
Kurz praktické elektroniky

**Katedra měření, ČVUT–FEL, Praha 30. 8.–3. 9. 2021
6. 9.–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.**

30. 9.–3. 9. 2021 turnus 1 Studenti KyR

6. 9.–10. 9. 2021 turnus 2 Studenti KyR + EK + BIO

Nesmí být zveřejněn jinou formou a na jiných www stránkách.

Zahájení kurzu, představení Katedry měření

Kurz praktické elektroniky pro nastupující studenty bakal. studia
Pro studenty programu KyR – Kybernetika a Robotika. Organizuje
Katedra měření ČVUT-FEL, www.meas.feld.cvut.cz

Orientace katedry – elektrická měření, elektronika, počítačové měřicí systémy, přístrojová elektronika, automobilní elektronika, magnetické senzory a měření, diagnostika, letecké informační systémy, inteligentní budovy, distribuované syst., vestavné mikroproc. syst., videometrie a obrazové senzory

Kat. měření – výuka v oblasti el. měření – pro bak. stud. celé FEL

Výuka pro studenty KyR (bak. studium):

Senzory a měření KyR 2. ročník, Obvodové techniky, Vestavné systémy, Laboratoře z průmyslové elektroniky a senzorů, Roboti (společně s kat. řízení a kat. kybernetiky).

Výuka v oblasti **mikroprocesorové techniky** pro programy **KyR a OI.**

KPE2020 pro studenty programu BIO – 2. turnus

Kurz praktické elektroniky pro nastupující studenty bakalářského studia programu **Lékařská elektronika a bioinformatika**,

garant stud. programu:

prof. Ing. Roman Čmejla, CSc., Katedra teorie obvodů

Garant kurzu pro BIO: Ing. Vratislav Fabián, Ph.D., kat. fyziky

Laboratoře: Ing. Vratislav Fabián, Ph.D., kat. fyziky

Ing. Petr Ježdík, PhD, kat. obvodů

KPE2020 pro studenty programu KyR- 1. turnus

Kurz praktické elektroniky pro nastupující studenty bakalářského studia programu Kybernetika a robotika.

Organizuje: **Katedra měření**

Přednášky: doc. Ing. Jan Fischer, CSc., kat. měření

Laboratoře: Ing. Tomáš Drábek, kat. měření

Ing. Vojtěch Petrucha, Ph.D., kat. měření

Lektoři v lab.: Bc. Miroslav Tržil (6 roč. - Erasmus)

Bc. Jan Škvrna (po 3. roč.)

Michal Lenc (po 2. roč.)

Lukáš Nejezchle (po 1. roč.)

David Čapek (po 1. roč.)

KPE2021 pro studenty programu KyR- 2. turnus

Kurz praktické elektroniky pro nastupující studenty bakalářského studia programu Kybernetika a robotika,

Organizuje: Katedra měření

Přednášky: doc. Ing. Jan Fischer, CSc., kat. měření

Laboratoře: Ing. Tomáš Drábek, kat. měření

prof. Ing. Vladimír Haasz, CSc. kat.měření

doc. Ing. Jiří Novák, Ph.D.

Lektoři v lab.: ..

KPE2021 pro studenty programu EK – 2. turnus

**Kurz praktické elektroniky pro nastupující studenty bakalářského studia programu
EK – Elektronika a komunikace**

garant pro studenty EK:

Ing. Vladimír Janíček, Ph.D, kat. mikroelektroniky

Laboratoře:

Ing. Vladimír Janíček, Ph.D, kat. mikroelektroniky

Ing. Lubor Jirásek, CSc., kat. mikroelektroniky

Lektor v lab.: Bc. Jiří Maier

Náplň a cíle kurzu

- Seznámit studenty z gymnázií rámcově se **základy elektroniky, elektr. obvodů, fotoel. senzorů**, jejich realizací a měření na nich
- Seznámit s měřicími přístroji – multimetr a digitální osciloskop
- Vytvořit laboratorní přístroj „**F0-Lab**“ s mikroprocesorem STM32F042F6P6 realizujícím (ve zjednodušené formě) **funkce impulsního generátoru, voltmetru a osciloskopu**
- Ukázat možnost tvorby vlastních **programů pro mikroprocesory s jádrem ARM Cortex M**, konkrétně **STM32F042F6P6** s využitím **on-line vývojovým prostředím „mbed“**
- **Přiblížit** problematiku **elektroniky** a snížit „obavy“ z prak. práce
- **Poskytnout** úspěšným absolventům kurzu realizovaný **přístroj „F0-Lab“** pro další **domácí přípravu a experimenty** v oblasti elektroniky, senzorů a měřicí techniky při studiu na ČVUT–FEL

Harmonogram T1 od 30. 8. do 3. 9. 2021

Místnosti: přednášky po. – pá. **D4–309**,
A4–402 prakt. cvičení KyR
A4–405 prakt. cvičení KyR

Začátek dopoledne v **9.00** – vždy v přednáškové místnosti
odpoledne v **13.00** – vždy v přednáškové místnosti

Termín: pondělí, úterý **9.00 – 12.00** a **13.00 – 17.00**

středa, čtvrtek **9.00 – 12.00** a **13.00 – 16.00**

středa **16.00 – 17.00** KyR beseda v 309

pátek **9.00 – 12.00** a **13.00 – 14.30**

Pátek **13.30 Slavnostní zakončení**, absolventi kurzu – předání

- **certifikátu** k absolvovanému kurzu
- **realizovaného přístroje F0–Lab**

Fotografování – společný snímek účastníků a vyučujících

Harmonogram T2 od 6. 9. do 10. 9. 2021

Místnosti: přednášky po. – pá. **A4–309** ,
A4–402 prakt. cvičení KyR
A4–405 prakt. cvičení KyR
A3–412 prakt. cvičení BOI
C3–S143 prakt. cvičení EK

Začátek dopoledne v **9.00** – vždy v přednáškové místnosti
odpoledne v **13.00** – vždy v přednáškové místnosti

Termín: pondělí, úterý **9.00 – 12.00** a **13.00 – 17.00**

středa, čtvrtek **9.00 – 12.00** a **13.00 – 16.00**

středa **16.00 – 17.00** KyR beseda v 309

pátek **9.00 – 12.00** a **13.00 – 15.00**

Pátek 13.30 Slavnostní zakončení, absolventi kurzu – předání

- **certifikátu** k absolvovanému kurzu
- **realizovaného přístroje F0–Lab**

Fotografování – společný snímek účastníků a vyučujících

Forma kurzu

Ráno – v přednáškové místnosti **v 9.00, společná část** (1–2 hod.)
teoretický výklad, vysvětlení práce na daný den, práce a
experimenty **v laboratořích**

Dopoledne – rozdělení na skupiny – práce v lab.

Odpoledne – **13.00 hod dotazy** k předchozí látce a experimentům, **kratší výklad a vysvětlení práce na odpoledne** v přednáškové míst.,
přesun do laboratoří, **práce v laboratořích, experimenty**

V případě nejasnosti z laboratoří – nachystat si **dotazy** pro společný výklad – bude to zajímat i ostatní, v zasedací místnosti – lepší možnost výkladu, **nebojte se ptát.**

Doporučení – dělat si **do sešitu samostatně písemné poznámky** k výkladu, odpoledne po kurzu – **prohlédnout si své poznámky**, dostudovat.

Výuka bude **podobným stylem**, jako probíhá výuka na **ČVUT–FEL**, **rychlejší než na střední škole.**

ČVUT FEL – **výběrová a náročná škola**, předpokládá se **zájem i samostatné studium.**

Úroveň kurzu

Kurz je sice koncipován **pro začátečníky, ale seznámí i s vybranými věcmi**, odpovídajícími **magisterskému studiu** – případně i širší **problematikou praktické elektroniky**, se kterou se v plánu povinného studia student třeba ani neseťká.

(Řada studentů – absolventů FEL třeba nikdy nepájela, ani nezapojovala elektronické obvody z jednotlivých součástek)

Předpokládá se **zájem**, samostatné pořízení **poznámek z přednášek**, zpracování poznámek z laboratoří.

Příprava na vysokoškolský způsob studia.

Zeptat se při přednášce, **pokud se nerozumí** výkladu.

Celková náplň – 1

Zopakování fyzikálních základů z oblasti elektřiny

Experimenty pro ověření základů elektroniky

Použití číslicového **multimetru**, měření napětí, proudu, odporu

Použití číslicového **osciloskopu**

Pasivní prvky **rezistory**, (barev. značení), odpor. **trimry**, kondenzátory

Realizace základních obvodů na nepájivém kontaktním poli (dále jen „*pole*“) obvod s **LED** (*Light Emitting Diode*) a rezistorem

Výklad základů obvodů a elektroniky

Elektrický **obvod**, měření **napětí**, **proudu** a **odporu**,

Odporový **dělič napětí**, měření na děliči, použití odporového trimru

Zatížený odporový **dělič** napětí, **Theveninův teorém**

V-A charakteristika **LED** (Volt-Ampérová)

Celková náplň – 2

Stabilizátor (regulátor) **napětí +3,3 V**, jeho funkce a zapojení na poli

Mikrořadič (mikroprocesor) **STM32F042** struktura, funkce a jeho využití
pro realizaci přístroje – voltmetr s STM32F042

Mezní napětí STM32F042, ochrana před zničením

Realizace laboratorního přístroje F0–Lab s mikrořadičem

(microcontroller) **STM32F042F6P6 s jádrem ARM Cortex – M0**, (ve výkladu bude používáno pro zjednodušení označení **procesor**, nebo konkrétně STM32F042, případně i jen „F042“)

Oživení modulu s procesorem – blikání LED

Připojení procesoru na PC prostřednictvím rozhraní **USB**

Přístroj F0–Lab, funkce,

PWM – blikání LED, změna střídy,

F0–Lab Voltmetr, měření odporů

**F0–Lab Voltmetr, záznam děje, přechodový děj, RC obvod,
exponenciála**

F0–Lab funkce osciloskopu, přechodový děj, funkce kurzor

Celková náplň – 2

Připojení procesoru na PC prostřednictvím rozhraní USB

Použití PC pro nahrání programu do mikrořadiče STM32F042
(download) prostřednictvím rozhraní USB

Oživení BOOT Loader a DfuSE, nahrávání firmware do procesoru
(instalace na vlastní počítače)

Funkce F0–Lab podle varianty firmware

- **Tříkanálový voltmetr + tříkanálový osciloskop + Impulsní generátor** (PWM) – toto budeme používat
- **Dvoukanál. osciloskop (dlouhý záznam) + Impulsní gener. (PWM)**

F0–Lab s aktivovanou funkcí voltmetru, osciloskopu nebo generátoru se dále v textu označují jako **Voltmetr, Osciloskop, Generátor**

Pozn.: Použití samostatného přístroje „**Číslicový multimetr**“, se pro odlišení **označuje jako „Multimetr“**

Celková náplň – 2 použití F0–Lab

Řízení **jasu LED** pomocí PWM a impulsního řízení proudu LED,
Osciloskop v F0–Lab

Impulsní signál, odezva RC článku, **exponenciála**, určení časové
konstanty z průběhu

Celková náplň – 3

Bipolární **tranzistor NPN**, vlastnosti a použití pro zesílení proudu
proudový zesilovací činitel, experimentální **určení zesilovacího činitele** tranzistoru

Unipolární **tranzistor MOSFET** s kanálem **N**

Příklady jednoduchých senzorů (snímačů) a jejich realizace

Senzor úhlu a polohy s potenciometrem

Senzor odporu kůže („detektor lži“)

Senzor dotyku

Senzor teploty s diodou s PN přechodem

Fototranzistor – senzor osvětlení

Bezdotykový senzor **polohy** s fototranzistorem – **optická závora**

Snímač rychlosti pohybu s optickou závorou a osciloskopem

Celková náplň – 3 programování STM32F042

Informace o *On-line IDE* (vývojovém prostředí) **mbed** firmy ARM
www.mbed.org viz též heslo: „*Rapid prototyping*“

Příklad programování STM32F042 v C++ s využitím *On line IDE*
(vývojovém prostředí) **mbed**

Pro **tvorbu programu v C/C++** pro mikrořadič **STM32F042**,
možnost samostatné domácí práce později s vlastním přístrojem –
není náplní kurzu, nebo v klubu **ETC** na FEL.

K dispozici jsou **vzorové programy** pro blikání LED,...

Celková náplň – 4

Impulsní signál, střední hodnota signálu

Integrační článek RC jako dolnoproustný filtr

Odezva RC článku v závislosti na frekvenci budicího impulsního signálu

RC článek jako filtr střední hodnoty

Tranzistor jako zesilovač, emitorový sledovač

Použití PWM pro generování stejnosměrného napětí

Integrovaný obvod – operační zesilovač, ideální operační zesilovač

Operační zesilovač LM324, příp. LM358, MCP6002

Záporná zpětná vazba, zapojení operačního zesilovače se zápornou zpětnou, další zapojení s operačním zesilovačem

Zpětnovazební regulace výstupního napětí

Zdroj proudu s operačním zesilovačem, proudové řízení LED

Pájení – jaký zájem?

Celková náplň – 5

Dokončení úloh, generátor zvuku - Buzzer

Programování STM32F042 pomocí on line IDE mbed.

Generátor melodie, různé formy blikání,

13:00 Úklid, „dočištění“ kitu na slavnostní předání

Vyhodnocení kurzu, vyplnění ankety a hodnocení kurzu, diskuse

13:30 Zakončení kurzu v 309, předání diplomů

Bezpečnost práce, pravidla práce v laboratoři

Manipulovat pouze s určenými zařízeními

Nemanipulovat s připojením síťových napájecích rozvodů 230 V
případné připojování vlastních notebooků – podle pokynů dozoru

Bezpečnostní tlačítko pro vypnutí, v případě zasažení el. proudem,
vypnutí rozvodu stiskem bezpečnostního tlačítka, kdokoliv ze
studentů

Zapínání rozvodů – pouze vyučující

Postup při neznatelném dýchání – uvolnění dýchacích cest, zaklonění
hlavy, zahájení resuscitace. **Defibrilátor** (přístroj pro „nahození“
běhu srdce po jeho zástavě) – umístěn vpravo od vchodu na FEL
naproti vrátnici

Místo pro ohlášení požáru – na vrátnici

Hasicí přístroj – umístění

Bezpečnost práce, pravidla práce v laboratoři

Tašky a břemena odložit (např. pod stůl, nebo na jiné určené místo) **tak**, aby nehrozilo zakopnutí, nehoupat se na židlích, dohlížet na své věci

Pozor při procházení laboratoři mezi židlemi

Pokud možno **sedět na stejném** místě po dobu kurzu

Věnovat se určené práci, **neohrozit** sebe ani ostatní

Okamžitě **hlásit vyučujícímu problémy** s bezpečností práce

Při nejasnostech se vždy neprodleně zeptat

Při **štípání drátu** kleštěmi – stínit rukou konec drátu tak, aby případně nemohl odletět mimo pracovní prostor

Chránit oči, nemít oči blízko manipulovat s nářadím a dráty pouze v dané pracovní oblasti, práce se šroubovákem

Při práci s nářadím se věnovat výhradně této činnosti a neotáčet se kolem

Dbát, aby při štípání kusy drátu a izolace nezapadly do klávesnic

Covid-19 opatření, místo, hygiena práce, + výklad

Bezpečnost při pájení

Při pájení – věnovat se plně činnosti, nemanipulovat pájkou mimo pracovní prostor pájení, pozor – nebezpečí vlastního popálení nebo poškození síťového přívodu pájkou.

Nezvedat pájedlo nad pracovní oblast, zásadně negestikulovat s pájedlem v ruce, držet pájedlo vždy v bezpečné vzdálenosti od očí.

Pájkou odkládat pouze do určeného držáku.

Držet pájedlo (a dotýkat se jí) pouze za určené držadlo, nedotýkat se kovových částí pájedla.

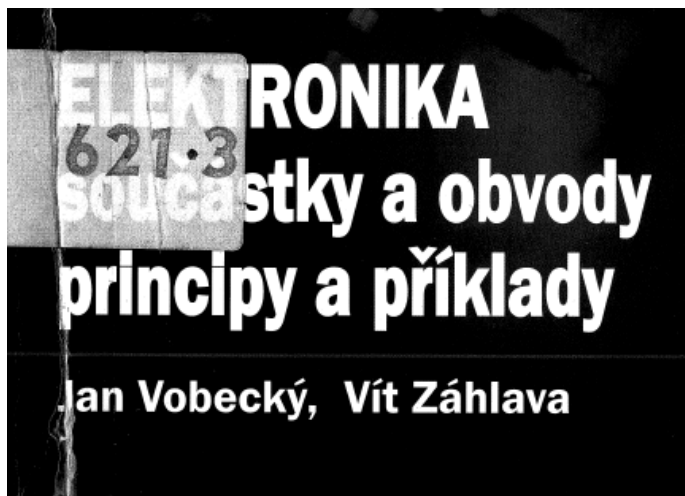
Pozor na nebezpečí znečištění rukou a oděvu tavidlem nebo cínem

Potvrzení seznámení se zásadami bezpečnosti práce v laboratořích – podepsat formulář.

Literatura

Literatura pro základy obvodů a elektroniku

Vobecký, Záhlava: Elektronika, součástky a obvody, principy a příklady



Základy, opakování fyziky

Veličiny a jednotky

Napětí , označení	U	jednotka	V – volt
Proud ,	I		A – ampér
Odpor	R		Ω – Ohm
Vodivost	G		S – Siemens
Kapacita	C		F – Farad
Indukčnost	L		H – Henry

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

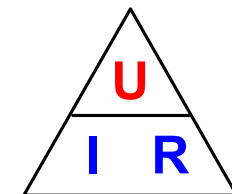
Pozn. V anglosaské lit. se napětí označuje jako **V (voltage)**

Známe a umíme použít Ohmův zákon

$$U = R \cdot I$$

$$R = \frac{U}{I}$$

$$I = \frac{U}{R}$$



Kirchhoffovy zákony

První (1.) Kirchhoffův zákon

Součet proudů v kterémkoliv uzlu je roven nule

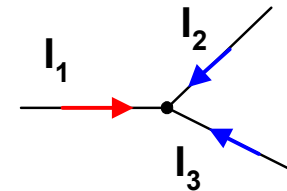
(součet proudů do uzlu vtékajících je roven součtu proudů z uzlu vytékajících)

$$\sum I_n = 0$$

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \quad -I_1 = I_2 + I_3$$

Pozn. Jak tomu rozumět, že součet je nula?

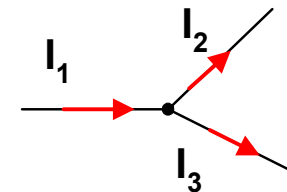
Např. proud **vtékající do uzlu** – **kladná hodnota**,
proud ve skutečnosti z uzlu vytékající – **záporná hodnota**.



Analogie: vyrovnaný finanční rozpočet, **příjmy** + **výdaje** = 0,
výdaj se může chápat jako záporný příjem

Pokud by se proudy označily pouze s **kladnými** hodnotami, musela být dopředu jasná orientace proudu, což při výpočtu není.

Analogie: Množství vody, které do bytu vodovodem přiteče, zase odpadními potrubími odteče (+ přítok, - odtok).



Kirchhoffovy zákony

Druhý (2.) Kirchhoffův zákon

Součet napětí v kterékoliv uzavřené smyčce je roven nule

Napětí musí být **orientována** v jednom směru

- ve **směru smyčky**

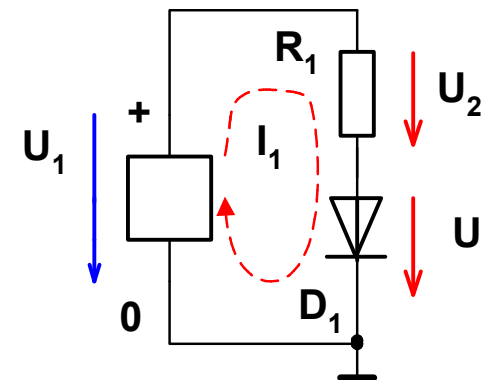
$$\sum U_n = 0$$

Pozn.: Na obr. má napětí U_1 **opačnou** orientaci, než je orientace smyčky,

proto se U_1 musí v součtu uvažovat s opačným znaménkem, pak platí očekávaný vztah

$$-U_1 + U_2 + U_3 = 0$$

$$U_1 = U_2 + U_3$$



Analogie: Chůze po schodištích v budově okruhem nazpět do výchozího bodu. Kolik schodů vystoupáme **nahoru**, tolik zase musíme sejít zase **dolů**. Suma = 0 (schody nahoru **kladné** hodnoty, dolů – **záporné**)

Prvky - rezistor

Rezistor (často označovaný jako **odpor**)

Při výkladu je vhodnější označovat jako **rezistor – prvek**, součástka, rezistor má odpor – **odpor – fyzikální vlastnost**, rezistor má odpor (s tím bývá problém, i my to nechtěně zaměňujeme)

Odpor v Ohmech. značka Ω

3300 Ohmů označení v elektrotechnice **zkráceně ve schématu 3k3**,
1200000 Ω – 1M2, **4,7 Ω označení 4R7**

k – kilo 10^3 , M mega 10^6 , R jednotky Ohmů

(k jako **1000**), podobně **1200 000 = 12×10^6 =** označ. ve schématu **1M2**

Pozor na označení na SMD součástkách:

4700 Ω = 47×10^2 označení na součástce 472,

(to znamená 4700 Ohmů a ne 470, jak by se zdálo) **podobně**

1 000 000 Ω = 10×10^5 , označení 105 znamená **10×10^5**

stejně značení hodnoty odporu barevným proužkovým kódem xyz

Řady hodnot odporů rezistorů

Rezistory se vyrábějí v definovaných řadách

$$q = \sqrt[p]{10}$$

Hodnoty odporů tvoří **geometrickou** řadu s kvocientem **q** se zaokrouhlením hodnot na **dvě** (E6, E12), případně **tři** (E24, E48) platná místa. Řady jsou označeny **E6, E12, E24, E49, E96**

Číslo **p** značí, kolik hodnot je v dekádě E6 - je 6 hodnot,....

Řady hodnot odporů rezistorů

Úprava hodnot tak, že všechny členy nižší řady jsou i ve vyšší řadě se zaokrouhlením na stejný počet číslic.

Řada E6 je 6 hodnot v dekádě, $q = 1,467799\dots$, tedy čtvrtý člen v řadě E6 následující po hodnotě 1 je 4,7
(zaokrouhleno a upraveno z 4,61)

$$k_R = (q)^R = \left(\sqrt[6]{10}\right)^4 = 4,641$$

Řady jmenovitých hodnot	Rated value series																
E6	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8											
E12	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2					
E24	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7
	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1										
E48	100	105	110	115	121	127	133	140	147	154	162	169	178	187	196	205	215
	226	237	249	261	274	287	301	316	332	348	365	383	404	422	442	464	487
	511	536	562	590	619	649	681	715	750	787	825	866	909	953			
E96	100	102	105	107	110	113	115	118	121	124	127	130	133	137	140	143	147
	150	154	158	162	165	169	174	178	182	187	191	196	200	205	210	215	221
	226	232	237	243	249	255	261	267	274	280	287	294	301	309	316	324	332
	340	348	357	365	374	383	392	402	412	422	432	442	453	464	475	487	499
	511	523	536	549	562	576	590	604	619	634	649	665	681	698	715	732	750
	768	787	806	825	845	866	887	909	931	953	976						

<http://www.soucastky.chytrak.cz/Odpory/R%20-%20Uhlikove.html>

Barevný kód značení odporu rezistorů

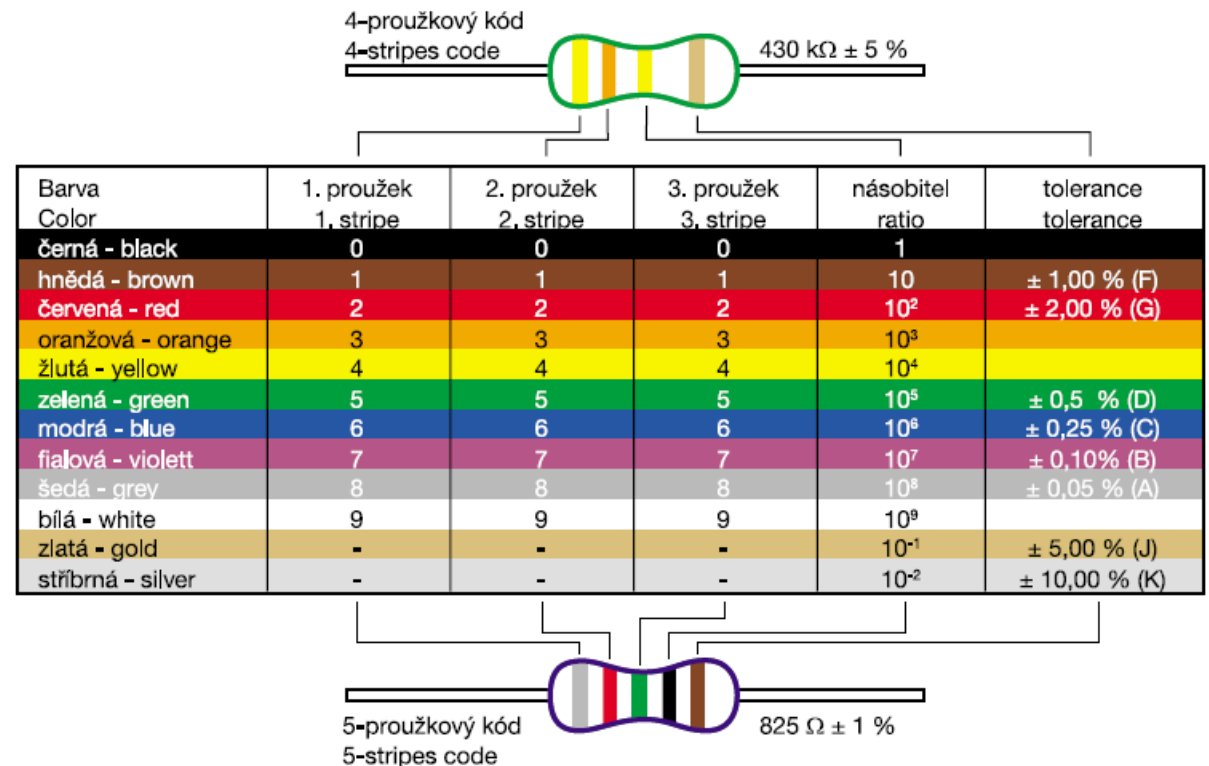
Barevné značení velikosti odporu standardních rezistorů s drátovými vývody

430 kOhmů = 43×10^4
označení 434

Tolerance výroby,
značena na konci
samostat. proužkem

Barevný kód

Color code



Pokud jsou **smíchané rezistory o různých hodnotách odporu** –
nespoléhat na čtení, ale raději **zkontrolovat Ohmetrem**,

Dle: <http://www.soucastky.chytrak.cz/Odpory/R%20-%20Uhlikove.html>

Rezistory použité v úlohách

Použité rezistory „**modré**“, (resp. modrý podklad) jsou **metalické**.

Odporová vrstva je na bázi **kovu**, teplot. závislost **50 ppm/°C**
(1 ppm = 1. 10⁻⁶)

Tolerance je **1 %**, výkonová **zatížitelnost** max. **0,6 W**.

Hodnota (řada E48) je **označena pomocí 5 proužků**, např.

Hnědá, černá, černá, rudá, hnědá 1, 0, 0, 2, 1

$100 \times 10^2 = 10\,000 = 10\text{ k} \rightarrow$ k značí kilo – 1000, Kiloohm

Rezistory „**žluté**“, **uhlíkové**, tolerance do **5 %**, (odchylka cca 1 – 1,5 %)
menší **stabilita**, nám to pro experimenty **postačuje**
výkon. **zatížitelnost** 0,4 W, značení - **4 proužky**

2k2, tolerance **5 %**, používáme v experimentu, ochrana vstupu ADC

2, 2, 2, 5

rudá, rudá, rudá, zlatá

větší tolerance (nižší přesnost)

Použité rezistory: **metalické** 470, 10 K, použít jako přesné měřicí
uhlíkové 470, 2k2, 22 k, 51k, 1 M,...podle potřeby

Rezistory – poznámky

Při dalších experimentech se může vyskytnout **potřeba rezistoru s odporem o jiné hodnotě**. Lze řešit použitím **potenciometrického trimru jako rezistoru s nastavitelným odporem** (vysvětlení dále).
Měřit odpor multimetrem a nastavit potřebnou hodnotu.

K dispozici trimry o odporu 5k, 50 k

Pro zájemce, je možno si změřit přesnou hodnotu odporu některého metalického rezistoru (470, 10 k,..., případně další metalické věnujeme) přesným laboratorním multimetrem HP34401

Takové rezistory lze pak mít **jako „etalon“ pro kontrolu vlastního multimetru**

Paralelní a sériové řazení rezistorů

Sériovým řazením roste odpor celkové kombinace R_s

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Paralelním řazením klesá odpor celkové kombinace R_s ,

roste vodivost, pro zapamatování

jednodušší – **sčítají se vodivosti G**

(vodivost $G = 1/R$ v jednotkách Siemens)

$$G_p = G_1 + G_2 + G_3 + \dots$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Pro dva odpory lze upravit na

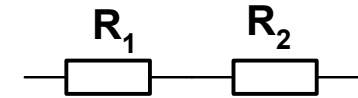
$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Využití **paralel. a sériového řazení** dvou rezistorů

Sériové řazení - pro zvýšení odporu, získání hodnoty, která není právě k dispozici

např. je k dispozici 10 k, potřebujeme **20 k**,
volba 10 k + 10 k = 20 k

$$R_s = R_1 + R_2$$



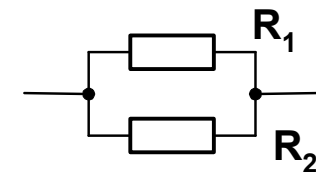
Paralelní řazení – pro snížení odporu

Např. **10 k a 10 k na R_p = 5 k**

Využití např. pro získání „mírně“ **nižší hodnoty**,

Např. je třeba **9k1**, ale je k dispozici jen **10 k**,

$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$



$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_p}{R_1 - R_p} = \frac{10 \cdot 9,1}{10 - 9,1} = 101,1$$

Paralel. kombinací **R₂ = 100 k a 10 k se získá 9k09**

Kondenzátor

Kondenzátor (kapacitor), prvek mající kapacitu

$$C = \frac{Q}{U}$$

Kapacita – schopnost pojmout elektrický náboj při daném napětí, udává se ve F – **Faradech (velké hodnota)**

prakticky – **pikofarady, nanofarady, mikrofarady**

Náboj v C – Coulombech

$$Q = I \cdot t \quad I = \frac{Q}{t}$$

(Analogie kondenzátoru – sud na vodu, **kapacita** – plocha průřezu sudu, **napětí** – výška hladiny, **náboj** – množství vody, **proud** – velikost proudu vody l/s)

$C = \varepsilon \cdot S/d = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot S/d$ kap. deskového kond.

Kapacita **paralelně řazených** kondenzátorů

(paralelním řazením kapacita roste)

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Sériovým řazením kond. celk. kap. klesá

(cíleně se sériové řazení kond. nevyužívá)

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

Kondenzátor, druhy

Svitkové kond. izolač. vrstva, opatřena po obou stranách vodivou vrstvou. Svinuto do válcové formy, nezáleží na polaritě

Keramické kondenzátory, nezáleží na polaritě zapojení, kapacity od jednotek pikofaradů do stovek nanofaradů

Způsoby označení – hodnota v pikofaradech $820 = 820 \text{ pF}$,
v nanofaradech $15 \text{ nF} = 15 \text{ nF} = 15\,000 \text{ pF} = 15 \times 10^{-9} \text{ F}$,

nebo $821 = 82 \times 10^1 \text{ (pF)}$

Elektrolytické kondenzátory (zkráceně „elyt“)

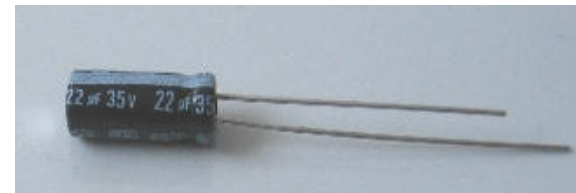
Velké kapacity, obvykle kapacity v mikrofaradech $1 \mu\text{F} = 1 \times 10^{-6} \text{ F}$ až milifaradech $1 \times 10^{-3} \text{ F}$, zásadně je nutno **respektovat polaritu**,
Pro experimenty použijeme elyty **22 uF, příp. 47 uF, 470 uF**

Při **přepólování**- **elektrolyt. kon.** – protéká proud – zvyšování proudu, až – zkrat napájecího zdroje, chybná situace, možná až exploze elek. kondenzátoru může dojít k destrukci, pozor – bezpečnost při zdroji s velký zkratovým proudem. **Nebezpečí** výbuchu a roztržení „šrapnel“. *Pozor v laboratoři!*

Kondenzátory používané v experimentech

Elektrolytický kondenzátor, rozlišení polarity, záporný pól označen –
- - přepólování vede k destrukci, **použití – blokování napájení**

elektrolytický kondenzátor 22 μ F



- (minus) pól
←
+ (plus) pól
←

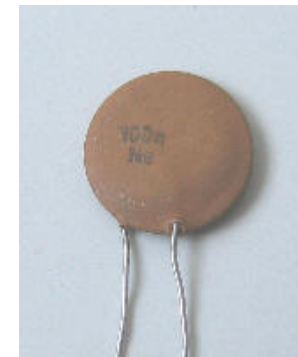
- pól označen na pouzdře též jako - - -

U keramických a svitkových kondenzátorů se nerozlišuje polarita
vývodů – bipolární použití (nezáleží na polaritě zapojení do obvodu)

svitkový kondenzátor 220 nF



keramický
kondenzátor 100 nF



Kondenzátor – použití v experimentech

Kondenzátory použité v základní sestavě **F0 – Lab** jsou pro **blokování**.

Blokování napájení, to je **pro vyrovnání krátkodobých proudových impulsů** (odběrových špiček), které **nemohou být pokryty** přívodem z **napájení** (kondenzátor má funkce lokální zásoby el. energie).

Proudový **odběr procesoru** není spojitý, ale je **impulsní**.

Snahou je, aby při špičce proudového odběru ani krátkodobě (časy řádu mikrosekund a kratší) **nepoklesla velikost napájecího napětí U_{CC}** .

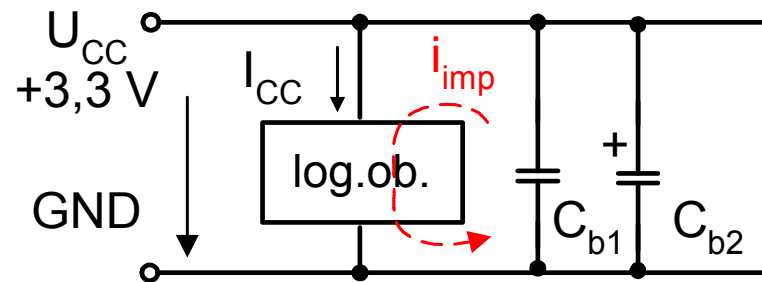
ΔQ - změna náboje na kondenzátoru o kapacitě C za čas Δt při vybíjení proudem I_C

$$\Delta Q_C = I_C \cdot t$$

$$\Delta U_C = \frac{\Delta Q}{C}$$

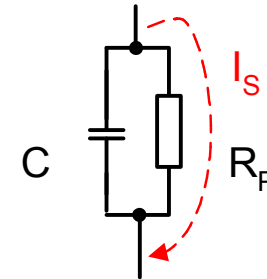
$$\Delta U_C = \frac{I_C \cdot \Delta t}{C}$$

Použity kond.: **keramické 100 nF**
(rychlá reakce- submikrosekundové)
elektrolytické 22 uF, 47 uF, 470 uF
(pomalejší reakce).



Kondenzátor – využití při měření malých proudů

Náhradní schéma reálného kondenzátoru z hlediska „samovybíjení“ svodovým proudem I_S .



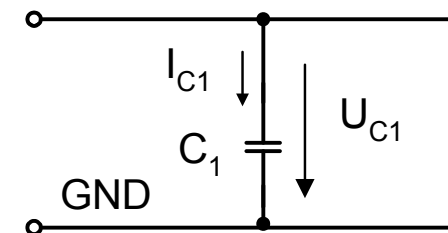
Kondenzátory s velmi malým svodovým proudem, (např. polyesterové nebo polypropylénové) je možno použít pro měření velmi malých proudů metodou nabíjení nebo vybíjení kondenzátoru

Polyesterové kondenzátory 100 nF, 2,2 nF použité v KPE mají svodové odpory R_P v řádu T- Ohmů ($10^{12} \dots 10^{13}$ Ohmů a více, I_S sub- pA

ΔU_{C_1} - změna napětí na kondenzátoru o kapacitě C_1 za čas Δt při nabíjení (nebo vybíjení) proudem I_{C_1}

(Použití - viz bonus úloha- měření závěrného proudu Si diody 1N4148)

$$I_{C_1} = \frac{C_1 \cdot \Delta U_{C_1}}{\Delta t}$$



Cívky

Cívky – mají **indukčnost L**, jednotka indukčnost – **H – Henry**

Průchodem **proudu cívku** vzniká **magnetické pole** a **cívku prochází magnetický tok Φ_c**

$$\Phi_c = L_c \cdot I_c$$

Sériové řazení cívek, (celková L roste)

$$L_s = L_1 + L_2 + L_3 + \dots$$

Paralelní řazení cívek, (celková L klesá)

Cívky ve formě jednoho vinutí na feromagnetickém jádře jsou na

$$\frac{1}{L_p} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots$$

desce PC v bloku impulsního zdroje napájení procesoru (step – down)

Dvě vinutí (cívky) na společném feromagnetickém jádře – **transformátor**.

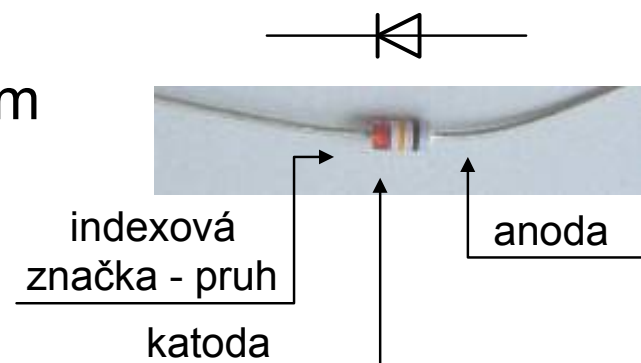
Transformátor – pro transformaci (velikosti) napětí, případně proudu.

Ve většině elektronických přístrojů napájených ze sítě 230 V/50 Hz jsou **transformátory** v impulsních napájecích zdrojích (napáječ PC, napáječ telefonu, LCD, ...).

V KPE cívky jako součástky nepoužíváme

Diody

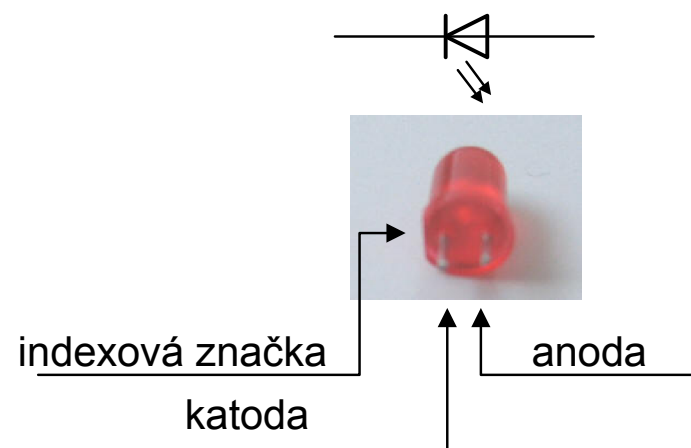
Si Dioda – **křemíková dioda** (s přechodem PN),
katoda je označena **proužkem širším**,
než jsou ostatní proužky, napětí v předním
směru přibl. 0,7 V



Světlo emitující dioda červená – LED,
napětí v předním směru **přibl. 2 V**

Indexová značka – (ploška z boku na
spodní straně pouzdra je **označuje**
katodu

u nové LED katoda má kratší vývod
(kratší vodič)



Číslicový voltmetr, multimetr

Číslicový voltmetr – indikace výsledku – čísla, analogový voltmetr-
indikace velikostí výchylky ručky,

Zapínání, přepínání rozsahu ručně nebo automaticky, polarita

Svorka **COM** – společná, zem, Svorka **V**, nebo **+** měření napětí

Kladné napětí 1,5 V (někdy případně **+1,5 V**), potenciál na **svorce V** je **větší**, než **potenciál na COM** – indikce pouze číslo bez znaménka, (stejně jako v matematice), a opačně **-1,5 V záporné napětí se indikuje vždy znakem minus –**

Svorka A (amper) – pro měření **proudu, malý odpor**, nespráv. připojení přímo na zdroj napětí (měření proudu zdroje do zkratu) – jej zkratuje a může se poškodit přístroj nebo měřený obvod)

Ruční nastavení rozsahu voltmetru - přepínačem, multimetr – rozsah **0,2 V, 2 V, 20 V**, potřeba vhodně **zvolit rozsah** (připojení + 5 V na voltmetr při rozsahu 2 V bude ukazovat saturaci – 1,999 V, případně blikat, nebo indikovat OL – overload)

Číslicový multimetr, funkce

Měření napětí, odporu, proudu, někdy kapacity a frekvence

Měření odporu multimetrem s ručním přepínáním rozsahu – potřeba **vhodně zvolit rozsah**, možno začít od největšího rozsahu

Snižovat rozsah tak, aby přístroj byl stále v lineární oblasti rozsahu

Využít rozsah přístroje, např. napětí 1,234 V měřit na rozsahu 1,999 V (2 V) indikace 1,234 V

1,234 V na rozsahu 20 V také změříme, ale bude indikace 1,23 V (menší rozlišení)

Číslicový multimetr PDM 300 A1

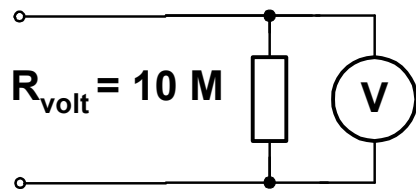
Měření napětí multimetrem - funkce voltmetr

– vstupní odpor na všech rozsazích je 10 MOhmů

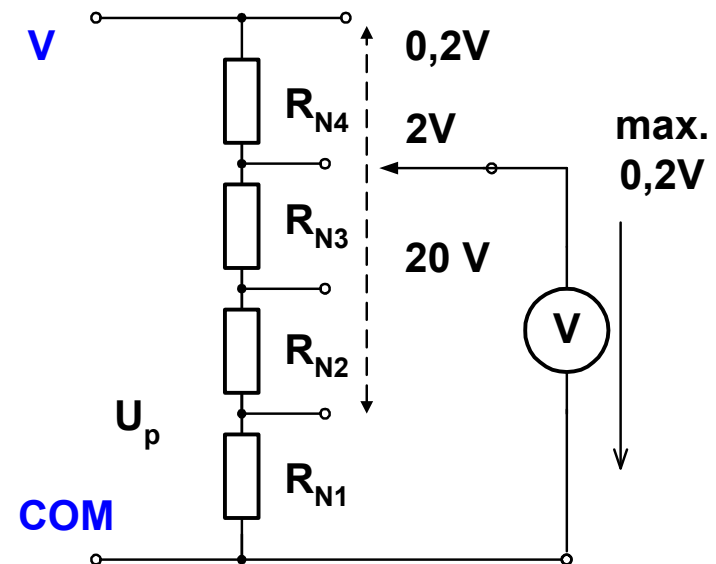
Základní rozsah voltmetru je 0,2 V.

Vyšší měřená napětí - snížení pomocí odporového napěťového děliče. (Podobně tomu je u všech standardních číslicových multimetrů při měření napětí)

Problém při měření v obvodech s velkým vnitřním odporem, viz výklad zatížený odporový dělič. Multimetr zatíží měřený obvod odporem 10 M.



Ideové schéma napěťového děliče voltmetru



Měření proudu číslicovým multimetrem

Jak multimetr měří proudy – podle **Ohmova zák.**

Měření napětí na rezistoru o známém odporu,

$$U = R \cdot I \qquad I = \frac{U}{R}$$

Dělení – nevýhodné,

lépe jen násobení konstantou K_I

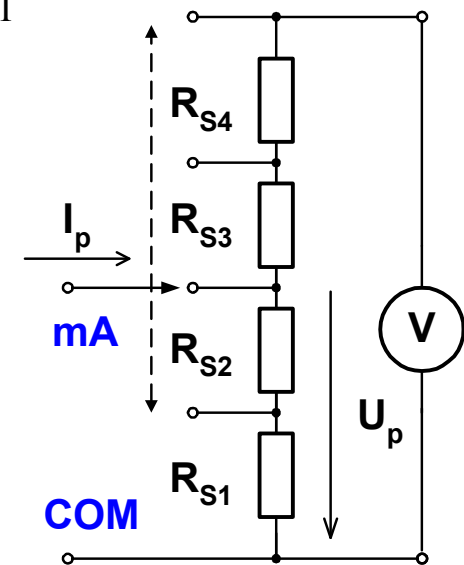
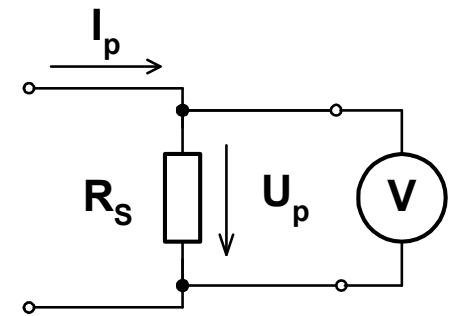
$$K_I = \frac{1}{R_S}$$

$$I_p = U_p \frac{1}{R_S} = U_p \cdot K_I$$

K_I představuje **vodivost G_S**

Násobení konstantou se realizuje snadněji,

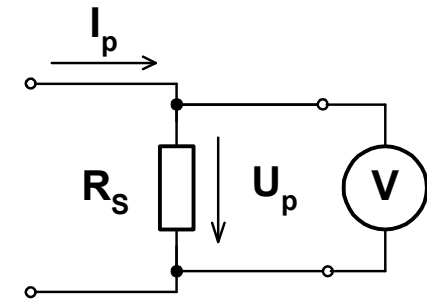
Ideové uspořádání **přepínání proudových rozsahů – změna velikosti snímacího odporu – řazení více snímacích rezistorů do série, odbočky**



Měření proudu při našich experimentech

Určení proudu I_P - změří se napětí U_P na známém snímacím odporu R_S zařazeném v obvodu

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



Jednodušší – násobit konstantou K_I

$R_S = 470 \Omega$, $1/470 = 0,0021276$,

zaokrouhl. $K_I = 2 \times 10^{-3} = 0,002 \text{ mA/V}$

(K_I - vodivost $G_S = 0,002 \text{ S}$ – Siemens)

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

$U_P = 1 \text{ V}$ na $R_S = 470 \text{ Ohmů}$ představuje proud

zhruba $2 \times 10^{-3} = 2 \text{ mA}$, použitím konstanty $K_I = 2 \times 10^{-3} = 0,002 \text{ mA/V}$

Relativní „chyba“ $(0,002 - 0,0021276)/0,0021276 = 0,0599 = 6 \%$,

Pro hrubé nastavení velikosti proudu diodou LED to bude postačovat

(Pamatovat si; potřebuji rychle nastavit proud **cca 2 mA** obvodem se snímacím $R = 470 \text{ Ohmů}$, nastavím tak, aby U_P bylo cca **1V**, do tabulky pak zapíši **skutečně změřenou** velikost U_P a určím správně I_P)

Příklad - číslicový multimetr PDM 300 A1

Řešení přepínání proudových rozsahů v multimetru PDM300A1.

Při proudu 20 mA na plný rozsah je třeba získat napětí 0,2 V

Přepínání rozsahu změnou snímacího odporu podle proudu tak, aby úbytek napětí na něm byl do 0,2 V

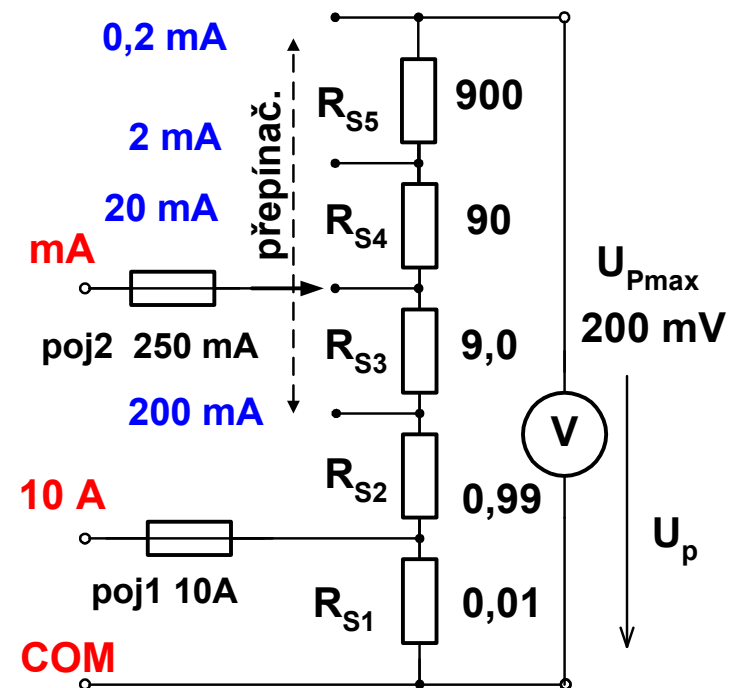
proudový rozsah 20 mA, $R = 10 \text{ Ohmů}$

Pozor u podobných multimetrů při přepínání rozsahu dojde na krátkou chvíli k **přerušení** proudového okruhu, v němž se měří proud – **neteče proud** –

(Pozor - odpor ochranné pojistky v PDM 300 je cca 5 Ohmů)

? Jaký bude napěťový úbytek na ampérmetru při 200 mA

Pozor na hodnotu!!!



Číslicový multimetr PDM 300 A1

Jako příklad 3 ½ místného multimetru s ručním přepínáním rozsahu

Podobné vlastnosti mají i další multimetry, základní cenové kategorie cca 200 – 600 Kč



Číslicový multimetr MT-1232 s aut. přepínáním rozsahu

automat. přepín. rozsahu

Hz/ %

zkrat. zkoušečka /
nap. diody

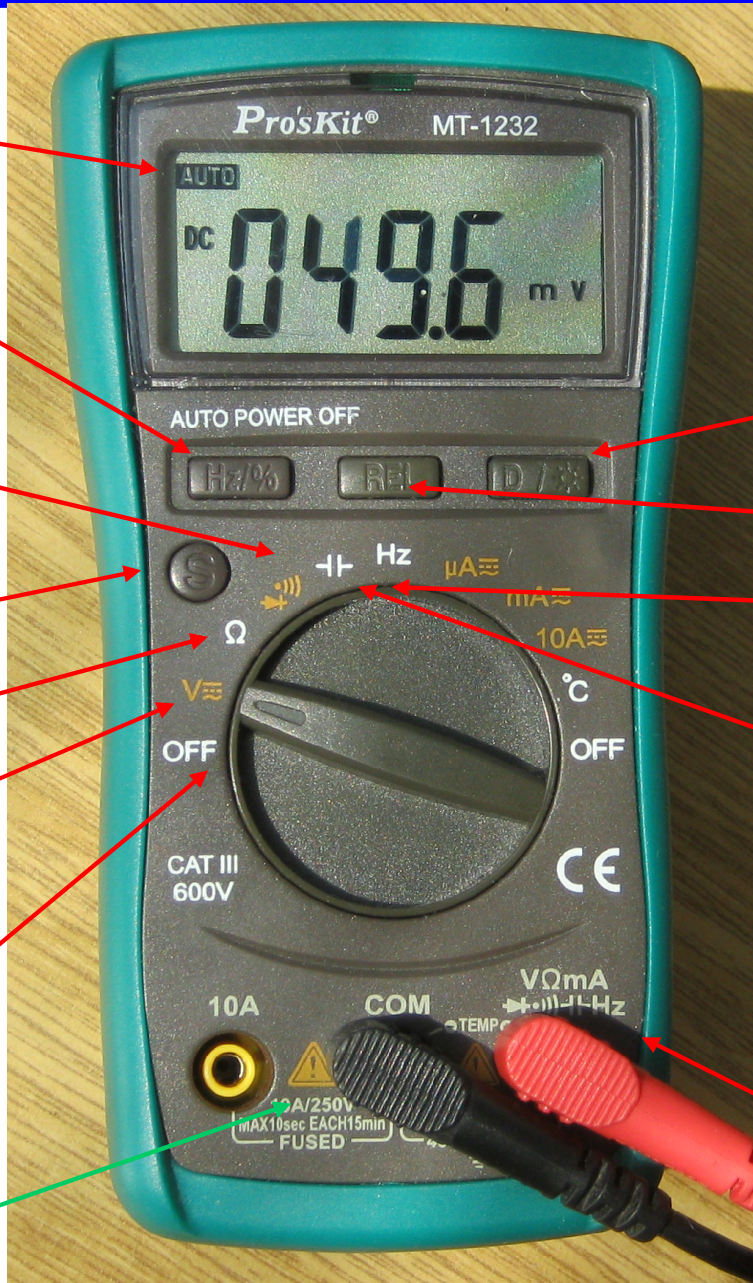
select

odpor

napětí

OFF

COM



D- hold

REL

frekvence

kapacita

Volt

Číslicový multimetr Proskit MT-1232

Svorka COM – společná, svorka s nižší impedancí, spojena se kostrou – zemí desky voltmetru (větší kapacita proti zemi), obvykle **připojovat** na zem **GND měřeného obvodu** (není však bezpodmínečně nutné)

Svorka V, Ω , mA – měřicí vstup s vyšší impedancí (menší kapacita vůči zemi)

Multimetr má automatické přepínání rozsahů

Pozor – společná svorka pro měření napětí, odporů a proudů. Při nesprávném přepnutí (např. při připojení na zdroj napětí a přepnutí do režimu měření proudu **mA**) se může přístroj poškodit, současně se přístrojem zkratuje zdroj měřeného napětí

Pozor – v režimu měření odporu Ω připojovat pouze na rezistory, které nejsou zapojeny v obvodu s napájením.

Přepínač rozsahu bude nastaven do levé polohy **OFF**, nebo **V**. Do polohy **Ω** se nastaví pouze v případě potřeby.

V režimu **Ω** **nikdy** nepřipojovat do obvodu **s napájením** (možnost poškození).

Multimetr MT-1232

Multimetr MT1232, stupnice 3999

základní rozsah 0,3999 V, největší rozlišení 0,1 mV

další rozsahy 3,999 V, 39,999 V, 399,9 V (AUTO – aut. přep. rozsahu)

Vstupní impedance na rozsahu 0,3999 V je větší než 40 MOhmů
na ostatních rozsazích = 10 MOhmů

tlač. **S – select** – výběr režimu

napětí = **DC** stejnosměrné / **AC** – střídavé

zkrat. zkoušečka / napětí na diodě (na svorce V je kladné napětí)

tlač. **Hz / %** v režimu měření **frekvence** (přepínač na **Hz**) přepínání
funkce měření **frekvence** / měření **střídavy**

tlač. **Hz / %** v režimu měření napětí (přepínač na **V**) přepínání funkce
měření **napětí** / měření **frekvence** / měření **střídavy**

Multimetr MT-1232 – relativní měření

Tlač. **REL** relativní měření měření vůči hodnotě v okamžiku stisku tlačítka (zobrazuje se rozdíl, indikace symbol Δ , vypne se **AUTO**), další stisk **REL** – vypnutí relativního režimu, je stále vypnut režim **AUTO**,

Využití funkce **REL** je typicky při měření napětí, odporu

Jiné využití je pro vypnutí funkce automatického přepínání rozsahu

Činnost multimetru *při odpojení* měřicích hrotů:

v režimu **V** – přepnutí na největší citlivost, rozsah 0,3999 V

v režimu měř. **odporu** – přepnutí na rozsah 40 M Ω , signalizace **OL**

To **zpomaluje** měření typicky při měření odporů. Postup – měřit napětí nebo odpor, 2x stisk REL, naposled nastavená rozsah zůstane zachován

Příklad **vypnutí AUTO** v režimu R: připojit rezistor, např. 22 K, **2x stisk** tlač. **REL**, zmizí symbol **AUTO**.

Signalizace symbolem **OL** – **OverLoad** – přetížení, překročení rozsahu

Multimetr MT-1232 – měření **kapacity**

Měření kapacity – !!! měřit **vždy vybitý kondenzátor**
(**vybít jej ještě před připojením k přístroji**)

Zvolit funkci měření kapacity, (měřicí hroty ještě nejsou připojeny ke kondenzátoru) počkat alespoň 2 sekundy pro ustálení (přístroj ukazuje kapacitu **větší než 1 nF**), stisk **REL** („nulování“), **při dalším se bude se indikovat změřená kapacita.**

Pozn. funkce AUTO zůstává zachována

Při měření více kondenzátorů (bez změny funkce – stále je zvoleno měř. kapacity) postačí počáteční nulování.

Pro **snížení chyb** při měření kapacity **delší dobu** je vhodné po čase **opakovat nulování** (odpojit hroty a REL).

Multimetr MT-1232 – měření odporu

Slouží pro měření odporu

- Na svorce **V** je kladné napětí,
- Na **nepřipojených** hrotech je napětí **cca do 0,2 V**
- Do **zkratu** teče proud **max. cca 0,2 mA**.
- Při měření odporu se hodnota **postupně ustaluje** (pro lepší určení hodnoty je vhodné počkat 2 až 3 sekundy)

Při měření malých odporů, snížit působení odporu přívodních vodičů – **zkratovat měřicí hroty a funkce REL** – „relativní měření“, odečtení odporu přívodů (jako „vážení v čisté váze“).

Stisk „**REL**“ zaznamená se aktuální hodnota a vůči ní se vztahuje indikovaná hodnota. Další stisk **REL**, **vypnutí** režimu relativního měření, ponechá se zvolený rozsah.

Malé měřicí napětí 0,2 V (v režimu měření odporu) **nepostačuje** pro spolehlivé měření **diod**; (využít samostatný režim pro měření Si diod).

Multimetr MT-1232 – měření diod

Slouží pro měření diod a určení propustného směru

- Na svorce **V** je kladné napětí,
- Na **nepřipojených** hrotech je napětí **cca 1,5 V**; postačuje pro určení orientace diody (PN přechodu Si diod a tranzistorů), **nepostačuje** pro **LED**, částečně využitelné pro IRED – infračerveně zářící diody)
- **Diodou Si** ($U_F = 0,6 \text{ V}$) při měření v **předním směru** teče proud max. 0,4 až **0,5 mA**,
- **Do zkratu** teče proud cca **0,5 mA**.

Přední směr diody – kontakt **V** připojen **na anodu**, kontakt **COM** připojen **na katodu**, indikace **napětí cca 0,6 V**

Přední směr diody – přechodu báze – emitor (nebo přechodu báze kolektor) tranzistoru NPN (u nás BC546) kontakt **V** připojen **na bázi**, kontakt **COM** připojen **na emitor** (případně na kolektor) – indikace **napětí cca 0,6 V**

Opačný – **závěrný směr** indikace **OL**

Multimetr MT-1232 – alternativní způsoby měření LED

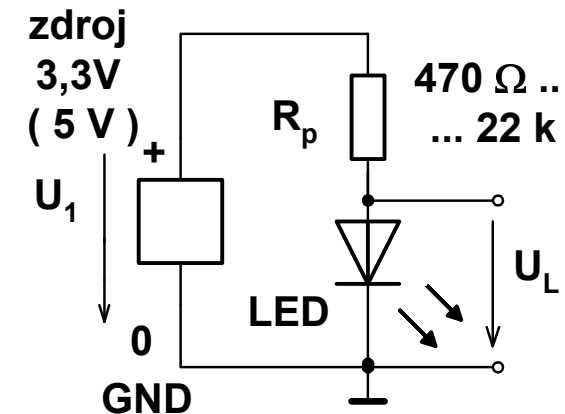
Multimetr MT-1232 nelze přímo využít pro měření LED (mimo případu určení poškozené LED ve zkratu).

Jiné multimetry s napájením baterii 9 V v režimu „Dioda“ mají na svorkách naprázdno napětí 2 V a více, což umožňuje jejich použití pro měření LED

Alternativní způsob měření LED

Zdroj **napětí 3,3 V** nebo **5 V** a měřit U_L napětí na LED.

- V **propustném směru** U_L – **přední** napětí LED (cca 1,5 V až 3 V podle barvy),
- V **závěrném směru** se jako U_L naměří **napětí zdroje** (tedy 3,3 nebo 5 V).



Použití **vyššího napětí** než např. 5 V v závěrném směru může **poškodit** LED průrazem.

Pozn.: Tento způsob lze použít i pro měření **Si diod**.

Multimetr MT-1232 – zkratová zkoušečka

Zkratová zkoušečka měří odpor **na rozsahu 399,9 Ohmů**

Při odporu menším **než cca 50 Ohmů** akusticky **signalizuje** zkrat

V režimu **zkratové zkoušečky**:

- Na **nepřipojených** hrotech je napětí do hodnoty cca **0,5 V**, na svorce **V je kladné napětí proti COM**
- Měřeným obvodem teče **proud cca 0,5 mA** a menší, v závislosti na odporu obvodu

Zkratovou zkoušečku nikdy nezapojovat do obvodu s napájením a nabitými kondenzátory.

Multimetr MT-1232 – zásady použití v kurzu

Používat funkce *V* měření napětí a Ω měření odporu, příp. měření diod/ zkratozkoušečka

V klidu ponechat přepínač v poloze **OFF** – vypnuto,

V zapnutém režimu ponechávat pouze režim **V** nebo Ω

Měření diod zapnout pouze na potřebnou dobu – připojení napětí na svorky v tomto režimu **může poškodit přístroj**.

Měření proudu funkcí μA , mA – multimetrem MT-1232 v tomto kurzu **nebudeme používat**; nikdy nepřepínat na tyto rozsahy.

Volba multimetru – pro vlastní použití (co si mám koupit??).

Na **domácí použití** vyhoví prakticky každý multimetr.

Není ani nezbytně nutná funkce měření **střídavých proudů**, případně ani někdy ani měření **stejnosměrných proudů**, nutná je funkce **měření odporu** (tu má obvykle každý multimetr).

Výhodné jsou funkce:

- **vypínání napájení** samostatným **tlačítkem**
- funkce **automatického vypínání**
- funkce **měření diod**, „akustický“ ohmetr („**zkratozkoušečka**“)
- napájení **z baterii 1,5 V** (typ AA – tužková bat., nebo AAA – mikrotužka). Napájení z bat. 9 V ?? – pozor jsou to **dražší** baterie)

Výhodné, avšak ne nutné funkce – měř. **kapacity, frekvence, teploty**

Standardní rozsah stupnice **přístrojů 1999** (rozsah 1,999 V, 19,99 V),
výhodné – stupnice 3999 (rozsah 3,999 V) – obvyklé napájení
používaných procesorů **je 3,3 V**, **tedy rozlišení na 1 mV**, (u příst. typu
1999, nutno použít rozsah 19,99 V)

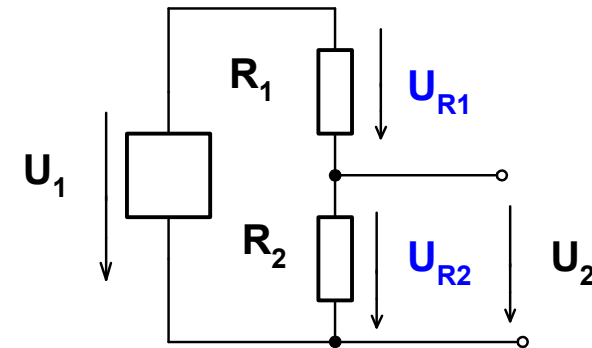
Při měření napětí 3,3 V přístrojem 3 1/2 míst. mult. – rozlišení 10 mV

Odporový napěťový dělič

Napěťový dělič se využívá pro snížení **vyššího napětí U_1** na **nižší napětí U_2** (např. v multimetru)

Sériově zapojené rezistory R_1 a R_2
Protéká jimi proud

$$I_{\text{nd}} = \frac{U_1}{R_1 + R_2}$$



Napětí se na (nezatíženém) odporovém napěťovém děliči rozdělí v poměru velikosti odporů

$$I_{\text{nd}} = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{U_{R2}}{R_2}$$

Velikost výstupního napětí děliče U_2
To je **důležitý** vztah !

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

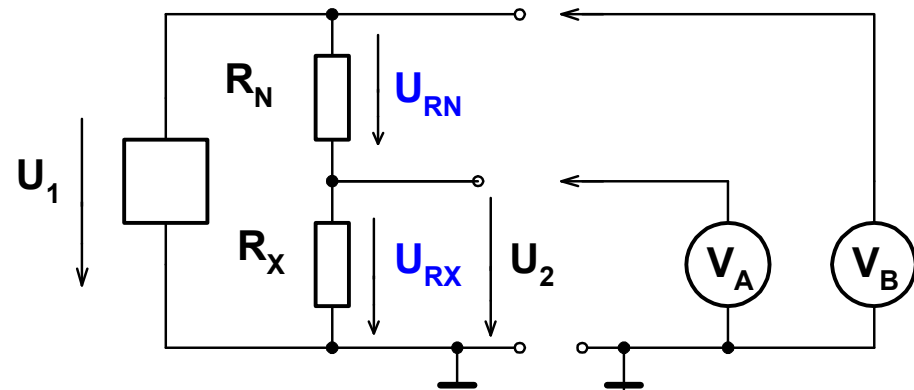
Odporový napět'ový dělič a poměrové měření odporu

R_N – známý odpor, R_X – neznámý odpor
oběma rezistory protéká stejný proud I_R

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

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

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



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

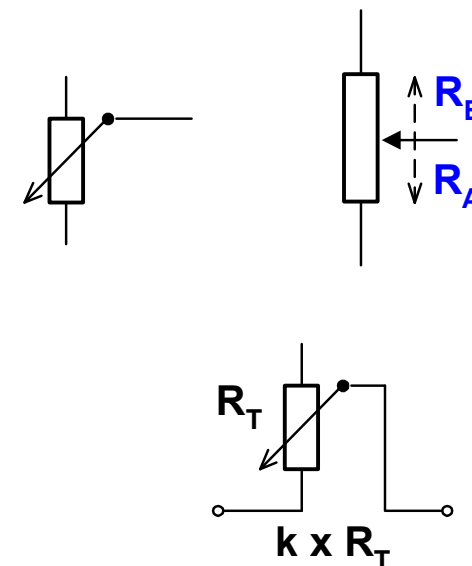
Pozn.: Tento způsob poměrového měření odporu – je využit při měření odporu pomocí F0 – Lab

Odporový trimr

Proměnný rezistor – odporový trimr, potenciometrický trimr
vrstva - odporová dráha, celkový odpor $R_T = R_A + R_B$
a otočný jezdec dotýkající se odporové dráhy

Využití – buď jako **proměnný odpor** – zapojení
pouze **dvou vývodů**, krajní vývod a jezdec,
odpor je závislý na stupni (k) natočení
od počátku $R_A = k \times R_T$

Odporový trimr slouží k **jednorázovému nastavení**



Potenciometr – elektricky stejná funkce odporový trimr. Konstrukčně
upraveno pro opakované a snadné nastavení, **hřídel** potenciometru se
vybavuje „knoflíkem“

Potenciometr – pro opakované nastavování (typicky nastavení
hlasitosti u jednoduchého „analogového“ radiopřijímače)

Odporový trimr

Příklady odporových trimrů

Jednootáčkový odporový trimr

Jsou mechanické dorazy umožňující otočení o úhel cca 200° až 270° (podle typu)



Víceotáčkový odporový trimr – např.

**25 otáček, (vnitřně je také úhel cca 270°),
ale uvnitř je mechanický převod
„do pomala“ se šroubem, díky tomu je
možné jemné nastavení**

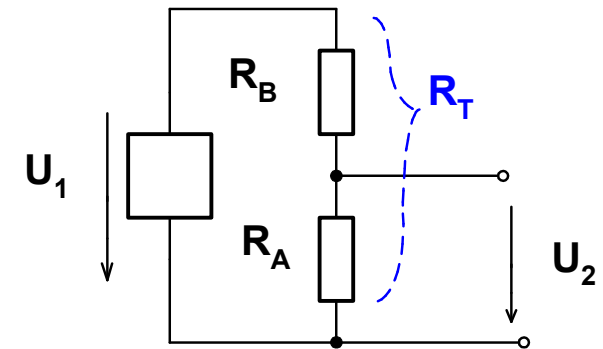


Odporový trimr jako nastavitelný napěťový dělič

Odporový trimr s lineárním průběhem změny odporu s úhlem natočení

k_t – jako poměr úhlu aktuálního natočení, vůči maximálnímu natočení $R_A = k_t \times R_T$

Lineární závislost výstupního napětí (*naprázdno*) na úhlu natočení



$$U_2 = \frac{R_A}{R_T} \cdot U_1 = k_t \cdot U_1$$

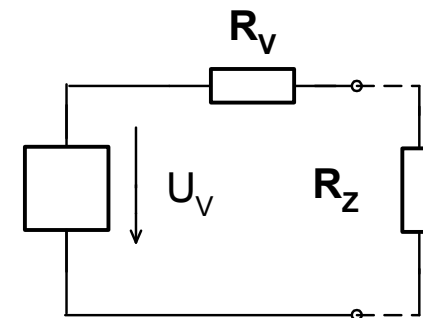
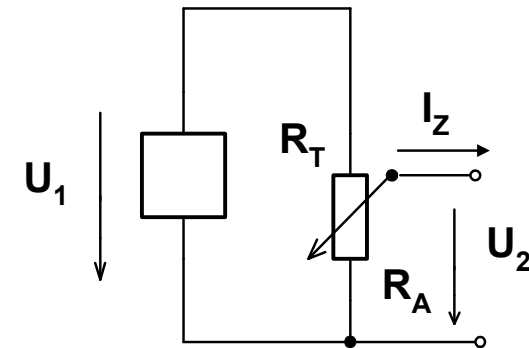
(V úloze použijeme jako nastavitelný zdroj napětí)

Jak se bude chovat odporový napěťový dělič, pokud nebude naprázdno?

Zatížený odporový napěťový dělič

Jaké bude chování při zatížení, (to je z výstupu děliče do zátěže R_Z poteče proud I_Z) dalším odporem R_Z ?

Náhrada obvodu ideálním zdrojem napětí U_V se sériově zapojeným rezistorem o odporu R_V (vnitřní odpor zdroje napětí)



Theveninův teorém

Libovolně složitý lineární aktivní dvojpól je možno z hlediska libovolných dvou svorek nahradit jedním ideálním zdrojem napětí U_V a sériově zapojeným odporem R_V

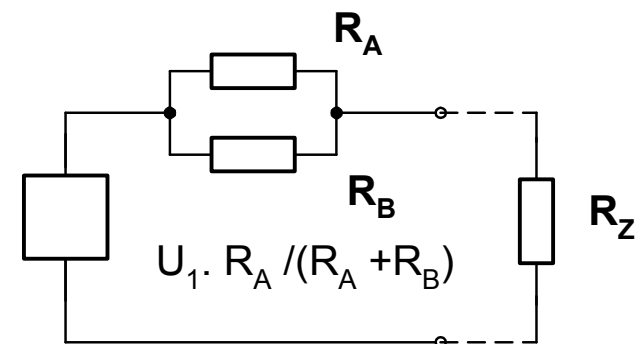
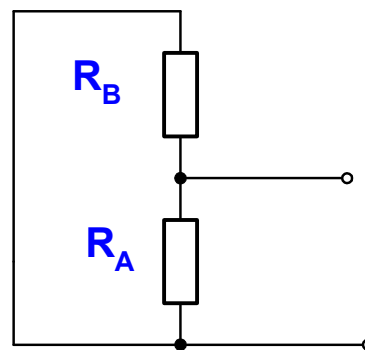
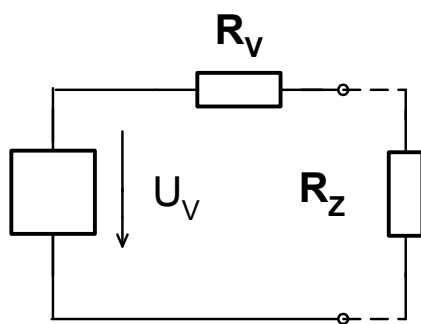
Jak určit parametry U_V a R_V ?

Napětí U_V = napětí nezatíženého dvojpólu naprázdno (pro nás výstup napěťového děliče naprázdno)

Odpor R_V – odpor, který vykazuje dvojpól na svorkách

Výpočet R_V , zdroje napětí nahradit zkratem (vnitřní odpor ideálního zdroje napětí je 0) a určit odpor

Pro dělič R_A a R_B – paralelně



Zatížený odporový napěťový dělič s trimrem – výpočet

Dělič napětí s odporovým trimrem 5 k

Otázka v jaké poloze je největší vnitřní odpor zdroje R_V ?

$$R_V = \frac{R_A \cdot R_B}{R_A + R_B} = \frac{k_t \cdot R_T \cdot (1 - k_t) R_T}{k \cdot R_T + (1 - k_t) R_T} = (k_t - k_t^2) R_T \quad \boxed{R_V = (k_t - k_t^2) R_T}$$

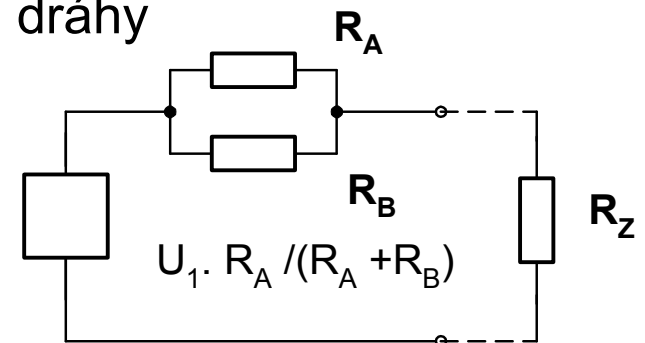
Derivace $R'_V = R_T (k_t - k_t^2)' = R_T (1 - 2k) = 0$ pro extrém $R'_V = 0$

Extrém odporu R_V ? Derivace (podle k), = 0, pro $k_t = 0,5$ je extrém R_V (největší odpor), trimr nastaven na střed odporové dráhy

$$R_A = R_B = 0,5 \times 2k5 = 1k25, R_{Vmax} = 1250 \text{ Ohmů}$$

$$R_{Vmax} = R_T/4$$

Ke krajům dráhy R_V klesá



K_t	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$k_t - k_t^2$	0	0,09	0,16	0,21	0,24	0,25	0,24	0,21	0,16	0,09	0
$R_V = 5000 (k_t - k_t^2)$	0	450	800	1050	1200	1250	1200	1050	800	450	0

Působení **vnitřního odporu zdrojů napětí**

Ideální zdroj napětí má **nulový** vnitřní odpor

Každý **reálný zdroj napětí** má vnitřní odpor nenulový

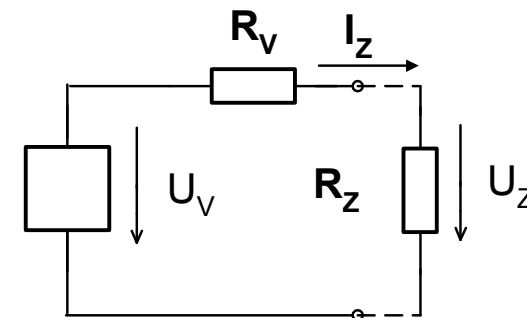
Síťový rozvod 230 V v domácnosti – **zapnutí zátěže** např. rychlovarné konvice **2 000 W** (proud cca 8,5 A), **pokles napětí** o $U_p = R_v \times I_z$

Vybité akumulátory, napětí **naprázdno** je téměř v pořádku, napětí silně **poklesne až při zátěži**

Vybíjením akumul. se příliš nemění napětí, ale **roste vnitřní odpor**

Proto **testovat** stav **při zátěži** resp. vyhodnotit **napětí naprázdno** a **napětí při zátěži**

Multimetr PDM300 při funkci BAT, měří napětí **při zátěži cca 100 Ohmů**

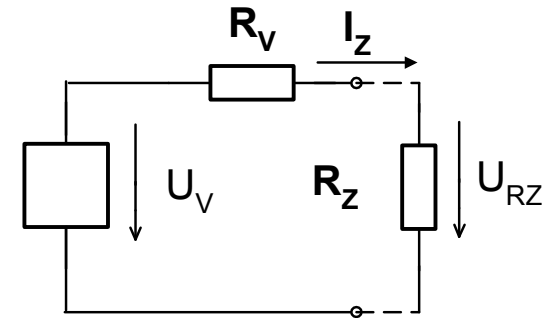


Určení vnitřního odporu zdroje napětí

Měření naprázdno – určení U_V

měření při zátěži R_Z – určení U_{RZ} ,

určení koeficientu poklesu napětí k_{POK}



$$U_{RZ} = \frac{R_Z}{R_V + R_Z} \cdot U_V \quad \frac{U_{RZ}}{U_V} = \frac{R_Z}{R_V + R_Z} = k_{POK}$$

$$k_{POK} = \frac{U_{RZ}}{U_V}$$

Výpočet vnitřního odporu R_V z výsl. měření

Pro pokles napětí $k_{POK} = 0,5$ je tedy $R_V = R_Z$
 $k_{POK} = 0,9$ $R_V = 0,111 R_Z$
 $k_{POK} = 0,95$ $R_V = 0,052 R_Z$
 $k_{POK} = 0,99$ $R_V = 0,01 R_Z$

$$R_V = \frac{1 - k_{POK}}{k_{POK}} R_Z$$

Např. pro test tužkových akumulátorů AA je vhodné použít R_Z cca 10 až 5 Ohmů (zatěžovací proud 100 až 200 mA).

Příklady a experimenty

Příklad výpočet a **provést experiment**:

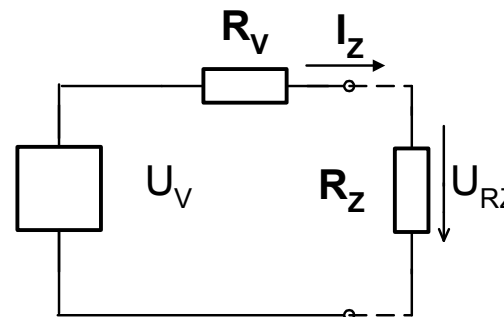
Př. 1: Odporový dělič s trimrem o odporu $R_T = 5 \text{ k}$ je nastaven do středu $k = 0,5$ ($R_V = 1250$). Napájení trimru $U_1 = 5 \text{ V}$, jaké napětí na jezdcí trimru bude naprázdno? **Jaký je vnitřní odpor R_V takového zdroje napětí? Jak se napětí změní, pokud se dělič s trimrem zatíží odporem $R_Z = 10 \text{ k}$, souhlasí výsledek s teorií?**

Př.2: Výpočet: Jak se změní napětí, pokud se z jezdce bude odebírat proud $I_Z = 0,5 \text{ mA}$?

P1 řešení: Napětí naprázdno $U_V = k \times U_1 = 0,5 \times 5 \text{ V} = 2,5 \text{ V}$

$2,5 \text{ V} \times 10 \text{ k} / (10 \text{ k} + 1 \text{ k}25) = 2,5 \text{ V} \times 0,8888 = 2,222 \text{ V}$ při zátěži 10 k

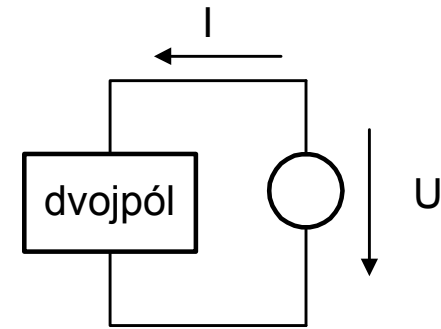
P2 řešení: Pokles o napětí $R_V \times I_Z = 1250 \times 0,0005 = 0,625 \text{ V}$ tedy na napětí $U_{RZ} = 2,5 - 0,625 \text{ V} = 1,875 \text{ V}$



Volt - Ampérová charakteristika dvojpólu

V-A char. = závislost proudu na přivedeném napětí
přivedeném na el. prvek (dvojpól)

Měření - nastavitelný měřicí zdroj,
měřit proud



Rezistor – V-A charakteristika je přímka

Rezistor – lineární prvek

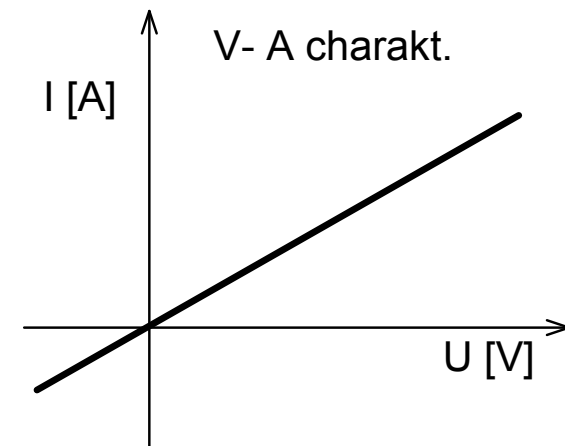
$$I = G \cdot U = \frac{1}{R} \cdot U$$

strmost přímky dána **vodivostí $G = 1/R$**

(matematika – rovnice přímky $y = k \cdot x + q$)

Další prvky nemají lineární V-A char.

Diody LED, Si, Zenerovy diody,..



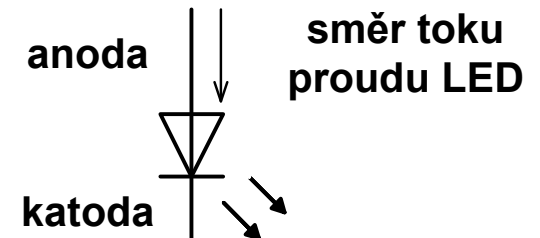
Zapojení LED

LED - Light Emitting Diode

směr toku proudu LED od anody ke katodě

katoda označena na pouzdru – ploška,

opačné zapojení – proud neteče



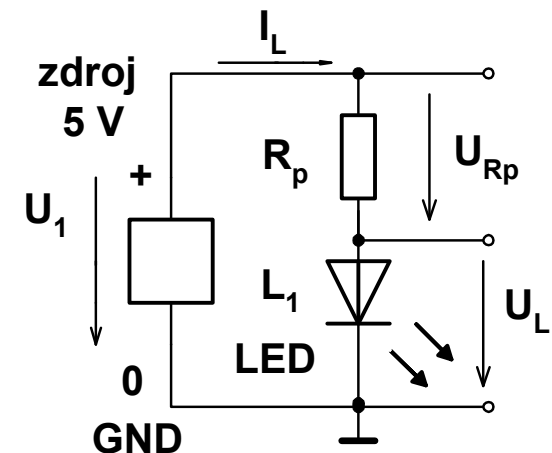
Experiment

Zapojit LED, volit $R_p = 470$ Ohmů

Změřit napětí na LED $U_L = ?$

Určit velikost proudu I_L tekoucího LED,
změřit napětí U_{Rp} na rezistoru R_p
v sérii s LED

(použít Ohmův zákon)



Poznámka k napájení

Při měření voltmetrem F0–Lab, je možno použít napájení experimentu
pouze napětím $U_1 = 3,3$ V (z regulátoru HT7533)!

Volt - Ampérová charakteristika diody

Dioda s PN přechodem, LED, Si dioda je nelineární prvek

V-A char. LED, Si diody – nelineární závislost

Proud („znatelný“) začne protékat diodou až od napětí U_d

V závěrném (opačném) směru proud neprochází

Prahové napětí diody (v grafu – U_d) je významný parametr, závisí na **barvě a typu diody**

V katalogu se napětí na diodě označuje jako U_F

U_F – napětí v **předním** nebo také **propustném** směru, udává velikost U_F při I_F , např. při $I_F = 20 \text{ mA}$

Infračervená dioda $U_F = 1,5 \text{ V}$

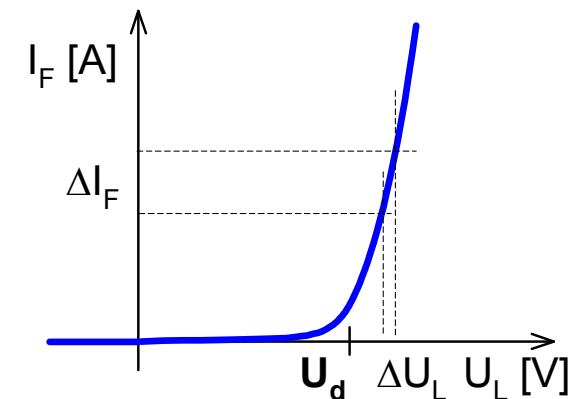
Červená LED $U_F = 1,7 - 2 \text{ V}$

Zelená LED $U_F = 2 - 2,5 \text{ V}$

Modrá (bílá) LED $U_F = 3 - 3,5 \text{ V}$

Si dioda $U_F = 0,6 - 0,7 \text{ V}$,

Dioda – přechod báze-emitor **tranzistoru** $0,6 - 0,7 \text{ V}$



Linearizace V-A charakteristiky, diferenciální odpor

Snaha nelineární V-A char. **linearizovat** nahradit **lin. závislostí** v daném úseku

Není možno určit vodivost, odpor z celé charakteristiky, **ale pouze v daném úseku** nebo **oblasti** (*analogie, kopec, stoupání, strmost*)

Diferenciální vodivost G_{dif} – strmost charakteristiky
- přímky (tečny) daném bodě V-A char

$$G_{\text{dif}} = \frac{\Delta I_L}{\Delta U_L}$$

Zjednodušená náhrada chování diody
prahové napětí U_d a odpor R_L

Idealizovaná V-A char. LED – náhrada
úseků přímkami

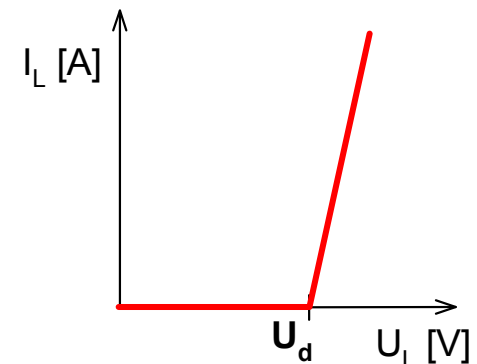
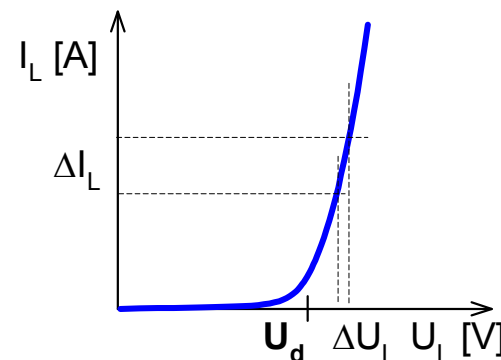
$$R_{\text{dif}} = \frac{\Delta U_L}{\Delta I_L}$$

pro $U_L < U_d$ $I_L = 0$

pro $U_L > U_d$

$$I_L = G_L (U_L - U_d)$$

$$I_L = \frac{1}{R_L} (U_L - U_d)$$

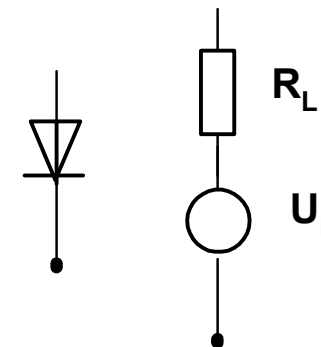


Charakteristika LED LT1871- 81 firmy Ledtech

Příklad lin. náhrada pro malé proudy $R_D = 42 \Omega$, $U_d = 1,55 \text{ V}$

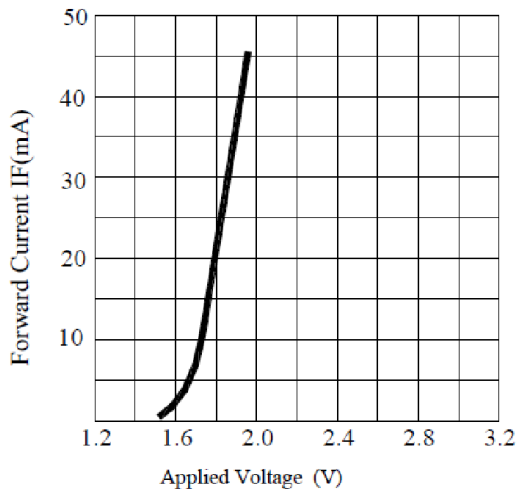
Pro větší proudy $R_D = 30 \Omega$, $U_d = 1,65 \text{ V}$

$$R_D = \frac{0,2 \text{ V}}{45 \text{ mA} - 15 \text{ mA}} = 6,6 \Omega$$

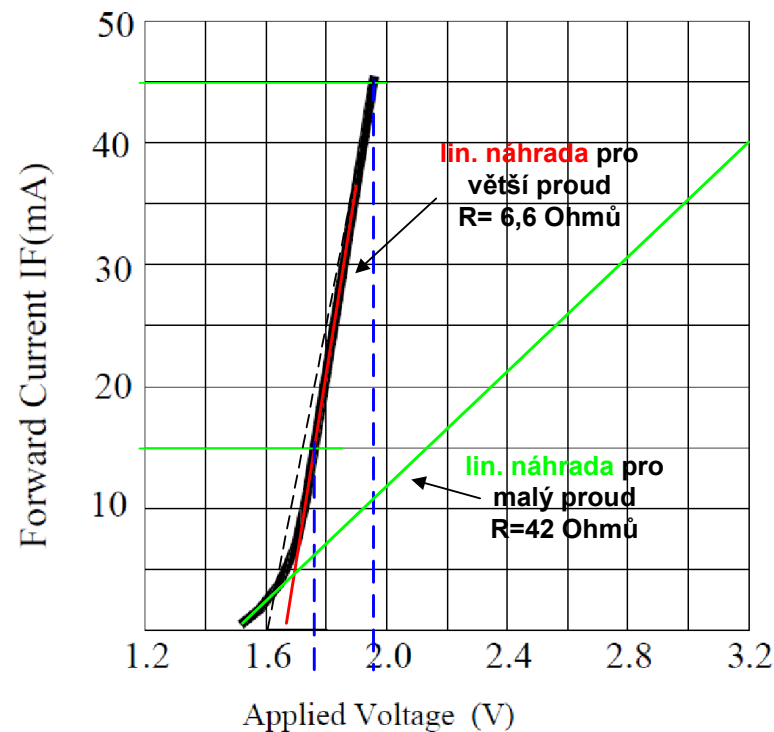


celkově postačí zjednodušení

$R_D = 8 \Omega$, $U_d = 1,60 \text{ V}$



FORWARD CURRENT VS. APPLIED VOLTAGE



FORWARD CURRENT VS. APPLIED VOLTAGE

Nastavení proudu LED proměnným rezistorem

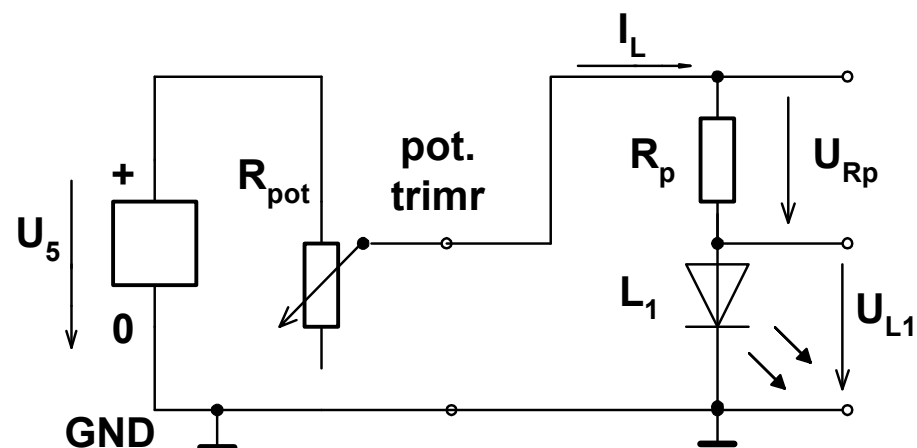
Změna **proudu LED** pomocí proměnného rezistoru realizovaného potenciometrickým **trimrem** $R_T = 5 \text{ k}$.

Zapojit proměnný rezistor - do série $R_{\text{pot}} + R_p$, $R_p = 470$, napájení 5 V NEBO 3,3 V.

*(Při měření voltmetrem F0 - Lab, je možno použít napájení **pouze napětím 3,3V** z regulátoru HT7533)!*

Měnit nastavení trimru a zjistit, jak se mění napětí na LED?

Určit velikost diferenciálního odporu při proudu 2 mA (např. při změně proudu na 2,5 mA)



Určení proudu dvou paralelně zapojených LED

Zapojit paralelně LED L_2 , změřit U_L , a celkový proud I_L .

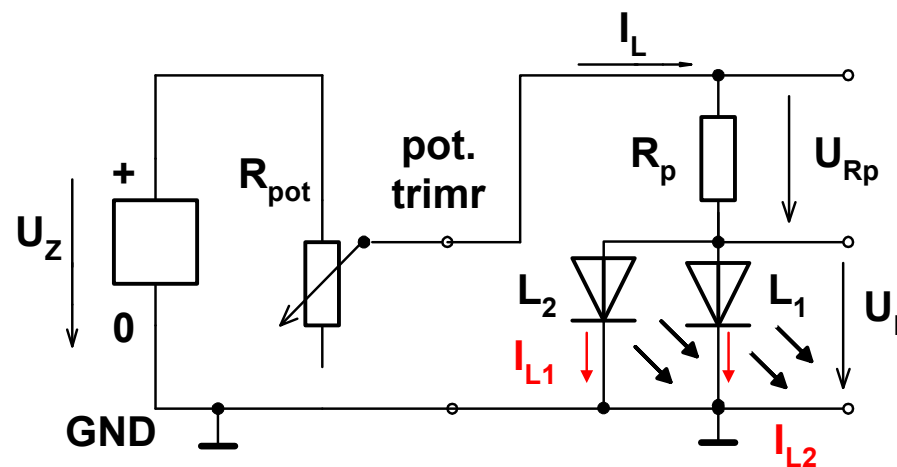
Změní se napětí U_L ?

Změní se proud I_L ? (zroste dvakrát nebo ne, proč asi)?

(Nápověda – napište vztah pro velikost proudu I_L v obvodu se zahrnutím parametrů všech prvků v obvodu, včetně diferenciálního odporu)

Jak se bude chovat obvod při zapojení jedné zelené LED a následně po připojení červené LED

$R_{\text{pot}} = 5 \text{ k}$, $R_p = 470$, napájení $U_z = 5 \text{ V}$



Měření V-A charakteristiky LED a Si diody

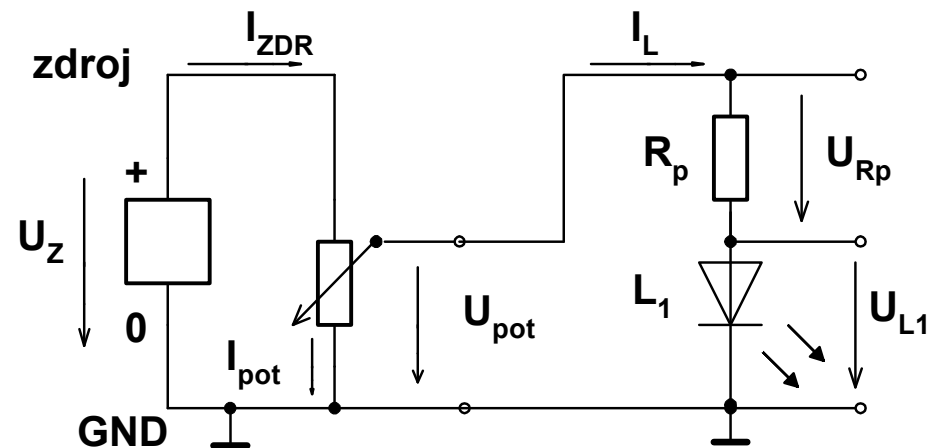
Změřit VA charakteristiku červené LED a Si diody tak, aby bylo možno určit **prahové napětí diod** a načrtnout charakteristiku, určit U_L při $I_L = 2$ mA

Trimr použit jako **nastavitelný zdroj** napětí U_{pot} napájený ze zdroje 5V nebo **3,3 V**, vnitřní odpor zdroje R_V ,

$$R_V = k(1 - k) R_T$$

(Při domácích experimentech a měření pomocí F0- Lab **STM32F042** použít napájení **pouze +3,3 V**), aby se nepřekročilo povolené **max. napětí** na vstupu procesoru

$$R_T = 5 \text{ k}, R_p = 470$$



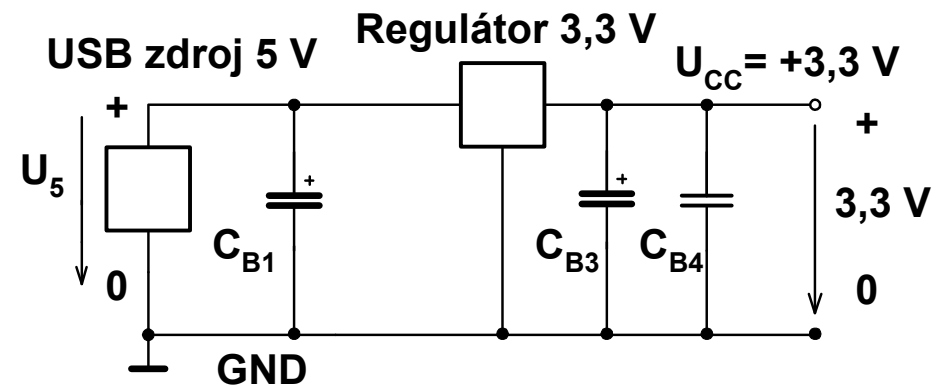
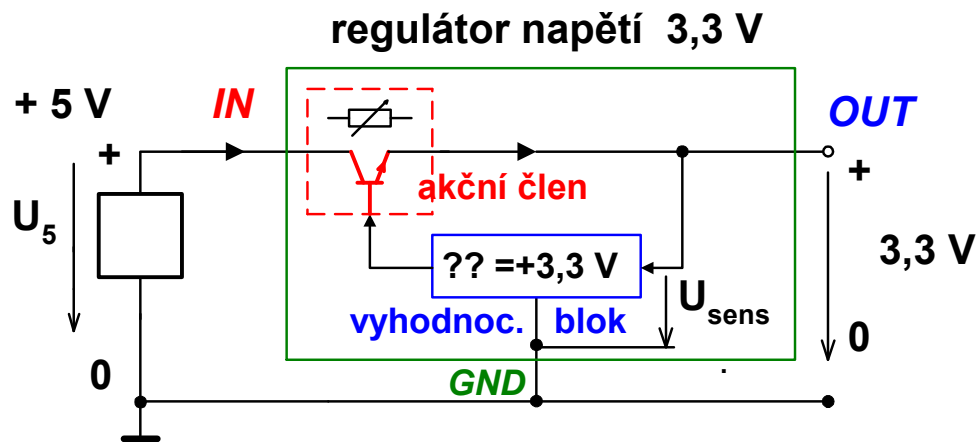
Zdroj +3,3 V

Pro napájení mikrořadiče (mikroprocesoru) - potřeba **napětí 3,3 V**

Regulátor napětí, (stabilizátor – poskytuje na výstupu stabilizované napětí nezávisle na změnách napětí na vstupu), **z většího vyrábí menší napětí**

Zpětnovazební regulátor - porovnání napětí U_{SENS} s žádanou hodnotou **3,3 V** „*je menší → přidej*“, „*je větší → uber*“ pomocí akčního členu (analogie - redukční ventil, tempomat v autu, regulátor topení..)

Záporná zpětná vazba – základ všech regulátorů



Regulátor napětí HT7533

HT7533 Regulátor (stabilizátor) **napětí 3,3 V**,
tolerance výroby – hodnoty 3,2 až 3,4 V
proud až 100 mA

Pouzdro **TO92** – stejné, jako tranzistor BC546
– **pozor** na **záměnu** s **BC546** i s jinými regulátory
např. **LE33** – **odlišné** rozložení vývodů

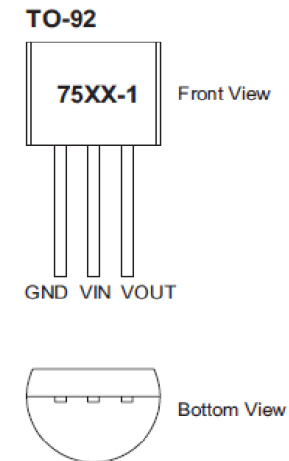
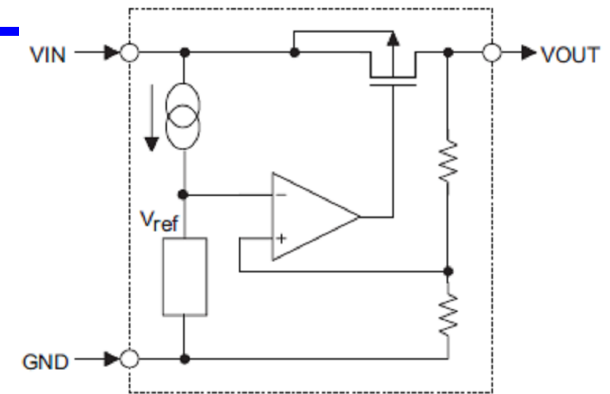
Pozn.: V katalogu u HT7533 uvedeno

„100 mA Low Power LDO“,

Low power míní se, že má malou vlastní spotřebu proudu
pro vlastní činnost (režie) – **LDO je zkratka „Low Drop Output“**
až v textu je uvedeno **„three-terminal.... regulator“**

Pozor na zkrat na výstupu, z USB napětí + 5 V

$P = U \times I = 5 \text{ V} \times 0,1 \text{ A} = 0,5 \text{ W}$ – ohřátí regulátoru
omezení proudu na 100 mA

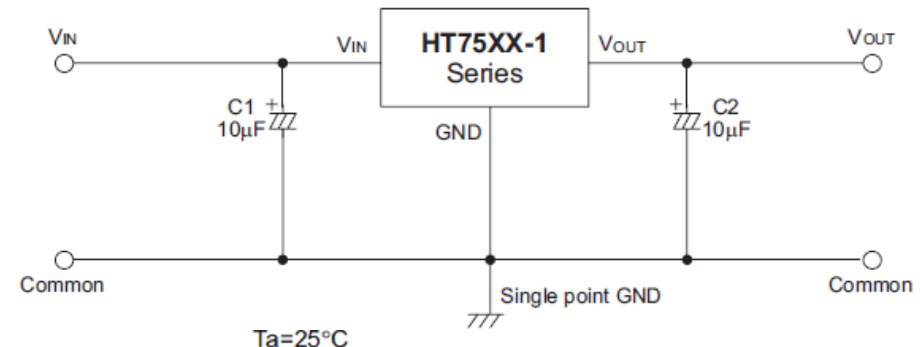


Experiment zapojení regulátoru napětí 3,3 V

Na kontaktním poli zapojit regulátor napětí HT7533

Použít **blokování** pomocí elytů 22 μF příp. i keramických kondenzátorů 100 nF na vstupu i výstupu

Na desce procesoru je blokovací keramický kondenzátor. 100 nF



HT7533-1, +3.3V Output Type

Ta=25°C

Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
		V _{IN}	Conditions				
V _{OUT}	Output Voltage Tolerance	5.5V	I _{OUT} =10mA	3.201	3.3	3.399	V
I _{OUT}	Output Current	5.5V	—	60	100	—	mA
ΔV_{OUT}	Load Regulation	5.5V	1mA ≤ I _{OUT} ≤ 50mA	—	60	150	mV
V _{DIF}	Voltage Drop	—	I _{OUT} =1mA	—	100	—	mV
I _{SS}	Current Consumption	5.5V	No load	—	2.5	5	µA
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN} \times V_{OUT}}$	Line Regulation	—	4.5V ≤ V _{IN} ≤ 24V I _{OUT} =1mA	—	0.2	—	%/V
V _{IN}	Input Voltage	—	—	—	—	24	V
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta T_a}$	Temperature Coefficient	5.5V	I _{OUT} =10mA 0°C < T _a < 70°C	—	±0.5	—	mV/°C

Úlohy

Čtení **barevného kódu** značení odporu rezistorů, přečíst kód a ověřit měřením pomocí multimetru

Rezistor zapojit do pole, změřit odpor tří různých vybraných rezistorů

Sériové a paralelní **řazení** rezistorů:

- Zapojit **paralelně** dva, tři rezistory, vypočíst očekávanou velikost odporu, změřit velikost odporu
- Zapojit **sériově** dva, tři rezistory, vypočíst očekávanou velikost odporu, změřit velikost odporu

Měření napětí na odporovém napět'ovém **děliči**

Zapojení LED **červené** a **zelené** samostatně a nakonec paralelně

Měření **V-A charakteristiky** červené LED, určení parametrů náhradního schématu R_d , U_L

Měření napětí na červené a zelené LED a Si diodě při proudu 2 mA

Bonus: Měření trimru a na odporovém děliči s trimrem, určení poklesu napětí na děliči při zátěži rezistorem 10 k, určení vnitřního odporu zdroje napětí

Zásady práce s vodiči v laboratoři

Odizolování vodičů použít

odizolovací kleště, krokodýl,

jen zkušení mohou použít i kleště – pouze **tahem**

Pozor při odizolování – **nenarušit vodič** (zamezit vzniku vrypů- podle nichž by se pak vodič v poli mohl ulomit – zbytek vodiče z pole se špatně odstraňuje)

izolaci odstraňovat tahem, nikdy neotáčet nástrojem **kolem osy** vodiče (možnost vzniku vrypu)

Odizolovat dostatečnou délku vodiče cca 5 – 6 mm

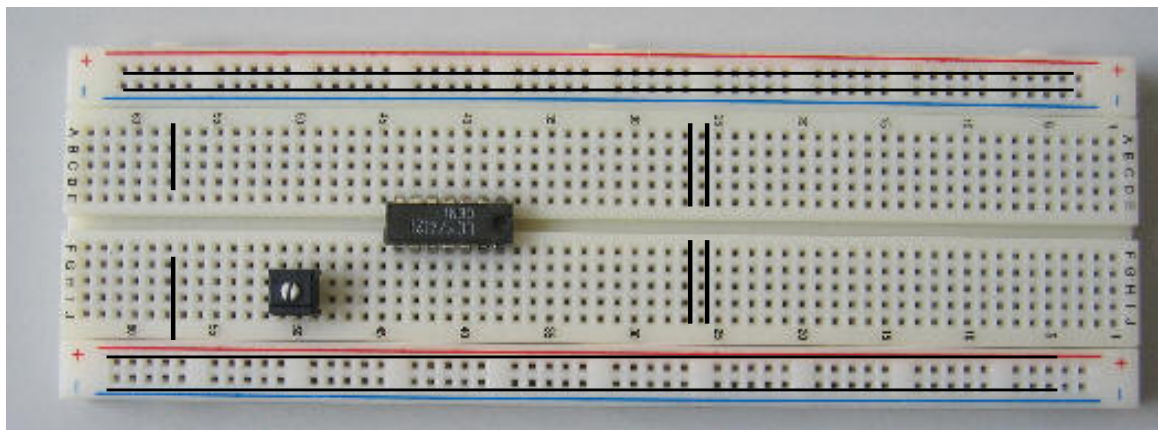
kontrola – **při kolmém zasunutí vodiče** do otvoru musí vodič **narazit na „dno“** a venku zůstává (je vidět) **malá odizolovaná část vodiče**

„tlusté vodiče“ – použít pouze pro **rozvod** napájení, **„šetřit“** délkou

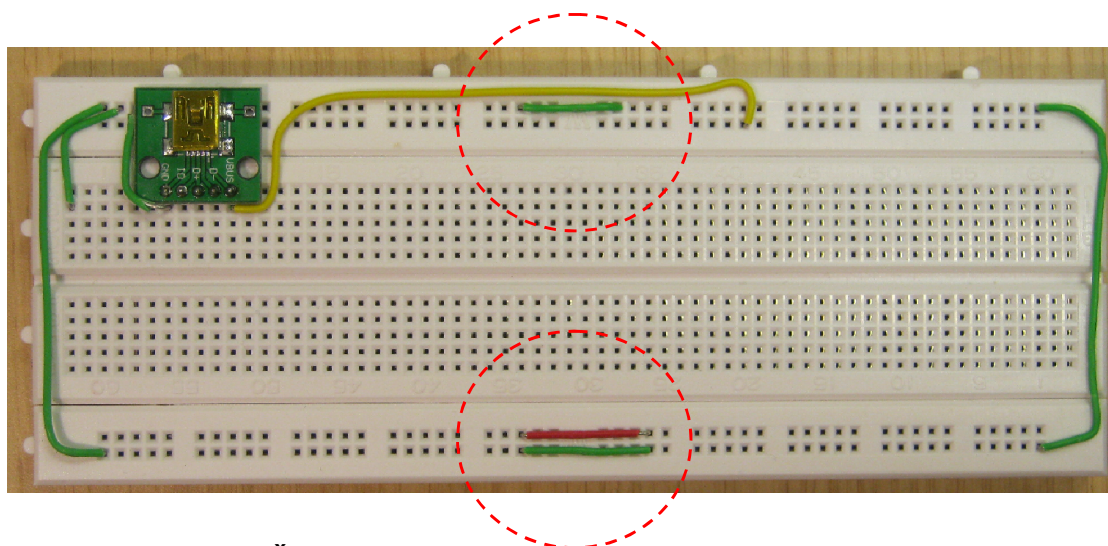
Nepájivé kontaktní pole a jeho propojení

Příčné propojení – pět vedlejších kontaktů ve střední části

Podélné propojení – čtyři nezávislé napájecí sběrnice

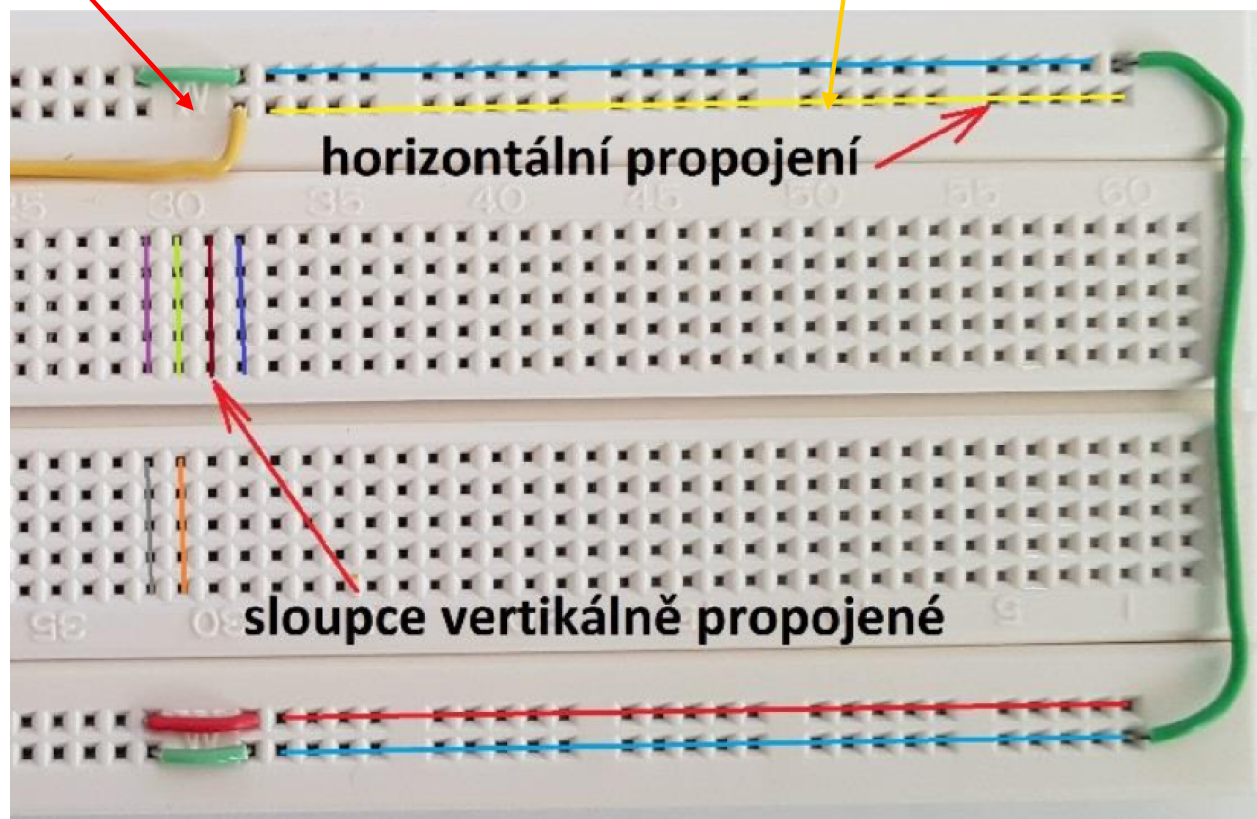


Některé typy polí - **také naše pole** - s **přerušením sběrnice** uprostřed



Nepájivé kontaktní pole WB-102 použité v KPE

Přerušení horizontálních sběrnic uprostřed využito pro oddělení napájení +3,3 V, vlevo a +5 V vpravo



Měření – měřicí hrot multimetru umístit **do prohlubeniny** nad kontaktním otvorem, **z boku se dotknout** odizolované části vodiče, vývodu rezistoru, LED,.... Výhoda – nehrozí nekontrolovaný posun hrotu v okamžiku, kdy sledujete displej multimetru

Zapojení použitého kontaktního pole

Závazné rozložení a barev propojek:

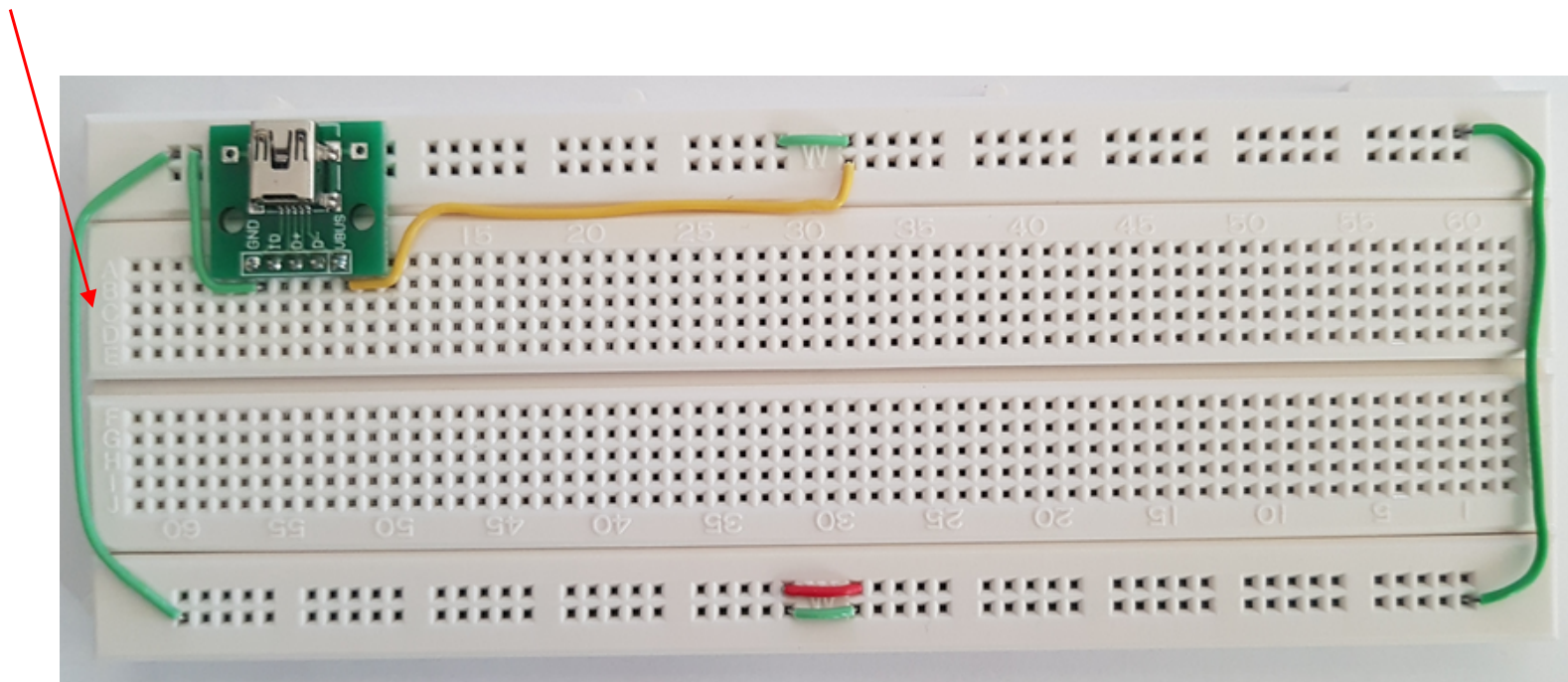
zem GND, zeleně, vnější řady kontaktů

napájení + 5 V žlutě (z rozhraní USB)

červeně + 3,3 V (ze stabilizátoru HT7533) ,

orientace pole: výstupky na poli – na straně s konektorem USB

„tlusté vodiče“ – použít pouze pro rozvod napájení, „šetřit“ délkou



Barevný kód značení odporu rezistorů

Barevné značení velikosti odporu standardních rezistorů s drátovými vývody

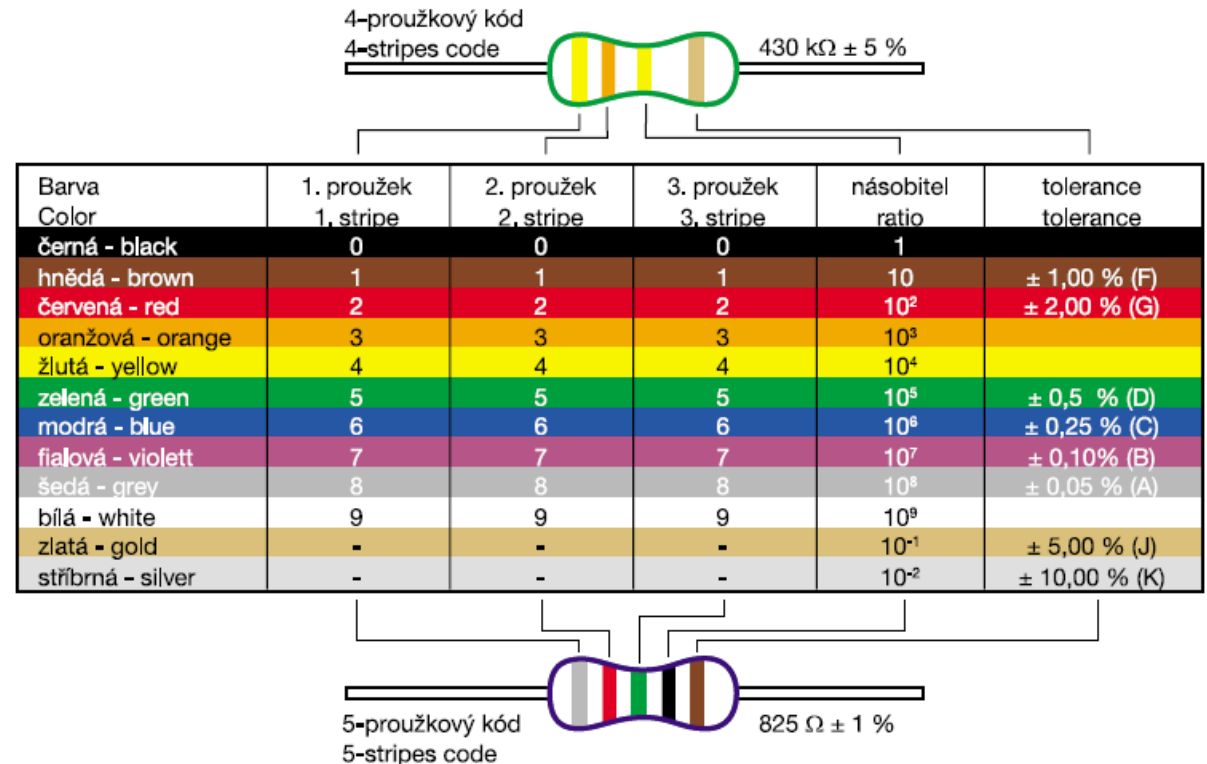
430 kOhmů = 43×10^4

označení 434

Tolerance výroby,
značena na konci
samostat. proužkem

Barevný kód

Color code



Pokud jsou **smíchané rezistory o různých hodnotách odporu** –
nespoléhat na čtení, ale raději **zkontrolovat Ohmetrem**,

Dle: <http://www.soucastky.chytrak.cz/Odpory/R%20-%20Uhlíkove.html>

Úlohy – realizace měření odporu rezistorů

Na kontaktním poli zapojit různé **sériově a paralelně řazené rezistory**.

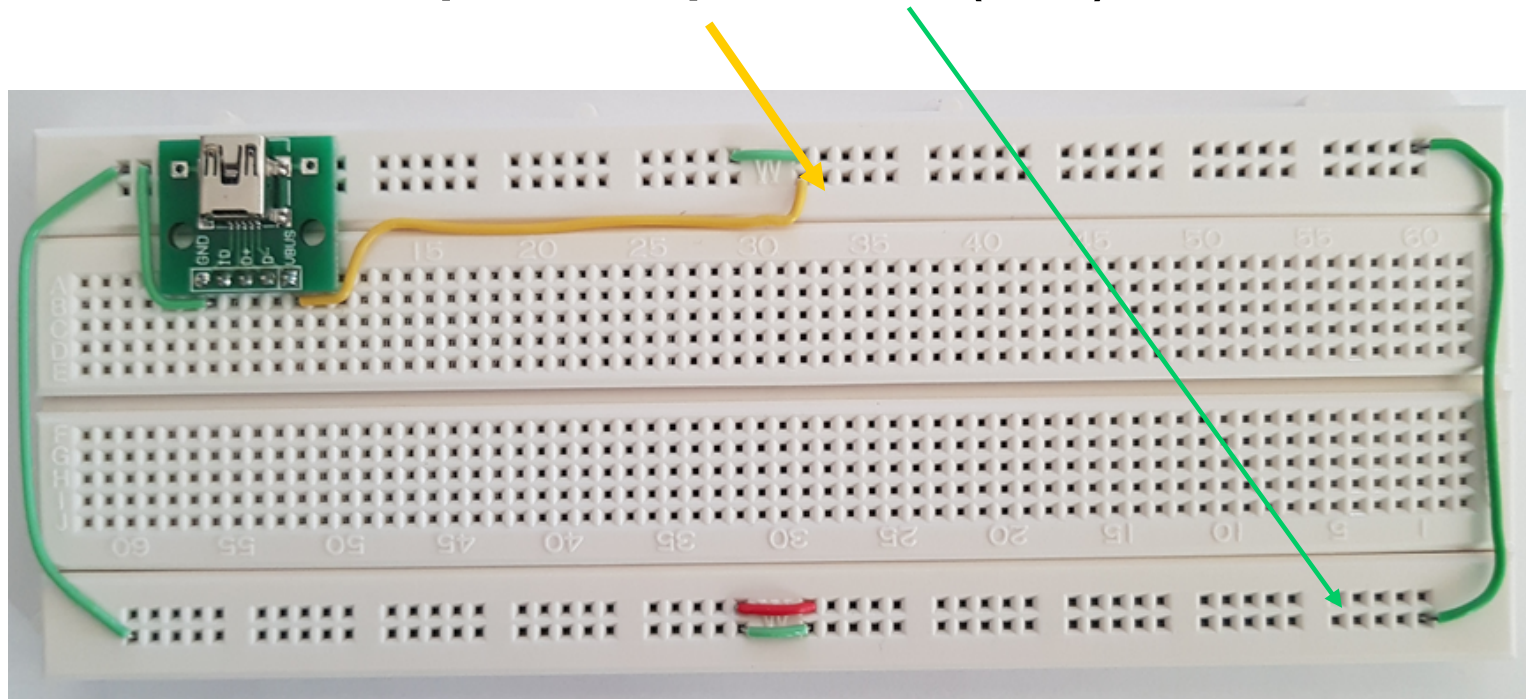
Přečíst barevný kód jednotlivých rezistorů, srovnat s výsledkem měřením multimetrem. **Určit teoretickým výpočtem očekávaný odpor (sériové, nebo paralelní) kombinace a porovnat s měřením odporu kombinace multimetrem.**

Zapojit odporový trimr, změřit závislost odporu (mezi jedním krajním vývodem a jezdcem) na natočení jezdce trimru (prosté měření odporu multimetrem), informativní měření

Změřit napájecí napětí, sestavit odporový napěťový dělič s rezistory (horní/ dolní) 10 k/10 k a 22 k/10 k, (příp. jiné) změřit napětí na děliči, porovnat s teoretickým výpočtem

Úlohy – řešení na kontaktním poli

Zapojit přívod napájení +5 V z USB napáječe na kontaktní pole pomocí síťového napájecího USB adaptoru, zkontrolovat napětí +5 V proti GND (zem).

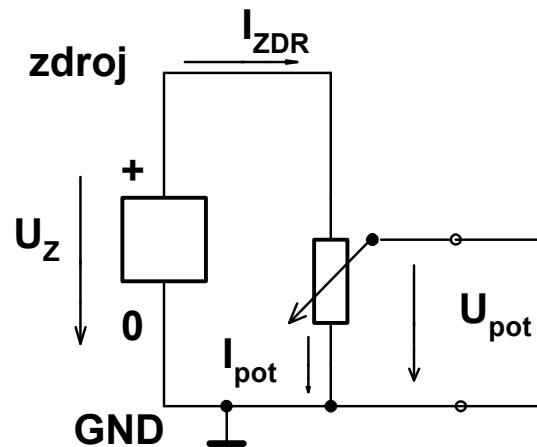


Až po této kontrole zapojovat na napájení z USB na PC.

Snažit se zamezit vzniků zkratů na poli na napájení +5 V proti GND.

Úlohy – měření na odporovém trimru

Zapojit **dělič napětí** s odporovým trimrem ($R_T = 5\text{ k}$), napájení trimru $U_z = 5\text{ V}$. Zjistit závislost napětí (naprázdno) U_{pot} na natočení trimru (měření napětí, multimetr ve funkci voltmetru, měření napětí)



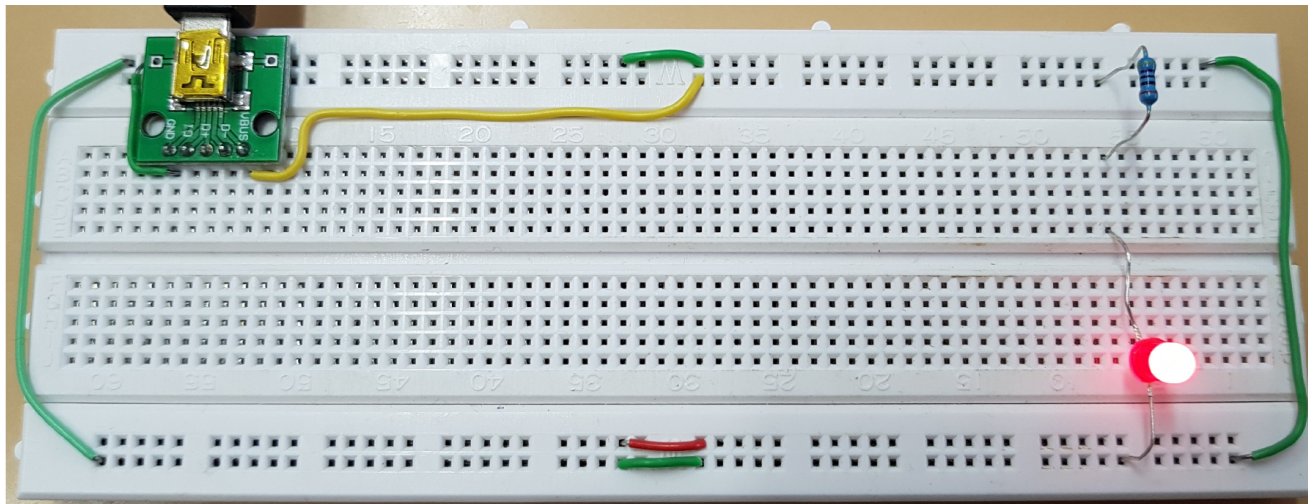
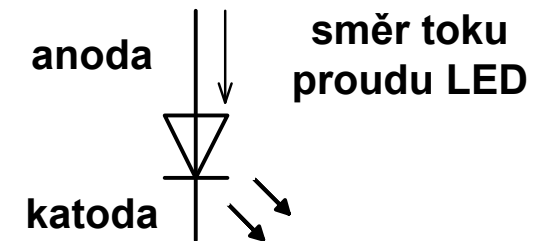
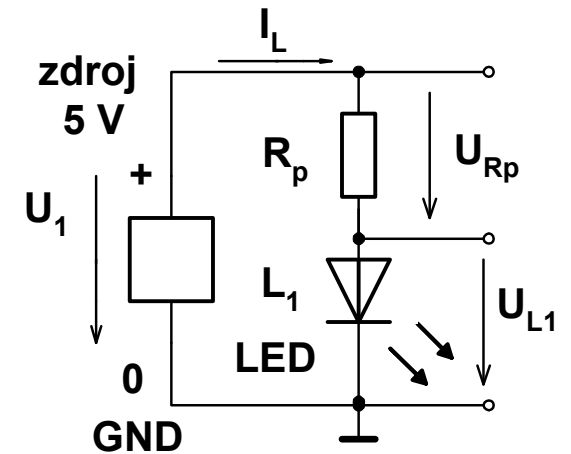
Úlohy – měření LED

Zapojit LED, volit $R_p = 470 \text{ Ohmů}$

LED $U_{L1} = ?$

Určit velikost proudu $I_L = ?$

Změřit napětí U_{Rp} na rezistoru R_p
v sérii s LED (použít Ohmův zákon)



Měření VA charakteristiky LED

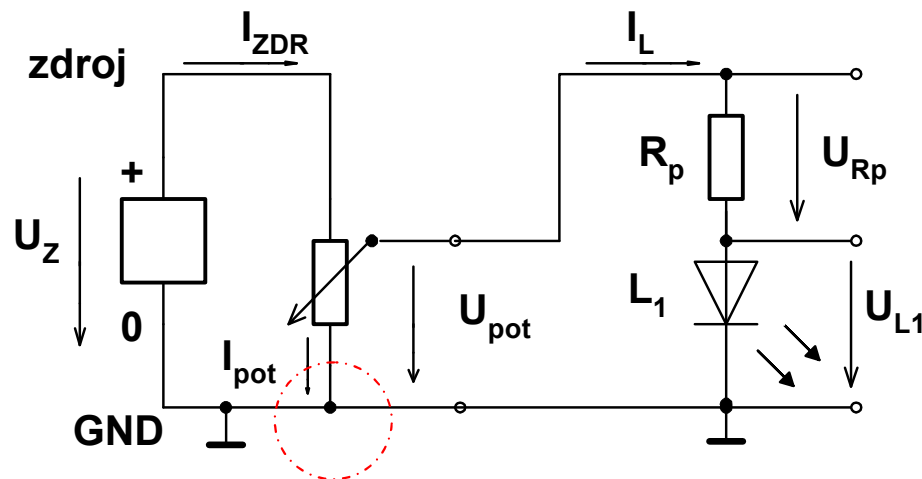
Změna proudu LED pomocí odporového trimru $R_T = 5 \text{ k}$.

Určit VA charakteristiku **červené LED** (pro $I = 0$ až 5 mA po 1 mA) a načrtnout ji do sešitu. Trimr použít jako **nastavitelný zdroj** napětí U_{POT} napájený ze zdroje 5 V , $R_T = 5 \text{ k}$, $R_p = 470$

Určit **napětí LED** U_{L1} pro $I_L = 2 \text{ mA}$ ($U_{\text{RP}} = \text{cca } 1\text{V}$) a zapsat jeho velikost.

Určit velikost R_{dif} pro **náhrad. schéma** LED (mezi proudy **2 a 3 mA**)

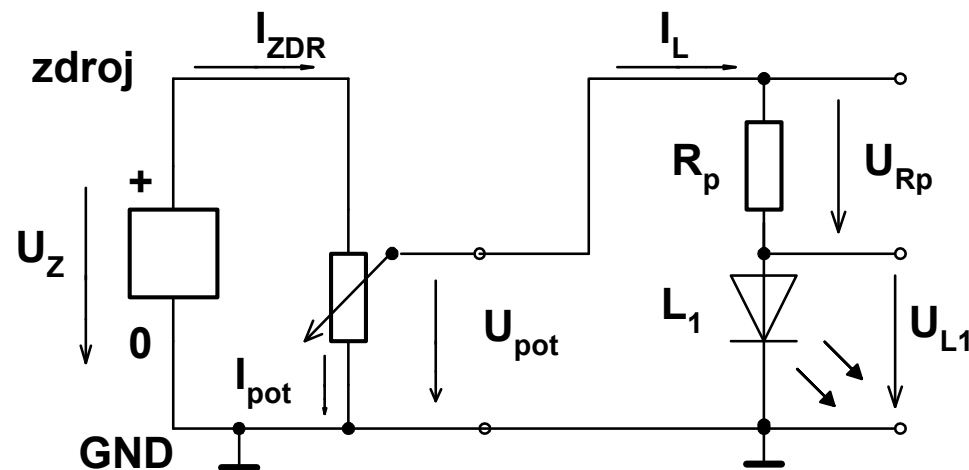
Pozn.: Při otáčení běžcem trimru se napětí U_{pot} nejdříve zvyšuje lineárně s úhlem natočení, než se dosáhne prahového napětí LED. Pak začne téci proud LED a již se začne jednat o **zatížený odporový** dělič.



Měření napětí zelené a červené, modré LED a Si diody

Určit napětí zelené, červené, zelené, modré, (žluté) LED při zvoleném proudu, např. při 1 mA, nebo 0,5 mA a srovnat výsledky.

(Pozn. Volíme menší proud, protože u modré LED, která má vyšší napětí v předním směru bychom se zařazeným rezistorem 470 Ohmů a napájení + 3,3 V nemuseli docsáhnout proudu 2 mA, jak to je možné u červené LED.)



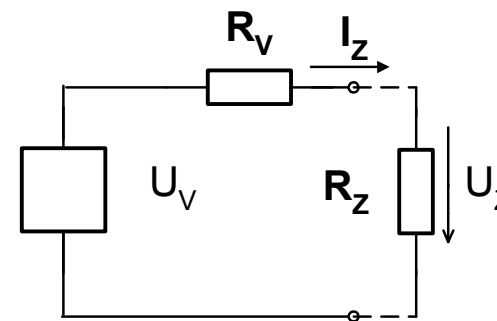
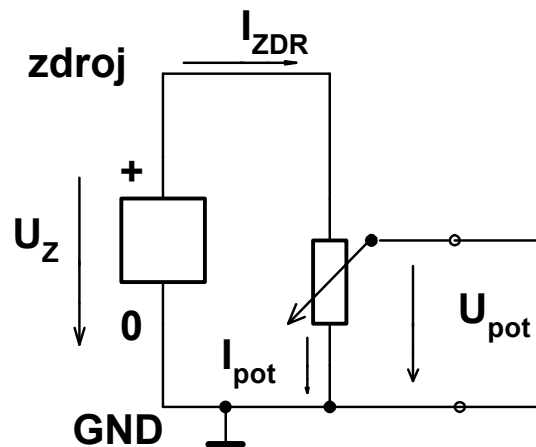
Úloha – bonus

Bonus:

Trimr nastavit na střed ($U_{\text{pot}} = U_z/2$), zjistit velikost napětí U_{pot} na prázdko a velikost napětí U_{pot} při **zatížení** rezistorem o odporu 10 k. Z toho určit **vnitřní odpor** tohoto zdroje napětí.

Ověření Theveninova teorému

Jaký by měl teoreticky být vnitřní odpor R_v zdroje s trimrem 5 k, pokud je nastaven právě do poloviny $U_{\text{pot}} = U_z/2$ (na střed)?



Poznámky k experimentům

Měření V-A charakteristiky, určení diferenciálního odporu LED

Změřit V-A char. postačuje pouze v několika bodech, hlavně je třeba zachytit **bod**, kdy **začíná** téct proud diodou (prahové napětí).

Změřit napětí na zelené LED a Si diodě při zvoleném proudu (**2 mA**)

Očekávané hodnoty:

Prahové napětí použité červené LED cca 1,6 – 1,8 V

Prahové napětí zelené LED cca 1,8 – 2 V

Prahové napětí modré LED cca 2,8 – 3,2 V – podle typu

Diferenciální odpor použité LED cca 70 Ohmů a méně

Prahové napětí Si diody cca 0,6 V

Prahové napětí **diody BE** (Báze Emitor) **Si tranzistoru** je podobné, cca **0,6 V** - Toto napětí je třeba pro výpočet nastavení zesilovače u optické závory.

Poznámka k měření V-A charakteristiky

Při měření V-A charakteristiky je výhodné jeden vývod multimetru **nastálo připojit na anodu LED** a pak pouze **druhý vývod** multimetru připojovat **střídavě na katodu LED** nebo **horní přívod** rezistoru.

KONEC

Konec prezentace,

**Dotazy studentů
dále organizační poznámky**

Rozdělení studentů KyR do skupin.