

Lucrare de laborator nr. 6
Măsurarea numerică a tensiunilor

Scop: Măsurarea numerică a tensiunilor folosind un convertor tensiune-frecvență, utilizarea convertorului frecvență-tensiune, realizarea unui comparator cu histerezis.

Breviar teoretic

O modalitate simplă prin care se poate măsura numeric o tensiune constă în obținerea unui semnal (de regulă dreptunghiular) a cărui perioadă sau frecvență este liniară cu valoarea tensiunii de măsurat. Apoi folosind o metodă numerică de măsurare intervalelor de timp sau frecvențelor se obține o valoare proporțională cu cea a tensiunii de măsurat (factorul de proporționalitate este de obicei o putere a lui 10).

Principiul de funcționare al convertorului tensiune - frecvență

Scopul convertorului este de a genera un semnal a cărui frecvență să fie liniară față de valoarea tensiunii care se aplică la intrarea lui. O schemă bloc este dată în figura 1, în care se utilizează un generator de impuls comandat. Acesta generează un impuls negativ, de durată T_1 și amplitudine U_i ; atunci când i se aplică pe intrare un front pozitiv. În schemă mai apare o referință de timp ce generează periodic impulsuri cu durata T_r . Schema permite măsurarea tensiunilor pozitive.

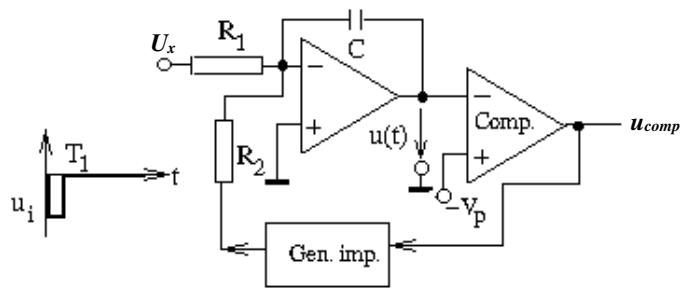


Fig.1. Schema unui convertor tensiune – frecvență

Presupunem $u(t)$ inițial 0 și $U_x > 0V$. Tensiunea $u(t)$ scade conform relației:

$$u(t) = -\frac{U_x t}{R_1 C} \quad (1)$$

pînă cînd $u(t) = -V_p$ (figura 2). În acest moment $u_{comp} = 1$ "logic" și generatorul de impuls produce un impuls de polaritate opusă tensiunii măsurate. Dacă este suficient de mare, $u(t)$ crește liniar pe durata T_1 . După terminarea acestui impuls, $u(t)$ scade cu aceeași pantă ca la început, pînă cînd $u(t) = -V_p$ (un timp T_2). Se generează un nou impuls ș.a.m.d. Apare deci o succesiune periodică de impulsuri de formă triunghiulară la ieșirea integratorului, și

de impulsuri de foarte scurtă durată la ieșirea comparatorului. Să determinăm frecvența lor de repetiție.

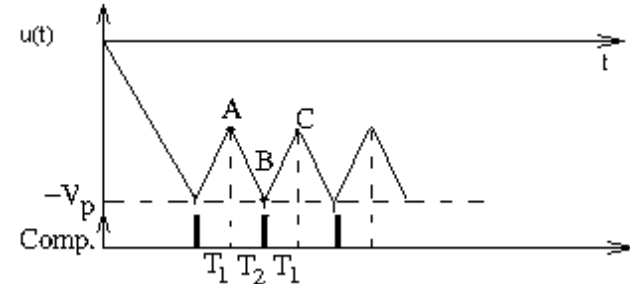


Fig. 2. Formele de undă pentru un convertor U – f

Pe porțiunea A-B (figura 2), considerînd $t_A=0$ ca origine de timp, se poate scrie:

$$u(t) = u(0) - \frac{U_x}{R_1 C} t \Rightarrow u(T_2) = u(0) - \frac{U_x}{R_1 C} T_2 = -V_p \quad (2)$$

pentru segmentul B-C:

$$u(t) = u(T_2) - \left(\frac{U_x}{R_1} - \frac{U_i}{R_2} \right) \frac{1}{C} (t - T_2) \Rightarrow u(T_1 + T_2) = u(0) \quad (2')$$

$$u(0) - \frac{U_x}{R_1 C} T_2 - \left(\frac{U_x}{R_1} - \frac{U_i}{R_2} \right) \frac{1}{C} T_1 = u(0) \Rightarrow \frac{U_x}{R_1 C} (T_1 + T_2) = \frac{U_i}{R_2 C} T_1 \quad (2'')$$

Rezultă că perioada $T = T_1 + T_2$ este dată de relația (3)

$$T = \frac{U_i}{U_x} \frac{R_1}{R_2} T_1 \quad \text{și} \quad f = \frac{1}{T} = \frac{R_2 U_x}{T_1 R_1 U_i} = K_1 U_x \quad (3)$$

Deci, la ieșirea comparatorului apare o succesiune de impulsuri foarte scurte cu **frecvența de repetiție proporțională cu U_x** → convertor frecvență-tensiune.

Precizia frecvenței f este determinată de:

- aria impulsului $U_i T_1$,
- precizia raportului rezistențelor R_1/R_2 ,
- imprecizii ale comparatorului și A.O,

Principiul de funcționare a convertorului frecvență- tensiune

Rolul convertorului este de a genera o tensiune continuă cu valoarea proporțională cu frecvența semnalului care se aplică la intrarea lui. O schemă bloc este dată în figura 3, în care se utilizează un generator de impuls comandat. Acesta generează un impuls pozitiv, de durată T_1 și valoare U_1 (fixe) atunci cînd i se aplică pe intrare un front pozitiv. Forma de

undă astfel obținută se aplică unui detector de valori medii (un FTJ cu frecvența f_{3dB} mai mică decât frecvența semnalului de intrare)

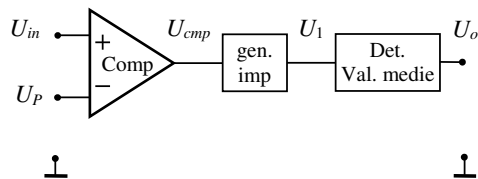


Fig. 3. Schema unui convertor frecvență-tensiune

Dacă $U_p \in [U_{in_min}, U_{in_max}]$ și $T_1 < T_x$ se obține relația (5) pentru U_o

$$U_o = \frac{T}{T_x} U_1 = K \cdot f_x \quad (5)$$

Precizia este determinată de:

- aria impulsului $U_1 T_1$,
- imprecizii ale detectorului de valori medii (frecvența f_{3dB} prea mare pentru semnalul de la intrare)
- zgomotul suprapus peste semnalul de la intrare
- imprecizii ale comparatorului

Comparatorul cu histerezis

Un comparator în general scoate la ieșire o tensiune care poate avea doar două valori U_{oH} sau U_{oL} , în funcție de valoarea tensiunii de intrare (dacă este mai mare sau mai mică decât o tensiune de prag U_p). Comparatorul **cu histerezis** se caracterizează prin faptul că are două tensiuni de prag, $U_{p1} < U_{p2}$, iar valoarea tensiunii de ieșire este U_{oH} sau U_{oL} pentru $U_{in} < U_{p1}$, respectiv $U_{in} > U_{p2}$ (figura 5). Pentru intervalul $U_{p1} < U_{in} < U_{p2}$, tensiunea de ieșire este U_{oH} sau U_{oL} după cum U_{in} evoluează în sens crescător sau descrescător.

Comparatoarele cu histerezis sunt preferate în practică deoarece oferă o protecție a comutării semnalului de ieșire față de zgomot. Astfel, dacă la intrarea comparatorului se aplică un semnal analogic, lent variabil, însoțit de zgomot aditiv, de valoarea maximă mai mică decât $\Delta U/2$ (rel. 8), comutările semnalului de la ieșire nu vor fi generate de zgomot. În caz contrar (zgomot mai mare), în loc de o tranziție a semnalului de la ieșirea comparatorului, putem avea mai multe comutări produse de zgomot. Presupunând un zgomot alb, uniform distribuit între $[-\Delta U/2, +\Delta U/2]$, acesta nu generează comutări false și are dispersia $U/\sqrt{12}$ (vezi cursul DEPI).

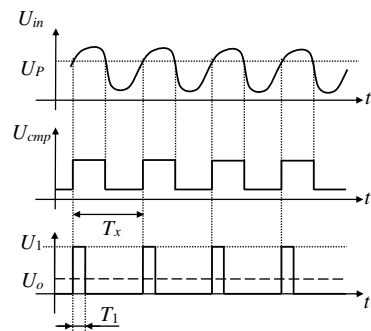


Fig. 4. Formele de undă pentru un convertor $f-t$

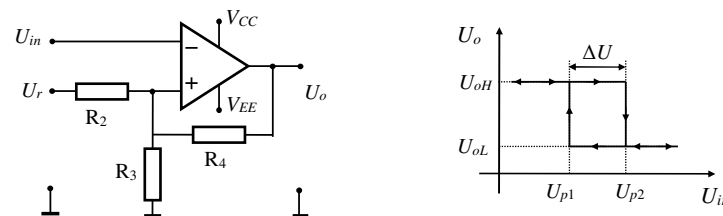


Fig. 5. Schema unui comparator cu histerezis și caracteristica ieșire-intrare

În fig. 5, avem schema unui comparator cu histerezis care are și o intrare de tensiune de referință (U_r) al cărei rol este de a permite ca valorile U_{p1} , U_{p2} să fie amândouă pozitive (specificul lucrului la o sursă simplă: $V_{CC} > 0$, $V_{EE} = 0$), ceea ce complică schema și relațiile de calcul, dar este avantajos pentru aparatele alimentate din baterii.

Pentru circuitul din figura 5

$$U_{in} < U_{p1} \Rightarrow U_o = U_{oH} \quad (\text{valoarea maxima a tensiunii de la iesire}) \quad (6)$$

$$U_{in} > U_{p2} \Rightarrow U_o = U_{oL} \quad (\text{valoarea minima a tensiunii de la iesire})$$

Comutarea comparatorului se face cînd la AO avem $V(+) = V(-)$ deci $V(+) = U_{in}$. Aplicînd metoda potențialelor la noduri în nodul $V(+)$ al AO, avem relațiile:

$$U_p = \frac{\frac{U_r + U_o}{R_2 + R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} \Rightarrow \begin{cases} U_{p1} = \frac{1}{2+K} U_r \\ U_{p2} = \frac{1+K_{VH}}{2+K} U_r \end{cases} \quad \text{dacă} \quad \begin{cases} K = \frac{R_2}{R_3}; K_{VH} = \frac{U_{oH}}{U_r} \\ R_2 = R_4; U_{oL} = 0V \end{cases} \quad (7)$$

Se poate defini tensiunea de prag, U_p și fereastra triggerului, ΔU

$$\begin{cases} U_p = \frac{U_{p1} + U_{p2}}{2} = \frac{2+K_{VH}}{2+K} \cdot \frac{U_r}{2} \\ \Delta U = U_{p2} - U_{p1} = \frac{K_{VH}}{2+K} U_r \end{cases} \quad \text{astfel încît} \quad \begin{cases} U_{p2} = U_p + \Delta U/2 \\ U_{p1} = U_p - \Delta U/2 \end{cases} \quad (8)$$

Un alt parametru important al unui comparator este *Slew Rate* (SR), care indică viteza maximă de variație a tensiunii de la ieșirea comparatorului pentru toate valorile posibile ale semnalului de la intrare.

$$SR = \max \left\{ \frac{dU_o(t)}{dt} \right\} \quad (9)$$

Desfășurarea lucrării

- Atenție:
1. pentru funcționarea machetei sursa de alimentare trebuie setată pe 9V.
 2. pentru a măsura tensiuni din interiorul machetei se vor utiliza bornele “verde” și “neagră” (masa electrică), fire subțiri legate la **crocodilii** aparatelor de măsură sau firele legate la PCB. **Nu prindeți crocodilii de terminalele componentelor!**
 3. la sfîrșitul laboratorului macheta trebuie predată în aceeași stare în care a fost primită la început (atît funcțională cît și din punctul de vedere al echipării), împreună cu toate componentele primite în cutie.

4. pentru toate desenele realizate trebuie să notați sub figură valorile coeficienților de deflexie utilizați, nivelul de 0V și momentul de sincronizare.

Circuitul central al convertorului tensiune – frecvență, ca și al celui frecvență-tensiune este circuitul integrat LM 331, ale cărui schemă bloc funcțională și descriere a pinilor sunt prezentate în figurile 6 și 7.

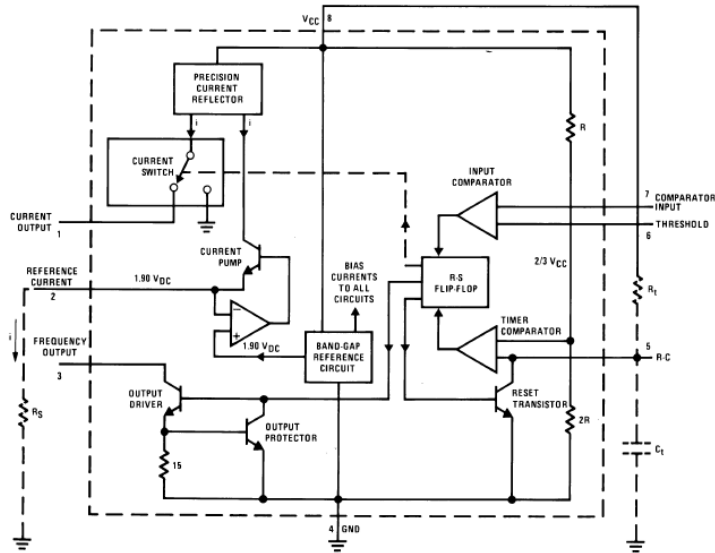


Fig. 6. Schema bloc funcțională a circuitului LM331

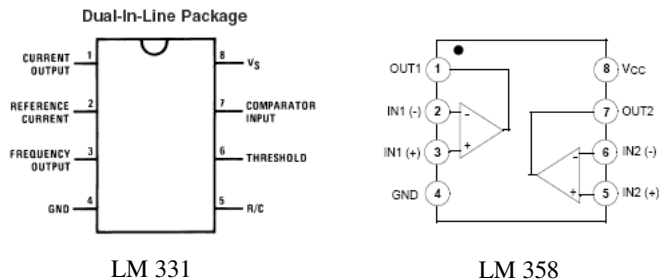


Fig. 7. Circuitele integrate LM 331 și LM 358

Conform datelor de catalog, pentru funcționarea ca un convertor tensiune frecvență domeniul maxim al tensiunilor de intrare trebuie să fie între $[V_{GND}, V_{CC} - 2V]$. Iar pentru funcționarea convertorului frecvență-tensiune, semnalul de intrare trebuie să fie dreptunghiular cu valorile 0V și min. 1.2V. Pentru comparatorul cu histerzis se folosește un amplificator operațional din circuitul integrat LM 358.

1. Analiza convertorului tensiune – frecvență

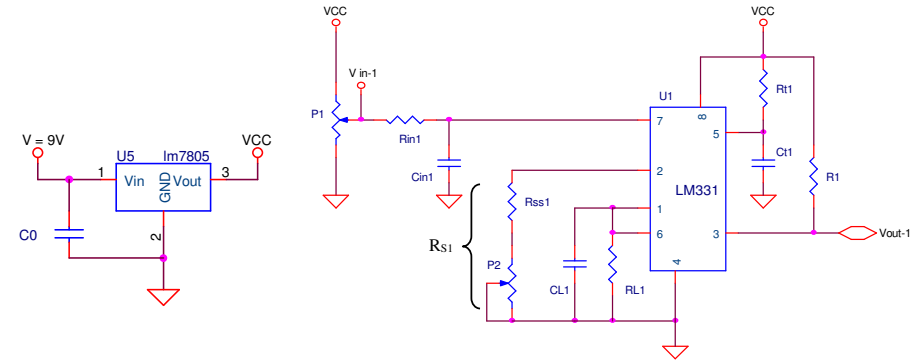


Fig. 8a. Schema sursei de alimentare V_{CC}

Fig. 8b. Schema convertorului tensiune-frecvență

a) **Se oprește alimentarea montajului** (scoțind cablul din sursa de alimentare externă), dacă acesta este alimentat. Se identifică montajul (figurile 11 și 12) care corespunde schemei din figura 8b, precum și intrarea (V_{in-1}) și ieșirea (V_{out-1}) din convertorul tensiune-frecvență. Se verifică corespondența schemei cu montajul de pe machetă și poziția componentelor R_{S1} , R_{L1} , R_{r1} , C_{11} . (Rezistența R_{S1} este rezistența echivalentă obținută prin înserierea R_{SS1} cu P_2)

Apoi se alimentează montajul și se verifică (cu osciloscopul) faptul că tensiunea furnizată de sursa de alimentare este de cca 9V, fără oscilații și că tensiunea V_{CC} este de 5V. (Se poate utiliza atât multimetrul cât și osciloscopul, pe CH1, cuplaj DC și meniul **MEASURE** → **Type = Mean**). În figura 8a. este dată schema de obținere a tensiunii V_{CC} folosind stabilizatorul cu 3 terminale U5 (LM7805).

Se conectează voltmetrul pentru a măsura tensiunea continuă V_{in1} , iar osciloscopul (CH2 cu cuplaj DC) și opțional frecvențmetrul la V_{out-1} pentru a putea vizualiza forma semnalului și a-i măsura frecvența. Ce formă are semnalul de la ieșire?

Se măsoară cele două valori ale semnalului de ieșire U_{oH-1} și U_{oL-1} reglând optim osciloscopul și la nevoie folosind cursorii (V_{in1} **trebuie să fie mai mică decât 3V**).

Observație 1: Osciloscopul trebuie reglat astfel încât imaginea să fie sincronizată, să ocupe cca $\frac{1}{2}$ din spațiul de pe verticala ecranului și să se observe cca 2-5 perioade pe ecran. De-a lungul punctelor următoare, la vizualizarea semnalelor dreptunghiulare, trebuie să păstrați acești parametri ai *imaginii* (dacă nu se specifică altceva la acel punct).

Observație 2: Pentru a ușura urmărirea semnalelor pe ecranul osciloscopului, atunci când trebuie să se vizualizeze simultan două semnale, se va conecta intrarea în circuitul de analizat la CH1, cuplaj DC, și ieșirea la CH2, cuplaj DC. Se recomandă setarea aceleași poziții pentru GND pe ambele canale, în partea de jos a ecranului (1-3 diviziuni de jos).

b) Se “calibrează” caracteristica de conversie: se aplică tensiunea $V_{in-1} = 2,50V$ (prin reglarea potențiometrului P_1) și apoi se reglează potențiometru P_2 astfel încât frecvența semnalului de la ieșire să fie 2,50KHz. (sau perioada 400μs).

Atenție: Valoarea 2,50 are semnificația că mărimea respectivă trebuie reglată cu o precizie mai bună decât 0,01 u.m. (unitatea de măsură corespunzătoare), adică 2 zecimale semnificative.

c) Se va măsura caracteristica de conversie a convertorului tensiune-frecvență. **Se oprește alimentarea montajului**, apoi se măsoară R_{S1} , R_{L1} , R_{I1} , C_{I1} (cu multimetrul).. **Atenție: Condensatorul C_{I1} trebuie măsurat scos din montaj !!!!**

Observație 3: Deși în condiții normale componentele pasive pe care le măsurăm trebuie să fie scoase din montaj, datorită particularităților acestuia (rezistențe echivalente foarte mari în paralel cu respectivele componente), unele dintre acestea pot fi măsurate direct în circuit, **dar cu alimentarea deconectată.**

Observație 4: În cazul componentelor care se măsoară direct pe cablaj, măsurătorile se vor realiza pe fața cu piese (nu se răsuțește placa). Se vor folosi sîrme subțiri prinse de crocodili și punctele de acces disponibile. *Exp:* rezistența R_{S1} se poate măsura între pinul 2 al lui $U1$ (LM331) și GND, rezistența R_{L1} între pinul 1 sau 6 al lui $U1$ și GND, etc.

Cu valorile măsurate se calculează valoarea numerică (cu unitatea de măsură) a constantei

$$K_1 = \frac{1}{2,09} \cdot \frac{R_{S1}}{R_{L1}} \cdot \frac{1}{R_{I1} C_{I1}} \quad (10)$$

Apoi se conectează înapoi componentele scoase, se alimentează din nou montajul și se aplică la intrare tensiunile $V_{in-1} = \{ 500mV, 1V, 2V, 2,5V, 3V \}$, obținute prin reglarea potențiometrului P_1 . Se completează tabelul 1 cu valorile măsurate (f_{mas}) și cu cele calculate (f_{calc}) cu relația (11). Utilizînd valorile din tabelul 1, se determină erorile relative ε_{U-f} pentru frecvențele măsurate față de cele calculate.

$$f_{calc} = K_1 \cdot V_{in-1} \quad (11)$$

2. Analiza convertorului frecvență- tensiune

a) **Se oprește alimentarea montajului** și se identifică montajul (figurile 11 și 12) care corespunde schemei din figura 9, precum și intrarea (V_{in-3}) și ieșirea (V_{out-3}) din convertorul frecvență-tensiune. Se verifică corespondența schemei cu montajul și poziția componentelor R_{S3} , R_{L3} , R_{I3} , C_{I3} . (Rezistența R_{S3} este rezistența echivalentă obținută prin inserierea R_{SS3} cu P_3). Se conectează osciloscopul (CH2) și voltmetrul corespunzător pentru a măsura tensiunea continuă V_{out-3} , precum și osciloscopul (CH1) și frecvențmetrul la V_{in-3} pentru a putea vizualiza forma semnalului de intrare și a-i măsura frecvența (cu meniul **Measure**). Se aplică la intrare semnal un semnal dreptunghiular, de la generator, de frecvență aproximativ 2kHz și nivele de tensiune **HiLev** = 3 V, **LoLev** = 0 V și **se alimentează din nou montajul**. (Pentru obținerea indicațiilor **HiLev** și **LoLev** se apasă de mai multe ori pe butoanele **Ampl**, respectiv **Offset** de pe generatorul de funcții).

b) Se “calibrează” caracteristica de conversie: se reglează frecvența semnalului dreptunghiular de intrare la valoarea 2,50KHz și apoi se reglează potențiometru P_3 astfel încât tensiunea continuă $V_{out-3} = 2,50V$. **Se oprește alimentarea montajului**, și se măsoară R_{S3} , R_{L3} , R_{I3} , C_{I3} (cu multimetrul). Rezistența R_{S3} este rezistența echivalentă obținută prin inserierea R_{SS3} cu P_3 .

Atenție: Componentele C_{I3} și P_3 trebuie măsurate scoase din schemă!!!
Se calculează valoarea numerică (cu unitatea de măsură) a constantei (12):

$$K_3 = 2,09 \cdot \frac{R_{L3}}{R_{S3}} \cdot R_{I3} C_{I3} \quad (12)$$

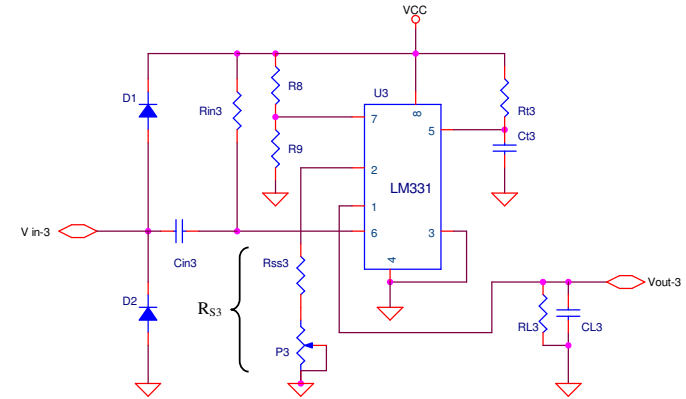


Fig. 9. Schema convertorului frecvență-tensiune

c) Se va măsura caracteristica de conversie a convertorului frecvență-tensiune. **Se alimentează montajul** și se aplică la intrare semnal cu frecvența $f_{in-3} = \{ 500Hz, 1KHz, 2KHz, 2,5KHz, 3KHz \}$. Se completează tabelul 2 cu valorile măsurate V_{mas} și cu cele calculate (V_{calc}) cu relația (13). Utilizînd valorile din tabelul 2, se determină erorile relative ε_{f-U} ale tensiunilor măsurate față de cele calculate.

$$V_{calc} = K_3 \cdot f_{in-3} \quad (13)$$

d) Se măsoară valoarea **high** minimă a semnalului dreptunghiular ($V_{in-3 \text{ H min}}$) pentru care convertorul frecvență-tensiune încă mai funcționează: se reglează frecvența la aproximativ 2kHz și se citește V_{out-3} (aprox. 2V), fără a modifica poziția potențiometrului P_3 față de 2.(b). Apoi se scade valoarea **HiLev** din generator pînă cînd $V_{out-3} < 1V$ și se notează indicația generatorului, $V_{in-3 \text{ H min}}$.

e) Se verifică funcționarea convertorului $f-U$ pentru semnal sinusoidal și triunghiular: păstrînd frecvența de la pct 2.d, pentru semnal dreptunghiular se reglează **HiLev** = 3V și **LoLev** = 0 V. Se măsoară V_{out-3} pentru semnal dreptunghiular, sinusoidal și triunghiular, reglate pe rînd de la generatorul de funcții și se completează tabelul3. Ce se

constată? Se modifică $HiLev = 1V$ și se repetă măsurătorile pentru cele trei semnale. Ce se constată?

3. Analiza conversiei $U-f$ și $f-U$

a) Se va evalua precizia conversiei $U-f$ și $f-U$ pentru tensiune continuă. **Se oprește alimentarea montajului** și se realizează montajul în care se conectează ieșirea convertorului $U-f$, V_{out-1} , cu intrarea convertorului $f-U$, V_{in-3} .

Observație 5: Conectarea V_{out-1} cu V_{in-3} se va face **doar** utilizând breadboard-ul. **Nu se răsucesc firele** între ele.

Se conectează la intrarea ansamblului (V_{in-1}) osciloscopul (CH1) și voltmetrul DC și osciloscopul (CH2) la ieșire (V_{out-3}). **Apoi se alimentează din nou montajul** și se aplică la intrare tensiunile $V_{in-1} = \{ 500mV, 1V, 2V, 2,5V, 3V \}$, obținute prin reglarea potențiometrului P_1 . Pentru a măsura tensiunea de ieșire se folosește meniul **Measure** al osciloscopului setat pe valoarea medie a CH2 (**MEASURE** → **Source =CH2**, **Type=Mean**). Se completează tabelul 4, se calculează eroarea relativă, ε_1 , dintre V_{out-3} și V_{in-1} .

Cum vă așteptați să fie cele două tensiuni? Pentru ce tensiune abaterea este maximă? Cum vă explicați?

b) Se va măsura timpul de conversie al lanțului $U-f$ și $f-U$. **Se oprește alimentarea montajului**. Se generează (de la generatorul de funcții) un semnal dreptunghiular de frecvență 5Hz și cele două nivele de tensiune $HiLev = 3V$ $LoLev = 0V$, care se verifică pe osciloscop (CH1). Sincronizarea osciloscopului se realizează după CH1, pe front pozitiv, tensiune de prag 0.5V-1V. Se scoate potențiometrul P_1 , **se alimentează din nou montajul**, și se aplică semnalul setat anterior (de la generator), printr-un fir subțire, la intrarea convertorului $U-f$ (pinul din mijloc al soclului potențiometrului P_1). Cu semnalul V_{in-1} pe CH1 și V_{out-3} pe CH2, cu cuplaje DC, cu GND-ul celor două semnale la același nivel (o diviziune față de marginea de jos a ecranului) și C_Y reglate să încapă pe 4-6 diviziuni, se măsoară întârzierea dintre frontul semnalului V_{in-1} și momentul în care semnalul V_{out-3} devine aproximativ egal cu V_{in-1} (intervalul de timp trebuie să aibă minim 3 div). Acesta reprezintă timpul maxim de propagare prin lanțul $U-f$ și $f-U$, $t_{conv U-f-U}$.

Observație 6: Dacă nivelele *high* ale V_{in-1} și V_{out-3} nu sunt identice, pentru a ușura măsurarea $t_{conv U-f-U}$, se configurează CH1 *fine setting* (butonul *soft* corespunzător din meniul CH1) și se suprapun vizual *curbele high* și *low* ale celor două semnale.

4. Realizarea și utilizarea comparatorului cu histerezis

a) Se realizează montajul din figura 10, pe placa de test (solderless) folosind rezistențele R_2, R_3, R_4, R_5 ($R_2 = R_4 = R_5 \approx 23K\Omega$, $R_3 \approx 1.5-2.5K\Omega$). Față de schema din fig. 5, s-a adăugat rezistența R_5 doar pentru ca AO să nu lucreze „în gol” – valoarea sa nu contează în calcule. Identificați U_r din fig. 5 prin comparație cu fig. 10.

Atenție : Conform fig. 10, circuitul realizat la acest punct utilizează tensiunea V_{CC} obținută de la ieșirea stabilizatorului de pe PCB – firul V_{CC} de la ieșirea sursei 7805 se conectează la intrarea V_{CC} de pe fig. 10.

Se conectează osciloscopul, CH1 la V_{in-2} și CH2 la V_{out-2} . La intrarea V_{in-2} se aplică de la generatorul de funcții un semnal triunghiular cu frecvența de 1KHz, și tensiunile

electrice extreme $HiLev = 3V$ $LoLev = 0V$. **Apoi se alimentează din nou montajul**, se reglează $C_Y = 1V/div$ pentru CH1 și CH2 și nivelul de 0V la o diviziune față de partea de jos a ecranului (pentru ambele canale). Se desenează cele 2 forme de undă suprapuse.

b) Folosind cursorii de tensiune pe imaginea celor 2 forme de undă:
- se măsoară tensiunile de **intrare** corespunzătoare celor două praguri care se notează cu $V_{in-2 p1}$ și $V_{in-2 p2}$. Ele sînt nivelele de tensiune pe semnalul de intrare triunghiular la care comută ieșirea dreptunghiulară;
- se măsoară valorile tensiunii de **ieșire** V_{out-2H} , V_{out-2L} ale semnalului dreptunghiular;
- se calculează tensiunile de prag teoretice U_{p1} și U_{p2} , utilizînd relațiile (7) și valorile *măsurate* ale rezistențelor.

Calculați valoarea maximă a zgomotului practic suprapus peste semnal, care nu produce comutări false la ieșire?

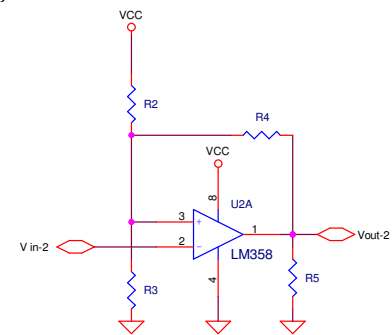


Fig. 10. Schema comparatorului cu histerezis

c) Se vizualizează caracteristica Out-In pentru comparatorul cu histerezis. Se trece osciloscopul în modul XY (**Display** → **XY**) se ajustează imaginea pentru a fi cât mai mare, dar a nu depăși ecranul și apoi se desenează.

d) Se măsoară valoarea *Slew-Rate* a comparatorului: se revine cu osciloscopul în domeniul timp (**Display** → **Yt**) și se determină panta semnalului $V_{out-2}(t)$ pe front pozitiv și negativ: SR_+ , respectiv SR_- . Pentru aceasta, se măsoară intervalul de timp necesar semnalului să ajungă de la 1V la 2V pe front pozitiv, Δt_1 , respectiv de la 2V la 1V pe front negativ, Δt_2 și se calculează SR cu relațiile (14):

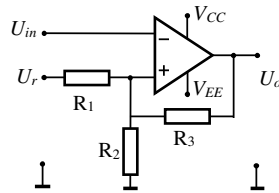
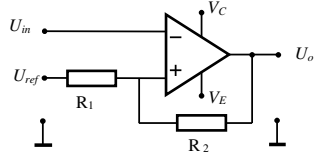
$$SR_+ = \frac{1}{\Delta t_1} [V/s] \text{ și } SR_- = -\frac{1}{\Delta t_2} [V/s] \quad (14)$$

e) Utilizarea comparatorului pentru refacerea/obținerea semnalului dreptunghiular: **Se oprește alimentarea machetei**. Se realizează montajul în care ieșirea comparatorului (V_{out-2}) se conectează la intrarea convertorului $f-U$ (V_{in-3}). La intrarea comparatorului se aplică un semnal dreptunghiular cu frecvența 2kHz și valorile palierelor $HiLev = 1V$ $LoLev = 0V$. Se conectează V_{in-2} la CH1 al osciloscopului, V_{out-2} la CH2 al osciloscopului și V_{out-3} la voltmetrul d.c. al multimetrului. **Apoi se alimentează din nou montajul** și se

măsoară valoarea tensiunii de la ieșirea convertorului $f-U$, (V_{out-3}). Se repetă măsurătorile pentru semnal sinusoidal și triunghiular cu aceeași frecvență și valori limită și se completează tabelul 5. Se compară rezultatele cu cele de la punctul 2.e. Explicați diferența dintre valorile măsurate pentru (V_{out-3}), în cele două situații pentru toate semnalele ?

Întrebări și probleme pregătitoare

1. Care sunt principalele surse de eroare ale unui convertor $U-f$?
2. Dacă $U_{oH} = 4V$, $U_{oL} = 0,6V$ și $U_{ref} = 0V$, $R_1 = 2R_2$, determinați U_{P1} și U_{P2} , cele două praguri ale comparatorului din figură.
3. Dacă pentru circuitul din figură, cu $U_{oH} = 4,4V$, $U_{oL} = 0,6V$, $SR=50V/\mu s$, $U_{ref} = 0V$ și $R_1 = 2R_2$, determinați frecvența maximă a semnalului de la ieșirea comparatorului, precum și forma de undă a acestuia.
4. Dacă pentru circuitul din figură, cu $U_{oH} = 4,7V$, $U_{oL} = 0,3V$, $SR=100V/\mu s$, $U_{ref} = 0V$ și $R_1 = 2R_2$, determinați timpul de creștere t_c , frecvența maximă și factorul de umplere al unui semnal dreptunghiular de la ieșirea comparatorului. (se presupune $t_c = 1/10 \cdot$ durata minimă a unui palier).
5. Dacă precizia de conversie a unui convertor $U-f$ este $\varepsilon_1=1\%$, iar a convertorului $f-U$ (invers) este $\varepsilon_2=2\%$, determinați care este eroarea relativă dintre tensiunea de la ieșirea convertorului $f-U$ și cea de la intrarea $U-f$ (dacă cele două sunt legate în cascadă). Se presupune că cele două convertoare sunt "calibrate" la fel.
6. Dacă $U_{oH} = 3,6V$, $U_{oL} = 0,6V$ și $U_r = 5V$, $R_1 = R_2 = 2R_3$ determinați U_{P1} și U_{P2} , cele două praguri ale comparatorului din figură.
7. Dacă $U_{oH} = 4,2V$, $U_{oL} = 0,35V$ și $U_r = 4,9V$, $R_3 = R_1 = 3R_2$ determinați tensiune de prag U_P și fereastra trigger-ului ΔU_P .
8. Dați minim un exemplu în care conversia $U-f, f-U$ este o soluție necesară. (cu explicații).
9. Determinați tensiunea de prag optimă și fereastra trigger-ului pentru un comparator cu histerezis, la intrarea căruia se aplică un semnal sinusoidal (tensiune) cu amplitudinea $A=2V$, și $RSZ=20dB$, dacă la ieșire se dorește obținerea unui semnal dreptunghiular cu aceeași frecvență. (indicație: $U_{ef_zg} = U_{max_zg} / \sqrt{3}$).
10. Determinați RSZ min al unui semnal triunghiular simetric cu valoarea vîrf-vîrf $U_{VV}=2V$, fără componentă continuă, care se poate aplica unui comparator cu histerezis cu $U_P=10mV$ și $\Delta U=40mV$ astfel încît la ieșire să se obțină un semnal dreptunghiular de aceeași frecvență. (indicație: $U_{ef_zg} = U_{max_zg} / \sqrt{3}$).



Dacă $f-U$ funcționează cu semnal dreptunghiular, aproximat de primele 5 componente spectrale, cât este tensiunea maximă fără eroare?

14. Un semnal triunghiular cu amplitudinea $2V$, valoarea medie $2.5V$ și perioada $500ms$ se aplică unui lanț cu un convertor $U-f$ și apoi $f-U$ cu constantele de conversie $K_{U-f} = 1/K_{f-U}$. Dacă erorile sistematice de conversie sunt $\varepsilon_{U-f} = +5\%$, respectiv $\varepsilon_{f-U} = -12\%$ Determinați forma, valoarea medie și valoarea vîrf-vîrf a semnalului de la ieșirea convertorului $f-U$.

15. Care este rolul unui comparator? Care este diferența dintre un comparator și un comparator cu histerezis?

16. Viteza maximă de variație a semnalului de la intrarea unui lanț de conversie $U-f, f-U$ este $2V/\mu s$. Determinați frecvența maximă și forma de undă optimă pentru o tensiune cu valoare vîrf-vîrf de $3V$ care poate fi utilizată într-o astfel de conversie fără a altera valorile limită ale semnalului.

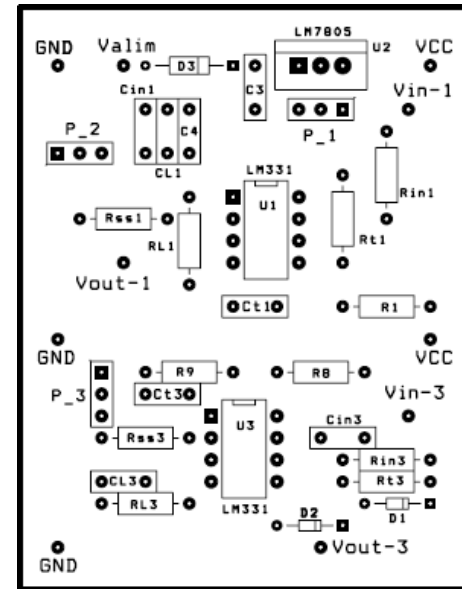


Figura 11. Montajul sistemului cu convertor $U-f$ și convertor $f-U$ realizat pe PCB

Atenție: Potențialele electrice GND, V_{alim} , V_{CC} , V_{out-1} și V_{in-3} se obțin la firele corespunzătoare: negru, roșu, portocaliu, verde și galben. Potențialele V_{in-1} și V_{out-3} se găsesc la punctele de test corespunzătoare. (pini individuali).

Observație: După măsurarea valorii potențioanelor P2, P3 și a condensatorilor Ct1, Ct3, (prin scoaterea de pe soclu) conectarea înapoi în circuit se va realiza cu atenție pentru a nu îndoii și rupe pini componentelor. Pentru potențioetre se recomandă notarea poziției inițiale, pentru a nu fi reconectați invers.

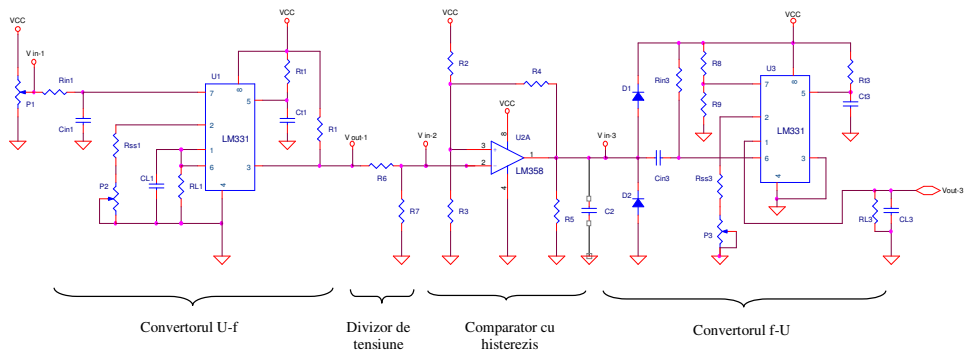


Figura 12: Schema „lanțului” format din convertor U-f , divizor de tensiune, comparator cu histerezis și convertor f-U; dintre cele 3 blocuri, cel din mijloc nu există pe placa de circuit imprimat!