



Laboratorij za metrologijo
in kakovost

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko

doc. dr. RADO LAPUH
prof. dr. JANKO DRNOVŠEK

MERILNI SISTEMI II

Primeri izračunov napak pri plavajočih meritvah

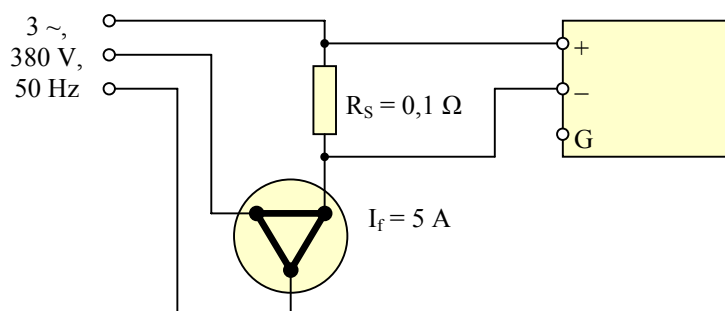
ŠTUDIJSKO GRADIVO

LJUBLJANA, OKTOBER 2005

Primer izračunov napak zaradi sofaznih napetosti brez in z uporabo zaščitnega vodnika

Regulacija toka elektromotorja

Trofaznemu asinhronskemu elektromotorju, vezanemu v trikot vezavi, želimo meriti tok skozi enega od priključkov (spodnja slika). Merilni sistem duši sofazne napetosti v razmerju 80 dB glede na protifazni (merjeni) signal pri frekvenci 50 Hz. Izračunati je potrebno negotovost meritve zaradi sofazne napetosti in ugotoviti, kakšen rejekcijski faktor (CMRR) bi potrebovali, da sofazna napetost ne bi vplivala na negotovost meritve več kot 0,2 %.



Določimo najprej merjeno napetost U_m in sofazno napetost U_{cm} .

$$U_m = I_f \cdot R_s = 0,5 \text{ V}$$

$$U_{CM} = \frac{380 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 220 \text{ V}$$

Pri rejekcijskem faktorju $CMRR = 80 \text{ dB}$, kar je $10^{80/20} = 10000$, dobimo za sofazno napetost, preračunano na vhod merilnega instrumenta:

$$U'_{CM} = \frac{U_{CM}}{CMRR} = 0,022 \text{ V}$$

Negotovost meritve zaradi sofazne napetosti je tako

$$u = \frac{U'_{CM}}{U_m} = 0,044$$

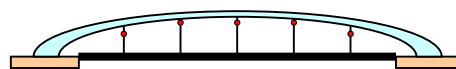
ali 4,4 %. Da bi dosegli negotovost 0,2 %, bi potrebovali rejekcijski faktor

$$CMRR_1 = CMRR \frac{4,4}{0,2} = 220000 = 107 \text{ dB},$$

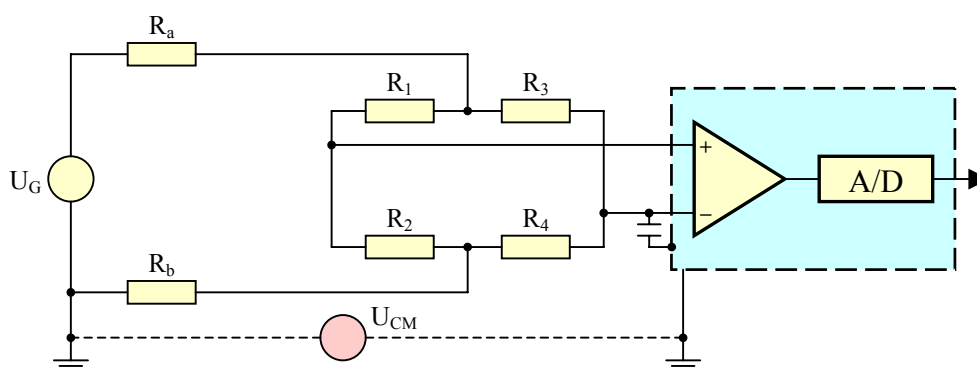
kar bi lahko dosegli z ustrežno izvedbo zaščite merilnega instrumenta.

Meritev mehanskih napetosti v konstrukciji mostu

V konstrukciji mostu na desni sliki moramo izmeriti mehanske napetosti s pomočjo uporovnih lističev. Merilni sistem, ki ga imamo na razpolago, sestoji iz seta mostičkov z merilnimi lističi in pripadajočimi instrumentacijskimi ojačevalniki ter enim napajalnikom, ki napaja vse mostiče hkrati. Največja razdalja med mostičem in napajalnikom je tako 100 m. Zaradi relativno velike razdalje izberemo napajalno napetost 100 V pri 1 kHz ter merilne lističe z upornostjo 5 k Ω . Napajalni vodnik ima presek 0,1 mm² in specifično upornost $\rho = 0,0175 \mu\Omega\text{m}$. Kapacitivnost med - priključkom in maso je 10 pF. Izračunajmo sofazno napetost na vhodu instrumentacijskega ojačevalnika brez uporabe zaščite, če predpostavimo, da je sofazna napetost med ozemljitvami manjša od $U_{CM} = 10 \text{ V}$.



Merilno vezje vidimo na spodnji sliki.



R_a in R_b predstavljajo upornost napajalnih vodnikov. V našem primeru sta

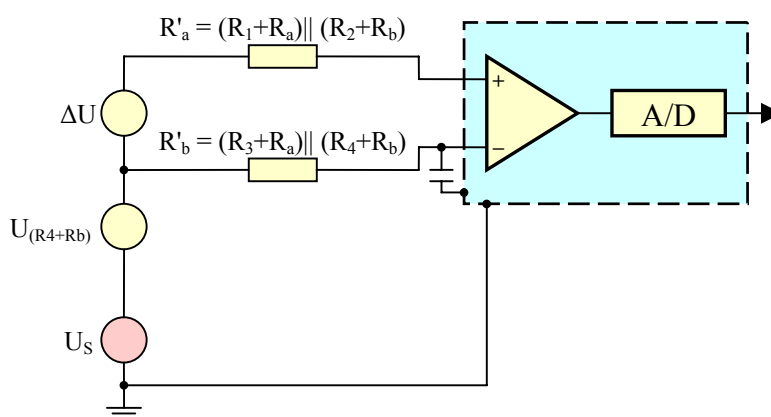
$$R_a = R_b = \rho \frac{l}{A} = 17,5 \Omega$$

Za lažje razumevanje narišimo nadomestno vezavo, ki nam ponazarja vhodne upornosti, kot jih vidi instrumentacijski ojačevalnik, kot tudi ustrezne sofazne napetosti.

Za R'_b dobimo 2508,75 Ω .

Za $U_{(R_4+R_b)}$ seveda dobimo 50 V.

Ker je napajalna napetost frekvence 1 kHz, U_{CM} pa 50 Hz (omrežna napetost), moramo prispevek vsake zaradi različnih CMRR izračunati posebej.



50 Hz:

Izračunajmo najprej impedanco kapacitivnega sklopa:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = 318 \text{ M}\Omega$$

Sofazni tok je definiran praktično samo s to impedanco in je enak

$$I_{CM} = \frac{U_{CM}}{X_C} = \frac{10}{318 \cdot 10^6} = 3,15 \cdot 10^{-8} \text{ A}$$

Sofazno napetost na vходу ojačevalnika zdaj določimo kot

$$U'_{CM} = I_{CM} \cdot R'_b = 78,9 \text{ }\mu\text{V}$$

Rejekcijski faktor pri 50 Hz je $CMRR_{50\text{Hz}} = \frac{U_{CM}}{U'_{CM}} = 102 \text{ dB}$.

1000 Hz:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = 15,9 \text{ M}\Omega$$

Sofazni tok je definiran s skupno impedanco R'_b in X_C

$$I_{CM} = \frac{U_{CM}}{\sqrt{R_b'^2 + X_C^2}} = \frac{50}{15,9 \cdot 10^6} = 31,4 \cdot 10^{-6} \text{ A}$$

Sofazna napetost na vходу je potem

$$U'_{CM} = I_{CM} \cdot R'_b = 72 \text{ mV}$$

Rejekcijski faktor pa je $CMRR_{1\text{kHz}} = \frac{U_{CM}}{U'_{CM}} = 57 \text{ dB}$

Če upoštevamo, da je diferencialna napetost pri obratovanju mostiča 2 V (1 % napajalne napetosti), vidimo, da je negotovost zaradi omrežne sofazne napetosti

$$u_{50\text{Hz}} = \frac{U'_{CM}}{U_D} = 0,004 \%,$$

medtem ko je negotovost zaradi delovne sofazne napetosti

$$u_{1\text{kHz}} = \frac{U'_{CM}}{U_D} = 3,6 \%.$$

Podrobna analiza merilnega vezja lahko torej razkrije izredno velike negotovosti zaradi neprimerno izbrane topologije merilnega vezja (oddaljeno napajanje) in neprimerno izbranih elementov vezja (visokoomski uporovni merilni lističi).