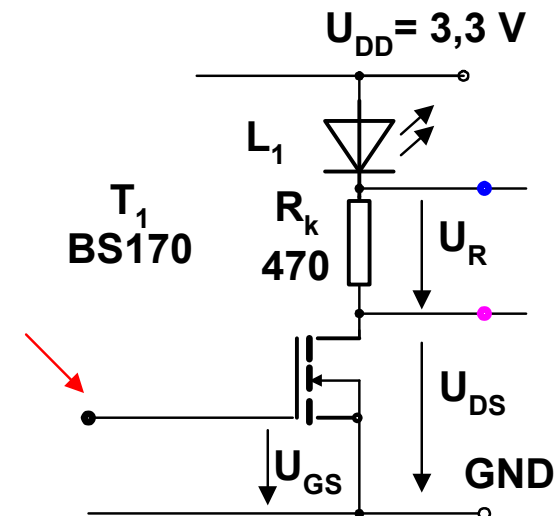
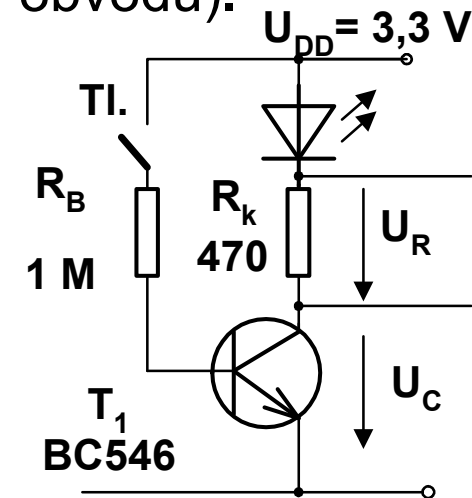
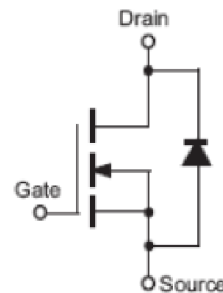
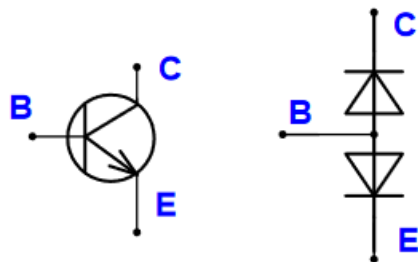
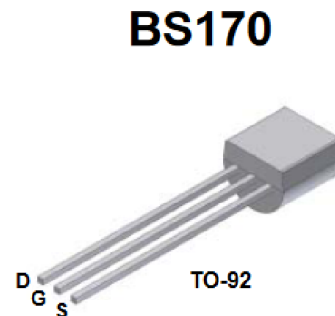
Tranzistory **BC546** a **BS170** mají podobné rozložení vývodů, které při našich experimentech z hlediska rozložení vývodů umožňuje jednoduchou a rychlou výměnu (záměnu v obvodu).

Záměna v obvodu na kontaktním poli:

B báze – **G** gate

E Emitor – **S** Source

C Kolektor – **D** Drain



MOSFET jako spínač s pamětí, info

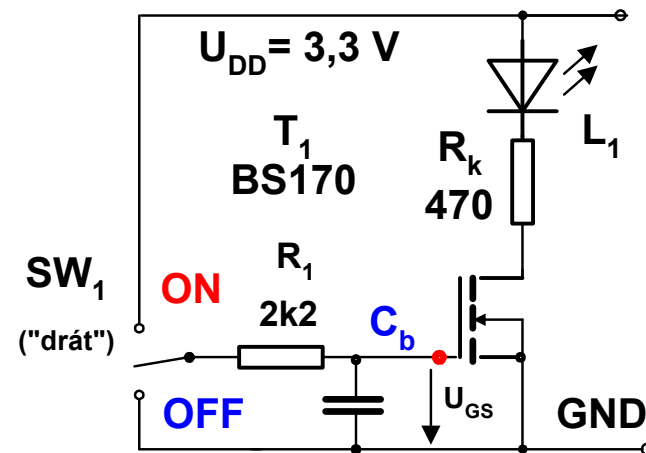
Všimneme si, že „tranzistor si pamatuje“ minulý stav- náboj na Gate i při odpojení vodiči (ani **ON**, ani **OFF** poloha).

Tranzistor funguje jako **paměťový tranzistor**- jeho stav sepnutý nebo nesepnutý se určil nabitím gate nebo vybitím gate.

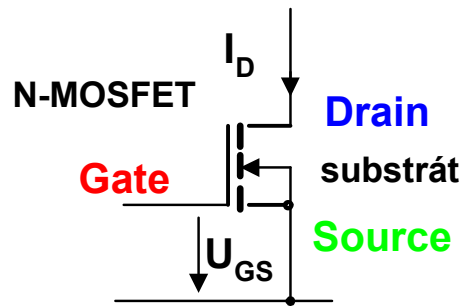
Toto je podoba principu **dynamických pamětí** v PC, mobilech, tabletech (DRAM, DDR,DDR2, DDR3,..)

Lze zapojit i „paměťový“ polyesterový kondenzátor C_B (100 nF), bude si „pamatovat“ i několik dní po vypnutí napájení.

Po opětovném zapnutí obvod bude indikovat stav, jaký měl před vypnutím.



Unipolární tranzistor NMOSFET, srovnání s NPN, info



Závislost proudu I_{DS} na napětí U_{DS} s parametrem U_{GS} u NMOSFET BS170

Parametr napětí na gate U_{GS}

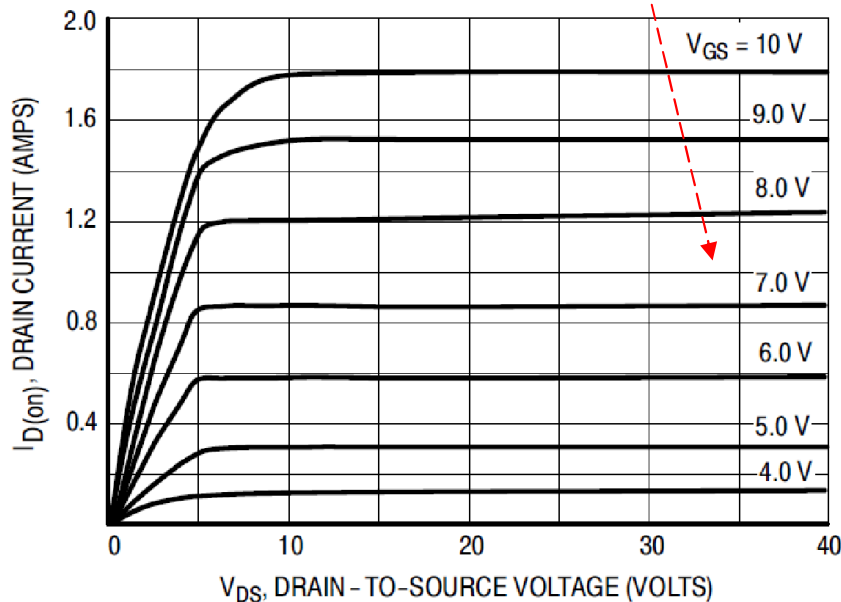


Figure 5. Output Characteristics

Porovnejme char. NMOS BS170 a NPN BC546

(NPN parametr je proud I_B báze- emitor („ I_{BE} “);

NMOSFET- parametr je napětí U_{GS}

Parametr proud báze I_B - NPN tranzist.

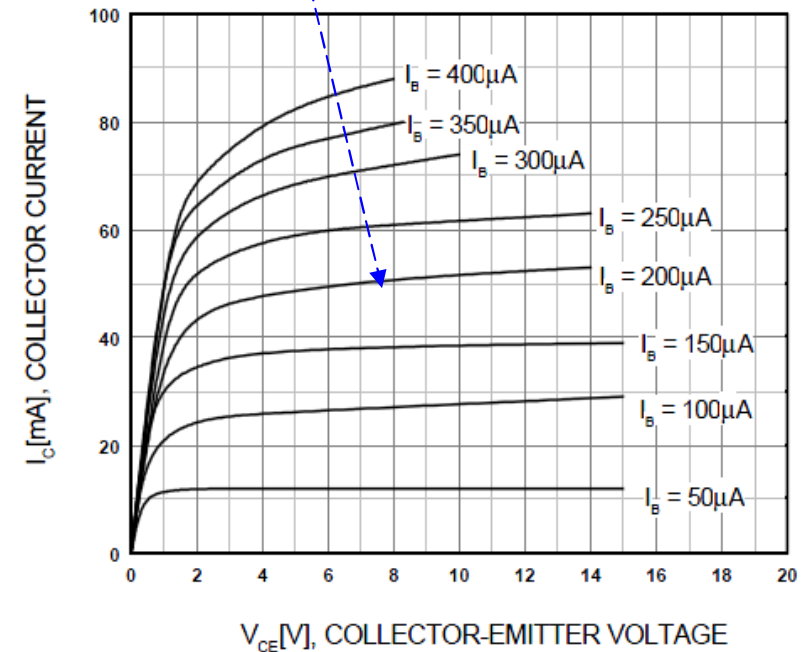


Figure 1. Static Characteristic

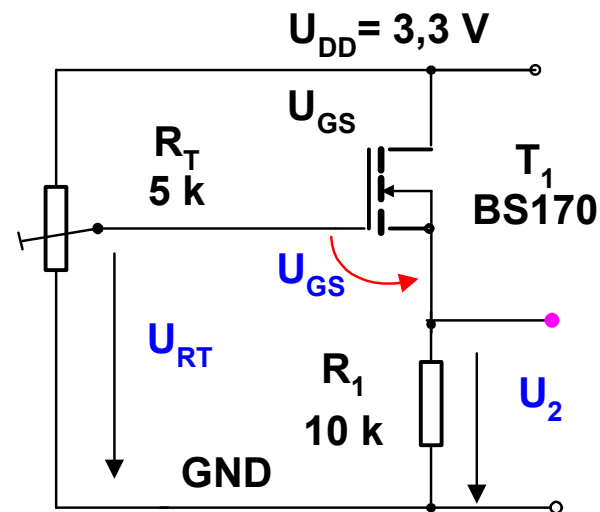
Sledovač napětí s NMOSFET- info

Sledovač napětí, U_2 sleduje napětí U_{RT} s posunem o cca 2 V).

Např. $U_{RT} = 3,3 \text{ V}$, $U_2 = 1,3 \text{ V}$

Je vhodné nejdříve zjistit **závislost** U_2 na U_{RT} . (U_{RT} cca od 1,9 V a výše, pro nižší napětí).

Zesílení tohoto stupně $A_U = \Delta U_2 / \Delta U_{RT}$ je menší než 1 (cca 0,8x).



Měření malých proudů pomocí NMOSFET, info

Měření velmi malých proudů (10^{-9} až 10^{-12} A)

měření závěrného proudu diody 1N4148 (řádově $5 \text{ nA} = 5 \times 10^{-9} \text{ A}$)

$C = 100 \text{ nF}$ (nebo 15 nF , 2200 pF) polyesterový, $I = (C \cdot \Delta U) / \Delta t$

Tranzistor BS170 je zapojen jako tzv. „*sledovač*“

Napětí U_2 *sleduje* napětí U_1 s posunem o cca 2 V ($U_2 = U_1 - 2 \text{ V}$)

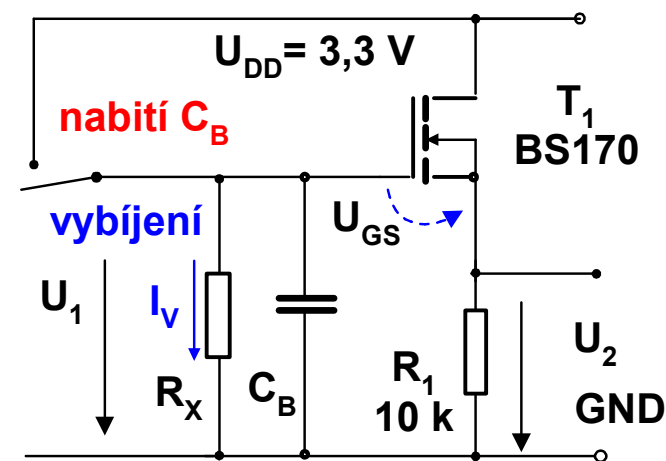
Nabít C_B , sledovat vybíjení C_B (např. dioda zapojená v závěrném směru na místě R_x , nebo přechod **CB** – báze na GND, C na gate) po čas Δt .

Určení *poklesu napětí* ΔU (zjednodušení $\Delta U = \Delta U_2$)

Korektně by se měla zohlednit velikost

zesílení jako

$\Delta U_{RT} = \Delta U_2 / A_U$, kde A_U je cca $0,8$

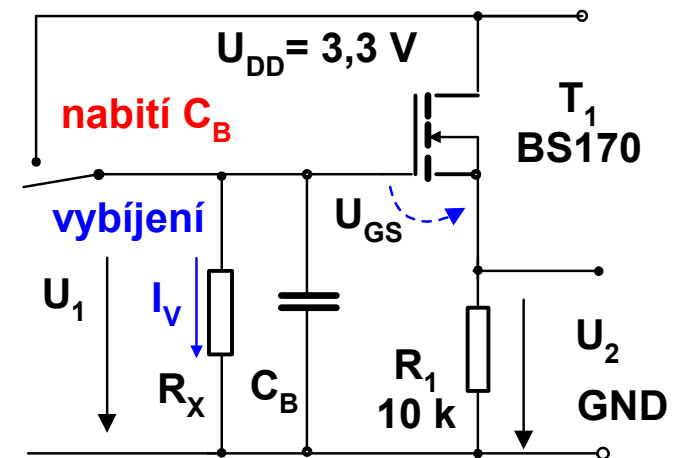


Tranzistory MOSFET pro měření malých proudů, info

Použité **NMOSFET BS170, 2N7000** výrobce **ON Semiconductors** (příp. Fairchild) jsou velmi kvalitní. Unikový proud z gate je hluboce pod udávanou mezní hodnotou **10 nA**. Námi určené hodnoty jsou pod **0,1 pA = 1×10^{-13} A**

Toto zapojení lze využít pro měření svodových proudů až řádu **10^{-12} A = pA** (pikoampérů), nebo použít pro měření odporů řádu Gigaohmů a větších.

Tranzistory BS170 nebo 2N7000 výrobce Diotec kvůli velkému únikovému proudu z gate zde jsou obtížně použitelné.



Detektor přiblížení nabitého předmětu s NPN, info

Dle knihy [1-100TransistorCircuits.pdf](#) zapojení „8 Million gain“

Též heslo: **Mains hum detector**

<https://www.talkingelectronics.com/projects/200TrCcts/1-100TransistorCircuits.pdf>

Použijeme napáj. + 5 V , rezistory **1M**, **120 k**, **470**, červená LED, 3x BC547
(Ve schématu je 1 M, 100 k, 220)

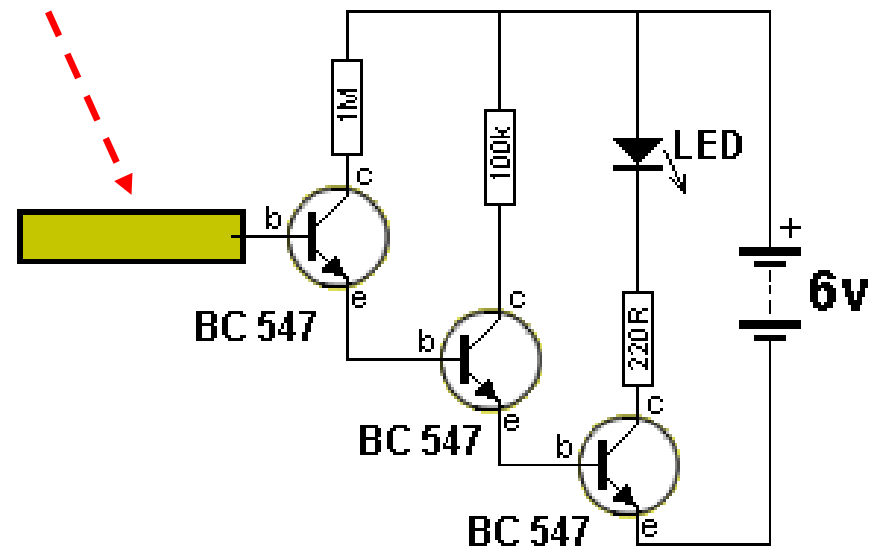
K bázi můžeme připojit kus vodiče, který bude sloužit jako **snímací elektroda**

Jak zapojení funguje? Jedná se o kaskadu tří tranzistorů, kde první (zleva) zesiluje různé kapacitní proudy (vázané přes parazitní kapacitu kondenzátoru tvořeného snímací elektrodou a vodiči rozvodu 230 ve zdi.

Podobně přibližováním a vzdalováním nabitého předmětu se bude měnit náboj na elektrodě

LED se rozsvítí v reakci na **růst** napětí na bázi.

Pro detekci opačného trendu by bylo možno setavit obdobné („otočené“) zapojení s PNP tranzistory BC557, které by reagovalo na pokles



Experiment - Mikrofon a zesílení jeho signálu

Příjem akustického signálu - elektretový mikrofon s vnitřním zesilovačem

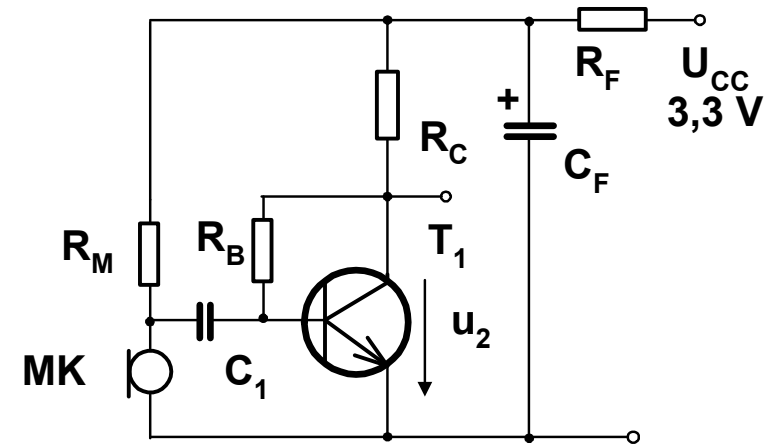
Vnější zesilovač s tranzistorem T_1 NPN typu BC547 - 40

$R_M = 5k6$, $R_B = 1M$, $R_C = 2k2$, $C_1 = 4M7$ keramický

V případě rušení z napájení z USB

Ize použít doplňkový blok filtrace

napájecího napětí s $C_F = 47 M$ a $R_F = 470$



Pozor, u mikrofonu záleží na polaritě připojení.

Na spoji MK a R_M by mělo být napětí **1 až 2 V** proti GND.

Mikrofon - na zem **GND** připojit kontakt, který spojen i s **pláštěm** mikrofonu

V klidu by napětí u_2 mělo být v rozmezí **1 až 2 V**.

Pozn. Dolní vodič je na GND (zem)

Experiment „Záznam akustického signálu“

Sestavte obvod s mikrofonom a zesilovačem, pomocí nějž ve spojení s osciloskopem *určíte frekvenci svého pískání*, nebo další zvuků.

Osciloskopem pomocí Ch1 sledujte signál u_2 na výstupu zesilovače.

Nejdříve nastavte režim „autotrigger“ a následně podle zachyceného signálu optimálně nastavte další parametry:

trigger level, edge (rising nebo falling) , sampling rate,..

Případně režim „single“ pro zachycení jednorázového ísknutí.

Pak je možno data zaznamenaného signálu exportovat (klik pravou myší na obrazovku a export) do souboru typu CSV, který pak lze načíst do tabulkového procesoru Excell.

Vysvětlení obvodu zesilovače, info

Příjem akustického signálu - elektretový mikrofon s vnitřním zesilovačem

V mikrofону je zabudován zesilovač signálu s tranzistorem JFET, kterým podle velikosti akustického signálu z vlastního elektretového mikrofону protéká větší nebo menší proud. Tyto malé změny proudu vytvořejí na snímacím rezistoru R_M malé změny napětí.

Rezistor R_M slouží k nastavení pracovního bodu tranzistoru. To znamená, že tranzistorem protéká stálý klidový proud jeho velikost může narůstat i klesat podle okamžité velikosti vstupního signálu

Pozor, u mikrofonu záleží na polaritě připojení.

Na spoji MK a R_M by mělo být napětí **1 až 2 V** proti GND.

Mikrofon - na zem **GND** připojit kontakt, který spojen i s **pláštěm** mikrofону

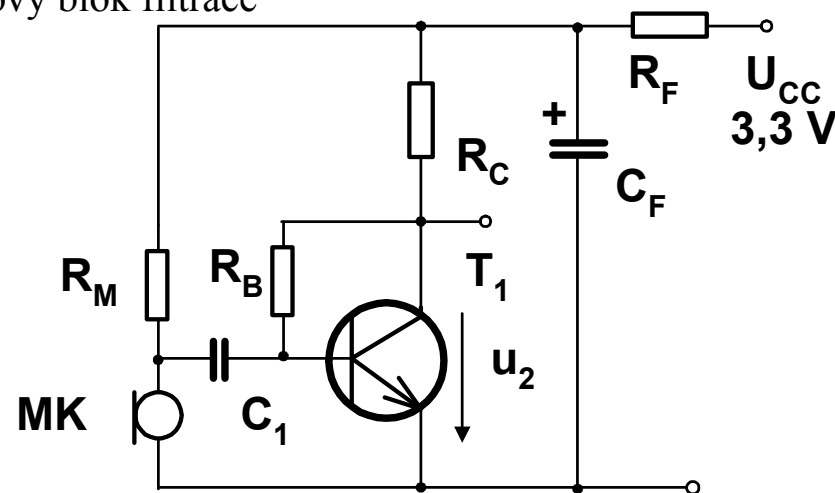
Vnější zesilovač s tranzistorem T_1 NPN typu BC547 - 40

$R_M = 5k6$, $R_B = 1M$, $R_C = 2k2$, $C_1 = 4M7$ keramický

V případě rušení z napájení z USB lze použít doplňkový blok filtrace

napájecího napětí s $C_F = 47 M$ a $R_F = 470$

V klidu by napětí u_2 mělo být v rozmezí **1 až 2 V**.

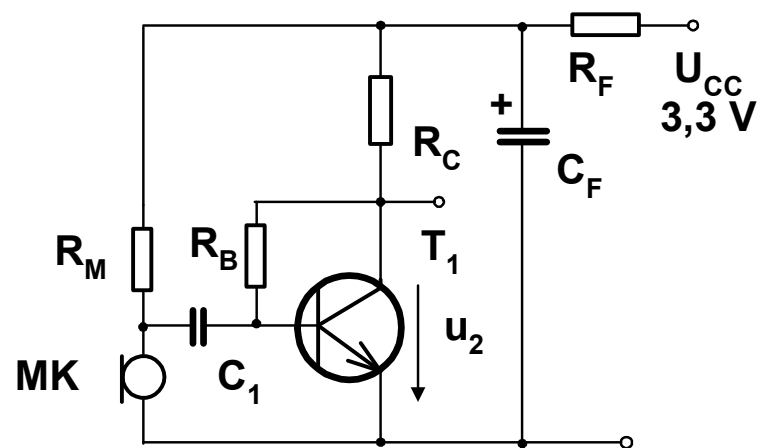


Vysvětlení obvodu zesilovače, info

Signál z mikrofonu je na zesilovač vázán přes **kondenzátor C1**, který sice umožní průchod střídavého (proměnného signálu) ale stejnosměrně odděluje obvod mikrofonu a zesilovače. Tedy tam mohou být odlišná stejnosměrná napětí, což v našem případě potřebujeme. Na mikrofonu bude stejnosměrné napětí někde **mezi 2 a 3 V**, na bázi tranzistoru napětí **cca 0,7 V**. Kondenzátor C1 tak oba obvody odděluje stejnosměrně, avšak umožňuje průchod střídavé složky napětí.

Tranzistor T_1 zesiluje signál – mění svůj proud kolektorem podle změn napětí na bázi. Rezistor R_C pak převádí změny proudu na změny napětí, které můžeme pozorovat osciloskopem.

Efekt zesílení lze také demonstrovat tak, že se C1 nejdříve odpojí a osciloskopem se sleduje "malý signál na mikrofonu (pískat do mikrofonu,..). Pak se C1 připojí a podobně se pozoruje zesílený signál na kolektoru tranzistoru T1.



▪

.Konec