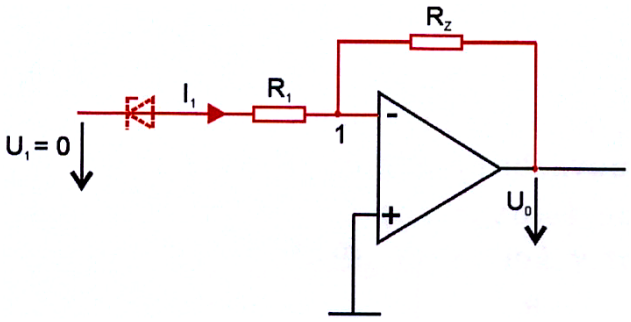
# Niektoré aplikácie operačných zosilňovačov :)

**Prúdovo napäťový prevodník**

Zapojenie podľa obrázku 7 prevádza vstupný prúd  na výstupné napätie.




**Obrázok 7 – Prúdovo napäťový prevodník**

***Poznámka:***

Zenerova dióda nakreslená čiarkovane vo vstupe nesúvisí s princípom činnosti obvodu. Slúži ako príklad jeho použitia v prípade, že sa pomocou obvodu budú merať voltampérové charakteristiky (funkcia i f(u)) Zenerovej diódy.

**Operačné rovnice:**

Pre ideálny zosilňovač z I. Kirchhoffovho zákona bude:

$$I_1 + I_z = 0 \quad \text{a)}$$

Pre napätie na vstupe a na výstupe (z Ohmovho zákona) platí:

$$U_1 = 0$$

$$U_0 = R_z \times I_z$$

a z toho:

$$I_z = \frac{U_0}{R_z}$$

Po dosadení do (a):

$$I_1 = -I_B$$

$$I_1 = -\frac{U_0}{R_z}$$

Po úprave dostaneme operačnú rovnicu v tvare:

$$U_0 = -R_z \times I_1$$

Z operačnej rovnice vyplýva, že výstupné napätie $U_0$ je priamo úmerné vstupnému prúdu $I_1$, konštantou úmernosti je odpor $R_z$.

Čím väčšia bude hodnota odporu $R_z$, tým väčšie bude zosilnenie a tým menší môže byť vstupný prúd.

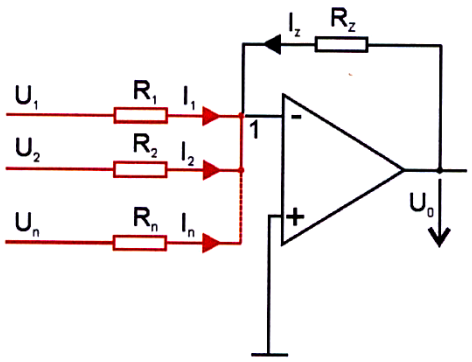
Vstupný aj výstupný odpor tejto siete je nulový.

Týmto obvodom sa môžu ľahko merať aj veľmi malé prúdy.

*Copyright © 2013 - 2026 Encyklopédia poznania*

**Sumátor**

Pri zapojení podľa obrázku 8.8 tečie do invertujúceho vstupu súčet prúdov z jednotlivých vstupov 1 až n.




**Obrázok 8 – Sumátor**

**Operačná rovnica**

Pre virtuálnu zem platí:

$$i_1 + i_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + i_n + i_z = 0$$

a po úprave:

$$i_1 + i_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + i_n = -i_z \quad \text{a)}$$

Napätie na jednotlivých vstupoch a na výstupe:

$$U_1 = R_1 \times I_1 \rightarrow I_1 = \frac{U_1}{R_1}$$

$$U_2 = R_2 \times I_2 \rightarrow I_2 = \frac{U_2}{R_2}$$

$$U_n = R_n \times I_n \rightarrow I_n = \frac{U_n}{R_n}$$

$$U_0 = R_z \times I_z \rightarrow I_z = \frac{U_0}{R_z}$$

po dosadení do (a):

$$\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + \frac{U_n}{R_n} = -\frac{U_0}{R_z}$$

a po úprave dostaneme operačnú rovnicu v tvare:

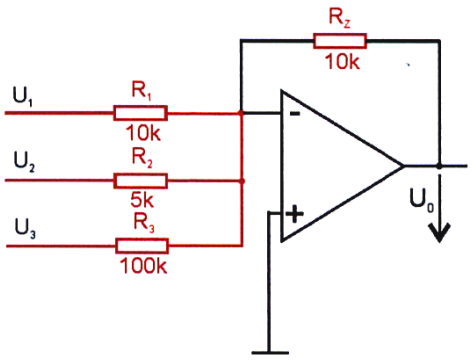
$$U_0 = -(U_1 \times \frac{R_z}{R_1} + U_2 \times \frac{R_z}{R_2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots U_n \times \frac{R_z}{R_n})$$

*Copyright © 2013 - 2026 Encyklopédia poznania*

Z operačnej rovnice vyplýva, že výstupné napätie $U_0$ tvorí záporný súčet vstupných napätí vynásobený príslušnými váhami, danými pomerom spätnoväzbového odporu a príslušného odporu vstupného.

Odpory $R_1$ až $R_2$ sa nazývajú sčítacie.

Váhy jednotlivých odporov udávajú, ako sa jednotlivé vstupné napätia podieľajú na výstupnom napätí.




**Obrázok 8a – Váhy jednotlivých vstupných napätí**

Napríklad pre zapojenie na *obrázku 8.8a* budú jednotlivé váhy takéto:

$$\frac{R_z}{R_1} = \frac{10}{10} = 1 \quad \frac{R_z}{R_2} = \frac{10}{5} = 2 \quad \frac{R_z}{R_3} = \frac{10}{100} = 0{,}1$$

Ak napríklad bude platiť

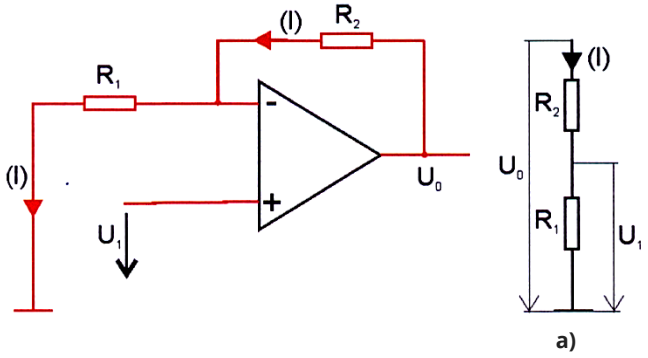
$$U_1 = U_2 = U_3 = +1V$$

potom po dosadení do operačnej rovnice dostaneme pre výstupné napätie $U_0$

$$U_0 = -(1 + 2 + 0{,}1) = -3{,}1V$$

**Neinvertujúci zosilňovač**

Ako vyplýva z obrázku 9, záporná spätná väzba je uzavretá cez odporový delič tvorený rezistormi $R_1$ a $R_2$. Vstupný signál je privedený na neinvertujúci vstup. Ak predpokladáme nulové diferenčné napätie, musí byť na obidvoch vstupoch rovnaký signál. Keďže je vstupný prúd ideálneho zosilňovača nulový, spätnoväzbový odporový delič je nezaťažený.




**Obrázok 9 – Neinvertujúci napäťový zosilovač**

Operačná rovnica:

Na obrázku 9a je odporový delič s príslušnými napätiami.

Riešenie odporového deliča (riešime ho ako nezaťažený) vyplýva z Ohmovho zákona:

$$U_0 = I \times (R_1 + R_2) \rightarrow I = \frac{U_0}{R_1 + R_2}$$

Copyright © 2013 - 2026 Encyklopédia poznania

$$U_1 = I \times R_1 \rightarrow I = \frac{U_1}{R_1}$$

Ak sa rovnajú ľavé strany rovnice, rovnajú sa aj ich strany pravé, teda:

$$\frac{U_0}{R_1 + R_2} = \frac{U_1}{R_1}$$

a úpravou získame takýto tvar operačnej rovnice:

$$U_0 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \times U_1$$

Vlastnosti neinvertujúceho operačného zosilňovača:

- vstupný odpor je (ideálne) nekonečný, výstupný odpor je nulový,
- zosilňovač neobracia znamienko,
- nemožno dosiahnuť zosilnenie menšie než 1,
- pre zhodné odpory $R_1 = R_2 = R$ platí:

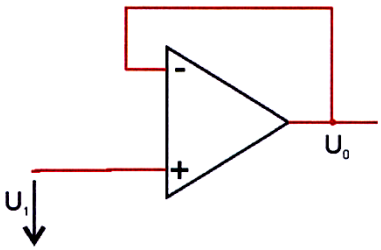
$$U_0 = (\frac{R}{R} + 1) \times U_1 = (1 + 1) \times U_1 = 2 \times U_1$$

to znamená, že zosilnenie je 2 (na rozdiel od invertujúceho zosilňovača, ktorý má v tomto prípade prenos -1).

Neinvertujúci zosilňovač sa používa pre svoj vysoký vstupný odpor predovšetkým na meracie účely, pretože minimálne zaťažuje meraný signál.

**Impedančný prevodník**

Ide o špeciálny prípad neinvertujúceho zosilňovača, obrázok 10), kde je hodnota spätnoväzbového odporu nulová.




**Obrázok 10 – Impedančný prevodník**

Operačná rovnica:

V prípade, že platí $R_2 = 0$ , bude mať operačná rovnica tvar:

$$U_0 = (\frac{R_2}{R_1} + 1) \times U_1$$

a pre $R_2 = 0$ bude:

$$U_0 = U_1$$

Z rovnice vyplýva, že výstupné napätie sa rovná vstupnému, a preto sa toto zapojenie nazýva tiež napäťový

sledovač.

Používa sa predovšetkým ako oddeľovací stupeň.

**Poznámka:**

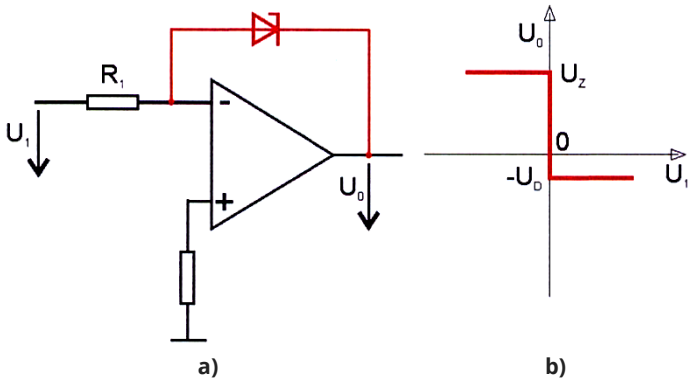
V tomto ani v ďalších druhoch zapojenia operačných zosilňovačov už nebudeme uvádzať odvodenie operačnej rovnice, keďže by sme museli použiť matematický aparát, ktorý sa v tomto type škôl obvykle nepreberá (derivácia, integrácia a podobne).

### Nelineárne operačné siete

Súčasťou operačnej siete môžu byť okrem ohmických odporov aj nelineárne prvky, napríklad diódy alebo tranzistory. Týmto spôsobom možno vytvárať rôzne meniče, obmedzovače, násobičky, deličky a podobne. Uvádzame dva jednoduché príklady.

#### 1. Jednosmerný obmedzovač napätia so Zenerovou diódou

Na *obrázku 11a* je zapojenie obmedzovača so Zenerovou diódou. Dióda je zapojená v spätnej väzbe vzhľadom na výstup v závernom smere.




**Obrázok 11 – Obmedzovač so Zenerovou diódou**

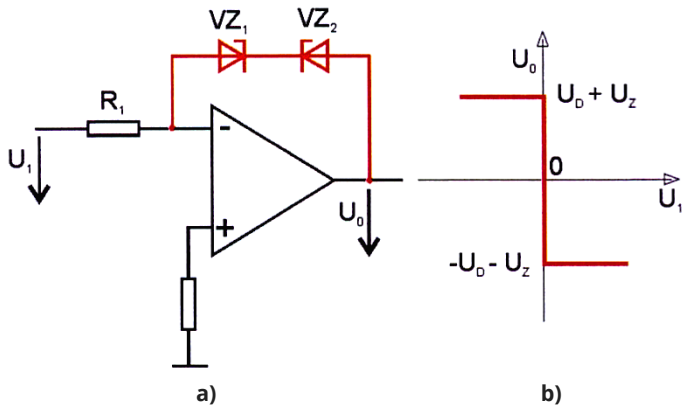
Na *obrázku 11b* je prevodná charakteristika, ktorá v tomto prípade udáva závislosť medzi napätím na výstupe $U_0$ a napätím na vstupe $U_1$.

Z tejto charakteristiky vyplýva:

- pri kladnom vstupnom napätí ($+U_1$), sa výstup vybudí do zápornej polarity ($-U_0$), dióda bude zapojená v priepustnom smere a výstupné napätie sa bude rovnať úbytku napätia na dióde (prahové napätie asi 0,6 V). Napätie bude teda obmedzené na hodnotu ($-U_D$),
- pri zápornom vstupnom napätí ($-U_1$) sa výstup vybudí do kladnej polarity ($+U_0$), dióda bude zapojená v závernom smere a výstupné napätie sa bude rovnať úbytku napätia na dióde v závernom smere $U_Z$. Napätie bude teda obmedzené na hodnotu ($+U_Z$).

#### 2. Obojsmerný obmedzovač napätia s dvoma Zenerovými diódami

Na *obrázku 8.12a* je schéma obojsmerného obmedzovača, ktorá je takmer zhodná s predchádzajúcim. Len v spätnej väzbe sú zapojené dve Zenerove diódy proti sebe.




**Obrázok 12 – Obmedzovač s dvomi Zenerovými diódami**

Copyright © 2013 - 2026 Encyklopédia poznania

Na *obrázku 12b* je prevodná charakteristika, z ktorej vyplýva:

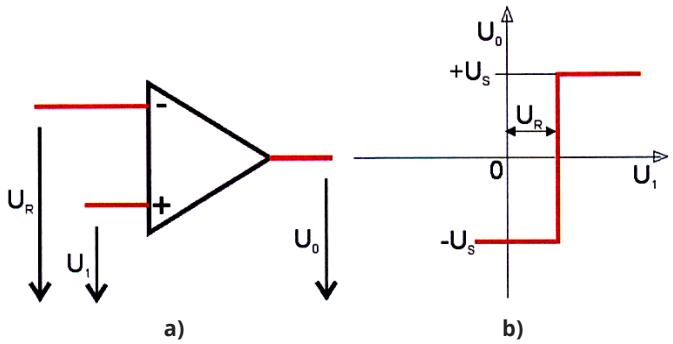
- ak bude vstupné napätie (+$U_1$) kladné, bude výstup vybudený záporne (-$U_0$). V tomto prípade bude dióda $VZ_1$ zapojená v priepustnom smere a je na nej úbytok napätia $U_D$ a dióda $VZ_2$ je zapojená v závernom smere a je na nej úbytok napätia $U_Z$.

Celkový úbytok napätia je daný súčtom $U_D + U_Z$ a napätie bude teda obmedzené hodnotou [-($U_D$+$U_Z$)],

- v prípade záporného vstupného napätia (-$U_1$) bude situácia opačná a výstup bude obmedzený hodnotou napätia $U_Z$+$U_D$.

**Komparátor bez hysterézie**

Komparátory, *obrázok 13a* slúžia na porovnávanie vstupného napätia $U_1$ s porovnávacím (referenčným) napätím $U_R$. Ich výstup je iba dvojstavový, a to buď kladné, alebo záporné saturačné napätie. Keďže operačný zosilňovač nemá v tomto prípade zápornú spätnú väzbu, už nepatrný rozdiel medzi vstupnými napätiami spôsobí jeho limitáciu.




a) b)

**Obrázok 13 – Neinvertujúci komparátor**

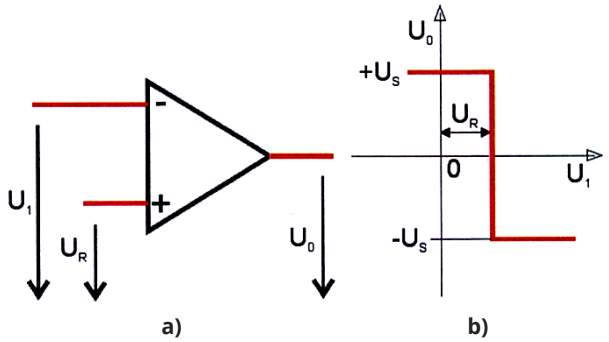
Tento komparátor je zapojený ako neinvertujúci, vstupné napätie je privedené na svorku (+) a referenčné na svorku (-).

Ako vyplýva z prevodnej charakteristiky na *obrázku 13b*, platí:

- ak bude vstupné napätie $U_1$ kladné a ak bude platiť $U_1$=$U_R$, prejde výstup do kladnej saturácie (+$U_S$),
- ak bude vstupné napätie $U_1$ záporné a ak bude platiť (-$U_1$)=$U_R$, prejde výstup do zápornej saturácie (-$U_S$).

Komparátor možno zapojiť tiež ako invertujúci, obrázok 14a, a to tak, že vstupné napätie $U_1$ je privedené na svorku (-) a referenčné napätie $U_R$ na svorku (+).

Činnosť úplne jasne vyplýva z prevodnej charakteristiky na obrázku 14b.



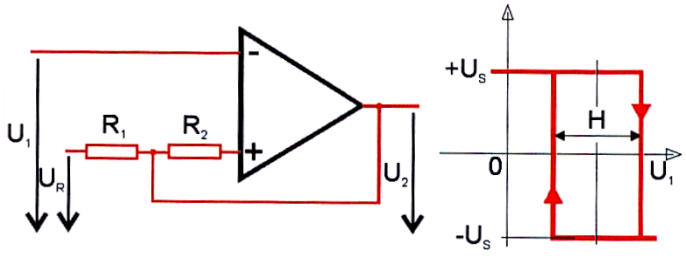

a) b)

**Obrázok 14 – Invertujúci komparátor**

**Schmittov preklápací obvod**

V konštrukcii s operačným zosilňovačom ide o komparátor so zavedenou hysteréziou, obrázok *15a*. Vstupné napätie $U_1$ je privedené na svorku (-). Referenčné napätie $U_R$ nie je na svorku (+) privedené priamo, ale prostredníctvom odporového deliča tvoreného rezistormi $R_1$ a $R_2$.

*Copyright © 2013 - 2026 Encyklopédia poznania*




a) b)

**Obrázok 15 – Schmittov preklápací obvod**

Z prevodnej charakteristiky na *obrázku 15b* vyplýva:

- Schmittov preklápací obvod má dve preklápacie úrovne,
- ak presiahne vstupné napätie úroveň $U_{P+}$, výstup sa preklopí (v tomto prípade) smerom k zápornému saturačnému napätiu ($-U_S$),
- pri poklese napätia pod hodnotu $U_{P+}$ obvod nereaguje až do času, kým napätie nepoklesne pod hodnotu $U_{P-}$, keď sa preklopí naspäť ku kladnému saturačnému napätiu ($+U_S$).

Rozdiel medzi preklápacími napätiami $U_{P+}$ a $U_{P-}$ určuje veľkosť hysterézie H.

***Poznámka:***

Slovo hysterézia má viac významov. Napríklad vo fyzike je to označenie skutočnosti, že zmeny v danom fyzikálnom jave sú vratné, alebo označenie závislosti momentálneho fyzikálneho stavu od predchádzajúcich stavov. Graf priebehu fyzikálnych zmien pri cyklickom opakovaní podmienok sa nazýva hysterézna krivka.




*Operačné zosilňovače*



Operačný zosilňovač jednoducho, Schmittov preklápací obvod