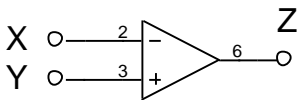


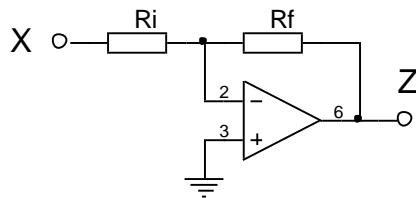
Ojačevalnik, seštevalnik ter tribitni digitalno-analogni pretvornik

Osnovni element v analogni računski tehniki je operacijski ojačevalnik. To je ojačevalnik, ki ima veliko ojačenje (ojačevalni faktor A je od nekaj tisoč do milijon) v širokem frekvenčnem obsegu in veliko vhodno upornost. Izhodna napetost Z je takole odvisna od vhodnih napetosti X in Y (slika 1) :

$$Z = A \cdot (Y - X)$$



Slika 1: Operacijski ojačevalnik



Slika 2: S povratno zanko definiramo ojačanje

Z operacijskim ojačevalnikom in pasivnimi elementi (uporniki in kondenzatorji) je mogoče sestaviti vezja, ki zmorejo različne računske operacije. Tako ima na primer vezje, ki ga kaže slika 2, ojačevalni faktor $-R_F/R_I$, o čemer se hitro prepričamo. Pri izhodni napetosti Z je vhodna napetost na invertiranem vhodu v operacijski ojačevalnik $-Z/A$, torej gre z rastočim A proti 0, če le je Z omejen. Vhodna napetost X požene tok $I_I = X/R_I$ skozi vhodni upornik R_I . Ker v operacijski ojačevalnik zaradi velike vhodne upornosti tok ne teče, teče enak tok I_I skozi upornik R_F , kjer ga poganja izhodna napetost Z . Iz enakosti obeh tokov sledi:

$$-\frac{Z}{R_F} = \frac{X}{R_I} \quad \text{Od tod dobimo:} \quad Z = -\frac{R_F}{R_I} \cdot X$$

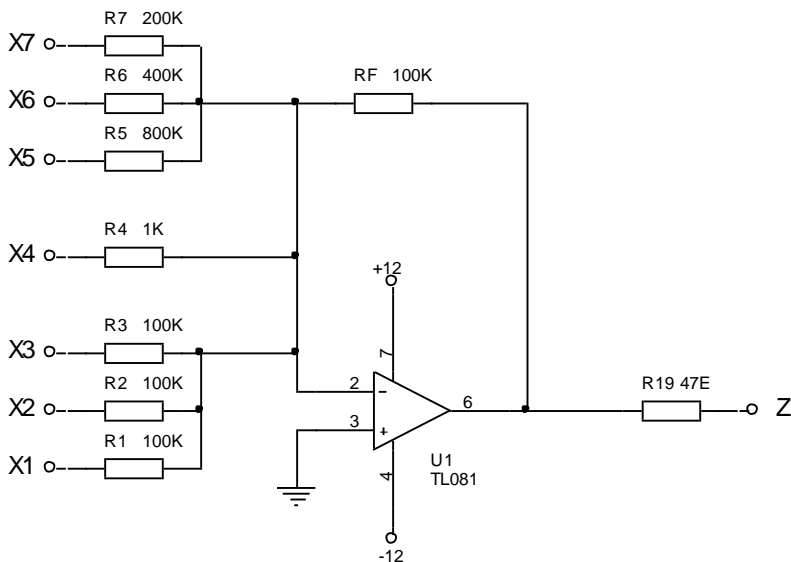
Podobno razmišljanje velja za vezje na sliki 3. Tokrat uporabimo Kirchoffov zakon za tokove, ki pravi, da je vsota vseh tokov, ki teko v vozlišče, enaka nič. Napišimo torej vsoto tokov, ki teko skozi upornike $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ in R_F . Ta mora biti 0. Iz te zahteve dobimo:

$$Z = -\left(\frac{R_F}{R_1} X_1 + \frac{R_F}{R_2} X_2 + \frac{R_F}{R_3} X_3 + \frac{R_F}{R_4} X_4 + \frac{R_F}{R_5} X_5 + \frac{R_F}{R_6} X_6 + \frac{R_F}{R_7} X_7 \right)$$

Vezje torej sešteva vhodne signale, vendar vsakega upošteva s primerno utežjo.

Če potrebujemo seštevalnik z enakimi utežmi za vhodne signale, izberemo enake vrednosti vhodnih upornikov. Tako so vezju izbrani vhodni uporniki R_1 do R_3 , ojačanje

na te vhode priključenih signalov je minus ena. Če potrebujemo ojačevalnik z večjim ojačanjem, lahko izberemo vhodni upornik, ki je manjši od upornika R_F v povratni vezavi; tako je izbran upornik R_4 , ojačanje signala na tem vhodu znaša -100 .



Slika 3: Eksperimentalno vezje

Naloga: Preveri delovanje ojačevalnika s slike 3. Na vhode priključi napetost sinusne oblike različnih frekvenc in opazuj amplitudo in fazo signala na izhodu. Poskusiš lahko tudi z več signali hkrati na vhodih. Potem priključi na vhode še signale pravokotne oblike in opazuj prehodne pojave na izhodu seštevalnika.

Če napravimo tri uteži $-1/8$, $-1/4$ oziroma $-1/2$, lahko uporabimo vezje kot tribitni digitalno-analogni pretvornik. Vhodi X_5 , X_6 in X_7 naj bodo Boollove spremenljivke.

Kadar je $X_5=0$, $X_6=0$ in $X_7=0$ je odziv vezja $Z=0$.

Kadar je $X_5=1$, $X_6=0$ in $X_7=0$, je odziv vezja $Z=-1/8$.

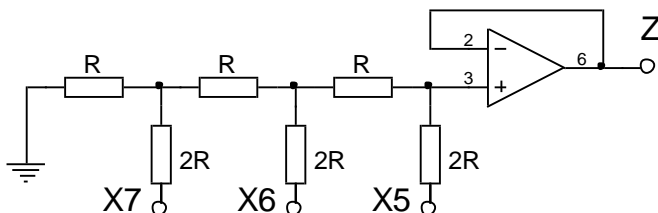
Kadar je $X_5=0$, $X_6=1$ in $X_7=0$, je odziv vezja $Z=-1/4$

Hitro spoznamo, kako bi razširili obseg pretvornika. Na neinvertirani vhod dodajamo nove vhodne upornike, vsak je dvakrat tako velik kot predhodnik. Tako pridobivamo vhode za manj in manj pomembne bite.

Naloga: Preskusi tribitno pretvorbo. Tu uporabi za vhodne signale kar napajalno napetost V_{CC} .

Vendar pridemo kmalu do praktičnih omejitev. Denimo, da želimo sestaviti osem bitni pretvornik. Najmanj vreden bit (LSB, least significant bit) velja torej 1, največ vreden (MSB; most significant bit) pa 128. Če je upornik na največ vrednem vhodu

natančen na 1% - taki uporniki so že zelo natančni - znese napaka na tem vhodu že več kot 1 LSB. Nadaljnje razširjanje pretvornikovega obsega je nesmiselno, dokler ne najdemo bolj natančnih upornikov. Iskanje natančnih in hkrati stabilnih upornikov je zamudno, zato je tak pretvornik drag.



Slika 4: R - $2R$ digitalno-analogni pretvornik

Našli so boljše rešitev, ki jo kaže slika 4. Uporabimo uporovno vezje, pri katerem je napetost na neinvertiranem vhodu operacijskega ojačevalnika bolj odvisna od signalov, ki so priključeni bližje neinvertiranemu vhodu v operacijski ojačevalnik (signal X_5) in manj od napetosti, ki so priključene dlje (signal X_7). Uporabimo le dve vrsti upornikov: R in $2R$. Če vzamemo namesto upora $2R$ dva upornika z vrednostjo R zvezana zaporedno, sestavimo lahko vezje iz samih enakih upornikov. Take lažje najdemo, pa tudi njihove temperaturne odvisnosti so dobro vsklajene. Na ta način si lahko sami sestavimo pretvornik z ločljivostjo do 12 bitov.