

LUCRAREA NR. 4

STUDIUL AMPLIFICATORUL INSTRUMENTAL

1. Scopul lucrării

În această lucrare se studiază experimental amplificatorul instrumental programabil PGA202 produs de firma Texas Instruments.

2. Considerații teoretice

Amplificatoarele instrumentale reprezintă o categorie aparte de amplificatoare operaționale utilizate în special în măsurări, motiv pentru care acest tip de amplificatoare operaționale au mai fost denumite și amplificatoare de măsură. Amplificatorul instrumental este un amplificator operațional diferențial cu amplificare finită și foarte bine reglată, reglajul amplificării făcându-se fie prin conectarea în exteriorul integratului a unei rezistențe sau grup de rezistențe, fie prin comanda digitală cu ajutorul unui calculator sau microcontroler. Amplificatorul instrumental are performanțe superioare amplificatoarelor operaționale în ceea ce privește tensiunea de decalaj, deriva termică, liniaritatea, stabilitatea și precizia amplificării.

Amplificatoarele instrumentale pot fi realizate cu componente discrete și amplificatoare operaționale, în tehnologie monolitică sau hibridă. Cele integrate au elementele de reacție incluse în structura circuitului integrat. La aparatura de măsură și control amplificarea în tensiune se face, adesea, cu amplificatoare diferențiale la care una din intrări este folosită pentru intrarea de semnal, iar cealaltă pentru conectarea rețelei de reacție. Dacă s-ar folosi un singur amplificator operațional rețeaua de reacție ar reduce impedanța de intrare la valori care sunt prea mici față de cele necesare în aceste aplicații. Din acest motiv au fost realizate structuri speciale de amplificatoare diferențiale cu două sau mai multe amplificatoare operaționale. **Amplificatoarele instrumentale sunt amplificatoare diferențiale cu intrări flotante față de masă, cu impedanță mare atât în modul diferențial cât și în modul comun și având o rezistență de ieșire redusă.**

Amplificatoarele instrumentale trebuie să îndeplinească mai multe cerințe:

- amplificarea mărimilor preluate de la senzori până la valori care pot fi prelucrate fără probleme de etajele următoare din lanțul de prelucrare a semnalului;
- asigurarea unei impedanțe de intrare mari, pentru a nu perturba mărimea aplicată la intrare;
- realizarea unei anumite caracteristici de transfer, liniară sau neliniară, în funcție de natura procesului de măsurare;
- asigurarea unei caracteristici de frecvență adecvate procesului de măsurare;

- asigurarea unei rejecții a semnalului de mod comun foarte mare.

Principalii parametri ai unui amplificatorului instrumental sunt:

a) *câștigul* (G). Valoarea acestui parametru reprezintă panta caracteristicii de transfer a amplificatorului instrumental. Parametrii circuitului pot fi păstrați doar dacă câștigul se situează între anumite limite. De aceea, domeniul câștigului este destul de restrâns 1-1000 sau, chiar, mai restrâns în unele cazuri.

În datele de catalog sunt specificate: *eroarea câștigului*, *neliniaritatea câștigului* și *stabilitatea câștigului în raport cu temperatura*. Eroarea câștigului este specificată pentru anumite valori ale lui G . Se exprimă în procente. Neliniaritatea câștigului este definită ca diferența maximă în valoare absolută dintre caracteristica de transfer reală și cea ideală, considerată, de regulă, "linia dreaptă optimă" (obținută pe baza metodei regresiei liniare). Această diferență este prezentată în procente din limita superioară a domeniului de variație a semnalului de ieșire sau în ppm. Neliniaritatea este specificată pentru anumite valori ale lui G . Stabilitatea câștigului în funcție de temperatură se exprimă în ppm/ $^{\circ}$ C, fiind specificată, de asemenea, pentru anumite valori ale lui G .

b) *tensiunile de decalaj la intrare și la ieșire*. Tensiunea de decalaj la intrare, U_{osi} [μ V] și tensiunea de decalaj la ieșire, U_{oso} [μ V] sunt independente una față de cealaltă și, prin urmare, trebuie considerate separat. Pentru un câștig dat, tensiunea totală de decalaj U_{os} este definită pe baza a două erori:

- eroarea totală raportată la intrare ("Total Referred to the Input Error – Total RTI Error") prin: $U_{os}(\text{RTI}) = U_{osi} + U_{oso}/G$;

- eroarea totală raportată la ieșire ("Total RTO Error") prin: $U_{os}(\text{RTO}) = GU_{osi} + U_{oso}$.

Sunt specificate, de asemenea, valorile tensiunilor U_{osi} și U_{oso} în funcție de temperatură (în [μ V]), precum și coeficientul mediu de temperatură al tensiunii U_{osi} și al tensiunii U_{oso} (în [μ V/ $^{\circ}$ C]).

c) *curentul de decalaj la intrare* (în [nA]), *valoarea acestuia în funcție de temperatură* (în [nA]), precum și *coeficientul mediu de temperatură al curentului de decalaj la intrare* (în [pA/ $^{\circ}$ C]).

d) *curentul de polarizare la intrare* (în [nA]), *valoarea acestuia în funcție de temperatură* (în [nA]), precum și *coeficientul mediu de temperatură al curentului de polarizare la intrare* (în [pA/ $^{\circ}$ C]).

d) *impedanțele de intrare diferențială și de mod comun*. Sunt alcătuite dintr-o rezistență în paralel cu o capacitate. Se exprimă în $G\Omega||pF$.

e) *impedanța de ieșire*. Este foarte mică, de ordinul $10^{-2} \Omega$.

f) *tensiunea și curentul de zgomot ale amplificatorului*. Acești parametri pot fi raportați față de borna de intrare a amplificatorului, fiind specificați ca și valori vârf la vârf sau efective într-un anumit interval de frecvențe (se exprimă în [nV], respectiv în [pA]).

g) *raportul de rejecție a modului comun*, CMMR. Este specificat pentru o anumită nesimetrie a sursei de semnal de intrare, de obicei 1 k Ω , pentru diferite valori ale câștigului și ale tensiunii de mod comun U_{CM} . CMRR crește odată cu creșterea câștigului și scade odată cu creșterea frecvenței.

h) parametri referitori la regimul dinamic:

- *banda de frecvențe la -3 dB la semnal mic*. Este specificată pentru diferite valori ale câștigului. Cu cât câștigul este mai mare cu atât banda de frecvențe este mai mică.

- *viteza de urmărire* ("Slew Rate", SR [V/μs]).

- *timpul de stabilizare*. Este specificat în funcție de valoarea câștigului pentru o variație dată a tensiunii de intrare.

Amplificatorul instrumental studiat în cadrul lucrării este circuitul integrat – PGA202, realizat de firma Texas Instruments. La acest amplificator instrumental câștigul se stabilește pe baza a două intrări digitale D_0 și D_1 . Structura circuitului integrat PGA202 este prezentată în figura de mai jos.

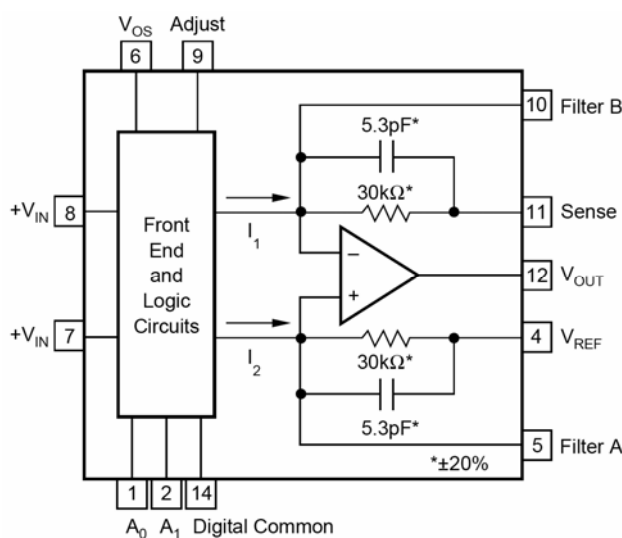


Fig. 1. Diagrama internă a amplificatorului instrumental PGA202.

Valorile parametrilor amplificatorului instrumental PGA202, specificați de producător, și care vor fi determinați în cadrul lucrării sunt:

Tabelul 1. eroarea câștigului, neliniaritatea câștigului și CMRR ale PGA202.

Parametru	Condiție	Valoare tipică
Eroarea câștigului	$G < 1000$	0.05 %
	$G = 1000$	0.1 %
Neliniaritatea câștigului	$G < 1000$	0.002 %
	$G = 1000$	0.02 %
Tensiunea de decalaj la intrare		
CMRR	$G = 1$	100 dB
	$G = 10$	110 dB
	$G = 100$	120 dB
	$G = 1000$	120 dB
Banda de frecvențe la semnal mic		
Timpul de stabilizare		

În figura 2 se prezintă schema electrică de utilizare a amplificatorului instrumental PGA202.

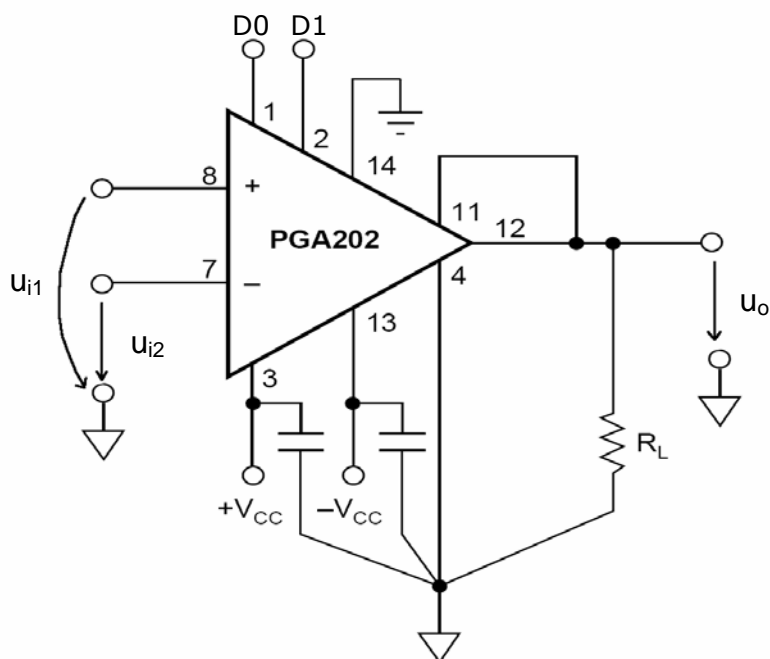


Fig. 2. Schema electrică de utilizare a amplificatorului instrumental PGA202.

Tensiunea de la ieșirea amplificatorului instrumental este:

$$U_o = G(U_{i1} - U_{i2}), \quad (1)$$

unde câștigul G poate lua valorile 1, 10, 100 sau 1000 în funcție de tensiunile aplicate intrărilor digitale D_0 și D_1 conform tabelului:

Tabelul 2. Stabilirea valorilor lui G .

G	D_0	D_1
1	0	0
10	1	0
100	0	1
1000	1	1

3. Desfășurarea lucrării

Comanda digitală a câștigului este realizată cu ajutorul unui program care rulează pe un calculator compatibil IBM PC.

Schema electrică a circuitului realizat cu amplificatorului instrumental PGA202 este prezentată în figura 3.

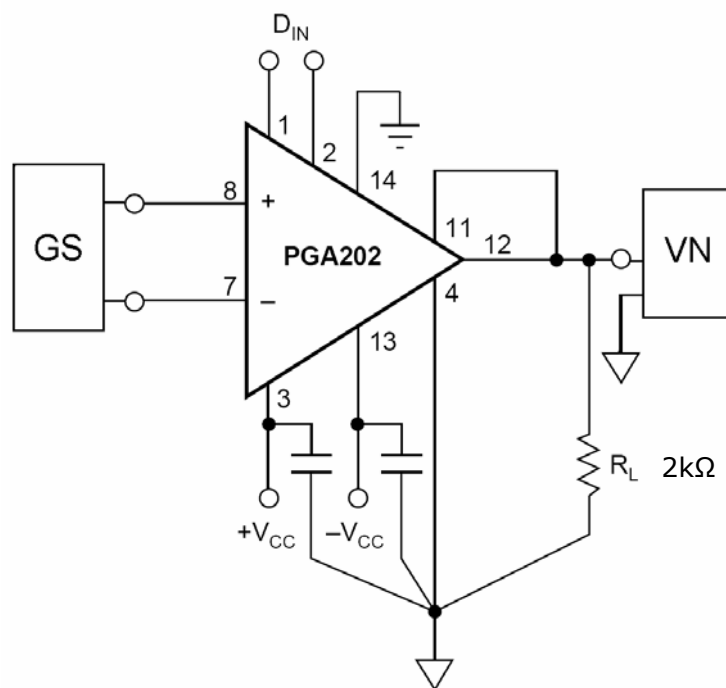


Fig. 3. Schema electrică a circuitului realizat cu PGA202.

Pentru stabilirea câștigului circuitul realizat este conectat la portul paralel al calculatorului. Interfața realizată în acest scop este prezentată în figura 4.



Fig. 4. Interfața realizată pentru stabilirea câștigului.

Amplificarea (câștigul) poate fi programat la valorile 1, 10, 100 respectiv 1000. Transmiterea valorii programate către amplificatorul instrumental este realizată prin apăsarea butonului Set. Pe panoul aplicației sunt prezente două LED-uri care semnalizează starea biților D_0 și D_1 .

Se efectuează următoarele:

- **Determinarea câștigului**

- Se conectează cablul de comandă al montajului la portul paralel al PC-ului și se scoate jumperul J1.
- Se alimentează montajul cu ± 15 V de la o sursă dublă de tensiune.

Atenție! Nu depășiți valoarea indicată a tensiunii de alimentare deoarece există riscul distrugerii amplificatorului instrumental! Atenție la polaritatea sursei de alimentare!

- c) Se lansează în execuție aplicația de control a amplificării PGA202Control.exe; se setează câștigul la valoarea 10.
- d) Se aplică la intrare, de la un generator de semnal (GS), un semnal sinusoidal cu o frecvență de 1 kHz și o valoare vârf la vârf $100 \text{ mV}_{\text{vv}}$. Semnalul de intrare se aplică diferențial, între intrările + și – ale montajului.
- e) Se vizualizează cu ajutorul unui osciloscop numeric cu două canale tensiunile de la intrarea (canalul 1 al osciloscopului) și de la ieșirea (canalul 2 al osciloscopului) amplificatorului instrumental.
- f) Se modifică tensiunea de intrare între valorile $100 \text{ mV}_{\text{vv}} - 2 \text{ V}_{\text{vv}}$, cu un pas de $100 \text{ mV}_{\text{vv}}$. Se măsoară cu ajutorul unui voltmetru numeric de curent alternativ (VN) valorile efective ale tensiunilor de intrare și de ieșire.
- g) Se reprezintă grafic folosind programul Matlab caracteristica reală de transfer a amplificatorului instrumental.
- h) Pe același grafic se reprezintă caracteristica ideală de transfer, obținută pe baza metodei regresiei liniare (funcția *polyfit*() din Matlab). Se vor determina câștigul, neliniaritatea câștigului și tensiunea de decalaj de la intrarea amplificatorului instrumental.

• **Determinarea caracteristicii de frecvență**

Se utilizează aceeași schemă ca și la punctul precedent (figura 3).

Se efectuează următoarele:

- a) Se programează câștigul la valoarea 1.
- b) Se aplică la intrare un semnal sinusoidal de 10 V_{vv} și frecvență 1 kHz.
- c) Se vizualizează cu ajutorul unui osciloscop numeric cu două canale tensiunile de la intrarea (canalul 1 al osciloscopului) și de la ieșirea (canalul 2 al osciloscopului) amplificatorului instrumental. Se mărește frecvența până când amplitudinea tensiunii de la ieșire scade cu -3 dB față de tensiunea de la intrare. Se notează această valoare, care reprezintă frecvența limită superioară a benzii de trecere a amplificatorului instrumental.
- d) Se reprezintă grafic, folosind programul Matlab, caracteristica de frecvență a amplificatorului instrumental. În acest scop se vor măsura valorile efective ale tensiunii de ieșire pentru 20 de valori ale frecvenței tensiunii de intrare situate în intervalul 1Hz – 5MHz.
- e) Se repetă punctul d) pentru un câștig de 100 și o tensiune de intrare de $200 \text{ mV}_{\text{vv}}$.

• **Măsurarea raportului de rejecție a modului comun (CMRR)**

Pentru a măsura CMRR-ul se va utiliza schema din figura 5.

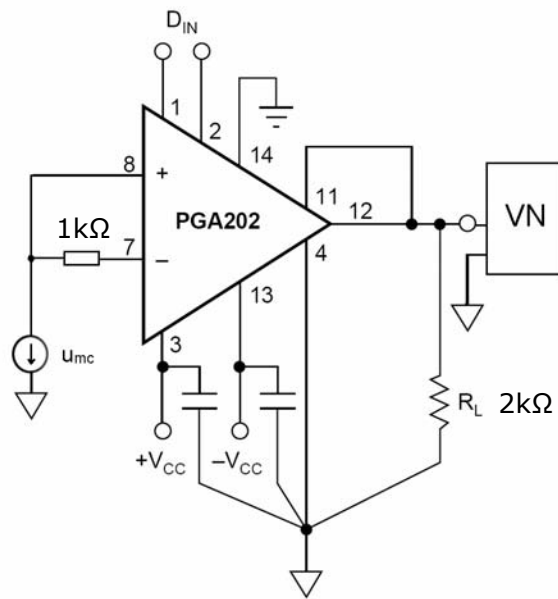


Fig. 5. Schema montajului realizat pentru determinarea CMRR.

Se efectuează următoarele:

- Se programează câștigul la valoarea 10.
- Se stabilește jumperul J1 este în poziția închis.
- Tensiunea de mod comun u_{mc} , de curent alternativ, de 20 V_{vv} și frecvență 50 Hz, se aplică între intrarea + și masa montajului (v. figura 5). Se măsoară, cu ajutorul unui voltmetrului numeric de valori efective, valoarea tensiunii de ieșire.
- Se calculează valoarea CMRR după formula:

$$CMRR = 20 \lg \left(G \frac{U_{mcef}}{U_{oef}} \right) \quad [\text{dB}], \quad (2)$$

în care U_{mcef} și U_{oef} sunt valorile efective ale tensiunilor de mod comun și de ieșire.

- Se determină CMRR pentru un câștig de 1000 (se procedează ca și în cazul anterior).
- Se repetă punctele c) și d), dar pentru tensiuni de intrare cu frecvență de 1 MHz. Ce se constată ?

• Măsurarea timpului de stabilizare

Pentru măsurarea timpului de stabilizare se va utiliza schema din figura 3.

Se efectuează următoarele:

- Se programează câștigul la valoarea 1.
- Se scoate jumperul J1.
- Se aplică la intrarea montajului un semnal dreptunghiular pozitiv de amplitudine 10 V și frecvență 5 kHz.
- Se vizualizează cu ajutorul unui osciloscop numeric cu două canale tensiunile de la intrarea (canalul 1 al osciloscopului) și de la ieșirea (canalul 2 al osciloscopului)

amplificatorului instrumental. Se determină timpul de stabilizare. Acesta se definește ca fiind intervalul de timp dintre aplicarea la intrare a unui semnal treaptă și momentul în care variațiile semnalului de la ieșire diferă cu mai puțin de 5% față de valoarea stabilă a tensiunii de ieșire (v. figura 6).

- e) Se determină, folosind aceeași procedură ca la punctul anterior, timpul de stabilizare pentru un câștig de 10, respectiv de 100.

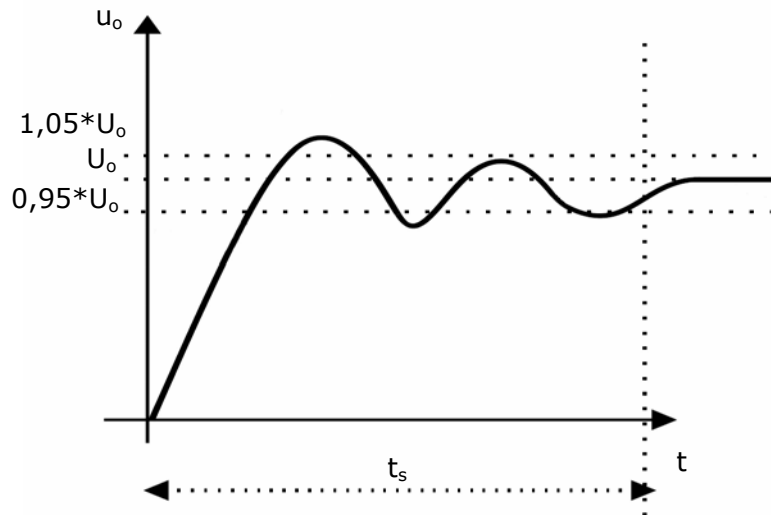


Fig. 6. Definiția timpului de stabilizare.

Întrebări:

1. Care sunt cerințele unui amplificator instrumental ?
2. Ce reprezintă parametrul CMRR ? Cum trebuie să fie parametrul CMRR al unui amplificator instrumental performant ?
3. Cum variază CMRR în funcție de frecvență și de valoarea câștigului ?
4. Cum variază banda de frecvențe la semnal mic a amplificatorului instrumental în funcție de valoarea câștigului ?