
Kurz praktické elektroniky

Katedra měření, ČVUT–FEL, Praha 30.8.–3. 9. 2021

6.–10. 9. 2021

**prof. Ing. Jan Holub, Ph.D.
Vedoucí Katedry měření**

**doc. Ing. Jan Fischer, CSc.
prezentující**

**Tento materiál je určen pouze pro studenty ČVUT–FEL,
účastníky kurzu praktické elektroniky, organizovaného katedrou
měření, ČVUT–FEL v Praze v září 2021.**

Kurz praktické elektroniky

Den 3

Kompletace dokumentace měření „*aneb, co nám to vlastně vyšlo?*“

Měření odporu srovnávací metodou pomocí F0 – Lab

Fototranzistor

Záznam časového průběhu intenzity ozáření fototranzistoru

Bipolární tranzistor NPN, vlastnosti, určení proudového zesilovacího činitele

Zesílení proudu fototranzistoru tranzistorem

Tranzistor řízený polem s indukovaným kanálem N (N- MOSFET)

Optická závora, měření rychlosti pohybu prstu

Kurz praktické elektroniky

Den 3

Dokončení úloh

Měřit V-A charakteristiku červené LED, kontrola zápisků.

Měřit napětí červené, žluté, zelené, modré LED a Si diody při $I = 2 \text{ mA}$

Určit diferenciální odpor červené LED ve zvoleném bodu, při $I = 2 \text{ mA}$
(změna proudu z $I = 2 \text{ mA}$ na $I = 3 \text{ mA}$)

Jaká bylo napětí na LED a Si diodě?

Jaký byl diferenciální odpor LED při 2 mA ?

Je to změřeno a zapsáno v sešitě?

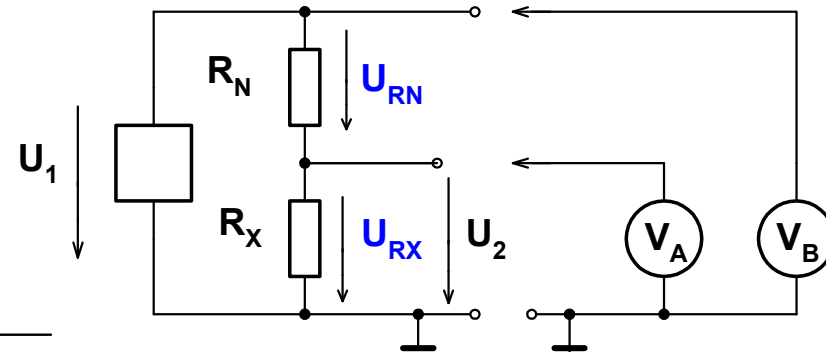
Poměrové měření odporu (opakování)

R_N – známý odpor (10 k), R_X – neznámý odpor
oběma rezistory protéká stejný proud I_R

$$I_R = \frac{U_{RN}}{R_N} = \frac{U_{RX}}{R_X}$$

$$R_X = R_N \frac{U_{RX}}{U_{RN}} = R_N \frac{U_2}{U_1 - U_2} = R_N \frac{U_A}{U_B - U_A}$$

$$R_X = R_N \frac{U_2}{U_1 - U_2}$$



pokud $U_2 = U_1/2$, pak $R_X = R_N$

U_2 měříme pomocí **voltmetru A**

U_1 pomocí **voltmetru B**

Jako R_N použít **10k** (*skutečnou* velikost R_N zjistit multimetrem)

U_1 použít **+3,3 V** nebo údaj V_{DDA} z **voltmetru F042**,
v **F0-Lab** voltmetru - průměrování z 40 odměrů.

Měření odporu pomocí F0 - Lab

Poměrovou metodou pomocí F0 –Lab **změřit odpor** rezistoru realizovaného potenciometrickým trimrem (odpor mezi krajním vývodem a jezdcem).

Nastavit odpor cca 5 000k, 2500 Ohmů, změřit pomocí F0-Lab a následně pomocí multmetru

Podobně změřit **odpor rezistoru 22 k** nebo **51 k**, nebo jiné.

Porovnejte výsledek měření odporu pomocí **F0-Lab** a měření pomocí **multimetru**.

Tuto metodu lze použít pro měření odporu, pokud nebude k dispozici multimetr.

Možno následně použít v úloze **programování** pomocí **mbed**.

Super Bonus úloha –program pro řízení rezistorů podle odporu.

Referenční odpor 10 k. **Indikace** pomocí LED

modrá $R_x = 8 \text{ k až } 12 \text{ k}$

žlutá R_x je menší než 8 k

červená R_x je větší než 12 k

Zadání lze upravit podle vlastního uvážení.

Fototranzistor

Fototranzistor – fotocitlivý prvek, struktura NPN

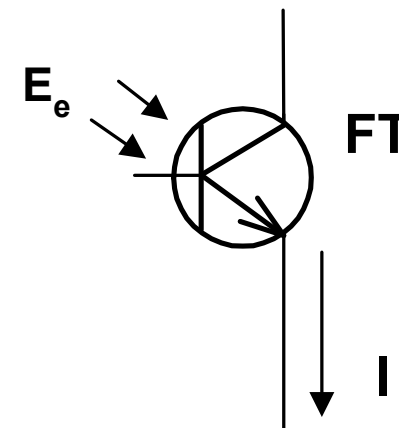
Funkce obdobná jako **tranzistor**, **avšak proud do báze je generován světlem („fotoproud“)** dopadajícím na **PN přechod** kolektor – báze fungující jako fotodioda.

Zesílení fotoproudu (foto)tranzistorem

Fototranzistory **LL-304PTC4B-1AD** výrobce FORYARD (používáme jej) a další mají pouze dva vývody - **Kolektor** a **Emitor**

Čiré (průhledné) pouzdro, průměr 3 mm (vypadá jako LED)

Kolektor označen – ploška na pouzdře **u vývodu kolektoru**, u nové součástky je kratší vývod kolektoru



Fototranzistor – charakteristiky

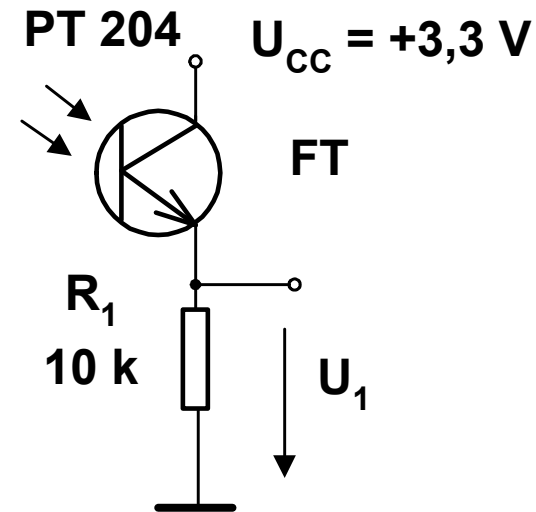
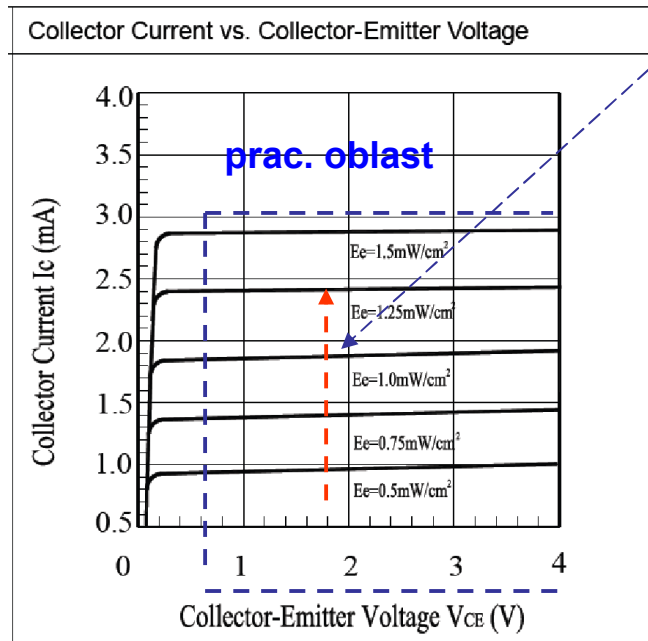
I_{FOT} – je úměrný intenzitě ozáření E_e

Zesílení fotoproudu tranzistorem $I_C = h_{21E} \cdot I_{FOT}$

Charakteristiky fototranz. – parametrem je **intenzita ozáření E_e**

FT – z hlediska uživatele – jako **zdroj proudu řízený světlem**

Aby FT pracoval v lin. oblasti – řízení proudu světlem, musí být na něm napětí větší než $0,5 \div 1$ V.



Fototranzistor a jeho zapojení do obvodu

Fototranzistor – **jako zdroj proudu řízený světlem**
převod proudu na napětí pomocí rezistoru R_1 .

Realizace obvodu, který bude vyhodnocovat **velikost okolního osvětlení**, měřit pomocí **voltmetru v F0–Lab**

Napájení z +3,3 V

(Změnu osvětlení fototranzistoru realizovat zakrýváním)

Opačné zapojení fototranzistoru

Otázka: Co se stane, pokud se **fototranzistor** zapojí do obvodu **obráceně**, prohodí se kolektor a emitor; tedy **emitor** + na napájení, **kolektor** jako výstup signálu?

Odpověď: Pokud se používá **malé napájecí napětí**, např. **+ 3,3V**, tak se fototranzistor **nepoškodí**, ale bude pracovat v tzv. **inverzním zapojení** (jako fotodetektor bude fungovat přechod emitor - báze a tranzistor bude mít malý zesilovací činitel). **Fotocitlivost** bude **200 x až 500 x menší**.

Pokud by se však použilo větší napájecí napětí, např. 12 V, došlo by k **průrazu přechodu** emitor – báze tohoto fototranzistoru.

Průrazné napětí U_{EB} přechodu **emitor – báze** polarizovaného v závěrném směru u bipolárních Si tranzistorů NPN, PNP je cca 5 až 7 V.

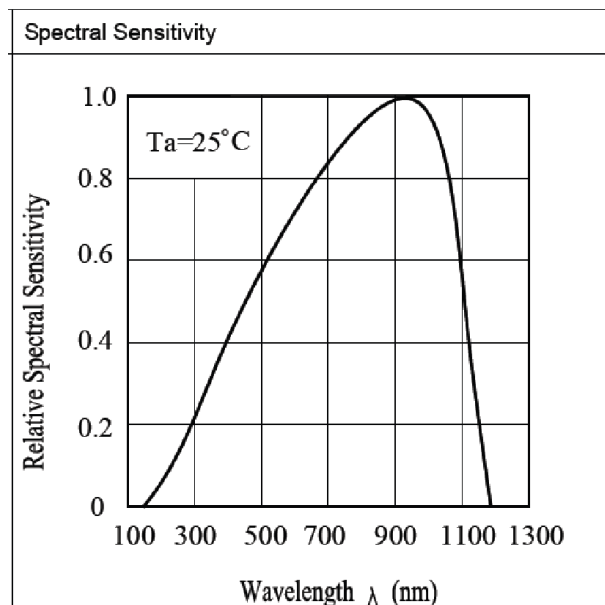
Podobně při **přepolování LED** s napájením vyšším napětí (např. 15 V) s velkou pravděpodobností dojde k průrazu PN přechodu (poškození LED).

Fototranzistor, spektrální charakteristiky citlivosti

Fototranzistor – v čirém pouzdře citlivý na viditelné světlo a blízké infračervené záření (světlo – vlnové délky 380 až 780 nm)

Úprava citlivosti – **infra filtr, zadržující viditelné složky záření (světlo)**.
Jak se pozná – použito **tmavé pouzdro** nepropouštějící světlo. Dále v textu označíme zkráceně jako **Infra-fototranzistor**

PT204 – čiré pouzdro



BPV11F – infra propustný filtr

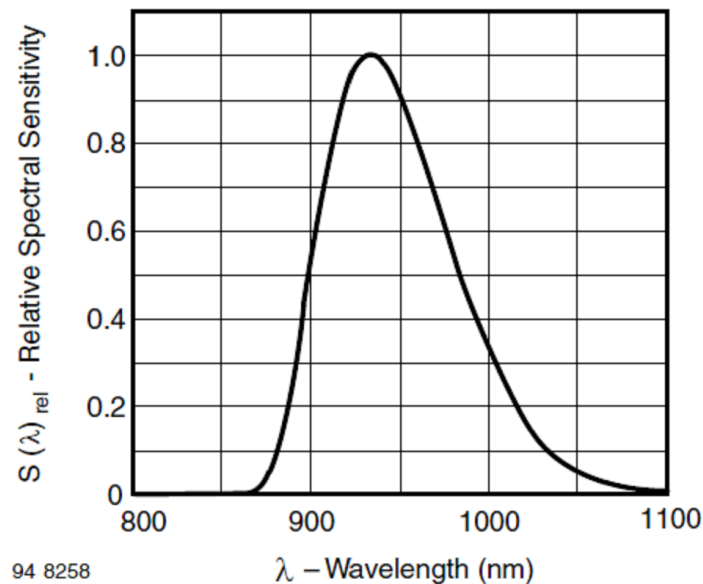


Fig. 10 - Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength

Fototranzistor

Fototranzistor LL-304PTC4B-1AD, jako senzor okolního osvětlení (nesměrovat přímo do světla)

Napájení +5 V (pokud se měří multimetrem),
jinak napájení +3,3 V (měření pomocí F0–Lab)

(ochranný rezistor 470 Ohmů)

měřit napětí (voltmetr a funkce „*show recording*“
a pak záznam průběhu)

napětí při odkrývání a zakrývání

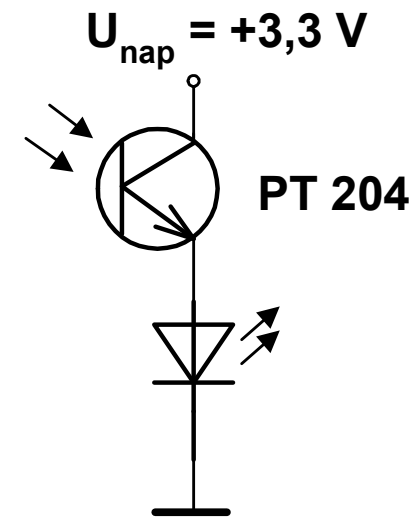
Vzdálená indikace světla, fototranzistor
řídí proud LED (proud je malý?),

LED svítí slabě

(legenda, proč indikace, N.Bor, „*je venku světlo?*“)

Pozn. LL-304PTC4B-1AD má na sobě čočku, která
způsobuje úzkou směrovou charakteristiku.

Velikost proudu fototranzistoru proto záleží na jeho nasměrování.



Zesílení proudu fototranzistoru

Jednoduchá zapojení – indikace osvětlení

fototranzistoru s využitím LED;

proud fototranzistoru je malý

– téměř nerozsvítí LED

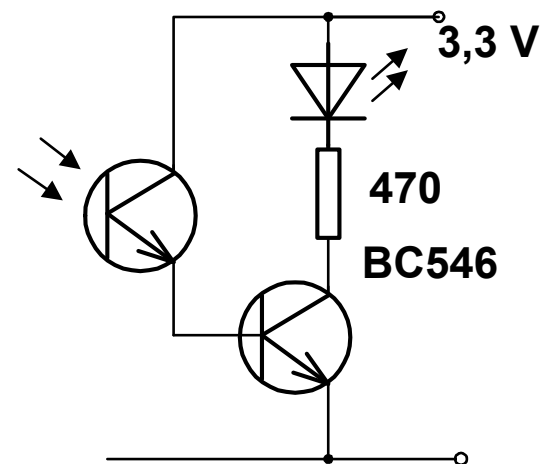
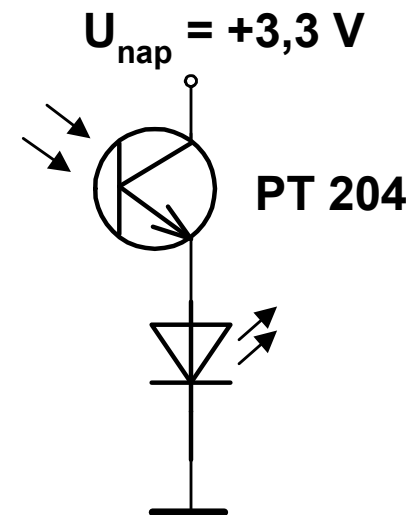
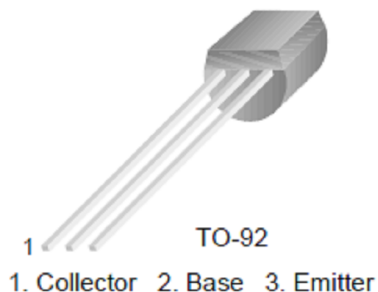
Zesílení proudu fototranzistoru proudovým

zesilovačem s tranzistorem BC546

ale – **příliš velké zesílení (500 x),**

LED svítí **stále** (i za šera)... **Jak řešit?**

Bipolární tranzistor NPN, jaké má vlastnosti?



Tranzistor

Bipolární tranzistor NPN

Elektrody **B** = báze, **C** = kolektor, **E** = emitor

Schématická značka NPN tranzistoru a jeho diodový model

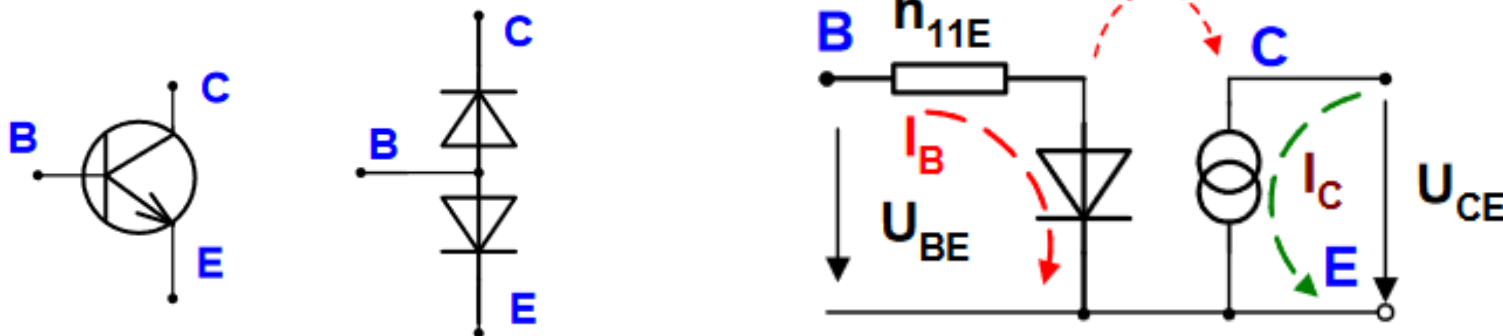
Tranzistor – zdroj proudu řízený proudem

Zjednodušené náhradní schéma pro zapojení se **společným emitorem** – **SE** (emitor připojení na společný vodič – zde na zem)

H – parametry – parametry náhradního schématu zapojení SE

Zjednodušení v KPE, zabýváme se jen par. h_{21E}

(neřešíme parametry h_{11E} , h_{12E} a h_{22E})

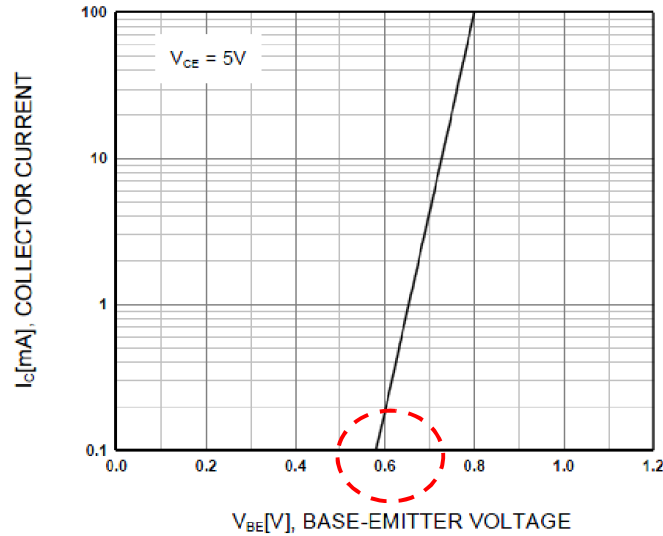


Parametry tranzistoru BC546

Závislost I_C na U_{CE} , parametr charakteristik – proud I_B

proud I_C závisí na I_B a (téměř) nezávisí na napětí U_{CE}

tedy se chová jako **zdroj proudu řízený proudem**



Pod $U_{BE} = 0,6 V$ proud bází neteče

kolektorové charakteristiky

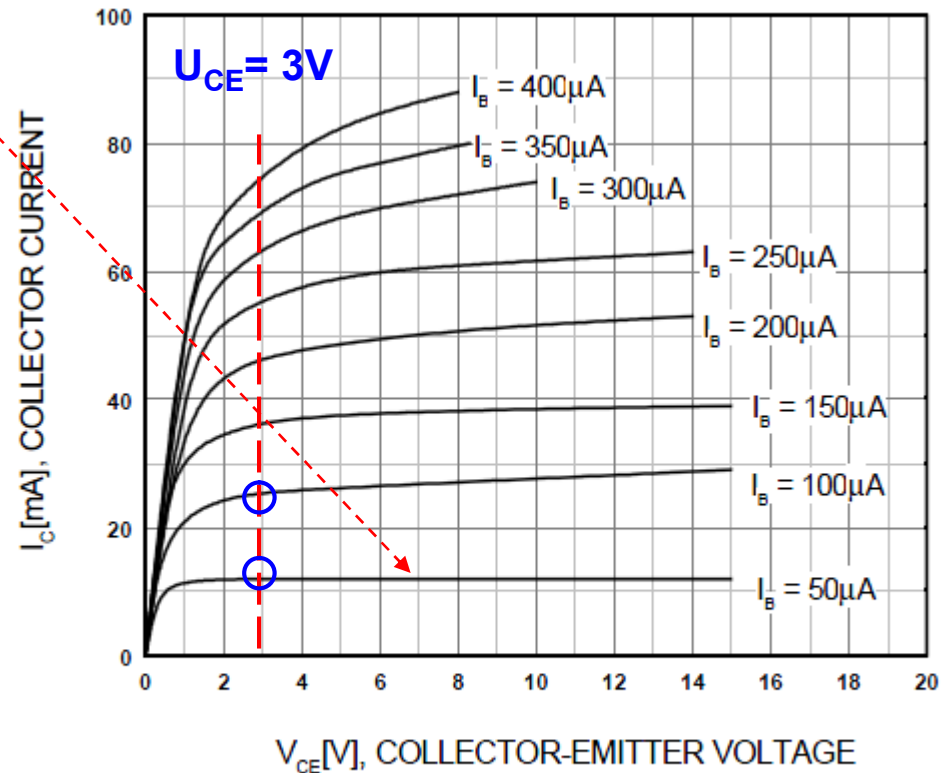


Figure 1. Static Characteristic

Bipolární tranzistor NPN, stejnosměrný zesilovací činitel

Zesílení proudu tranzistorem NPN typu BC546

stejnosměrný zesilovací činitel h_{21E} (také označ. β)

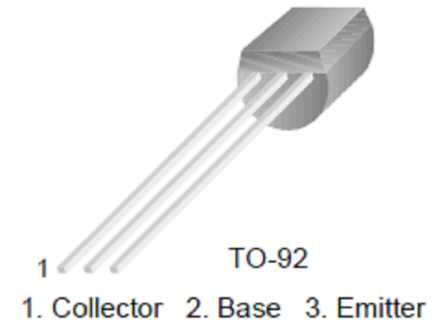
Určit h_{21E} (β) použitého tranzistoru BC546

spínač. OFF, ? proud kolektoru $I_C = 0$

TI. ON, ? změřit proud kolektoru I_C

Změřit napětí U_{BE} (báze – emitor)

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



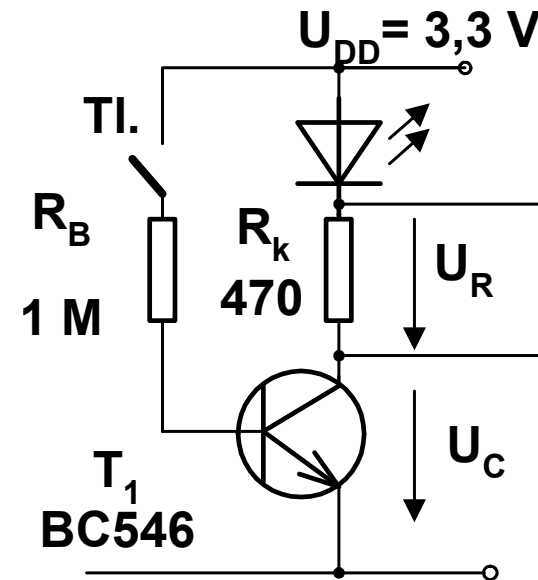
Jak se určí velikost proudu báze I_B ?

Napětí **Báze – Emitter** $U_{BE} = 0,6$ až $0,7$ V

Podobně, jako na Si diodě v předním směru

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

Změřit napětí U_{BE} tranzistoru, změřit U_R ,



Tranzistor - poznámky

V KPE **bipolární tranzistory NPN** (BC546, příp. BC337)

Existují i **bipolární tranzistory PNP**, které v KPE zatím nepoužíváme.

Bipolární tranzistor- znamená, že je tvořen **polovodičovými materiály obou typů vodivosti P i N**.

Bipolární tranzistory se **řídí proudem** (velikostí proudu) **do báze**.

Existují též **unipolární tranzistory** - tranzistory **řízené polem – FET**, které využívají polovodič. materiál pouze **jednoho** typu vodivosti P nebo N.

Tranzistor **MOSFET** – s izolovaným hradlem (**Metal Oxid Semicondustor**).
příklad BS170 NMOSFET – s **indukovaným kanálem N**.

Unipolární tranzistory se **řídí napětím** na **řídící elektrodě - Gate**

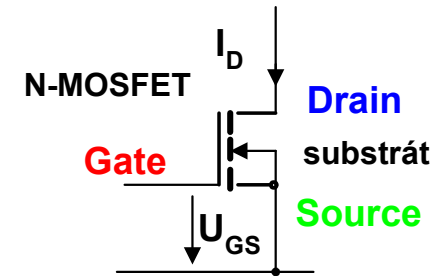
Při nulovém napětí U_{GS} - proud neteče ($I_{DS} = 0$)

(Kapacita gate - výkonových MOSFET – nezanedbatelná, stovky, tisíce pikofaradů, nutnost přebíjet tuto kapacitu Gate – impulsní proudy do Gate.

Více – kniha Vobecký, Záhlava (viz přednáška D1)

Unipolární tranzistor, MOSFET, prahové napětí

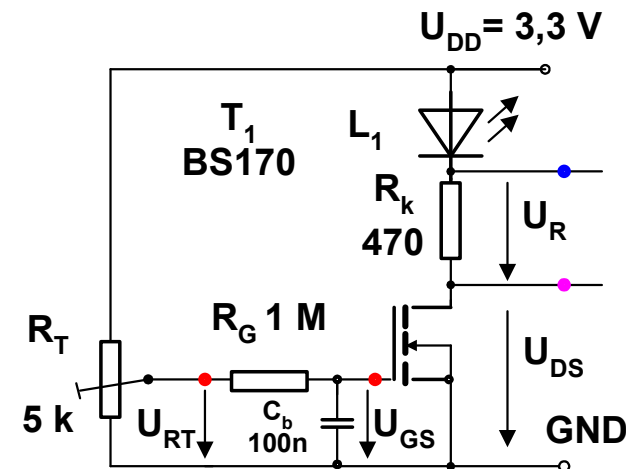
V KPE používáme unipolární tranzistor řízený polem FET (*Field Effect Transistor*) s indukovaným kanálem N, tedy N MOSFET, nebo také označovaný jako NMOS tranzistor,



Náš typ - BS170, příp. 2N7000 NMOS FET

FET – **Field Effect Transistor** – tranzistor řízeným polem, při překročení prahového napětí $U_{GS(th)}$ se dosáhne úrovně elektrického pole, kdy se v polovodiči typu P vytvoří indukovaný kanál N

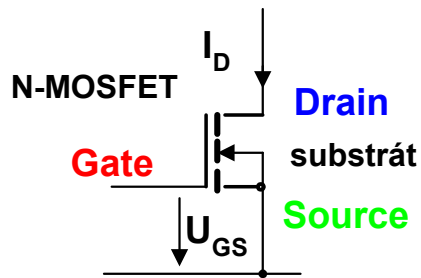
Měřením určit velikost prahového napětí U_{T0} , při kterém tranzistor začíná vést proud – např. $I_{DS}=1$ mA (pro jednoduchost experimentu používáme malou hodnotu)



Postupně zvyšovat U_{RT} , až bude $I_{DS}=1$ mA

(pozn. pro údaje v katalogu $U_{GS(th)}$ - poněkud jiné zapojení, ale výsledky jsou podobné)

Unipolární tranzistor, charakteristiky



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

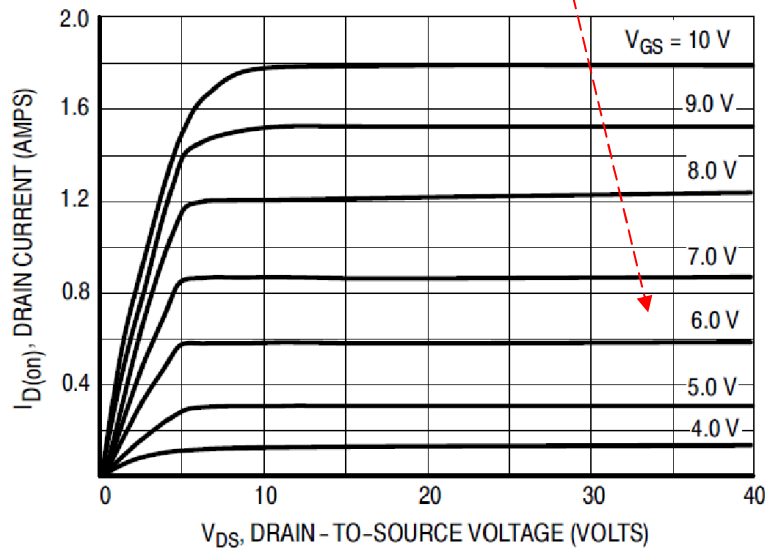


Figure 5. Output Characteristics

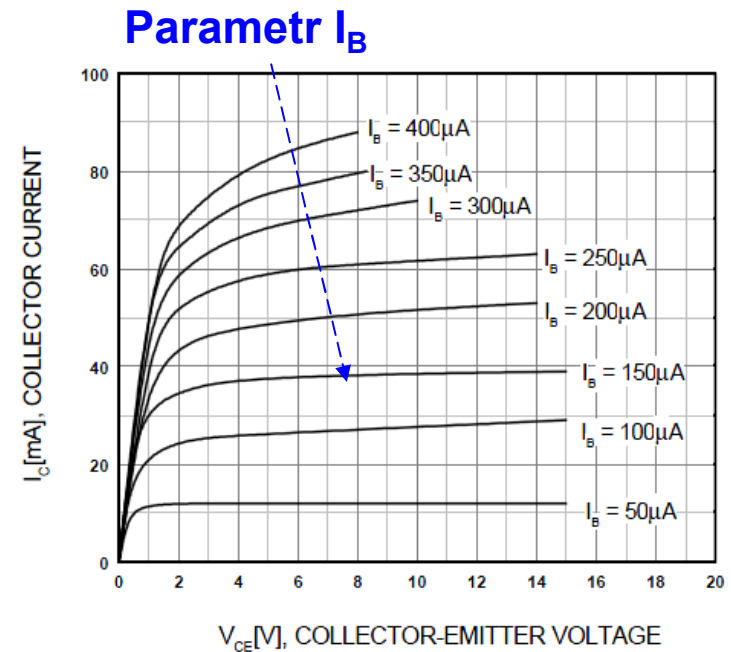


Figure 1. Static Characteristic

Porovnejme char. **NMOS** BS170 a **NPN** BC546
 (**NPN** parametr je proud I_B báze- emitor („ I_{BE} “);
NMOSFET- parametr je napětí U_{GS}

Unipolární tranzistor BS170 – ON Semi, charakteristiky

Charakteristiky NMOS **BS170** pro **malá** napětí- spínací režim **ON- region** (počátek charakteristik) a výstupní charakteristiky v pracovní oblasti

Tranzistor jako zdroj proudu řízený napětím

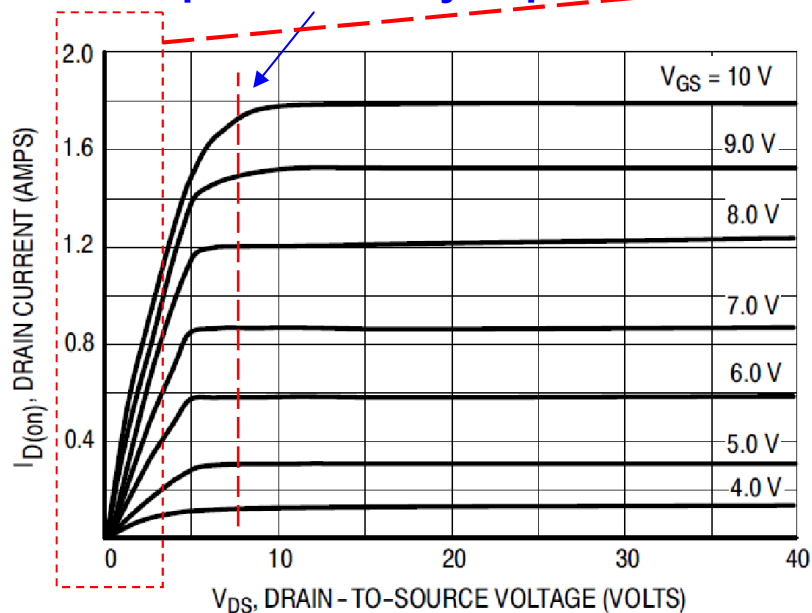


Figure 5. Output Characteristics

Tranzistor jako spínač

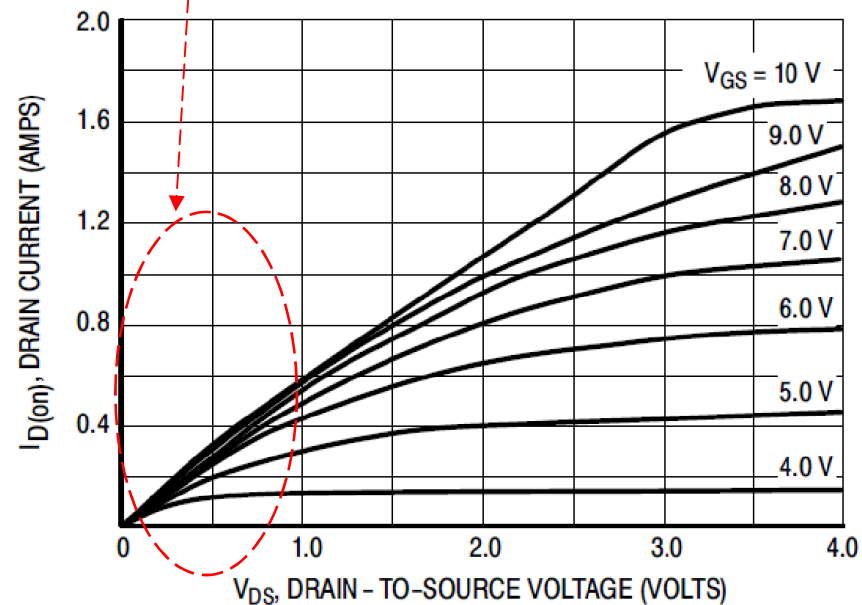


Figure 4. On-Region Characteristics

Tranzistor v lineární oblasti, tranzistor jako spínač

Tranzistor v **lineární** oblasti:

proud I_{CE} (NPN) , se „**lineárně**“ mění s **proudem** báze I_B ..

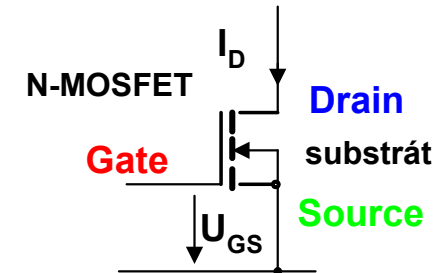
proud I_{DS} (NMOSFET) se mění s **napětím** U_{GS} .

To využijeme v úloze (lineární) **regulátor** napětí, **regulátor** proudu

Tranzistor jako **spínač ve stavu ON** - velikost proudu I_{CE} , resp I_{DS} (sepnut) je určena dominantně **vlastnostmi vnějšího obvodu**.

Tranzistor ve **stavu OFF** – rozepnut, neteče jím téměř žádný proud

Analogie- vypínač světla, vodovod- hlavní uzávěr.



Ve většině našich aplikací, stejně jako v **logických obvodech**, budeme **MOSFET** využívat **jako spínač**.

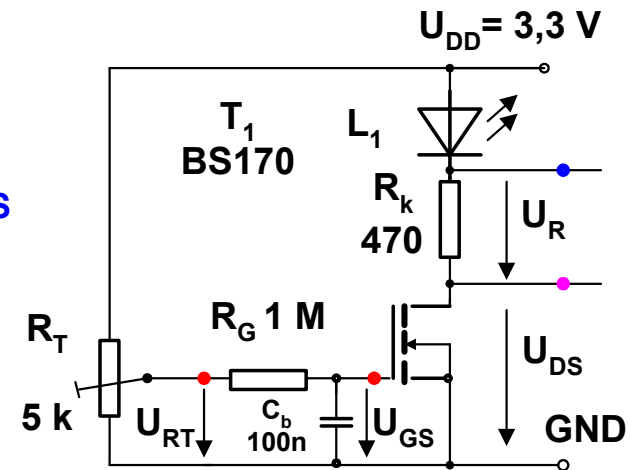
Stav OFF- tranzistorem **proud neprotéká**, tranzistor je – „**rozepnutý**“

Stav ON – tranzistorem **protéká proud**, jehož **velikost je určena především vnějším obvodem**, tranzistor je „**sepnutý**“

Měření MOSFET - poznámky

Měření

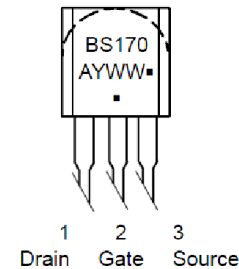
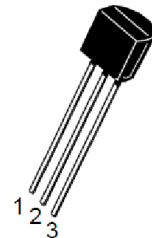
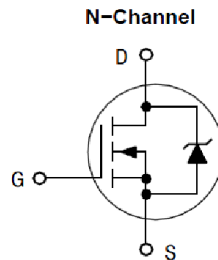
- Ch1 volmetru připojit a měřit U_{RT}
příp. přepojit na elektrodu **Gate** a měřit U_{GS}
nulový rozdíl napětí $U_{RT} - U_{GS}$ znamená nulový proud Gate $I_G = 0$
- Ch2 voltmetru na elektrodu Drain a měřit U_{DS}
- Ch3 voltmetru na rezistor a měřit U_R
jako rozdíl $U_{CH3} - U_{CH2}$



Bonus: Určit parametr- „Forward Transconductance“
dopředná **transkonduktace** – g_{FS} rozměr – jako
vodivost mS – mili -Siemens). Poměr změny velikosti
proudu ΔI_{DS} a velikosti změny napětí ΔU_{GS}

$$g_{FS} = \frac{\Delta I_{DS}}{\Delta U_{GS}}$$

BS170, pořadí vývodů
zleva **DGS**



MOSFET – význam parametru - *Transkonduktance*

Transkonduktance g_{FS} v daném pracovním bodu vyjadřuje **poměr** změny proudu ΔI_{DS} na změně napětí ΔU_{GS} (tedy i schopnost **zesilovat** signál)

$$g_{FS} = \frac{\Delta I_{DS}}{\Delta U_{GS}}$$

Velikost g_{FS} závisí na zvoleném pracovním bodu katalog Fairchild BS170 pro $U_{DS} = 10\text{ V}$, $I_{DS} = 250\text{ mA}$

$g_{FS} = 0,2\text{ S}$ (to je $0,2\text{ A/V}$, nebo 200 mA/V)

Naše měření v oblasti *malých napětí a proudů*

- podstaně **menší** hodnota g_{FS}

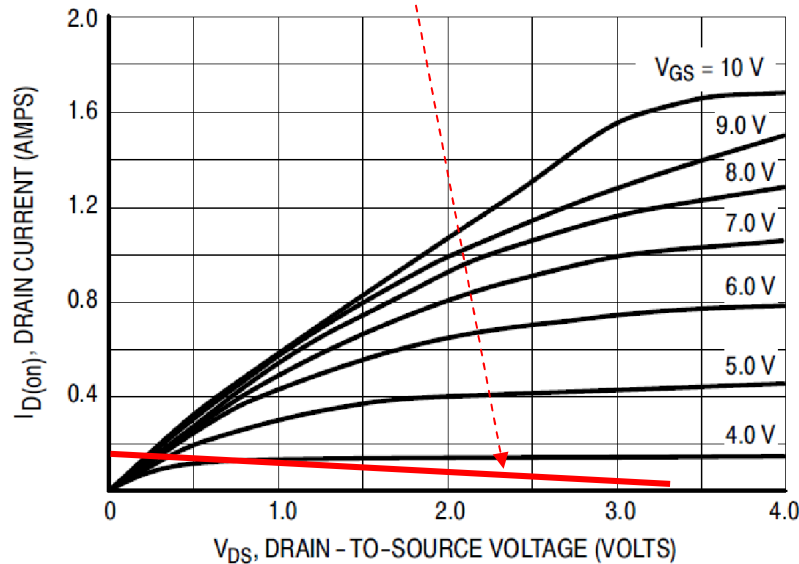
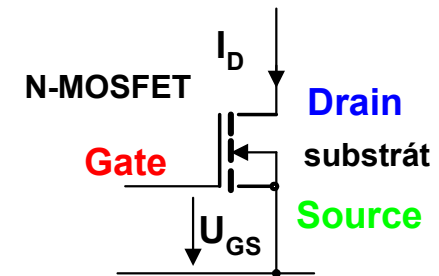


Figure 4. On-Region Characteristics

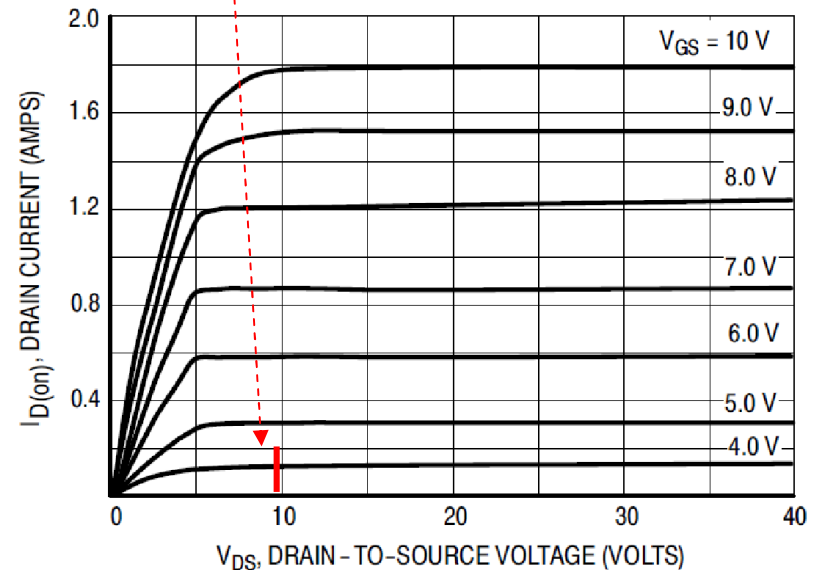


Figure 5. Output Characteristics

Měření MOSFET – poznámky, použití C_b

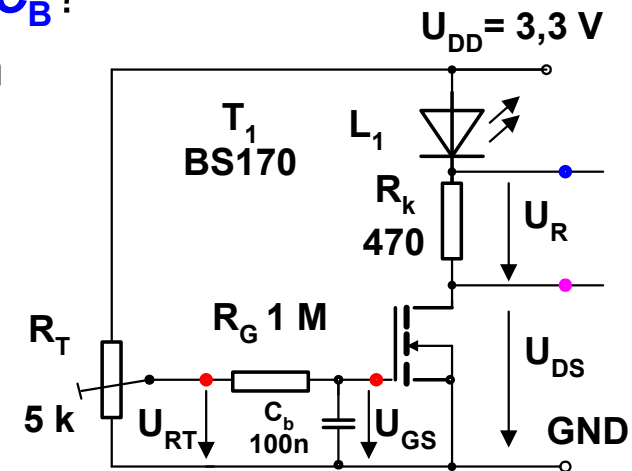
Otázka: **Proč** je v obvodu **použit kondenzátor C_B** ?

Ideální voltmetr s nekonečným vstupní odporem a nulovým vstup. proudem – C_B není zapotřebený.

Náš voltmetr s STM32F042 má ve vstupu ADC (analogo- číslcového převodníku) **kondenzátor** o kapacitě $C_{\text{samp}} = 8 \text{ pF}$, který se před každým odměrem musí za tzv. *sampling time* t_{samp} (dobu odběru vzorku) z měřeného obvodu **znovu nabít** na správnou velikost měřeného napětí.

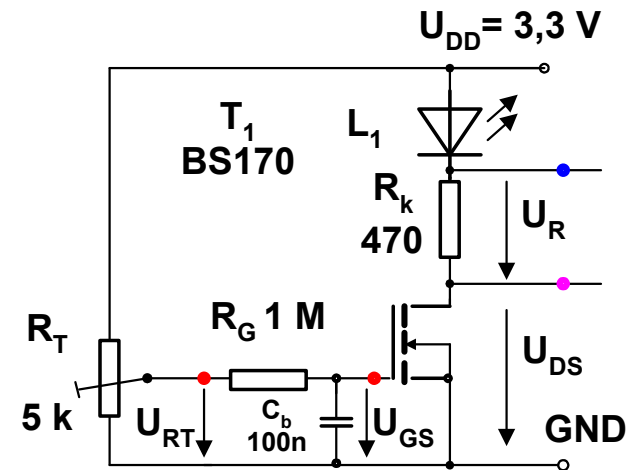
Časová konstanta τ_{samp} článku RC tvořeného R_G a kapacitou (vnitřního) C_{samp} vzorkovacího kondenzátoru v ADC je

$$\tau_{\text{samp}} = R_G \cdot C_{\text{samp}} = 1 \text{ M} \cdot 8 \cdot 10^{-12} = 8 \cdot 10^{-6} = 8 \mu\text{s}$$



Měření MOSFET – poznámky, použití C_b

V našem případě by pro nabití vzorkovacího kondenzátoru na správnou hodnotu napětí (viz. přechodový děj na RC) bylo potřeba, aby τ_{samp} byla alespoň 8x menší, než je doba odběru vzorku t_{samp} . To však nelze splnit, proto je použit **blokovací kondenzátor** $C_b = 100 \text{ nF}$, který poskytne náboj v krátkém čase a sám se pak pomalu dobíjí mezi jednotlivými odměry.



(Funkce C_B - **analogie** – kašna s malým přítokem vody. Voda z kašny se nabere (odebere) vědrem. Do dalšího odběru pomalu opět nateče.)

Pro zájemce- funkce a chování ADC, viz. Google: „**Charge redistribution ADC**“.

Ověření popsané skutečnosti: Nastavit $U_{RT} = +3,2 \text{ V}$ a měřit napětí U_{GS} pomocí F-Lab voltmetru a) **se zapojeným** $C_b = 100 \text{ nF}$,
b) **s odpojeným** $C_b = 100 \text{ nF}$

a srovnat výsledky. (3,2 V, 2,9 V)

Srovnat situaci, pokud by se U_{GS} měřilo normálním multimetrem s $R_V = 10 \text{ M}\Omega$. Pro změnu se projeví parazitní odporový dělič 1M na 10 M.

Unipolární tranzistor, MOSFET, prahové napětí

V KPE používáme unipolární tranzistor

řízený polem FET (*Field Effect Transistor*)

s indukovaným kanálem N, tedy N MOSFET, nebo také označovaný jako NMOS tranzistor,

Náš typ - BS170, příp. 2N7000 NMOS FET

FET – **Field Effect Transistor** – tranzistor řízeným polem, při překročení prahové hodnoty napětí U_{GS} se dosáhne úrovně elektrického pole, kdy se v polovodiči typu P vytvoří indukovaný **kanál N**.

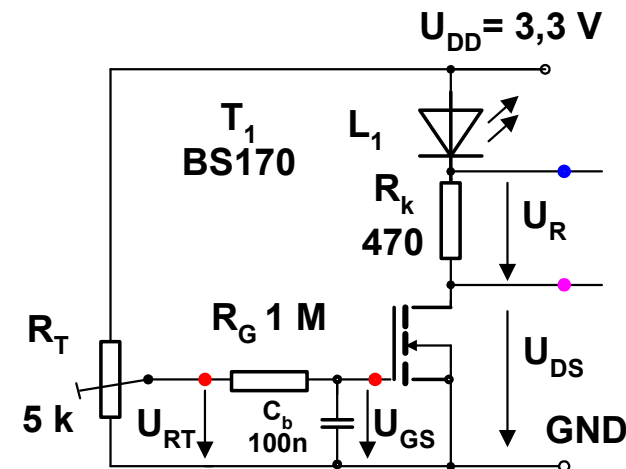
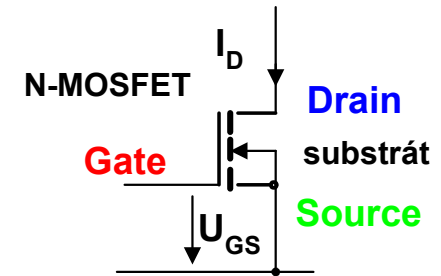
Měřením určit velikost **prahového**

napětí U_{T0} , při kterém tranzistor začíná vést proud – např. $I_{DS}=1$ mA (pro jednoduchost experimentu používáme malou hodnotu)

Postupně zvyšovat U_{RT} , až bude $I_{DS}=1$ mA

(pozn. v katalogu je **prahové** napětí

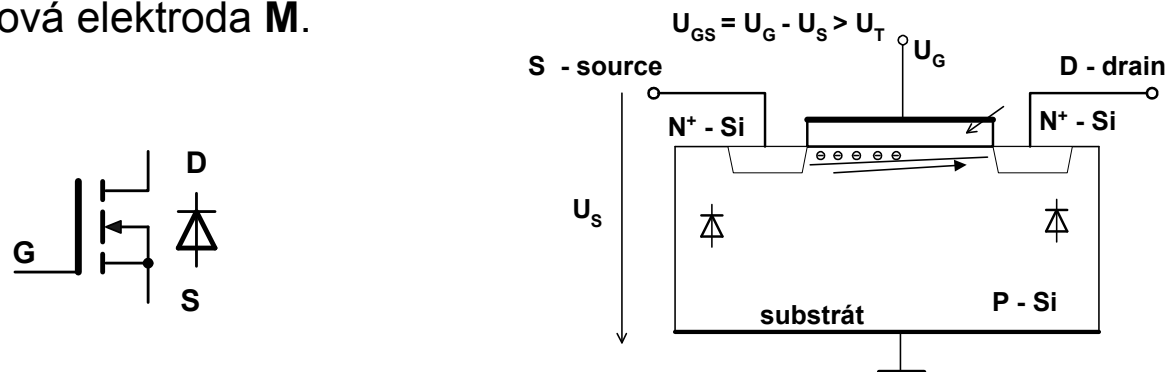
označeno $U_{GS(th)}$ – použito poněkud jiné zapojení, pro měření, ale výsledky jsou podobné.



Vložená informace – doplňkový výklad pro samostudium

Tranzistor BS170 je typu **NMOS** s indukovaným kanálem, což značí, že tranzistor při nulovém napětí U_{GS} nevede proud mezi elektrodami D a S. Až při překročení tzv. prahového napětí U_{T0} se působením **elektrického pole** mezi G – Gate a S – substrát vytvoří **indukovaný kanál N** (vedoucí elektrony), proto označován jako NMOS tranzistor.

MOS – zkratka **M**etal, **O**xid, **S**emiconductor vyjadřuje uspořádání tranzistoru. Na polovodičovém materiálu S, je na izolační vrstvě z oxidu křemíku SiO_2 , tedy **O**, vytvořena kovová elektroda **M**.

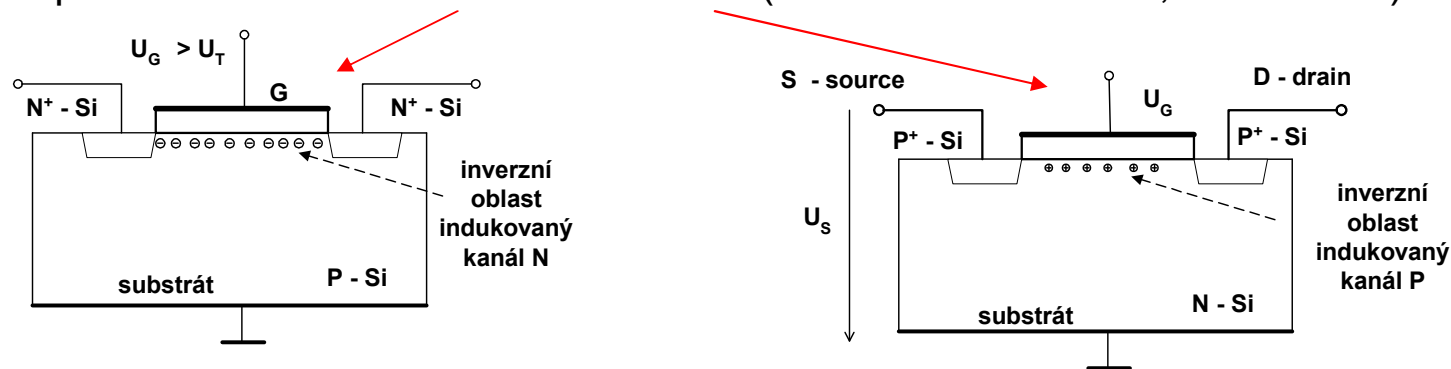


Pozor- každý tranzistor NMOS, který má tři vývody, kde je S - substrát připojen na elektrodu S source, má mezi elektrodou **D – Drain** a elektrodou **S – source** záporně polarizovaný přechod PN, tedy **diodu**. Na D proto musí být nezáporné napětí. Přivedením záporného napětí poteče proud touto diodou. To platí i používaný BS170.

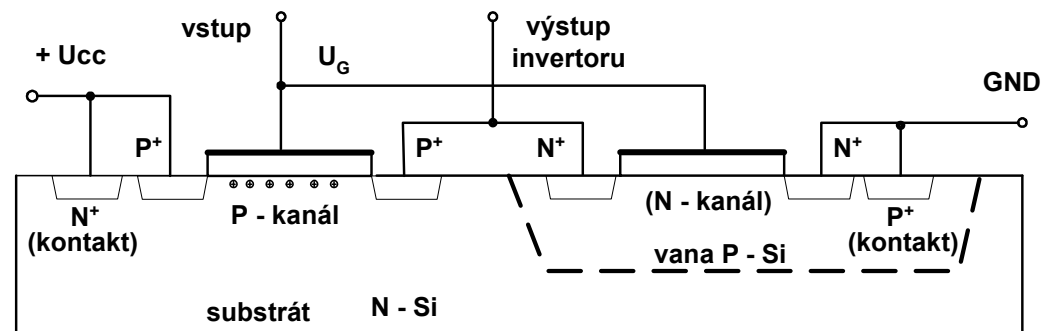
Vložená informace – doplňkový výklad pro samostudium

Současné integrované obvody s velkou integrací (procesory, paměti,..) používají technologii CMOS, což znamená komplementární MOS, kde se využívají tranzistory s indukovaným kanálem **NMOS** i **PMOS**. Problém - NMOS potřebuje substrát P, PMOS zase substrát N. Až po zvládnutí technologie MOS, kde se vytváří lokální oblast – vana P, případně vana N, bylo možno realizovat obvody CMOS.

Ideové uspořádání tranzistoru NMOS a PMOS (korektně NMOSFET, PMOSFET)

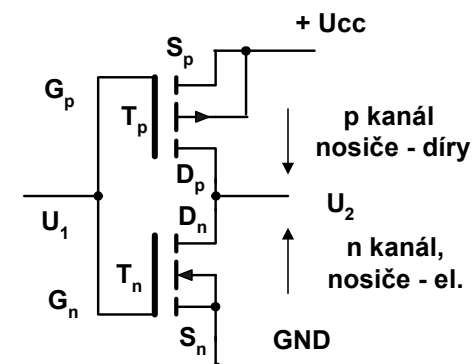


Ideové uspořádání elementárního **invertoru CMOS** v **logických obvodech**.



Vložená informace – doplňkový výklad pro samostudium

Ideové schéma elementárního invertoru CMOS a jeho funkce

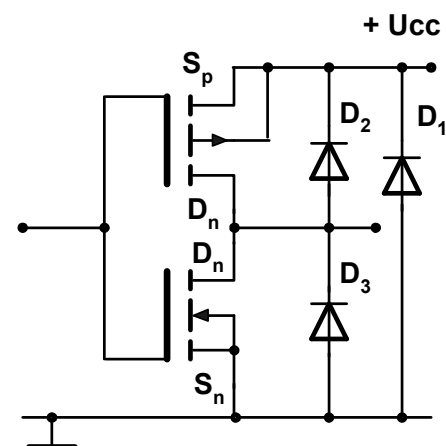


Při kladném napětí $U_1 = +U_{CC}$ vede tranzistor T_n (NMOS) a na výstupu je nulové napětí. Při nulovém napětí $U_1=0$ je napětí na G_p (gate PMOS) záporné vůči jeho substrátu i elektrodě source – S_p a vede tranzistor T_p , zatímco T_n nevede. Na výstupu bude napětí $U_2 = +U_{CC}$.

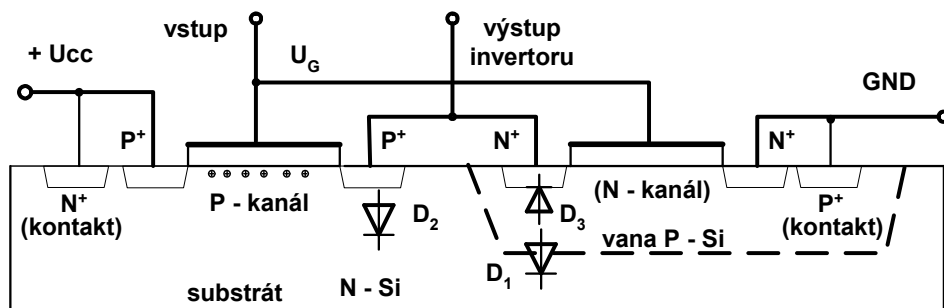
Vložená informace – doplňkový výklad pro samostudium

Z podstaty uspořádání jsou ve struktuře CMOS přítomny přechody PN, které je třeba respektovat při zapojování. To platí i pro procesor STM32F042, nebo obvod 74HC14 používané v KPE.

V každém obvodu CMOS je mnoho přechodů PN, které jsou znázorněny diodou D_1 . Při případném přepólování napájení (pokud nebude omezena velikost proudu) se struktura může poškodit velkým proudem.



Ideové uspořádání invertoru CMOS z hlediska přechodů PN v jeho výstupní části



MOSFET s kondenzátorem - jako paměť'

Nepovinná úloha , super bonus

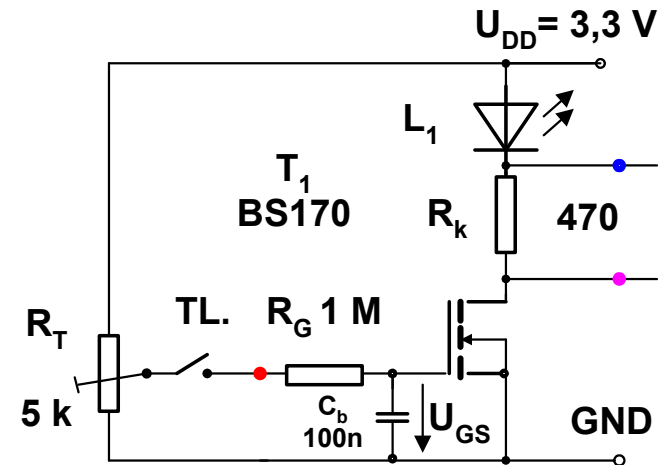
Velmi zjednodušená demonstrace základního **principu** polovodičové **dynamické paměti**

Nastavit trimr R_T na +3,3 V, nabít C_b na +3,3 V a odpojit R_G . (voltmetr- U_{GS} je **odpojen**)

Pozn: Nedotýkat se rukou odpojeného C_b , aby se nevybil. Je možno demonstrovat vybití (již odpojeného) kondenzátoru C_b , zkratem rukou.

I po rozpojení **TL** (tlačítko) bude LED stále **svítit (ON)**. BS170 bude **sepnut** pouze působením **napětí na kondenzátoru**. Místo keramického kondenzátoru 100 nF je vhodné použít **polyesterový** kondenzátor 100 nF (červenohnědý polštářek), který má menší svod (samovybíjení), než má keramický kondenzátor.

Je možno i **vypnout** napájení. Po opětovném **zapnutí** napájení (USB) bude LED stále **svítit**. Analogicky ve stavu OFF, kondenzátor vybit.



Demonstrace působení vstupního proudu ADC

Nepovinná úloha , super bonus pro zájemce

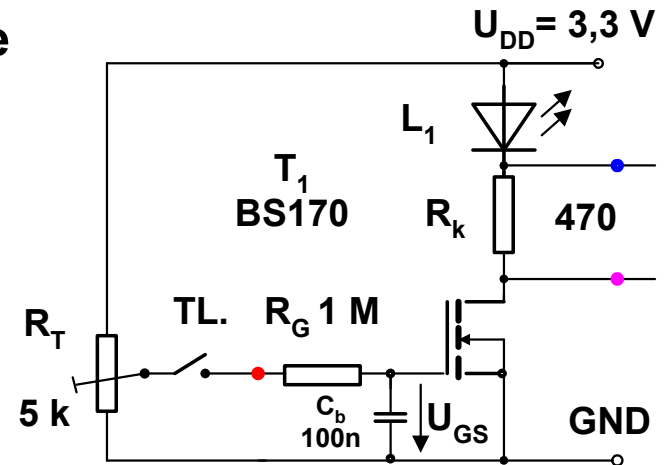
Zapojení z předchozí úlohy,

C_B nabít na +3,2 V

Jen navíc **připojit voltmetr** F0-LAB

Ch1 na U_{GS} , Ch2, Ch3 na nula – GND.

Voltmetr měří napětí U_{GS} , jehož hodnota se *postupně snižuje* působením vstupu ADC procesoru, až LED zhasne.



Pro zobrazení průběhu vybíjení je možno použít funkci – *voltmetr – recording*.

Tranzistor NPN – měření odporu kůže – detektor lži

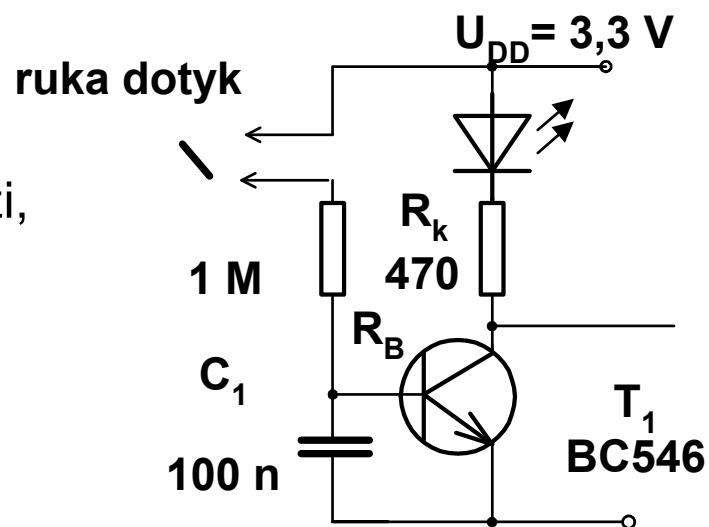
Experiment – určit odpor kůže. Tranzistorem **zesílit malý proud** tekoucí do báze přes detekční obvod. s rezistorem R_B . Uzavřít obvod přes prsty ruky nebo i přes obě ruce – LED bude svítit podle odporu kůže. Je možno uzavřít obvod i přes dvě osoby (viz. „vydržej pioněři“) a indikovat dotyk osob.

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

Pozn. Jaká je časová konstanta filtru realizovaného RC článkem 1M, 100 nF?

Co se stane při **dotyku prstu** (jen) na bázi, pokud odpojíme C_1 („anténa“)?

Vyzkoušejte „detektor podání ruky“



Zesílení proudu fototranzistoru tranzistorem NPN

Zesílení proudu fototranzistoru

Pomocí BC546 – příliš velké zesílení.

Pomocí rezistoru R_b – omezení

Pro $I_{Fot} \times R_b < 0,6 \text{ V}$ proud

fototranzistoru teče pouze do rezistoru R_b

Volba R_b – nastavení **prahu**

Počáteční volba $R_b = 10\text{k}$,

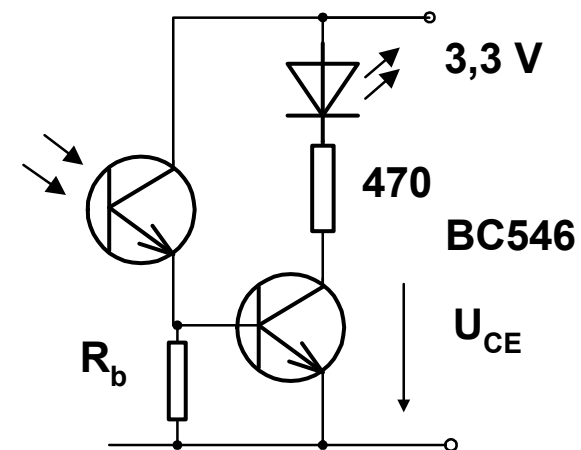
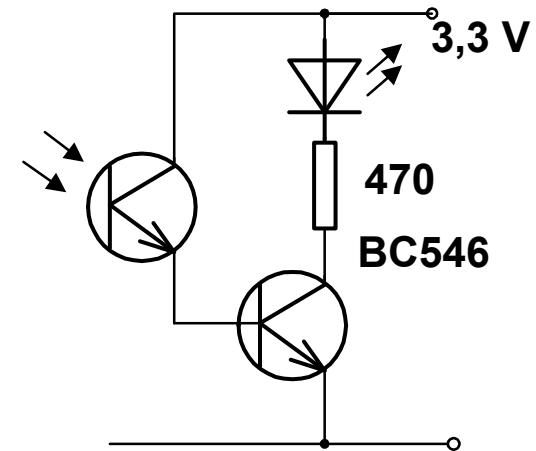
(Pokud nestačí 10k, použít samotný odporový trimr 5k jako proměnný odpor) nastavit, až LED spolehlivě zhasne při zaclonění závory)

Další růst I_{Fot} – zesílení proudu, saturace tranzistoru

U_{CE} – desítky voltu

Funkce jako dvojhodnotového snímače

Využít pro optickou závoru



Vložená informace – doplňkový výklad pro samostudium

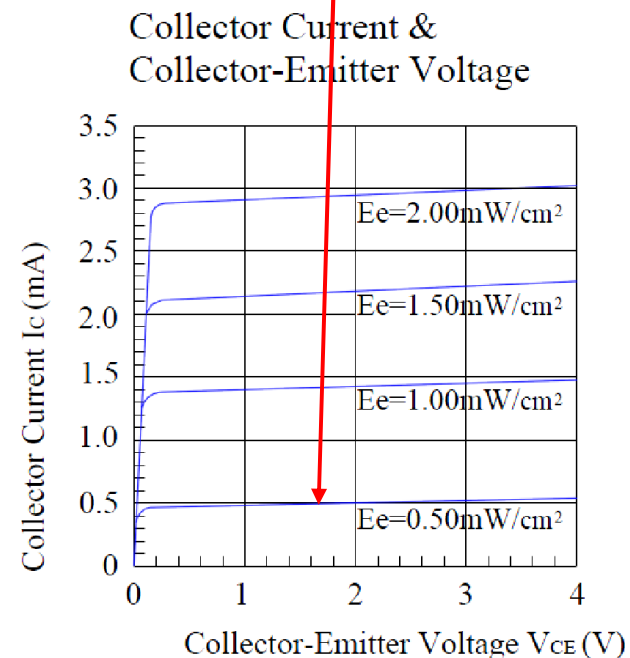
Tranzistor BC546C má typickou hodnotu parametru $h_{21E} = 400 - 600$, tedy zesílení proudu bude stejné, cca 500x. Proud fototranzistoru LL-304PTC4B-1AD velikosti **1 uA** po zesílení způsobí proud LED cca **0,5 mA**, což způsobí znatelný svit LED. Pro proud fototr. 1 uA lze z grafu odhadnout $E_{e1} = 0,001 \text{ mW/cm}^2 = 10 \text{ mW/m}^2$. To je malá intenzita ozáření, která je v normálně osvětlené místnosti vždy překročena. Pro zhasnutí LED se musí fototranzistor důkladně zakrýt. Takovýto senzor pro nás tedy má příliš velkou citlivost.

Použití rezistoru R_B způsobí, že až LED nebude svítit, pokud napětí na bázi BC546 bude menší než do napětí cca 0,6V. Tedy součin $I \cdot R_B$ musí dosáhnout 0,6 V (Ohmův zákon). Volbou velikosti $R_B = 0,6 \text{ V} / I$ se nastaví práh proudu, pod kterým LED nebude svítit.

Tedy např. použití $R_B = 10 \text{ k}$ nastaví práh na 60 uA. Z grafu se odhadne a následným výpočte určí potřebná intenzita ozáření fototranzistoru jako $E_{e2} = 60 \text{ uA} \times 0,5 \text{ (mW/m}^2) / 0,5 \text{ mA} = 0,6 \text{ W/m}^2$, což je **600 x** větší hodnota oproti E_{e1} .

Další nárůst proudu fototranzistoru, např. o 5 – 10 uA, způsobí nárůst proudu báze a následně i prudký nárůst zesíleného proudu kolektoru, čímž vzroste úbytek napětí na rezistoru v kolektoru. Tím poklesne napětí na kolektoru tranzistoru až na desetiny voltu – tranzistor bude sepnut. Tento blok lze tedy využít jako zjednodušený dvouhodnotový snímač osvětlení, jehož výstup může být napojen na logický vstup mikrořadiče.

Výpočty výše - pro názornost využívají zjednodušené náhrady chování tranzistoru



Logický vstup do procesoru – indikace světla

Logický vstup do procesoru s tranzistorem jako komparátorem

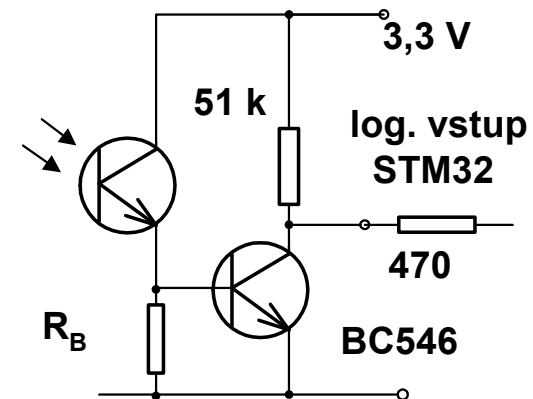
Pro proud fototranzistoru $I_{\text{FOT}} < \frac{U_{\text{BE}}}{R_{\text{B}}}$, kde $U_{\text{BE}} = 0,6\text{V}$

tranzistor **BC546** má **nulový** proud do **báze**, tedy také **nulový** proud kolektoru a **chová se jako rozpojený obvod**. Na kolektoru je napětí **+3,3 V – vysoká úroveň „H“**. (logická „1“)

Při proudu I_{FOT} fototranzistoru **větším než** začne růst proud kolektoru a klesat napětí na kolektoru, až se tranz. dostane do **sepnutého stavu**, čímž generuje **nízkou** log. úroveň – „L“, „**logická nula**“ .

Viz dále experiment v laboratoři

*Pozn.: Podobně by zde bylo možno místo NPN BC546 použít NMOSFET BS170. Velikost R_{B} určit pro dosažení **prahového napětí** MOSFET U_{T0} , cca 2 V.*



$$R_{\text{B}} \cdot I_{\text{FOT}} \geq U_{\text{T0}}$$

Logický vstup do procesoru – indikace světla - NMOSFET

Pouze výklad, experiment jen- super -bonus

Logický vstup do procesoru s NMOSFET tranzistorem BS170 jako komparátorem

Pro proud fototranzistoru $I_{\text{FOT}} < \frac{U_{\text{T0}}}{R_{\text{B}}}$ $U_{\text{T0}} \approx 2 \text{ V}$ (prahové napětí)

tranzistor **BS170** nevede ($U_{\text{GS}} < U_{\text{T0}}$) a chová se jako **rozpojený obvod** na elektrodách **S** a **D**. $U_{\text{DS}} = +3,3 \text{ V}$ – vysoká úroveň „**H**“. (logická „1“)

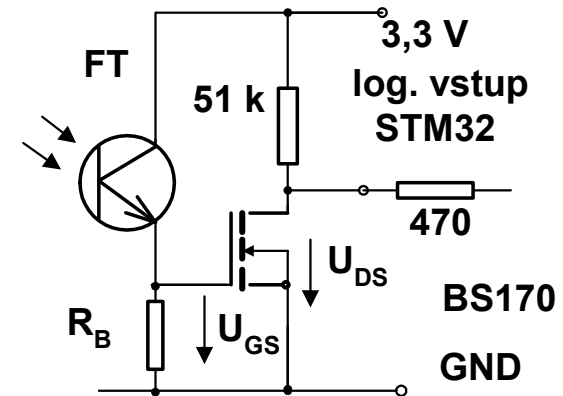
Pokud bude $U_{\text{GS}} > U_{\text{T0}}$, začne růst proud I_{DS}

To nastane za podmínky $R_{\text{B}} \cdot I_{\text{FOT}} \geq U_{\text{T0}}$

Nárůstem proudu I_{DS} bude

klesat napětí U_{DS} směrem k nule. Díky použitému velkému odporu (51 k) i při malé jeho *transkonduktanci* g_{FS} (v daném pracovním bodu) se dalším *nárůstem* U_{GS} tranzistor dostane do *sepnutého stavu*

($U_{\text{DS}} \approx 0$) a bude generovat nízkou úroveň **L** („logická 0“).



Optická závora a její použití

Funkce jako **dvojhodnotového snímače** a jeho využití pro **optickou závoru** – uspořádání **LED** proti fototranzistoru v ose

Experiment? Pomocí voltmetru a funkce „záznam“ voltmetru zaznamenat průběh změn zaclonění optické závory.

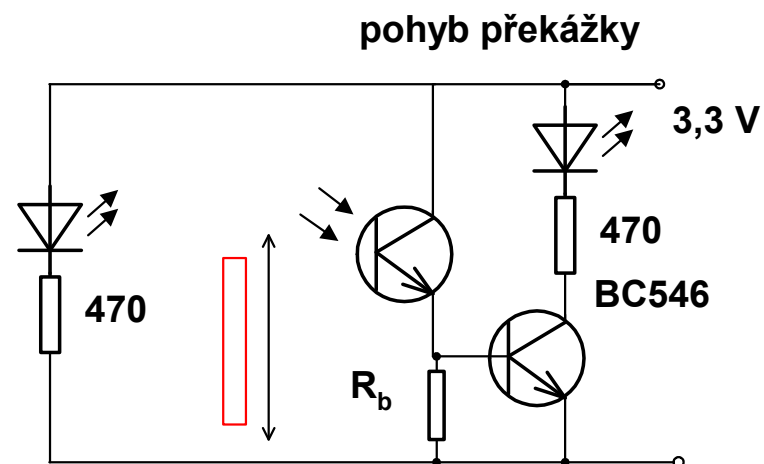
Jako vysílací LED použít LED v **čirém pouzdře**; Indikace průchodu světla rozsvícením LED

Vyhodnotit **rychlost pohybu z doby** zaclonění snímače

Vstupem **Ch1** (pin č. 11) snímat signál na **kolektoru** BC546

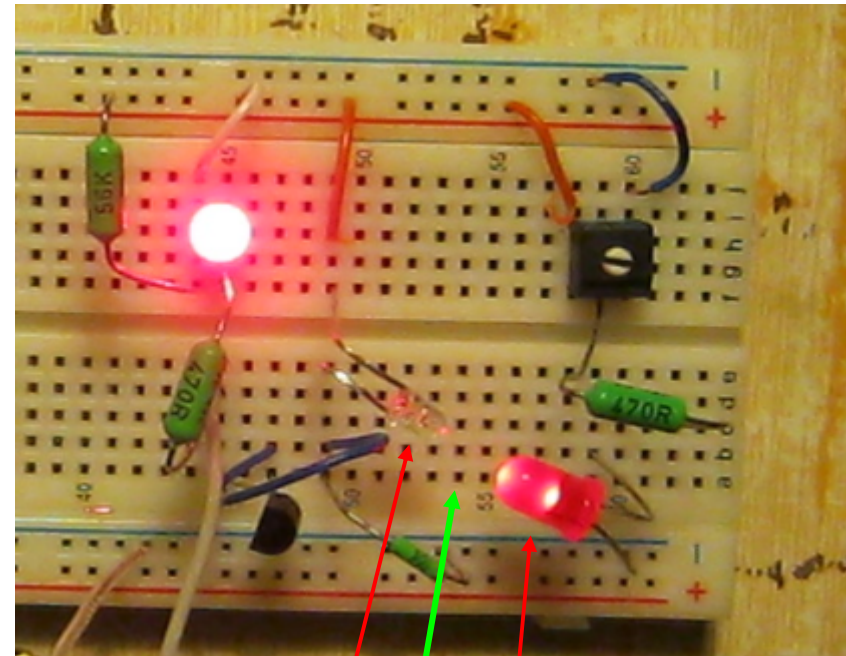
Experiment: „**počítání prstů prošlých optickou závorou**“

$R_b = 10k$ nebo odporový **trimr 5k** jako proměnný odpor) nastavit, až LED spolehlivě **zhasne při zaclonění** závory)



Optická závora

Realizace optické závory
Fototranzistor a LED jsou
v jedné ose.
Je možno použít i větší
vzdálenost, než je na snímku.



Fototranzistor

Vysílací LED

Sledovaný prostor

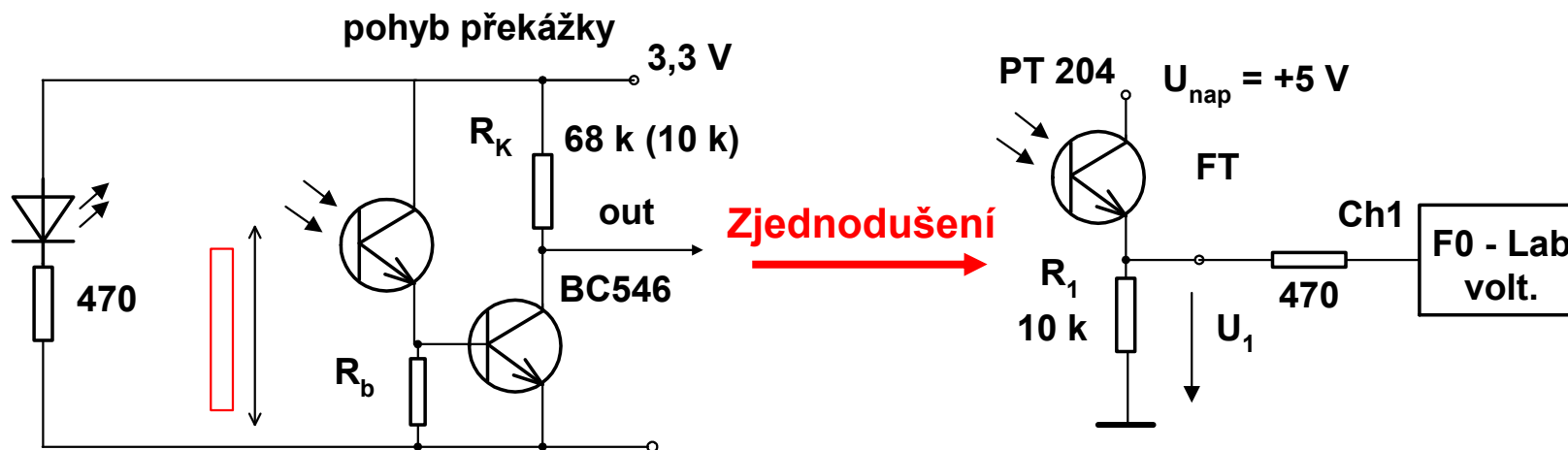
Snímač rychlosti pohybu se dvěma závory

Použít **dvě optické závory** vedle sebe s rovnoběžnými osami.

Pro **zjednodušení** použít snímače v jednoduché verzi, pouze fototranzistor s rezistorem v emitoru. **Podle zpoždění signálu obou snímačů** měřeného pomocí **dvoukanálového osciloskopu F0–Lab** lze určit nejen **rychlost pohybu**, ale též i **směr pohybu**.

Provést **experiment**, při známé vzdálenosti snímačů **určit rychlost pohybu ruky**, či jiné překážky pohybující se přes snímače.

$U_{\text{nap}} = +3,3 \text{ V}$, příp. $+5 \text{ V}$ – pro **větší** rozkmit signálu, použít pak ochr. $R = 470$ ve vstupu
 $R_K = 68 \text{ k}$ (51 k nebo 10 k)- vše je možné.



Snímač pro měření rychlosti

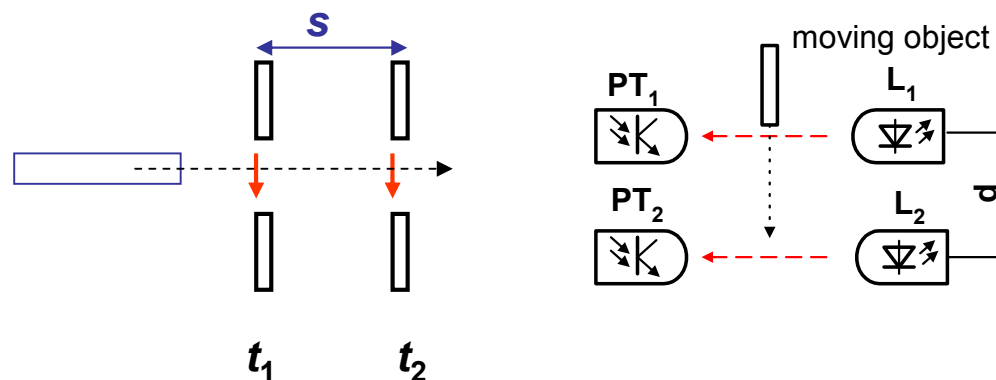
Rychlost v , dráha s , čas t

$v = s / t$ Realizace optické závory $t = t_2 - t_1$

Dvě optické závory posunuté o vzdálenost s

Přerušování chodu paprsků dvou optických závor hranou pohybujícího objektu

Osciloskop v režimu **dvou kanálů**, vyhodnotit **zpoždění signálu závor** pozorováním **signálu v obou kanálech**.

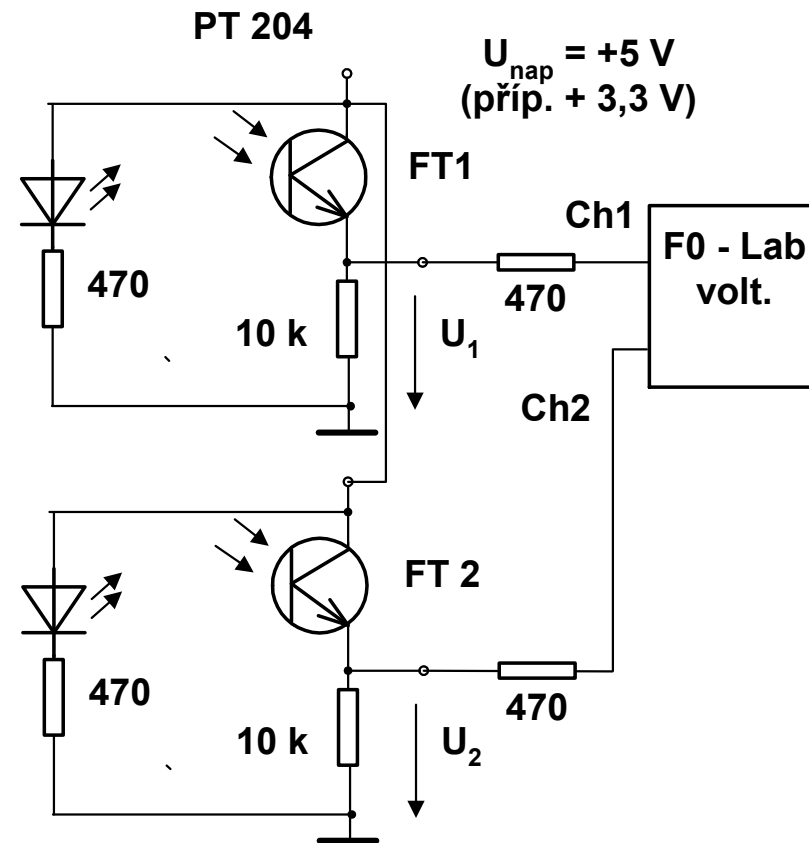
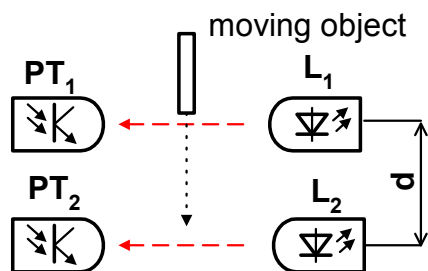


Měření rychlosti pomocí dvou optických závor

Měření rychlosti pomocí dvou jednoduchých posunutých **optických závor**

vyhodnocení zpoždění

Možnost použít **zjednodušeného zapojení závor.**



Vysílací LED typu **FYL-5013LRC1C** – červené LED v **čířém** pouzdře, úzká směrová charakteristiky, větší **svítivost** v ose.

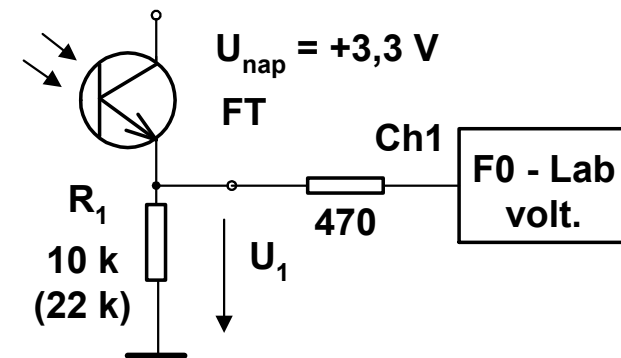
Optický reflexní snímač – doplňková úloha, bonus

Vysoce svítivou LED (čirá - zelená nebo modrá) budit **PWM** (např. **220 Hz** – vyzkoušet) pomocí spínacího **tranzistoru BC546**, s odporem v bázi **22 k** napájení z **+5 V**, rezistor **470 Ohmů**, nebo i menší (**220; 235 = 2x 470** paralelně)

Svítit do prostoru a fototranzistorem vyhodnocovat **odražené světlo**, ($R_1 = 10k, 22k$ nebo $68k$ – ověřit podle světla v místnosti; fototranzistor se nesmí dostat do saturace okolním světlem, tedy napětí na emitoru pod. cca $2,5 V$)

Fototranzistor natočit **rovnoběžně s LED** do směru mimo přímé světlo, fototranzistor bude vyhodnocovat světlo z LED **odražené** od překážky (CH1 pozorovat signál fototranzistoru, hledáme proměnný signál – „optický přenos z PWM“).

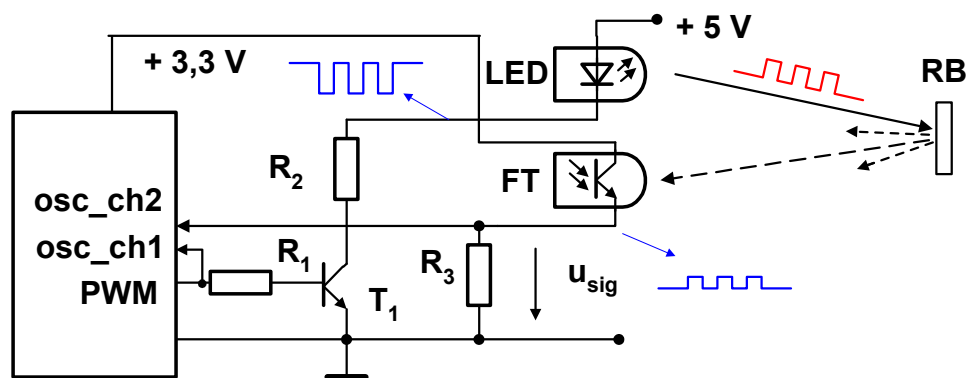
Osciloskop dvoukanálově, CH2 snímat PWM, **synchronizace CH2 – PWM**, Příprava na úlohu v předmětu „**Roboti**“ a sledování čáry.



Optický reflexní snímač

Synchronizovat pomocí kanálu **Ch1** – signál s dostatečnou amplitudou, dobře **synchronizuje** osciloskop.)

Odražený signál na ch2 – slabý a zatížený rušením, ale bude jej možno najít. (příprava na předmět Roboti – senzor robota pro sledování čáry)



Pozn. **Naprogramováním** mikrořadiče v C++ pomocí mbed IDE (výklad středa odpoledne) je možno vytvořit optický reflexní snímač pro robota, pro spínání ofukovače rukou...

Vhodné použít **modulaci záření** a metodu číslicového zpracování signálu pro potlačení rušivých signálů (viz v budoucnosti **Lock – in amplifier**), příp. využít IRED a IR tranzistor citlivý pouze na infračervené záření.

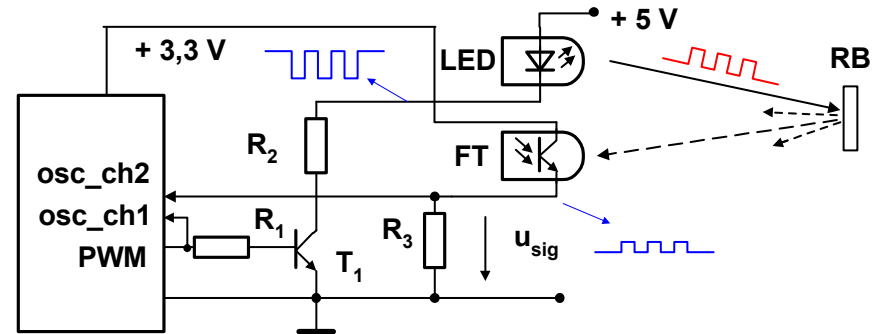
Optický reflexní snímač - poznámka

Super -bonus úkol:

S využitím programování STM32F042

realizovat:

**programově řízený
optický reflexní snímač
přiblížení.**

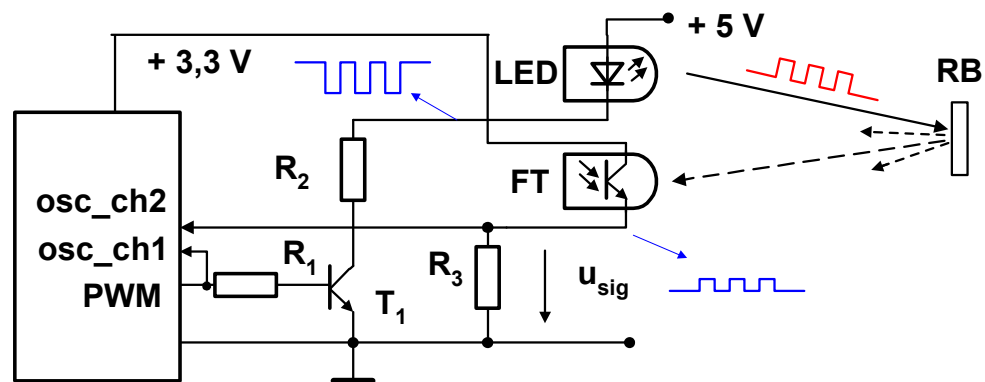


Procesor- **zapínat** a **vypínat** proud vysoce svítivou **LED** (modrá, zelená).

Pomocí převodníku **ADC** v STM32 měřit velikost signálu (U_1) z fototranzistoru při osvětlení scény pomocí LED a velikost signálu (U_2) z fototranzistoru při vypnuté LED. Vždy stejný počet odměřů U_1 a U_2 .

Spočítat rozdíl D_M součtu hodnot napětí odměřů U_1 – součet hodnot napětí odměřů U_2 . Pokud D_M překročí danou prahovou hodnotu, bude se signalizovat přiblížení objektu či překážky.

Optický reflexní snímač - poznámka



Pozn. **Naprogramováním** mikrořadiče v C++ pomocí mbed IDE (výklad středa odpoledne) je možno vytvořit optický reflexní **snímač pro robota**, **snímač** pro spínání **ofukovače** rukou...

Vhodné použít **modulaci záření** a metodu číslicového zpracování signálu pro potlačení rušivých signálů (viz v budoucnosti **Lock – in amplifier**), příp. využít IRED a IR tranzistor citlivý pouze na infračervené záření.

Úkoly D3

- Měření **odporu srovnávací metodou** pomocí F0–Lab, porovnáním s $R = 10k$, změřit trimr 5k nastavený na nějaké polohy pomocí F0–Lab, ověřit pomocí Multimetru
- **Fototranzistor** (typ FYL-5013SRC1C), **proud fototranzistoru** měřením napětí na snímacím rezistoru 470 Ohmů (zaclonit, odclonit rukou) závislost voltmetrem (možno i logovat – záznam voltmetru)
- Fototranzistor do série s LED „indikace denního světla“
- NPN tranz. -určení stejnosměr. **proudového zesilovacího činitele** h_{21E}
- N- MOSFET -určení **prahového napětí** U_{T0}
- **Nepovinná úloha**: Bonus – paměť s kondenzátorem a NMOSFET
- **Detektor lži**
- Nastavení **prahu optické závory** rezistorem mezi B a E tranzistoru
- Optická závora – počítání prstů
- Určení **rychlosti pohybu** průchodem objektu dvěma optickými závorami
- **Nepovinná úloha**: Bonus – **optický reflexní snímač**