

Circuite de Eșantionare și Memorare (Reținere) (Sample and Hold)

I. NOȚIUNI TEORETICE

Simbolul utilizat în scheme pentru circuit de eșantionare și memorare și formele de undă care îi caracterizează funcționarea ideală sunt date în figura 1.

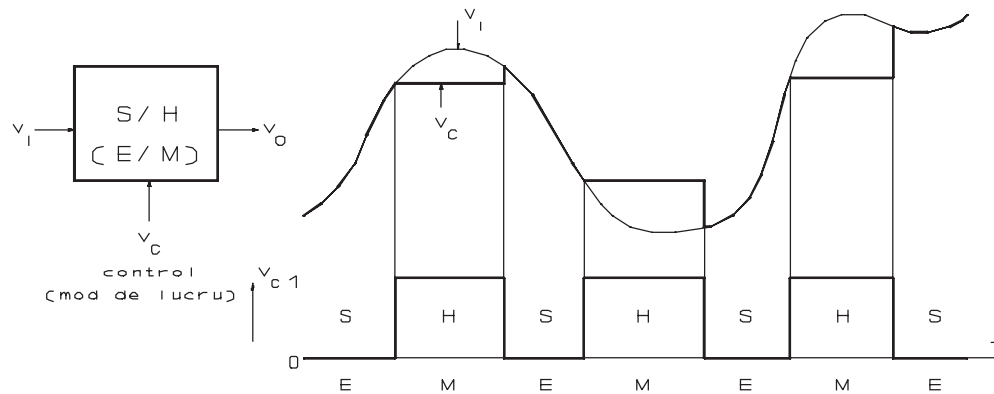


Figura 1 Simbolul și formele de undă caracteristice pentru circuitele S/H

În figură se indică și inițialele cuvintelor din limba engleză, larg acceptate și utilizate și în literatura tehnică românească, cu care este nominalizat acest circuit: S de la SAMPLE (eșantionează) și H de la HOLD (reține, memorează).

Un circuit S/H cunoaște două moduri fundamentale de funcționare, determinate de valoarea semnalului logic prezent pe intrarea de control (vezi figura 1.):

- Într-unul din ele - eșantionare (SAMPLE) circuitul achiziționează **rapid** (în mod ideal instantaneu) semnalul de la intrare, reproducându-l **fidel** la ieșire. Semnalul de la ieșire **urmărește** (TRACK în limba engleză) semnalul de la intrare.
- Îndată ce semnalul de control își schimbă valoarea, circuitul trece rapid (în mod ideal instantaneu) în celălalt mod de lucru - memorare (HOLD) - oferind la ieșire valoarea pe care o avea semnalul de intrare în momentul tranziției comenzii din S în H.

Rezultă, deci, că un circuit S/H urmărește fidel semnalul analogic de la intrare, semnalul de ieșire "înghețând" la o valoare instantanee a semnalului de la intrare corespunzătoare momentului în care are loc tranziția semnalului de comandă.

În mod curent, aceste circuite se întâlnesc sub denumirile (SAMPLE/HOLD)(S/H) și TRACK/HOLD (T/H). Deci, în mod evident, cea de a doua denumire este corectă, ele se utilizează, totuși, amândouă. O funcționare de tip S/H indică faptul că durata comenzii de eșantionare este **foarte mică** față de scara de timp a semnalului, în timp ce o funcționare de tip T/H arată că durata comenzii de eșantionare este **comparabilă** cu scara de timp a semnalului.

Circuitele S/H își găsesc o largă aplicare în sistemele în care prelucrarea semnalelor este discontinuă, având loc la intervale de timp egale, pe baza nivelului curent al semnalului. În acest fel nu se urmărește întreaga variație a semnalului (ceea ce ar încarca în mod nejustificat unitatea de prelucrare a datelor), ci numai segmente de durată finită (**eșantionare**). Prelucrarea acestora

are loc în intervalul de timp care urmează eşantionării, cel de **memorare** (sau **reţinere**), interval în care se poate face, de exemplu, o conversie analog-digitală a valorii eşantionului pentru a realiza prelucrare numerică.

Alte aplicații tipice sunt acelea în care semnale rapid variabile trebuie multiplexate și transmise unui sistem de achiziție de date. De asemenea, ca aplicații se pot enumera eliminarea vârfurilor tranzitorii (glitch în limba engleză) de la ieșirea unui convertor D/A, distribuția datelor, detectarea extremelor pozitive și negative ale unui semnal, măsurarea raportului a doua variabile mediate în timp ,etc.

Schema de principiu a unui circuit S/H este dată în figura 2.

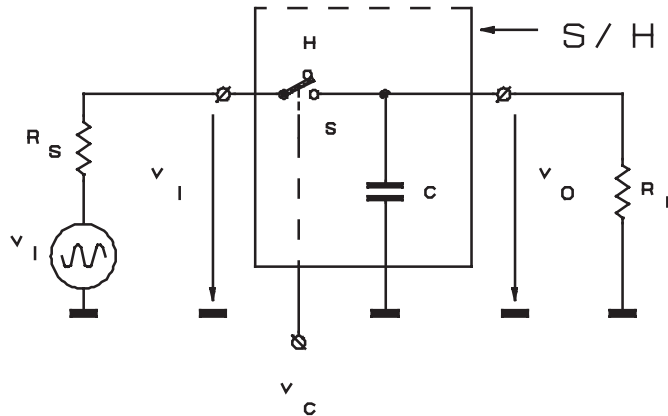


Figura 2 Ilustrarea funcționării unui circuit S/H.

Această schemă principală reflectă esența modului de funcționare a unui circuit S/H. Aceasta este de fapt un comutator analogic care la comanda de eşantionare preia valoarea instantanee a semnalului de la intrare și o reține sub forma unei tensiuni de curent continuu memorată de o memorie analogică (un capacitor). Urmărind această imagine rezultă cerințele care se impun unui circuit S/H de calitate:

- Capacitorul de memorare (C în figura 2) trebuie să se încarce și să ajungă la valoarea finală a tensiunii cât se poate de repede;
- În etapa de memorare variația în timp a tensiunilor v_O , $\Delta v_O/\Delta t$ trebuie să fie cât mai mică posibil.

Schema din figura 3. răspunde acestor cerințe reducând la minimum influența pe care o exercită sursa de semnal și sarcina.

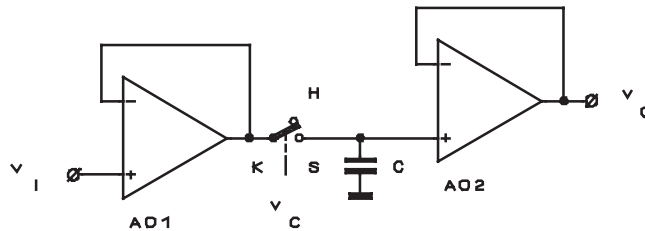


Figura 3 Utilizarea a două repetoare în schema de S/H.

Circuitul este relativ rapid, dar, datorită faptului că cele două amplificatoare lucrează independent, erorile introduse de fiecare din ele se adună. Dacă precizia de urmărire la frecvențe joase este mai importantă decât viteza de lucru soluția constă în a include în bucla de reacție ambele amplificatoare, ca în schema din figura 4.

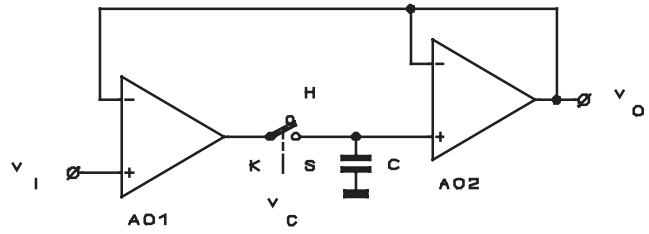


Figura 4 Includerea celor doua AO în bucla de reacție.

Din examinarea schemei se constată că în poziția S a comutatorului $v_O \equiv v_i$ indiferent de "neidealitățile" comutatorului analogic K. În poziția H a comutatorului K amplificatorul AO₁ rămâne cu bucla deschisă, ieșirea sa se saturează, fapt care conduce la o reintrare lentă în regimul de eșantionare. În regim de memorare (H) capacatorul C se descarcă cu un curent

$$I_p = I_A + I_{Koff} + I_C \tag{1}$$

unde : I_A este curentul de polarizare al intrării amplificatorului AO₁, curentul rezidual al comutatorului K în starea de blocare (K_H) și I_C curentul de fugă al capacatorului. Presupunând $I = \text{constant}$ rezultă o viteză de variație a tensiunii memorate:

$$\frac{\Delta v_O}{\Delta t} = \frac{I}{C}$$

Circuitul de eșantionare/memorare studiat în această lucrare are schema de principiu din figura 5 (comutatoarele sunt figurate în poziția corespunzătoare eșantionării - S).

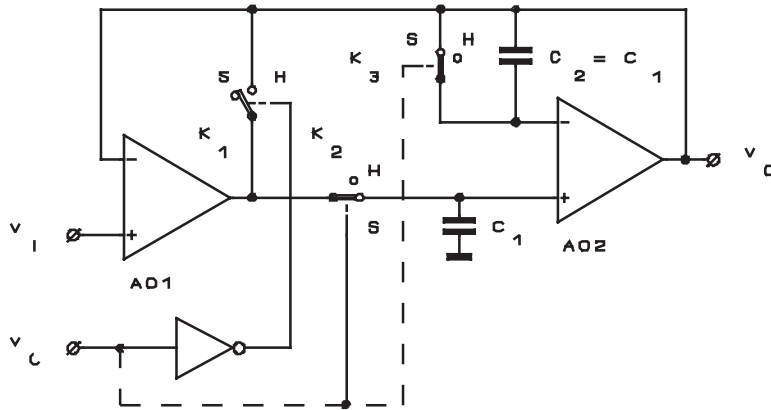


Figura 5 Schema de principiu a circuitului S/H utilizată în lucrare

În **intervalul de eșantionare** comutatoarele K_2 și K_3 sunt închise, iar comutatorul K_1 deschis. Amplificatorul operational AO_2 lucrează astfel ca repetor; la fel lucrează și amplificatorul AO_1 care are închisă bucla de reacție prin K_2 și AO_2). Atât AO_1 cât și AO_2 trebuie să aibă viteza maximă de variație a semnalului de la ieșire (slew rate) suficient de mare pentru a putea urmări fronturile semnalului. De remarcat faptul că viteza de încărcare a capacitorului C_1 poate fi limitată de valoarea maximă a curentului de ieșire a AO_1 . Capacitorul C_2 este descărcat prin K_3 .

Dacă se presupune că amplificatoarele operaționale AO_1 și AO_2 sunt ideale și se ține seama de faptul că ele lucrează în regim linear rezultă că :

$$v_{C_1} = v_o = v_i$$

Cu alte cuvinte, în intervalul de eșantionare ieșirea reproduce identic intrarea. Abaterile de la relația (3) sunt date de neidealitățile AO (atât statice cât și dinamice).

În **intervalul de memorare** comutatoarele K_2 și K_3 se deschid, iar comutatorul K_1 se închide.

Prin deschiderea comutatorului K_2 bucla de reacție globală se întrerupe; amplificatorul AO_1 rămâne însă cu bucla închisă deoarece comutatorul K_1 se închide (în acest fel se evită saturarea ieșirii AO_1).

Memorarea se realizează cu ajutorul capacitorului C_1 . Avându-se în vedere faptul că s-a urmărit realizarea unei memorări cât mai bune fără a se face apel la amplificatoarele operaționale cu curenți de polarizare ai intrărilor de valoare mică (de tip super-beta sau cu tranzistoare cu efect de cimp la intrare) trebuie redus termenul dat de I_A în expresia curentului I_P - vezi relația (1); curentul este minimizat prin realizarea comutatoarelor cu ajutorul unor tranzistoare cu efect de câmp cu grilă joncțiune de comutație, iar curentul I_C prin alegerea corespunzătoare a capacitorului C_1 . Modul în care se reduce efectul dat de curentul de polarizare al intrărilor amplificatorului AO_2 rezultă din figura 6; în intervalul de memorare în bucla de reacție a amplificatorului AO_2 se introduce un capacitor C_2 identic cu C_1 .

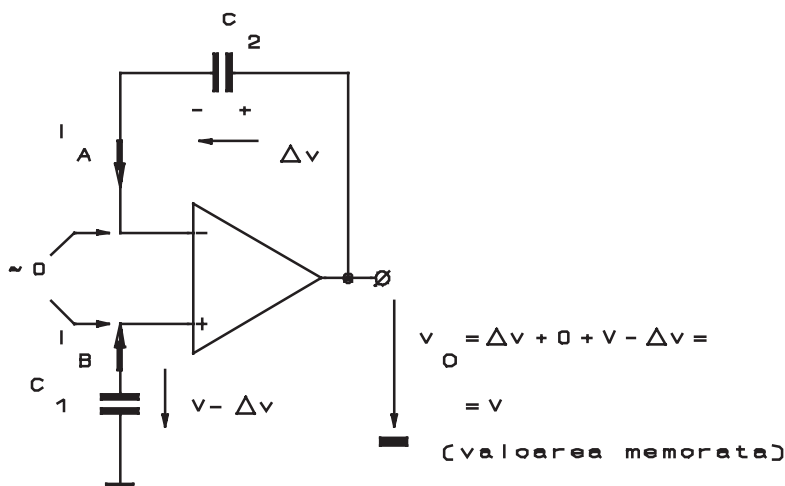


Figura 6 Mod de reducere a efectului dat de curentul de polarizare al AO2 din figura 5

II. DESFĂȘURAREA LUCRĂRII

Schema montajului de laborator este dată în figura 7. Se identifică componentele și localizarea lor pe cablaj. În cursul diferitelor determinări se va respecta teorema eșantionării care arată că frecvența semnalului de eșantionare (a semnalului de control, v_C) să fie de cel puțin de două ori mai mare decât frecvența celei mai mari armonice din spectrul semnalului eșantionat.

1. Din potențiometrul P1 se reglează ofsetul de tensiune al circuitului.

În acest scop circuitul S/H se pune în regim de eșantionare, $v_C=0$ (intrarea E/M la masă, se conectează pinul 13 cu pinul 14). Intrarea v_1 se pune la masă (se conectează pinul 1 cu pinul 2). Se urmărește anularea tensiunii v_O ; Pentru măsurare se utilizează un milivoltmetru de c.c.

2. Se eșantionează un semnal sinusoidal ($V_{i_{VV}}=2\text{ V}$, $f=100\text{ Hz}$, se conectează pinul 1 cu pinul 2) aplicând la intrarea de control (se conectează pinul 13 cu pinul 6) un semnal TTL cu factorul de umplere 1:1 și o frecvență $f_e=2\text{ kHz}$.

Se vizualizează formele de undă ale tensiunilor v_1 (se conectează pinul 5 cu pinul 8), v_{13} (se conectează pinul 7 cu pinul 8), v_{12} (se conectează pinul 12 cu pinul 8), v_{11} (se conectează pinul 11 cu pinul 8) și ale tensiunilor de colector ale tranzistoarelor Q_4 (se conectează pinul 21 cu pinul 8) și Q_5 (se conectează pinul 22 cu pinul 8). Se vor nota oscilogramele formelor de semnal, la scară, în amplitudine și timp.

3. Se repetă determinările de la punctul II.2. modificând frecvența semnalului de la intrare la $f_i=2\text{ kHz}$, alegindu-se o valoare corespunzătoare a frecvenței semnalului de eșantionare. Se vor explica diferențele care apar între formele de semnal obținute la punctele II.2. și II.3.

4. Se determină curentul maxim de încărcare al capacitorului de memorare. Circuitul se pune în regim de eșantionare ($v_C=0$, se conectează pinul 13 cu pinul 14). La intrare se aplică un semnal dreptunghiular ($V_{i_{VV}}=5\text{ V}$, $f_i=1\text{ kHz}$) cu factorul de umplere 1:1 (se conectează pinul 1 cu pinul 4).

Cu ajutorul osciloscopului se măsoară durata frontului (t_r) și amplitudinea semnalului de la bornele condensatorului ($V_{12_{VV}}$). Curentul de încărcare se determină cu relația:

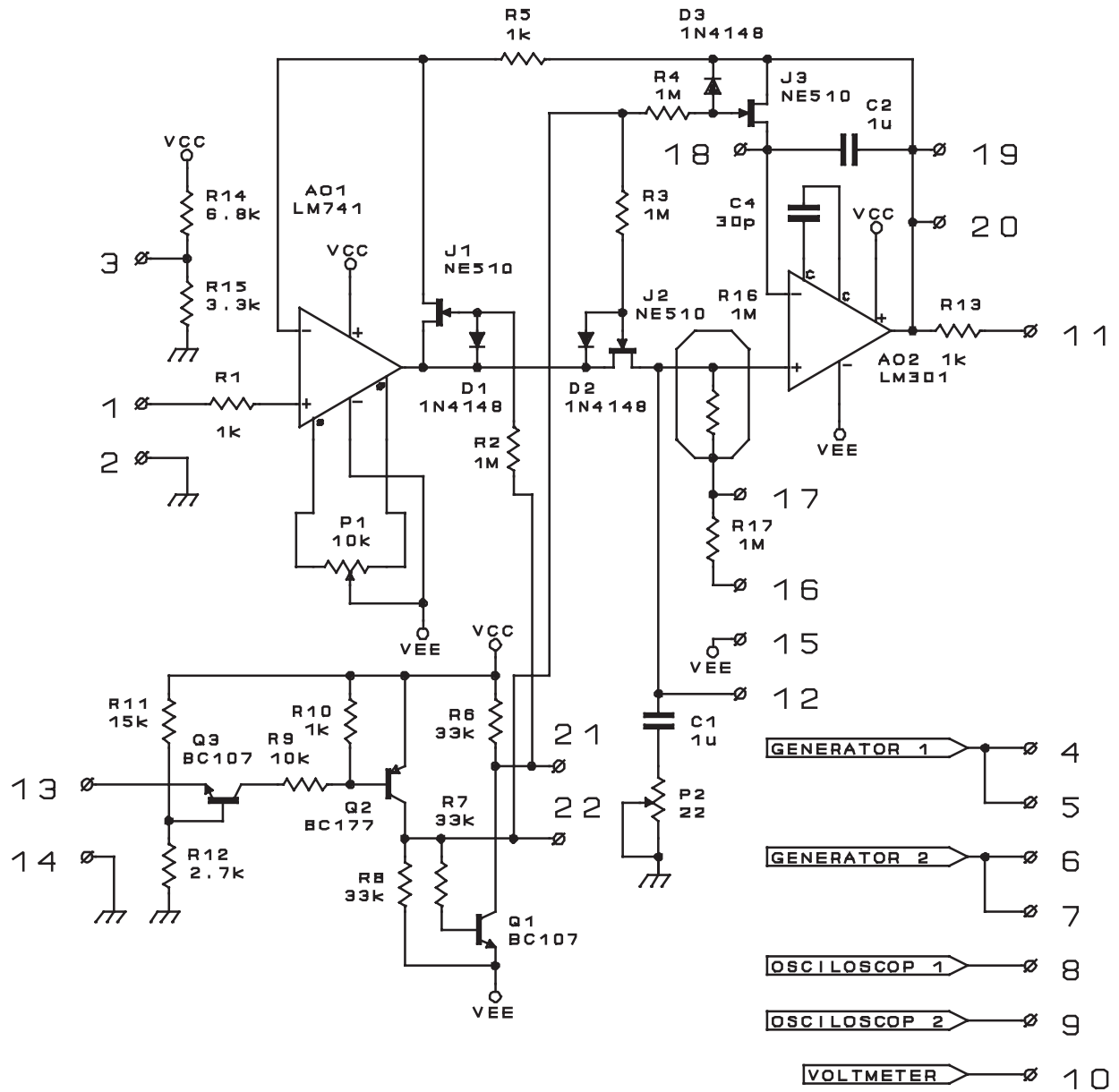


Figura 7 Schema montajului de laborator

$$I_{\max} = C_1 \frac{V_{12\text{ VV}}}{t_r}$$

Valoarea obținută se compară cu valoarea maximă a curentului de ieșire a amplificatorului operațional AO₁ ($I_{o\max} \approx 20 \dots 25\text{mA}$) și cu valoarea maximă a curentului prin tranzistorul cu efect de cimp ($I_{\text{DSS}} \approx 50\text{mA}$).

Se va compara și valoarea vitezei de variație a semnalului de ieșire ($V_{12\text{ VV}}/t_r$) cu viteza maximă de variație a semnalului de la ieșirea AO (aproximativ de $0.5\text{V}/\mu\text{s}$).

Se vizualizează tensiunea dintre cele două intrări ale AO₁. Pentru aceasta se conectează unul dintre canalele osciloscopului la intrare (se conectează pinul 1 cu pinul 8) și celălalt canal la ieșirea lui AO₂ (se conectează pinul 19 cu pinul 9). Se trece osciloscopul în regim de diferență dintre canale (comutatoarele de "MODE" pe pozițiile "BOTH", "CH 2 INVERT" și "ADD"). Se vor nota oscilogramele pentru frecvența de intrare de 100Hz, 1kHz și 10kHz.

Similar se studiază diferența de tensiune dintre intrările AO₂.

6. Pentru determinarea curentului total de pierderi se aplică la intrare o tensiune continuă V_1 de aproximativ 5V (se conectează pinul 1 cu pinul 3). Se conectează voltmetrul numeric la ieșirea circuitului de eșantionare și memorare (se conectează pinul 10 cu pinul 11). Se trece din regim de eșantionare în regim de memorare (de durată nedefinită) lăsând în gol intrarea de control (E/M) (pinul 13) care inițial era pusă la masă (conectat pinul 13 cu pinul 14). Se cronometrează timpul Δt în care tensiunea v_O scade cu o valoare $\Delta v_O = 0.5\text{V}$ și se determină I_P utilizându-se relația (2).

7. Se reia punctul 6 după ce se scoate din funcțiune circuitul de reducere a efectului curenților de polarizare prin scurtcircuitarea condensatorului C_2 (se conectează pinul 18 cu pinul 19). Se va determina curentul de polarizare al intrării neinversoare a AO₂.

8. În condițiile de la punctul 7 se va studia influența inelului de gardă prin conectarea rezistențelor R_{17} și R_{18} la V_{EE} (se conectează pinul 15 cu pinul 16). Cele două rezistențe vor simula astfel efectul unor impurități conductoare apărute în mod accidental pe cablaj. Se trece din regim de eșantionare în regim de memorare (de durată nedefinită) lăsând în gol intrarea de control (E/M) (pinul 13) care inițial era pusă la masă (conectat pinul 13 cu pinul 14). Se va determina timpul de scădere la jumătate a tensiunii de ieșire v_O .

Apoi se conectează inelul de gardă la ieșirea AO₂ (se conectează pinul 17 cu pinul 20). Se reia măsurătoarea de la punctul 7. Se vor trage concluzii asupra eficienței inelului de gardă.

III. ÎNTREBĂRI

1. Să se estimeze gama de valori în care se poate plasa amplitudinea semnalului de la intrare pentru circuitul S/H din figura 7.

2. Să se cerceteze stabilitatea circuitului S/H din figura 7 știind că rezistența comutatorului în stare de conducție este $r_{\text{ds,on}} \leq 100$ ohmi. Se presupune P_2 neglijabil ($P_2 = 0$).

3. Ce factori impun valoarea maximă și minimă a capacității C_1 ?

4. Indicați ce fel de tip de condensator se poate utiliza pentru C_1 : electrolitic, cu tantal, cu policarbonat, cu aer, cu mică, cu polistiren, ceramic. Să se justifice.

5. Care este valoarea absolută minimă a sursei V_{EE} ?

6. Ce rol au diodele D_1 , D_2 și D_3 ?

7. Ce rol are rezistența R_5 ? Care sunt criteriile de determinare a valorii sale ? Circuitul poate funcționa și în condițiile în care $R_5=0$?

8. Să se explice funcția de translatare de nivel pe care o realizează tranzistoarele Q_4 , Q_5 și Q_6 . Să se arate că intrarea de comandă este compatibilă cu nivele logice TTL.

9. Între ce limite se poate regla din potențiometrul P_1 tensiunea de offset a circuitului S/H?

10. Presupunând că în expresia curentului de pierderi I_p - vezi relația (1) - contează numai curentul de polarizare al intrărilor amplificatorului 301. Să se determine viteza de scădere în timp a tensiunii în condițiile tipice și în condițiile cele mai nefavorabile - în conformitate cu datele de catalog - pentru cazul în care în schemă este conectat capacitorul C_2 și pentru cazul în care nu este conectat.

11. În regimul de memorare amplificatorul AO_2 nu este cumva cu bucla deschisă? Dați o descriere a modului de funcționare a circuitului din figura 6. în curent continuu și în regim variabil la semnal mic.

12. Comanda comutatoarelor K_1 , K_2 și K_3 din figura 5. se putea face și ca în figura 8.

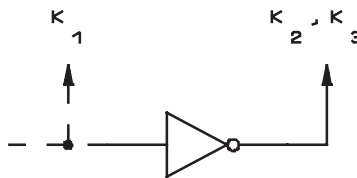


Figura 8 Altă variantă de comandă a comutatoarelor

Ce modificări apar în funcționarea circuitului ? Este necesar să existe o anumită ordine în ceea ce privește succesiunea în timp a modificării stării comutatoarelor K_1 , K_2 și K_3 la trecerile $S \rightarrow H$ și $H \rightarrow S$?

13. Referindu-ne la schema de alimentare din figura 7 să se estimeze care este valoarea maximă a curentului pe care îl poate da la ieșire amplificatorul AO_1 . Să se compare cu rezultatul obținut la punctul II.4.

14. Ce se modifică în circuitul din figura 7. dacă se alimentează de la o singură sursă pozitivă? Dar dacă alimentarea se face de la o singură sursă negativă?

15. Ce rol are potențiometrul P_2 ?

16. Să se estimeze driftul cu temperatura, în regimul de memorare a tensiunii V_o , pentru circuitul din figura 7.

17. Cum se manifestă interacțiunea care apare între semnalul de comandă și calea de semnal intrare-ieșire? Care sunt factorii care determină această interacțiune ?

18. Circuitul S/H din figura 7. este neinvertor. Desenați o schemă de circuit S/H invertor.

19. Plecând de la un circuit S/H și un comparator, desenați o schemă de detector de vârf.

20. Desenați o schema de distribuție de date care să se bazeze pe utilizarea unor circuite S/H.