

---

# **Kurz praktické elektroniky**

**Katedra měření, ČVUT–FEL, Praha 29.8. – 2. 9. 2022**

**5.9. – 9.9. 2022**

**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 2022.**

---

# 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 zápisů.**

**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  $2 \text{ mA}$  ?**

**Je to změřeno a zapsáno v sešitě?**

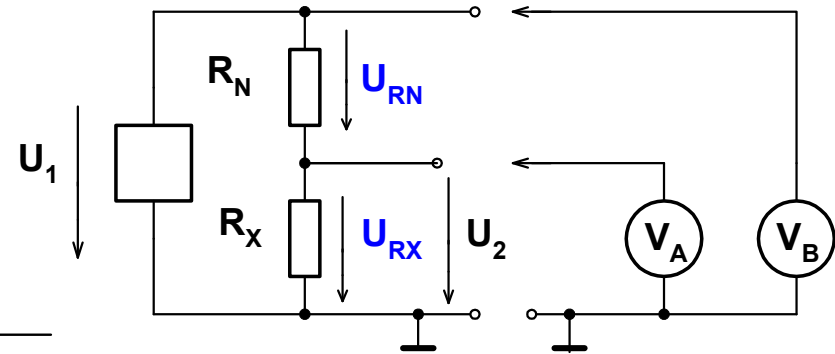
# Poměrové měření odporu (opakování)

$R_N$  – 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 **68 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

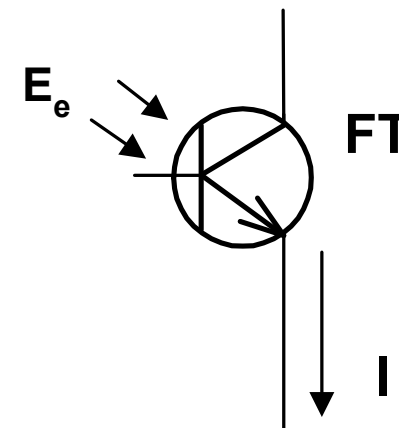
Funkce obdobná jako **tranzistor**, avšak proud do báze je generován **světlem („fotoproud“)** dopadajícím na **PN přechod** kolektor – báze fungující jako fotodioda.

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

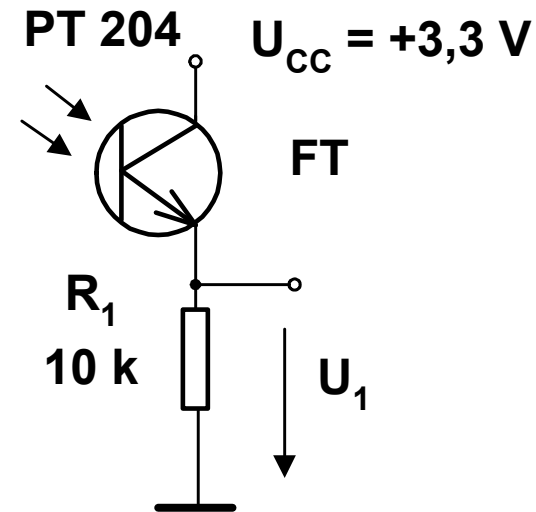
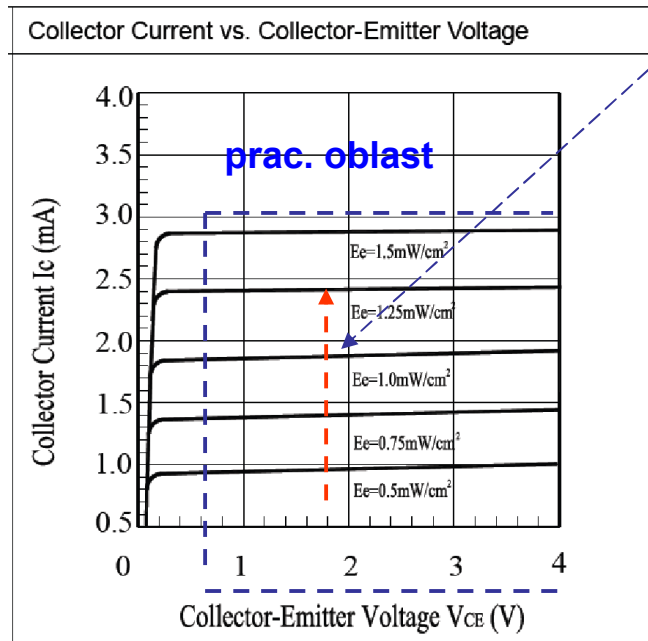
$I_{FOT}$  – je úměrný intenzitě ozáření  $E_e$

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.

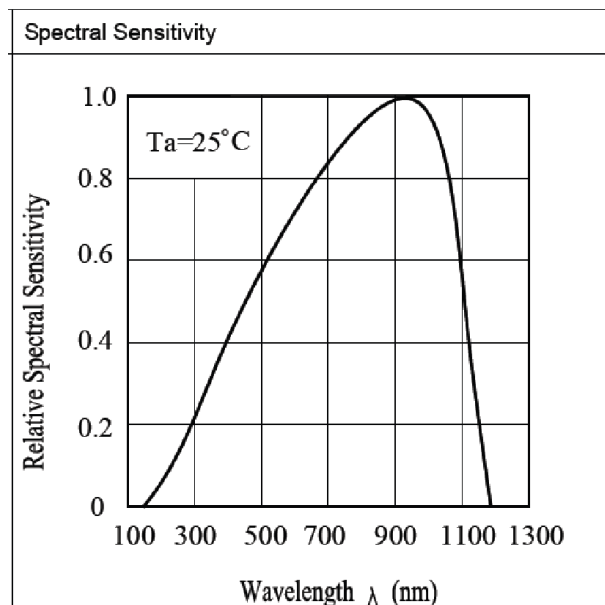
Podobně při **přepolování LED** s napájením vyšším napětí (např. 15 V) s velkou pravděpodobností dojde k průrazu PN přechodu (poškození LED).

# 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

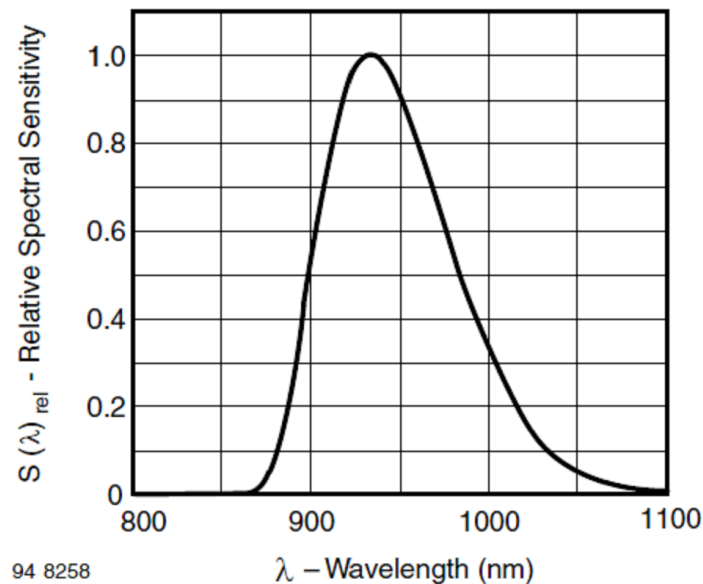


Fig. 10 - Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength

# 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

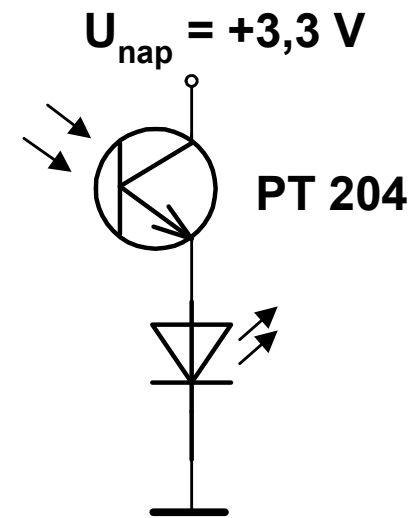
**Vzdálená indikace světla**, fototranzistor  
řídí proud **červené** LED (proud je malý?),

LED svítí slabě

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

Pozn. fototranzistor 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

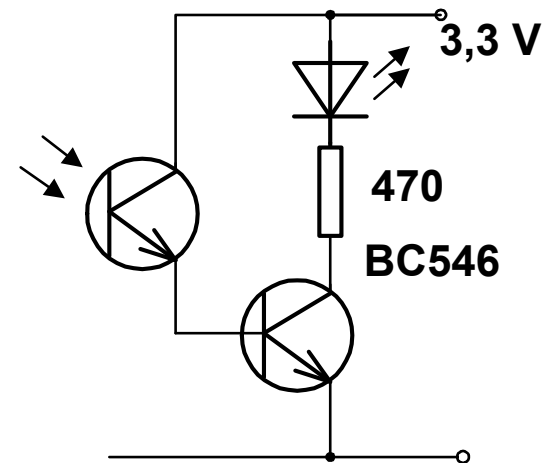
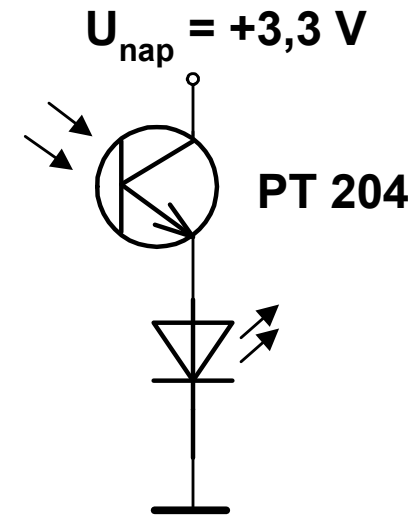
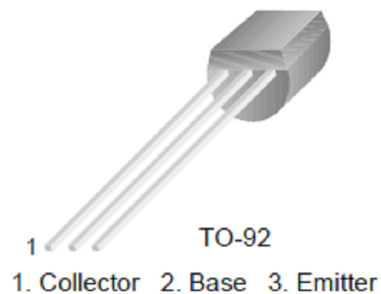
**Zesílení proudu fototranzistoru proudovým**

**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

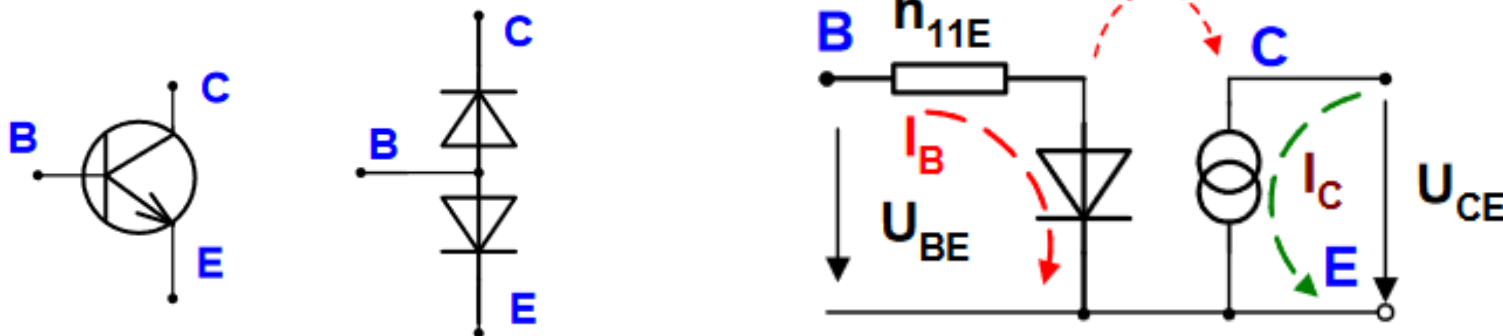
Tranzistor – zdroj proudu řízený proudem

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  $h_{22E}$ )



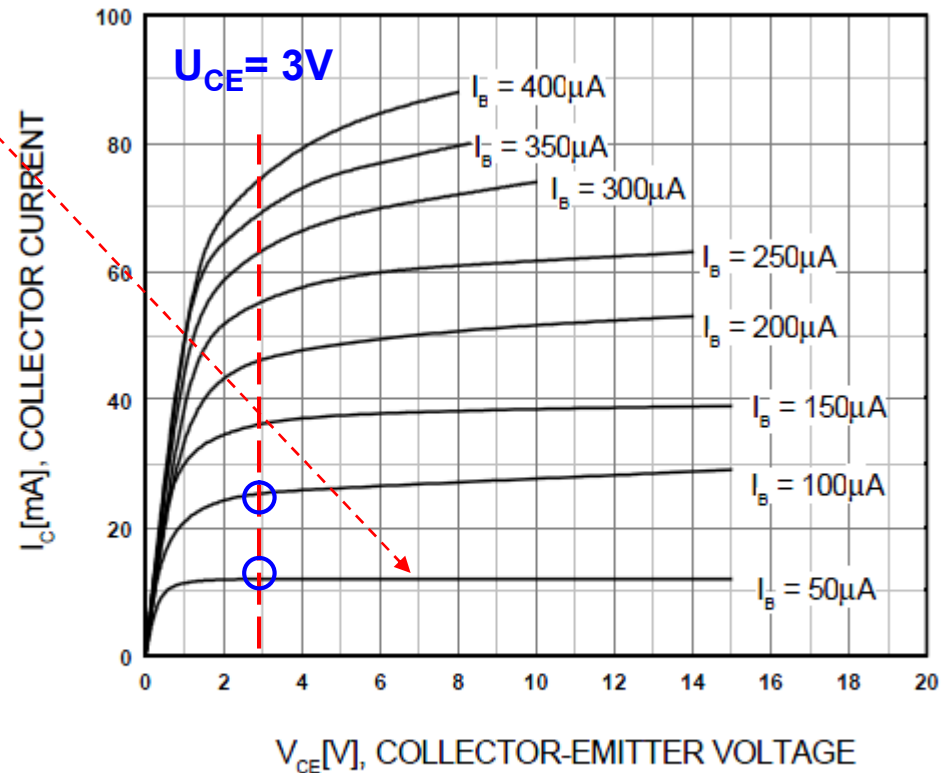
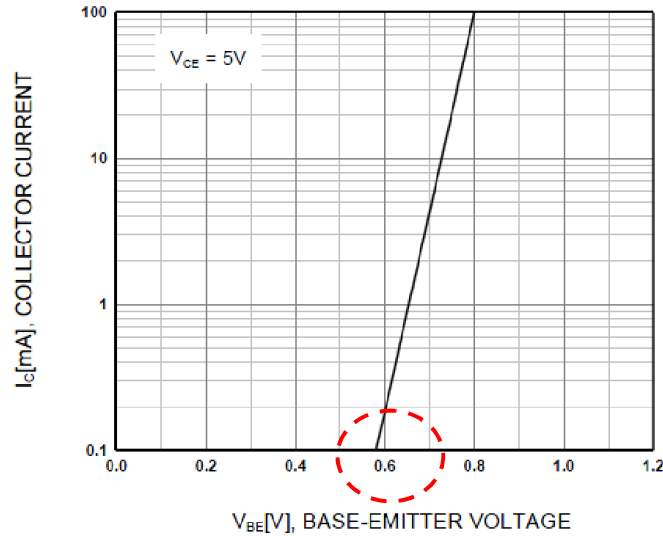
# Parametry tranzistoru BC546 , BC547

**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**

**kolektorové charakteristiky**



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

**Figure 1. Static Characteristic**

# Bipolární tranzistor NPN, stejnosměrný zesilovací činitel

Zesílení proudu tranzistorem NPN typu **BC546, BC547**

**stejnosměrný zesilovací činitel**  $h_{21E}$  (také označ.  $\beta$ )

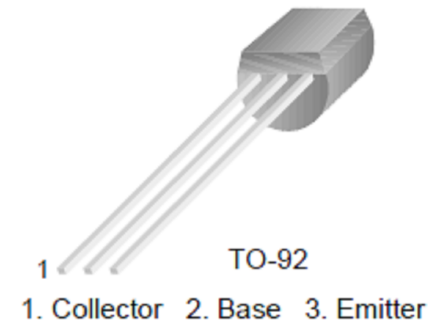
Určit  $h_{21E}$  ( $\beta$ ) použitého **tranzistoru**

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

TI. **ON**, ? změřit proud kolektoru  $I_C$

Změřit napětí  $U_{BE}$  (báze – emitor)

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



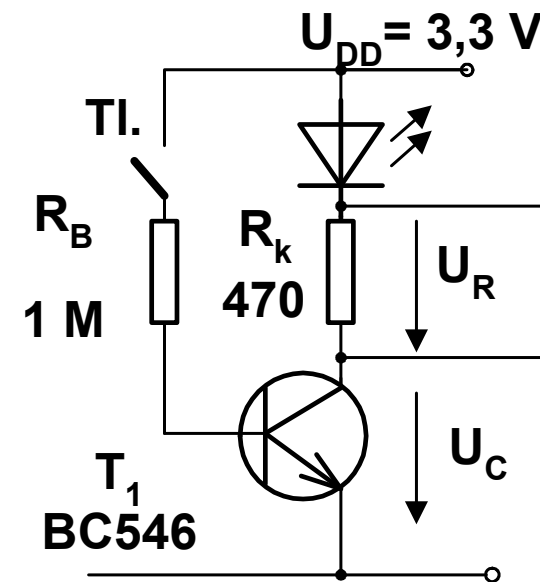
Jak se určí velikost proudu báze  $I_B$ ?

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, BC547, příp. BC337)

Existují i **bipolární tranzistory PNP**, které v KPE máme BC327

.

**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 Semicondutor**).

příklad **BS170** NMOSFET – s **indukovaným kanálem N**.

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

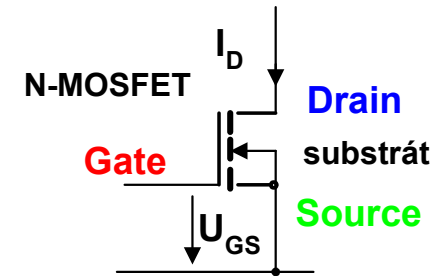
**Při nulovém napětí  $U_{GS}$ - proud neteče ( $I_{DS} = 0$ )**

(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

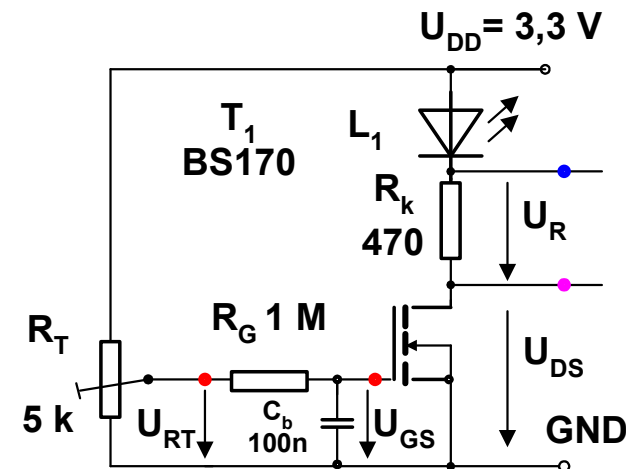
V KPE používáme unipolární tranzistor řízený polem FET (*Field Effect Transistor*) s indukovaným kanálem N, tedy N MOSFET, nebo také označovaný jako NMOS tranzistor,



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

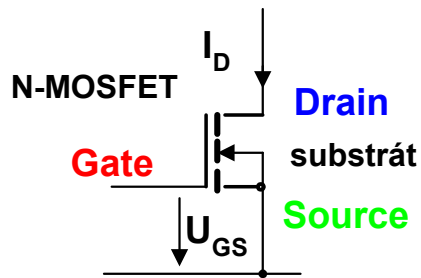
Měřením určit velikost prahového napětí  $U_{T0}$ , při kterém tranzistor začíná vést proud – např.  $I_{DS}=1$  mA (pro jednoduchost experimentu používáme malou hodnotu)



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

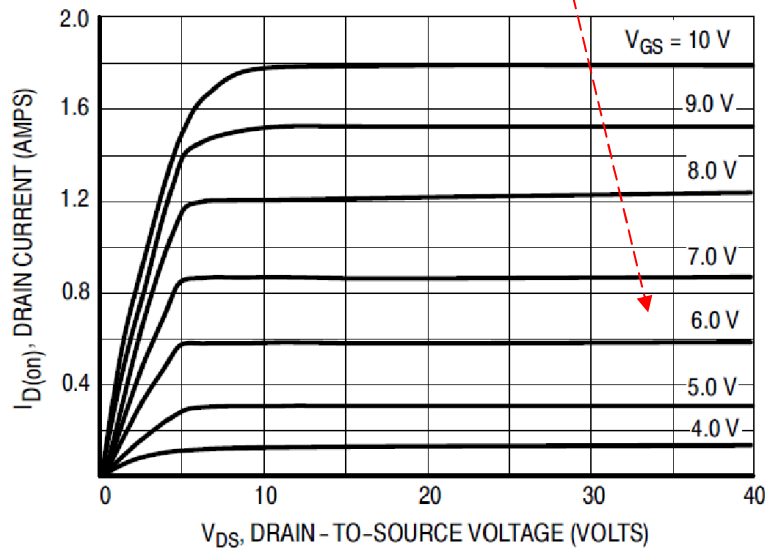


Figure 5. Output Characteristics

Parametr  $I_B$  - NPN tranzist

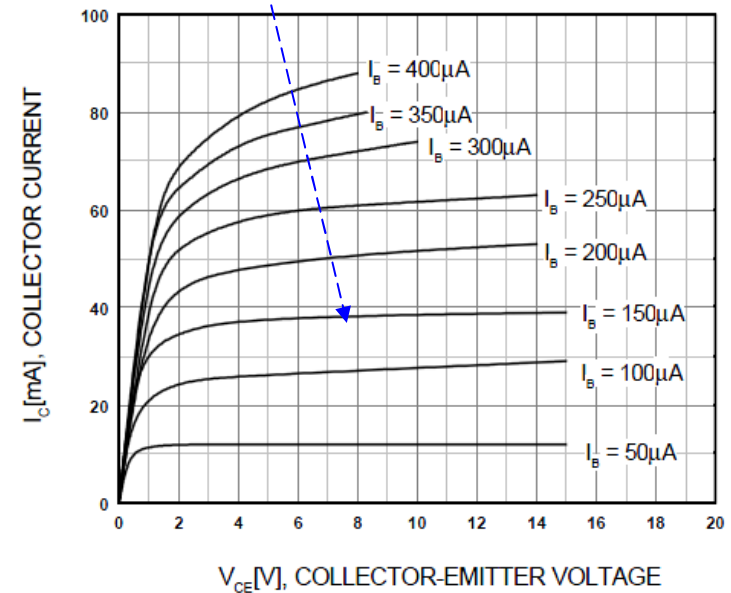


Figure 1. Static Characteristic

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

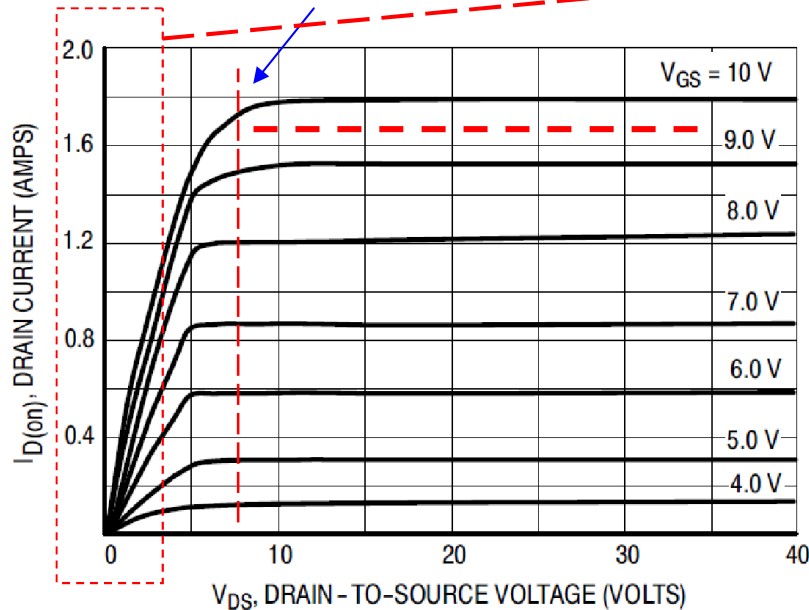


Figure 5. Output Characteristics

Tranzistor jako spínač

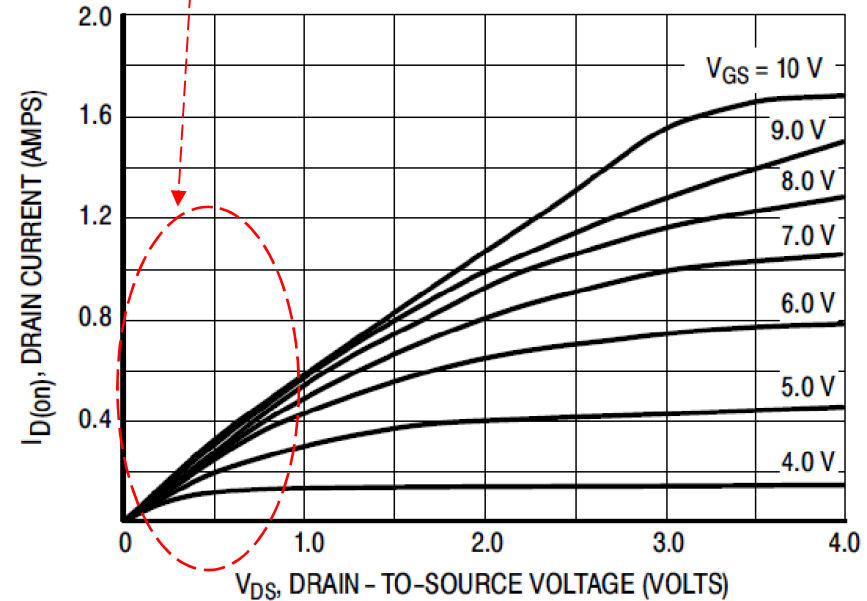


Figure 4. On-Region Characteristics

# Tranzistor v lineární oblasti, tranzistor jako spínač

Tranzistor v **lineární** oblasti:

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

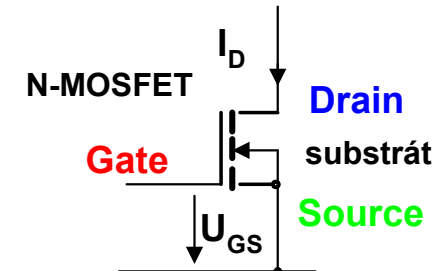
proud  $I_{DS}$  (NMOSFET) se mění s **napětím**  $U_{GS}$ .

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**.

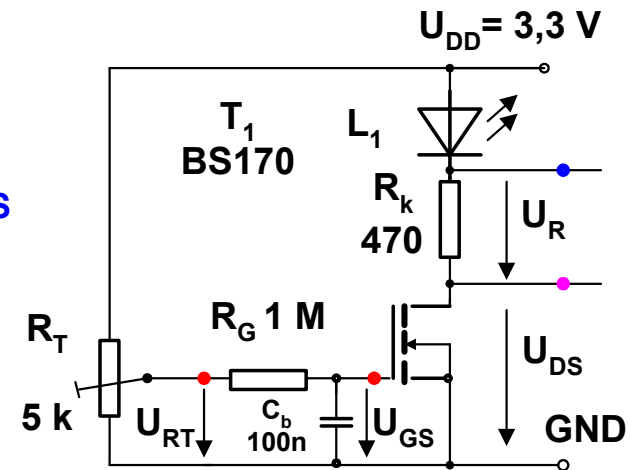
**Stav OFF**- tranzistorem **proud neprotéká**, tranzistor je – „**rozepnutý**“

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

# Měření MOSFET - poznámky

## Měření

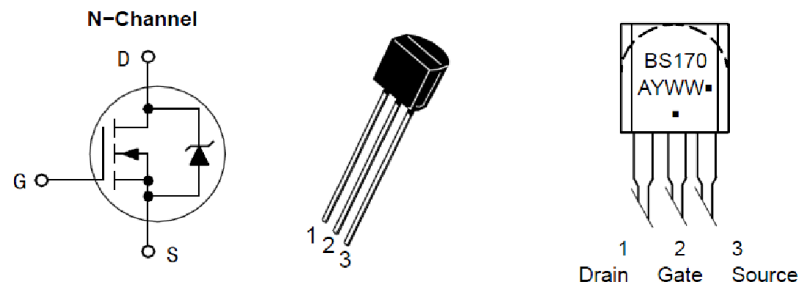
- Ch1 volmetru připojit a měřit  $U_{RT}$   
příp. přepojit na elektrodu **Gate** a měřit  $U_{GS}$   
**nulový rozdíl napětí  $U_{RT} - U_{GS}$  znamená nulový proud Gate  $I_G = 0$**
- Ch2 voltmetru na elektrodu Drain a měřit  $U_{DS}$
- Ch3 voltmetru na rezistor a měřit  $U_R$   
jako rozdíl  $U_{CH3}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



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

**Velkost** transkonduktace se **mění** (roste) s proudem  $I_{DS}$  .

**BS170**, pořadí vývodů  
zleva **DGS**



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

# MOSFET – význam parametru - *Transkonduktance*

**Transkonduktance  $g_{FS}$**  v daném pracovním bodu vyjadřuje ***poměr*** změny proudu  $\Delta I_{DS}$  na změně napětí  $\Delta U_{GS}$  (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  **$200\text{ mA/V}$** )

Naše měření v oblasti ***malých napětí a proudů***)

- podstaně **menší** hodnota  **$g_{FS}$**

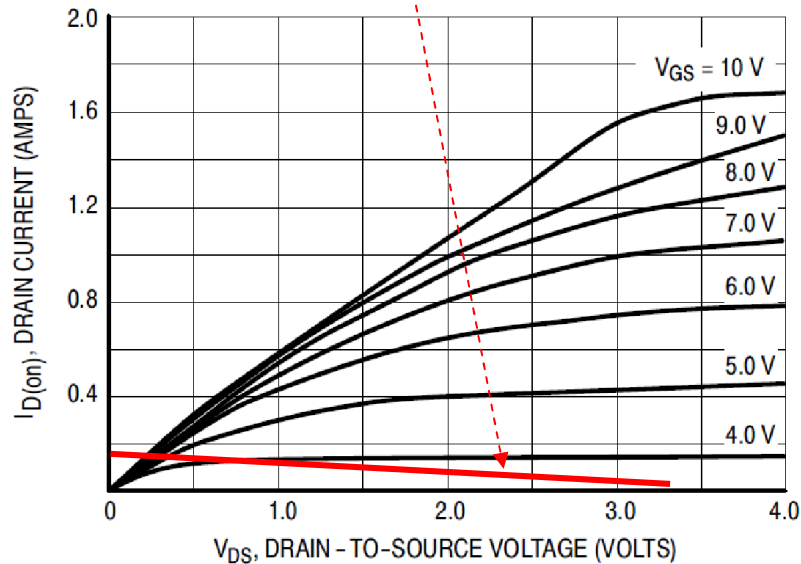
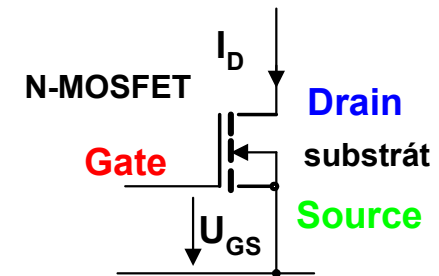


Figure 4. On-Region Characteristics

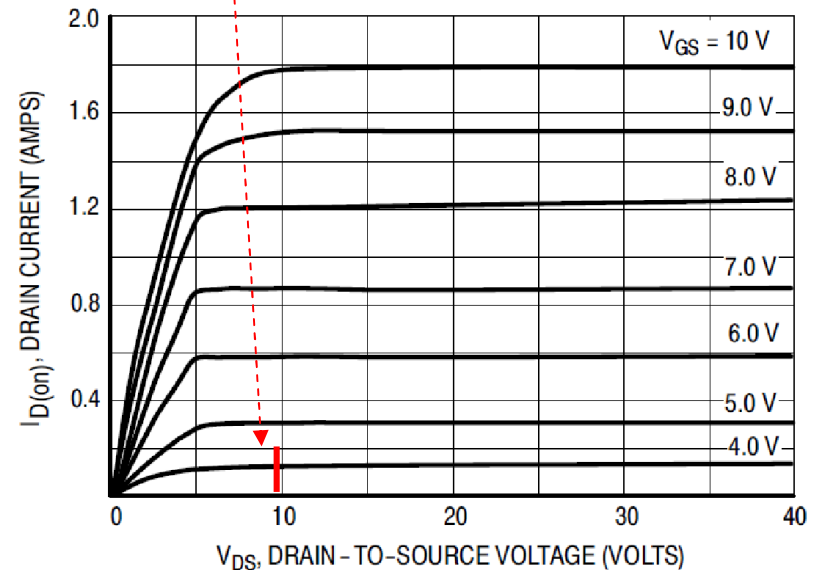


Figure 5. Output Characteristics

# Měření MOSFET – poznámky, použití $C_b$

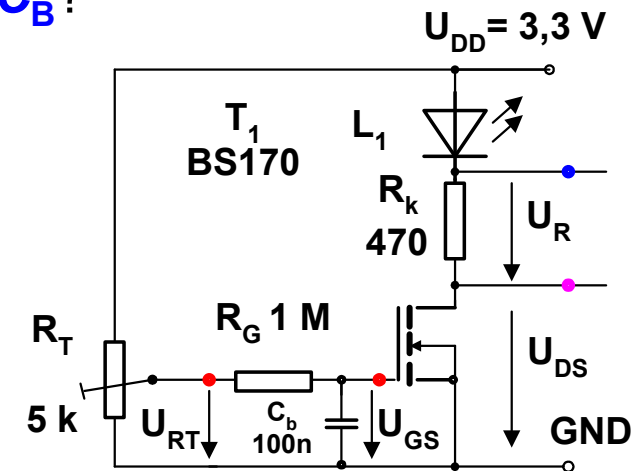
Otázka: **Proč** je v obvodu **použit kondenzátor  $C_B$** ?

U ideální voltmetr s nekonečným vstupním odporem a nulovým vstup. proudem –  $C_B$  by nebyl zapotřebí.

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

**Časová konstanta**  $\tau_{\text{samp}}$  článku RC tvořeného  $R_G$  a kapacitou (vnitřního)  $C_{\text{samp}}$  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  $\tau_{\text{samp}}$  byla alespoň 8x menší, než je doba odběru vzorku  $t_{\text{samp}}$ . 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.

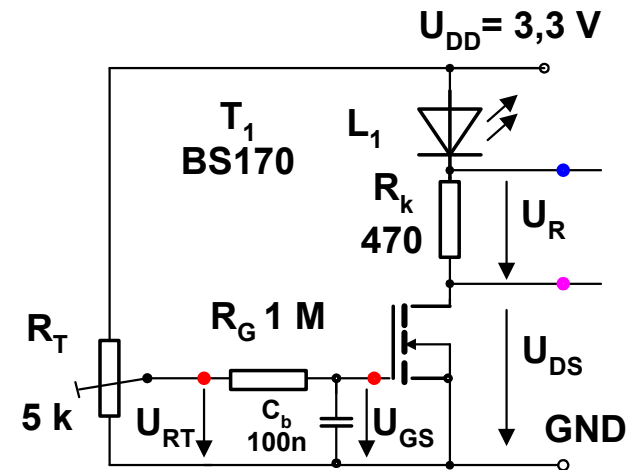
(Funkce  $C_B$  - **analogie** – kašna s malým přítokem vody. Voda z kašny se nabere (odebere) vědrem. Do dalšího odběru pomalu opět nateče.)

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**  $C_b = 100 \text{ nF}$

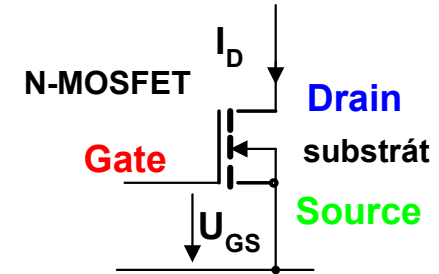
a srovnat výsledky. (3,2 V, 2,9 V)

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,

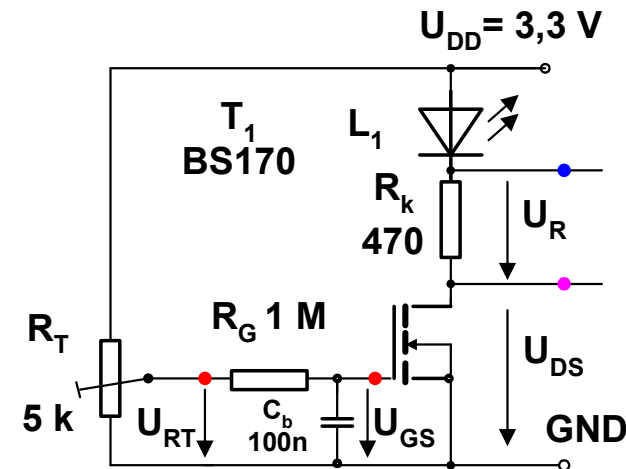


Náš typ - BS170, příp. 2N7000 NMOS FET

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.  $I_{DS} = 1 \text{ mA}$  (pro jednoduchost experimentu používáme malou hodnotu)

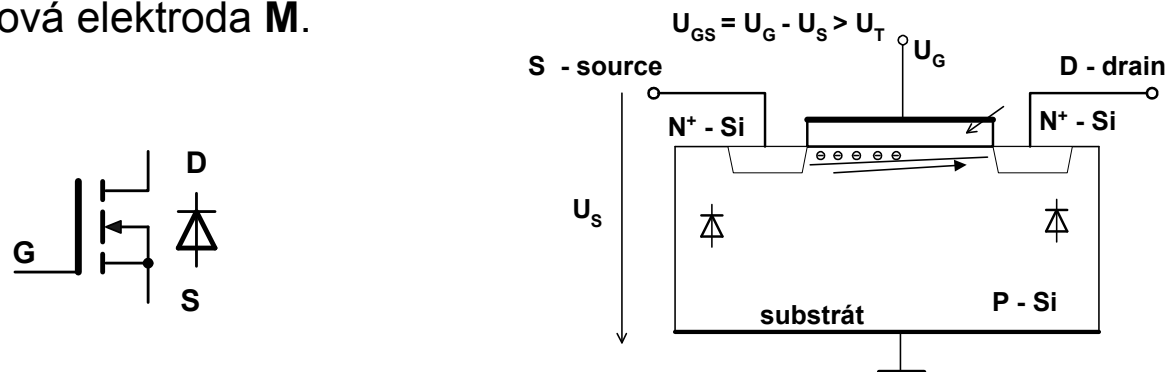
Postupně zvyšovat  $U_{RT}$ , až bude  $I_{DS} = 1 \text{ mA}$  (pozn. v katalogu je **prahové napětí** označeno  $U_{GS(th)}$  – použito poněkud jiné zapojení, pro měření, ale výsledky jsou podobné.)



## 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**.

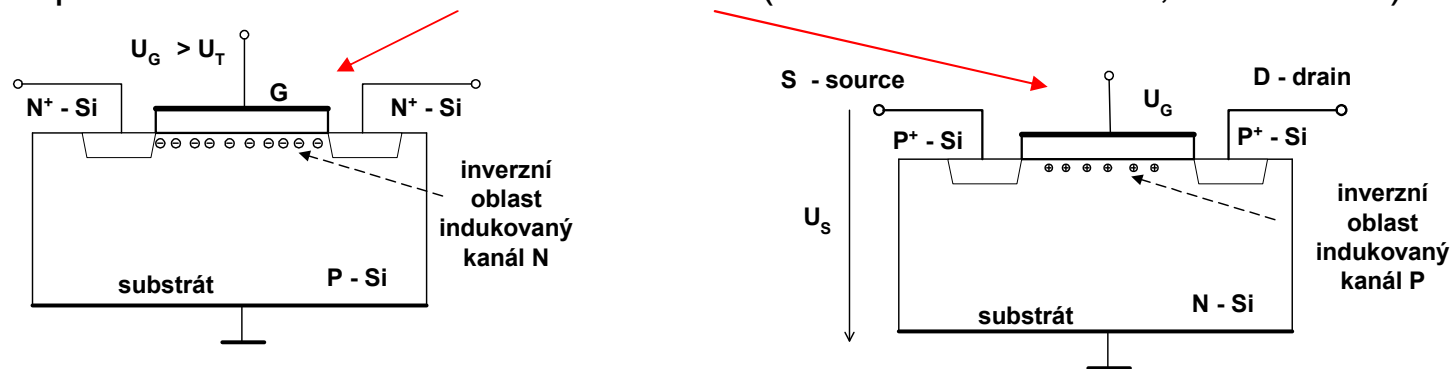


Pozor- každý tranzistor NMOS, který má tři vývody, kde je S - substrát připojen na elektrodu S source, má mezi elektrodou **D – Drain** a elektrodou **S – source** záporně polarizovaný přechod PN, tedy **diodu**. Na D proto musí být nezáporné napětí. Přivedením záporného napětí poteče proud touto diodou.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

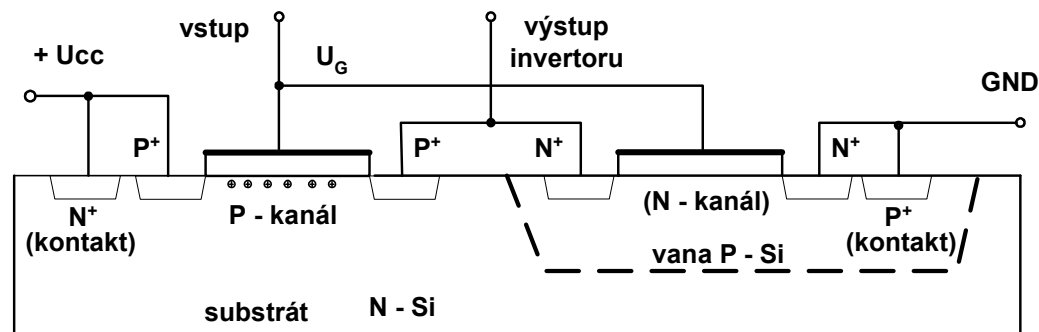
## Vložená informace – doplňkový výklad pro samostudium

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)

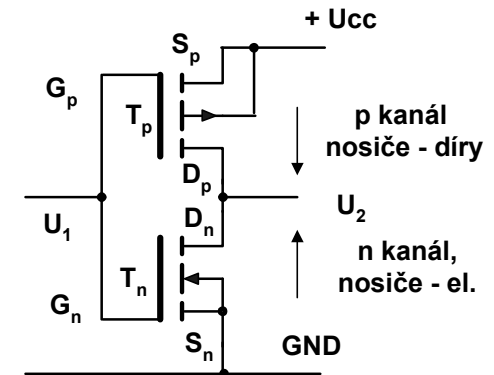


Ideové uspořádání elementárního **invertoru CMOS** v **logických obvodech**.



## Vložená informace – doplňkový výklad pro samostudium

Ideové schéma elementárního invertoru CMOS a jeho funkce



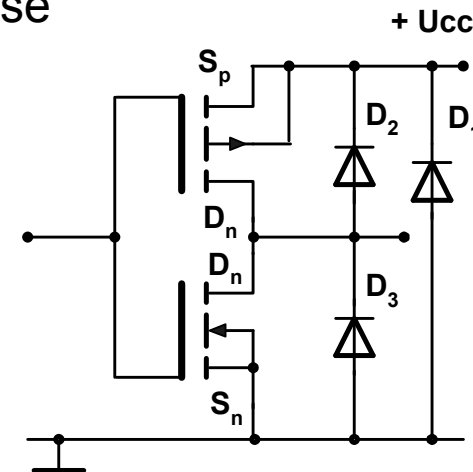
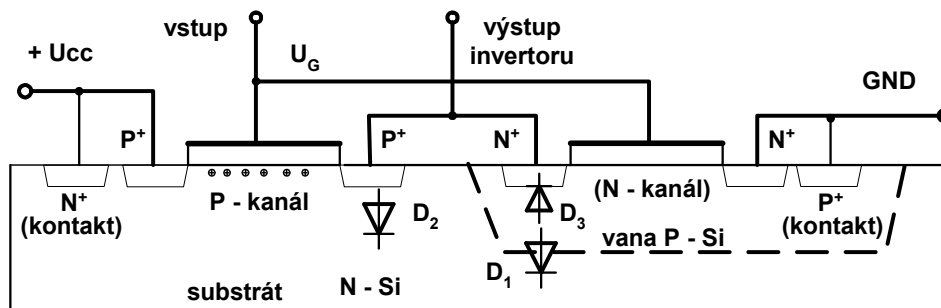
Při kladném napětí  $U_1 = +U_{CC}$  vede tranzistor  $T_n$  (NMOS) a na výstupu je nulové napětí. Při nulovém napětí  $U_1=0$  je napětí na  $G_p$  (gate PMOS) záporné vůči jeho substrátu i elektrodě source –  $S_p$  a vede tranzistor  $T_p$ , zatímco  $T_n$  nevede. Na výstupu bude napětí  $U_2 = +U_{CC}$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

## 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 prepólování 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

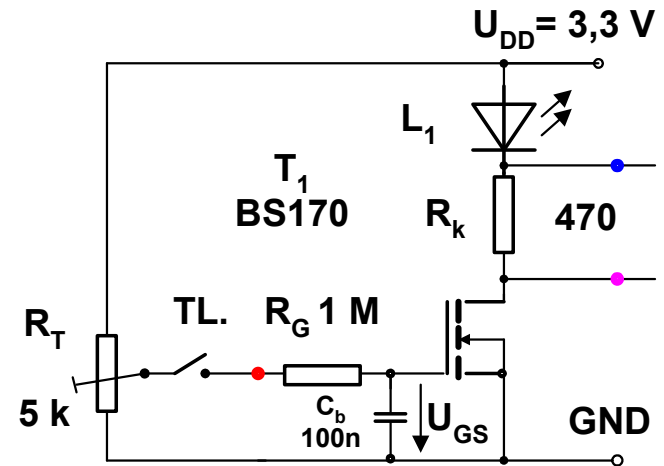
Velmi zjednodušená demonstrace základního **principu** polovodičové **dynamické paměti**

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

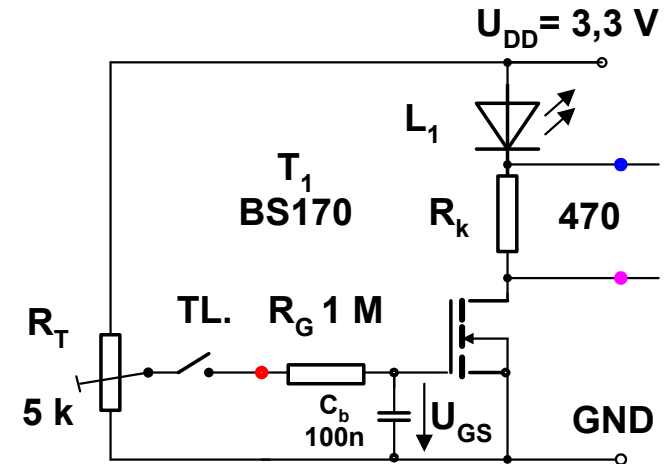
Zapojení z předchozí úlohy,

$C_B = 100 \text{ nF}$  nabít na  $+3,2 \text{ V}$

Jen navíc **připojit voltmer** 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

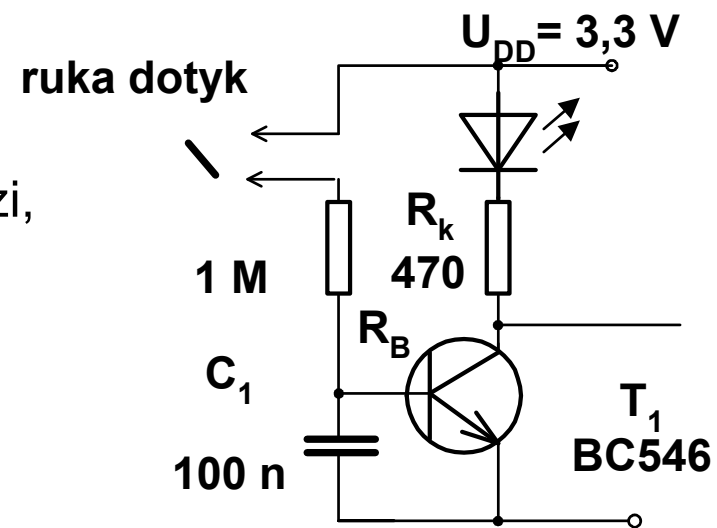
**Experiment** – určit odpor kůže. Tranzistorem **zesílit malý proud** tekoucí do báze přes detekční obvod. s rezistorem  $R_B$ . Uzavřít obvod přes prsty ruky nebo i přes obě ruce – LED bude svítit podle odporu kůže. Je možno uzavřít obvod i přes dvě osoby (viz. „vydržej pioněři“) a indikovat dotyk 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  $R_b = 10\text{k}$ ,

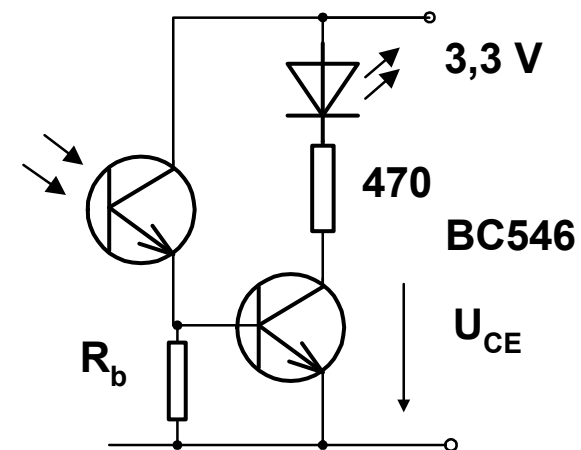
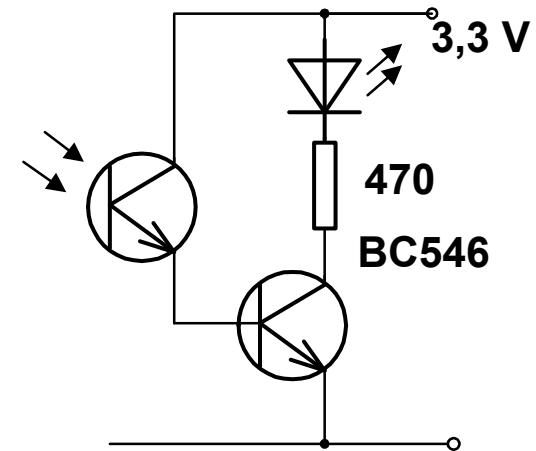
(Pokud nestačí 10k, použít samotný odporový trimr 5k jako proměnný odpor) nastavit, až LED spolehlivě zhasne při zaclonění závory)

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

$U_{CE}$  – desetiný voltu

Funkce jako **dvojhodnotového** snímače

Využít pro optickou závoru



## Vložená informace – doplňkový výklad pro samostudium

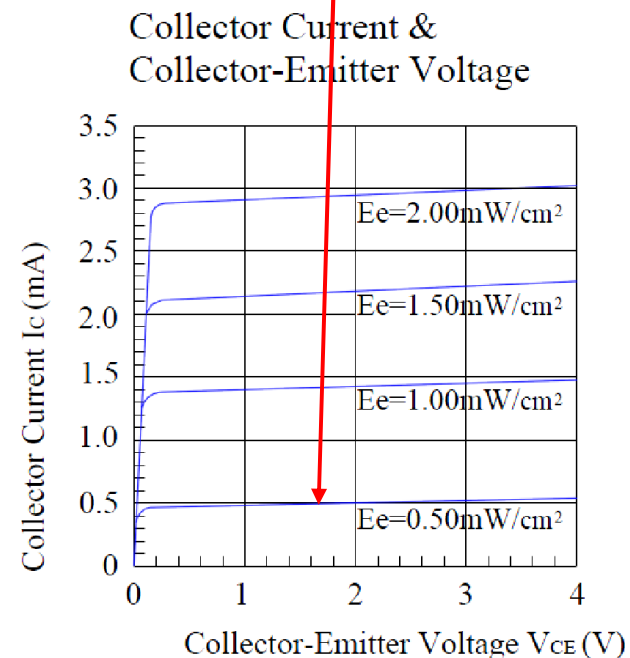
Tranzistor BC546C má typickou hodnotu parametru  $h_{21E} = 400 - 600$ , tedy zesílení proudu bude stejné, cca 500x. Proud fototranzistoru LL-304PTC4B-1AD velikosti **1 uA** po zesílení způsobí proud LED cca **0,5 mA**, což způsobí znatelný svit LED. Pro proud fototr. 1 uA lze z grafu odhadnout  $E_{e1} = 0,001 \text{ mW/cm}^2 = 10 \text{ mW/m}^2$ . 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 , kde  $U_{BE} = 0,6V$

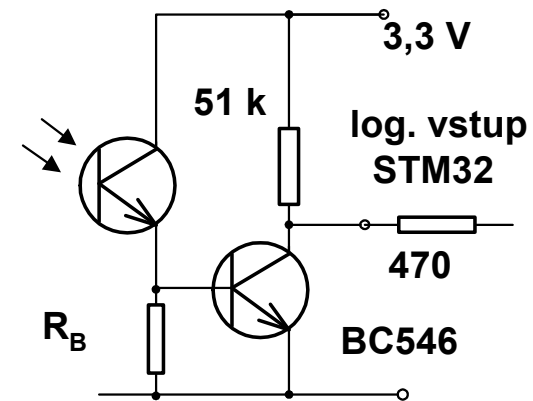
$$I_{FOT} < U_{BE} / R_B$$

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  $0,6 V / R_B$**  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.*



$$R_B \cdot I_{FOT} \geq U_{T0}$$

# 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“)

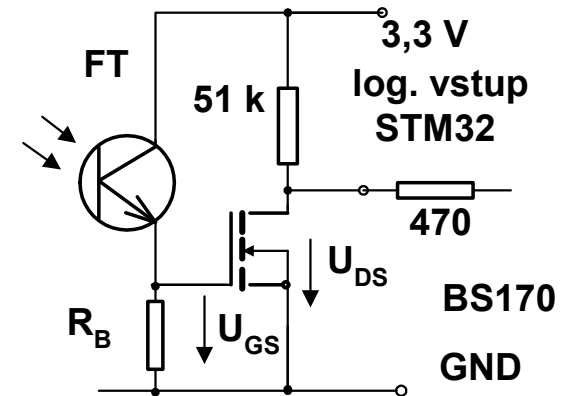
Pokud bude  $U_{\text{GS}} > U_{\text{T0}}$ , začne růst proud  $I_{\text{DS}}$

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

Nárůstem proudu  $I_{\text{DS}}$  bude

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

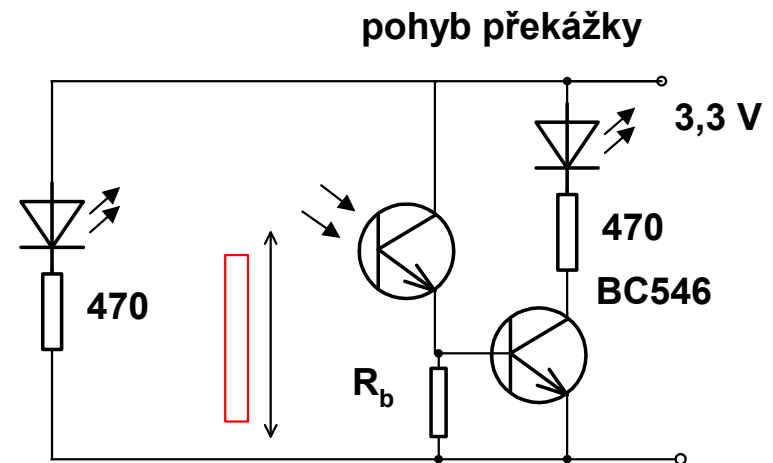
Jako vysílací LED použít LED v **čirém pouzdře**; Indikace průchodu světla rozsvícením LED

Vyhodnotit **rychlost pohybu z doby** zaclonění snímače

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

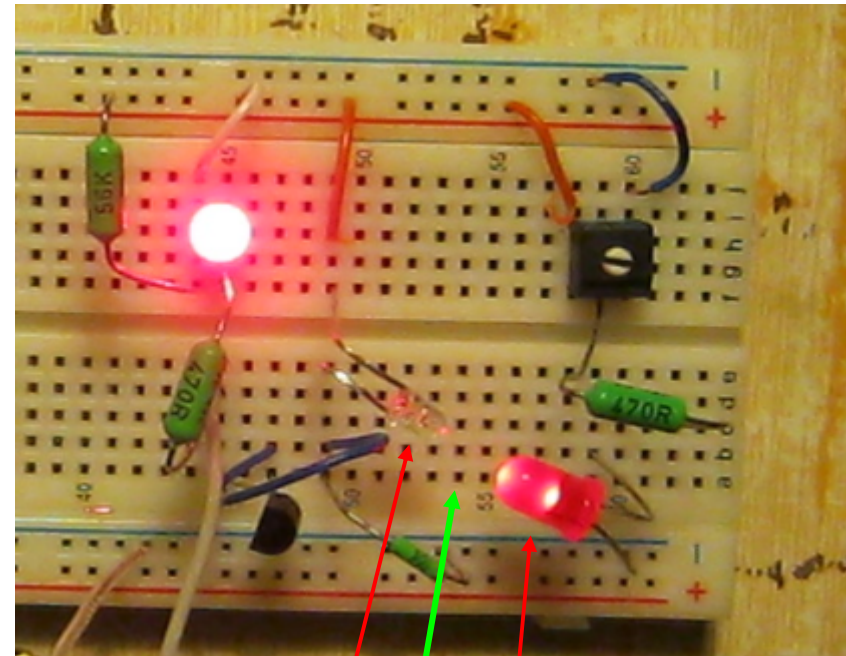
Experiment: „**počítání prstů prošlých optickou závorou**“

$R_b = 10k$  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

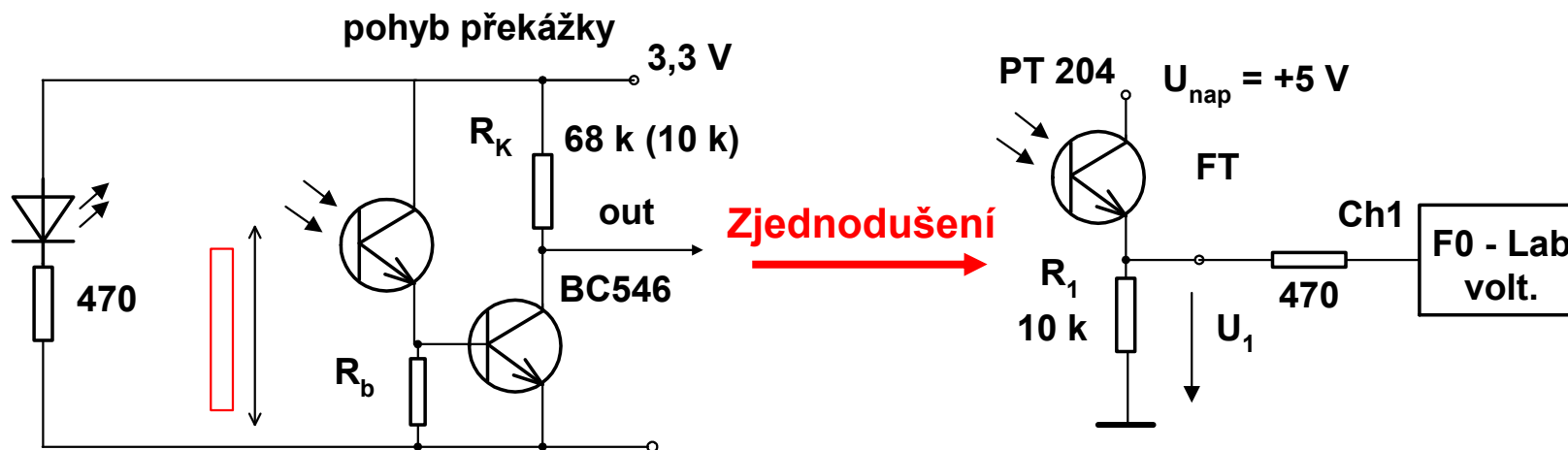
# Snímač rychlosti pohybu se dvěma závory

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  
 $R_K = 68 \text{ k}$  ( $51 \text{ k}$  nebo  $10 \text{ k}$ )- vše je možné.





# Snímač pro měření rychlosti

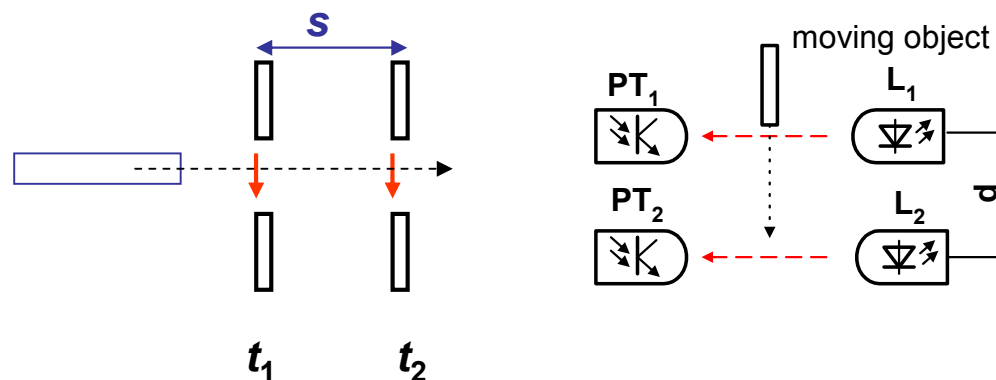
Rychlost  $v$ , dráha  $s$ , čas  $t$

$v = s / t$  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**.

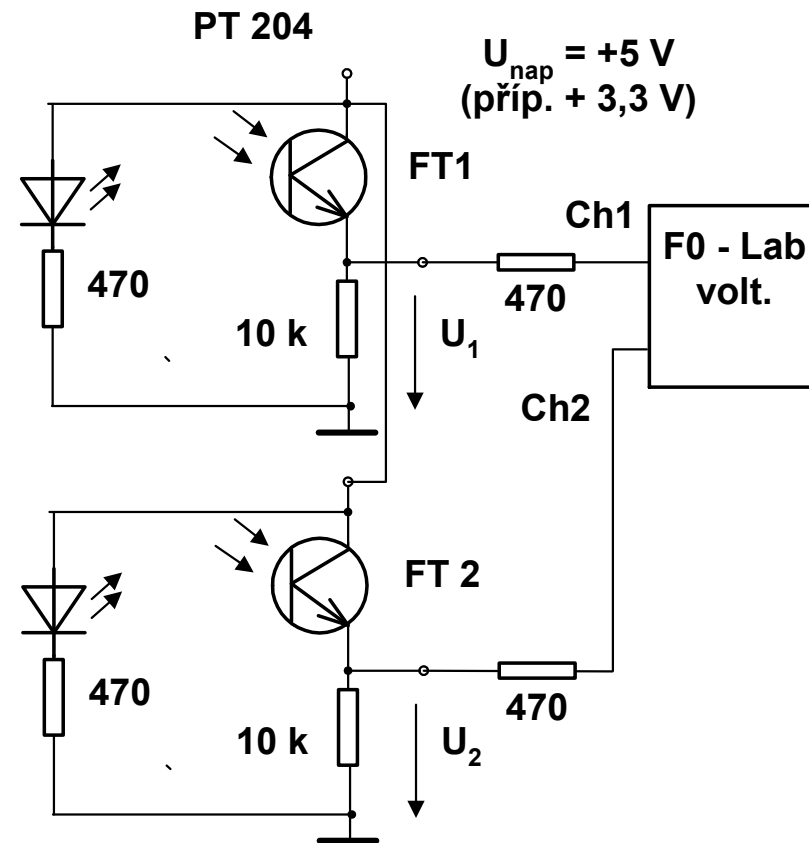
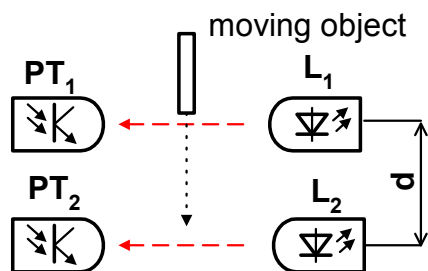


# Měření rychlosti pomocí dvou optických závor

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

vyhodnocení zpoždění

Možnost použít **zjednodušeného zapojení závor.**



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

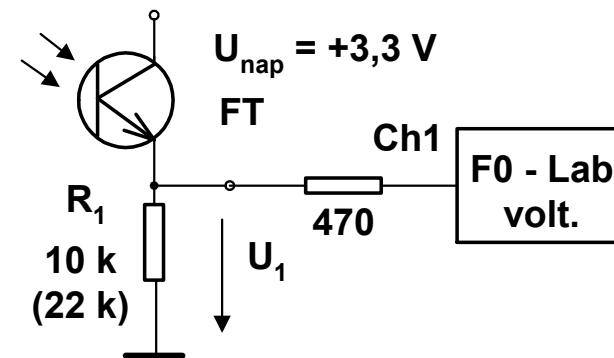
## Optický reflexní snímač – doplňková úloha, bonus

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“).

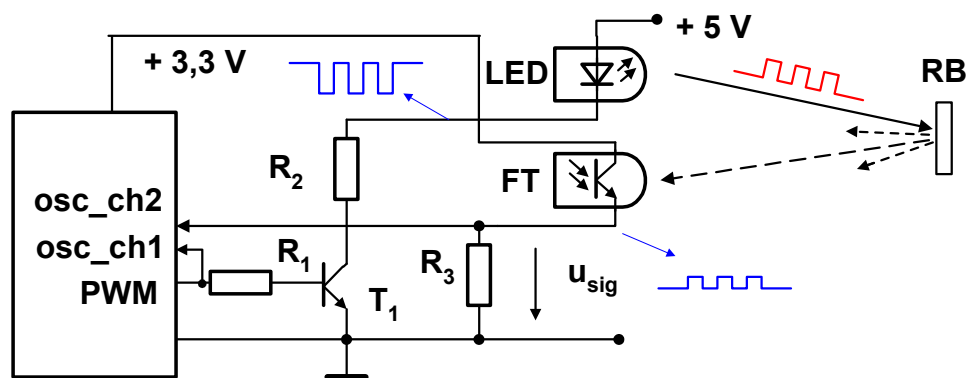
Osciloskop dvoukanálově, CH2 snímat PWM, **synchronizace CH2 – PWM**, Příprava na úlohu v předmětu „**Roboti**“ a sledování čáry.



# 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.

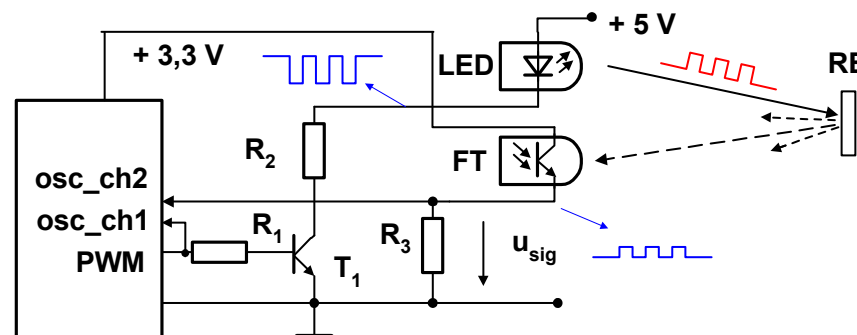
# Optický reflexní snímač - poznámka

## Super -bonus úkol:

S využitím programování STM32F042

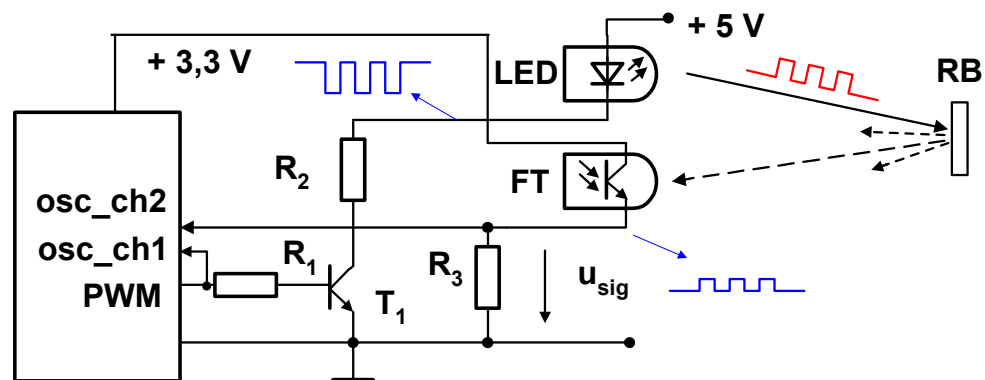
realizovat:

**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**

# Konec

---

▪