

2.7 Diferenčni in instrumentacijski ojačevalnik

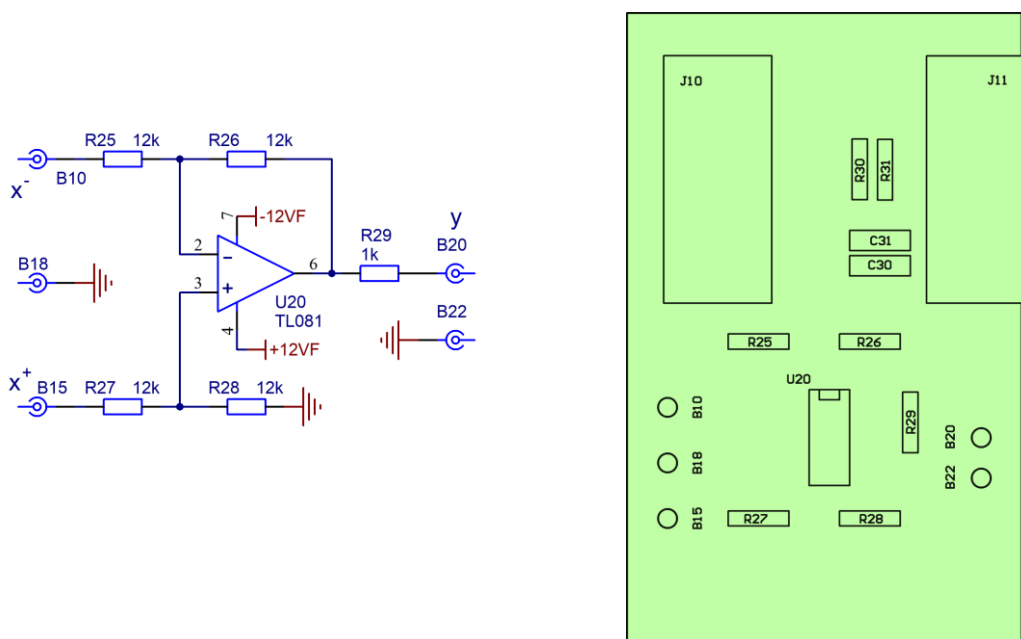
Viri signalov imajo dve priključni sponki in med njima namerimo električni signal vira, slika 1 levo. Običajno je ena sponka ozemljena in ji zato pripišemo potencial nič, druga pa električno opleta okoli nič, slika 1 sredi. Obe priključni sponki vidimo tudi na funkcijskih generatorjih, kjer je zunanji kovinski del BNC konektorja ozemljen, notranja sredinska sponka pa je "signal", slika 1 desno.



Slika 1: Vir signala ima dve priključni sponki

Nekateri viri signalov nimajo ozemljene ene od sponk. Za zgled naj služi na primer senzor fizikalne veličine, ki je vgrajen na terenu izven merilnega laboratorija. Ko od tega sensorja potegnemo žici za obe sponki sensorja do merilnega laboratorija, sta obe žici izpostavljeni motnjam iz okolice, zato sta potenciala na obeh žicah verjetno onesnažena z enakimi neželjenimi električnimi signali in noben od potencialov na žicah ni nič. Verjamemo, da lahko z meritvijo razlike potencialov med žicama spet pridobimo originalni signal, kot ga daje senzor fizikalne veličine, neželjeni električni signali pa odštejejo. Potrebujemo torej električno vezje, ki zna računati razliko dveh potencialov oziroma dveh signalov, ki ju dovedemo preko dveh žic.

Vezje diferenčnega ojačevalnika računa razliko dveh signalov x^+ in x^- , ki sta priključena na sponki B15 in B10. Shema vezja je na sliki 2, tam najdeš tudi tloris ploščice z vezjem. Vezje sestavlja operacijski ojačevalnik in štirje uporniki. Izhodna napetost y (sponka B20) je podana z:



Slika 2: Vezje diferenčnega ojačevalnika in tiskano vezje zanj

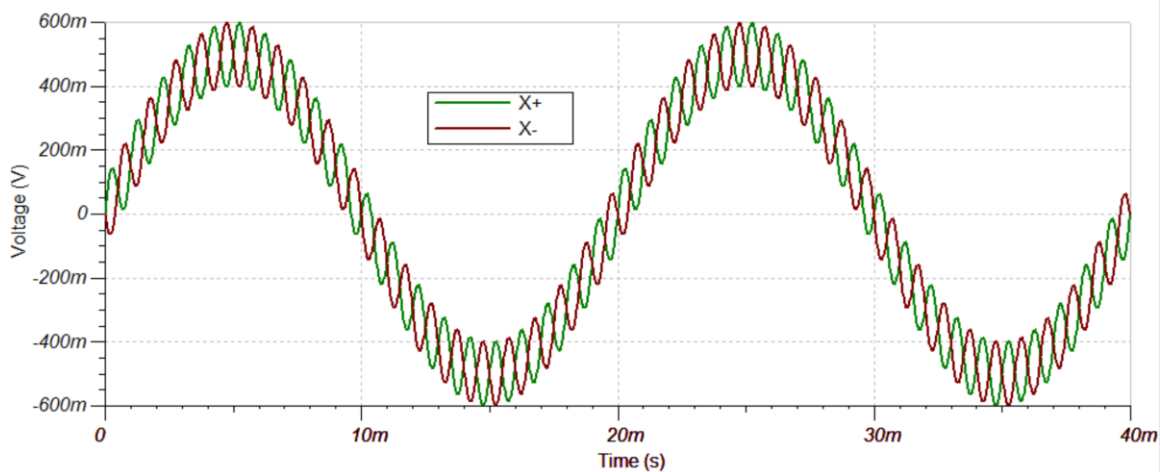
$$y = -x^- \cdot \frac{R_{26}}{R_{25}} + x^+ \cdot \frac{R_{28}}{R_{27} + R_{28}} \cdot \frac{R_{25} + R_{26}}{R_{25}}$$

Izberimo $R_{26}/R_{25} = R_{28}/R_{27}$ oziroma natančneje $R_{25} = R_{27}$ in $R_{26} = R_{28}$, potem je izhodni signal podan s formulo: $y = (x^+ - x^-) \cdot R_{26}/R_{25}$. Vezje torej izračuna razliko obeh priključenih signalov in jo ojači za razmerje R_{26}/R_{25} . Pri tem je treba precizno izbrati vrednosti upornikov, sicer se moteči signal, ki je po predpostavki enak na obeh priključenih žicah, ne odšteje.

Naloga: preverimo delovanje vezja:

- Preskusi najprej odštevanje neželenega signala, ki je prisoten na obeh priključnih sponkah. Na oba vhoda x^- in x^+ vezja priključi isti signal; na izhodu y bi moral nameriti nič ne glede na velikost in frekvenco vhodnega signala. Zaradi omejitev, ki jih narekuje uporabljeni operacijski ojačevalnik, se zadovoljimo s preskušanjem pri frekvenci 50 Hz in amplitudi 1 V. Zabeleži amplitudo izhodnega signala y_m .
- Preskusi še računanje razlike. Med vhoda vezja priključi vir signala, amplituda naj ostane enaka, frekvenca pa naj bo na primer 1 kHz. Zabeleži amplitudo izhodnega signala y_s še v tem primeru.
- Kvaliteto odštevanja oceni v decibelih kot $20 \log y_s/y_m$.
- Preskusi točko b še enkrat, tokrat med sabo zamenjaj priključni sponki vira signala.

Za pravo preverjanje vezja bi potrebovali signal, kakršnega dobimo iz sensorja na terenu po dveh žicah, zgled za tak signal je na sliki 3a. Signal torej, ki predstavlja merjeno fizikalno veličino (mala amplituda, velika frekvenca), a je onesnažen z motilnim signalom (velika amplituda, mala frekvenca). Tak signal bomo umetno sestavili z malim elektronskim vezjem, ki kombinira signala dveh funkcijskih generatorjev, slika 3b.



Slika 3: Z motnjami onesnažen vir signal s sensorja

Naloga: preveri delovanje vezja na kombinacijo koristnega in motilnega signala.

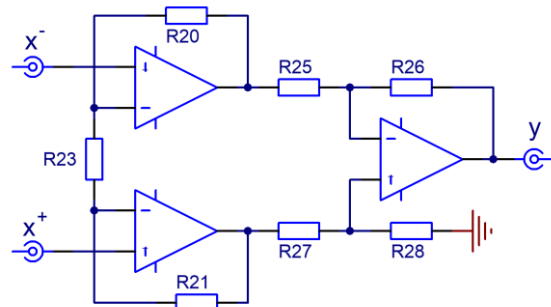
- Poveži dva funkcijska generatorja na vhoda vezja za kombiniranje signalov in izberi enake frekvence in amplitude, kot si jih izbral pri prejšnjem preverjanju s posamičnim signalom. Preveri obliko in velikost signala na obeh izhodih vezja za kombiniranje signalov.
- Poveži oba generirana signala na diferenčni ojačevalnik in potrdi, da je na izhodu diferenčnega ojačevalnika prisoten le koristni signal, motilnega pa ni opaziti.

- g. Preveri še amplitudni spekter signala na izhodu diferenčnega ojačevalnika. Večina današnjih digitalnih osciloskopov zna izračunati spekter signala, funkcija je običajno skrita pod oznako FFT(Fast Fourier Transform). Oceni razmerje amplitud koristnega in motilnega signala v amplitudnem spektru.

Vsakem viru signala lahko poleg amplitude in frekvence pripišemo še notranjo upornost. Zaradi notranje upornosti vira se lastnosti njegovega signala spremenijo takrat, ko na vir priključimo breme. Tudi senzorju in viru motečega signala lahko pripišemo notranjo upornost. Senzor je priključen na diferenčni ojačevalnik, ki mu pripišemo vhodno upornost, ki pa ni enaka za oba vhodna priključka, kar vpliva na kakovost odštevanja motilnih signalov. Bilo bi bolje, če bi bila vhodna upornost diferenčnega ojačevalnika za oba vhoda enaka ali pa, še bolje, tako velika, da ne bi vplivala na signal s sensorja in kakovost odštevanja. Zato diferenčni ojačevalnik dopolnimo s še dvema operacijskima ojačevalnikoma in dobimo instrumentacijski ojačevalnik, načelna shema je na sliki 4.

Že pri diferenčnem ojačevalniku je bilo mogoče razliko obeh signalov ojačiti za faktor, ki ga podaja razmerje upornosti v vezju. Tokrat lahko ojačenje še povečamo, saj k skupnemu ojačenju prispevata še dodana operacijska ojačevalnika. Ob pogoju, da so uporniki okrog zadnjega operacijskega ojačevalnika pravilno izbrani in enaki, je tokrat izhodni signal podan z:

$$y = (x^+ - x^-) \cdot R_{26}/R_{25} \cdot \left(1 + \frac{R_{20} + R_{21}}{R_{23}}\right)$$



Slika 4: Načelna vezava instrumentacijskega ojačevalnika

Ojačenje je torej mogoče spreminjati s spreminjanjem enega samega upornika R_{23} , kar je precej enostavnejše od spreminjanja dveh upornikov hkrati za vezje s slike 2.

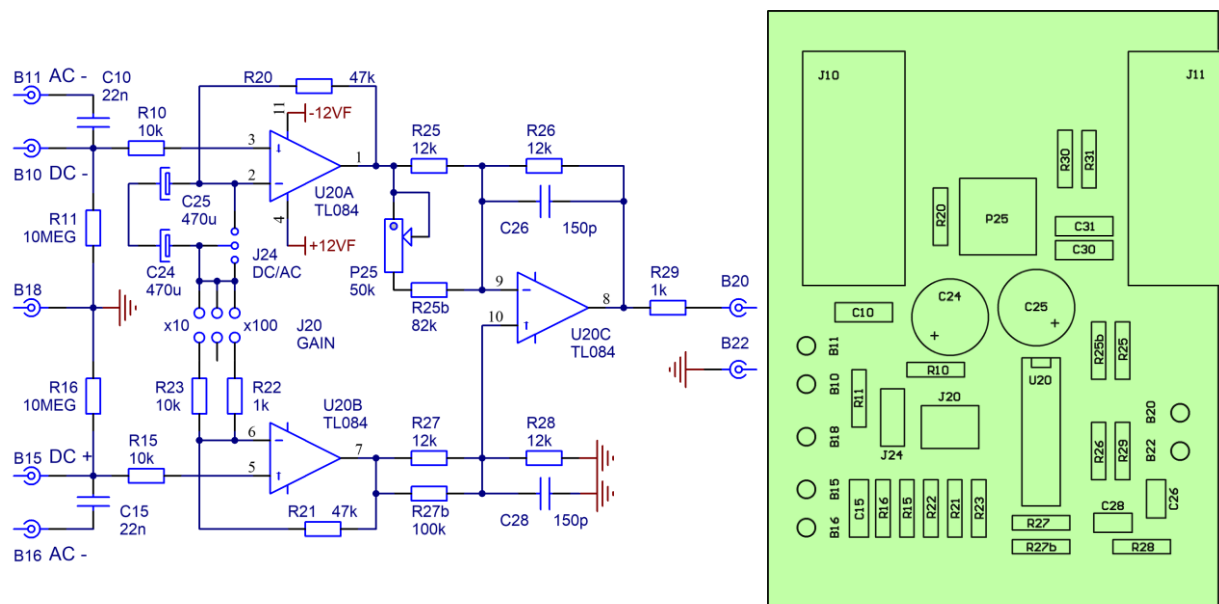
Vezje instrumentacijskega ojačevalnika je zato sestavljeno po sliki 5. Ima vhodna priključka za senzor (B10 in B15, v našem primeru za oba nadomestna signala, ki naj bi prihajala s sensorja). Ima izhodni priključek B20, kjer lahko opazujemo izračunano razliko med vhodnima signalom. Dodani so trije jahači J20, s katerimi izbiramo upornik R_{23} in s tem ojačenje instrumentacijskega ojačevalnika; ojačenje je lahko 1 za jahač v srednji legi, približno 10 za jahač v levi legi in približno 100 za jahač v desni legi.

Včasih želimo ojačevati le spreminjajoče se signale, konstantnih pa bi se želeli znebiti. V takem primeru lahko zaporedno z upornikom R_{23} vežemo kondenzator, katerega upornost je za konstantne signale neskončna in posledično je ojačenje prvih dveh operacijskih ojačevalnikov za konstantne signale ena. Z jahačem J24 lahko kratko vežemo tak kondenzator (jahač v zgornji legi) in imamo instrumentacijski ojačevalnik, ki ojačuje vse signale, vključno konstantne. Ko postavimo jahač v spodnjo lego, je zaporedno z R_{23} vezan tudi kondenzator $C_{24,25}$ in instrumentacijski ojačevalnik ojačuje le izmenične signale od frekvence nekaj 10 Hz navzgor odvisno od izbranega ojačenja. Kadar želimo ojačevati le izmenične signale je smiselno tudi vhodni signal priključiti preko kondenzatorjev, torej na sponke B11 in B16.

Trimer P25 služi za uravnoteženje zahtevanega razmerja upornikov okrog tretjega operacijskega ojačevalnika.

Naloga: Preveri delovanje instrumentacijskega ojačevalnika

- h. Poveži vhodni signal na instrumentacijski ojačevalnik enako, kot si to storil v nalogi a in nastavi trimer P25 tako, da bo izhodni signal najmanjši.
- i. Ponovi meritev b in c. Kako dobro je izločanje motilnega signala (v dB) tokrat?
- j. Ponovi meritev e, f in g



Slika 5: Instrumentacijski ojačevalnik za preskušanje in ploščica tiskanega vezja

Dotatno za motivacijo

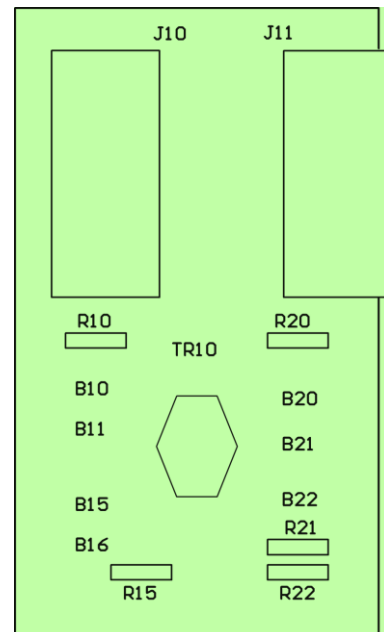
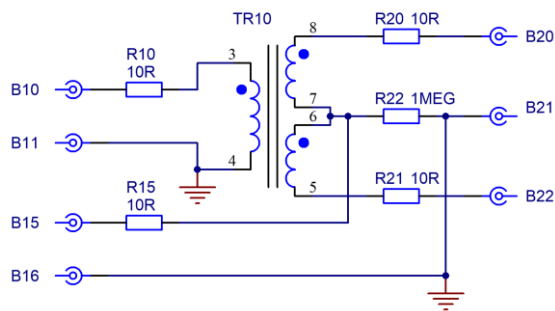
Instrumentacijski ojačevalnik s slike 5 je primeren za zajemanje majhnih signalov v prisotnosti velikih motenj. Če so le motnje enake na obeh dovodnih žicah koristnega signala, jih instrumentacijski ojačevalnik uspešno izloči. Poskusi z njim meriti na primer svoj EKG signal. Na ploščici z instrumentacijskim ojačevalnikom z jahačem izberi največje ojačenje za izmenične signale ter se z vsako roko dotakni enega od vhodnih priključkov ter opazuj izhodni signal ojačevalnika z osciloskopom. Verjetno se boš moral popolnoma umiriti, saj vsaka mišična aktivnost povzroča dodatne električne signale. Morda bo treba omočiti roke za boljši električni kontakt, morda bo treba dodati še eno ojačevalno stopnjo x 100, morda bo treba dodatno zadušiti motilni signal s frekvenco 50 Hz. A z nekaj spretnosti in dobre volje bo mogoče opazovati električno aktivnost srca...

Za radovedne

Za testiranje diferenčnega in instrumentacijskega ojačevalnika smo potrebovali posebne oblike signalov. Lahko bi jih dobili s sensorja, ki bi bil dovolj oddaljen od preskušane ojačevalnika, povezovalni žici med njima pa bi bili izpostavljeni realnim motnjam. Žal tak poskus ni ponovljiv, saj so vplivi okolja lahko zelo različni. Zato raje sestavimo elektronsko vezje, s katerim nadomestimo neponovljive realne pogoje delovanja s testnimi signali, ki jih lahko kadarkoli ponovimo in so pod našo kontrolo. Sestaviti je torej treba signala dveh funkcijskih generatorjev v signala s slike 3. Očitno sta signala na izhodu tega simulacijskega vezja enaka vsoti in razliki obeh signalov z generatorjev. Tako vezje bomo sestavili na dva različna načina.

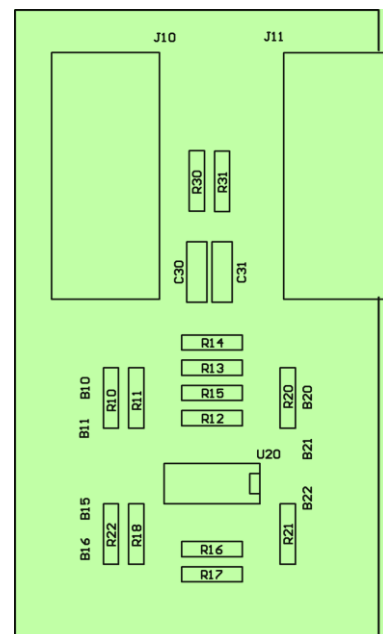
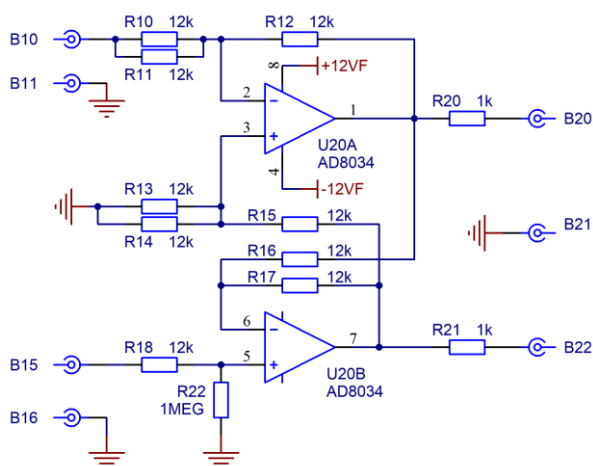
Lahko uporabimo feritni transformator po shemi na sliki 6. Na primarno navitje (med sponki B10 in B11) priključimo funkcijski generator, ki daje nadomestek sensorjevega signala. Sekundarno navitje tega transformatorja je razdeljeno na enaka dela, na sredino sekundarnega navitja priključimo

funkcijski generator (sponki B15 in B16), ki daje nadomestek motečega signala. Na izhodnih sponkah B20 in B22 dobimo oba signala sestavljena tako, kot bi jih dobili po žicah s senzorja na terenu, le da imamo tokrat tako koristi signal kot tudi motilni signal pod svojo kontrolo in zato lahko natančno preskusimo delovanje vezja.



Slika 6: Pasivno vezje za kombiniranje testnih signalov

Vezje s slike 6 je primerno za harmonske signale zmernih frekvenc, za drugačne oblike in frekvence bi bilo potrebno prilagoditi število ovojev na transformatorju. Vezje s slike 7 je elektronska inačica vezja s slike 6, ki pravilno deluje tudi za enosmerne signale. Žal je tokrat treba natančno izbrati vrednosti upornikov, pri velikih frekvencah (nad nekaj deset kHz) pa zaradi omejitev operacijskih ojačevalnikov ne daje zadovoljivih rezultatov. Za velike frekvence je primernejše vezje s slike 6, a s prilagojenim transformatorjem.



Slika 7: Aktivno vezje za kombiniranje testnih signalov