

CAPITOLUL 3

Amplificatoare operaționale și condiționarea semnalului

OBIECTIVELE

După studierea acestui capitol, ar trebui să puteți:

- Recunoaște caracteristicile unui amplificator operațional și să descrieți modul în care acestea pot fi utilizate ca bază pentru diferite tipuri de amplificatoare utile.
- Proiecta următoarele tipuri de circuite (- amplificatoare operaționale - pentru a satisface cerințele specifice): controlul tensiunii, amplificatorul inversor, amplificatorul ne-inversor, însumarea amplificatoarelor, amplificatorul integral, diferențial și comparatorul.
- Înțelege funcționarea următoarelor tipuri de circuite: integratori și diferențiatori, filtre active, transmisie de semnal în buclă curentă, comutatoare analogice, multiplexoare și circuite de eșantionare și reținere.
- Înțelege conceptele de "masă - 0 V" și buclele de curent, ecranare magnetică și electrostatică și importanța unui "mase - 0 V" într-un singur punct.

INTRODUCERE

Una dintre condițiile necesare ale oricărui sistem real este **interfațarea** cu succes sau conectarea împreună a diferitelor componente. Într-o diagramă bloc, o interfață este reprezentată de o linie între două blocuri, indicând faptul că un fel de semnal trece între blocuri. Dacă ar fi fost doar atât de ușor! Adevărul este că interfațarea este uneori cea mai dificilă sarcină în obținerea unui sistem operațional. Există mai multe categorii diferite de cerințe de interfațare.

Un tip de interfațare este între circuitele analogice și cele digitale. Majoritatea controlerelor sunt digitale, în timp ce mulți senzori și actuatori folosesc semnale analogice. Aceasta înseamnă că pot fi necesare convertoare analogice-digitale sau digitale-analogice (astfel cum se discută în capitolul 2). Atunci când proiectați acest tip de interfață, trebuie să luați în considerare lucruri precum rezoluția (numărul de biți), nivelul de tensiune analogic și viteza de conversie necesară.

O altă problemă de interfață este potrivirea nivelurilor de tensiune între componente. Un senzor poate scoate un interval de tensiune de 0-0,5 V, în timp ce componenta de recepție poate avea nevoie de un semnal în intervalul de tensiune de 0-10 V. Sau un senzor poate scoate un semnal de înaltă impedanță (ușor de încărcat) și trebuie convertit într-un semnal mai puternic cu impedanță scăzută. O altă problemă este că unii senzori sunt neliniari, ceea ce înseamnă că tensiunea de ieșire a senzorului nu este proporțională cu parametrul măsurat. Senzorii neliniari pot necesita unele circuite de corecție.

Uneori, mai mulți senzori trebuie să partajeze același port de intrare al unui controler. Acest lucru necesită un circuit electronic de comutare capabil să conecteze diferite canale analogice la aceeași destinație. O altă cerință poate fi adăugarea sau scăderea semnalelor analogice, de exemplu, atunci când semnalul de feedback este scăzut din punctul de setare dintr-un controler analogic.

Unele situații necesită să existe pierderi de semnal mici sau deloc între componente, chiar dacă acestea sunt la o anumită distanță. Acest lucru ar putea părea imposibil, deoarece toate firele au rezistență; cu toate acestea, tehnica *buclei curențe* elimină practic atenuarea semnalului.

Un alt set de probleme de interfață se ocupă cu manipularea zgomotului electric din lumea exterioară. Deși unele tipuri de interferențe pot fi filtrate, de obicei, cel mai bine este să încercați să împiedicați zgomotul să intre în sistem. Acest lucru se face cu ecranare și împământare corespunzătoare.

Vom aborda aceste subiecte în acest capitol. Acesta nu va fi un tratament exhaustiv, deoarece cărți întregi sunt disponibile pe fiecare subiect, dar se va introduce soluții acceptate la diverse probleme.

3.1 AMPLIFICATOARE OPERAȚIONALE

Introducere

Un **amplificator operațional** (**amplificator operațional**) este un amplificator liniar de mare câștig. Amplificatoarele operaționale sunt de obicei ambalate în formă IC (unul până la patru amplificatoare operaționale pe IC) și sunt relativ ieftine. Amplificator operațional se apropie de amplificatorul ideal al unui proiectant de circuite analogice, deoarece are astfel de caracteristici ideale:

1. **Câștig foarte mare în buclă deschisă: $A = 100.000+$, dar nepredictibil.**
2. **Rezistență la intrare foarte mare: $R_{in} > 1\text{ M}\Omega$**
3. **Rezistență scăzută la ieșire: $R_{out} = 50-75\text{ ohmi}$**

Aceste caracteristici fac proiectarea cu amplificatoare operaționale relativ ușoară. După cum vom vedea, câștigul ridicat în buclă deschisă face posibilă crearea unui amplificator cu un câștig stabil foarte previzibil de la 1 la 1000 sau mai mult. Semnificația rezistenței foarte mari la intrare (R_{in}) este că amplificatorul operațional consumă foarte puțin curent de intrare. Acest lucru înseamnă că nu se va consuma foarte mult curent, indiferent de circuit sau senzor pe care îl comandă. Rezistența scăzută la ieșire a amplificatorului operațional (R_{out}) înseamnă că poate conduce o sarcină cu transfer optim de putere. Cu toate acestea, un amplificator operațional este un amplificator de semnal, nu un amplificator de putere. Acesta nu este proiectat pentru a produce curenți mari și din acest motiv nu este de obicei folosit pentru a comanda sarcini, cum ar fi difuzoare sau motoarele direct.

Figura 3.1

Simbolul amplificator operațional.

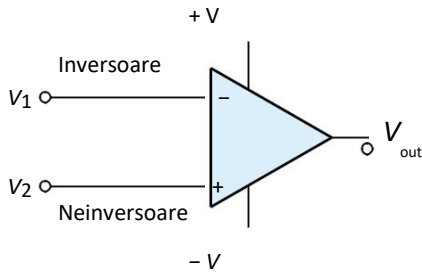


Figura 3.1 prezintă simbolul pentru un amplificator operațional tipic. Are două intrări (V_1 și V_2) și o ieșire (V_{out}). De asemenea, sunt prezentate cele două intrări de alimentare, care sunt de obicei +12 V și -12 V. Tensiunea de ieșire poate oscila la aproximativ 80% din tensiunile de alimentare. Observați că nu există nici o conexiune la masă. Majoritatea amplificatoarelor operaționale sunt de fapt amplificatoare diferențiale, ceea ce înseamnă că amplifică diferența dintre V_1 și V_2 . Acest lucru este prezentat în ecuația 3.1:

$$V_{out} = A(V_2 - V_1) \quad (3.1)$$

unde

V_{out} = tensiune de ieșire

A = câștig în buclă deschisă

V_1 = intrare inversoare

V_2 = intrare ne-inversoare

Câștigul în buclă deschisă (A) este câștigul brut nemodificat al amplificatorului operațional; care este mare, tipic 100.000 sau mai mult. V_2 se numește intrare **ne-inversoare**. După cum sugerează și numele, *ieșirea este în fază cu intrarea ne-inversoare* (când intrarea ne-inversoare merge pozitiv, V_{out} merge pozitiv; când intrarea ne-inversoare devine negativă, V_{out} devine negativ). Intrarea ne-inversoare este identificată prin semnul + din simbolul figurii 3.1.

Cealaltă intrare la amplificatorul operațional se numește **intrare inversoare**. *Ieșirea va fi în afara fazei cu semnalul la intrarea inversoare* (când intrarea inversoare devine mai pozitivă, ieșirea va merge mai negativă și invers). Intrarea inversoare este identificată de semnul din simbol -.

Chiar dacă amplificatorul operațional are două intrări separate, există doar o tensiune de intrare, care este diferența dintre V_2 și V_1 . Acest lucru este ilustrat în exemplul 3.1.

EXEMPLUL 3.1

Figura 3.2 prezintă un amplificator operațional cu un câștig în buclă deschisă de 100.000. Aflați valoarea ieșirii pentru următoarele condiții:

- V_1 și V_2 sunt ambele de 4 μV .
- V_1 este de 2 μV , iar V_2 este de 4 μV .
- V_1 este de 6 μV , iar V_2 este de 3 μV .

SOLUȚIE

Vom folosi ecuația 3.1 pentru a rezolva această problemă.

a. Atât V_1 , cât și V_2 sunt de $4 \mu\text{V}$:

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= 100.000 \times (4 \mu\text{V} - 4 \mu\text{V}) \\ &= 100.000 \times (0 \mu\text{V}) \\ &= 0 \text{ V} \end{aligned}$$

Acest lucru arată că ieșirea amplificator operațional este zero dacă intrările sunt de aceeași tensiune, indiferent de valoarea lor reală.

b. Intrarea ne-inversoare V_2 este de $4 \mu\text{V}$, iar intrarea de inversare V_1 este de $2 \mu\text{V}$:

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= 100.000 \times (4 \mu\text{V} - 2 \mu\text{V}) \\ &= 100.000 \times (2 \mu\text{V}) \\ &= 0,2 \text{ V} \end{aligned}$$

Acest rezultat arată că rezultatul este pozitiv dacă cantitatea $(V_2 - V_1)$ are o valoare pozitivă netă.

c. Intrarea de inversare este de $6 \mu\text{V}$, iar intrarea de ne-inversoare este de $3 \mu\text{V}$:

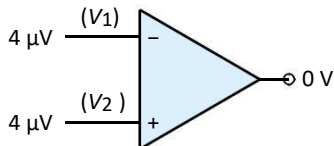
$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= 100.000 \times (3 \mu\text{V} - 6 \mu\text{V}) \\ &= 100.000 \times (-3 \mu\text{V}) \\ &= -(0,3) \text{ V} \end{aligned}$$

Acest rezultat este negativ, deoarece cantitatea $(V_2 - V_1)$ are o valoare netă negativă.

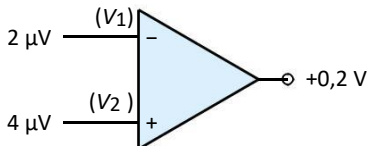
Notă: Scopul acestui exemplu este doar de a arăta cum se comportă un amplificator operațional în buclă deschisă. Ar fi foarte dificil să se realizeze acest lucru în laborator din cauza valorilor mici ale tensiunilor de intrare.

Figura 3.2

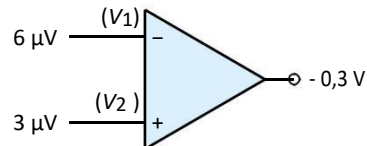
Diverse combinații de tensiune de intrare ($A = 100.000$) (Exemplul 3.1).



(a)



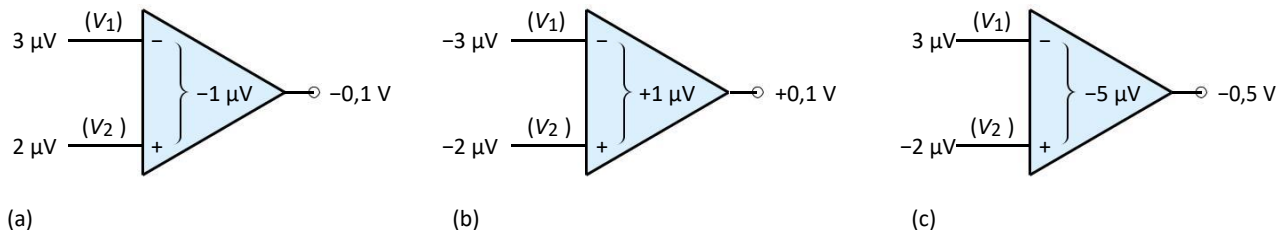
(b)



(c)

Figura 3.3

Diverse combinații de tensiune de intrare ($A = 100,000$).



Exemplul 3.1 începe să ilustreze un aspect al amplificator operațional care poate părea ciudat la început - semnul rezultatului. Luați în considerare cele trei amplificatoare operaționale din Figura 3.3. În figura 3.3 litera (a), ambele intrări sunt pozitive, dar ieșirea este negativă. De ce? – Intrarea – are valoarea mai mare, astfel încât cantitatea ($V_2 - V_1$) este negativă ($2 \mu V - 3 \mu V = -1 \mu V$). Din ecuația 3.1 (ecuația amplificatorului operațional),

$$V_{out} = A(V_2 - V_1)$$

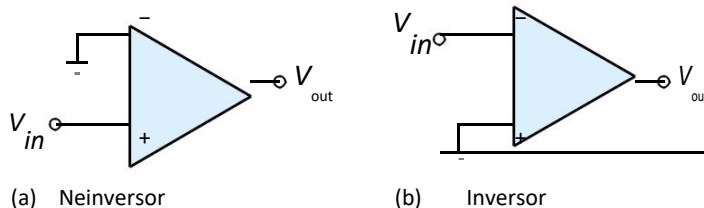
puteți vedea că, dacă ($V_2 - V_1$) este negativ, V_{out} va fi negativ. *

Acum, luați în considerare circuitul din Figura 3.3 (b). Intrările sunt ambele negative, dar rezultatul este pozitiv. Pentru a înțelege acest lucru, examinați din nou cantitatea ($V_2 - V_1$), acordând atenție semnelor. În acest caz, $[-2 \mu V - (-3 \mu V)] = +1 \mu V$, care este pozitiv. Circuitul din figura 3.3 litera (c) este mai simplu. În acest caz, $(V_2 - V_1) = (-2 \mu V - 3 \mu V) = -5 \mu V$, ceea ce este clar negativ.

Acum, luați în considerare cazul în care este necesară doar o singură intrare. Există două posibile legături: ieșirea va fi în fază, fie în afara fazei cu intrarea. Pentru a face un amplificator neinvertor (în cazul în care ieșirea este în fază cu intrarea), intrarea – este împământată (pusă la "masa" electrică), iar semnalul de intrare este conectat la intrarea neinvertoare (+), așa cum se arată în figura 3.4(a). Dacă dorim un amplificator invertor, în cazul în care ieșirea este în afara fazei cu intrarea, conectăm semnalul la intrarea inversoare ($-$) și împământăm intrarea +, așa cum se arată în Figura 3.4 (b).

Figura 3.4

O singură intrare, buclă deschisă
Amplificatoare.



* Un alt mod de a determina polaritatea de ieșire este de a utiliza următoarea regulă: ieșirea va presupune polaritatea care se potrivește cu simbolul de intrare cele mai pozitive. În cazul figurii 3.3 litera (a), – intrarea are cea mai mare valoare pozitivă, astfel încât rezultatul este negativ.

Toate circuitele amplificatoare operaționale discutate până acum se numesc ca fiind în *bucă deschisă*, deoarece funcționează la câștig în buclă deschisă. După cum vom vedea, aceasta nu este aplicarea tipică a unui amplificator operațional - o facem aici pentru că simplifică discuția despre modul în care funcționează intrările diferențiale.

Majoritatea circuitelor amplificator operațional încorporează **feedback negativ**. Aceasta înseamnă că o parte din semnalul de ieșire este alimentată înapoi și scăzută din intrare. Feedback-ul negativ duce la o operație foarte stabilă și previzibilă în detrimentul câștigului redus (pe care ni-l putem permite cu ușurință, deoarece câștigul în buclă deschisă este atât de mare pentru început). Analiza circuitelor amplificatoare operaționale este de fapt mai ușoară decât analizarea amplificatoarelor cu tranzistoare discrete tradiționale, deoarece parametrii impresionanți ai amplificator operațional ne permit să facem trei ipoteze de simplificare a circuitului:

- Ipoteza 1: $V_1 = V_2$. *Explicație:* Cum putem presupune, eventual, că intrările V_1 și V_2 sunt întotdeauna aceleași? Nu am putea forța V_1 și V_2 să fie ceva ce ne convine? Da, dar argumentul merge astfel: Tensiunea de ieșire este egală cu $A(V_2 - V_1)$ unde A , fiind câștigul în buclă deschisă, este un număr foarte mare. Astfel, chiar și o mică diferență între V_1 și V_2 va provoca o ieșire foarte mare. Cu toate acestea, ieșirea are o limită superioară practică stabilită de sursa de alimentare; prin urmare, pentru a împiedica output-ul să-și depășească limitele, diferența dintre V_1 și V_2 trebuie să fie foarte mică. Acest lucru este ilustrat în figura 3.5. Sursa de alimentare este de +15 V și -15 V, care limitează

oscilația tensiunii de ieșire la aproximativ +12 V și -12 V (fiind 80% din alimentare). Dacă câștigul în buclă deschisă este de 100.000, atunci diferența dintre V_1 și V_2 care ar provoca o ieșire de 12 V și se calculează folosind ecuația 3.1: $V_{out} = A(V_2 - V_1)$. Rearanjarea ne oferă

$$(V_2 - V_1) = \frac{V_{out}}{100.000} = 0.00012V$$

Deci vedem că, pentru a menține amplificatorul în funcțiune liniar cu ieșirea în limitele sale, diferența dintre V_2 și V_1 trebuie să fie mai mică de 0,00012 V, ceea ce este o tensiune foarte mică. Prin urmare, spunem că V_1 este practic același cu V_2 .

- Ipoteza 2: Curentul de intrare este zero. *Explicație:* Rezistența la intrare a unui amplificator operațional este foarte mare, de obicei 1 MΩ sau mai mult. Este atât de mare încât putem modela intrările ca fiind circuite deschise, așa cum se arată în Figura 3.6; desigur, nici un curent nu poate curge într-un circuit deschis.

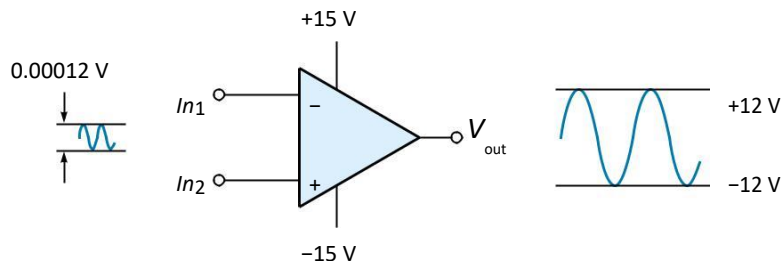
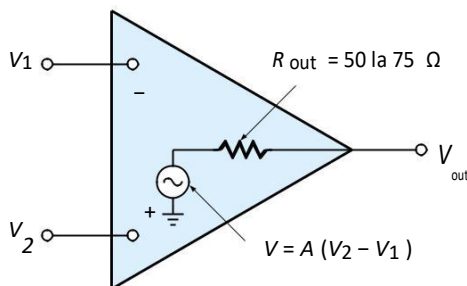


Figura 3.5

Intrările amplificator operațional sunt virtual practic la aceeași tensiune.

Figura 3.6

Model de circuit echivalent al unui amplificator operațional.



- Ipoteza 3: Rezistența la ieșire este zero. *Explicatie:* O rezistență la ieșire scăzută înseamnă că tensiunea de ieșire nu va fi trasa în jos (către masă) chiar dacă sarcina atrage mult curent.

Aceasta este cea mai slabă dintre cele trei ipoteze, deoarece rezistența la ieșire este de obicei între 50 și 75 de Ω (cu toate acestea, poate fi mult mai mică cu feedback negativ). Această ipoteză este valabilă numai dacă sarcina acționată este considerabil mai mare decât rezistența la ieșire a amplificator operațional, ceea ce este cazul în majoritatea aplicațiilor.

Multe tipuri diferite de amplificator operațional sunt disponibile, cu nume, cum ar fi *de uz general*, cu lățime de *bandă largă*, cu *zgomot redus*, și de *întărită frecvență*, pentru a numi câteva. Pentru majoritatea aplicațiilor de control, tipurile de uz general sunt adecvate. Figura 3.7 prezintă o fișă tehnică pentru popularul amplificator operațional 741 de uz general (MC1741), care vine în patru tipuri de pachete. Pe lângă pinii de intrare și ieșire inversați și neinversați, acest amplificator operațional are încă doi pini numiți *offset null*. După cum se indică în diagrama mică din figura 3.7, aceștia pot fi utilizați pentru a regla ușor tensiunea de ieșire în sus sau în jos în scopul eliminării **tensiunii offset DC** - o tensiune dc mică care poate apărea la ieșire, chiar și atunci când intrările sunt exact egale.

Analizând caracteristicile electrice (Figura 3.7), câștigul mare al tensiunii semnalului este dat ca 50-200 V/mV. Aceasta înseamnă că, cel puțin, raportul este de 50 V pentru fiecare milivolt, care este echivalentul a 50.000 V pentru fiecare volt în, sau un câștig de 50.000 (minim). Observați, de asemenea, că rezistența la intrare este dată ca fiind de obicei 2 M Ω iar rezistența la ieșire este de obicei de 75 Ω .

741 este un amplificator operațional tradițional, care este frecvent citat în manuale, deoarece utilizatorii sunt familiarizați cu el și este, de obicei, găsit în laboratoare. Cu toate acestea, există sute de tipuri de amplificatori operaționali pe piață, mulți dintre aceste tipuri mai noi sunt mai bune într-un fel decât 741. Din fericire, aproape toate au aceeași configurație a pinilor ca și 741, astfel încât să puteți proiecta un circuit în jurul unui 741 și apoi să înlocuiți cu un model diferit dacă aveți nevoie de performanță. Exemple de amplificator operaționali mai noi includ LF355, LM308 și LF411. LF411 are o rezistență la intrare extrem de ridicată și practic nici o tensiune offset.

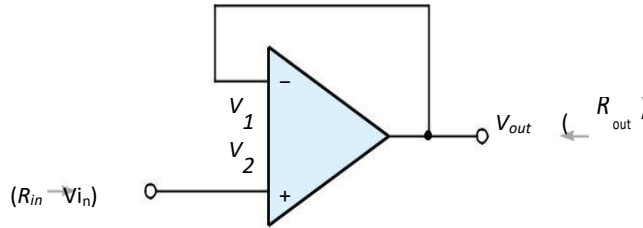
Multe circuite utile de condiționare a semnalului pot fi construite folosind amplificatoare operaționale. Unele dintre cele mai frecvente sunt prezentate în paginile care urmează.

Amplificatoare de tensiune

Amplificatorul de tensiune, este un circuit foarte util, poate stimula curentul unui semnal fără a crește tensiunea. Poate transforma un semnal de impedanță ridicată (ușor de încărcat

Figura 3.8

Un circuit de amplificarea a tensiunii.



în jos) într-un semnal robust de impedanță scăzută. Figura 3.8 prezintă un circuit de urmărire a tensiunii.

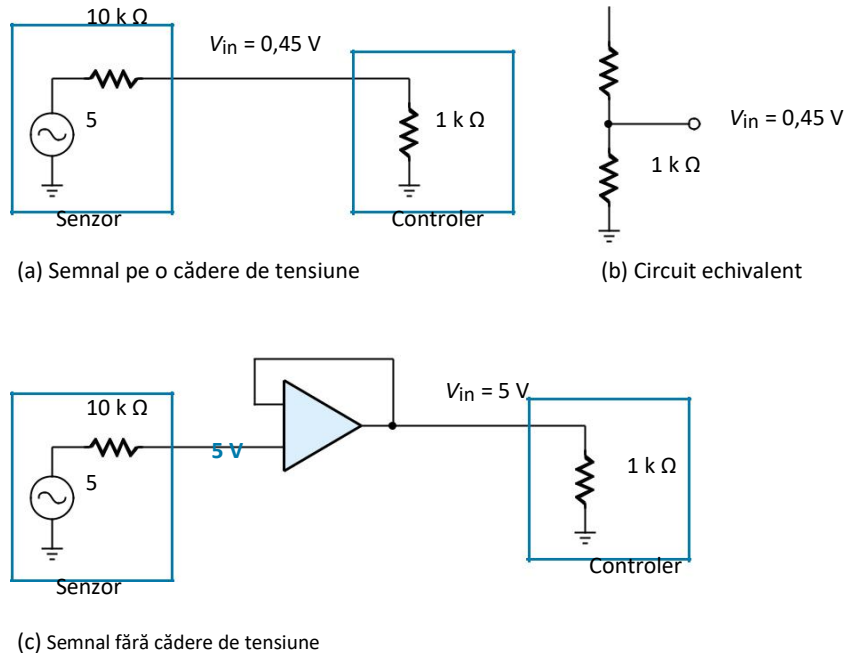
Are un câștig de tensiune de 1, cu un R_{in} ridicat și un R_{out} scăzut. Funcționarea sa poate fi explicată după cum urmează: Începem cu ecuația unui amplificator operațional de bază (Ecuația 3.1):

$$V_{out} = A(V_2 - V_1)$$

În circuit, V_{out} este conectat la V_1 ; astfel, $V_{out} = V_1$. Înlocuind în V_{out} și extinzând ecuația 3.1, $V_{out} = (AV_2) - (AV_{out})$ Rezolvând pentru V_{out} , vom obține $V_{out} = AV_2 / (1+A) \approx V_2$

Figura 3.9

Folosind un amplificator de tensiune pentru a preveni încărcarea către masă.



Dar pentru că A este *mult* mai mare decât 1,

$$V_{out} = \frac{AV_2}{A} \approx V_2$$

Vedem că tensiunea de ieșire V_{este} egală cu tensiunea de intrare V_2 , ceea ce înseamnă că, câștigul global este 1. De asemenea, observați că semnalul de intrare real merge direct în intrare ne-inversoare, astfel încât acesta nu atrage niciun curent.

O modalitate mai intuitivă de a explica circuitul de amplificare al tensiunii este după cum urmează: Intrarea V_2 este practic aceeași tensiune ca V_1 , V_1 este conectat la V_{out} , deci este ca și cum V_2 ar fi conectat la V_{out} , de unde și câștigul de 1.

Amplificatorul de tensiune este un circuit simplu și foarte util. Luați în considerare situația prezentată în figura 3.9 litera (a). În acest caz, un senzor de înaltă impedanță (10 kΩ), este conectat direct la un controler cu o rezistență la intrare de 1 kΩ. Senzorul generează 5 V intern, dar acest lucru este redus de căderea de tensiune peste 10 kΩ de rezistența internă. Prin redesenarea circuitului [Figura 3.9(b)], vedem că aceste două rezistențe formează un divizor de tensiune. Tensiunea reală de intrare a controlerului poate fi calculată după cum urmează din regula divizorului de tensiune:

$$V_{in} = \frac{1 \text{ k}\Omega \times 5 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} = 0.45 \text{ V}$$

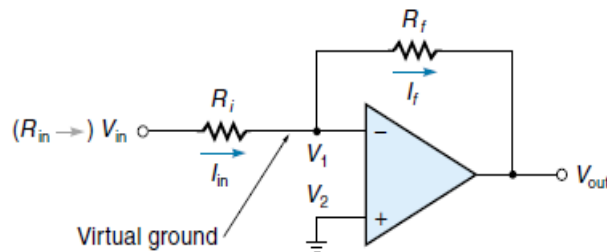
Acest lucru arată că doar 0,45 V din semnalul de 5 V ajunge la controler. Am putea amplifica semnalul de la controler pentru a compensa atenuarea, dar asta ar amplifica zgomotul, precum și semnalul. O soluție mai bună este introducerea unui amplificator de tensiune lângă senzor, așa cum se arată în figura 3.9 (c). Deoarece amplificator operațional nu atrage nici un curent de semnal, nu există nici o cădere de tensiune peste 10 kΩ rezistor, și 5 V intră în amplificatorul de tensiune și apare la ieșirea sa. Rezistența la intrare de 1 kΩ a controlerului este mult mai mare decât rezistența la ieșire a amplificatorului operațional, încât aproape toată tensiunea de 5 V va apărea pe terminalele controlerului.

Amplificator inversor

Amplificatorul inversor este probabil cea mai comună configurație de amplificator operațional. Circuit prezentat în Figura 3.10 necesită doar două rezistoare, R_i și R_f . R_i este rezistor de intrare, și R_f este un rezistor pe feedback-ul care alimentează o parte din semnalul de ieșire înapoi la intrare. Acest lucru

Figura 3.10

Amplificator inversor.



determină un amplificator inversor, deoarece semnalul de *intrare merge la intrarea inversoare, ceea ce înseamnă că ieșirea este în afara fazei cu intrarea*. Câștigul de tensiune este determinat de valorile rezistorului.

O explicație a modului în care funcționează amplificatorul inversor este după cum urmează: În primul rând, dacă intrarea amplificator operațional nu atrage curent, atunci tot curentul semnalului (I_{in}) trebuie să treacă prin R_f . Prin urmare, $I_{in} = I_f$. Prin presupunere, V_1 și V_2 sunt practic aceeași tensiune, iar V_2 este împământat; astfel, V_1 este la masă **virtuală**. Dacă V_1 este (aproape) la masă, atunci întreaga tensiune a semnalului de intrare V este scăzută peste R_i . Din legea lui Ohm,

$$I_{in} = \frac{V_{in}}{R_i}$$

După cum sa menționat deja, practic tot I_{in} trece prin rezistorul de feedback-ul R_f . Tensiunea peste R_f este diferența dintre masa virtuală și V_{out} . Astfel, putem scrie ecuația legii lui Ohm pentru R_f :

$$I_{in} = I_f = \frac{0 - V_{out}}{R_f}$$

Combinând cele două ecuații anterioare,

$$\frac{V_{in}}{R_i} = \frac{0 - V_{out}}{R_f}$$

Rezolvând pentru V_{out} și rearanjarea ne oferă

$$V_{out} = \frac{-V_{in}R_f}{R_i}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-R_f}{R_i}$$

Cu toate acestea, V_{out}/V_{in} este câștigul de tensiune, astfel încât:

$$A_V = \frac{-R_f}{R_i} \quad (3.2)$$

unde

A_V = câștigul de tensiune al amplificatorului de inversare

R_f = valoarea rezistorului de feedback

R_i = valoarea rezistorului de intrare

Acest rezultat (Ecuația 3.2) ne arată că câștigul de tensiune al amplificatorului inversor este pur și simplu raportul dintre cele două rezistoare R_f și R_i . Semnul minus ne amintește că ieșirea este inversată. Câștigul derivat din ecuația 3.2 se numește câștig în **bucă închisă** și este întotdeauna mai mic decât câștigul (în buclă deschisă) al amplificatorului operațional.

Un alt punct important este că impedanța de intrare pentru întregul amplificator inversor este de aproximativ R_i (nu infinit cum s-ar putea crede). Figura 3.10 arată acest lucru: terminalul drept al R_i este la masă virtuală; prin urmare, întregul V_{in} este "scăzut" peste R_i .

EXEMPLUL 3.2

Un amplificator inversor folosit pentru a avea un câștig de 10. Sursa de semnal este un senzor cu o impedanță de ieșire de 1 kΩ. Desenați o diagramă de circuit folosind un amplificator operațional.

SOLUȚIE

Mai întâi, selectați o valoare pentru R_i . Deoarece R_i determină, în esență, rezistența la intrare a amplificatorului, ar trebui să fie de cel puțin zece ori mai mare (dacă este posibil) decât impedanța sursei de semnal pentru a asigura transferul maxim de tensiune. În acest exemplu, selectăm $R_i = 10$ kΩ. Apoi, rearanjați ecuația 3.2 pentru a rezolva pentru R_f :

$$\begin{aligned} R_f &= -AR_i \\ &= -(-10) \times 10 \text{ k}\Omega = 100 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

Figura 3.11 prezintă circuitul finalizat.

Amplificatorul ne-inversor

Multe situații necesită un amplificator care nu inversează ieșirea. De exemplu, ieșirea unui senzor de temperatură ar putea fi de așa natură încât, pe măsură ce temperatura crește, tensiunea crește. Dacă aceasta este aceeași relație pe care o dorește controlerul, nu dorim ca amplificatorul să o inverseze. Circuitul amplificatorului care nu **inversează** este prezentat în figura 3.12. Este similar cu amplificatorul inversor, cu excepția semnalului de intrare V_{in} care acum merge direct la intrarea ne-inversoare și R_i este împământat (legat la masă). Observați că amplificatorul care nu se inversează are o impedanță de intrare aproape infinită (R_i) deoarece V_{in} se conectează numai la intrarea amplificatorului operațional.

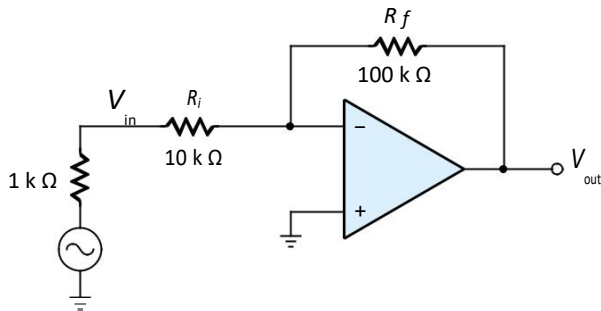
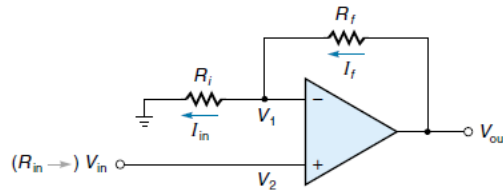


Figura 3.11
Amplificator inversor
(exemplul 3.2).

Figura 3.12

Circuitul amplificatorului neinversor.



O explicație a modului în care funcționează circuitul este după cum urmează: Dacă V_1 este practic același cu V_2 , atunci intrarea de tensiune (V_{in}) apare peste R_i . Aplicând legea lui Ohm la R_i , putem calcula I_{in} :

$$I_{in} = \frac{V_{in} - 0}{R_i}$$

Curentul din R_f poate fi calculat și folosind legea lui Ohm. Știm că tensiunea peste R_f este diferența dintre V_{in} și V_{out} . Prin urmare,

$$I_f = \frac{V_{out} - V_{in}}{R_f}$$

Deoarece nici un curent nu intră în intrarea inversoare a amplificatorului operațional, tot curentul prin R_f trebuie să meargă în R_i :

$$I_{in} = I_f$$

Combinarea acestor trei ecuații ne oferă

$$I_{in} = I_f = \frac{V_{in} - 0}{R_i} = \frac{V_{out} - V_{in}}{R_f}$$

Rezolvarea pentru V_{out} și rearanjarea ne oferă

$$\begin{aligned} V_{out} - V_{in} &= \frac{R_f V_{in}}{R_i} \\ V_{out} &= \frac{R_f V_{in}}{R_i} + V_{in} = V_{in} \left(\frac{R_f}{R_i} + 1 \right) \\ \frac{V_{out}}{V_{in}} &= \frac{R_f}{R_i} + 1 \end{aligned}$$

V_{out}/V_{in} este câștigul de tensiune, astfel încât ecuația rezultată pentru câștigul amplificatorului ne-inversor este

$$A_V = \frac{R_f}{R_i} + 1 \quad (3.1)$$

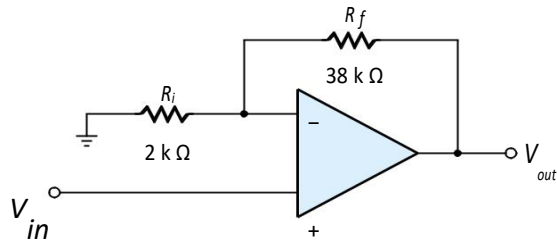
A_V = câștig de tensiune pentru amplificatorul

R_f care nu se inversează = valoarea rezistorului de feedback

R_i = valoarea rezistorului de intrare

Figura 3.13

Circuitul amplificatorului neinversor
(Exemplul 3.3).



EXEMPLUL 3.3

Desenați diagrama circuitului unui amplificator neinversor cu un câștig de 20.

SOLUȚIE

Folosind ecuația 3.3 și punând un câștig de 20,

$$A_V = 20 = \frac{R_f}{R_i} + 1$$

Rearanjarea ne oferă

$$\frac{R_f}{R_i} = 19 \quad \text{sau} \quad R_f = 19 \times R_i$$

Acum selectați R_i pentru a fi o valoare adecvată (așa cum se explică mai jos) și rezolvați pentru R_f . Dacă selectăm R_i să fie de 2 kΩ, atunci

$$R_f = 19 \times R_i = 19 \times 2 \text{ k}\Omega = 38 \text{ k}\Omega$$

Figura 3.13 prezintă circuitul finalizat. Motivarea pentru selectarea atât a R_i cât și R_f este că, curenții în aceste rezistențe externe ar trebui să fie mult mai mare decât micul curent care intră de fapt în amplificatorul operațional (amintiți-vă că ecuația amplificator operațional a fost bazat pe presupunerea că nici *un* curent nu intră amplificator operațional).

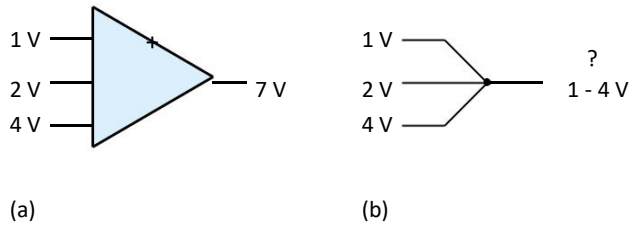
Prin urmare, atât R_i cât și R_f ar trebui să fie de cel puțin zece ori mai mici decât rezistența la intrare a amplificatorului operațional — în acest caz, nu mai mult de 100 kΩ dacă este posibil.

Amplificatorul sumator

Amplificatorul sumator are o tensiune de ieșire care este suma oricărui număr de tensiuni de intrare. Figura 3.14 litera (a) descrie această situație. În acest caz, amplificatorul ar adăuga tensiunile de intrare de 1 V, 2 V și 4 V și ar da o ieșire de 7 V. S-ar putea să fi tentat să

Figura 3.14

Conectarea simplă a firelor nu însumează tensiunea.



crezi că ai putea face acest lucru prin conectarea pur și simplu de fire, așa cum se arată în figura 3.14 (b), dar ieșirea acestui circuit ar fi ceva între 1 și 4 V, în funcție de sursa care a fost "cea mai puternică" (a avut cea mai mică rezistență).

Figura 3.15 prezintă circuitul amplificatorului de însumare. Fiecare semnal de intrare trece printr-un rezistor separat care îl ține izolat de celelalte. Se utilizează intrarea inversoare, astfel încât ieșirea va fi inversată. O explicație a modului în care funcționează este după cum urmează: Deoarece intrarea amplificator operațional nu atrage curent, toți curenții individuali de intrare trebuie să se combine și să treacă prin rezistorul de feedback R_f :

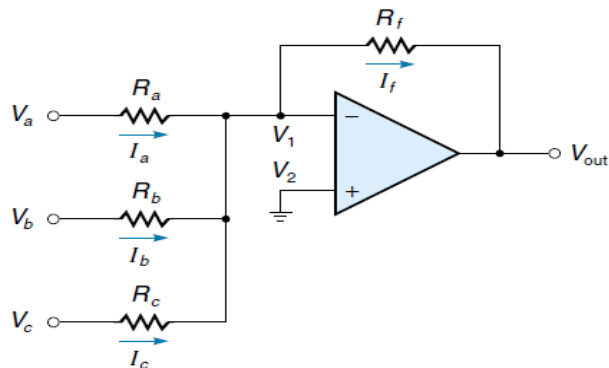
$$I_f = I_a + I_b + I_c \quad (3.4)$$

Rețineți că V_2 este conectat la masă, astfel încât V_1 este la masă virtuală. Prin urmare, tensiunea pe fiecare din cele patru rezistoare este pur și simplu V_a , V_b , V_c și V_{out} . Aplicând legea lui Ohm pentru a exprima curentul prin fiecare rezistor, putem rescrie Ecuația 3.4 după cum urmează:

$$\frac{0 - V_{out}}{R_f} = \frac{V_a}{R_a} + \frac{V_b}{R_b} + \frac{V_c}{R_c}$$

Rezolvând pentru V_{out}

$$V_{out} = -\left(\frac{R_f}{R_a}V_a + \frac{R_f}{R_b}V_b + \frac{R_f}{R_c}V_c\right)$$


Figura 3.15

Circuitul amplificatorului sumator.

Cu alte cuvinte, tensiunea de ieșire este egală cu suma produselor tensiunilor de intrare și a câștigurilor respective ale acestora. De asemenea, impedanța de intrare a fiecărei intrări este egală cu valoarea rezistorului de intrare respectiv (R_a , R_b , etc.).

Dacă $R_a = R_b = R_c = R_i$, rezultatul amplificatorului sumator se simplifică:

$$V_{\text{out}} = -\frac{R_f}{R_i}(V_a + V_b + V_c)$$

unde

V_{out} = tensiunea de ieșire a amplificatorului sumator

R_f = valoarea rezistorului de feedback

R_i = valoarea tuturor rezistențelor de intrare

V_a , V_b , V_c = tensiunile semnalului de intrare

Ecuția 3.5 arată că tensiunea de ieșire V_{out} este egală cu suma tensiunilor de intrare înmulțit cu un factor de câștig de R_f / R_i . Semnul minus ne amintește că ieșirea este inversată.

EXEMPLUL 3.4

Conform unei scale de confort termic, aerul condiționat dintr-o clădire ar trebui să apară atunci când suma tensiunilor senzorului de temperatură și umiditate depășește 1 V. Un circuit de prag în aer condiționat necesită 5 V pentru pornire. Proiectați un circuit de interfață pentru a conecta cei doi senzori la unitatea de aer condiționat.

SOLUȚIE

Acest circuit necesită un amplificator sumator cu două intrări și un câștig de 5. Specificând ambele rezistoare de intrare pentru a fi aceleași (la 1 kΩ), putem folosi ecuația 3.5, iar singurul nostru calcul se referă la porțiunea de câștig a ecuației:

$$A = \frac{R_f}{R_i} = 5$$

Rearanjarea ne oferă

$$R_f = 5 \times R_{ia}$$

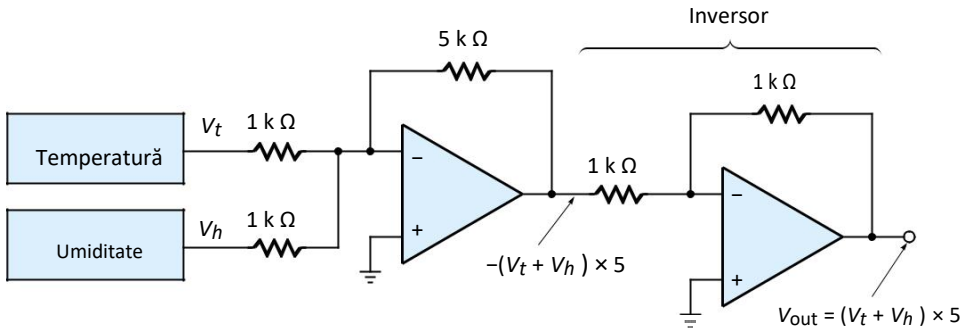
Când $R_f = 1 \text{ k}\Omega$,

$$R_f = 5 \times 1 \text{ k}\Omega = 5 \text{ k}\Omega$$

Figura 3.16 prezintă circuitul finalizat. Observați că a fost adăugat un amplificator inversor cu un câștig de 1 ($R_i = R_f$) pentru a face rezultatul final pozitiv.

Figura 3.16

Exemplu de circuit de amplificator sumator (exemplul 3.4).



Amplificatoare diferențiale și amplificatoare pentru instrumentație

Un **amplificator diferențial** amplifică diferența dintre două tensiuni de intrare. În circuitele pe care le-am examinat până acum, tensiunile de intrare au fost menționate față de masă, dar amplificator operațional poate fi baza unui amplificator diferențial practic. Figura 3.17 prezintă un astfel de circuit. Ca și înainte, câștigul este stabilit cu rezistențe. Acest circuit va amplifica o **tensiune diferențială**, care este diferența dintre cele două niveluri de tensiune V_a și V_b , atunci când nici unul nu este la masă. Ieșirea amplificatorului (V_{out}) este un singur nivel de tensiune care se referă față la masă, uneori numit tensiune cu un singur **capăt**. Dacă $R_a = R_b$ și $R_f = R_g$, care este de un caz obișnuit, atunci ecuația pentru V_{out} este

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_a} (V_b - V_a) \quad (3.6)$$

Rearanjând formula de mai sus

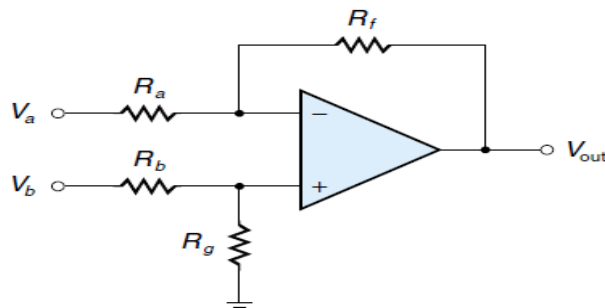
$$\frac{V_{out}}{(V_b - V_a)} = \frac{R_f}{R_a}$$

Dar $V_{out}/(V_b - V_a)$ este câștigul, atunci

$$A_V = \frac{R_f}{R_a} \quad (3.7)$$

Figura 3.17

Circuitul amplificatorului diferențial.



unde

A_V = câștigul de tensiune al amplificatorului diferențial

R_f = valoarea lui R_f și R_g

R_a = valoarea rezistențelor de intrare, R_a și R_b

Ca și în cazul amplificatorului operațional de bază, polaritatea ieșirii (V_{out}) va fi pozitivă atunci când intrarea V_b este mai pozitivă decât intrarea V_a . Selectarea valorilor rezistorului R_a și R_b se bazează pe un compromis. Dacă sunt prea mari - să zicem, peste 100 kΩ- atunci curenții pot fi atât de mici încât ipotezele noastre de amplificator operațional de bază nu vor funcționa (de exemplu, presupunerea că tot curentul din R_a trece prin R_f). Pe de altă parte, dacă rezistențele sunt prea mici (mai puțin de zece ori rezistența sursei), atunci o cantitate considerabilă de atenuare va avea loc înainte ca semnalul să ajungă chiar la amplificator.

EXEMPLUL 3.5

Este necesar un amplificator diferențial pentru a amplifica diferența de tensiune dintre doi senzori de temperatură. Senzorii au o rezistență internă de 5 kΩ, iar diferența maximă de tensiune dintre senzori va fi de 2 V. Proiectați circuitul amplificatorului diferențial pentru a avea o ieșire de 12 V atunci când diferența intrărilor este de 2 V.

SOLUȚIE

Mai întâi calculați câștigul necesar:

$$A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{12V}{2V} = 6$$

Lăsând $R_a = R_b$ și $R_f = R_g$, putem folosi Ecuația 3.7. Observând că impedanța senzorului este de 5 kΩ, am dori ca rezistența la intrare a amplificatorului să fie de cel puțin zece ori 5 kΩ. Prin urmare, dacă selectăm $R_a = 50$ kΩ, atunci

$$A_V = \frac{R_f}{R_a} = 6$$

rezolvare pentru R_f

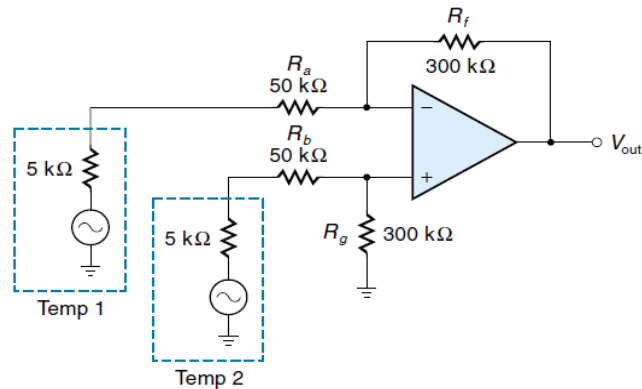
$$\begin{aligned} R_f &= R_a \times 6 \\ &= 50 \text{ k}\Omega \times 6 = 300 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

Figura 3.18 prezintă schema finalizată.

Uneori informația este transmisă ca semnal *diferențial*, ceea ce înseamnă că tensiunea reală a semnalului este diferența dintre două fire. Un astfel de semnal ar putea fi transformat într-o tensiune reglată (la masa la care se face referire) printr-un

Figura 3.18

Un circuit de
amplificator
diferențial
(Exemplul 3.5).



amplificator diferențial. Avantajul acestui sistem este că reduce efectul zgomotului electric. Un semnal de zgomot ar tinde să se cupleze pe ambele fire; de exemplu, un zgomot de tensiune pozitiv "spike" ar provoca un vârf pozitiv în *ambele* fire, care ar fi anulat de amplificatorul diferențial (deoarece numai diferențele de tensiune sunt amplificate). Acest efect se numește **respingerea modului comun**.

Un **amplificator de instrumentație** este un amplificator diferențial care are intrările sale bufferate în tensiune, așa cum se arată în Figura 3.19. Circuitele de buffer ai tensiunii de pe intrări îndeplinesc trei funcții : (1) Ele măresc rezistența la intrare, astfel încât sursa (cum ar fi un senzor) să nu fie niciodată scurtcircuitată, (2) fac ca rezistența la intrare să fie egală și (3) izolează rezistențele definitorii câștigului (R_f, R_i etc.) de sursa de semnal. Această ultimă calitate înseamnă că amplificatoarele de instrumente pot fi preconstruite pentru a avea un câștig specific.

O fișă tehnică pentru amplificatorul de instrumente Burr-Brown PGA204 este prezentată în figura 3.20. Acest tip de amplificator de instrumentație este cunoscut ca un **amplificator de instrumentație cu câștig programabil**, deoarece câștigul este selectabil cu intrări digitale. Ambalate

Figura 3.19

Circuitul
amplificatoru-
lui de
instrumen-
tație.

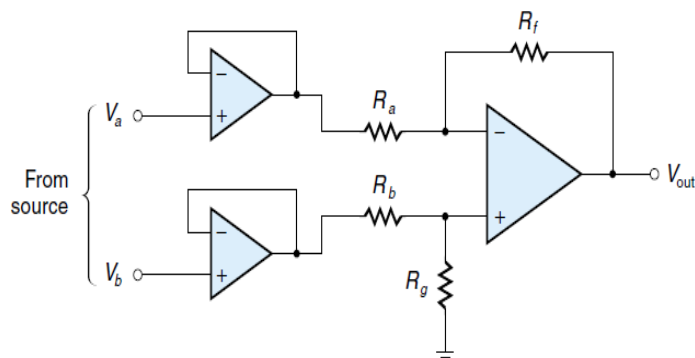


Figura 3.20

Fisa tehnica
pentru PGA204



PGA204
PGA205

Programmable Gain INSTRUMENTATION AMPLIFIER

FEATURES

- **DIGITALLY PROGRAMMABLE GAIN:**
PGA204: $G=1, 10, 100, 1000V/V$
PGA205: $G=1, 2, 4, 8V/V$
- **LOW OFFSET VOLTAGE:** $50\mu V$ max
- **LOW OFFSET VOLTAGE DRIFT:** $0.25\mu V/^{\circ}C$
- **LOW INPUT BIAS CURRENT:** $2nA$ max
- **LOW QUIESCENT CURRENT:** $5.2mA$ typ
- **NO LOGIC SUPPLY REQUIRED**
- **16-PIN PLASTIC DIP, SOL-16 PACKAGES**

APPLICATIONS

- **DATA ACQUISITION SYSTEM**
- **GENERAL PURPOSE ANALOG BOARDS**
- **MEDICAL INSTRUMENTATION**

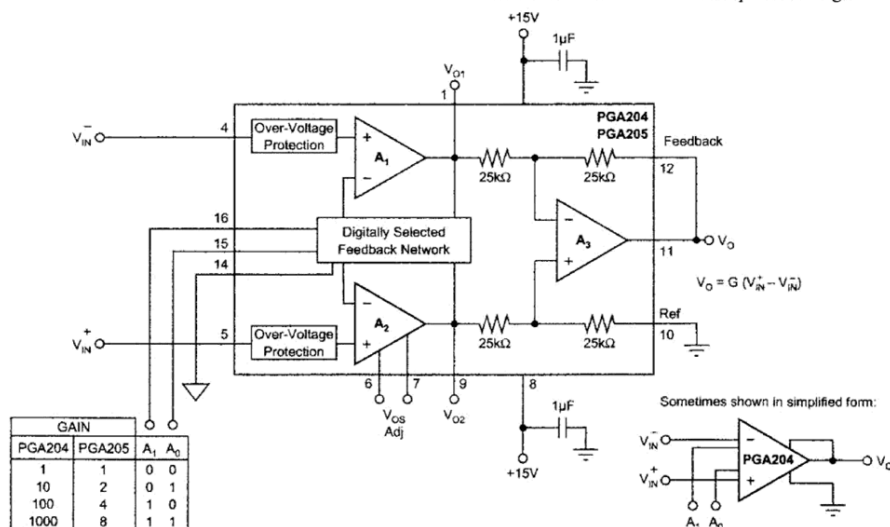
DESCRIPTION

The PGA204 and PGA205 are low cost, general purpose programmable-gain instrumentation amplifiers offering excellent accuracy. Gains are digitally selected: PGA204—1, 10, 100, 1000, and PGA205—1, 2, 4, 8V/V. The precision and versatility, and low cost of the PGA204 and PGA205 make them ideal for a wide range of applications.

Gain is selected by two TTL or CMOS-compatible address lines, A_0 and A_1 . Internal input protection can withstand up to $\pm 40V$ on the analog inputs without damage.

The PGA204 and PGA205 are laser trimmed for very low offset voltage ($50\mu V$), drift ($0.25\mu V/^{\circ}C$) and high common-mode rejection ($115dB$ at $G=1000$). They operate with power supplies as low as $\pm 4.5V$, allowing use in battery operated systems. Quiescent current is $5mA$.

The PGA204 and PGA205 are available in 16-pin plastic DIP, and SOL-16 surface-mount packages, specified for the $-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$ temperature range.



ca IC cu 16 pini, PGA204 are patru câștiguri fixe de 1, 10, 100 și 1000, care sunt selectate de două intrări digitale (00, 01, 10, 11). Aceste amplificatoare sunt utile în aplicațiile în care semnalele de tensiuni foarte diferite sunt digitalizate de același ADC (convertor analog-digital). Într-un astfel de sistem, controlerul digital ar putea trece la câștigul corespunzător pentru fiecare nivel de semnal diferit.

Integratori și diferențiatori

Circuitele cu amplificatori operaționali pot fi proiectate pentru a integra sau diferenția o formă de undă primită. Aceste circuite cu scop special sunt susceptibile de a fi găsite numai în interiorul unui controler analogic (după cum sa discutat în capitolul 11).

Figura 3.21 prezintă un circuit **integrator**. Observați că elementul de feedback este un condensator. Integratorul dă o tensiune de ieșire (V_{out}) care este proporțională cu suprafața totală sub o curbă trasată de forma de undă a tensiunii de intrare (axa orizontală fiind timpul), așa cum se specifică în ecuația 3.8:

$$V_{out} = \frac{1}{RC} \times (\text{suprafața de sub curba } V_{in} \times \text{time})$$

unde

V_{out} = tensiunea de ieșire a integratorului

R, C = valorile componentelor din figura 3.21

Circuitul integratorului funcționează prin conversia V într-o sursă de curent constantă care forțează condensatorul (C) să se încarce la o viteză liniară, construind astfel tensiunea peste C .

Conceptul de integrator poate fi explicat prin formulele de undă ale eșantionului prezentate în figura 3.22 (care presupune $RC = 1$). Observați că tensiunea de intrare a integratorului (V_{in}) crește de la 0 la 1 V în primele 10 s. Aria triunghiulară de sub acea porțiune a curbei ($a-b$) este de $5 \text{ V} \cdot \text{s}$, astfel încât ieșirea (V_{out}) a integratorului merge de la 0 la -5 V în același timp. Cu alte cuvinte, tensiunea de ieșire ajunge să fie de aceeași magnitudine ca și zona de sub curbă, în acest caz 5 (semnul minus apare deoarece este un amplificator inversor). Din timpul b la c , V_{in} rămâne la 1 V, astfel încât noua zonă adăugată este de $10 \text{ V} \cdot \text{s}$. În consecință, mărimea V_{out} crește cu 10 pentru a deveni -15 V la momentul c . Apoi, V_{in} revine la 0 V. Pentru că nu este

Figura 3.21

Un circuit integrator.

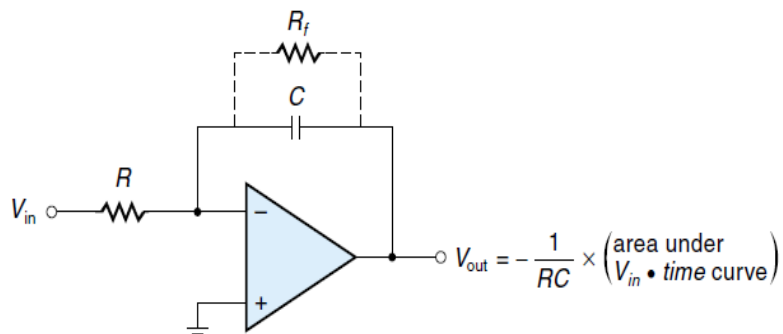
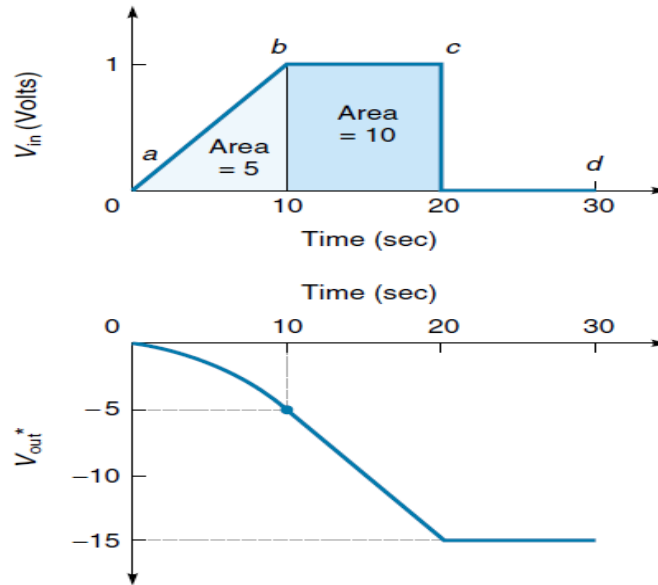


Figura 3.22

Forma de undă de tensiune a unui circuit integrator.

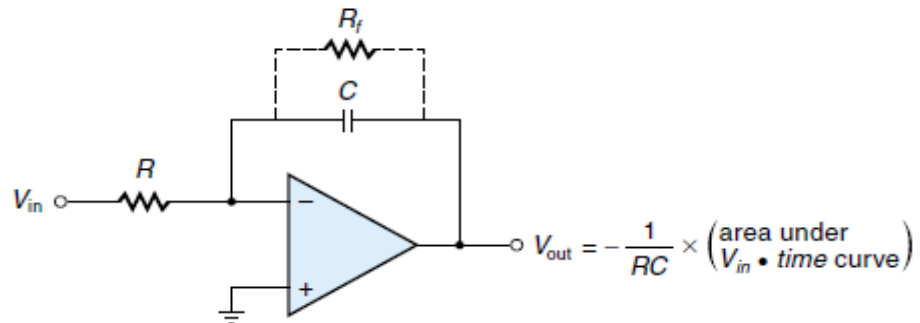
(* $V_{out} = -V \cdot s$ în acest caz, deoarece $RC = 1$.)



suprafața este adăugată între c și d , V_{out} rămâne la -15 V. Integratorii pot fi utili, deoarece acestea trebuie să păstreze o evidență a ceea ce sa întâmplat înainte.

Circuitul integrator simplu prezentat nu este practic, deoarece orice tensiune offset (și există întotdeauna unele) va provoca în cele din urmă ieșirea să se acumuleze și să se satureze la tensiunea de alimentare cu energie electrică. O soluție este de a pune un rezistor (R_f) peste condensator pentru a furniza un feedback DC. Dacă valoarea lui R_f este de cel puțin 10 ori mai mare decât R , performanța circuitului nu va fi, de obicei, afectată negativ.

Figura 3.23 prezintă un circuit **de diferențiere**. Diferențiatorul oferă o ieșire în volți proporțională cu viteza de variație (pantă) a tensiunii de intrare, așa cum se specifică în ecuația 3.9:

**Figura 3.23**

Un circuit de diferențiere.

$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \times \frac{\Delta V_{in}}{\Delta t} \quad (3.9)$$

unde

V_{out} = tensiunea de ieșire a diferențiatorului

R, C = valorile componentelor din figura 3.23

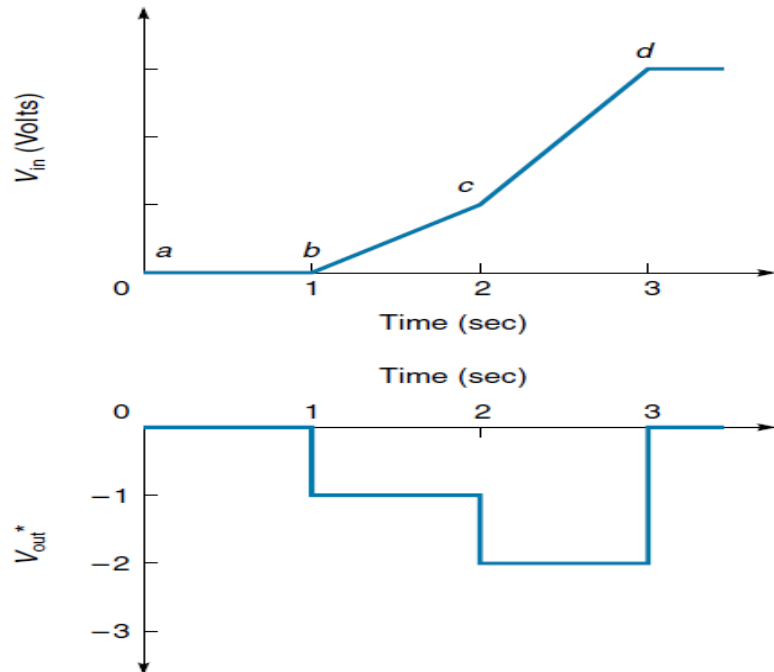
$\Delta V_{in}/\Delta t$ = viteza de variație sau panta lui V_{in}

Conceptul de diferențiator este ilustrat în figura 3.24 (care presupune $RC = 1$). Din momentul a la b , tensiunea de intrare (V_{in}) este de 0 V, și pentru că nu se schimbă, ieșirea pune tensiunea (V_{out}) de 0 V. În perioada de timp b - c , V_{in} crește cu o viteză constantă de 1 V/s, astfel încât curba V_{out} reflectă acest lucru rămânând la o constantă de -1 V (este negativă deoarece se utilizează intrarea de inversare). Din timpul c la d , panta lui V_{in} la 2 V / s, astfel încât V_{out} sare la -2 V. După timpul d , V_{in} rămâne la 3 V, și pentru că nu se schimbă, V_{out} este 0. Diferențiatorii ne pot spune cât de repede se schimbă o variabilă. În practică, cu toate acestea, ele suferă de problema că chiar și o cantitate mică de zgomot în intrare va fi accentuată, oferind o ieșire foarte "zgomotoasă".

Figura 3.24

Forme de undă de tensiune ale unui diferențiator.

(* $V_{out} = -V_{in}$
Deoarece în acest caz, $RC = 1$.)



Decibeli (db)

Câştigurile amplificatorului şi filtrului sunt adesea exprimate în decibeli (db), numiţi după Alexander Graham Bell. **Decibelul** este o expresie, la scară logaritmică, a cât de mare (sau mai mică) este ieşirea faţă de intrare. Ideea originală a fost de a folosi decibelul pentru a exprima câştigurile de putere folosind ecuaţia 3.10.

$$A_{p\text{db}} = 10 \log A_p \quad (3.10)$$

unde

$A_{p\text{db}}$ = câştig de putere în decibeli

A_p = câştig simplu de putere (numit "câştig direct")

După cum se dovedeşte, este mai frecvent să se măsoare câştigul de tensiune decât câştigul de putere, deoarece câştigurile de tensiune sunt mai uşor de măsurat şi calculat. Ecuaţia pentru câştigul de tensiune a decibelilor este dată în ecuaţia 3.11 şi utilizată în exemplul 3.6 pentru a calcula câştigul decibelilor unui amplificator.

$$A_{v\text{db}} = 20 \log A_v \quad (3.11)$$

unde

$A_{v\text{db}}$ = câştig de tensiune în decibeli

A_v = câştig de tensiune

EXEMPLUL 3.6

Un amplificator operaţional are un câştig de tensiune de 5000. Găsiţi câştigul de tensiune în decibeli.

SOLUŢIE

Aplicaţi ecuaţia 3.11 pentru a găsi câştigul de tensiune în decibeli.

$$A_{v\text{db}} = 20 \log Off = 20 \log 5000 = 74\text{db}$$

Prin urmare, câştigul de tensiune al amplificatorului exprimat în decibeli este de 74 db.

EXEMPLUL 3.7

Se spune că un amplificator are un câştig de tensiune de 45 db. Găsiţi câştigul de tensiune dreaptă.

SOLUŢIE

Rearanjaţi ecuaţia 3.11 pentru a rezolva pentru A_v .

$$A_v = \text{antilog} \frac{A_{db}}{20} = 10^{(A_{db}/20)}$$

$$A_v = 10^{(45/20)} = 10^{2.25} = 178$$

Prin urmare, câștigul de tensiune dreaptă al amplificatorului este de 178.

Sistemul db tinde să extindă numerele cu câștiguri mici și să comprime numerele cu câștiguri mari. Acest lucru poate fi clar în tabelul 3.1. Privind tabelul, putem face observații suplimentare:

1. Un câștig direct de 1 (ceea ce înseamnă *nici un* câștig sau pierdere) este de 0 db.
2. Un câștig direct de 2 (ceea ce înseamnă că ieșirea este de două ori mai mare decât intrarea) corespunde la 6 db.
3. Un câștig direct de 0,5 (care este într-adevăr o atenuare, deoarece ieșirea este doar jumătate la fel de mare ca de intrare) corespunde la -6 db. Puteți vedea că toate atenuările sunt decibeli negativi.
4. Când un câștig direct crește (sau coboară) cu un factor de 10, câștigul decibelilor se modifică prin adăugarea (sau scăderea) a 20 db.

Folosind aceste observații, putem veni cu o procedură simplă care vă va permite să veniți cu o estimare apropiată a câștigului decibelilor cu creion și hârtie (sau în cap!). Această procedură este demonstrată în exemplul 3.8, care utilizează următoarele reguli:

1. Factor câștigul de tensiune dreaptă în multipli de 10 și multipli de 2.
2. Pentru fiecare multiplu de 10, *adăugați* 20 db
3. Pentru fiecare multiplu de 2, *adăugați* 6 db.

TABELUL 3.1

Câștig de tensiune exprimată în decibeli

Câștig tensiune dreaptă, A_v	Decibel câștig, A_{vdb}
0.01	-40 db
0.1	-20 db
0.25	-12 db
0.5	-6 db
1	0 db
2	6 db
4	12 db
10	20 db
100	40 db
1000	60 db
10,000	80 db

EXEMPLUL 3.8

Estimați câștigul decibelilor pentru amplificatorul din exemplul 3.6 .

SOLUȚIE

Amplificatorul exemplului 3.6 a avut un câștig de tensiune dreaptă de 5000. Primul lucru pe care trebuie să-l facem este să luăm 5000 în multipli de 2 și 10 cât mai bine putem.

$$5000 = 5 \times 10 \times 10 \times 10 \text{ (Observați că 5 este de aproape 4, care este de } 2 \times 2.) \approx 2 \times 2 \times 10 \times 10 \times 10$$

Acum adăugăm 6 db pentru fiecare 2× și adăugăm 20 db pentru fiecare 10×

$$6 + 6 + 20 + 20 + 20 = 72 \text{ db}$$

Observați că estimarea noastră de 72 db este destul de aproape de răspunsul real de 74 db.

Puteți inversa această procedură pentru a estima câștigul de tensiune dreaptă din câștigul decibelilor. Acest lucru este demonstrat în exemplul 3.9, care utilizează următoarele reguli:

1. Despartiți câștigul decibelilor în cel mai apropiat număr de 6 și 20.
2. Pentru fiecare număr de 6, înmulțiți cu 2 (pentru fiecare addend de -6, înmulțiți cu 0,5)
3. Pentru fiecare număr de 20, se înmulțește cu 10 (pentru fiecare număr de -20, se înmulțește cu 0,1)

EXEMPLUL 3.9

Estimați câștigul de tensiune dreaptă pentru amplificatorul din exemplu 3.7.

SOLUȚIE

Amplificatorul a avut un câștig de tensiune de 45 db. Primul lucru pe care trebuie să-l facem este să împărțim 45 db în valori de 6 db și 20 db cât de bine putem.

$$\begin{aligned} 45 \text{ db} &= 5 \text{ db} + 20 \text{ db} + 20 \text{ db} && \text{(Observați că 5 este de)} \\ &\approx 6 \text{ db} + 20 \text{ db} + 20 \text{ db} && \text{aproape 6.)} \end{aligned}$$

Acum înmulțiți cu 2 pentru fiecare 6 db și înmulțiți cu 10 pentru fiecare 20 db.

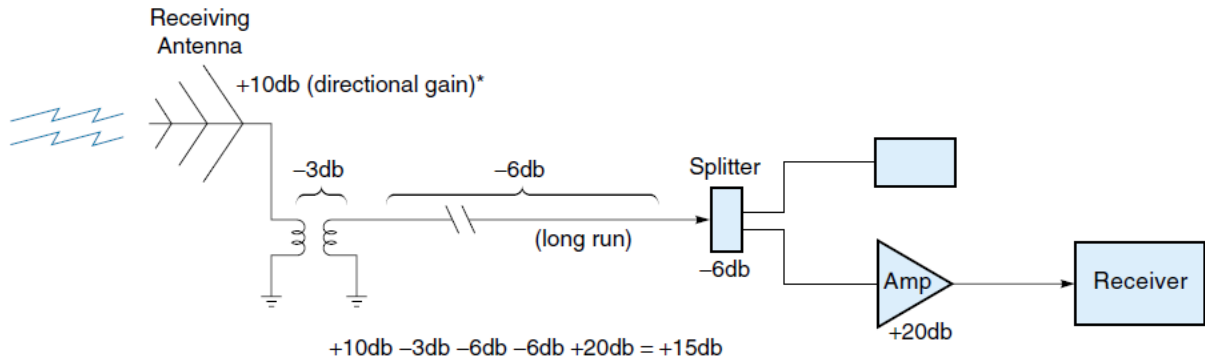
$$2 \times 10 \times 10 = 200$$

Observați că răspunsul nostru de 200 este destul de aproape de răspunsul real din 178.

Utilizarea decibelilor facilitează calcularea câștigului general al unui sistem. Un semnal poate fi necesar să treacă prin mai multe module în drum spre destinația finală, iar fiecare modul ar putea acționa fie ca amplificator, fie ca atenuator. Dacă știți câștigul decibelilor pentru fiecare modul, tot ce trebuie să faceți este să *le adăugați* pentru a obține câștigul general (câștigurile drepte trebuie să

Figura 3.25

Câștig total în decibeli
într-un sistem cu
antena.



*Designul antenei poate spori câștigul într-o anumită direcție față de ceea ce ar putea face o antenă simplă.

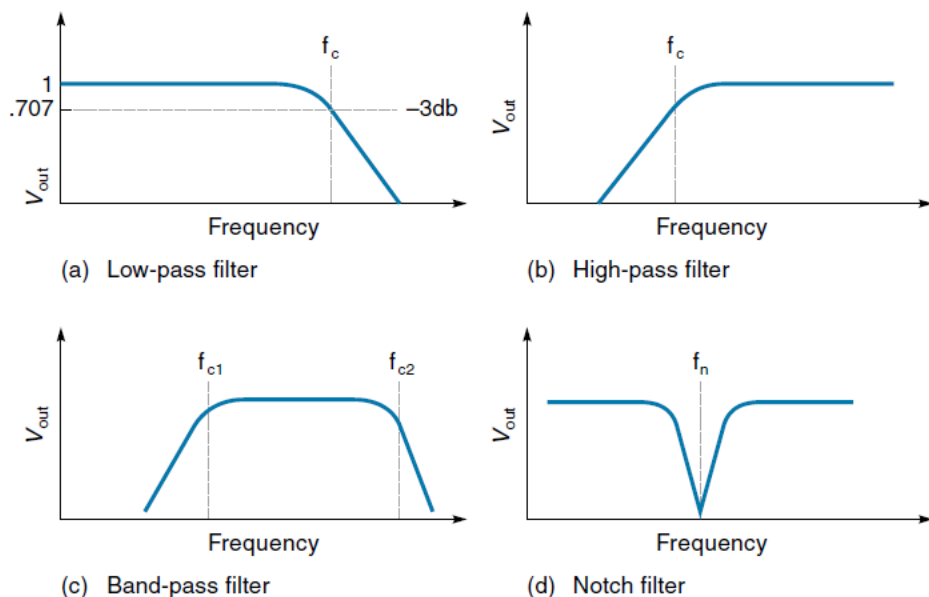
să le înmulțiți). Acest principiu este demonstrat în figura 3.25 pentru un sistem cu antenă. Puteți vedea că semnalul trece prin patru module, fiecare cu propriul câștig sau pierdere, dar câștigul global este ușor de calculat pentru a fi de 15 db.

Filtre active

Circuitele de filtrare trec sau opresc semnalele, în funcție de frecvență. Figura 3.26 prezintă răspunsurile unor tipuri de filtre de bază. **Filtrul de trecere joasă** sau filtru trece jos [Figura 3.26(a)] permite să treacă numai frecvențele de sub **frecvența de tăiere** (f_c). Frecvențele de deasupra f_c sunt atenuate. Frecvența reală de tăiere este definită ca frecvența în care câștigul scade la 0,707 (-3 db) din valoarea sa în bandă de trecere. Panta atenuării depinde de tipul de filtru. Un filtru $R-C$ comun cu o singură etapă (descriș mai jos) scade semnalul cu un factor de 10 de fiecare dată când frecvența crește cu 10 (sau -20 db pe octavă). **Filtrul trece sus** [Figura 3.26 (b)] tinde să respingă semnalele cu frecvențe sub frecvența de tăiere și să le treacă pe cele de mai sus. **Filtrul de trece bandă** [Figura 3.26 litera (c)] trece semnale cu o gamă de frecvențe între f_{c1} și f_{c2} și atenuează toate celelalte frecvențe. **Filtrul oprește bandă** [Figura 3.26(d)] respinge doar o gamă îngustă de frecvențe și trece toate celelalte.

Unele dintre aceste filtre sunt deosebit de utile pentru condiționarea semnalului în sistemele de control. De exemplu, senzorii care raportează lucruri precum temperatura sau debitul au semnale cu schimbare lentă. Un filtru low-pass ar permite semnalului senzorului să treacă în timp ce respinge zgomotul electric de frecvență mai mare, ca de la motoare sau rele. Filtrul oprește bandă este, de asemenea, deosebit de util. Poate fi folosit pentru a atenua o anumită frecvență de zgomot, cum ar fi 60 Hz, și pentru a trece orice altceva.

Figura 3.26 Răspunsuri de bază ale filtrului



Teoretic, filtrele pot fi construite în întregime din componente pasive (R , C , L). În practică, astfel de filtre tind să schimbe caracteristicile atunci când sunt introduse într-un circuit, deoarece interacționează cu impedanța celorlalte circuite. Amplificatorul operațional poate rezolva această problemă prin asigurarea izolării impedanței între filtru și circuitul pe care îl conduce și oferă și un câștig. *Un filtru care utilizează un amplificator operațional se numește **filtru activ**.* Figura 3.27 prezintă un filtru low-pass cu o singură etapă care încorporează un amplificator operațional. Observați că acesta este practic un amplificator care nu se inversează cu un filtru R - C conectat la intrare. Performanța acestui filtru poate fi descrisă cu ecuațiile 3.3 și 3.12:

$$\text{Gain} = A_v = \frac{R_f}{R_i} + 1$$

Frecvența de tăiere pentru filtre trece jos și trece sus este $f_c = 1/2\pi RC$ (3.12)

Figura 3.27

Filtru trece jos

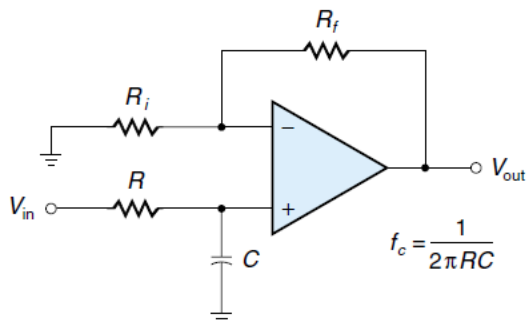


Figura 3.28

Circuit de
filtrare trece
sus.

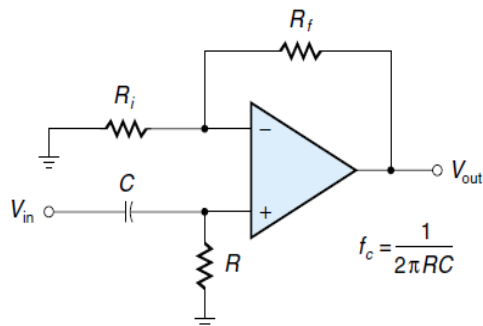


Figura 3.28 prezintă un filtru cu o singură treaptă de trecere înaltă. Este similar cu filtrul low-pass, dar pozițiile R și C sunt inversate. Ecuatiile pentru frecvență, câștig și a frecvenții de tăiere sunt exact aceleași ca și pentru filtrul low-pass (dar semnificația lui f_c este diferită, a se vedea figura 3.26).

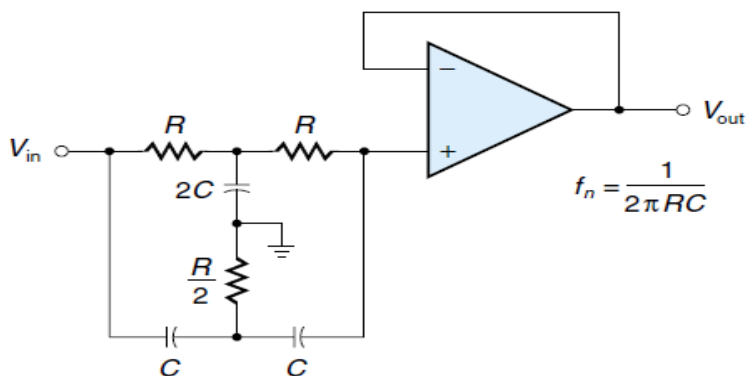
Un filtru de trecere a benzii poate fi construit prin cascadă un filtru low-pass și un filtru high-pass împreună. Frecvența de trecere a filtrului de trecere joasă (f_{c2}) trebuie să fie mai mare decât frecvența de trecere a filtrului de trecere înaltă (f_{c1}), astfel cum se indică în figura 3.26 litera (c).

Figura 3.29 prezintă un filtru oprește bandă cu amplificator operațional. Filtrul în sine este de tip Wein Bridge. Câștigul semnalului este 1 la toate frecvențele, cu excepția cazului în apropierea creștăturii. Frecvența (f_n), care este suprimată sau "crestată", poate fi calculată din ecuația 3.13:

$$\text{Frecvența unui filtru Wein Bridge} = f_n = 1/2\pi RC \quad (3.13)$$

Comparator

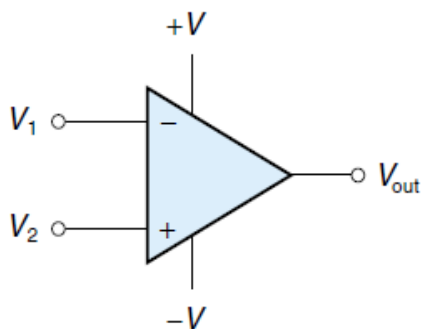
O situație tipică într-un sistem de control este un semnal analogic cu frecvență lentă de la un senzor utilizat pentru a declanșa un eveniment. O astfel de interfață necesită un circuit de detector de prag


Figura 3.29

Un circuit de
filtrare Wein
Bridge.

Figura 3.30

Un circuit comparator.



care se va comuta de la oprit la pornit atunci când se atinge un nivel specificat de tensiune de intrare. Un **comparator** este un astfel de circuit (Figura 3.30). Este într-adevăr un amplificator operațional care este special conceput pentru această aplicație (amplificatorii operaționali obișnuiți, de obicei, nu sunt suficient de stabili). Comparatorii sunt de obicei operați în buclă deschisă, astfel încât, dacă V_2 este chiar puțin mai pozitiv decât V_1 , câștigul extraordinar va amplifica diferența mică și va conduce ieșirea în saturație pozitivă (aproape de $+V$). Pe de altă parte, dacă V_1 este puțin mai pozitiv decât V_2 , out-put-ul va merge la saturație negativă ($-V$). Ieșirea este, în esență, de natură digitală - fie pornită, fie oprită, în funcție de o schimbare foarte mică a intrărilor. Acest concept este cel mai bine demonstrat într-un exemplu.

EXEMPLUL 3.10

Sufiant de pe un panou solar cu aer cald ar trebui să se declanșeze atunci când temperatura ajunge la 100°F . Un senzor de temperatură analogic din panoul solar trebuie să fie interconectat cu un controler digital, astfel încât controlerul să primească un semnal de pornire de 5 V atunci când tensiunea senzorului ajunge la 2,7 V. Proiectați circuitul de interfață.

SOLUȚIE

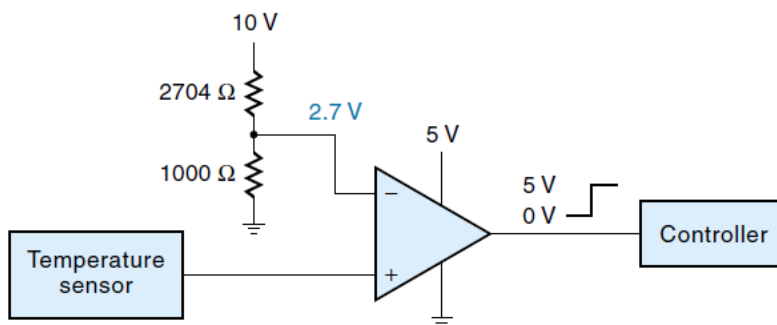
Figura 3.31 litera (a) prezintă circuitul interfeței. Semnalul de la senzor este conectat la intrarea ne-inversoare a comparatorului. Intrarea inversoare este legată la un divizor de tensiune care produce o tensiune de referință precisă de 2,7 V. Observați, de asemenea, că tensiunile de alimentare ale comparatorului sunt de 5 V față de masă.

Atâta timp cât tensiunea senzorului este sub 2,7 V, tensiunea de referință la intrarea inversoare predomină, iar ieșirea va fi negativă. În acest caz, ieșirea va merge la aproximativ 0 V, deoarece aceasta este tensiunea de alimentare negativă. Când tensiunea senzorului trece doar puțin peste 2,7 V, intrarea ne-inversoare devine pozitivă în comparație cu intrarea inversoare, iar ieșirea se saturează pozitiv la valoarea aproximativ 5 V. Punctul de pornire poate fi reglat cu ușurință prin schimbarea rezistențelor de tensiune de referință.

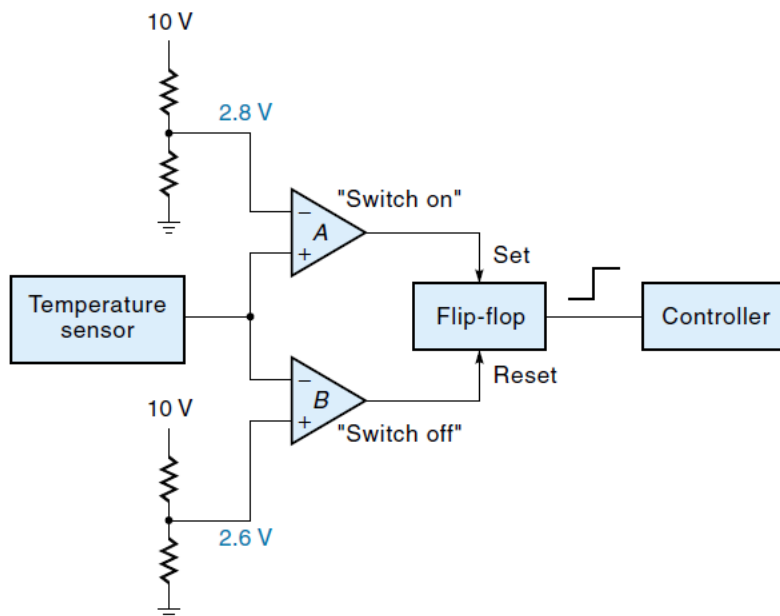
O problemă practică cu comparatoare este cunoscut sub numele **oscilație**, condiția care apare atunci când ieșirea (V_{out}) oscilează înainte și înapoi atunci când V_{in} este aproape de valoarea de prag. Oscilația este cauzată de zgomotul de pe V_{in} semnal sau de un fel de feedback nedorit,

Figura 3.31

Circuite comparatoare.



(a) Circuitul comparatorului, de exemplu 3.10

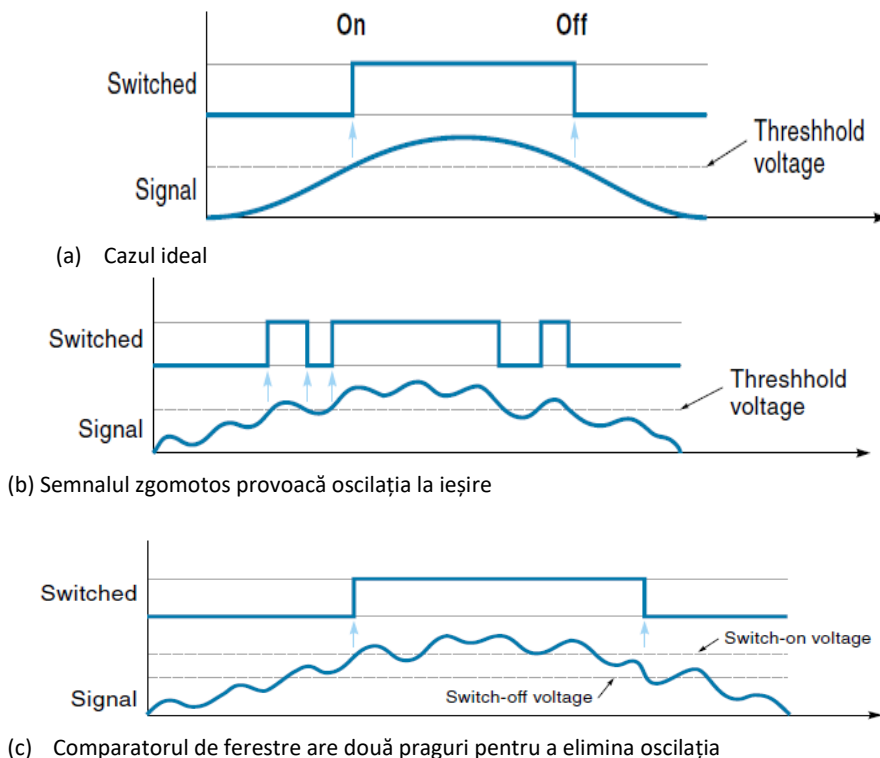


(b) Circuit comparator fereastră

să zicem, prin sursa de alimentare. Circuitele practice depășesc oscilația folosind un **comparator cu fereastră (histerezis)** [Figura 3.31(b)], un comparator cu histerezisul încorporat. În această discuție, *histerezis* înseamnă că tensiunea de pornire va fi mai mare decât tensiunea de oprire. De exemplu, dacă histerezisul a fost adăugat la sistemul exemplului 3.10, tensiunea de comutare ar putea fi de 2,8 V, iar tensiunea de oprire ar putea fi de 2,6 V. Ilustrând această situație, figura 3.32(a) arată sistemul ideal cu un singur prag cu un semnal fără zgomot. Figura 3.32(b) arată rezultatul dacă semnalul este zgomotos.

Figura 3.32

Cum un comparator fereastră elimină oscilația.



În cele din urmă, figura 3.32 litera (c) arată modul în care un sistem cu un prag de pornire și oprire poate elimina oscilația.

Figura 3.31 (b) prezintă un comparator de fereastră de tip care este construit din două amplificator operaționali și un bistabil de tip *flip-flop* R-S. Când tensiunea senzorului de temperatură crește peste 2,8 V, amplificator operațional A pornește și setează flip-flop-ul. Odată setat, flip-flop-ul va rămâne setat până când temperatura exprimată în volți va trece sub 2,6 V, caz în care amplificator operațional B va porni și reseta flip-flop-ul.

3.2 CIRCUITE SPECIALE DE INTERFAȚĂ

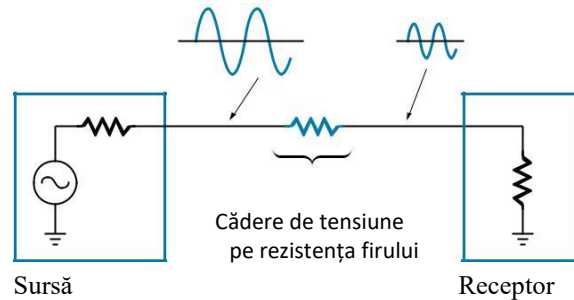
O serie de circuite de interfață cu scop special sunt utile în anumite aplicații. Unele comune sunt discutate în această secțiune.

Bucă curentă (conversia tensiunii-curentului)

Majoritatea semnalelor sunt semnale de tensiune, ceea ce înseamnă că informațiile transmise sunt proporționale cu tensiunea. Pot apărea două probleme potențiale în acest sens: Susceptibilitatea

Figura 3.33

Tensiunea semnalului este redusă de la rezistența sârmei.



la creșterea zgomotului electric (care este de obicei sub formă de vârfuri de tensiune), iar orice rezistență în firul de semnal provoacă o cădere de tensiune. Pentru distanțe scurte, sârma poate fi protejată eficient de zgomot, iar căderile de tensiune nu sunt o problemă. Pentru rulări mai lungi de cablu cu numeroși conectori, cum ar fi ar putea fi găsite într-un sistem de control al procesului într-o fabrică mare, zgomotul și rezistența totală a cablului pot deveni semnificative. Figura 3.33 ilustrează această situație. Observați că semnalul de la senzor a fost mult diminuat de rezistența cablului.

O soluție la problemele de zgomot și atenuare a semnalului este utilizarea curentului în loc de tensiune pentru a transmite informațiile. Acest lucru este eficient deoarece curentul, spre deosebire de tensiune, nu este la fel de susceptibil la zgomot și nu scade atunci când trece printr-o rezistență. După cum ne spune legea actuală a lui Kirchhoff, orice curent intră într-o ramură, iese la ieșire. Acest lucru este ilustrat în figura 3.34. Observați că semnalul iese de la sursă, se transmite la receptor, și apoi bucle înapoi la sursă. Receptorul nu afectează curentul, ci doar îl recepționează; prin urmare, avem o **bucă de curent**, care merge de la sursă la receptor și înapoi la sursă. Orice rezistență în fire nu poate modifica faptul că curentul rămâne același pe întreaga buclă.

Amplificatorii operaționali pot fi utilizați pentru a implementa atât emițătorul cât și receptorul într-un sistem buclă de curent. Figura 3.35 prezintă un circuit de transmițător. Acest circuit convertește un semnal de în tensiune (V_{in}) într-un curent de ieșire (I_{out}), care este proporțional cu V_{in} . Circuitul amplificator operațional face ca curentul de ieșire să fie independent de orice rezistență din linie. El realizează acest lucru prin creșterea sau scăderea automată a tensiunii sale de ieșire (V_{out}) ca răspuns la orice creștere sau scădere a rezistenței liniei.

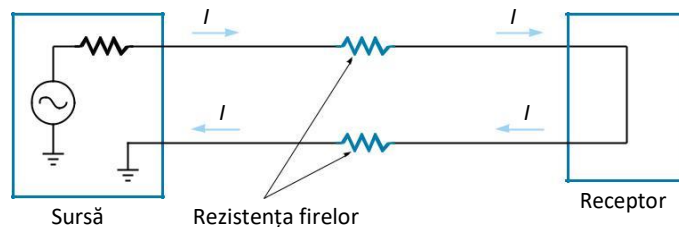
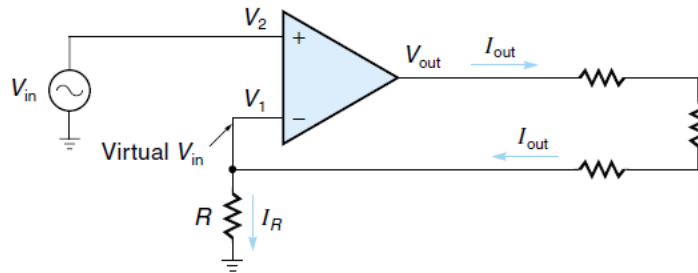


Figura 3.34

Un circuit în buclă curentă.

Figura 3.35

Amplificator operațional
transmitător în buclă deschisă



Explicația pentru modul în care funcționează circuitul din Figura 3.35 este după cum urmează: Amintiți-vă că pentru un amplificator operațional putem presupune că V_1 este practic același cu V_2 ; prin urmare, tensiunea peste R trebuie să fie V_{in} . Aplicarea legii lui Ohm la R , vom obține

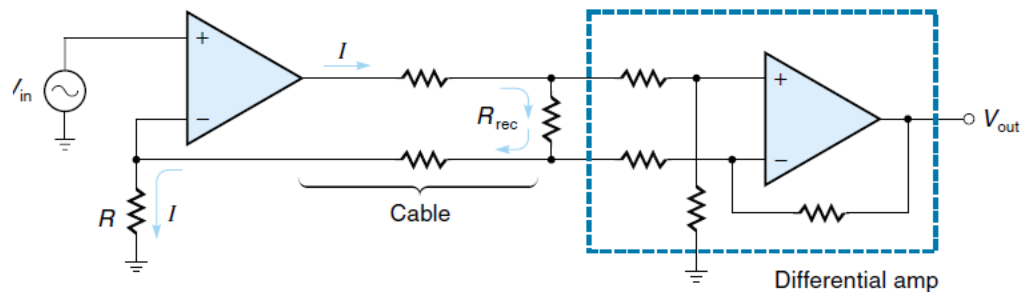
$$I_R = \frac{V_{in}}{R}$$

unde I_R este valoarea curentului în rezistor R . Sursa de I_R nu poate fi - de intrare a amplificator operațional, așa că trebuie să vină prin buclă. Curentul de buclă (așa cum este specificat în ecuația 3.14) depinde numai de tensiunea semnalului de intrare (V_{in}) și de rezistor R , nu de orice linie sau rezistență la sarcină.

Odată ce semnalul curent ajunge la receptor, acesta trebuie să fie reconvertit înapoi într-o tensiune. Cu alte cuvinte, receptorul este un **convertor de curent-la-tensiune**. Un rezistor este cel mai direct mod de a converti un curent într-o tensiune, dar avem o problemă specială aici. *Trebuie să detectăm tensiunea peste rezistorul de sarcină, fără a ști unde este această tensiune în ceea ce privește masa.* Luați în considerare circuitul complet al buclei curente din Figura 3.36. Rezistorul receptor (R_{rec}) este "flotant", pentru că niciun terminal al ei nu este împământat.

(Dacă am avea masă la partea de jos a R_{rec} , curentul poate "scăpa" din buclă, și întregul concept se va destrăma.) Problema este rezolvată prin utilizarea unui amplificator diferențial ca receptor, astfel cum este ilustrat în figura 3.36. Amplificatorul diferențial detectează și amplifică numai diferența de tensiune de-a lungul rezistorului receptorului. Amplificatorul diferențial trebuie să fie proiectat astfel încât să aibă o rezistență ridicată la intrare pentru a preveni orice cantitate semnificativă de curent să părăsească buclă la receptor. *Leșirea amplificatorului diferențial este o tensiune cu un singur capăt care poate fi referită la sol.* Pentru a calcula această tensiune:

Figura 3.36
Sistem complet
de curent în buclă.



Tensiunea peste rezistorul receptorului: $V_{\text{rec}} = IR_{\text{rec}}$

unde

I = curentul buclei

R_{rec} = rezistența receptorului

Tensiunea de ieșire a receptorului: $V_{\text{out}} = A_V V_{\text{rec}} = A_V IR_{\text{rec}}$

unde

A_V = câștig diferențial de tensiune a amplificatorului

Tehnica buclei de curent este una dintre metodele standard din industrie de conectare a controlerelor la senzori și /sau actuatori. Sistemul standard specifică o gamă de curent de 4-20 mA, unde 4 mA corespunde semnalului minim și 20 mA corespunde semnalului maxim. De exemplu, dacă un senzor scoate un semnal în intervalul de 0-5 V, atunci 4 mA în bucla curentă ar corespunde la 0 V de la senzor, iar 20 mA ar corespunde la 5 V. Minimul non-zero (4 mA) este utilizat pentru a detecta deschiderea circuitului și pentru a minimiza efectul zgomotului electric. Dacă curentul este mai mic de 4 mA, atunci presupunerea este că ceva a eșuat. Emițătoarele și receptoarele din intervalul 4 până la 20 mA sunt disponibile sub formă de IC; de exemplu, receptorul Burr-Brown RCV420 convertește 4-20 mA la 0-5 V.

Circuit de comutare analogic

Un **comutator analogic** (cunoscut și ca o poartă de *transmisie*) este un dispozitiv solid-state care permite semnalelor analogice să treacă sau nu. Îndeplinește aceeași funcție ca un comutator mecanic, dar are câteva avantaje clare: Este mai mic și mai fiabil, folosește mai puțină putere, dar acționează mai rapid și nu are piese mecanice de uzat. Comutatorul analogic este de obicei activat de un semnal de control digital.

Figura 3.37 prezintă simbolul unui comutator analogic. Fiecare comutator are trei terminale: analog in, analog out, și intrare logică. Unele modele permit semnalelor să treacă în orice direcție ca un comutator mecanic, în timp ce altele sunt unidirecționale. Intrarea logică este semnalul de control care închide sau deschide comutatorul. De obicei, circuitele sunt ambalate într-un IC. Figura 3.38 prezintă ADG 201A (Analog Devices) care conține patru comutatoare analogice separate.

Comutatorul în sine este un FET (tranzistor cu efect de câmp) (FET-urile sunt discutate în capitolul 4). Fiind un semiconductor, FET are o anumită rezistență chiar și atunci când comutatorul este pornit

Figura 3.37

Simbolul comutatorului analogic.

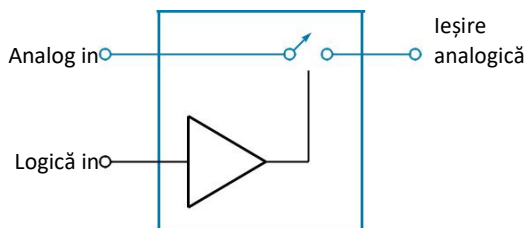
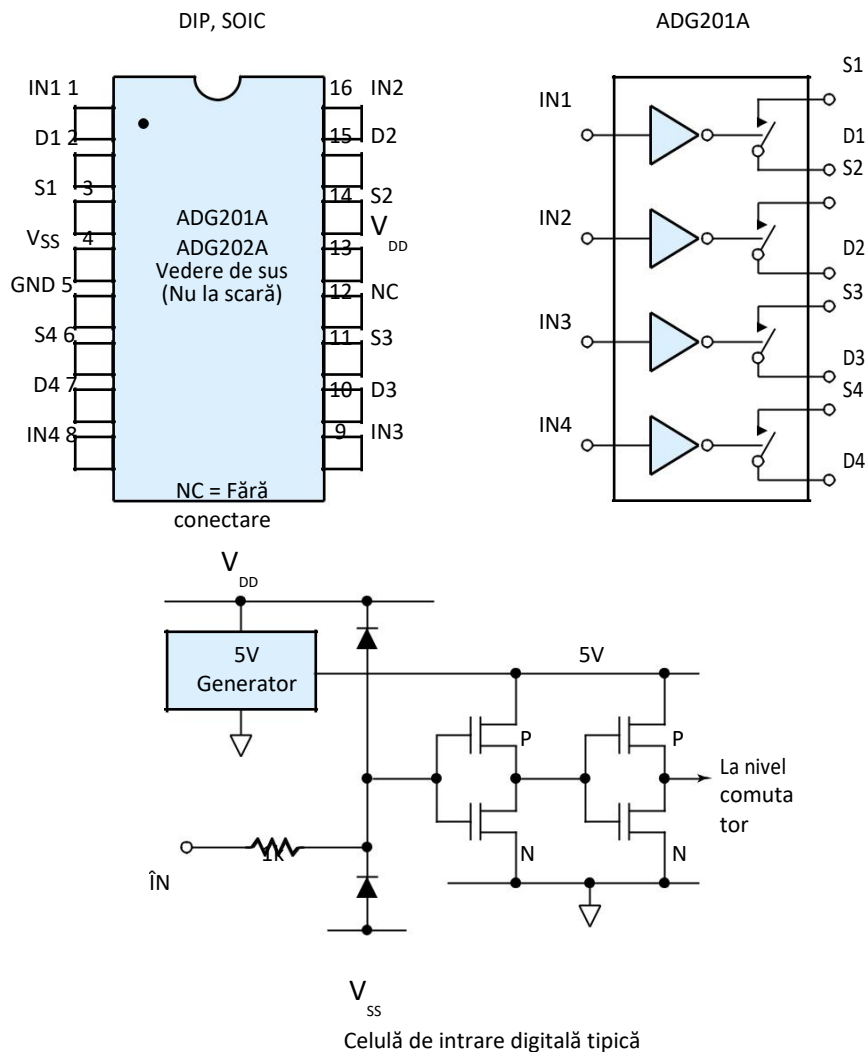


Figura 3.38

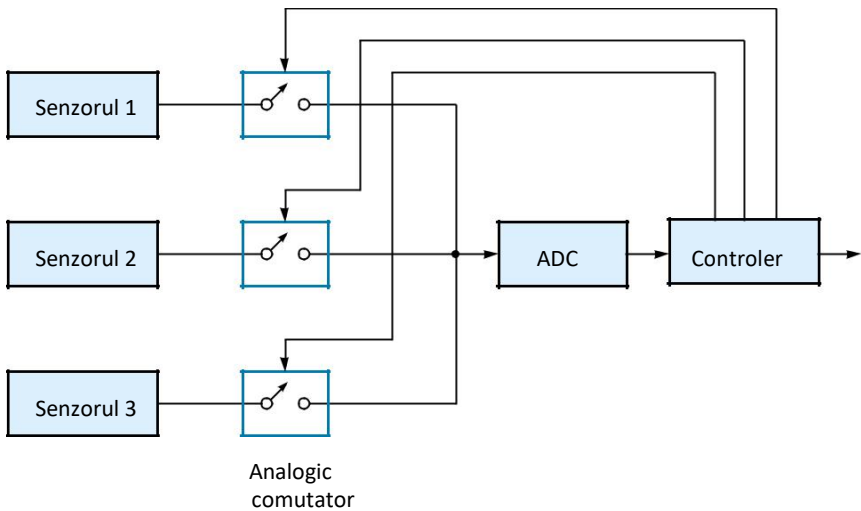
ADG 201A quad
SPST comutator
analogic de
circuite și
diagrama
schematică.



(închis). Această rezistență "pornită" este de obicei de 60 Ω . Pentru a menține această rezistență la scăderea tensiunii semnalului, rezistența la sarcină trebuie să fie mult mai mare de 60 Ω . Rezistența, când comutatorul este "oprit", a comutatorului analogic este foarte mare, de obicei 1 M Ω sau mai mult. Comutatorul analogic este utilizat frecvent pentru a conecta doi sau mai mulți senzori la un singur ADC. Figura 3.39 prezintă un sistem în care trei senzori sunt deserviți de un ADC. Controlerul poate activa fiecare comutator analogic, conectându-se astfel cu senzorul pe care dorește să-l citească. Operațiunea de comutare printr-o singură intrare la un moment dat se numește **multiplexare**. Circuitele analogice de multiplexare sunt disponibile sub formă de IC. Figura 3.40 prezintă ADG 508A (Analog Device), un multiplexor analogic cu opt canale. Un cod binar plasat pe intrările A0, A1 și A2 va determina trecerea unuia dintre cele opt semnale de intrare la ieșire.

Figura 3.39

Trei senzori
conectați la un
singur
converto
analog-digital
(ADC).

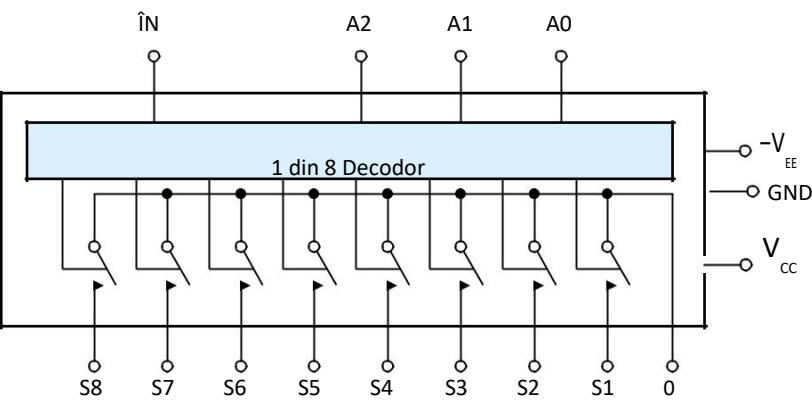


Circuit de eșantionare și reținere

Un **circuit de eșantionare și reținere** poate citi sau eșantiona o tensiune și apoi să-și amintească sau să o țină memorată pentru o perioadă de timp. Funcția acestui circuit poate fi descrisă cel mai bine într-un exemplu. Luați în considerare sistemul discutat în secțiunea anterioară, unde trei semnale analogice au fost interconectate cu un controler digital. Acum adăugați o constrângere suplimentară ca toți cei trei senzori să fie citiți exact în același timp. Presupunând că un singur ADC este disponibil, singura modalitate de a îndeplini această cerință este de a include trei circuite eșantionare cu reținere așa cum se arată în figura 3.41. Prin comanda de la controler, toate cele trei circuite de eșantionare și reținere vor lua citiri de tensiune și vor stoca rezultatele. Apoi, la controlul sistemului, aceste valori pot fi citite unul câte unul de către controler.

Figura 3.40

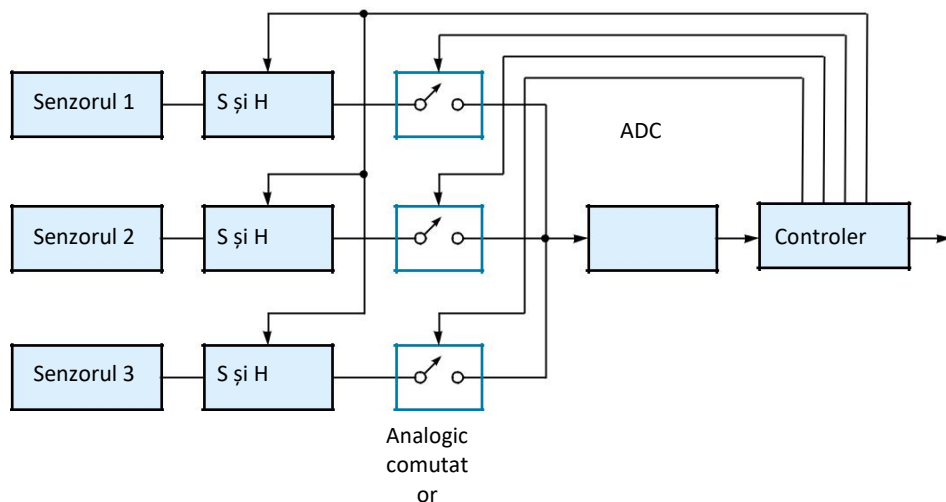
ADG 508A cu opt
canale analogice
multiplexate.



ÎN	A2	A1	A0	Comutat or Pe
H	L	L	L	S1
H	L	L	H	S2
H	L	H	L	S3
H	L	H	H	S4
H	H	L	L	S5
H	H	L	H	S6
H	H	H	L	S7
H	H	H	H	S8
L	X	X	X	niciunul

Figura 3.41

Un exemplu de utilizare a circuitelor de probă și reținere.



Există un alt motiv pentru care un circuit de eșantionare și reținere ar putea fi utilizat împreună cu un ADC. Pentru ca ADC să ofere o ieșire precisă, intrarea analogică ar trebui să fie constantă în timpul de citire. Dacă semnalul analogic se schimbă prea repede, circuitul eșantionare și reținere poate fi utilizat pentru a "îngheța" tensiunea de intrare în timpul conversiei.

Figura 3.42 prezintă schema unui circuit de eșantionare și reținere, care constă dintr-un comutator analogic, un condensator și un amplificator de tensiune. Pentru a lua un eșantion, comutatorul analogic este închis pentru o perioadă de timp suficient de lungă pentru ca condensatorul să se încarce până la V_{in} ; apoi comutatorul este deschis. Tensiunea semnalului este memorată de condensator, deoarece (teoretic) nu se poate descărca fie prin amplificator operațional, fie prin comutator analogic. Tensiunea în volți poate fi citită oricând prin ieșirea tensiunii. Amintiți-vă că câștigul în tensiune este 1.

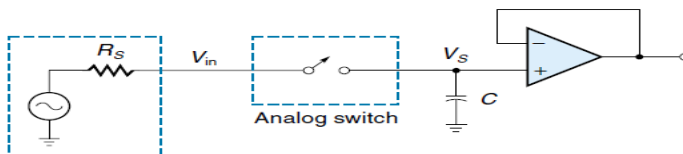
Pentru ca circuitul de eșantionare și reținere să funcționeze, trebuie îndeplinite anumite condiții. În primul rând, comutatorul trebuie închis suficient de mult pentru ca condensatorul să se încarce până la valoarea completă a lui V_{in} . Timpul necesar depinde de dimensiunile lui R_s (rezistența sursei) și C , în conformitate cu ecuația 3.15 (care se bazează pe constanta $5RC$):

$$t = 5R_s C \quad (3.15)$$

unde t este timpul ca C să se încarce la 99% din V_{in} . În cele din urmă sarcina se va scurge, astfel încât controlerul trebuie să citească tensiunea condensatorului într-un anumit timp. Aici este unul dintre

Figura 3.42

Un circuit de eșantionare și reținere.



compromisurile în proiectarea circuitului. Un condensator mai mare va ține sarcina mai mult, dar va crește timpul de citire, deoarece durează mai mult pentru a fi încărcat. Ca întotdeauna, este selectată o anumită valoare de compromis a lui C.

3.3 TRANSMISIA SEMNALULUI

Un sistem de control care funcționează foarte bine pe o banc de testare în laborator poate să nu funcționeze deloc în lumea reală. În laborator, cablurile sunt scurte, iar zgomotul electric este mic. Instalarea reală poate necesita rulări de cablu de sute de metri, într-un mediu zgomotos electric. În această secțiune, examinăm unele dintre problemele și soluțiile acestora în domeniul transmisiei semnalului.

Bucle de împământare și masă

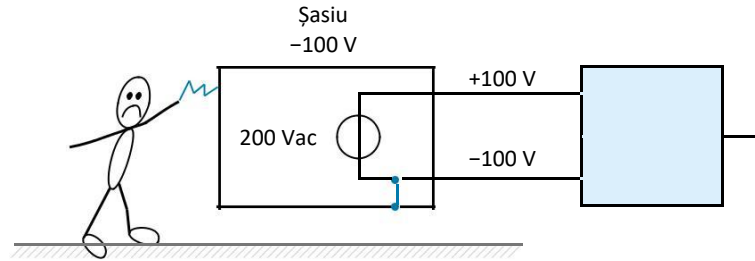
Împământarea se referă la o conexiune electrică la suprafața pământului, de obicei printr-o tijă metalică condusă în pământ. Deoarece pământul nu este un conductor deosebit de bun, tensiunea solului este diferită de la un loc la altul. Adesea confundat cu solul pământului este **semnalul comun** (sau **întoarcerea semnalului**), care este un conductor în circuit și servește ca punct de referință comun pentru celelalte tensiuni ale circuitului. Semnalul comun al unui circuit este adesea menționat ca masă, și poate fi sau nu conectat la pământ. Pentru un circuit de curent continuu, semnalul comun este de obicei conectat la terminalul negativ al sursei de alimentare sau al bateriei. Un șasiu auto este un exemplu în acest sens. Semnalele AC au, de asemenea, o întoarcere a semnalului desemnată.

Cu excepția sistemelor de antenă, circuitele nu trebuie să fie atașate la pământ pentru a funcționa, dar cele mai multe sunt. * Acest lucru se face în primul rând din motive de siguranță, astfel încât de tensiuni mari nu se pot apărea între șasiu și împământarea locală. Luați în considerare situația ilustrată în figura 3.43 litera (a). Un semnal de 200-Vac este generat într-o singură unitate și trimis de două fire către o a doua unitate. Semnalul comun este conectat la șasiu, dar șasiul nu este conectat la sol. Acest circuit ar funcționa bine electric, dar există un potențial pericol pentru siguranță. Datorită cuplajului inductiv și capacitiv, este probabil ca tensiunea semnalului de 200 V să se alinieze așa cum se arată, +100 V pentru semnal și -100 V pentru semnalul comun (și șasiu). Aceasta este o situație periculoasă, deoarece oricine se află la sol și atinge șasiul ar primi un șoc de 100 V. În figura 3.43 litera (b), șasiul a fost conectat la pământ. Acum tensiunea șasiului este de 0 V în raport cu pământul și este sigură de atins, la fel ca și firul comun al semnalului.

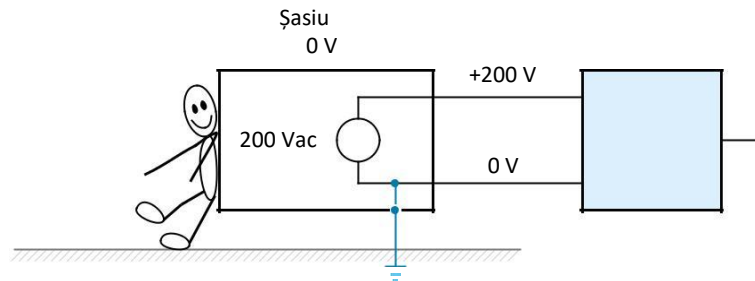
Uneori, atât sursa, cât și receptorul sunt împământate (la pământ), așa cum se arată în figura 3.44 litera (a). S-ar putea fi tentat să folosești pământul ca o cale de întoarcere, dar acest lucru nu va funcționa, deoarece pământul nu este un conductor bun și, probabil, cele două puncte de sol nu sunt

Figura 3.43

Conectarea
semnalului
Comun la o
pământ
pentru siguranță.



(a) Comun conectat doar la șasiu

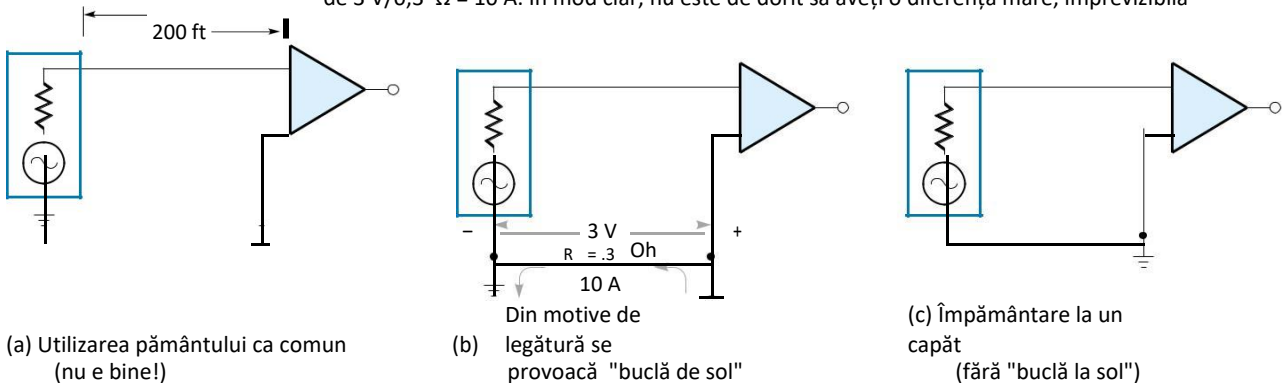


(b) Comun conectat la șasiu și pământ

Figura 3.44

Întoarcerea
semnalului de
împământare
poate provoca
bucle la sol.

la aceeași tensiune. Să presupunem că cablul din figura 3.44 (a) este de 200 ft lungime și tensiunea sursă variază de la 0 la 2 V. Diferența de tensiune a pământului pentru acea distanță ar putea fi cu ușurință de 3 V (datorită condițiilor locale). Este un caz în care "zgomotul" (3 V) este mai mare decât semnalul (2 V). Conectarea unui fir separat de returnare a semnalului, așa cum se arată în figura 3.44 (b), nu este o idee bună, deoarece acum avem o **bucă la sol**. O buclă de sol apare atunci când curenții mari curg în firul de întoarcere din cauza diferenței dintre tensiunile în volți la sol. În circuitul din figura 3.44 (b), rezistența firului este de $0,3 \, \Omega$ (pentru dimensiunea firului AWG 12), iar dacă există într-adevăr o diferență de 3 V între cele două puncte de la sol, curentul de buclă la sol ar fi de $3 \text{ V} / 0,3 \, \Omega = 10 \text{ A}$. În mod clar, nu este de dorit să aveți o diferență mare, imprevizibilă



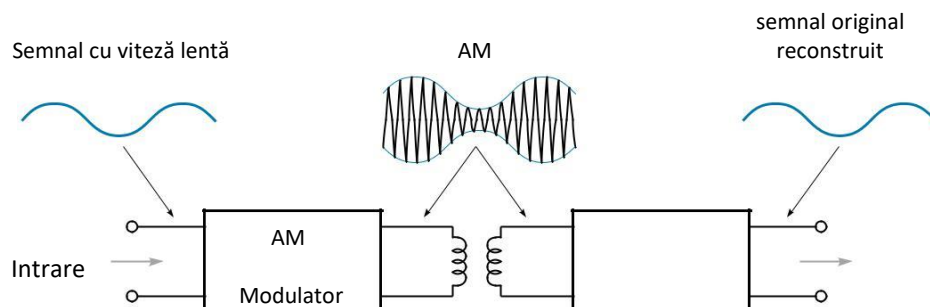
(a) Utilizarea pământului ca comun
(nu e bine!)

(b) Din motive de
legătură se
provoacă "bucă de sol"

(c) Împământare la un
capăt
(fără "bucă la sol")

Figura 3.45

Un circuit de izolare cuplat
la transformator.



cu curenți care circulă în zona de cablare! Soluția la problema buclei de la sol este indicată în figura 3.44 litera (c). Acest circuit are un fir de întoarcere pentru semnal, dar este împământat doar la un capăt.

Circuite de izolare

Problema buclei de la sol poate fi evitată prin simpla neconectare a ambelor capete ale semnalului de întoarcere la pământ. Cu toate acestea, uneori conexiunile la pământ au fost deja făcute în interiorul echipamentului, caz în care singura soluție este utilizarea **circuitelor izolatoare** între sursă și receptor. Un circuit de izolare poate transfera o tensiune fără nici un contact metal-metal. Acest lucru ar permite ca semnalul comun al sursei să fie la o tensiune diferită de cea comună a semnalului receptorului.

Figura 3.45 prezintă un circuit de izolare cuplat la transformator. Tensiunea de intrare este utilizată pentru a modula amplitudinea unei tensiuni de curent alternativ generată intern. Tensiunea modulată a curentului alternativ este cuplată la un demodulator, care reconstruiește tensiunea de intrare originală. Modulația este necesară deoarece majoritatea ieșirilor senzorului sunt DC cu schimbare lentă, nu AC. Deoarece nu există nici o conexiune electrică peste bobinele transformatorului, semnalul comun poate exista la diferite tensiuni, iar calea sol-bucă este întreruptă.

Figura 3.46 prezintă un izolator de semnal liniar optic. Semnalul de intrare este amplificat pentru a conduce o diodă emițătoare de lumină (LED). Un fototransistor primește semnalul luminos și îl inversează înapoi la o tensiune. Izolarea se realizează deoarece intrarea și ieșirea sunt două circuite separate, fără interconectare electrică. Pentru a vă asigura că ieșirea este o copie exactă a intrării, este încorporat un sistem de feedback care utilizează un al doilea fototransistor.

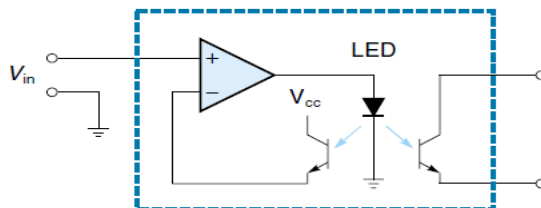
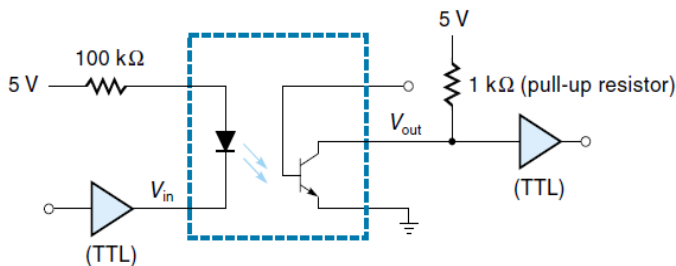


Figura 3.47



Un dispozitiv optic mai simplu poate fi utilizat dacă semnalul care urmează să fie izolat este digital. Semnalele digitale nu necesită o relație liniară între intrare și ieșire (doar pornit și oprit). Figura 3.47 prezintă un **cuplaj optic** digital tipic. Un dispozitiv digital TTL standard poate fi aplicat la intrare. Când intrarea (V_{in}) este comandată cu un potențial scăzut, o tensiune este dezvoltată peste LED-ul care îl face să se aprindă. Această lumină pornește fototransistorul, care își trage ieșirea (V_{out}) la 0 V. Ieșirea fotocuplurului poate fi conectată direct la o poartă TTL cu un rezistor pull-up așa cum se arată.

Cuplele optice (numite uneori optoizolatoare) sunt foarte utile în asigurarea izolării zgomotului, deoarece semnalele pot transmite doar într-o singură direcție prin cuplaj. Luați în considerare cazul prezentat în figura 3.48 în care este necesar un controler de microprocesor pentru a conduce un releu și un motor. Atât motorul, cât și releul pot pune vârfuri mari de tensiune pe linie, ceea ce ar putea determina microprocesorul să acționeze haotic. Cuplajul optic (OC) nu va lăsa acest zgomot din lumea exterioară să se întoarcă în amonte în controler, deoarece LED-ul este proiectat pentru a genera lumină, nu pentru a-l primi.

O altă utilizare a cuplajului optic este protecția de înaltă tensiune. Deoarece nu există nici o conexiune electrică între intrare și ieșire, un semnal de înaltă tensiune nu poate trece nici un fel.

Figura 3.48

Interfațarea componentelor cu izolatoare optice reduce vârfurile de zgomot.

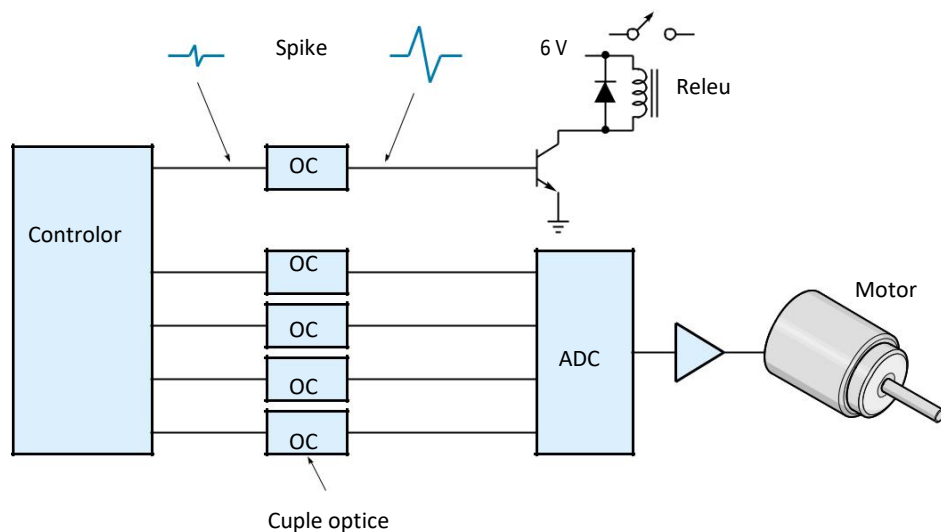
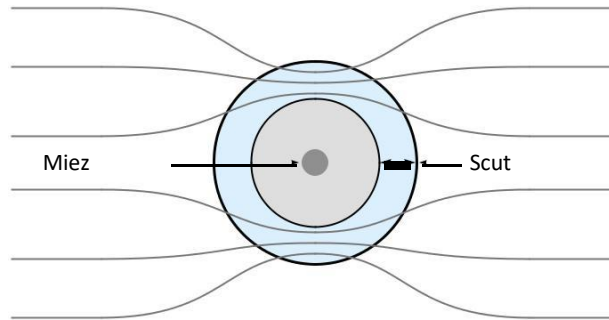


Figura 3.49

Ecranarea în câmp magnetic a unui conductor



Acest lucru protejează circuitele relativ delicate ale controlerului digital de vârfurile de înaltă tensiune din liniile electrice ale servomotorului.

Ecranare

Un curent printr-un fir generează un câmp magnetic în jurul aceluia fir. Dacă se întâmplă să fie un alt fir în apropiere, câmpul magnetic de la primul fir va induce o semnal în al doilea fir, proporțional cu rata de schimbare a câmpului magnetic. Prin urmare, DC nu va induce curent într-un fir din apropiere, dar AC va. Acest curent indus nedorit este zgomotul electric. Bunele practici de proiectare dictează ca firele cu curenți mari de curent alternativ, cum ar fi firele de alimentare de 60 Hz, să fie ținute în afară de firele de semnal de nivel scăzut.

Ecranarea nu poate bloca **zgomotul câmpului magnetic**, dar îl poate îndepărta de firul de semnal. Acest lucru este prezentat în figura 3.49 într-o vizualizare transversală. Se utilizează un material de ecranare care are o rezistență scăzută la câmpul magnetic. Pentru această aplicație, oțelul este mai mare decât cuprul sau aluminiul. Liniile magnetice de forță sunt mai înclinate să treacă prin scut decât aerul, astfel încât câmpul din interiorul scutului este redus brusc. Pentru ca acest lucru să fie eficient, scutul trebuie să fie relativ gros cu pereți și, de fapt, chiar și un conductor greu plasat în apropierea firului de semnal va acționa ca un scut magnetic.

O altă sursă de zgomot este de la un **câmp electric**. Un fir izolat plasat într-un câmp electric va presupune o tensiune proporțională cu acel câmp. Figura 3.50 prezintă un fir

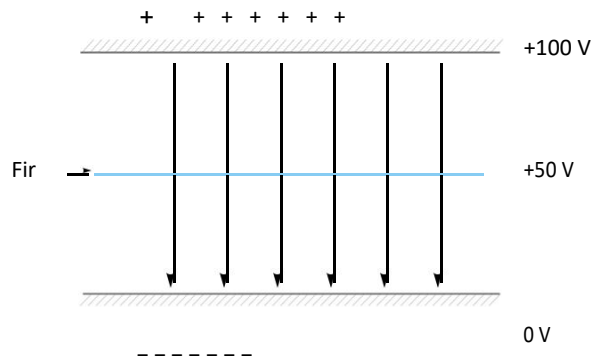


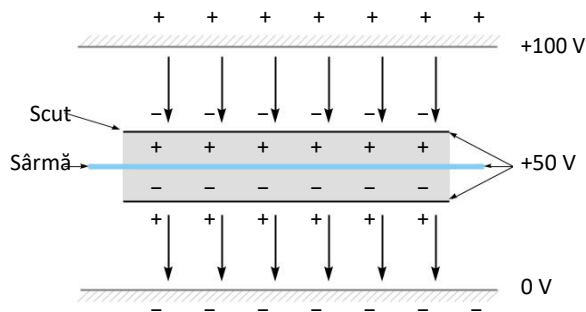
Figura 3.50

Un fir într-un câmp electric.

Figura 3.51

Un fir într-un

scut.



în mijlocul unui câmp de 100 V. Firul va presupune o tensiune de 50 V. Dacă câmpul electric este AC, atunci o tensiune de curent alternativ va fi indusă pe sârmă. Câmpurile electrice mari care variază în timp sunt comune într-un mediu industrial.

Simpla punere a unui scut conductiv în jurul unui fir nu va ține câmpul afară. După cum arată figura 3.51, scutul în sine ar dobândi o tensiune de la câmp și apoi ar radia această tensiune la sârmă. Cu toate acestea, dacă scutul este împământat (forțat să fie de 0 V), atunci nu poate exista nici un câmp electric în interiorul scutului, iar firul este protejat (Figura 3.52). Pentru cele mai bune rezultate, scutul nu ar trebui să fie utilizat ca calea de întoarcere semnal, deoarece scutul va avea, probabil, zgomot pe ea (de la acțiunea de ecranare). Configurația ideală este prezentată în Figura 3.53, unde atât semnalul, cât și returul sunt conținute într-un scut, iar scutul este împământat la un capăt.

Shield-Grounding Considerații

Trebuie să ne gândim la împământare este atunci când un sistem este proiectat. Un o strategie de împământare construită de la început este mai bine decât încercarea de a adapta lucrurile după ce sistemul este construit. Am discutat despre faptul că scuturile trebuie să fie împământate pentru a fi eficiente și că acestea ar trebui să fie împământate la un singur capăt. Deoarece controlerul este hub-ul sistemului de control, este logic să legați toate scuturile împreună la controler și să le împământați acolo. Acesta se numește **împământare într-un singur punct** și este ilustrat în figura 3.54. Este important ca

Figura 3.52

Un scut electrostatic împământat la un capăt.

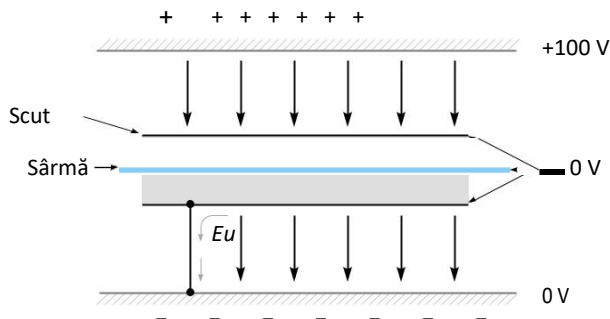
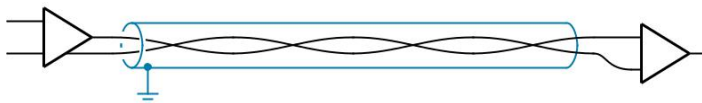


Figura 3.53

Un semnal și o întoarcere conținute într-un scut.



Împământarea cu un singur punct să aibă o conexiune solidă, cu impedanță scăzută, și legată la un teren real de pământ; în caz contrar, zgomotul care intră pe un scut va radia pe toate celelalte scuturi.

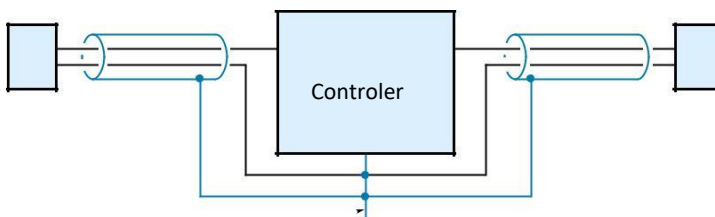
Uneori scutul nu poate fi izolat de sol la capătul componentei. În astfel de cazuri, cea mai bună abordare este introducerea unui circuit de izolare și ruperea scutului în acel moment (figura 3.55). Această abordare are avantajul de a permite ca componentele individuale să fie împământate din motive de siguranță, prevenind totuși buclele de la sol.

Considerații practice de cablare

Dimensiunea firului

Cele mai multe fire electrice sunt realizate din cupru, deoarece este unul dintre cele mai bune metale pentru conductori disponibili. Dar chiar și cuprul are o anumită rezistență. Această rezistență poate fi, de obicei, ignorată pentru curenți mici și distanțe mici, dar pentru distanțe mai lungi și curenți mai mari, dimensiunea firului devine o problemă. Cu cât firul este mai gros, cu atât are mai puțină rezistență, astfel încât un fir mai gros poate transporta mai mult curent (decât un fir mai subțire) fără a se încălzi și va exista o cădere de tensiune mai mică de-a lungul lungimii sale. Dimensiunea firului este specificată de American Wire Gage (AWG) prezentat în tabelul 3.2. Observați că, pe măsură ce AWG # devine mai mare, diametrul devine mai mic, rezistența (în ohmi pe 1000 ft) merge în sus, și capacitatea actuală se duce în jos.

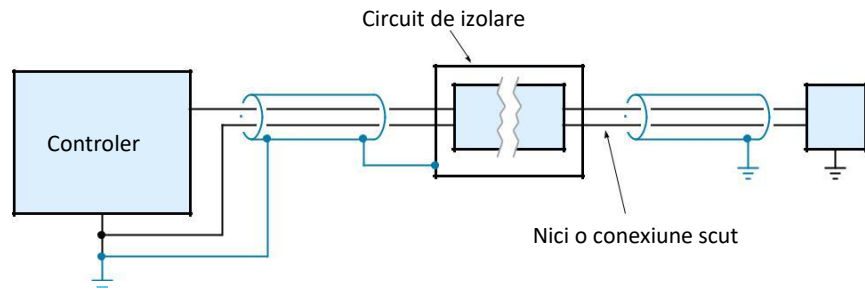
În general, există două categorii de utilizare a firului: putere și semnal. Firele de alimentare furnizează energie electrică (de exemplu, pentru a conduce motoare mai mari), iar firele de semnal sunt utilizate pentru comunicare (de exemplu, pentru a conecta un comutator limită sau un senzor de temperatură). Firele de putere tind să fie în intervalul de AWG #0000 să #14, în funcție de capacitatea de curent necesară. Firele de semnal tind să fie în intervalul de AWG #18 la #28, în funcție de căderea de tensiune care poate fi tolerată. După cum sa explicat mai devreme în capitol, senzorii care utilizează tehnica buclei sunt imuni la problemele de cădere de tensiune, astfel încât dimensiunea firului nu este de obicei o problemă. Cu toate acestea, senzorii care generează un semnal de tensiune trebuie să fie preocupați de căderile de tensiune din linie. Exemplul 3.11 demonstrează cum se determină dimensiunea corectă a firului de semnal.

**Figura 3.54**

Toate scuturile sunt împământate într-un singur loc.

Figura 3.55

Folosind un circuit de izolare evitați bucle la sol



TABELUL 3.2

American Wire Gage (AWG) dimensiuni

AWG #	Diametru (in.) *	Ω /1000 ft la 20°C	Curent sigur capacitate (A)
0000 (4/0)	.528	.0490	230
000 (3/0)	.470	.0618	200
00 (2/0)	.418	.0708	175
0	.372	.0983	150
1	.332	.1240	130
2	.292	.1563	115
3	.260	.1970	100
4	.232	.2485	85
6	.184	.3591	65
8	.1285	.6282	45
10	.1019	.9989	30
12	.0808	1.588	20
14	.0641	2.525	15
16	.0508	4.016	10
18	.0403	6.385	6.5
20	.0320	10.15	4
22	.0253	16.14	2.5
24	.0201	25.67	1.5
26	.0159	40.81	1
28	.0126	64.90	.5
30	.0100	103.2	

EXEMPLUL 3.11

Un senzor de temperatură se conectează la un controler la 100 ft distanță folosind sârma AWG#24 (a se vedea figura 3.56). Senzorul scoate o tensiune de la 0V la 10V. Controlerul are o rezistență la intrare de 1K Ω . Care va fi căderea maximă de tensiune de-a lungul firului.

SOLUȚIE

Mai întâi calculați rezistența firului. Din tabelul de sârmă (Tabelul 3.2) vedem că #24 sârmă are o rezistență de 25,67 Ω / 1000ft. Lungimea totală a firului este de 100 ft (100ft afară și 100 ft înapoi).

$$\text{Rezistența totală a firului} = \frac{25.67\Omega}{1000 \text{ ft}} = 5,13\Omega$$

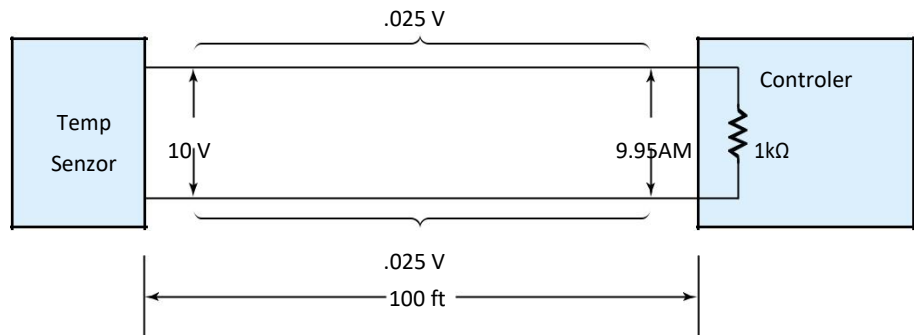
Din legea lui Ohm știm că căderea de tensiune este proporțională cu curentul, deci trebuie să determinăm curentul maxim așteptat în fir. Acest lucru se va întâmpla atunci când senzorul scoate 10 V. Rețineți că rezistența circuitului este sarcina 1K Ω , plus rezistența firului.

$$\text{Curentul maxim în fir} = \frac{V}{R} = \frac{10V}{1000\Omega + 5,13\Omega} = 9,95 \text{ mA}$$

Cunoscând curentul, putem calcula căderea de tensiune de-a lungul firului (folosind legea ohmilor)

$$\text{Cădere de tensiune de-a lungul firului} = I \times R = 9,95 \text{ mA} \times 5,13\Omega = .05V$$

Deci, în acest caz, căderea totală a tensiunii firului este de numai .05V (.025V afară și .025V înapoi) lăsând o tensiune de semnal la controler de 9.95 V (a se vedea figura 3.56).

**Figura 3.56**

Căderea de tensiune de-a lungul unui cablu legat la un senzor (Exemplul 3.11).

Tipuri de sârmă

Firul de alimentare este disponibil ca fire izolate individuale [a se vedea figura 3.57 litera (a)] sau în cabluri torsadate. Probabil cel mai comun cablu de alimentare este copper cablu prezentat în figura 3.57 (b), care este disponibil este dimensiunile #2 prin #14. Probabil recunoașteți acest lucru ca cablu de cablare standard al casei. Un fir de alimentare mai mare este disponibil ca un cablu de intrare în serviciu [a se vedea figura 3.57 litera (c)]. Acest cablu este disponibil în dimensiuni 4/0 (0000) prin #8, de obicei ca cupru sau aluminiu.

Firul de semnal este utilizat pentru a conecta senzori, comutatoare și motoare mici și este de obicei dimensiunea #18 la #24. Acest fir, de obicei, vine în perechi care sunt răsucite împreună, și pot fi sau nu protejate. Răsucirea firelor nu numai că le menține împreună, dar reduce și problemele de interferență. Ecranarea reduce și mai mult susceptibilitatea la interferențe. O pereche ecranată răsucită tipică este prezentată în figura 3.57 (d).

Figura 3.57

Tipuri de sârmă.

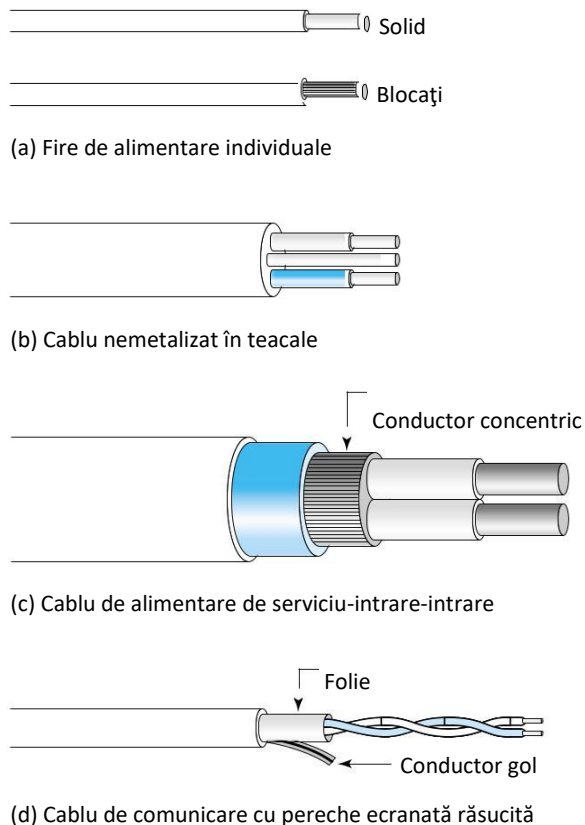
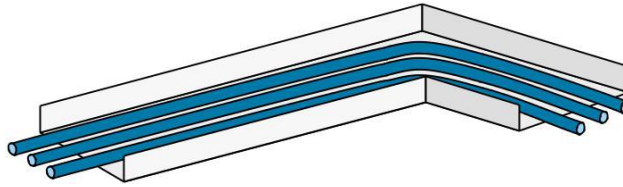
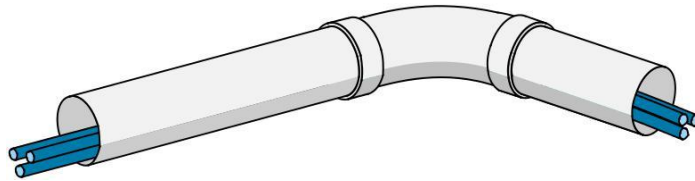


Figura 3.58

Rutarea
hardware a
cablurilor.



(a) Tavă pentru cabluri



(b) Conduita

Poziționarea cablurilor

Numărul mare de cabluri dintr-un cadru industrial automatizat necesită o anumită organizare. Firele

individuale care merg la un senzor sau la un comutator de limită pot fi doar legate sau tăiate la orice suprastructură este utilă, dar la un moment dat în sistem, mai multe cabluri care merg în aceeași direcție vor fi grupate într-o tavă de cablu sau într-o conductă electrică (a se vedea figura 3.58). Prima regulă este de a pune liniile de alimentare și de semnalizare în tăvi separate, dacă este posibil, ~~și dacă acestea trebuie~~ să traverseze, acestea ar trebui să traverseze în unghi drept. Chiar dacă firele de semnal sunt într-un mod continuu de sârmă metalică sau conductă, acestea ar trebui să fie păstrate la cel puțin 3 inci de la liniile electrice de curent alternativ cu până la 20 A și cel puțin 6 inci de la liniile electrice AC cu mai mult de 20 A. Dacă firele de semnal nu se află într-o conductă metalică sau într-o tavă, separația trebuie dublată.

REZUMAT

Amplificatorul operațional (amplificator operațional) este un amplificator liniar ambalat ca un circuit integrat, care are următoarele proprietăți: (1) câștig foarte mare în buclă deschisă (de obicei, 100.000 sau mai mult), (2) rezistență la intrare foarte mare ($1\text{M}\Omega$ sau mai mult) și (3) rezistență scăzută la ieșire (50-75 Ω). Cu adăugarea câtorva componente pasive, multe circuite de interfață utile pot fi construite din amplificatori operaționali, cum ar fi următoarele:

- Un circuit amplificator cu un câștig de tensiune de 1, poate stimula curentul dar și izola diferite etaje într-un circuit.

- Amplificatoarele inversoare și ne-inversoare sunt amplificatoare liniare stabile, unde câștigul poate fi setat cu două rezistoare.
- Un amplificator însumat oferă o tensiune de ieșire care este suma mai multor tensiuni de intrare.
- Un amplificator de instrumentație este un amplificator diferențial, de obicei ambalat ca IC. Amplifică diferența dintre două tensiuni și include intrări bufferate de înaltă rezistență și un câștig ușor selectabil.
- Integratorii și diferențiatorii dau o tensiune de ieșire proporțională cu schimbarea intrării în timp.
- Un filtru activ este un circuit care utilizează un amplificator care trece anumite frecvențe și atenuează altele.
- Un comparator compară două tensiuni analogice și identifică care dintre ele este mai mare (cu o ieșire digitală).

O buclă curentă este un tip special de interfață de semnal care utilizează curent în loc de tensiune pentru a transmite informații. Acest sistem este imun la rezistența sârmei în cablurile conectate, deoarece curentul este același peste tot într-o buclă închisă, indiferent de rezistență. Sistemul de buclă curentă necesită circuite speciale transmițător și receptor, ambele putând fi făcute cu amplificatoare operaționale.

Comutatorul analogic este un dispozitiv solid-state care poate comuta semnalele analogice. O utilizare obișnuită a comutatoarelor analogice este pentru multiplexarea analogică. Un exemplu de multiplexare este locul în care un număr de semnale ale senzorului analogic sunt conectate, pe rând, la un ADC. Un alt dispozitiv de interfață este un circuit de eșantionare și memorare, care poate ține temporar o tensiune analogică pe un condensator încărcat până când poate fi procesat.

Împământarea se referă la tensiunea de pe pământul fizic și *nu* este același lucru cu întoarcerea semnalului sau semnalul comun într-un circuit. Echipamentul este împământat la pământ în primul rând din motive de siguranță. Cu toate acestea, dacă același conductor este împământat în două locații, tensiunile locale diferite de la sol pot provoca curenți mari de buclă în conductor, ceea ce este nedorit. Pentru a evita această situație, conductorii ar trebui să fie împământați la un singur capăt; dacă acest lucru nu este posibil, circuitele de izolare, cum ar fi izolatoarele optice, pot fi utilizate pentru a rupe continuitatea electrică.

Ecranarea protejează un semnal împotriva zgomotului electric. Zgomotul electric vine în două forme, câmpuri magnetice și câmpuri electrice, iar considerațiile de ecranare sunt diferite pentru fiecare tip.

GLOSAR

filtru activ Un circuit care încorporează un amplificator operațional.

comutator analogic Un dispozitiv solid-state care îndeplinește aceeași funcție ca un comutator mecanic de mică putere.

filtru de trecere a benzii Un circuit care permite doar o gamă specificată de frecvențe să treacă și atenuează toate celelalte deasupra și dedesubtul benzii de trecere.

Oscilația parazită - condiției care apare atunci când ieșirea unui comparator oscilează și atunci când tensiunea de intrare este aproape de tensiunea de prag.

câștig în buclă închisă Câștigul unui amplificator atunci când se utilizează feedback. Valoarea câștigului în buclă închisă este mai mică decât câștigul în buclă deschisă (pentru feedback negativ).

sistem comun de respingere a modului prin care o tensiune comună în ambele fire ale unui semnal diferențial este anulată. Acest sistem este folosit pentru a reduce zgomotul care este de obicei comun pentru ambele fire.

comparator Un tip de amplificator operațional care este utilizat în buclă deschisă pentru a determina dacă o tensiune este mai mare sau mai mică decât o altă tensiune.

bucă de curent Într-un sistem de transmisie a semnalului, o singură buclă de sârmă care merge de la emițător la receptor și înapoi la emițător. Informația semnalului este transmisă de nivelul curentului în loc de tensiune. Acest sistem este imun la căderile de tensiune cauzate de rezistența la sârmă.

convertor de curent-la-tensiune Un circuit bazat pe amplificator operațional folosit ca receptor pentru un sistem de buclă de curent.

frecvența de tăiere Frecvența la care câștigul unui circuit de filtrare scade la 0,707 (sau -3 db.)

Tensiune offset DC Tensiunea mică care poate apărea la ieșirea unui amplificator operațional, chiar și atunci când intrările sunt egale; DC offset pot fi eliminate cu o ajustare printr-un rezistor.

decibelul Câștigul sau amplificarea exprimată într-o scară logaritmică.

amplificator diferențial Un circuit care produce o tensiune de ieșire proporțională cu diferența instantanee de tensiune dintre două semnale de intrare. Amplificatorii operaționali sunt teoretic amplificatoare diferențiale; cu toate acestea, un amplificator diferențial practic încorporează componente adiționale.

tensiune diferențială O tensiune de semnal transportată pe două fire, unde niciun fir nu este la potențialul de împământare.

diferențiator Un circuit amplificator operațional care are o tensiune de ieșire proporțională cu rata instantanee de schimbare a tensiunii de intrare.

pământ sol Tensiunea la (sau conectarea la) suprafața pământului într-un anumit loc.

câmpul electric apare în spațiul dintre două obiecte care se află la un potențial de tensiune diferit. Un fir în acest spațiu va presupune o tensiune "zgomot" proporțională cu puterea câmpului.

filtru trece sus Un circuit care permite trecerea frecvențelor mai mari, dar atenuează semnalele de frecvență inferioară.

amplificator de instrumentație Un amplificator diferențial practic, de obicei ambalat într-un IC, cu caracteristici precum rezistență ridicată la intrare, rezistență scăzută la ieșire și câștig de masă selectabil.

integrator Un circuit bazat pe amplificator operațional care are o tensiune de ieșire proporțională cu zona de sub curbă trasată de tensiunea de intrare.

interfașare Interconectarea dintre componentele sistemului.

amplificator inversor Un simplu circuit de amplificator de tensiune amplificator operațional cu o singură intrare, în cazul în care ieșirea este în afara fazei cu intrarea; unul dintre cele mai comune circuite de amplificator operațional.

inversarea de intrare minus (–) de intrare a unui amplificator operațional; ieșirea va fi în afara fazei cu această intrare.

circuit de izolare Un circuit care poate transfera o tensiune de semnal fără o conexiune fizică electrică.

filtru low-pass (trece-jos) Un circuit care permite trecerea semnalelor de frecvență mai mică, dar atenuează semnalele de frecvență mai mare.

zgomot de câmp magnetic Un curent nedorit indus într-un fir, deoarece firul se află într-un câmp magnetic variabil în timp.

multiplexare Conceptul de comutare a semnalelor de intrare (unul câte unul) până la o ieșire; este de obicei folosit astfel încât mai mulți senzori să poată utiliza un singur ADC (convertor analog-digital).

feedback negativ Un design de circuit în care o parte din semnalul de ieșire este trimisă înapoi și scăzută din semnalul de intrare. Acest lucru duce la un câștig mai mic, dar previzibil și alte proprietăți.

amplificator neinversor Un simplu circuit de amplificare a tensiunii amplificator operațional cu o singură intrare, unde ieșirea este în fază cu intrarea.

intrare ne-inversoare Intrarea pozitivă (+) a unui amplificator operațional; ieșirea va fi în fază cu această ieșire.

filtru oprește bandă Un circuit care atenuează o gamă foarte îngustă de frecvențe.

amplificator operațional (amplificator operațional) Un amplificator liniar de mare câștig ambalat într-un circuit integrat; baza multor modele de amplificatoare cu scop special.

câștig în buclă deschisă Câștigul unui amplificator atunci când nu se utilizează feedback; are câștigul maxim posibil.

cuplaj optic Un circuit de izolare care utilizează o diodă emițătoare de lumină (LED) și un fotocelulă pentru a transfera semnalul.

amplificator de instrumente cu câștig programabil Un amplificator de instrumentație cu câștiguri fixe care pot fi selectate cu intrări digitale.

circuit de esantionare și memorare Un circuit care poate stoca temporar sau reține un nivel de tensiune analogic.

semnal comun Punctul de referință comun de tensiune dintr-un circuit, de obicei terminalul negativ al sursei de alimentare (sau bateriei).

întoarcere semnal *Vezi semnalul comun.*

tensiune cu un singur capăt O tensiune de semnal care se referă la sol.

sol într-un singur punct Un singur punct de conexiune într-un sistem, în cazul în care toate semnalele comune sunt conectate împreună și apoi conectate la pământ.

amplificator de însumare Un circuit amplificator operațional care are mai multe intrări și o ieșire. Valoarea tensiunii de ieșire este suma tensiunilor individuale de intrare.

teren virtual Un punct într-un circuit care va fi întotdeauna practic la tensiunea solului, dar care nu este conectat fizic la sol.

amplificator de tensiune Un circuit amplificator operațional foarte simplu, dar util, cu un câștig de tensiune de 1, utilizat pentru a izola etapele circuitului și pentru câștigul de curent.

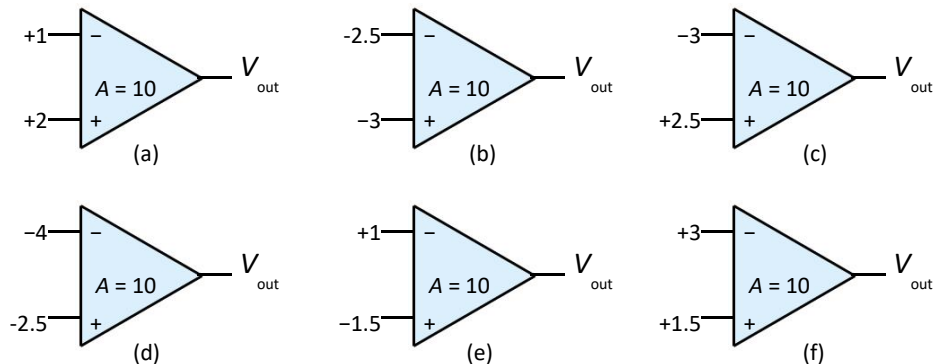
comparator de ferestre Un comparator cu histerezis încorporat, adică două praguri: un punct de comutare superior și un punct de comutare inferior.

EXERCIȚII

Secțiunea 3.1

1. Aflați V pentru fiecare amplificator în Figura 3.59. Să presupunem că câștigul este de 10 în toate cazurile.
2. Un amplificator operațional are un câștig în buclă deschisă de 200.000 și este furnizat cu +12 V și -12 V. Care este diferența maximă de tensiune care poate exista între V_1 și V_2 înainte de saturație? (Acesta este motivul pentru care V_1 și V_2 sunt considerate "practic" la fel?)
3. Utilizați ipotezele amplificator operațional de bază pentru a descrie modul în care funcționează un amplificator de tensiune cu câștig 1.
4. Desenați circuitul unui amplificator inversor cu un câștig de 35.
5. Desenați circuitul unui amplificator inversor cu un câștig de 50 și arătați numărul pini ai amplificator operațional-ului de uz general de 8 pini 741. Tensiunea sursei de alimentare este de ± 15 V.
6. Desenați circuitul unui amplificator care nu se inversează cu un câștig de 24.
7. Desenați circuitul unui amplificator care nu inversează, cu un câștig de 30 și arătați pinii ai unui IC 741 de uz general amplificator operațional. Tensiunea sursei de alimentare este de ± 15 V.
8. Desenați circuitul unui amplificator însumat cu patru intrări. Câștigul pentru fiecare intrare ar trebui să fie 15. Să presupunem că impedanța fiecărei surse conectate la amplificatorul de însumare este de 1 k Ω .

Figura 3.59



9. Desenați circuitul unui amplificator diferență cu un câștig de 20. Să presupunem că impedanța la fiecare sursă este de 6 k Ω .
10. Schițați ieșirea unui circuit integrator care are o formă de undă de intrare prezentată în Figura 3.60 (presupuneți $RC = 1$):
11. Schițați ieșirea unui circuit integrator care are $R = 2$ M Ω și $C = 10$ μ F. Forma de undă de intrare este prezentată în figura 3.60.
12. Schițați ieșirea unui circuit de diferențiere care are o formă de undă de intrare așa cum se arată în figura 3.61 (presupuneți $RC = 1$).
13. Schițați ieșirea unui circuit de diferențiere care are $R = 2$ M Ω și $C = 10$ μ F. Forma de undă de intrare este prezentată în figura 3.61.
14.
 - a. Găsiți câștigul în decibelii unui amplificator care are un câștig de tensiune de 7000.
 - b. Estimați câștigul aceluiași amplificator utilizând metoda exemplului 3.8.
15.
 - a. Găsiți câștigul în decibelii unui amplificator are un câștig de tensiune dreaptă de 3300.
 - b. Estimați câștigul aceluiași amplificator utilizând metoda exemplului 3.8.
16.
 - a. Găsiți câștigul de tensiune al unui amplificator care are un câștig de 35 db.
 - b. Estimați câștigul direct al aceluiași amplificator utilizând metoda exemplului 3.9.
17.
 - a. Găsiți câștigul de tensiune al unui amplificator care are un câștig de 50 db.
 - b. Estimați câștigul direct al aceluiași amplificator utilizând metoda exemplului 3.9.

Figura 3.60

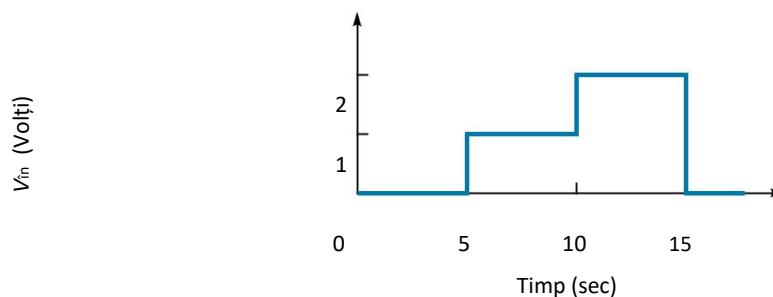
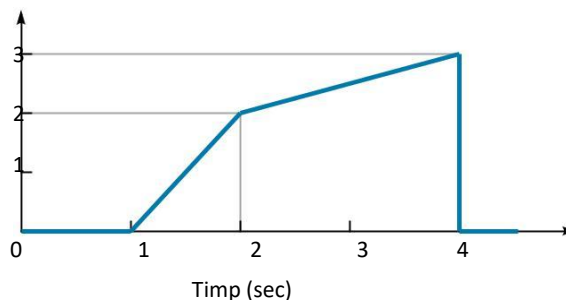


Figura 3.61



18. Desenați circuitul unui filtru low-pass cu $f_c = 1$ kHz și un câștig de 10. Utilizați $R = 1$ k Ω .
19. Desenați circuitul unui filtru low-pass cu $f_c = 5$ kHz și un câștig de 20. Utilizați $R = 1$ k Ω .
20. Desenați circuitul unui filtru trece sus cu $f_c = 10$ kHz și un câștig de 10. Utilizați $R = 1$ k Ω .
21. Desenați circuitul unui filtru trecere-sus cu $f_c = 8$ kHz și un câștig de 15. Utilizați $R = 1$ k Ω .
22. Desenați circuitul unui filtru de blocare cu $f_N = 1,6$ kHz. Utilizați $R = 2$ k Ω .
23. Desenați circuitul unui comparator care va comuta de la 0 la 5 V atunci când intrarea analogică depășește 2,9 V.

Secțiunea 3.2

24. Explicați de ce semnalul nu este niciodată atenuat într-un sistem de buclă curentă.
25. Desenați circuitul unui sistem de buclă curentă. Când V_{in} este de 1 V, curentul de buclă ar trebui să fie de 5 mA. În orice moment, V_{out} ar trebui să fie egal cu V_{in} .
26. Ce este un *comutator analogic* și cum este diferit de un comutator mecanic?
27. Circuitul de eșantionare și memorare din figura 3.42 este utilizat pentru a menține un semnal pentru 0,25. Dacă $R_s = 1$ k Ω , ce valoare a condensatorului este necesară?

Secțiunea 3.3

28. Explicați diferența dintre *împământare* și *întoarcerea semnalului*.
29. Ce este o *buclă de sol*? Cum este posibil să aveți curenți mari în linia de retur atunci când nu există o sursă de alimentare aparentă?
30. Găsiți curentul într-o buclă de sol care are o lungime de 200 ft, ce are o rezistență la sârmă de 0,05 Ω /ft și are o diferență de 4 V.
31. Găsiți curentul într-o buclă de sol care are o lungime de 300 ft, are o rezistență la sârmă de 0,01 Ω /ft și are o diferență de 5 V.
32. De ce este important ca șasiul metalic al echipamentelor să fie conectat la sol?
33. Descrieți modul în care funcționează izolatorul optic din figura 3.47.

34. Care sunt motivele pentru utilizarea circuitelor de izolare în interconectarea unui sistem de control?
35. Explicați principiul din spatele ecranării magnetice.
36. De ce este necesar să împământați un scut electrostatic?
37. Explicați conceptul de teren într-un singur punct și de ce este important.
38. Găsiți căderea totală de tensiune într-un circuit de sârmă de 200 ft #20 pereche răsucită care transportă 100 mA. (Sugestie: Semnalul trebuie să parcurgă 200 ft și înapoi.)
39. Găsiți căderea totală de tensiune într-un circuit de sârmă torsadat de 500 ft #22 pereche răsucite care transportă 50 mA. (Sugestie: Semnalul trebuie să parcurgă 500 ft și înapoi.)