



# Aktivní součástky



Vyučující:

**Zdeněk Plíva**

*e-mail: [zdenek.pliva@tul.cz](mailto:zdenek.pliva@tul.cz)  
3536*



**Miroslav Holada**  
**Leoš Petržílka**

...



<http://www.ite.tul.cz>

## Snímek 2

---

**MH1** přidal jsem fotku ;- ) (svoji - aktuální 2020)  
Miroslav Holada; 13. 2. 2020

**MH3** Kontakt na mne: tel. školní 485353080  
GSM: +420731407770  
a mail:  
miroslav.holada@tul.cz  
Miroslav Holada; 27. 2. 2020



# Přehled témat



- Operační zesilovač
- Vybrané senzory





# Přehled info-markerů



Informace obsažené ve slajdech přednášek jsou různě důležité pro různé studijní obory a zaměření. Na některých slajdech může být značka, která informuje o významnosti a důležitosti prezentované informace.



důležité - vyžadováno u zkoušky



informativní slajd s "doplňkovou" informací

Pokud slajd není označen, tak je jeho důležitost střední (tj. Něco mezi důležitým a informativním).



základní znalosti z předchozího studia (fyziky)



zásadní informace pro pochopení další látky





# Operační zesilovač (OPAMP)



Operační zesilovač (OZ) je univerzální stejnoseměrný zesilovač se 2 vstupy, obvykle integrovaný z mnoha tranzistorů (až 4 OZ v 1 pouzdře).

Původně používané v analogových počítačích (vojenství, teorie řízení)

Vstupy:

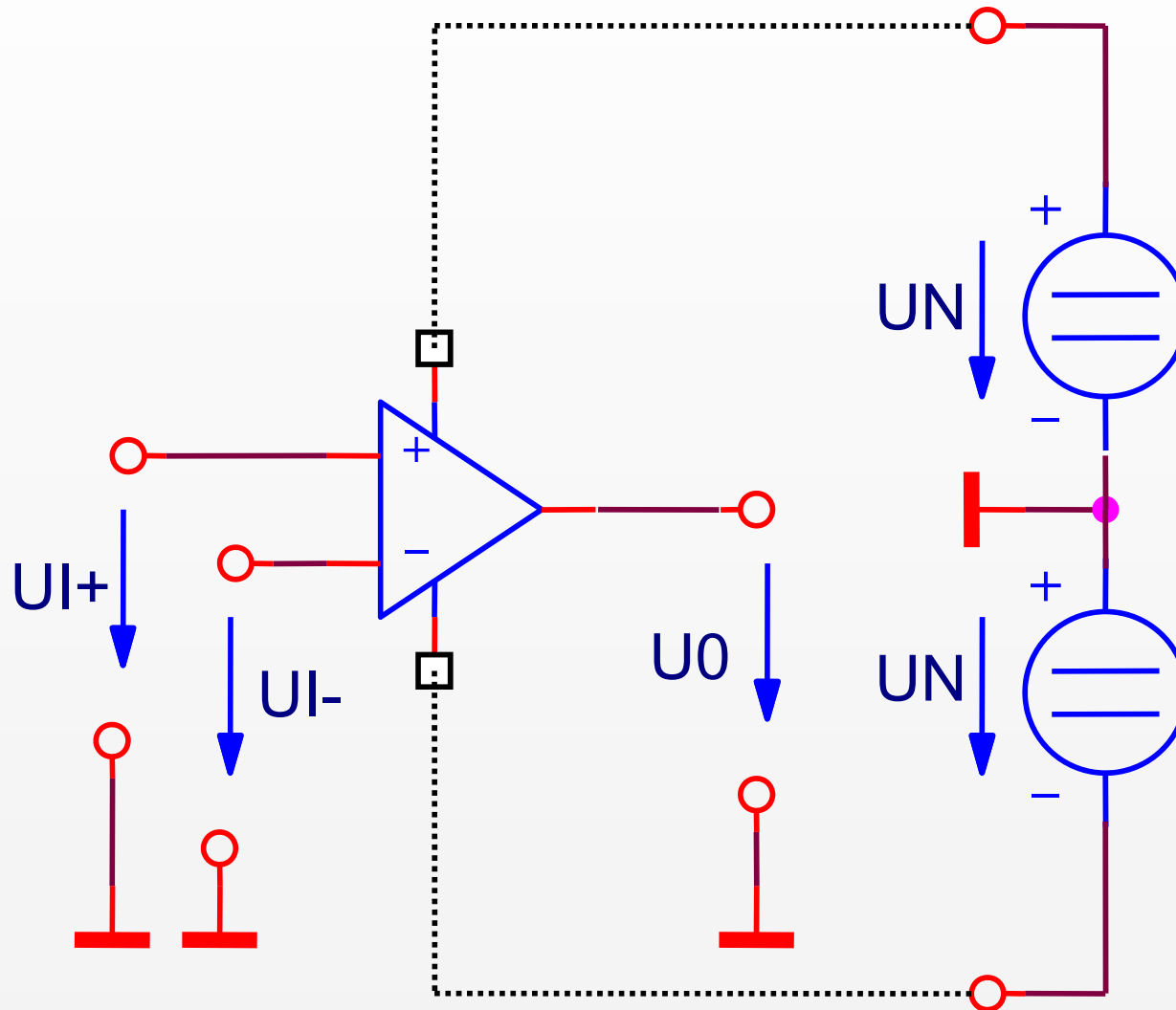
*neinvertující* (označen  $+$ ) a *invertující* (označen  $-$ )  
s odpovídajícím znaménkem přenosu napětí na výstup

OZ mají takové parametry, že vlastnosti obvodů zapojených s nimi jsou určeny především vlastnostmi vnějších obvodových prvků (*operační síť*).





# Operační zesilovač (bez ZV = komparátor)



<http://www.ite.tul.cz>





# Operační zesilovače



$$U_O = A_{u0} (U_{I+} - U_{I-})$$

- platí pouze v lineárním režimu, kdy je výstupní napětí  $|U_O|$  menší než maximální možné  $|U_{OM}|$
- obecně rozdílná napětí  $|U_{OM+}|$  (kladná saturace) ev.  $|U_{OM-}|$  (záporná saturace) jsou o 1 V až 3 V nižší než příslušné napájecí napětí  $|+U_N|$  resp.  $|-U_N|$ .
- Operační zesilovač je tedy *zdroj napětí řízený rozdílem vstupních napětí*.







# Operační zesilovač



## Napájení OZ

- pro bipolární signály **symetrické** se středem (společný vodič), vůči kterému jsou signály vztaženy
- pův. signály v automatizaci v rozsahu  $\pm 10\text{ V}$   $\Rightarrow$  stand. napájení  $\pm 15\text{ V}$  (vzhledem k nemožnosti zpracovat vstupní napětí v rozsahu napájení a úbytkům na výstupu)
- s bateriovým napájením se rozšiřují zesilovače **rail-to-rail**, rozsah vstupu a/nebo výstupu shodný s napájecím napětím

$$-U_N \leq U_I \leq +U_N$$

$$-U_{OM-} \rightarrow -U_N, \quad U_{OM+} \rightarrow +U_N$$

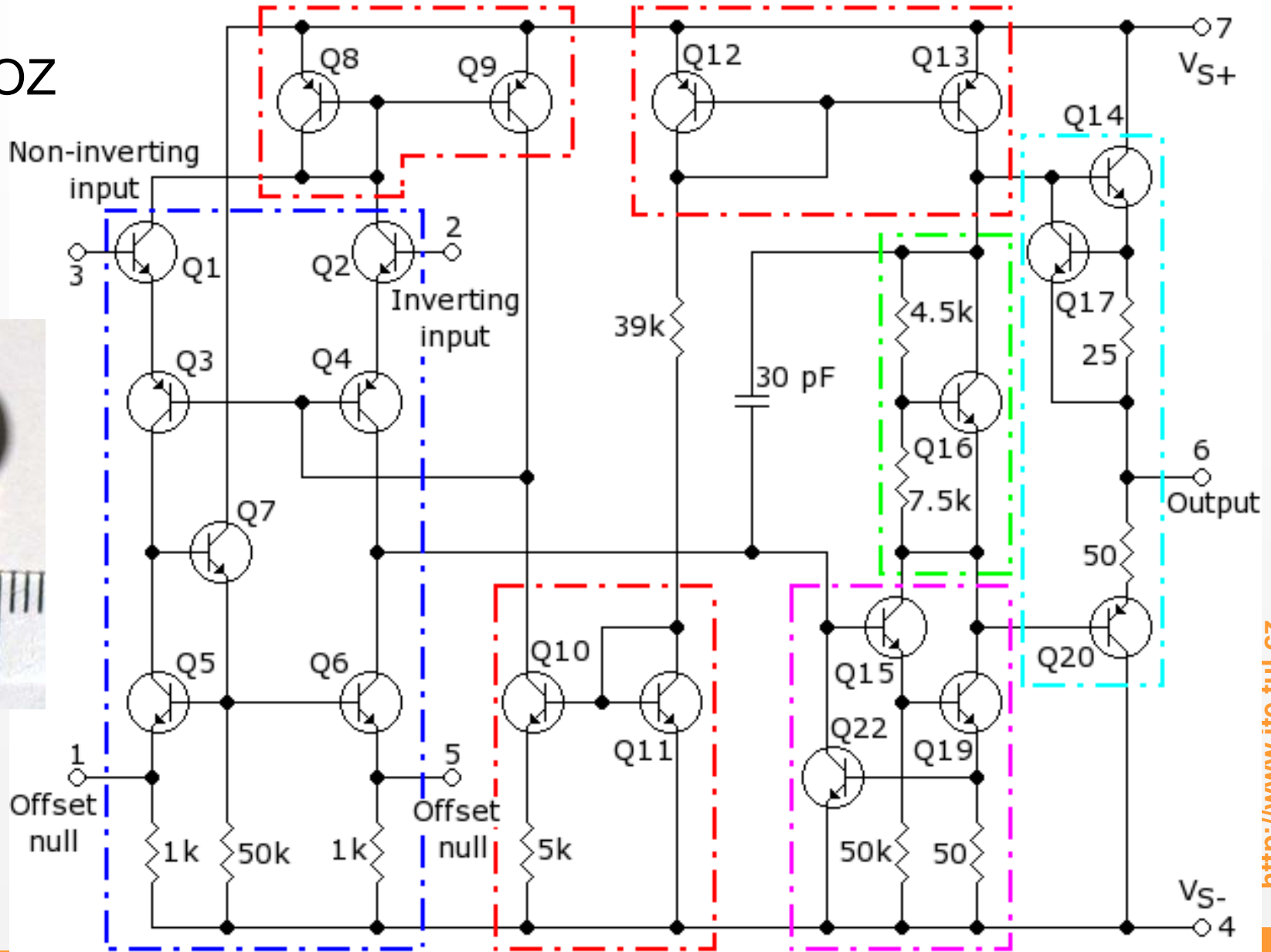
- **jedno** napájecí napětí  $+5\text{ V}$  popř.  $+3\text{ V}$





# Operační zesilovače

Reálný OZ  
typ 741





# Operační zesilovač



## Ideální operační zesilovač:

- napět'ové zesílení (otevřené smyčky)  $A_{u0} \rightarrow \infty$
- vstupní odpor (Input)  $R_i \rightarrow \infty$  resp. nulový vstupní proud  $I_i$
- výstupní odpor (Output)  $R_o \rightarrow 0$
- Často se uvádí okamžitá odezva výstupu na vstup nebo nulový fázový posun mezi vstupním a výstupním signálem, což lze též zapsat jako šířka pásma (Band Width)  $BW \rightarrow \infty$  resp. horní mezní kmitočet  $f_h, f_T \rightarrow \infty$

≡ okamžitá odezva výstupu na vstup

≡ nulový fázový posun mezi vstupním a výstupním signálem





# Operační zesilovače



## Reálný operační zesilovač:

- napěťové zesílení velké
- vstupní odpor velký (~10 nA u bipol. op-amps, nebo pA u CMOS)
- výstupní odpor malý
- frekv. charakteristika směrem k nízkým kmitočtům neomezená
- frekv. charakteristika směrem k vysokým kmitočtům omezená





# Reálné operační zesilovače

– oproti ideálnímu OZ mají chyby

## Statické chyby

**aditivní chyby** (chyba nuly, posun nuly, ofset)

**vstupní napěťová nesymetrie**

$U_{I0}$

= abs. hodnota napětí, které by bylo nutno přivést mezi vstupy, aby výstupní napětí bylo nulové

**vstupní klidový proud**

$I_{IB}$

- vyvolává chybu úbytkem napětí na odporech, pokud nejsou na obou vstupech shodné

**činitel potlačení souhlasného signálu**

**CMR** (Common Mode Rejection) [dB]

*vliv potenciálu obou vstupu vůči zemi*

$$\text{CMR} = 20 \log \frac{U_{CM}}{\Delta U_{I0}}$$

$U_{CM}$  = souhlasný signál při vstupu  $\Delta U_{I0}$

**multiplikativní chyba** (chyba zisku, chyba rozsahu )

- odchylka od teoretického zesílení zesilovače vlivem konečného zesílení OZ





# Parametry běžných OZ



veličina	značka	min.	typ.	max.	jedn.
zesílení otevřené smyčky	$A_{u0}$	$3 \cdot 10^4$	$10^5$	$5 \cdot 10^6$	
vstupní odpor	$R_i$	$10^5$	$10^6$	$10^7$	$\Omega$
výstupní odpor	$R_o$	$3 \cdot 10^1$	$10^2$	$2 \cdot 10^2$	$\Omega$
napájecí napětí	$U_{CC}$	$\pm 1$	$\pm 15, +5, \pm 5$		V
klidový napájecí proud	$I_{CC}$	0,1	1	10	mA
výstupní napětí	$\pm U_{OM}$	$ U_{CC}  - 3$		$ U_{CC}  - 1$	V
výstupní zkratový proud	$I_{OM}$	10		30	mA
vstupní napěťová nesymetrie	$U_{i0}$	0,01	1	10	mV
vstupní klidový proud	$I_{IB}$	1	50	300	nA
potlačení souhlasného napětí	CMR	80	100	140	dB
šířka pásma	BW	0,03	3	200	MHz

<http://www.ite.tul.cz>





# Operační zesilovače

Typické hodnoty:

$$\square U_o \approx 10 \text{ V}$$

$$\square A_{u0} \approx 10^5$$

Vstupní rozsah v lineárním režimu pro tyto hodnoty

$$\Delta U_i \approx 0,1 \text{ mV} \quad (\text{jinak SATURACE})$$

nelze tedy v tomto režimu OZ bez ZZV prakticky použít.

Bez ZV se hodí jako **komparátor** dvou napětí, jehož funkci můžeme vyjádřit :

$$U_o = U_{OM+} \quad \text{při} \quad U_{I+} > U_{I-}$$

$$U_o = U_{OM-} \quad \text{při} \quad U_{I+} < U_{I-}$$



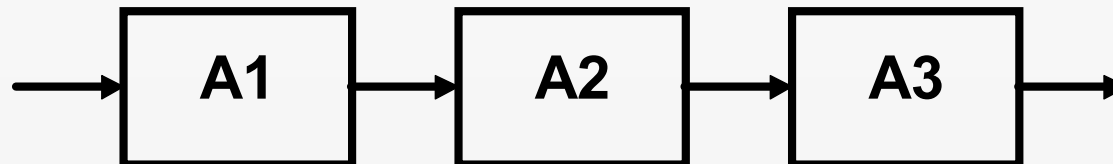


# Řazení funkčních bloků

## kaskádní zapojení

- přímý přenosový řetězec
- nelineární přenosovou funkci bloku je možno linearizovat dalším blokem s *inverzní* funkcí

- pro lineární bloky: 
$$A_u = \prod_{i=1}^n A_{ui}$$



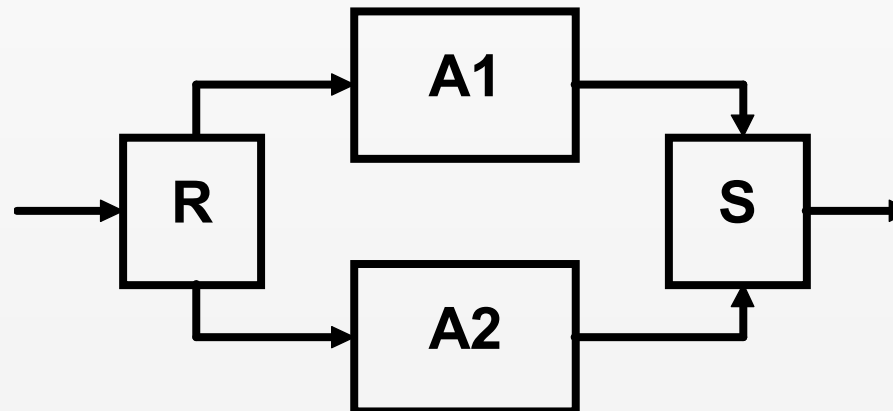




# Řazení funkčních bloků

## paralelní zapojení

- rozdělovací (R) a slučovací (S) obvod (dvojbran) :
  - paralelní* – rozděluje resp. sčítá proudy
  - sériový* – rozděluje resp. sčítá napětí
- např. oddělené zpracování dílčích kmitočtových pásem nebo kladné a záporné amplitudy signálu (přesné usměrňovače, výkonové stupně push-pull)





# Řazení funkčních bloků



## zpětnovazební zapojení

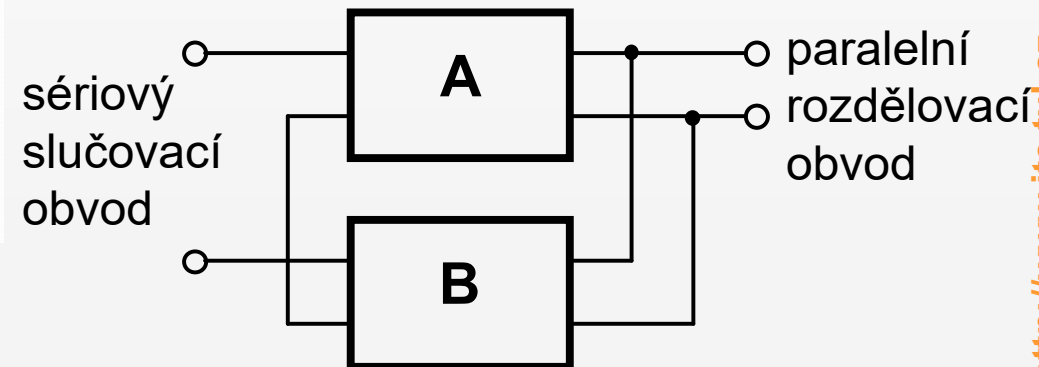
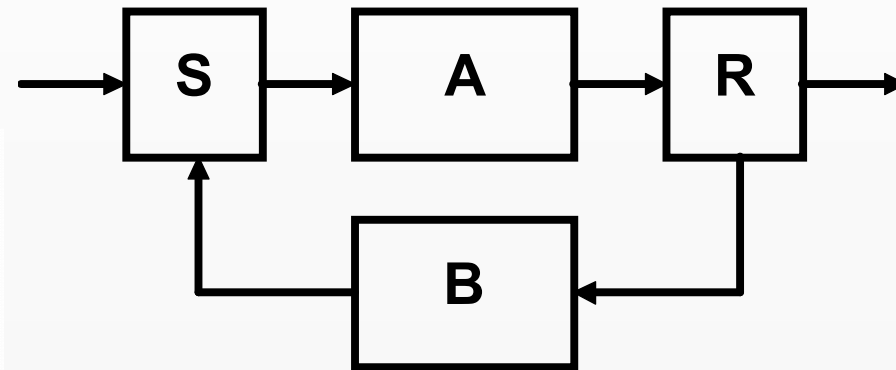
= paralelní řazení cest

s přenesením části výstupního signálu do vstupního slučovacího obvodu

Obvyklé zapojení dvojbranů do zpětné vazby (ZV):

Blok **A**  
obv. unilaterální zesilovač (t.j. bez zpětného přenosu) se zesílením  $A_u$

Blok **B**  
obv. pasivní obvod (např. pouhý odporový dělič) s činitelem zpětné vazby (přenosem)  $\beta$

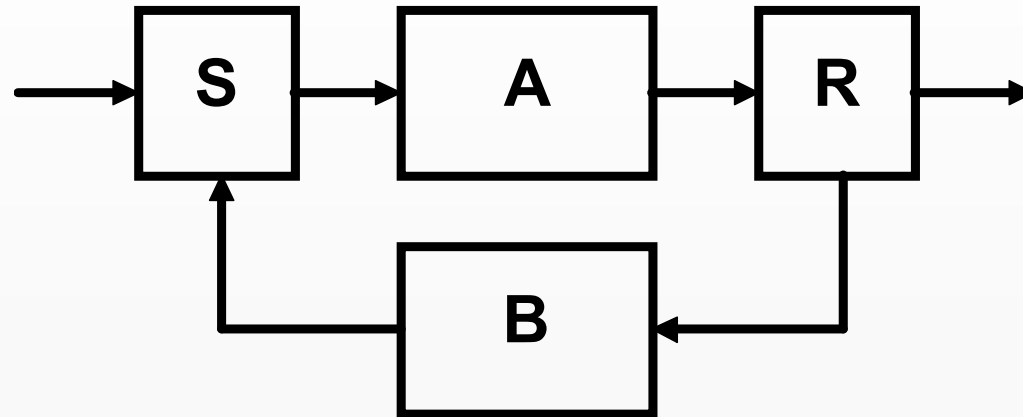


<http://www.ite.tul.cz>





# Řazení funkčních bloků



$\beta$  – činitel zpětné vazby

přenos otevřené  
(rozpojené)  
zpětnovazební smyčky

$$T = \beta A_u$$

Blackův vztah

$$A'_u = \frac{A_u}{1 - \beta A_u}$$





# Vliv zpětné vazby (ZV)

Analýza Blackova vztahu při kmitočtově nezávislém  $\beta$ :

**kladná zpětná vazba (KZV) při  $T > 0$**

$0 < T < 1$  – zesílení  $A'$  stoupá, ovšem na úkor zhoršení dalších param. (zkreslení aj.)

$T > 1$  – *nadkritická KZV*, obvod je nestabilní, probíhají tzv. regenerativní děje (kmity) vyžadující nelineární popis





# Vliv zpětné vazby (ZV)

Analýza Blackova vztahu při kmitočtově nezávislém  $\beta$ :

**záporná zpětná vazba (ZZV)** při  $T < 0$ , t.j. rozpojená smyčka ZV obrací fázi  $\rightarrow$  zesílení  $A'$  klesá

- snížení citlivosti výsledného  $A'$  na změny původní  $A$  zesilovače (výrobní a tepl. rozptyl)
- při konstantním činiteli  $\beta$  (lin. obvod) a v režimu mimo silně nelineární oblasti charakteristiky zesilovače linearizuje výslednou převodní funkci *klesá činitel harmonického zkreslení*
- *zvětšení šířky pásma obvodu*
- Při obvyklém propojení (paralelní rozdělení = napěťová ZV, sériové sloučení) :
  - *zvýšení vstupní impedance*
  - *snížení výstupní impedance*





# OZ se ZZV



## Záporná zpětná vazba (ZZV):

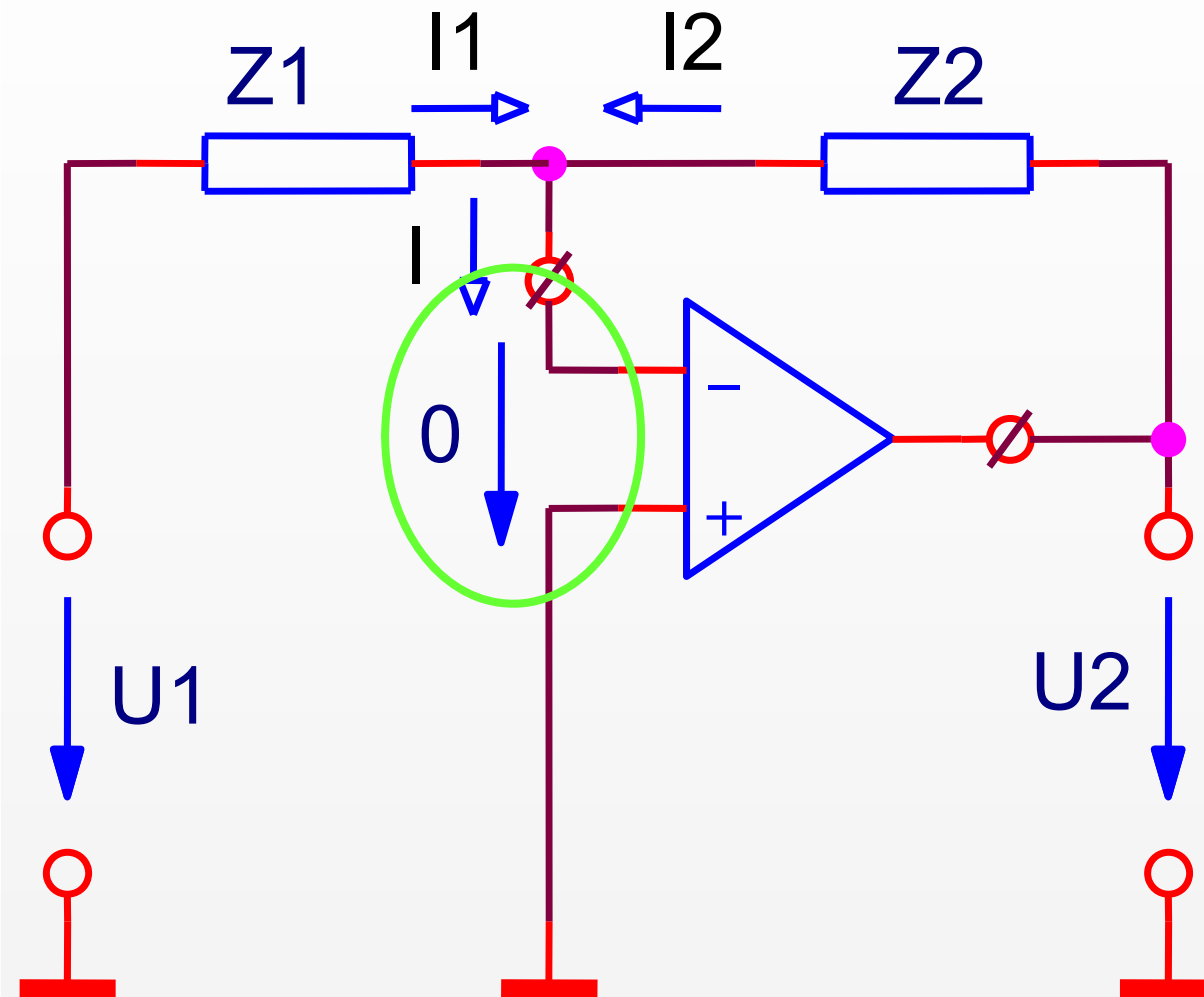
- Obrací fázi
- zmenšuje napěťové zesílení
- má vliv na vstupní a výstupní impedanci
- zmenšuje vliv změny parametrů součástek (stárnutí)
- zmenšuje nelineární zkreslení
- rozšiřuje kmitočtový rozsah zesilovače





# OZ se ZZV

**princip  
virtuální nuly  
(fiktivního  
zkratu) :**  
*Rozdílové  
napětí mezi  
vstupy OZ je  
v lineárním  
režimu a  
s uzavřenou  
smyčkou ZZV  
nulové.*



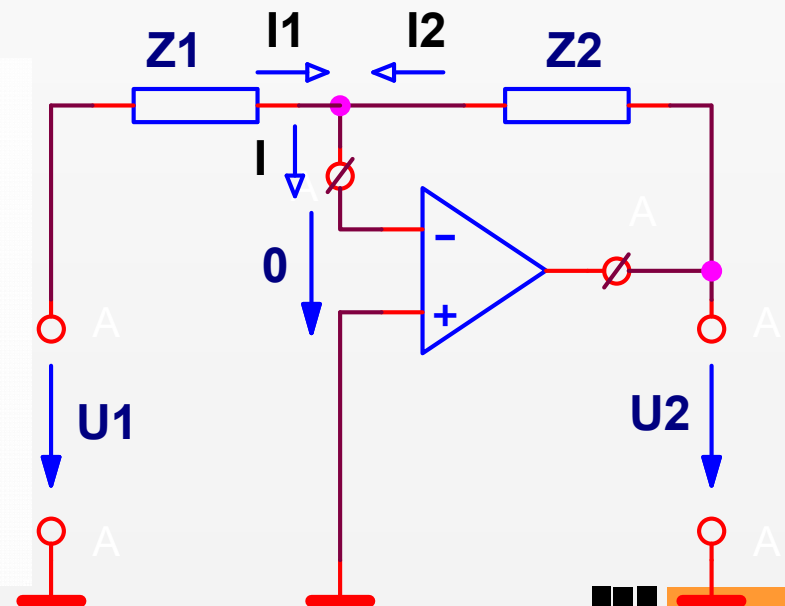


# Invertující zesilovače



- OZ je zapojen jako ***invertující operační zesilovač*** s jediným vstupem i výstupem.
- Impedance  $Z_1$  a  $Z_2$  jsou obecné (t.j. komplexní čísla), libovolně složité dvojpóly, složené z prvků R, L, C.
- Podle principu virtuální nuly – na invertujícím vstupu je nulové napětí; zároveň do něj neteče žádný proud ( $R_1 \rightarrow \infty \Rightarrow I \rightarrow 0$ ), takže ani nevytéká z uzlu  $Z_1$ \_ $Z_2$ . Podle Kirchhoffova zákona platí:

$$U_2 = -\frac{Z_2}{Z_1} U_1$$



<http://www.ite.tul.cz>



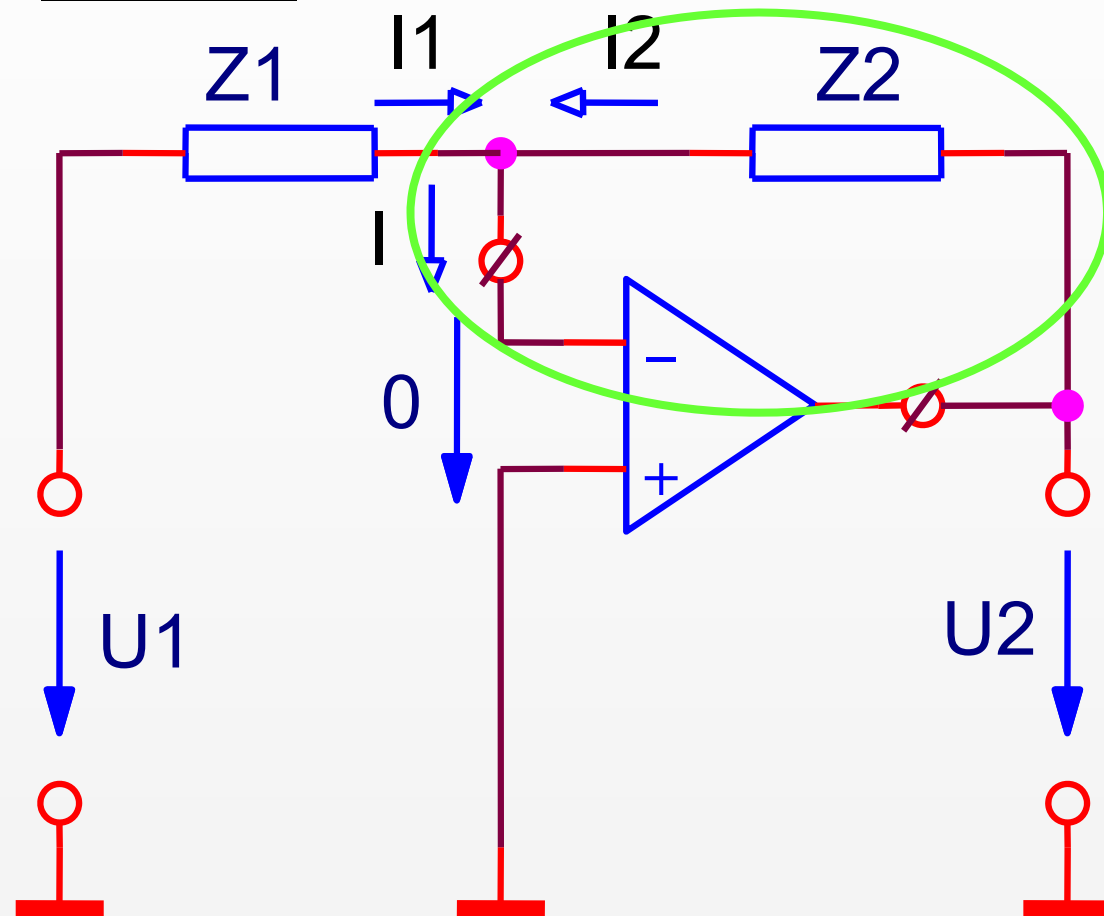




# OZ se ZZV

Většina zapojení s OZ pracuje v uzavřené smyčce silné **záporné zpětné vazby** (ZZV);

- parametry obvodu téměř nezávisí na parametrech konkrétního kusu a typu OZ, na jejich změnách s teplotou a napájecím napětím,
- Závisí pouze na hodnotách vnějších obvodových prvků





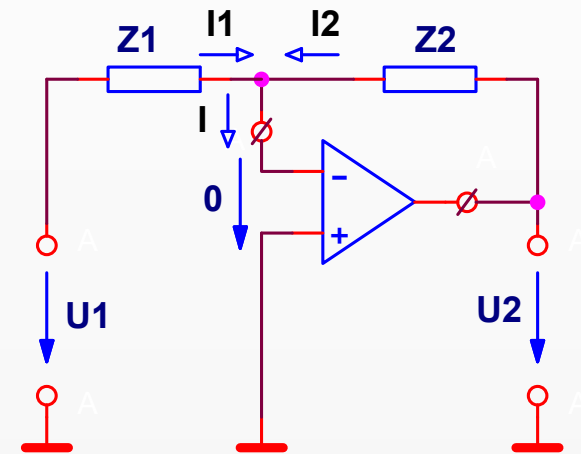
# Invertující zesilovač



Představují-li impedance  $Z_i$  pouhé rezistory  $R_i$ , pak zesílení  $A_u$  tohoto invertujícího zesilovače

$$A_u = - \frac{R_2}{R_1}$$

(neplatí po dosažení saturace)



!!! nezávisí na parametru OZ  $A_{u0}$

Zesiluje vstupní napětí a otáčí jeho fázi o  $180^\circ$  ( $I_1 = -I_2$ )

Speciální případ – invertor (pro  $R_2 = R_1$  je  $U_2 = -U_1$ )

Jde vlastně o obvod s jediným vstupem





# Neinvertující zesilovač

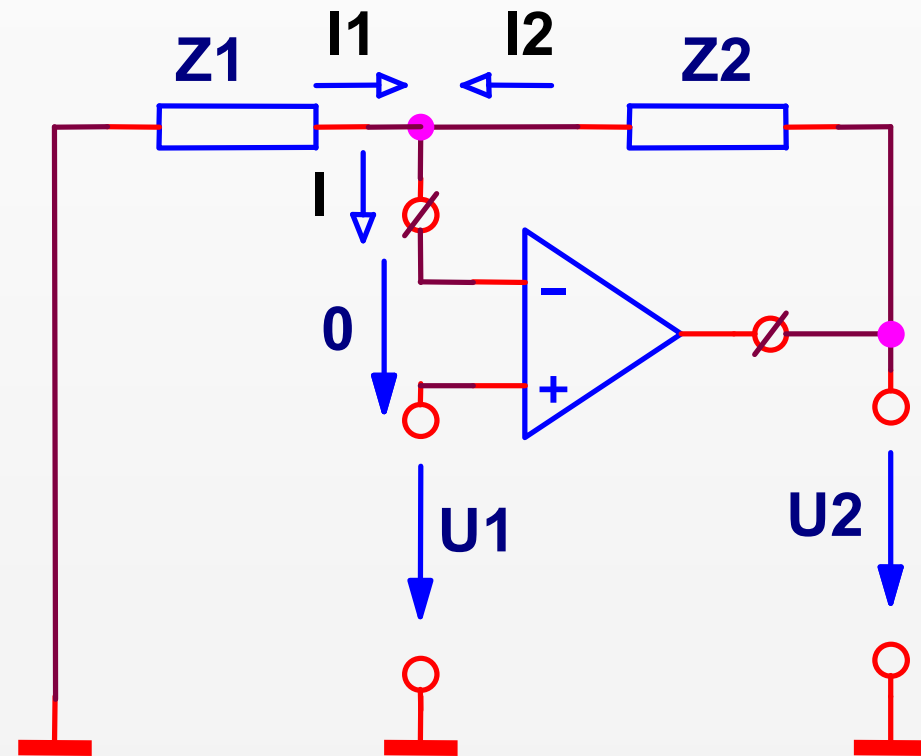


Druhým základním zapojením zesilovače s OZ je neinvertující zesilovač.

z rovnosti proudů  $U_1/R_1 = (U_2 - U_1)/R_2$  vztah pro zesílení:

$$A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

(opět: neplatí po dosažení saturace)

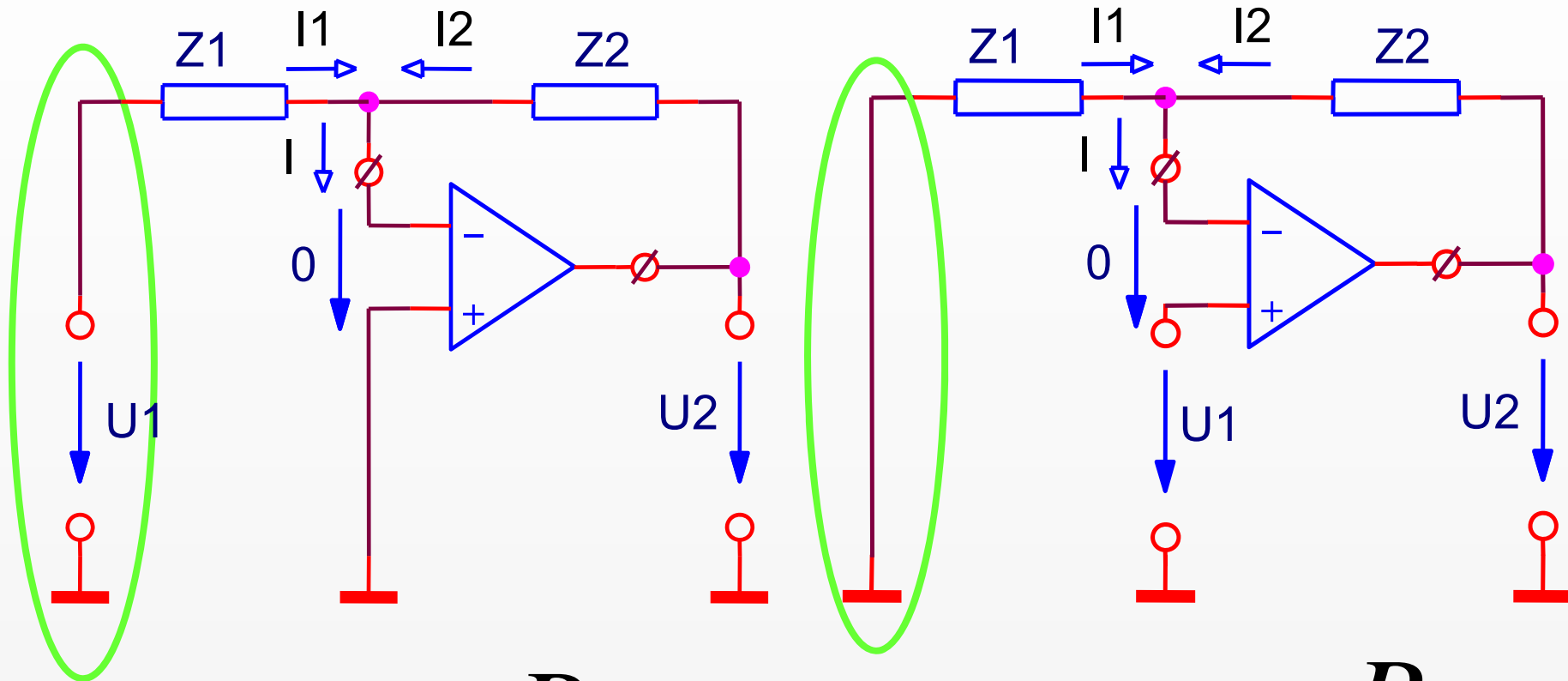


<http://www.ite.tul.cz>





# OZ se ZZV



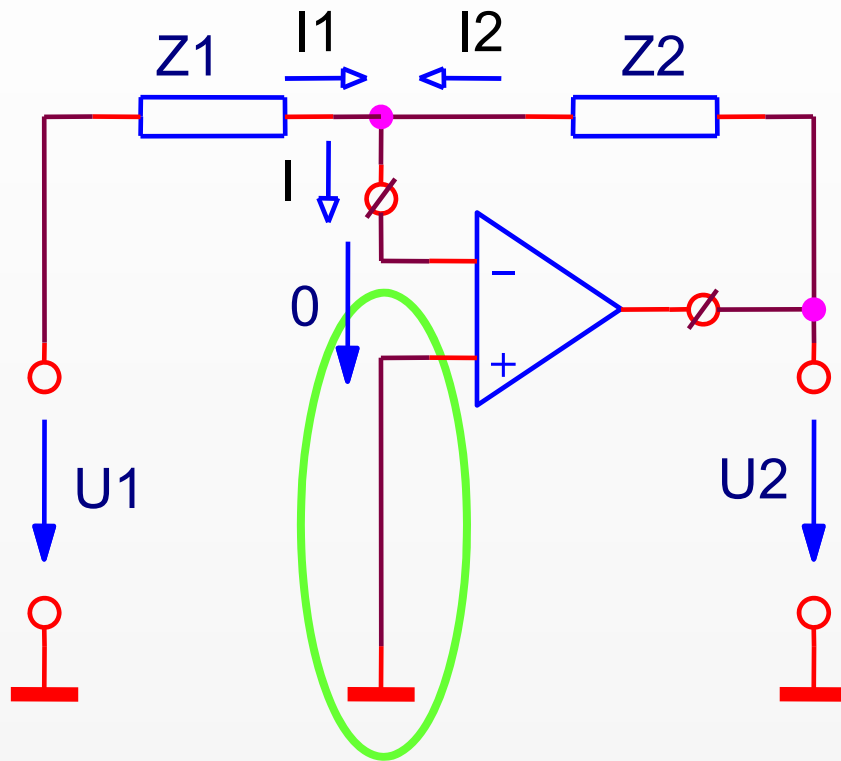
$$A_u = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

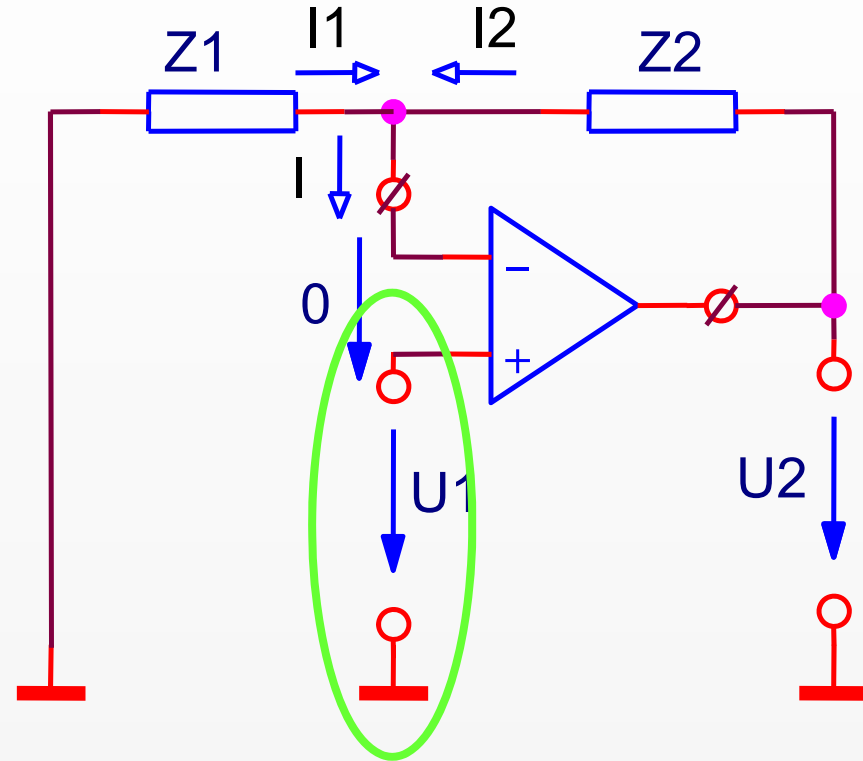




# OZ se ZZV



$$A_u = -\frac{R_2}{R_1}$$



$$A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$





# Zvláštní případy invert. zesilovače



## převodník R/U

$U_1 = U_{REF}$ ,  $R_2 = R_x$  (prom.)

$$U_2 = k R_x$$

$$U_2 = -\frac{R_2}{R_1} U_1$$

## invertor

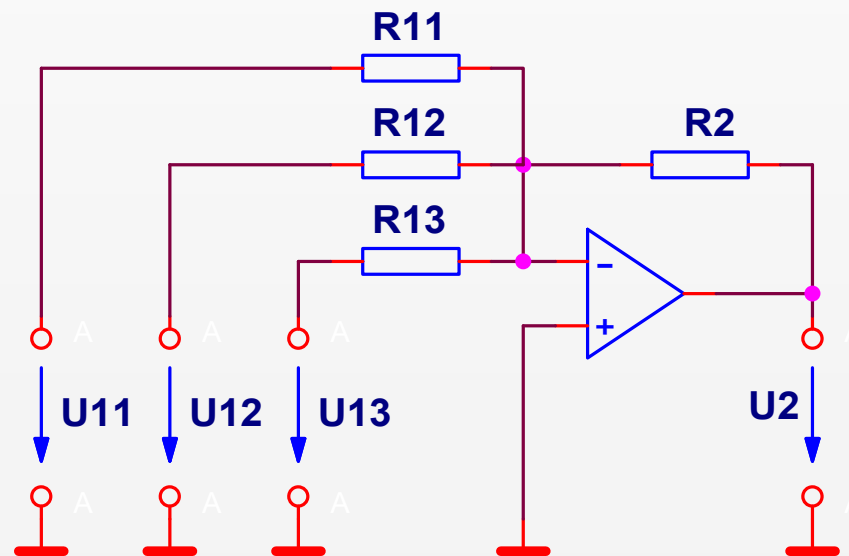
$R_2 = R_1$

$$U_2 = -U_1$$

## sumační zesilovač

$$U_2 = -R_2 \sum_{i=1}^n \frac{U_{1i}}{R_{1i}}$$

(princip lineární superpozice)



<http://www.ite.tul.cz>



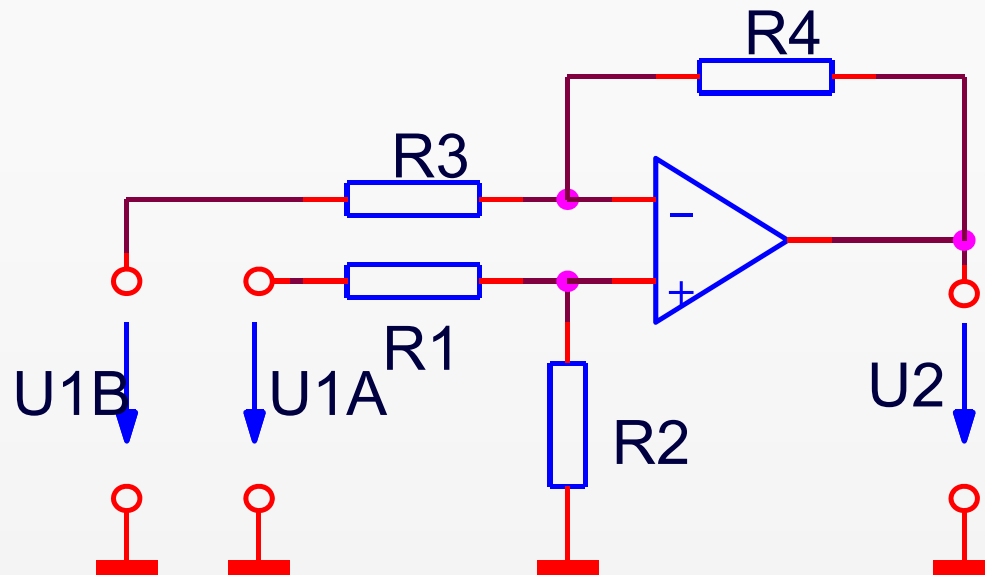


# Diferenční zesilovač

$$R_{vst} = R_1 + R_2 = R_3 + R_4$$

Zesilovač se symetrickým vstupem  
(nezesiluje souhlasné napětí)

$$U_2 = A_u (U_{1A} - U_{1B})$$



Obvykle  
se volí:

$$R_1 = R_3$$

a

$$R_2 = R_4$$

$$A_u = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

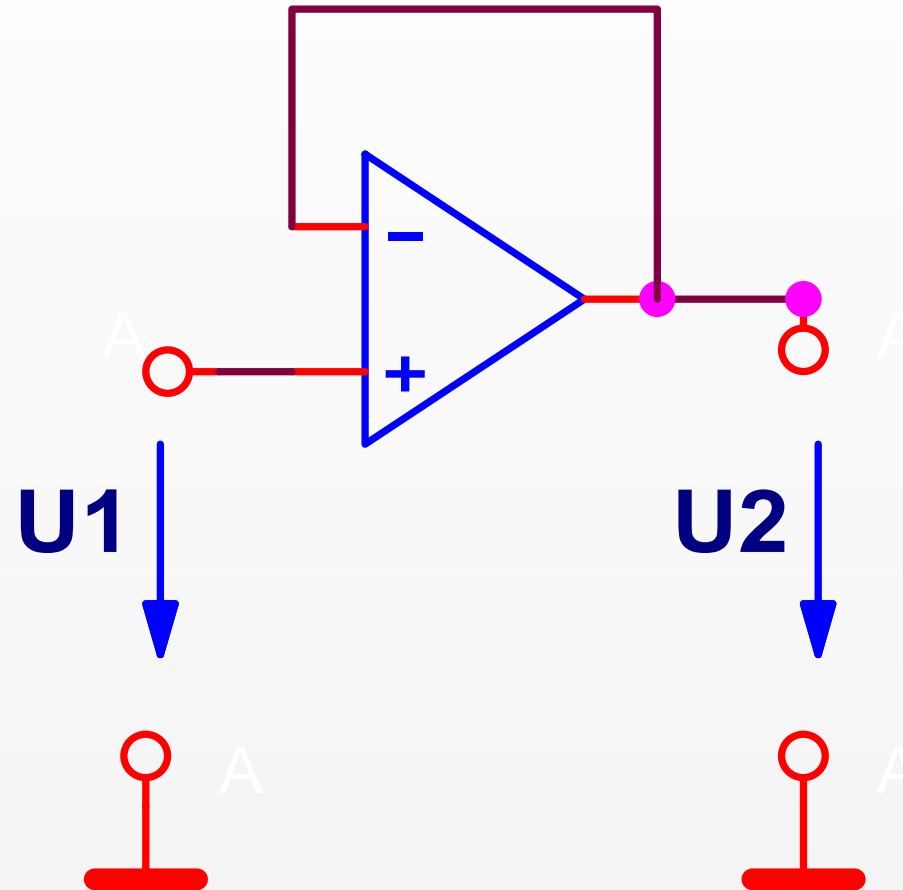
<http://www.ite.tul.cz>

Pro měřicí účely se používá dokonalejší zapojení - **přístrojový zesilovač**





# Napět'ový sledovač



100 % ZZV:  $U_2 = U_1$   
impedanční oddělení

<http://www.ite.tul.cz>







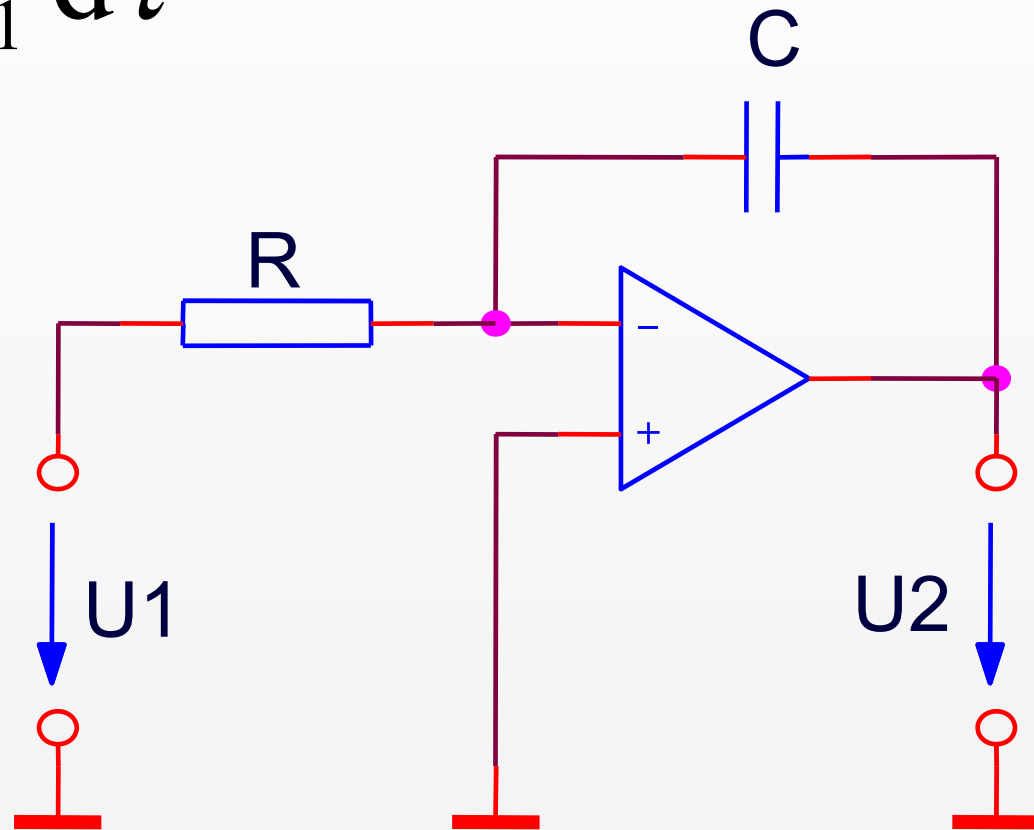
# Integrátor



$$u_2 = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_1 d\tau$$

$$u_2 = -\frac{t}{\tau} U_1$$

$$(\tau = RC)$$



<http://www.ite.tul.cz>

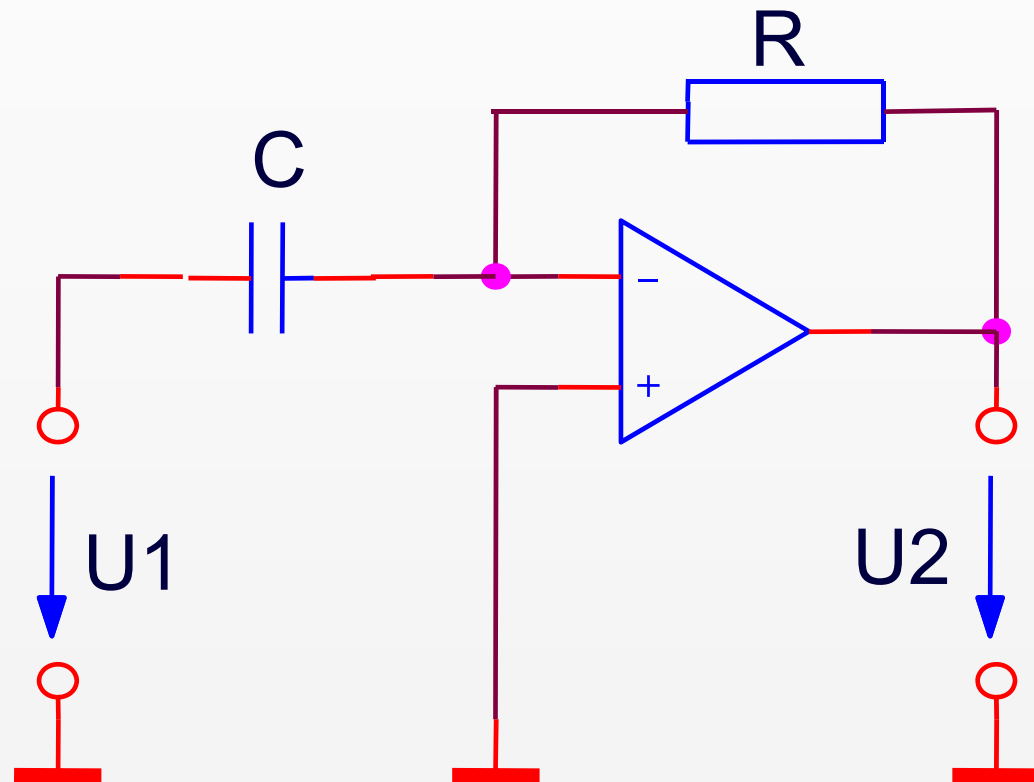
*Viz příklad ve skriptech*





# Derivátor

Nepoužívá se – příliš zesiluje šum a rušení ve vstupním signálu

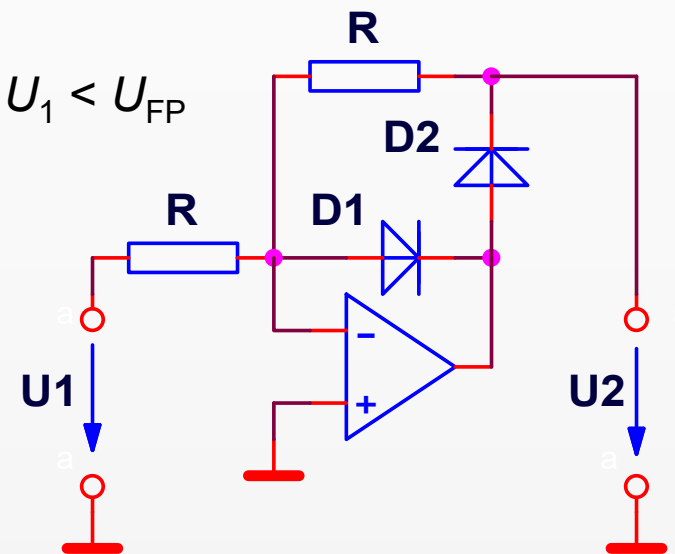




# Nelineární obvody s OZ

## (přesný) **jednocestný usměrňovač**

- Nemá nečnosti  $U_p$  u diodového usměrňovače
- obvod s nelineárním prvkem
- ZZV linearizuje V-A char. diod  $\Rightarrow$  může být  $U_1 < U_{FP}$
- na výstupu *střední hodnota* signálu
- v měřicích obvodech



**Špičkový detektor** zapamatuje na kondenzátoru *amplitudu (maximum)* signálu – příp. je pomocným signálem nulován.

**Dvojcestné** usměrňovače vyžadují 2 OZ.





# Nelineární obvody s OZ

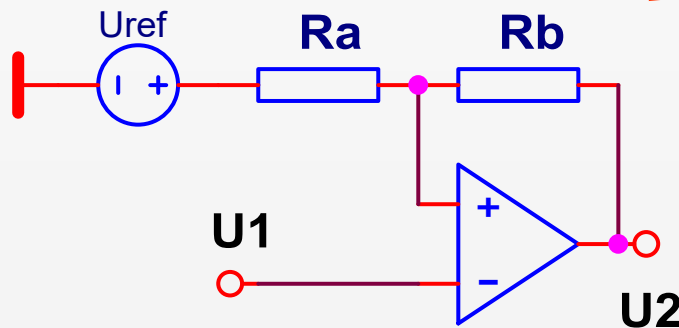
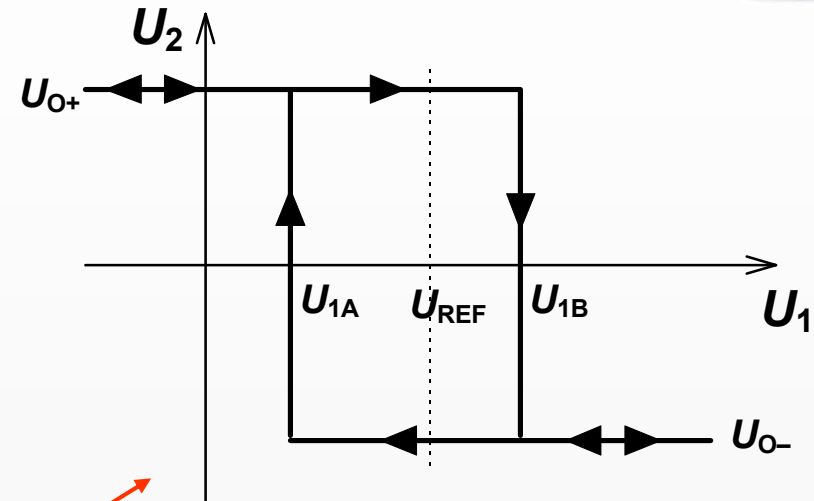


## Schmittův (klopný) obvod

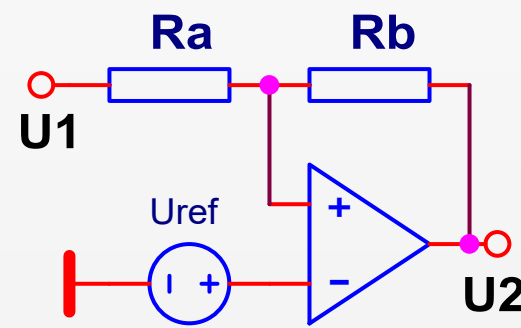
- obvod s **hysterezí**, vytvořenou kladnou zpětnou vazbou

### komparátor s hysterezí

- regulátory např. teploty
- převod analogového nebo pomalu se měnícího logického signálu na **logický signál se strmými hranami**



a) invertující,  $R_{vst} \uparrow$



b) neinvertující,  $R_{vst} \downarrow$





# OZ v medicíně

- Základní blok každého elektronického přístroje zpracovávajícím biosignály
  - Požadavky:
    - Zvýšení úrovně snímaného signálu
    - Impedanční přizpůsobení čidla obvodům přístroje
    - Odfiltrování rušení (diferenční zapojení)
- ➔ Biologické/lékařské izolační zesilovače

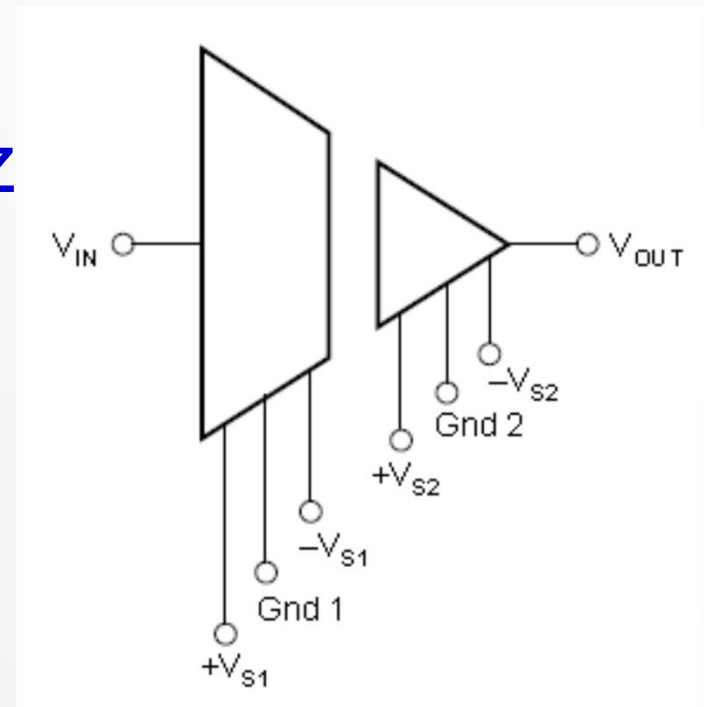




# Izolační zesilovače

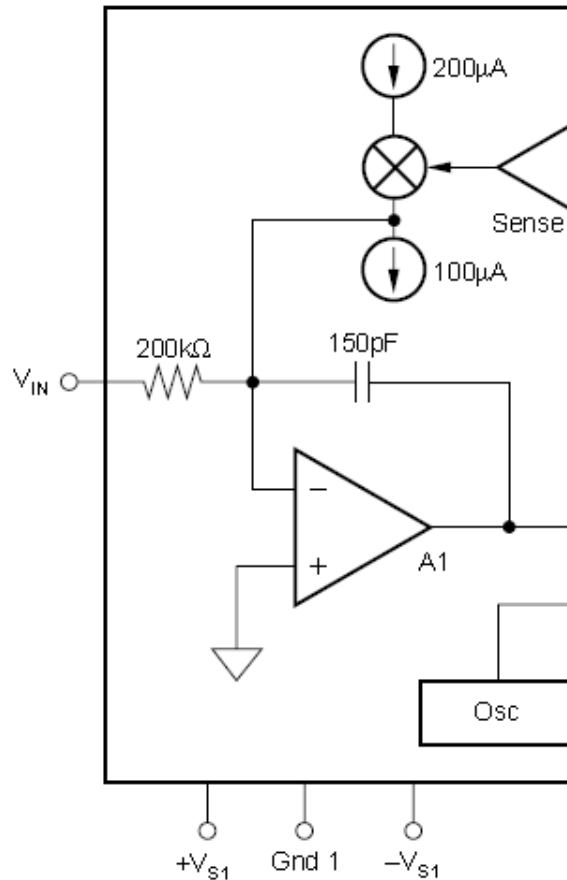
- Vstupní odpor cca  $10^6..10^{10}\Omega$
- Minimální svodový ss proud (uniká tělem)  
– podle IEC  $<10\mu\text{A}$ , v praxi  $0,5..7\text{nA}$
- Vstupní drift  $0,1..1\ \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Bandwidth  $0..30\ (120)\ \text{kHz}$

TI: ISO124

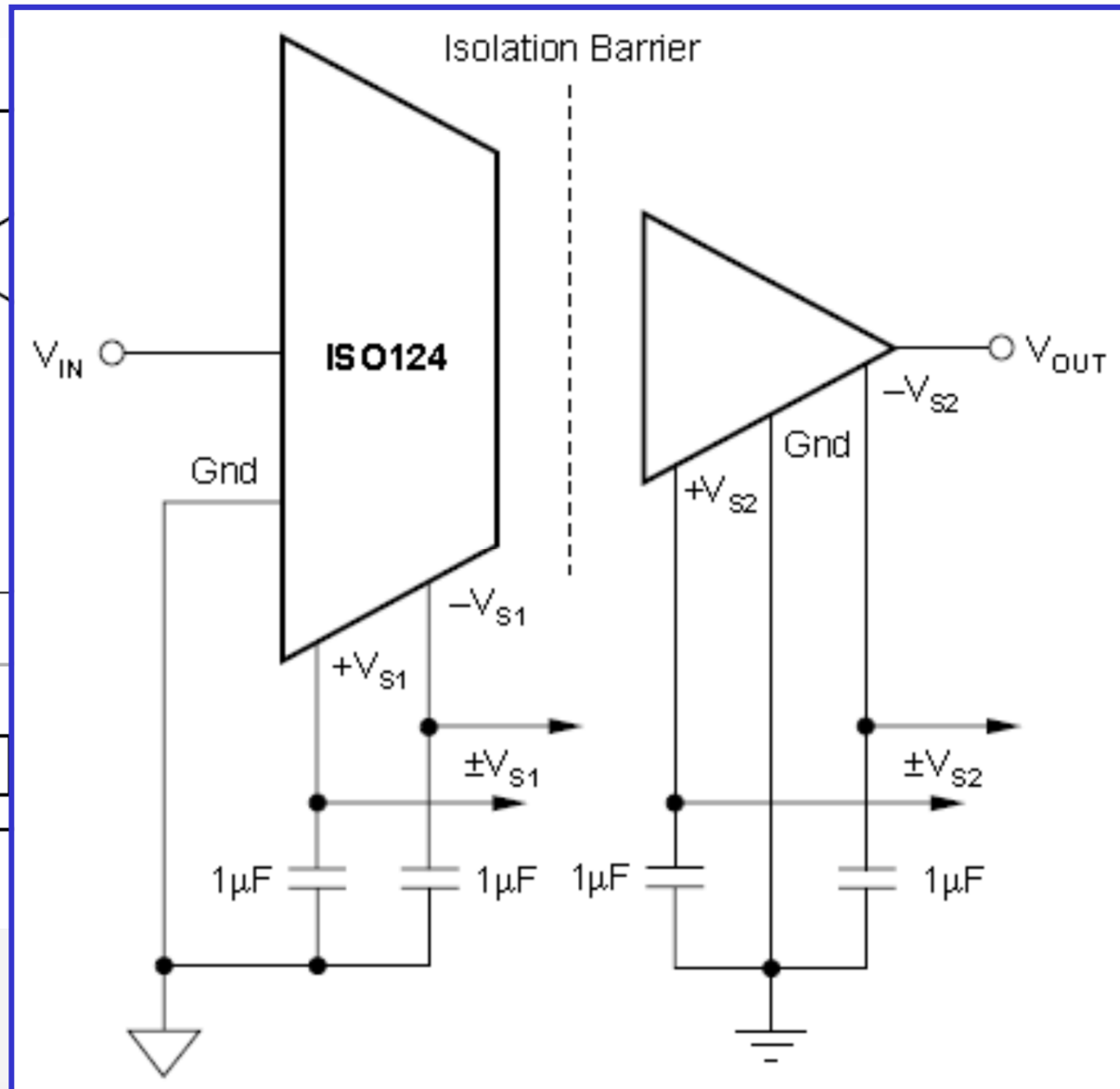




# Izolační zesilovače

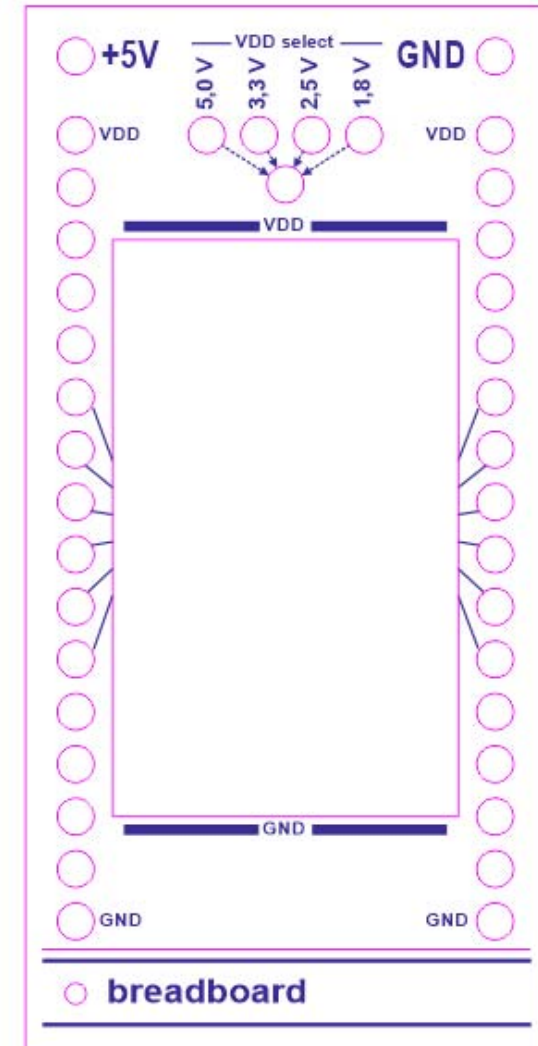
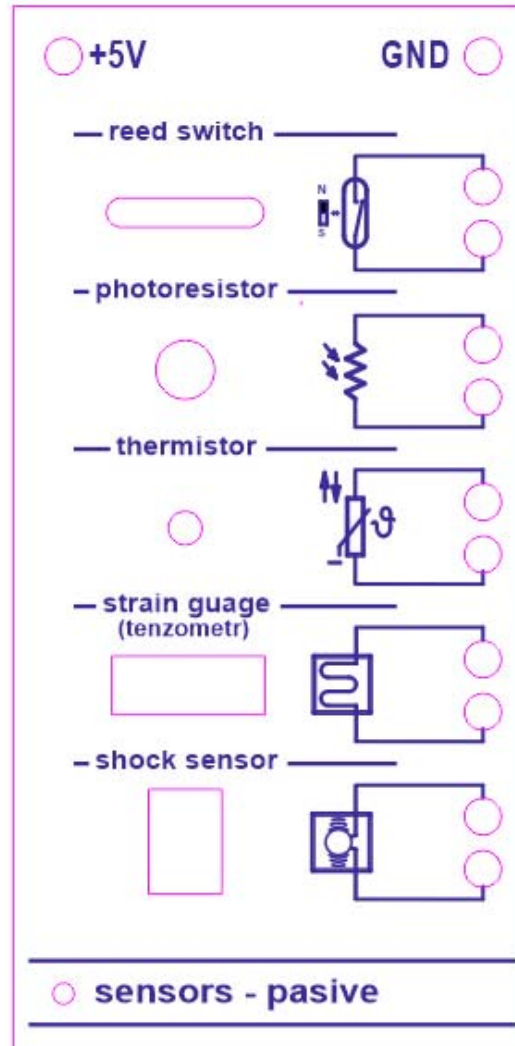
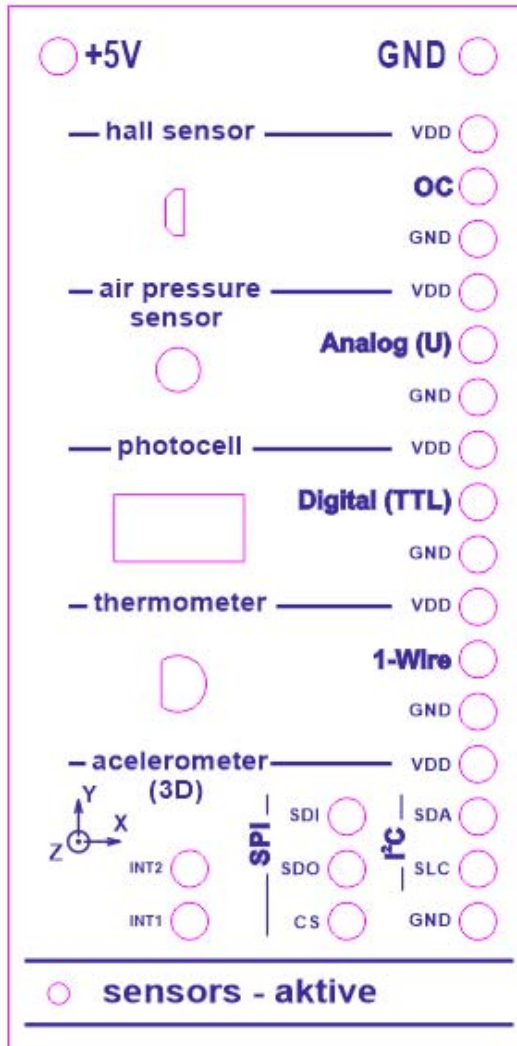


TI: ISO124





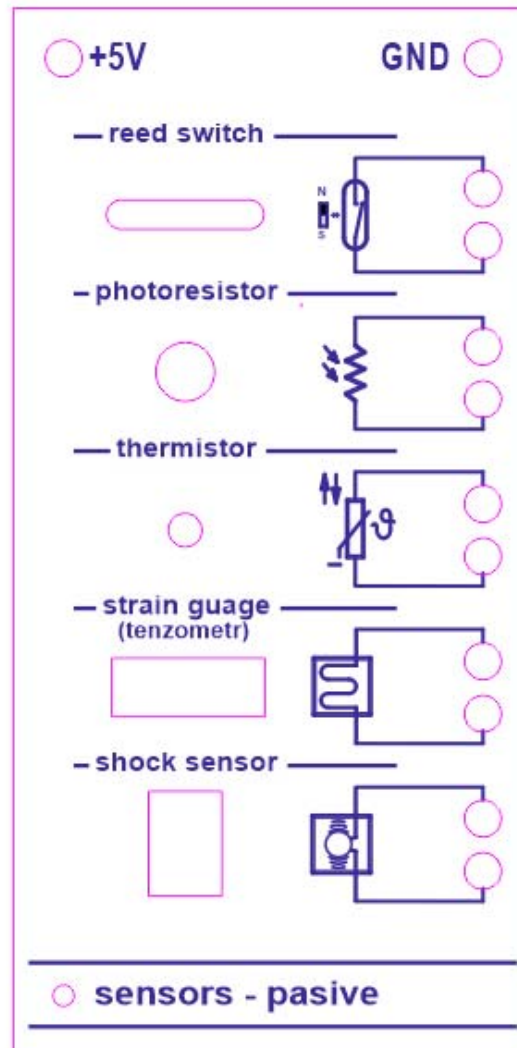
# Snímače na cvičení





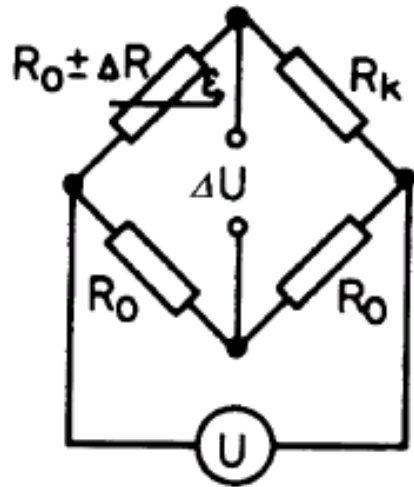


# Snímače na cvičení

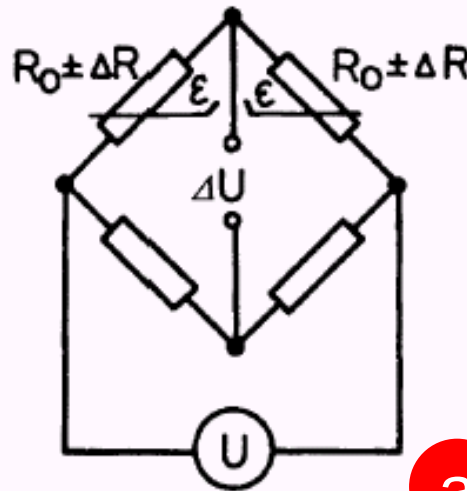




# Zapojení do můstku

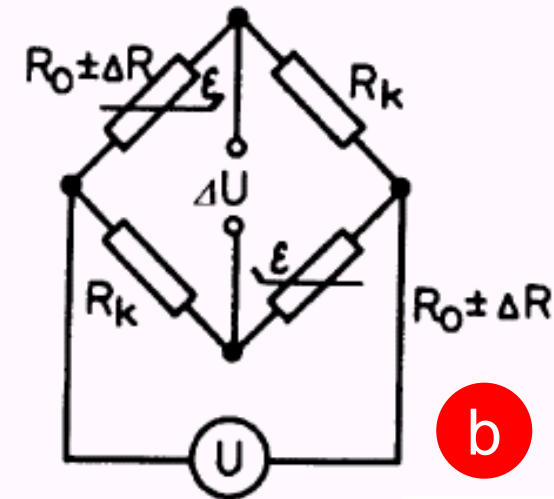


Čtvrtmůstek



Půlmůstek

a



Půlmůstek

b

Kompenzační tenzometr má stejné parametry a je vystaven stejným podmínkám jako měřicí tenzometr, nesmí být však namáhán.

Zapojení dvou měřících tenzometrů (dvojnásobná citlivost - eliminace vlivu teploty)

- a) Souhlasně namáhány
- b) Nesouhlasně namáhány





# Rozšířený Ohmův zákon ;)



**P = Watts**

$$\text{Watts} = \text{Volts} \times \text{Amperes}$$

$$\text{Watts} = \text{Amperes}^2 \times \text{Ohms}$$

$$\text{Watts} = \frac{\text{Volts}^2}{\text{Ohms}}$$

**V = Volts**

$$\text{Volts} = \sqrt{\text{Watts}} \times \text{Ohms}$$

$$\text{Volts} = \frac{\text{Watts}}{\text{Amperes}}$$

$$\text{Volts} = \text{Ohms} \times \text{Amperes}$$

**I = Amperes**

$$\text{Amperes} = \frac{\text{Volts}}{\text{Ohms}}$$

$$\text{Amperes} = \frac{\text{Watts}}{\text{Volts}}$$

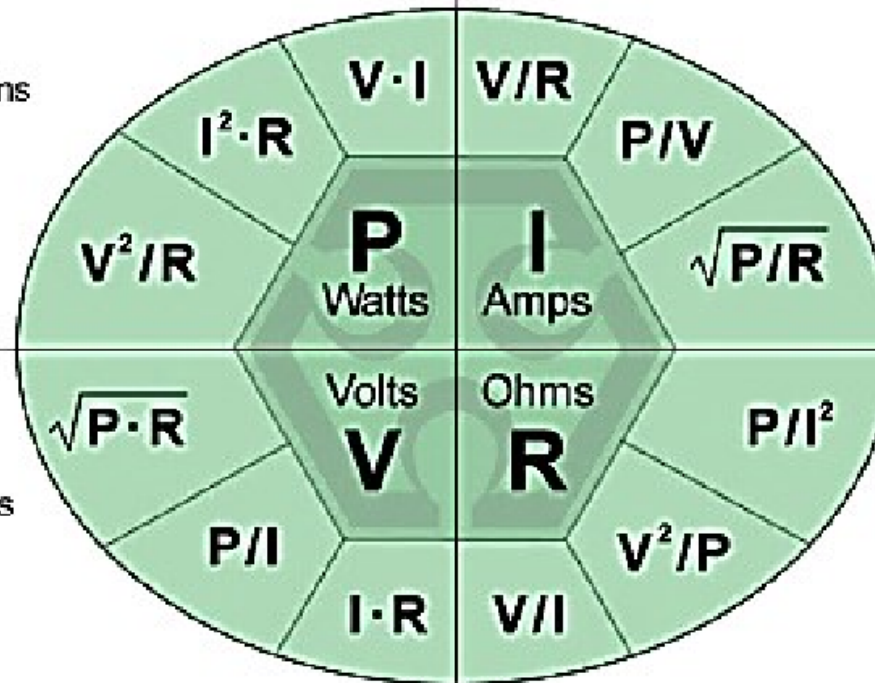
$$\text{Amperes} = \sqrt{\frac{\text{Watts}}{\text{Ohms}}}$$

**R = Ohms**

$$\text{Ohms} = \frac{\text{Watts}}{\text{Amperes}^2}$$

$$\text{Ohms} = \frac{\text{Volts}^2}{\text{Watts}}$$

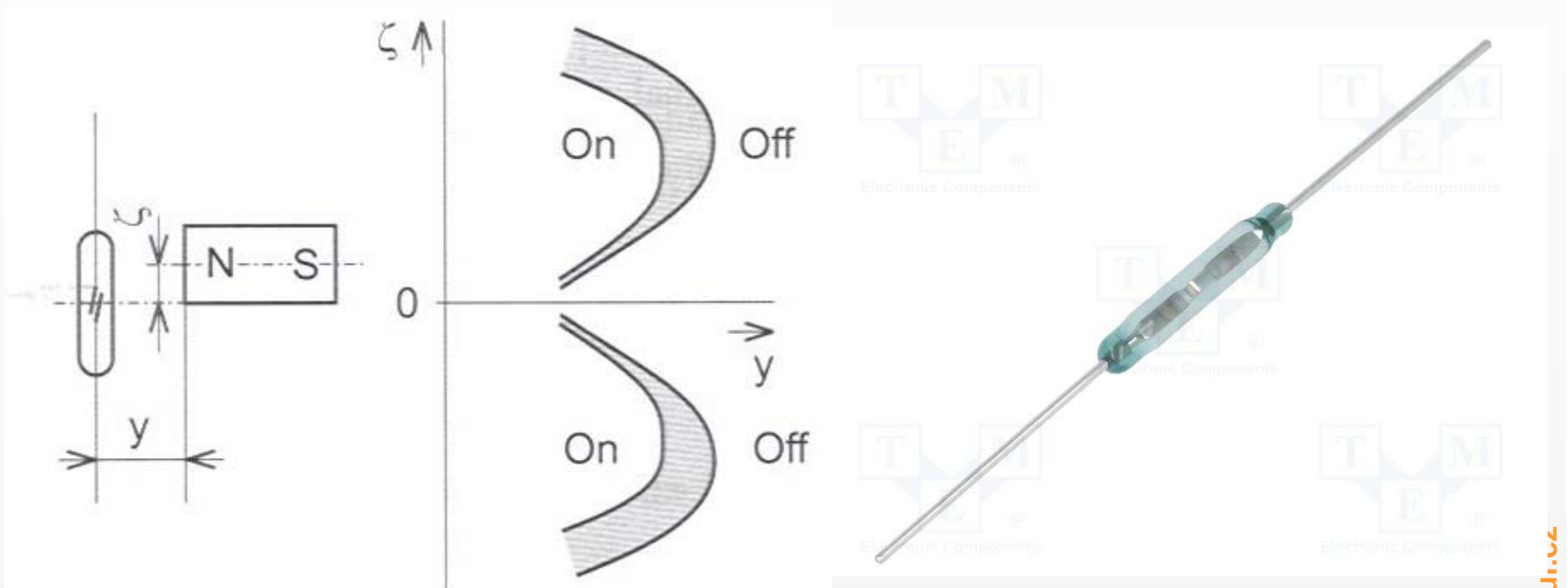
$$\text{Ohms} = \frac{\text{Volts}}{\text{Amperes}}$$



Např: <http://www.sengpielaudio.com/FormulaWheel-ElectricalEngineering.htm>



# Jazýčkový kontakt (reed switch)



<http://www.tme.eu/>





# Jazyčkový kontakt (reed switch)

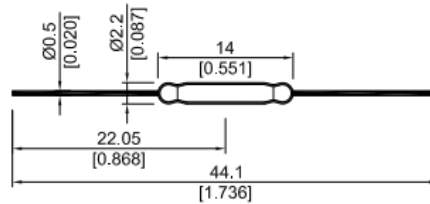


**KSK-1A66-...**

**MEDER electronic**

## DIMENSIONS

All dimensions in mm [inches]



## CHARACTERISTICS

- Glass length of 14 mm and diameter of 2.2 mm
- Normally open 1 Form A contact
- Excellent for most applications and long life expectancy

## CONTACT DATA

All Data at 20 °C	Switch Model → Contact Form →	KSK-1A66-... Form A			
Contact Ratings	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Switching Power*	Any DC combination of V and A not to exceed their individual max.'s			10	W
Switching Voltage	DC or peak AC			200	V
Switching Current	DC or peak AC			0.5	A
Carry Current	DC or peak AC			1.25	A
Static Contact Resistance	at 0.5 V & 10 mA			150	mΩ
Dynamic Contact Resistance	measured w/ 0.5 V & 50 mA, 1.5 ms after closure			200	mΩ
Insulation Resistance cross Contacts	100 Volts applied	10 <sup>10</sup>			Ω
Breakdown Voltage	> 60 sec.	225			VDC
Operate Time incl. Bounce	100 % overdrive			0.5	ms
Release Time	measured with/ no coil suppression			0.1	ms
Capacitance	at 10 kHz across contact		0.2		pF

<http://www.tme.eu/>

<http://www.ite.tul.cz>





# Fotorezistor (photoresistor)



## Light Dependent Resistor



## PGM CDS Photoresistors

### Terminology

- **Light Resistance :**

Measured at 10 lux with standard light A (2854K-color temperature) and 2hr. preillumination at 400-600 lux prior testing.

- **Dark Resistance :**

Measured at 10th seconds after closing 10 lux.

- **Gamma characteristic :**

Under 10 lux and 100 lux and given by  $\gamma = \log(R_{10}/R_{100}) / \log(100/10) = \log(R_{10}/R_{100})$   
R10, R100: resistance at 10 lux and 100 lux.  
The tolerance of  $\gamma$  is  $\pm 0.1$ .

- **Pmax :**

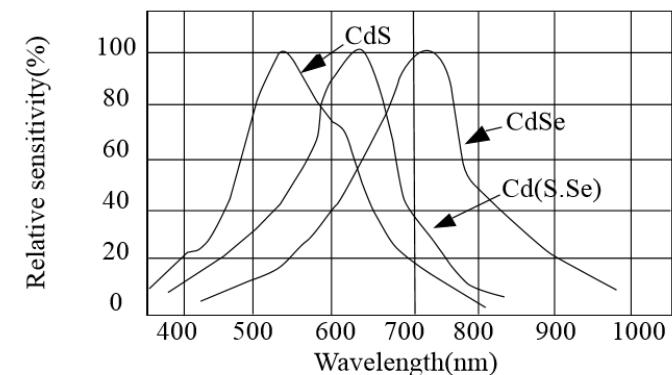
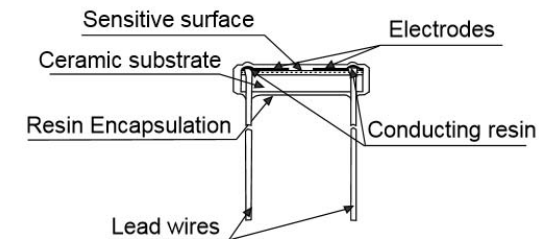
Max. power dissipation at ambient temperature of 25°C. At higher ambient temperature, the maximum power permissible may be lowered.

- **Vmax :**

Max. voltage in darkness that may be applied to the device continuously.

- **Spectral peak :**

Spectral sensitivity of photoresistors depends on the wavelength of light they are exposed to and in accordance with figure 'Spectral Response'.  
The tolerance of spectral peak is  $\pm 50\text{nm}$ .



<http://www.ite.tul.cz>

<http://www.tme.eu/>





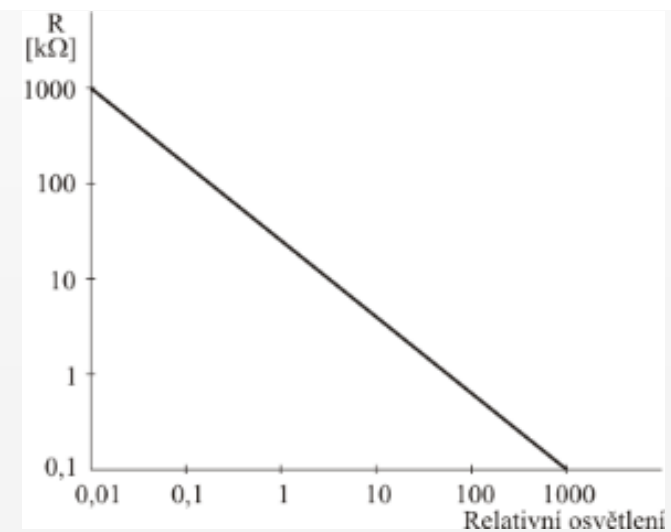
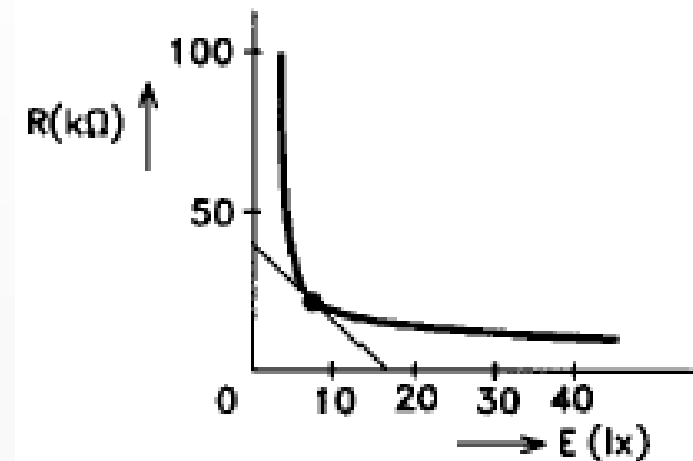
# Fotorezistor (photoresistor)

fotoelektrický jev = zvyšování vodivosti působením světelného záření.

$$R = R_0 \cdot E^{-\alpha}$$

$R_0$  [ $\Omega$ ] = odpor při osvětlení 1 lx (závisí na geometrii rezistoru a na materiálu),

$\alpha$  = konstanta (závisí především na materiálu), 0,5 až 2.



Autor: Filip Albert – Vlastní dílo, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6602695>





# Fotorezistor (photoresistor)



Light Dependent Resistor



## PGM5 CDS Photoresistors

### ▶ Electronics Characteristics

Model	V <sub>max</sub> (VDC)	P <sub>max</sub> (mW)	Ambient Temp (°C)	Spectral Peak (nm)	Photo Resistance (10Lx) (KΩ)	Dark Resistance (MΩ)min	γ <sub>min</sub>	ResponseTime (ms)	
								Rise	Decay
PGM5506	100	90	-30 ~ +70	540	2 ~ 6	0.15	0.6	30	40
PGM5516	100	90	-30 ~ +70	540	5 ~ 10	0.2	0.6	30	40
PGM5526	150	100	-30 ~ +70	540	8 ~ 20	1.0	0.6	20	30
PGM5537	150	100	-30 ~ +70	540	16 ~ 50	2.0	0.7	20	30
PGM5539	150	100	-30 ~ +70	540	30 ~ 90	5.0	0.8	20	30
PGM5549	150	100	-30 ~ +70	540	45 ~ 140	10.0	0.8	20	30
PGM5616D	150	100	-30 ~ +70	560	5 ~ 10	1.0	0.6	20	30
PGM5626D	150	100	-30 ~ +70	560	8 ~ 20	2.0	0.6	20	30
PGM5637D	150	100	-30 ~ +70	560	16 ~ 50	5.0	0.7	20	30
PGM5639D	150	100	-30 ~ +70	560	30 ~ 90	10.0	0.8	20	30
PGM5649D	150	100	-30 ~ +70	560	50 ~ 160	20.0	0.8	20	30
PGM5659D	150	100	-30 ~ +70	560	150 ~ 300	20.0	0.8	20	30

<http://www.ite.tul.cz>

<http://www.tme.eu/>







# NTC thermistor (thermistors)



## 4. Electrical characteristics

	Item	Symbol	Test conditions	Unit	Specification
4.1	Zero Power Resistance at 25°C	R <sub>25</sub>	T <sub>a</sub> =25±0.05°C Test Power≤0.1mW Test in fluid liquid	KΩ	5±1%
4.2	B-value	B <sub>25/50</sub>	$B=[(T_a \times T_b)/(T_b - T_a)] \times \ln(R_a/R_b)$ T <sub>b</sub> =50°C±0.1°C	K	3470±1%
4.3	Thermal dissipation Coefficient	δ	In still air	mW/°C	≥2



R25=5K Ω TOLERANCE: ± 1%      B25/50=3470K TOLERANCE: ± 1% ( P219-2 )							
TEMP (°C)	RESISTANCE (K Ω)			RESISST-TOL (%)		TEMP-TOL (°C)	
	MIN	CENTER	MAX	△R	-△R	△T	-△T
-55	342.601	361.195	380.760	5.416	-5.147	0.740	-0.704
-54	314.746	331.544	349.203	5.326	-5.066	0.737	-0.701
-53	289.660	304.863	320.832	5.238	-4.986	0.733	-0.698
-52	267.018	280.802	295.267	5.151	-4.908	0.730	-0.695
-51	246.541	259.059	272.185	5.066	-4.832	0.726	-0.693
-50	227.984	239.371	251.301	4.983	-4.756	0.723	-0.690
-49	211.136	221.509	232.368	4.902	-4.682	0.719	-0.687
-48	195.810	205.274	215.173	4.822	-4.610	0.715	-0.684
-47	181.844	190.490	199.527	4.744	-4.538	0.711	-0.680
-46	169.094	177.004	185.266	4.667	-4.468	0.707	-0.677
-45	157.436	164.682	172.244	4.591	-4.399	0.703	-0.674

<http://www.tme.eu/>

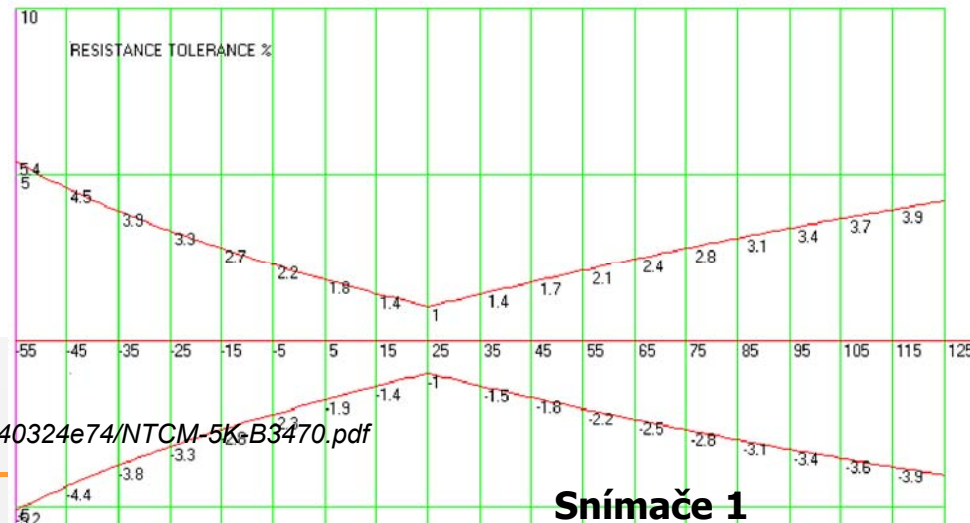
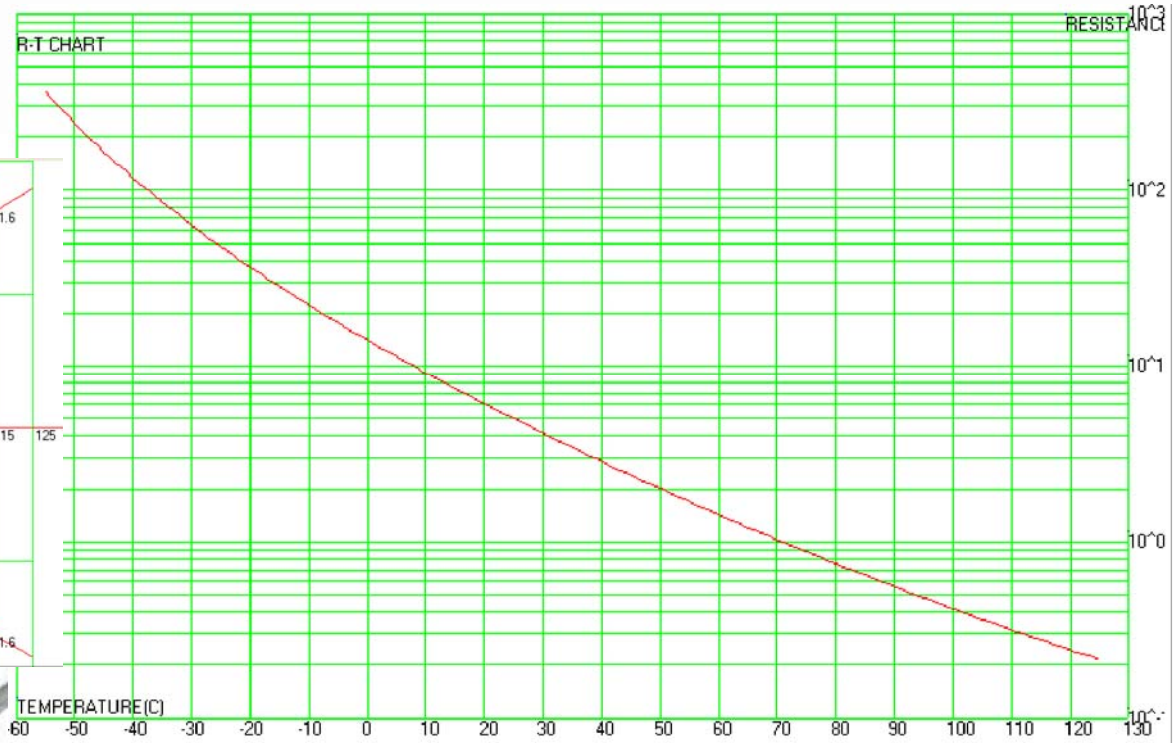
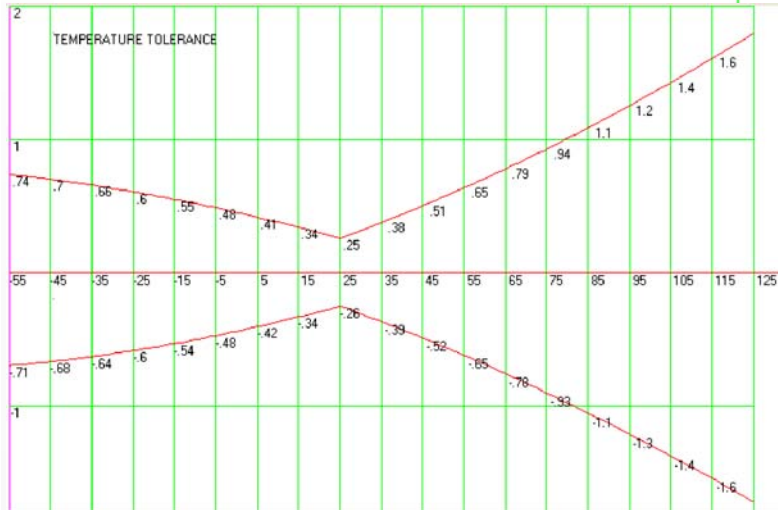
<http://www.tme.eu/cz/Document/0198c5dc0c1bf0e23b8e3b7440324e74/NTCM-5K-B3470.pdf>

<http://www.ite.tul.cz>





# NTC thermistor (thermistor)



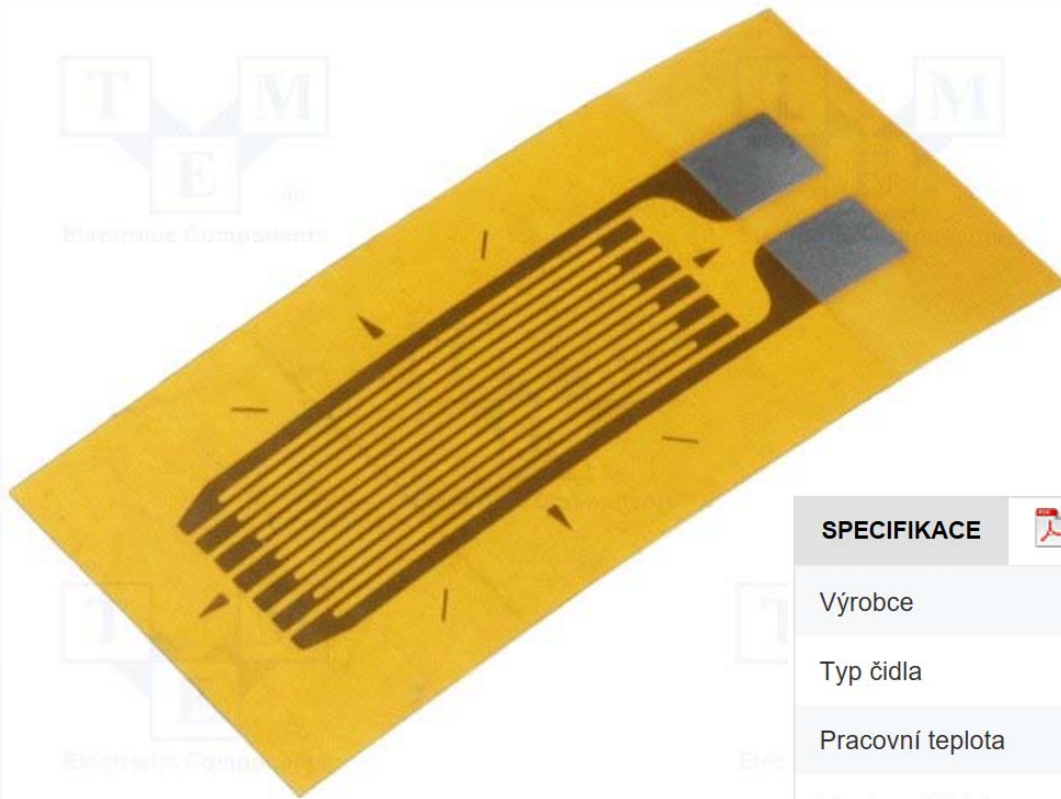
<http://www.tme.eu/>

<http://www.tme.eu/cz/Document/0198c5dc0c1bf0e23b8e3b7440324e74/NTCM-5k-B3470.pdf>

**Snímače 1**



# Tenzometr (strain gauge)



SPECIFIKACE	TECHNICKÉ INFORMACE	MULTIMEDIA
Výrobce	TENMEX	
Typ čidla	fóliový tenzometr	
Pracovní teplota	-40...200°C	
Vlastnosti čidel	konstanta tenzometru 2,15	
Vnější rozměry	4.5 x 10 x 0.06mm	
Max. deformace	5%	
Tolerance	±0,5%	
Připojení	pájecí plošky	

<http://www.tme.eu/>

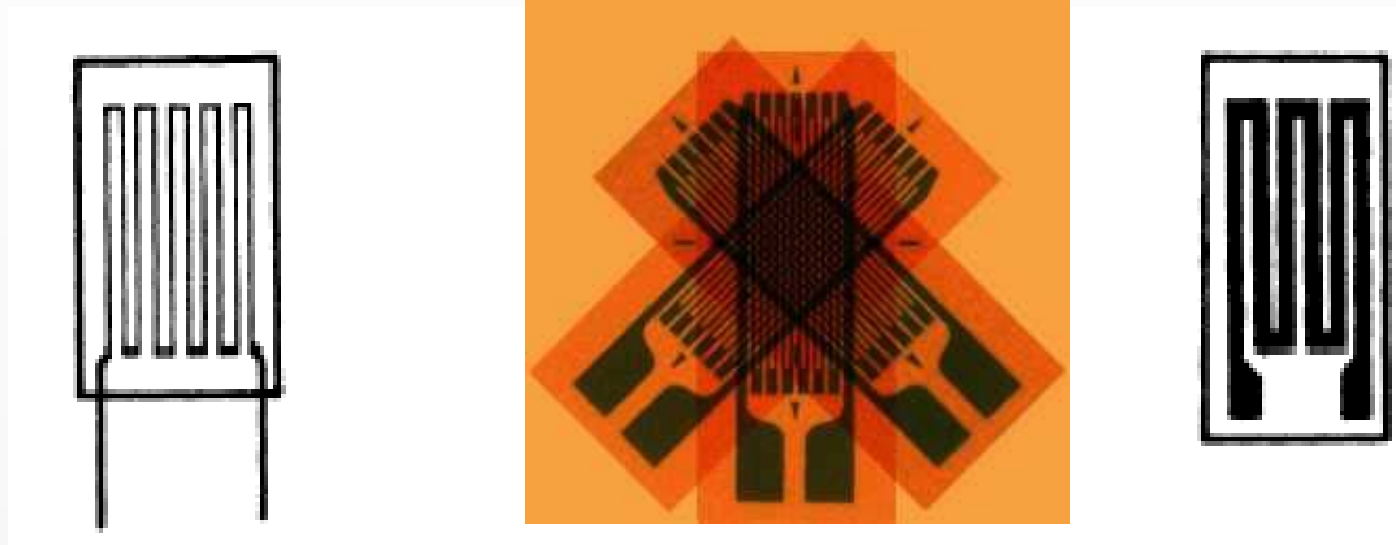
<http://www.ite.tul.cz>





# Tenzometr (strain gauge)

## Drátkové a foliové odporové tenzometry



$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Změna odporu závislá na změnách způsobených deformací tenzometru, tj. na změnách geometrických rozměrů nebo na změnách krystalografické orientace tenzometru.

...i polovodičové provedení



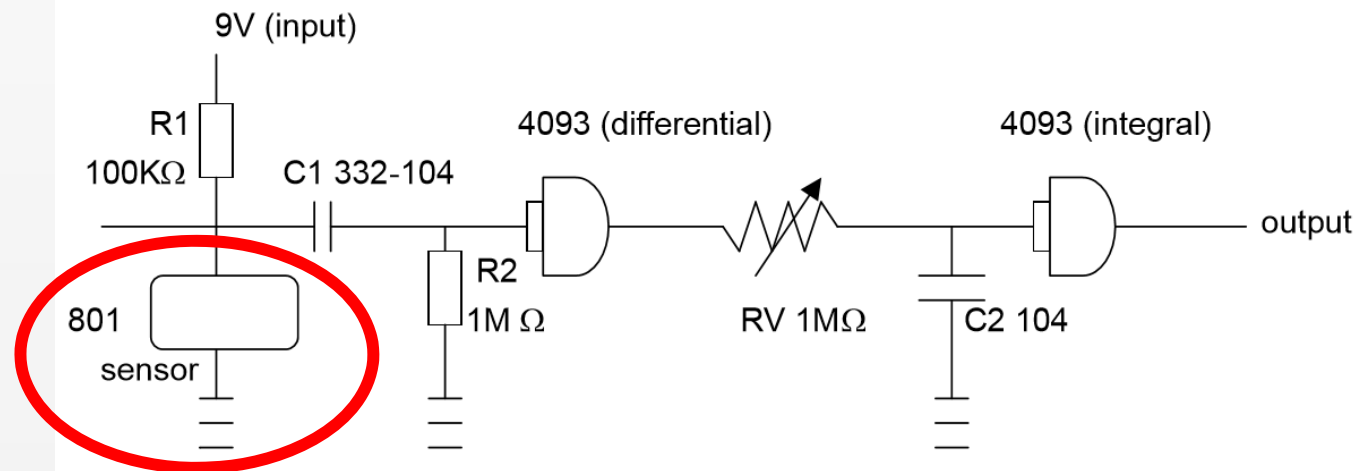


# Čidlo vibrací (shock sensor)



SPECIFIKACE	TECHNICKÉ INFORMACE (1)	MULTIMEDIA
Výrobce	SENCERA	
Typ čidla	vibrační a pohybu	
Napájecí napětí	9V DC	
Pracovní teplota	-40...220°C	
Vlastnosti čidel	detekují pohyb nebo vibrace	
Vnější rozměry	Ø7 x 9.15mm	
Konfigurace výstupu	SPST-NO	

## - Reference circuit:



<http://www.tme.eu/>

<http://www.ite.tul.cz>





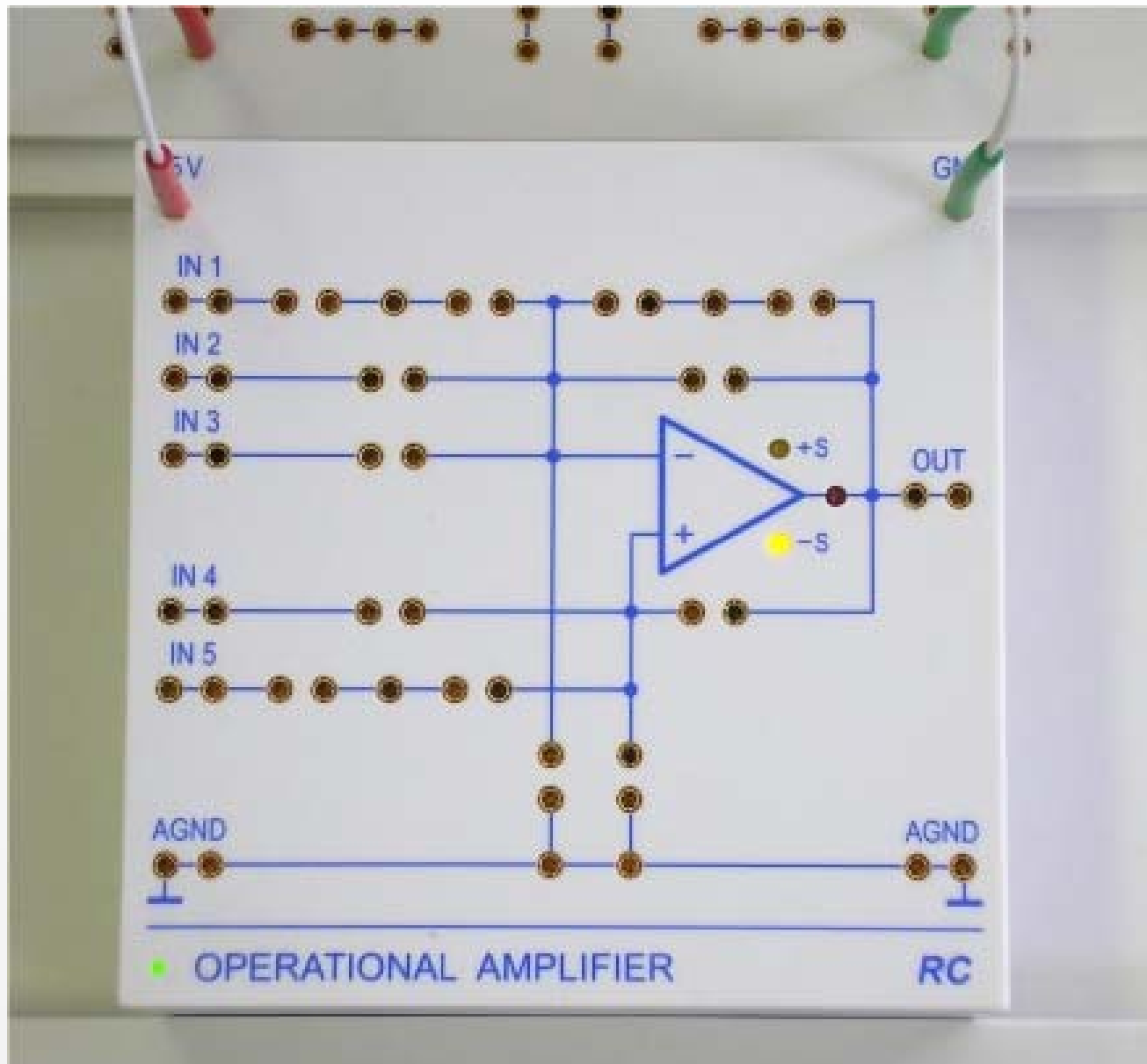
# Pár poznámek ke cvičením...

<http://www.ite.tul.cz>



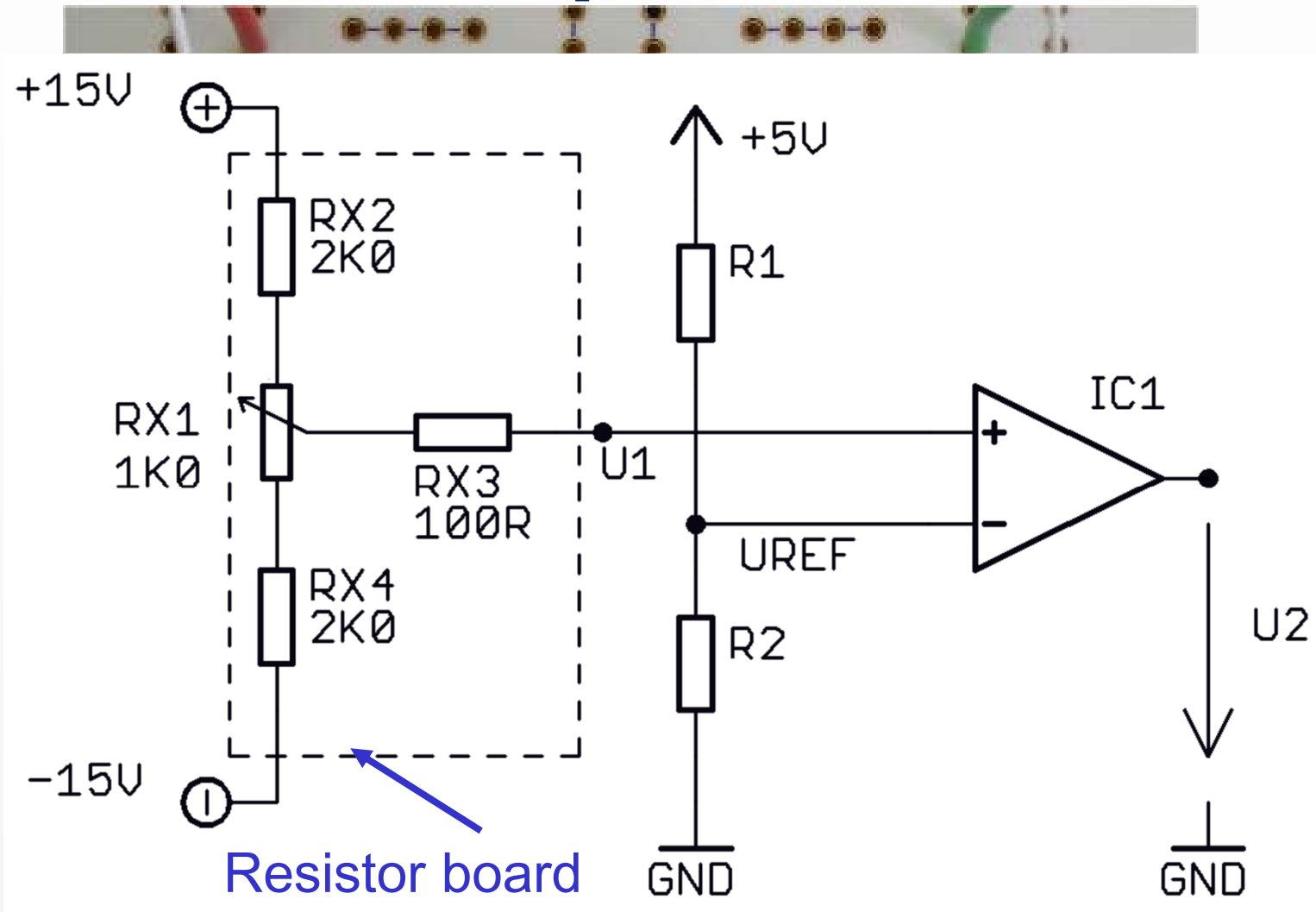


# OpAmp





# Komparátor



Resistor board

OPERATIONAL AMPLIFIER

RC





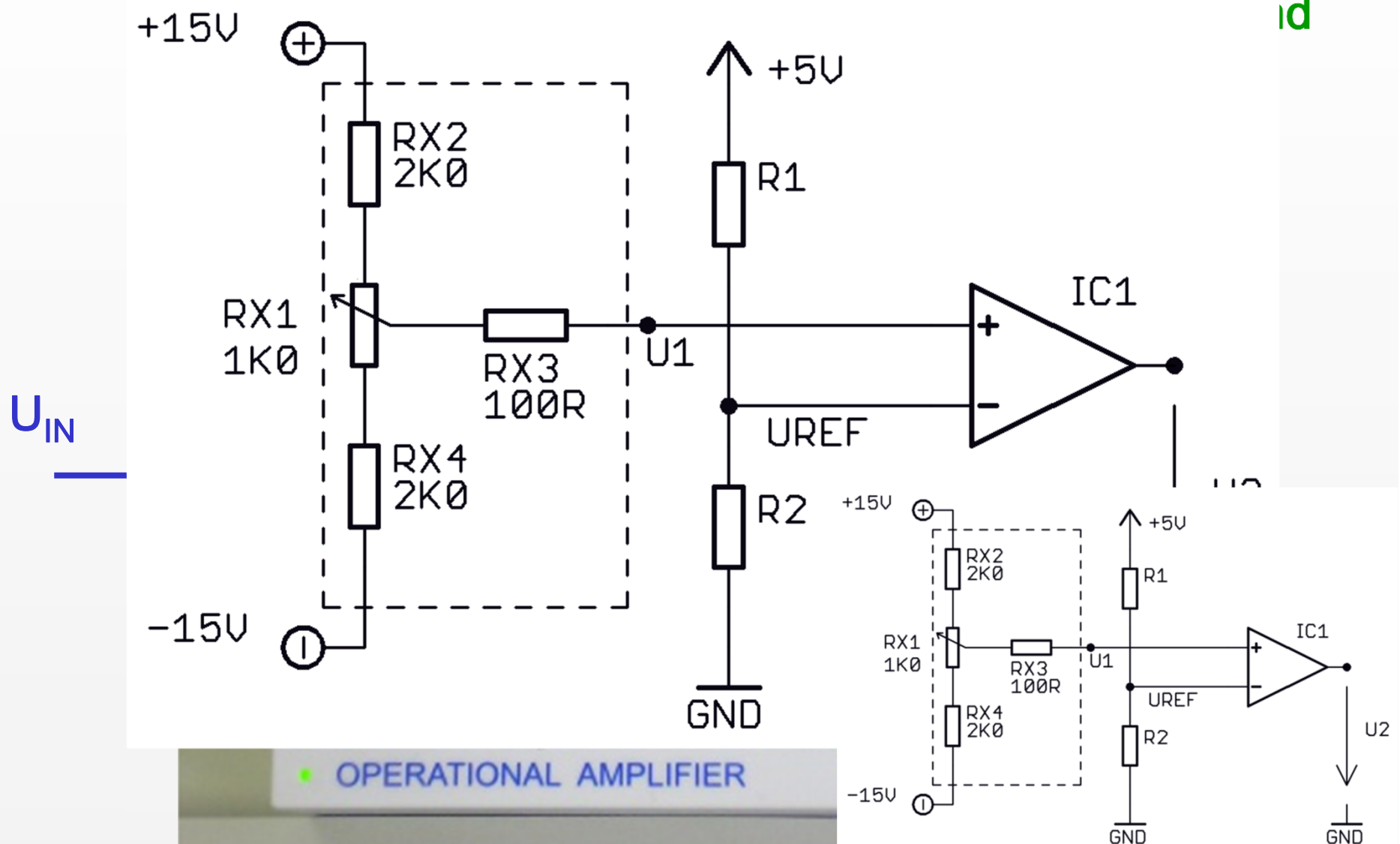


# Komparátor

V<sub>CC</sub>

U<sub>REF</sub>

id



OPERATIONAL AMPLIFIER

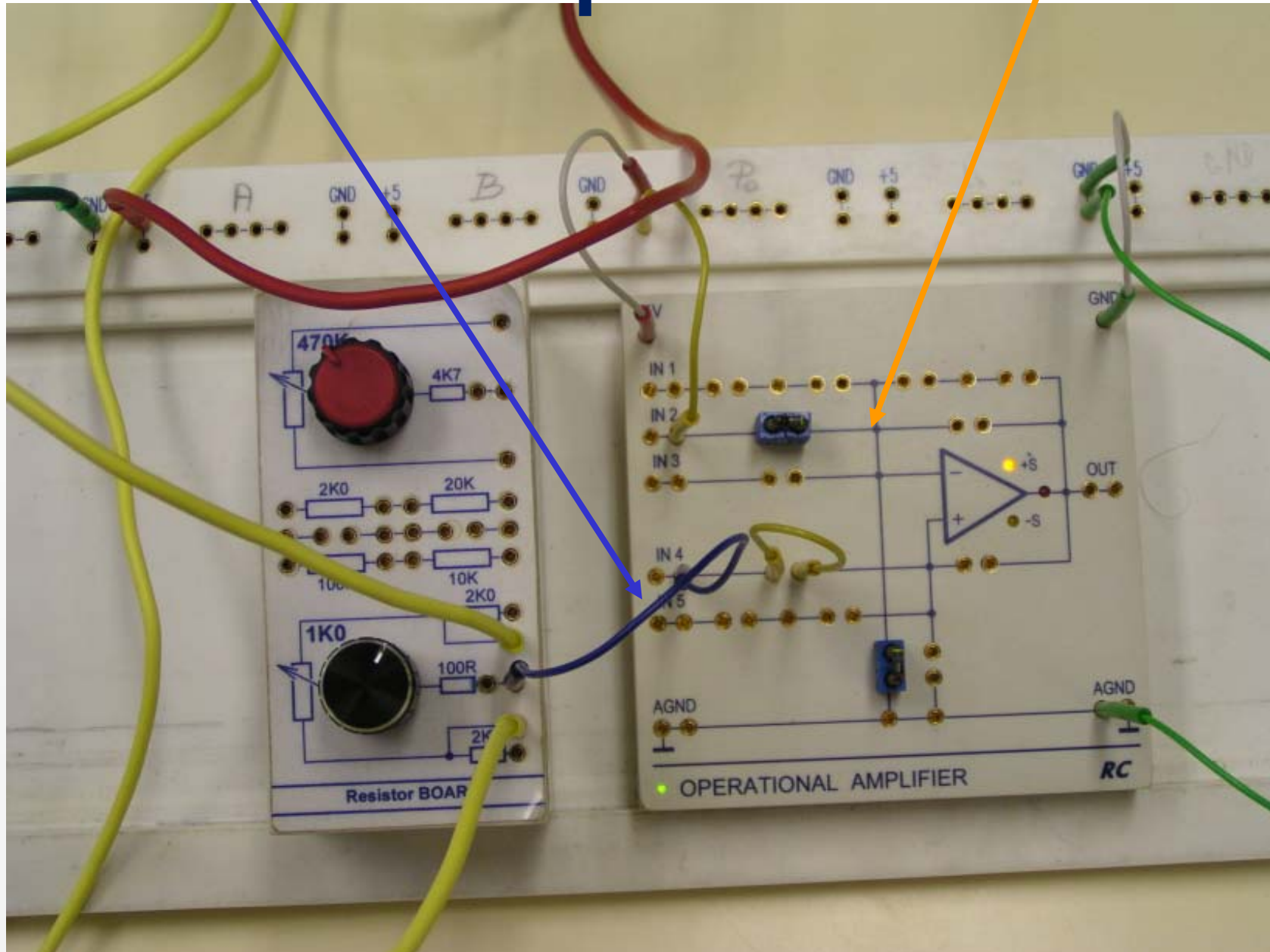




$U_{IN}$

# Komparátor

$U_{REF}$



<http://www.ite.tul.cz>



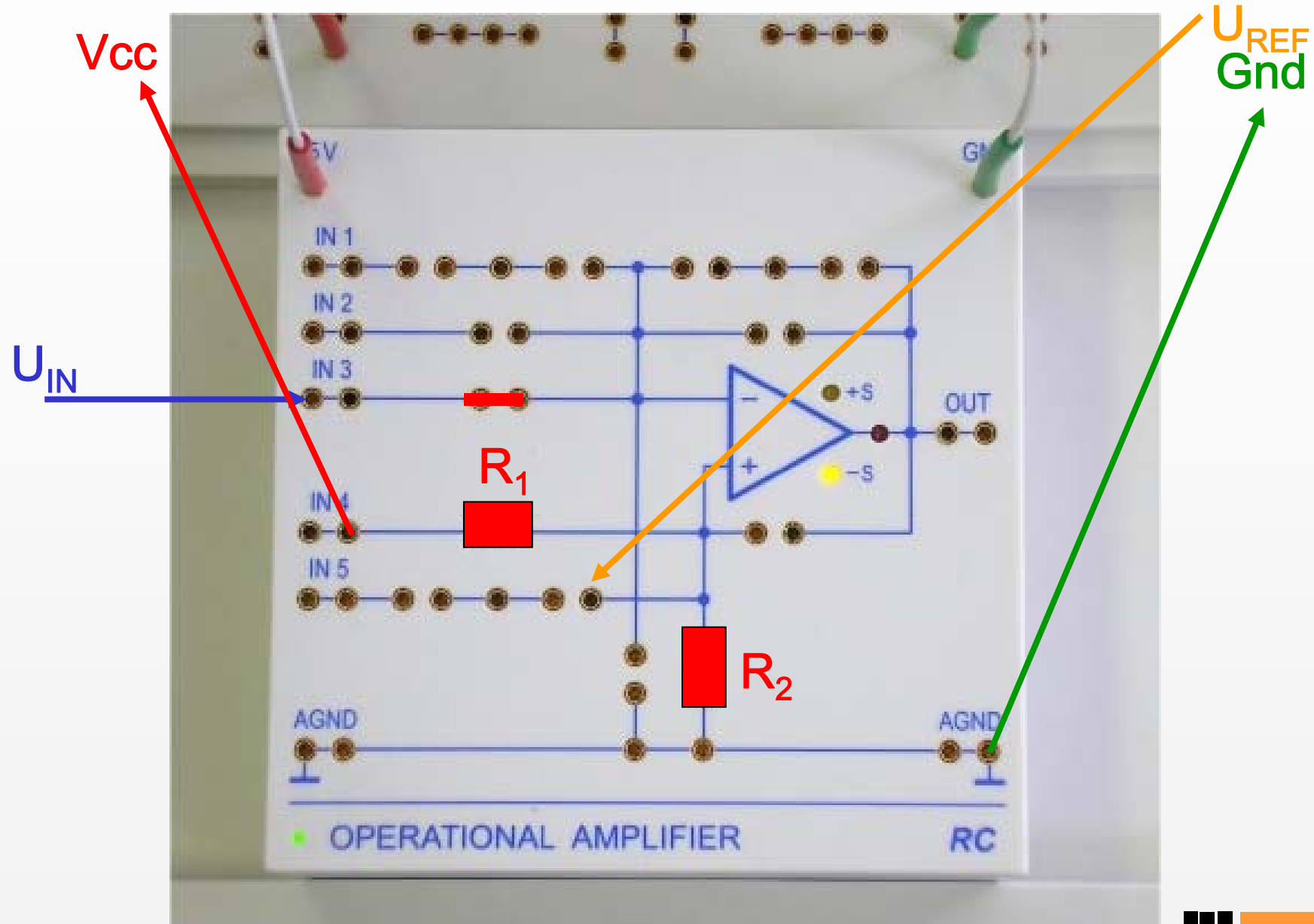


# Zapojení zdrojů



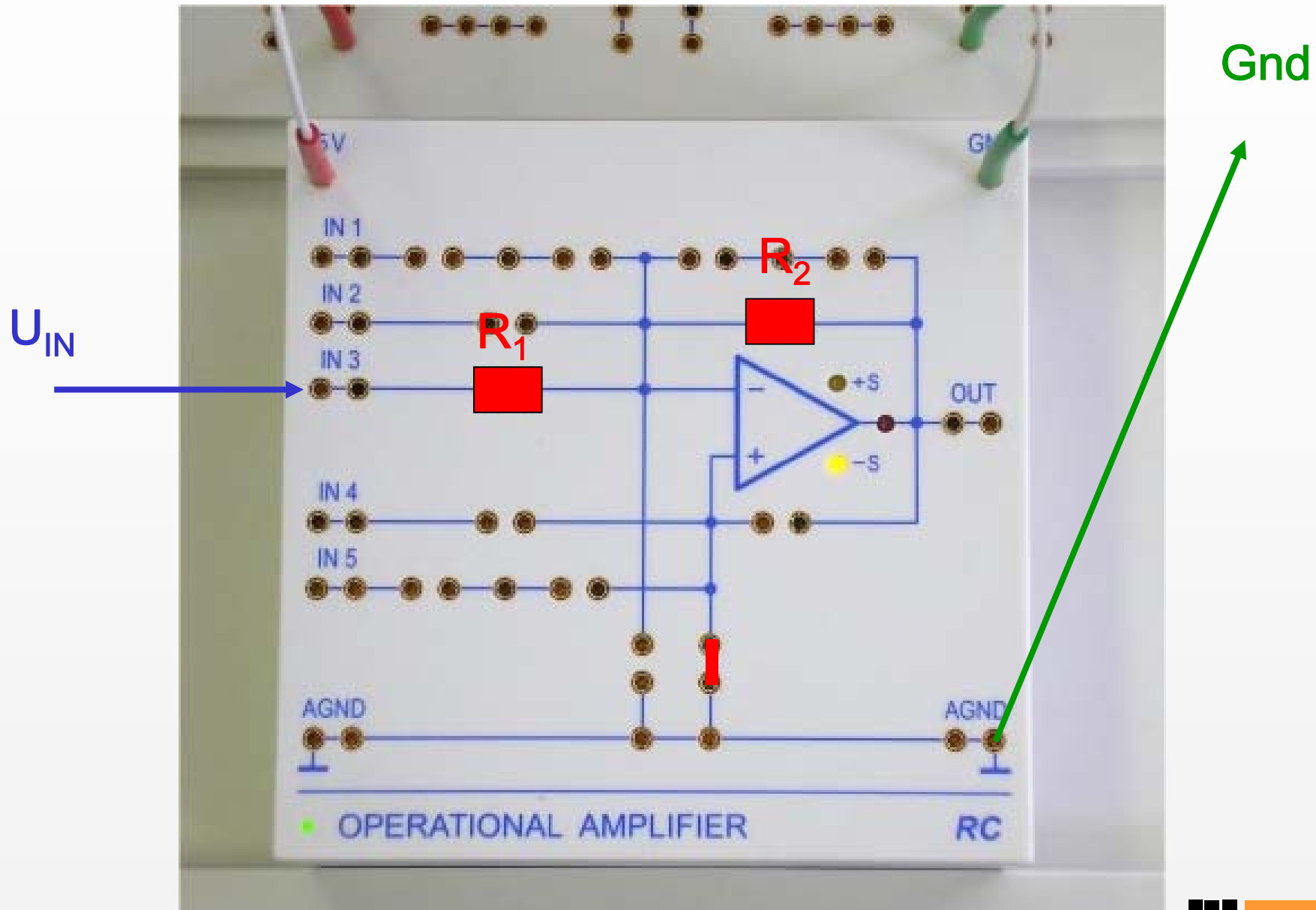


# Komparátor (záměna vstupů OpAmp)



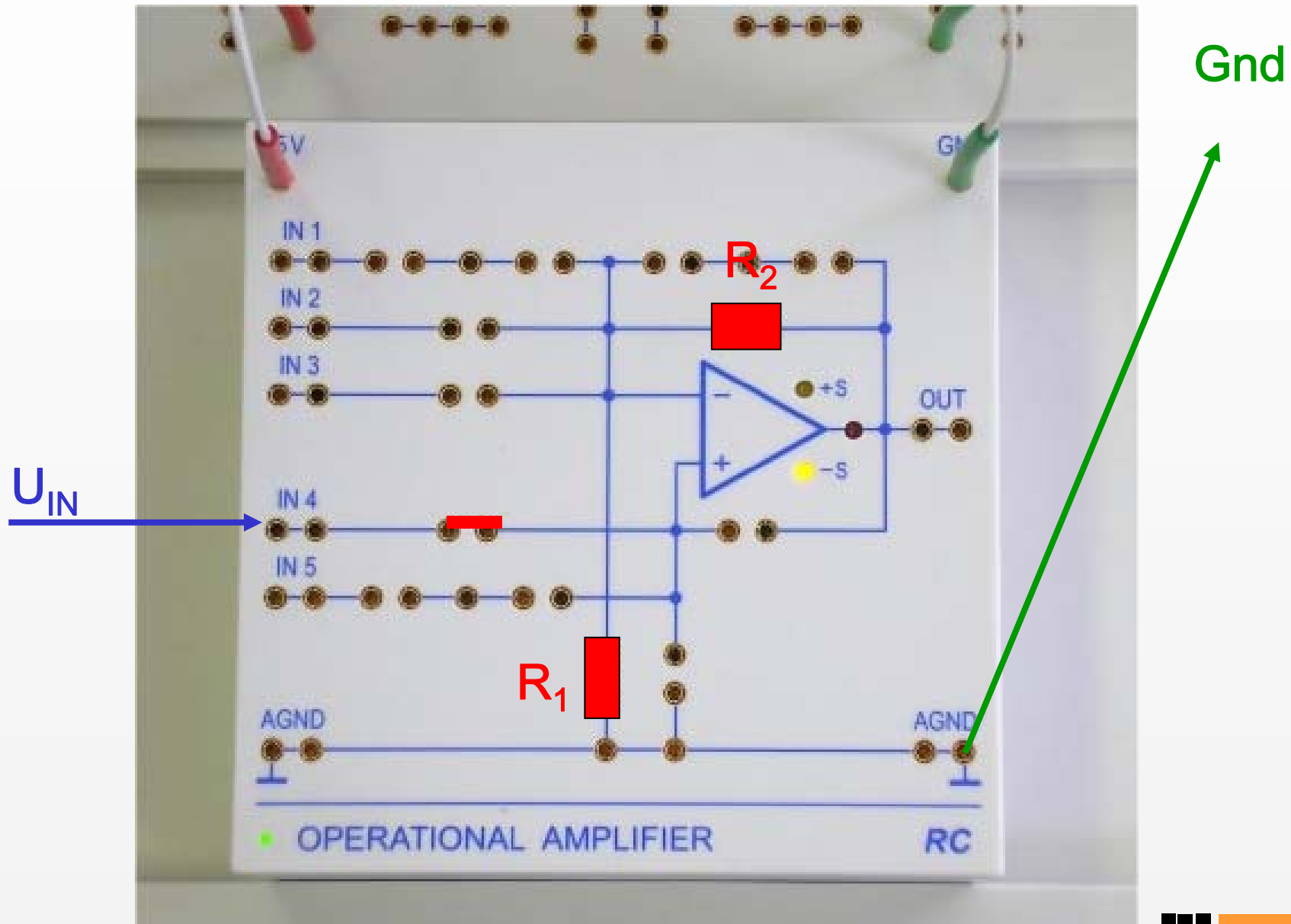


# ZZV - INV





# ZZV - NEINV





Děkuji za pozornost...

Zdeněk Plíva  
[zdenek.pliva@tul.cz](mailto:zdenek.pliva@tul.cz)  
Tel.: 3536

<http://www.ite.tul.cz>

