



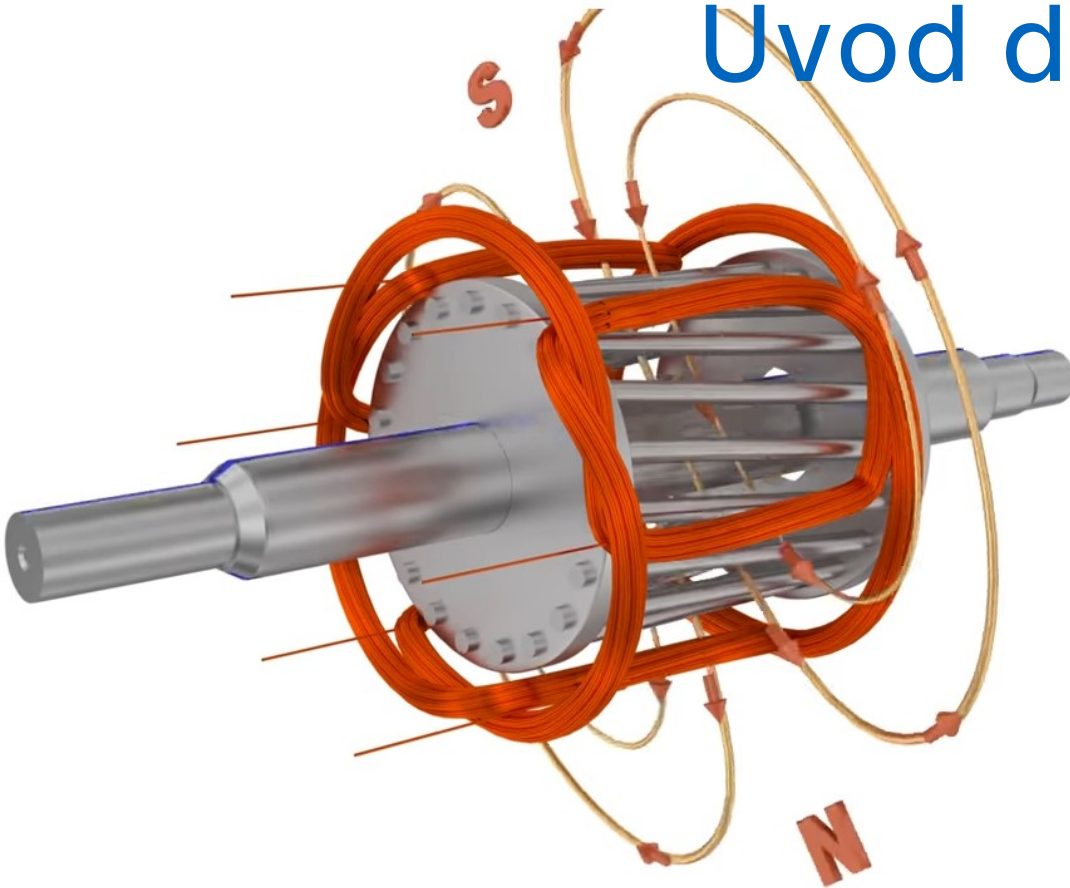
Úvod do elektrotechniky

Doprovodný materiál k přednáškám

Autoři:

Jan Bauer – bauerja2@fel.cvut.cz

Zimní semestr 2022/2023





Osnova

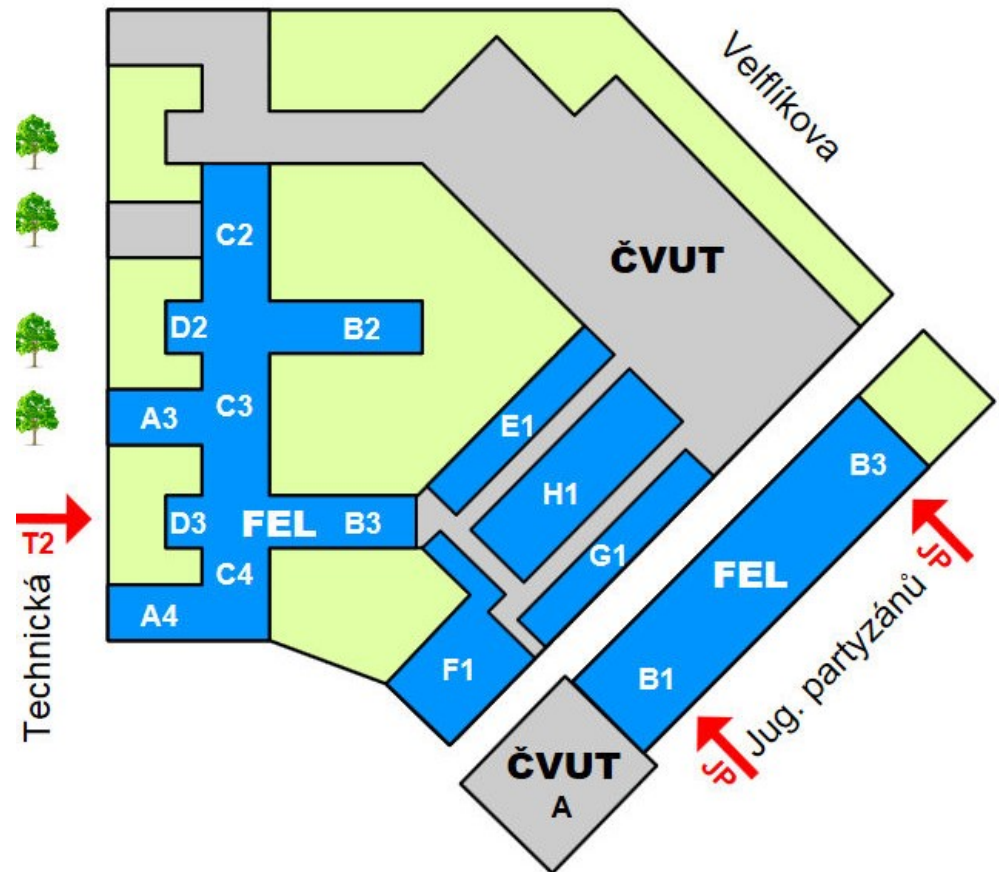
1. Představení, Základní veličiny, způsob měření, pasivní součástky
2. Aktivní součástky
3. Základy programování - arduino
4. Pájení





Harmonogram

- Místnost pro přednášky T2:B3-259
- Místnosti pro cvičení T2:B3-259, T2:A4-305
- Začátek 9:00 – přednáška
13:00 – cvičebna + exkurze
- Úterý – čtvrtek 9:00 – 16:00
- Pátek 9:00 – 12:00
- Oběd 12:00 – 13:00





Cíl

- Seznámit studenty z gymnázií rámcově se základy elektroniky, elektrických obvodů, jejich realizací a měření na nich
- Seznámit s měřicími přístroji – multimetr a digitální osciloskop
- Ukázky laboratoří
- Styl výuky podobný jako v dalších přednáškách





1. Představení programu

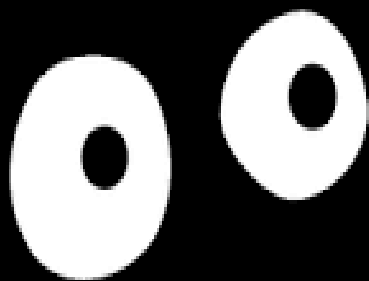




Elektrotechnika, energetika a management

- Poznáš **nové trendy v oblasti energetiky a elektrotechniky** – výrobu z obnovitelných zdrojů, rozvoj elektromobility a můžeš pracovat na jejich vývoji!
- Získáš **přehled o problematice výroby a přenosu elektrické energie**, znalosti o **řízení technologických procesů**, organizaci a řízení výroby a osvojíš si **základní typy elektrických strojů, měničů a pohonů** s představou o jejich chování.
- **Propojíš technické a ekonomické vzdělání**, mezioborové znalosti ti usnadní vstup do praxe i mimo vytyčený obor.
- Bez elektřiny to nejde.







Elektrotechnika, energetika a management

- Jeden program
- Dvě specializace
 - Aplikovaná elektrotechnika
 - Elektrotechnika a management





EEM – Aplikovaná elektrotechnika

Semestr	1	Lineární algebra	Základy elektrotechnického inženýrství		Matematická analýza 1	Procedurální programování (pro EK a EEM)	Makro a mikroekonomika	Humanitní předměty		
	2	Fyzika 1	Matematická analýza 2		Diferenciální rovnice a numerika		Průmyslové počítačové systémy	Výpočetní aplikace	Volitelné předměty	
	3	Fyzika 2	Komplexní analýza		Elektrické obvody	Materiály pro výkonovou elektrotechniku	Elektromagnetické pole		Elektronika pro silnoproud	
	4	Technologické procesy pro elektrotechniku		Základy elektrických strojů a přístrojů		Elektroenergetika 1		Elektrická měření	Statistika a pravděpodobnost	Výroba elektrotechnických součástek
	5	Projekt bakalářský	Výroba výkonových zařízení	Základy elektrických pohonů		Elektroenergetika 2		Základy výkonové elektroniky	Mikroprocesory pro výkonové systémy	Elektroenergetika 3
	6	Bakalářská práce					Solární systémy a elektrotechemické zdroje		Povinně volitelné předměty	

■ Povinné předměty programu ■ Povinně volitelné předměty
■ Povinné předměty zaměření ■ Volitelné předměty





EEM – Elektrotechnika a management

Semestr	1	Lineární algebra		Základy elektrotechnického inženýrství		Matematická analýza 1		Procedurální programování (pro EK a EEM)		Makro a mikroekonomika		Humanitní předměty			
	2	Fyzika 1		Matematická analýza 2		Diferenciální rovnice a numerika			Průmyslové počítačové systémy		Výpočetní aplikace		Volitelné předměty		
	3	Fyzika 2		Komplexní analýza		Elektrické obvody		Materiály pro výkonovou elektrotechniku		Elektromagnetické pole			Elektronika pro silnoproud		
	4	Technologické procesy pro elektrotechniku			Základy elektrických strojů a přístrojů		Elektroenergetika 1			Elektrická měření		Matematika pro ekonomii		Výroba elektrotechnických součástek	
	5	Projekt bakalářský		Výroba výkonových zařízení		Základy elektrických pohonů		Elektroenergetika 2		Základy výkonové elektroniky		Úvod do energetiky		Základy podnikání a účetnictví	
	6	Bakalářská práce					Právo pro podnikání		Základy finančního managementu		Povinně volitelné předměty				

Povinné předměty programu

Povinné předměty zaměření

Povinně volitelné předměty

Volitelné předměty





Základní opakování fyziky

- Veličiny a jednotky

•Napětí	U	V – volt
•Proud	I	A – Ampér
•Odpor	R	Ω – Ohm
•Vodivost	G	S – Siemens
•Kapacita	C	F – Farad

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

- Ohmův zákon

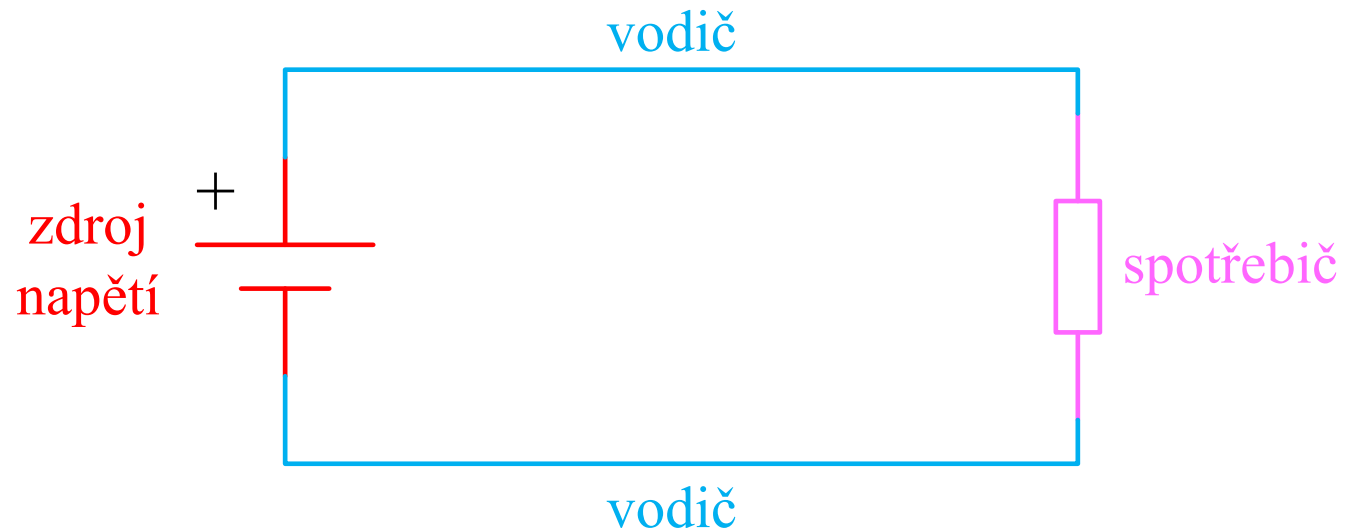
$$I = \frac{U}{R}$$





Elektrický obvod

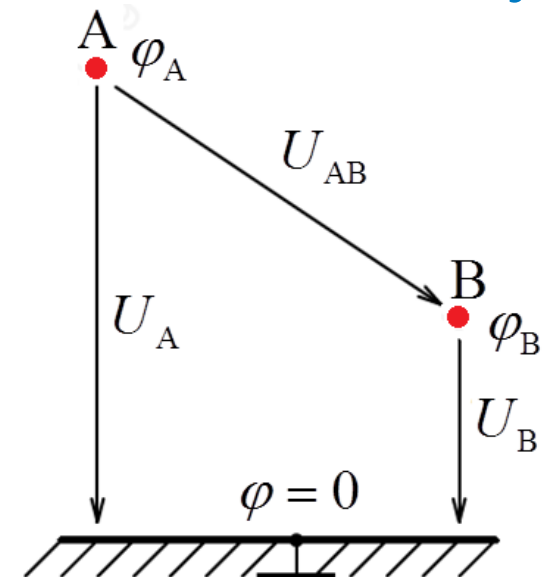
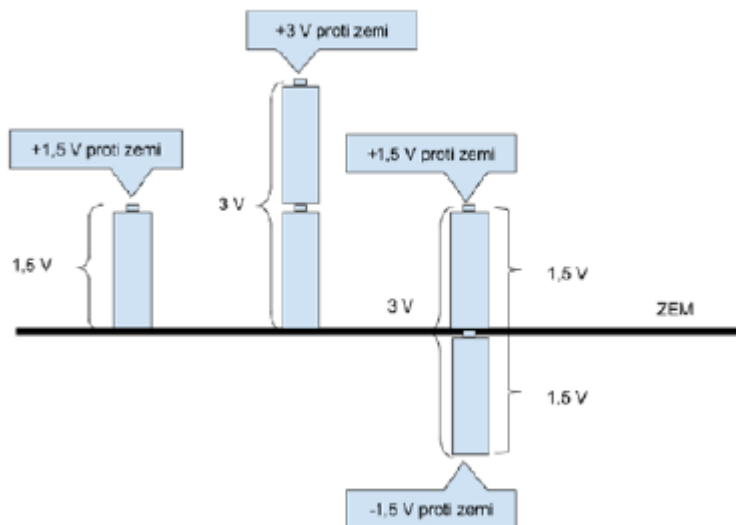
- **Elektrický obvod** je tvořen třemi hlavními částmi:
 - zdrojem napětí / zdrojem proudu → aktivní část obvodu
 - vodiči elektrického proudu
 - spotřebičem / spotřebiči → pasivní část obvodu





Zdroj napětí

- **Zdroj elektrického napětí** je zařízení, které dokáže přeměnit určitou formu energie na energii elektrickou.
- Na zdroji rozeznáváme **kladný pól** (+) a **záporný pól** (−) podle polaritý potenciálu el. náboje (potenciální energie el. náboje vůči zvolené referenci).
- Elektrický potenciál se značí φ , je to skalár a jeho jednotkou je **volt** (V).
- **Elektrické napětí** se definuje jako **rozdíl el. potenciálů mezi dvěma body**.

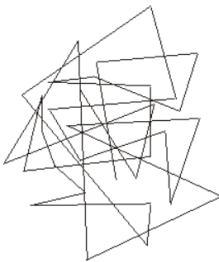




Elektrický proud

- **Elektrický proud** (jako fyzikální děj) je uspořádaný pohyb volných elektricky nabitých částic – nosičů elektrického náboje.
- Elektrický proud (jako fyzikální veličina) se značí ***I***, je to skalár a jeho jednotkou je **ampér** (A).
- Proud je roven celkovému množství elektrického náboje, který projde vodičem za jednotku času.

• Obecně platí:
$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$
 Pro stejnosměrný proud platí:
$$I = \frac{Q}{t}$$



Dráha elektronu ve vodiči
nepřipojeném k elektrickému napětí



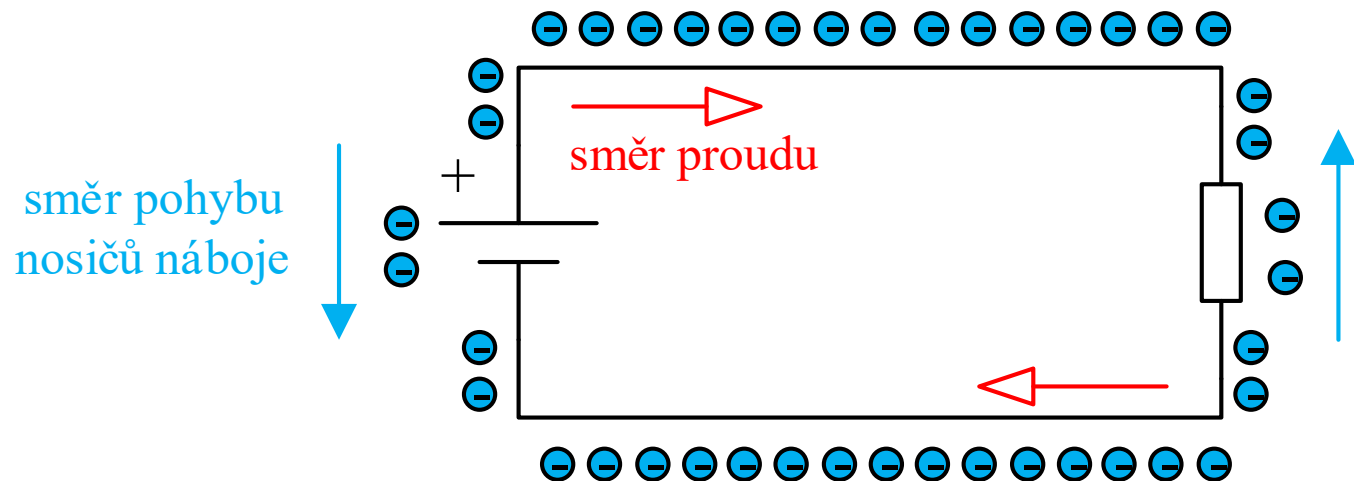
Dráha elektronu ve vodiči připojeném
k elektrickému napětí – uspořádaný pohyb





Elektrický proud

- Částice se záporným nábojem se pohybují vodičem od záporného pólu ke kladnému. **Kladný směr proudu** je obecně brán od kladného pólu zdroje vodičem k zápornému pólu (historická konvence), tj. proti směru pohybu elektronů.
- Je-li obvod napájen stejnosměrným zdrojem napětí (jeho polarita se v čase nemění), nosiče se pohybují stále stejným směrem a obvodem protéká **stejnoseměrný proud**.





1. Kirchhoffův zákon

- Algebraický součet proudů v uzlu je roven nule.
- 1. KZ vychází ze zákona zachování náboje. Částice s nábojem nemohou v uzlu vznikat, ani zanikat, ani se hromadit.

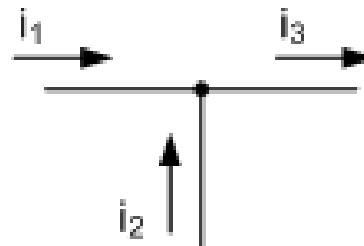
- Pro n větví v uzlu platí

$$\sum_{k=1}^n i_k = 0$$

- Proudy z uzlu vtékající – kladné znaménko, vytékající – záporné znaménko

$$i_1 + i_2 = i_3$$

$$i_1 + i_2 - i_3 = 0$$



- Analogie s vodovodním potrubím



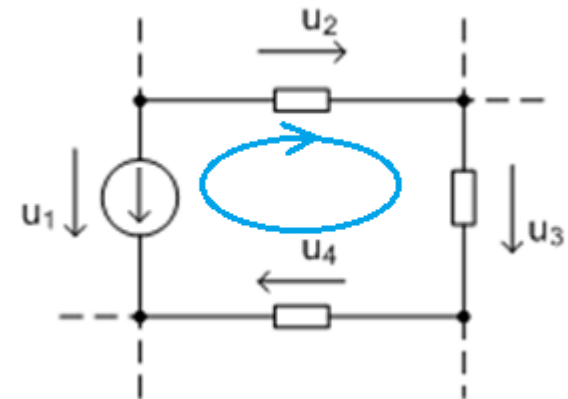


2. Kirchhoffův zákon

- Algebraický součet všech napětí po uzavřené dráze se rovná nule.
- Součet úbytků napětí na spotřebičích se v uzavřené části obvodu (smyčce) rovná součtu napětí zdrojů v této části obvodu.
- 2. KZ vychází ze zákona zachování energie pro elektrické obvody.
- Napětí po směru dráhy – kladné znaménko, proti směru – záporné znaménko.

- Pro n spotřebičů a m zdrojů platí

$$\sum_{k=1}^n u_k = \sum_{j=1}^m u_j$$



- *Příklad:* $u_2 + u_3 + u_4 = u_1$
- Analogie – schodiště v domě – schody co vyjdu musím sejít





Výkon a práce

- Výkon vyjadřuje množství práce vykonané elektrickým proudem za jednotku času.
- **Výkon elektrického proudu** se značí **P** , je to skalár a jeho jednotkou je **watt** (W). Pro stejnosměrný proud a napětí platí

$$P = U \cdot I = R \cdot I^2$$

- Práce elektrického proudu se značí **W** , je to skalár a jeho jednotkou je **joule** (J). Pro stejnosměrný proud a napětí platí:

$$W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$$





Předpony

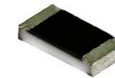
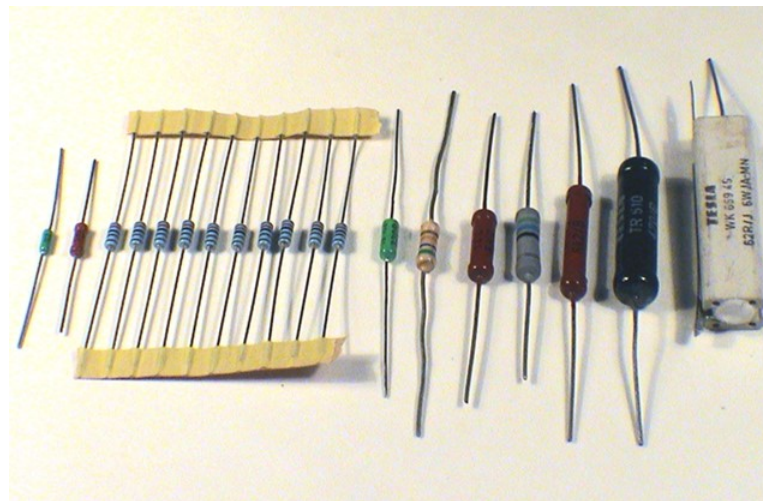
	Předpona	Napětí	Proud	Odpor	Kapacita	Výkon
Základní jednotka	-	1 V (Volt)	1 A (Ampér)	1 Ω (Ohm)	1 F (Farad)	1 W (Watt)
$\times 1000 (10^3)$	kilo-	1 kV	1 kA	1 k Ω	1 kF	1 kW
$\times 10^6$	mega-	1 MV	1 MA	1 M Ω	1 MF	1 MW
$\times 10^9$	giga-	1 GV	1 GA	1 G Ω	1 GF	1 GW
$\times 10^{-3}$	mili-	1 mV	1 mA	1 m Ω	1 mF	1 mW
$\times 10^{-6}$	mikro-	1 μ V	1 μ A	1 $\mu\Omega$	1 μ F	1 μ W

	Předpona	Napětí	Proud	Odpor	Kapacita	Výkon
$\times 10^{-9}$	nano-	1 nV	1 nA	1 n Ω	1 nF	1 nW
$\times 10^{-12}$	piko-	1 pV	1 pA	1 p Ω	1 pF	1 pW



Rezistor

- **Rezistor** – nejpoužívanější pasivní elektrotechnická **součástka**
- V obvodu se projevuje (v ideálním případě) pouze **elektrickým odporem** (**odpor = fyzikální vlastnost**)
- Využití: snížení velikosti proudu, získání určitého úbytku napětí, topná tělesa, testovací zátěže pro generátory...
- Pevné rezistory – jediná hodnota odporu (vyrábějí se v určitých řadách)
- Nastavitelné rezistory – odpor v určitém rozmezí (potenciometr, trimr, reostat)





Rezistor - řady

- Vyrábí se v řadách definovaných normou

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						





Rezistor - značení

- **Barevný kód** udává velikosti odporu standardních rezistorů s drátovými vývody

4-proužkový kód
4-stripes code

430 kΩ ± 5 %

Barva Color	1. proužek 1. stripe	2. proužek 2. stripe	3. proužek 3. stripe	násobitel ratio	tolerance tolerance
černá - black	0	0	0	1	
hnědá - brown	1	1	1	10	± 1,00 % (F)
červená - red	2	2	2	10 ²	± 2,00 % (G)
oranžová - orange	3	3	3	10 ³	
žlutá - yellow	4	4	4	10 ⁴	
zelená - green	5	5	5	10 ⁵	± 0,5 % (D)
modrá - blue	6	6	6	10 ⁶	± 0,25 % (C)
fialová - violet	7	7	7	10 ⁷	± 0,10 % (B)
šedá - grey	8	8	8	10 ⁸	± 0,05 % (A)
bílá - white	9	9	9	10 ⁹	
zlatá - gold	-	-	-	10 ⁻¹	± 5,00 % (J)
stříbrná - silver	-	-	-	10 ⁻²	± 10,00 % (K)

5-proužkový kód
5-stripes code

825 Ω ± 1 %

$680 \times 10^0 = 680 \Omega$

$56 \times 10^0 = 56 \Omega$

$180 \times 10^1 = 1800 \Omega$

- U SMD součástek



Nastavitelný rezistor

- Odporová dráha + jezdec
- **Trimr** – nastavitelný nástroj
 - Bývá zapojen jako napěťový dělič, není obvykle přístupný uživateli
- **Potenciometr** – určen k častému ovládání, ovládání vyvedeno ven





Kondenzátor

- Kapacitor – ideální kondenzátor – je časově setrvačný obvodový prvek, schopný akumulovat elektrický náboj, který je dodáván protékajícím proudem.
- Lineární kapacitor – vztah mezi nábojem a napětím je lineární: $Q = C \cdot U$
- **Kapacita** C udává schopnost elektricky vodivého tělesa pojmout elektrický náboj Q při určitém napětí U . Je to skalár a jeho jednotkou je **farad** (F).

$$i = \frac{dQ}{dt} = \frac{dQ}{du} \frac{du}{dt} = C \frac{du}{dt}$$

- Vztah pro proud procházející kapacitorem:



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



Kondenzátor druhy

- Svitkové
 - Vnitřní izolační vrstva opatřena po obou stranách vodivou vrstvou.
 - Nezáleží na polaritě
- Keramické
 - Nezáleží na polaritě do nF
- Elektrolytické
 - Velké kapacity až do mF
 - Nutno respektovat polaritu





Cívka

Induktor – ideální indukční cívka – je časově setrvačný obvodový prvek, schopný akumulovat energii magnetického pole.

Lineární induktor – vztah mezi magnetickým indukčním tokem a proudem je lineární:

$$\Phi = L \cdot I$$

Indukčnost L (vlastní indukčnost) vyjadřuje schopnost elektricky vodivého tělesa protékaného proudem I vytvářet ve svém okolí magnetický tok ϕ . Je to skalár a jednotkou je **henry** (H).

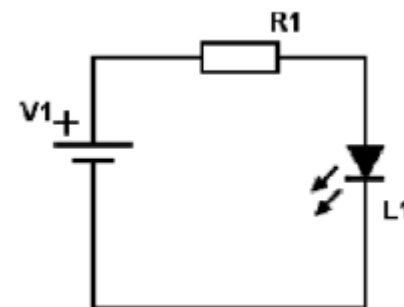
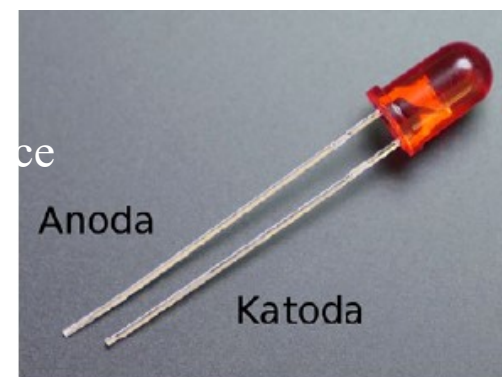
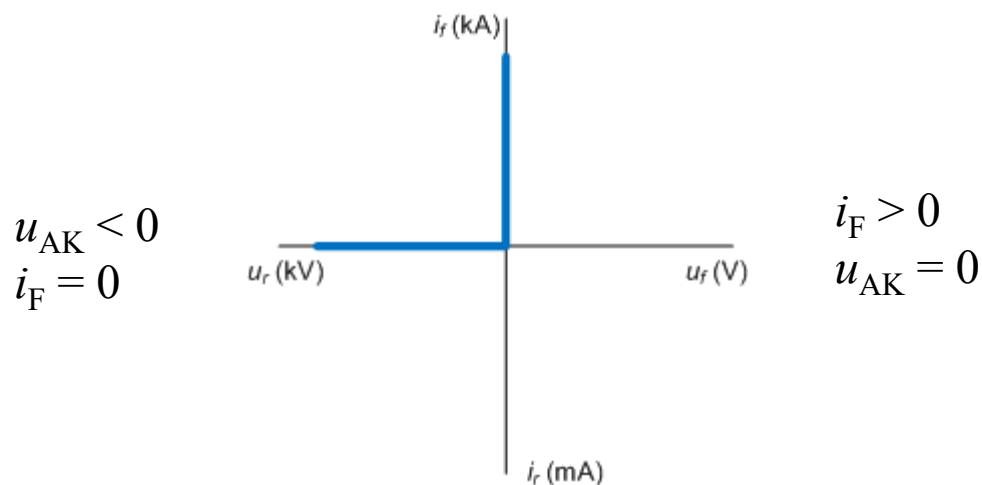
Vztah pro napětí na induktoru:
$$u = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d\Phi}{di} \frac{di}{dt} = L \frac{di}{dt}$$





Dioda

Dioda je součástka, která má dva vývody, a protože se bavíme jako elektronici, tak si budeme pamatovat, že vývody jsou připojené k elektrodám, které se jmenují *katoda* (což je záporná elektroda) a *anoda* (to je kladná elektroda). Seříznutá hrana označuje *katodu*. Katoda je ten větší útvar uvnitř diody. Ten druhý vývod, bez seříznuté hrany a s menším útvarem, to je kladná elektroda, anoda.



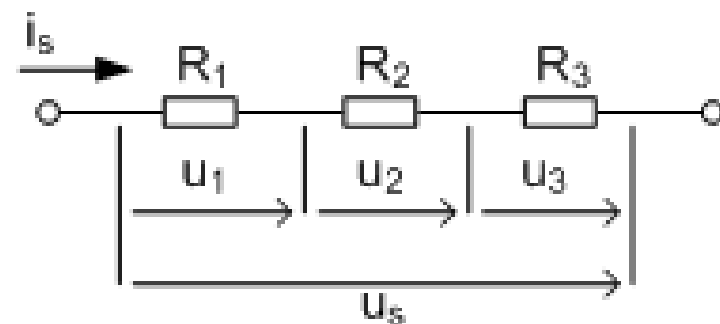


Sériové řazení součástek

- Vztah mezi proudem a napětím (pro rezistory): $i_s = \frac{u_s}{R_1 + R_2 + \dots}$
- Pro výsledný odpor sériově (za sebou) řazených rezistorů platí:

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

- Příklad:* $u_s = u_1 + u_2 + u_3 = (R_1 + R_2 + R_3) i_s$



- Vodivost sériově řazených rezistorů:

$$\frac{1}{G_s} = \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} + \dots$$

- Indukčnost sériově řazených induktorů:

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

- Kapacita sériově řazených kapacitorů:

- (nevyužívá se)

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





Paralelní řazení součástek

- Vztah mezi proudem a napětím (pro rezistory): $i_p = \frac{u_p}{R_1} + \frac{u_p}{R_2} + \dots + \frac{u_p}{R_n}$
- Pro výsledný odpor paralelně (vedle sebe) řazených rezistorů platí:

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

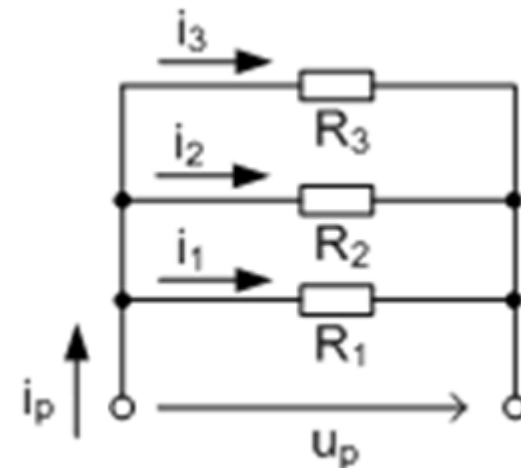
- Příklad:* $i_p = i_1 + i_2 + i_3 = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) u_p$

- Vodivost paralelně řazených rezistorů :

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

- Indukčnost paralelně řazených induktorů : $\frac{1}{L_p} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$

- Kapacita paralelně řazených kapacitorů : $C_p = C_1 + C_2 + \dots$

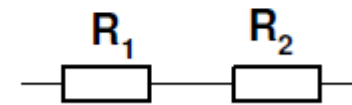




Využití sériového a paralelního řazení

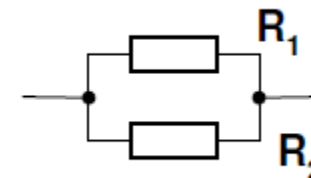
- Příklad dvou rezistorů
 - Sériové – pro zvýšení odporu
 - Získání hodnoty která není k dispozici

$$R_s = R_1 + R_2$$



- Paralelní – pro snížení odporu
- Chci 9k1

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



$$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 \cdot 10}{100 + 10} = \frac{1000}{110} = 9,09k$$

- Výsledný odpor bude vždy menší než nejmenší v kombinaci

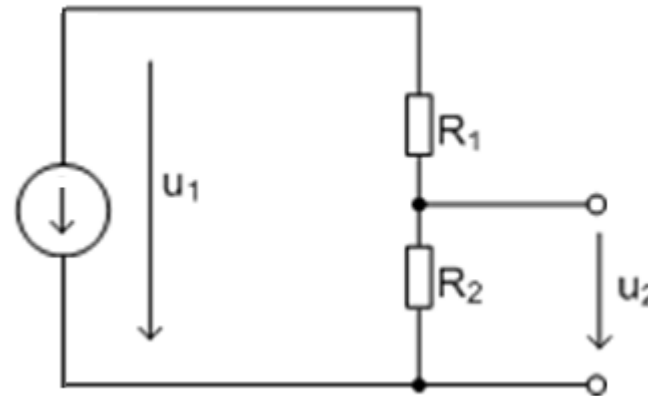




Využití sériového a paralelního řazení

- Napěťový dělič (nezatížený)

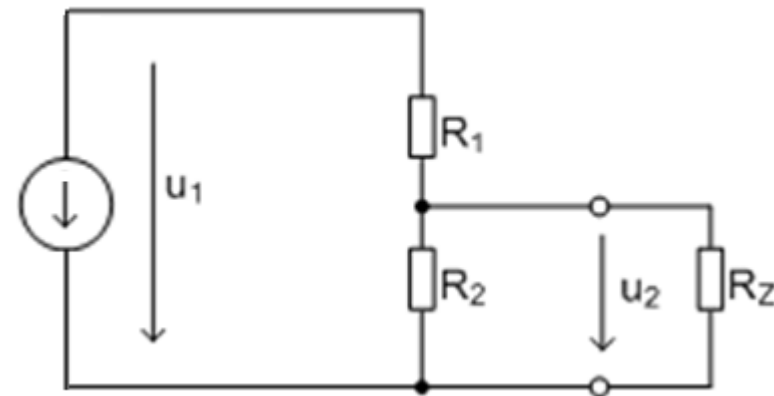
$$u_2 = u_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



- Zatížený dělič
 - Řešení po částech

$$i = \frac{u_1}{R_1 + \frac{R_2 R_Z}{R_2 + R_Z}}$$

$$u_2 = u_1 \frac{R_2 R_Z}{R_1 R_2 + R_1 R_Z + R_2 R_Z}$$





Multimetr





Multimetr

- **Svorka COM** – společná, svorka s nižší impedancí, spojena s 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 nemá automatické přepínání rozsahů – **ZAČÍNÁM VŽDY OD NEJVYŠŠÍHO**
- 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.





Multimetr

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





Multimetr

- Měření diod
 - Na svorce **V** je kladné napětí,
 - Na nepřipojených hrotech je napětí více jak 2 V
 - Do zkratu teče proud max. cca 0,5 mA.
 - Přední směr diody – kontakt **V** připojen na anodu, kontakt **COM** připojen na katodu, indikace napětí cca 0,6 V
 - Opačný – závěrný směr indikace **OL**





Multimetr

- 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.

