

Convertoare A/N și N/A

Scop: Studiul CAN și CNA cu aplicație pe un convertor A/N integrat de 8 biți și un convertor N/A cu rezistențe R-2R.

Breviar teoretic**a) Relația de conversie; mărimi caracteristice**

Convertoarele analog-numerice (CAN) transformă o tensiune (valoare analogică) într-un număr proporțional cu aceasta, în timp ce convertoarele numeric-analogice (CNA) transformă un număr într-o tensiune analogică proporțională; cele 2 dispozitive au funcții complementare, funcția de transfer a CNA $f_{CNA}: \mathbf{Z} \rightarrow \mathbf{R}$ fiind inversa funcției de transfer a CAN $f_{CAN}: \mathbf{R} \rightarrow \mathbf{Z}$.

Correspondența dintre număr și tensiune, valabilă pentru ambele dispozitive, depinde de valoarea de referință V_{REF} , pe baza relației (1), numită și *relația de conversie* a CAN sau CNA:

$$V_0(N) = N \cdot V_{REF} = \left(\sum_{k=1}^n b_k 2^{-k} \right) \cdot V_{REF} \quad (1)$$

Se observă că pentru orice N, $V(N) < V_{REF}$, prin urmare N este un număr pozitiv subunitar (fracționar). Scriem numărul binar supraunitar (natural) în cod binar natural:

$$N_{BN} = b_1 b_2 \dots b_n$$

în care b_1 este bitul cel mai semnificativ (MSB), iar b_n este bitul cel mai puțin semnificativ (LSB); “n” reprezintă numărul de biți ai CNA-ului. Numărul subunitar N se reprezintă astfel:

$$N = 0, b_1 b_2 \dots b_n$$

și se poate calcula pe baza numărului supraunitar astfel:

$$N = N_{BN} / 2^n$$

De exemplu, pentru $n=3b$, $N_{BN}=\{0,1,2,\dots,7\}$ și $N=\{0, 1/8, 2/8, \dots, 7/8\}$.

Diferența dintre tensiunile corespunzătoare a 2 numere consecutive se numește *rezoluție* și corespunde unei “cuante” de tensiune:

$$V_{LSB} = V_{REF} / 2^n$$

Treapta de tensiune corespunzătoare numărului maxim pe n biți se numește *tensiune de cap de scară*; ea este cu o cuantă mai mică decât V_{REF}

$$V_{CS} = V_{REF} - V_{LSB} = V_{LSB}(2^n - 1)$$

Pe baza acestor notații, relația de conversie se poate scrie și sub forma tabelului:

$V(N)$	N_{BN} (n biți)
$[0, V_{LSB})$	000...00
$[V_{LSB}, 2V_{LSB})$	000...01
$[2V_{LSB}, 3V_{LSB})$	000...10
...	...
$[V_{REF} - 2V_{LSB}, V_{REF} - V_{LSB})$	111...10
$[V_{REF} - V_{LSB}, \infty)$	111...11

Tabel 1 – caracteristica cu trunchiere

$V(N)$	N_{BN} (n biți)
$[0, 1/2V_{LSB})$	000...00
$[1/2V_{LSB}, 3/2V_{LSB})$	000...01
$[3/2V_{LSB}, 5/2V_{LSB})$	000...10
...	...
$[V_{REF} - 5/2V_{LSB}, V_{REF} - 3/2V_{LSB})$	111...10
$[V_{REF} - 3/2V_{LSB}, \infty)$	111...11

Tabel 2 – caracteristica cu rotunjire

Tabelul 1 corespunde unei relații de conversie *cu trunchiere*. Uzual se folosește o relație de conversie *cu rotunjire*, ca în tabelul 2, în care toate valorile sînt translatare cu $V_{LSB}/2$ în jos: de exemplu combinația 000...01 apare între $V_{LSB}/2$ și $V_{LSB} + V_{LSB}/2 = 3V_{LSB}/2$, etc. Multiplii de V_{LSB} se vor afla în centrul treptelor și nu la marginea lor. Convertorul ADC0804 folosit are o caracteristică cu rotunjire.

Obs: Valoarea maximă ∞ din tabel nu poate, de fapt, depăși valoarea maximă specificată în *datasheet*-ul convertorului, în caz contrar acesta se poate defecta.

b) Caracteristica statică și erorile globale

Caracteristica ideală a unui CAN este prezentată “punctat” în figura 1 (caracteristica CNA se obține prin inversarea axelor).

Erorile ce caracterizează o caracteristică de conversie reală față de una ideală sînt:

- eroare de zero: caracteristica de conversie nu trece prin origine (figura 1.a);

- eroare de factor de scară: caracteristica de conversie nu trece prin capul de scară, după corectarea erorii de zero (figura 1.b);

- erori de neliniaritate (figura 1.c), erori ce rămîn după corectarea celor două anterioare:

- eroarea de neliniaritate integrală: diferența maximă dintre tensiunea teoretică de intrare asociată unui număr de la ieșirea CAN (conform modelului matematic) și cea obținută în urma măsurătorilor;

- eroarea de neliniaritate diferențială: diferența maximă dintre rezoluția teoretică a CAN-ului (conform modelului matematic) și rezoluțiile măsurate pentru fiecare număr. ($\delta V_{\text{teoretic}} - \delta V_{\text{practic}}$).

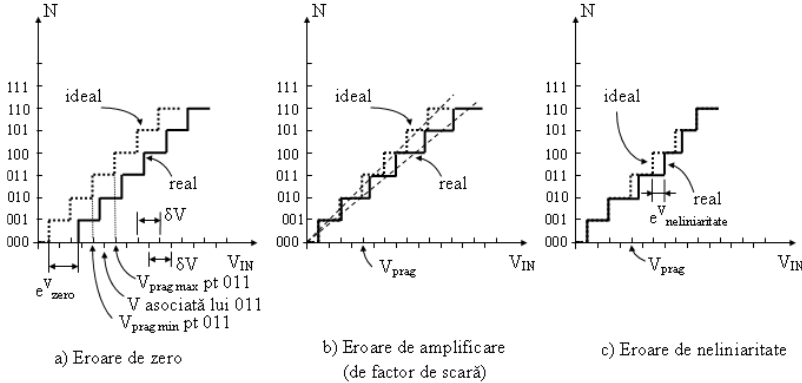


Figura 1 Principalele erori ale CAN-urilor

c) Funcționarea CNA de tip R-2R

CNA cu rețea rezistivă R-2R este cel mai uzual CNA.

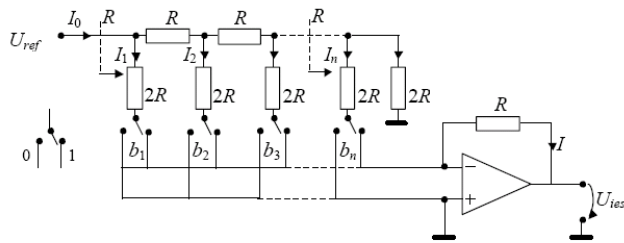


Figura 2 CNA R-2R

Se observă că din orice punct am privi rețeaua înspre dreapta, rezistența echivalentă văzută în acel punct este R (vezi săgețile desenate cu linie punctată). Așadar curenții se vor înjumătăți succesiv:

$$I_1 = I_0/2, I_2 = I_1/2 = I_0/4, \dots, I_i = I_0/2^i$$

Biții b_i sînt figurați sub forma comutatoarelor care conduc curenții I_i spre nodul de însumare (intrarea (-) a AO) cînd sînt pe "1". Se obține aceeași relație de conversie (1).

d) Funcționarea CAN cu aproximații succesive (AS)

CAN cu AS este cel mai folosit CAN de viteză medie. Schema bloc a acestui convertor este prezentată în figura 3.

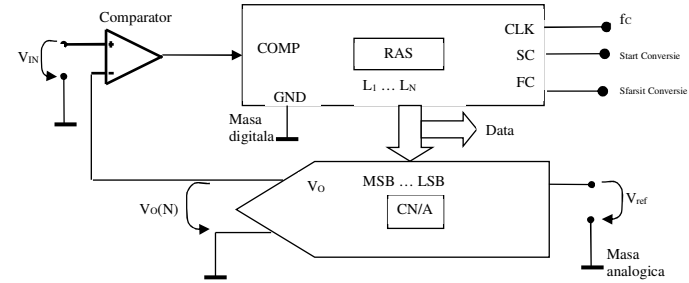


Figura 3 CAN cu AS

- începutul unui ciclu de conversie este comandat prin semnalul logic "start conversie" SC = 1 și este semnalat prin semnalul "final conversie" FC=1; conectarea FC la SC duce la succederea continuă a ciclurilor de conversie, unul după altul.

- un ciclu de conversie pentru n biți și un ceas $T_{CK} = 1/f_{CK}$ durează:

$$T_{\text{CONVERSIE}} = n \cdot T_{CK} \tag{2}$$

În fiecare perioadă de ceas se compară tensiunea de intrare V_{IN} (care se dorește a fi convertită într-un număr binar), cu cea furnizată de CNA în acel moment. Existența unui CNA în structura CAN face ca acest CAN să fie numit "cu reacție". Tensiunea furnizată de CNA, notată cu $V_o(N)$, are valoarea dată de relația (1).

RAS funcționează secvențial cu o frecvență de ceas fixă f_{CK} , producînd numerele N conform algoritmului aproximațiilor succesive, care este prezentat în continuare pentru cazul particular $n=8$ biți.

Algoritmul aproximațiilor succesive

• PAS 1:

După comanda SC = "1", sincron cu primul front crescător al impulsului de ceas, RAS generează la ieșire numărul binar de test:

$$N_1 = 1000\ 0000$$

Corespunzător acestuia apare la ieșirea CNA-ului tensiunea:

$$V_o(N_1) = V_{REF} \sum_{i=1}^8 b_i 2^{-i} = \frac{V_{REF}}{2}$$

Rezultatul comparației tensiunilor V_{IN} și $V_o(N_1)$ este semnalul logic COMP de la ieșirea comparatorului:

$$COMP = c_1 = \begin{cases} 0, & \text{daca } V_o(N_1) > V_{IN} \\ 1, & \text{daca } V_o(N_1) \leq V_{IN} \end{cases}$$

La următorul front crescător al semnalului de ceas este memorată valoarea logică a acestei comparații (c_1) în poziția bitului b_1 urmînd ca această locație din RAS să nu mai fie modificată în timpul acestui ciclu de conversie (valoarea de test „1” este înlocuită cu valoarea finală c_1).

Decizia bitului b_1 poate fi văzută ca determinarea faptului că tensiunea V_{IN} aparține intervalului $\left[0, \frac{V_{REF}}{2}\right)$ sau intervalului $\left[\frac{V_{REF}}{2}, V_{REF}\right)$.

- **PAS 2**

Simultan cu acest nou front al semnalului de ceas este setat următorul bit, mai puțin semnificativ, la valoarea de test $b_2 = "1"$, astfel încît numărul de la ieșirea RAS-ului este:

$$N_2 = c_1 100\ 0000$$

care produce la ieșirea CNA-ului tensiunea continuă corespunzătoare

$$V_0(N_2) = V_{REF} \sum_{i=1}^8 b_i 2^{-i} = V_{REF} (c_1 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2})$$

Rezultatul comparației tensiunii V_{IN} cu tensiunea $V_0(N_2)$, în al doilea pas al iterației algoritmului, este

$$COMP = c_2 = \begin{cases} 0, & \text{daca } V_0(N_2) > V_{IN} \\ 1, & \text{daca } V_0(N_2) \leq V_{IN} \end{cases}$$

care este memorat în poziția bitului (b_2).

- **PAS 3**

Este testat următorul bit $b_3 = "1"$, următorul număr de la ieșirea RAS va fi

$$N_3 = c_1 c_2 10\ 0000$$

(indicele numărului N semnifică în același timp pasul de aproximare și indexul bitului ce urmează a fi “decis”) și se procedează ca în pașii anteriori.

Se continuă pînă la stabilirea ultimului bit, cel mai puțin semnificativ. Pe măsură ce crește numărul de biți, se realizează din ce în ce mai bine aproximarea

$$V_0(N) \approx V_{IN}.$$

Eroarea de cuantizare care rezultă în urma parcurgerii acestui algoritm are valoarea maximă:

$$e_q = \delta V = \pm \frac{1}{2} V_{LSB} = \pm 2^{-(n+1)} \cdot V_{REF}$$

Algoritmul aproximării succesive se consideră încheiat în momentul în care este decisă valoarea bitului cel mai puțin semnificativ LSB; în acest moment rezultatul se găsește memorat în RAS și este setat semnalul FC.

e) Eroarea de cuantizare; zgomotul de cuantizare; raportul semnal-zgomot

În general eroarea de cuantizare a unui CAN este diferența dintre U_x și tensiunea dată de numărul rezultat $V(N_x)$:

$$e_c = U_x - V(N_x)$$

Această eroare poate fi privită ca o variabilă aleatoare – un zgomot de cuantizare care are varianța:

$$\sigma_c^2 = q^2/12$$

unde q este cuanta: $q = V_{LSB}$. Tensiunea efectivă (RMS) corespunzătoare acestui zgomot este:

$$U_{zg\ RMS} = q/\sqrt{12} \quad (3)$$

Iar RSZ_q (datorat exclusiv cuantizării):

$$RSZ_q \text{ [dB]} = SINAD \text{ [dB]} = 20 \lg (U_{ef\ semnal} / U_{ef\ zg_cuantizare})$$

Legătura dintre RSZ_c (cuantizare) și nr de biți este:

$$n = \log_4 2/3 + \log_4 RSZ_c^2$$

Trecînd RSZ în dB și înlocuind se obține:

$$n = (RSZ_c \text{ [dB]} - 1.75) / 6.02 \quad (4)$$

Raportul semnal-zgomot RSZ (*engl. SINAD: Signal to Noise and Distorsion*), care include efectul tuturor surselor de zgomot, inclusiv zgomotul analogic, cel de cuantizare și distorsiunile armonice, se definește ca:

$$RSZ_{tot} \text{ [dB]} = SINAD \text{ [dB]} = 20 \lg (U_{ef\ semnal} / U_{ef\ zg + armonici})$$

Desfășurarea lucrării

Notă: veniți cu calculator științific la laborator!

A. Studiul CAN în regim static

Se va folosi CAN din figura 3, realizat pe baza circuitului integrat ADC0804 (CAN integrat de tip AS), ca în schema din figura 4. Diodele D8, D9 și rezistența R sînt pentru protecția intrării. De asemenea, R și C2 formează un FTJ care elimină perturbațiile de înaltă frecvență. Grupul R8, C1 stabilește frecvența de oscilație a oscilatorului intern. Tensiunea de alimentare de 5V se obține folosind stabilizatorul cu 3 terminale LM7805.

Atenție! Înainte de a alimenta montajul, se verifică cu ajutorul voltmetrului polaritatea tensiunii pe cele 2 fire de alimentare. Din sursă se ia o tensiune de circa 9V (6V este insuficient pentru ca 7805 să scoată 5V la ieșire). Se verifică faptul că borna (+) a sursei de alimentare este conectată la borna roșie a plăcii și aceasta la pinul 1 (de intrare) al stabilizatorului cu 3 terminale. Se verifică apoi cu voltmetrul că pe pinul 3 (de ieșire) a stabilizatorului, conectat la rîndul orizontal superior de găuri, avem o tensiune $V_{cc} = 5V$. Se urmărește corespondența schemei cu montajul de pe placa de test.

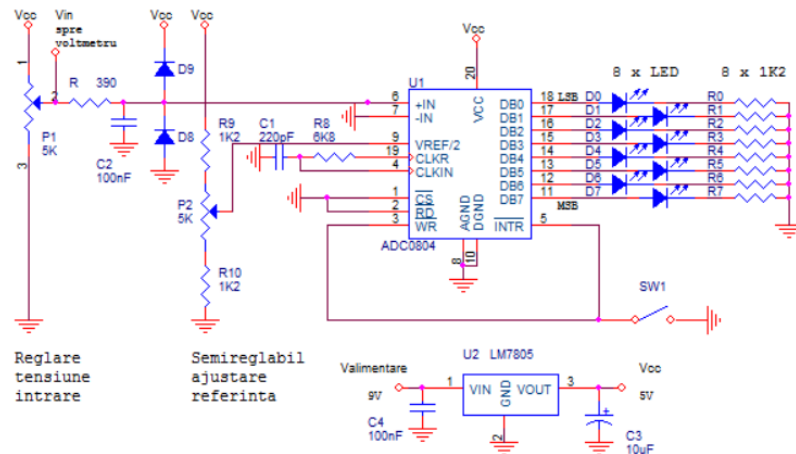


Figura 4 Schema CAN de pe machetă

Se verifică următoarele:

- nu confundați $V_{\text{alimentare}}$ (9V) cu V_{cc} (5V), riscați să ardeți cipul !
- toții biți (pini 11-18) să fie conectați prin intermediul firelor la cele 8 LED-uri corespunzătoare. Dacă 4 biți sînt conectați la cele 4 rezistențe ale CNA R-2R (care nu se folosește la acest punct), se desfac și se refac conexiunile corect. Atenție la ordinea corectă a firelor ! LSB corespunde lui DB0 (pinul 18) și LED-ului cel mai din dreapta !
 - rezistența de 390 ohm de la intrarea CAN (pin 6) să fie legată prin firul albastru la pinul 2 (cursorul) al potențiometrului multitură P1
 - în scopul măsurării $V(N)$, cursorul potențiometrului să fie conectat și la borna verde a plăcii de test (V_{IN}), unde să fie cuplat voltmetrul numeric de c.c.
 - bornele 3 (*Write*) și 5 (*Interrupt*) au funcții echivalente cu SC (Start Conversie), respectiv FC (Final Conversie) și trebuie legate împreună pentru conversie continuă. Dacă conversia nu pornește (nu se întîmplă nimic cu LED-urile cînd se rotește P1), ele trebuie **conectate pentru scurt timp la masă** printr-un fir (echivalent cu switch-ul SW1 de pe schemă, care nu este montat pe placă), după care firul se îndepărtează – **echivalentul aplicării unui impuls de start**. De obicei însă, este suficient să se desfacă și să se refacă alimentarea plăcii pentru a porni.
 - Cele 2 mase ale circuitului (analogică – AGND pentru partea de intrare și digitală – DGND pentru ceas, ieșirile DB0-DB7 și LED-uri) sînt separate pe placă: masa analogică este pe rîndul de sus, iar cea digitală pe rîndul de jos. Ele sînt unite într-un singur punct, cît mai aproape de sursa de alimentare (în extrema sîngă a plăcii).

1. Vizualizarea funcționării CAN

Se vizualizează oscilatorul de ceas al CAN conectînd osciloscopul la pinul 19; se citește frecvența f_0 indicată de osciloscop (C_1 și R_8 pot diferi între mese, față de valorile din fig. 4). Se calculează frecvența internă f_{CK} care este de 8 ori mai mică (această valoare este o particularitate a circuitului ADC0804 și se ia ca atare; alte circuite pot diviza ceasul în alt mod). Se calculează timpul de conversie $T_{\text{conv}0}$ al CAN pe baza relației (2).

Se măsoară timpul de conversie al CAN, $T_{\text{conv_mas}}$, adică durata între două impulsuri negative ale SC (pinul 3 al ADC0804).

Calculați numărul teoretic de conversii pe secundă $1/T_{\text{conv_mas}} = f_s$ mas . Aceasta are dimensiunea în Hz dar se notează uzual în Sa/s (eșantioane pe secundă, care, dimensional, este același lucru). Comparați cu f_s în Sa/s scris pe panoul frontal al osciloscopului; ce tip de CAN folosește osciloscopul ?

Calculați care este frecvența maximă a unui semnal sinusoidal $f_{\text{sin max 1}}$ ale cărui eșantioane pot fi convertite cu acest CAN.

2. Calibrarea CAN

- Conectați voltmetrul de c.c. pe pinul 9 unde trebuie să se afle valoarea $V_{\text{REF}/2}$
- Reglați fin P₂ pînă la obținerea acestei valori
Pe baza valorii V_{REF} și $n=8b$ calculați valorile V_{LSB} și V_{CS} .

3. Determinarea caracteristicii statice de conversie a CAN și a erorilor acesteia

Se aplică tensiuni de intrare V_{IN} alese astfel încît să se măsoare *tranzițiile de cod principale*, pentru care se schimbă toți biții codului binar, de la un rang în jos. De exemplu tranziția de mai jos este o tranziție principală:

$$0001\ 1111 \rightarrow 0010\ 0000$$

Pentru aceasta se măsoară, folosind indicația celor 8 LED-uri de pe machetă și voltmetrul electronic, tensiunile $V_{\text{IN}}(N)$ care prin conversie produc tranzițiile respective (în sens *crescător*); de exemplu pentru numărul 0010 0000:

- pornind de la o tensiune mai mică, se crește tensiunea de intrare pînă cînd se aprinde pe LED-uri această combinație și se citește $V_{\text{IN}}(N)$ corespunzătoare
- se calculează și valoarea teoretică $V_0(N)$:

$$V_0(N) = NV_{\text{LSB}} - V_{\text{LSB}}/2$$

unde al doilea termen este din cauza caracteristicii cu rotunjire. Folosind aceste rezultate se determină maximul erorii de neliniaritate (integrală).

Se calculează și măsoară și tensiunea corespunzătoare tranziției 254→255 (V_{CS} , toate LED-urile aprinse).

B. Studiul CAN+CNA în regim dinamic (V_{in} variabilă)

Se va crea un lanț de conversie format din: generator, CAN, CNA și osciloscop (fig. 5). În locul tensiunii continue date de P1 (*regim static*), se va folosi un semnal sinusoidal de la generator, cu frecvența de 30Hz (*regim dinamic*), care va fi transformat în semnal digital de către CAN și apoi din nou în analogic de către CNA. Pentru simplitate, se va folosi un CNA de doar 4 biți, conectat la cei 4 biți *mai semnificativi* ai CAN existent, deci de rezoluție în tensiune mai mare (mai proastă) decât pînă acum.

Se modifică montajul astfel:

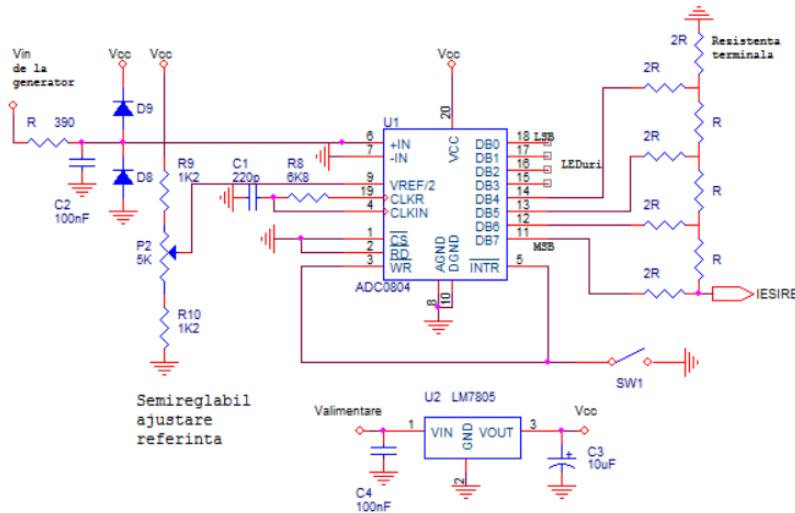


Figura 5 Conectarea intrării CAN la generator și a ieșirii (doar 4 biți) la intrarea CNA R-2R

- *Nu vom aplica simultan tensiunea alternativă de la generator și tensiunea continuă de la P1 !* așadar, *se scoate* firul care leagă cursorul potențiometrului P1 de borna de intrare a CAN (terminalul rezistenței de 390ohm cu celălalt terminal la pinul 6). Se deconectează voltmetrul de la placa de test (borna verde, legată printr-un fir la rezistența de 390 ohm); momentan generatorul rămîne neconectat, pînă cînd nivelul său va fi reglat corect.

- se identifică pe placă rezistențele R și 2R de pe schemă, precum și rezistența terminală.

- cei mai semnificativi 4 biți (pinii 11-14, 11 fiind MSB) se deconectează de la LED-uri și se conectează la intrările unui CNA R-2R, folosind firele albe, ca în schema din figura 6.

Se verifică faptul că MSB este cel mai departe de rezistența terminală 2R dinspre masă (desenată în dreapta sus pe schema din fig. 6). **Atenție!** Pinii 15-18 rămîn conectați la LED-uri.

Se aplică semnalul de intrare variabil astfel:

- se conectează generatorul de semnal sinusoidal de frecvență $f=30\text{Hz}$ direct la osciloscopul setat pe $C_y=1\text{V/div}$. Pentru ușurință se aduce nivelul de 0 al osciloscopului la centrul ecranului.

- Se dorește generarea unui semnal cu valorile vîrf la vîrf între limitele $[0 \dots V_{CS}]$.

Calculați *noul* V_{CS} și V_{LSB} pentru $V_{REF}=4.096$ și $n=4b$ în loc de 8 !

- La generator se reglează amplitudinea vîrf-vîrf de ieșire la valoarea $V_{CS}=V_{REF}-V_{LSB}$ [V_{VV}] calculată mai sus, și offsetul la jumătate din această valoare; aceasta asigură că semnalul are numai valori pozitive - să NU coboare sub nivelul de 0V de pe osciloscop (CAN unipolar). Trebuie să obțineți un semnal *care se încadrează complet în gama dinamică a CAN pe 4 biți* ca în fig. 6, în caz contrar nu se va obține rezultatul așteptat în continuare.

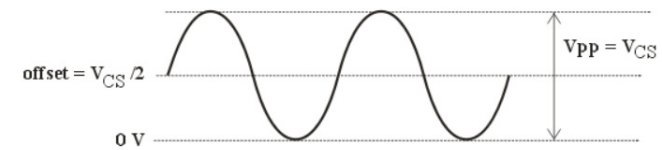


Figura 6 Semnalul de intrare pentru lanțul CAN-CNA

4. Vizualizarea formei de undă de la ieșirea CNA

Se conectează generatorul de semnal sinusoidal, reglat ca în prealabil, la intrarea în CAN (borna verde legată la rez. de 390R - intrarea va arăta ca în fig. 5).

Se conectează osciloscopul pe borna IEȘIRE din CNA, de pe fig. 5 (rezistența 2R cea mai departe de rezistența terminală de la masă). Se va vedea un semnal sinusoidal aproximativ prin $2^4=16$ nivele de tensiune, de valoare vîrf la vîrf notată $V_{CS\ CNA}$, care se măsoară folosind cursorii. **OBS:** dacă semnalul de intrare nu arată exact ca în fig. 6, nici semnalul de ieșire nu va avea 16 trepte!

Observație: dacă nu se observă nici o formă de undă, e posibil ca CAN-ul să nu fi „pornit”; în acest caz, fie se întrerupe și se reface alimentarea, fie se aplică **un impuls de start** ca la pct. A (conexiune **temporară** între pinii 3 sau 5 și masă)

De ce valoarea maximă vîrf-vîrf de la ieșirea CNA diferă de valoarea maximă vîrf-vîrf de la intrarea CAN ? Indicație: verificați schema CNA.

Se reglează **VERTICAL POSITION** pentru a plasa simetric imaginea pe ecran. Se alege C_x pentru a vedea circa 1 perioadă pe ecran. Se apasă butonul **RUN/STOP** al osciloscopului pentru a trece în modul **STOP** și se numără treptele. Dacă sînt mai puține de 16 sau semnalul este vizibil limitat sau distorsionat, se revine în modul **RUN** și se reglează *foarte fin* amplitudinea și offsetul de la generator pînă cînd avem exact 16 valori cuantizate și imaginea seamănă cel mai bine cu o sinusoidă simetrică, formată din trepte. Cele 2 reglaje se fac alternativ, eventual de mai multe ori. Se desenează imaginea obținută.

Observație: în cazul în care se dereglează prea mult valoarea amplitudinii și a offsetului, imaginea nu se mai poate ajusta observînd forma de undă de la ieșire, aceasta fiind prea distorsionată; va trebui conectat din nou osciloscopul la intrare și refăcut reglajul ca la punctul precedent.

Pentru CNA de 4 biți cu $V_{REF\ CNA}=5V$ se calculează valorile teoretice cuantizate pentru numerele: 0 (V_0), 1 (V_{LSB}), 2, 4, 8 (V_{MSB}) și 15 (V_{CS}).

Trecînd în modul **STOP** se măsoară, folosind cursorii de tensiune, valorile acestor trepte. Pentru a putea măsura cu precizie, se modifică C_y la 0.1V/div (efect de zoom x10 pe verticală) și se schimbă de mai multe ori funcția lui **VERTICAL POSITION** (se alternează între reglajul poziției pe Y și poziția cursorului, apăsînd succesiv **CHI Menu** și **Cursor**) pentru a ne putea deplasa pe treptele dorite. Se calculează și se compară valorile teoretice cu cele măsurate. Enumerați cîteva surse de eroare.

Explicați de ce s-a cerut măsurarea treptelor 0,1,2,4,8,15 și nu a altora.

5. Verificarea vitezei de urmărire a lanțului CAN-CNA

Se revine în modul **RUN** și $C_y=1V/div$, verificînd că avem 16 valori cuantizate pe verticala ecranului.

Se crește frecvența semnalului la 1000Hz. Observați că acum o perioadă a sinusoidii este aproximată doar din cîteva eșantioane (trepte). Cît este acest număr N_{trepte} ? În modul **STOP**, folosind cursorii de timp, măsurați lățimea unei trepte $T_{treapta}$. Desenați imaginea. Comparați $T_{conv\ mas}$ cu $T_{treapta}$. Explicați legătura dintre ele. *Obs:* (în continuare, la calculul timpului de funcționare, $n=8b$, chiar dacă noi folosim doar 4b, convertorul nu „știe” acest lucru!)

Explicați de ce la frecvență mai mare a scăzut numărul de trepte.

6. Efectul numărului de biți asupra zgomotului de cuantizare

a) La generator reveniți la frecvența de 30Hz, pentru a avea din nou 16 trepte. Conectați osciloscopul la *intrarea în CAN* (semnalul sinusoidal de amplitudine ca în fig. 6) și afișați cîteva perioade pe ecran, asigurîndu-ne că imaginea nu depășește marginea de sus/jos a ecranului. Treceți osciloscopul în modul FFT (**Math Menu-> Operation FFT**). Setati $C_x=50Hz/div$, 10dB/div.

Observație: osciloscopul nu poate calcula FFT-ul corect dacă imaginea în modul timp nu conține suficiente perioade și nu este încadrată corect pe verticală

(depășește ecranul). Osciloscopul nu este un analizor de spectru, calculul FFT făcîndu-se pe imaginea afișată în timp!

Osciloscopul în modul FFT afișează valori efective, în dB ($0dB = 1V_{ef}$).

Folosind cursorii (**Cursor->Source Math->Type Magnitude**) se măsoară valoarea componentei fundamentale în dB, $U_{ef\ m\ as}$, precum și valoarea efectivă maximă a zgomotului analogic, $U_{ef\ zg}$ (cursorul se va plasa cu aproximație în partea superioară a „benzii” de zgomot).

Cu ajutorul cursorilor de frecvență se măsoară frecvența fundamentalei (**Type -> Frequency**).

Se calculează raportul semnal-zgomot pe baza valorilor din FFT:

$$RSZ_{FFT} = U_{ef\ m\ as} / U_{ef\ zg} = U_{ef\ m\ as} [dB] - U_{ef\ zg} [dB]$$

Se măsoară cu distorsiometrul (în paralel pe osciloscop) factorul THD și de aici se obține SINAD: $SINAD[dB] = -THD[dB]$ pentru acest semnal de intrare; se compară cu RSZ_{FFT} [dB].

b) Se mută osciloscopul și distorsiometrul la ieșirea CNA, se vizualizează în modul timp semnalul din 16 trepte (se ajustează fin generatorul dacă nu sînt exact 16 trepte sau semnalul nu e simetric). Se trece din nou în modul FFT cu $C_x=50Hz/div$, 10dB/div. Folosind cursorii se măsoară amplitudinea componentei fundamentale în dB, și valoarea efectivă maximă ale componentelor spectrale ale zgomotului, care acum este zgomot total (de cuantizare și analogic).

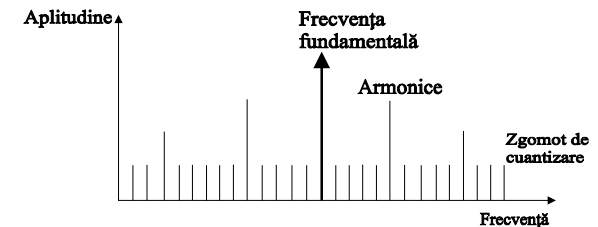


Figura 7 Spectrul semnalului de la ieșirea lanțului CAN-CNA

Se calculează în dB noul raport RSZ_{FFT} . Se măsoară SINAD în dB cu distorsiometrul ($-THD_{dB}$) și se compară.

Se calculează, pe baza $V_{LSB\ CNA}$, valoarea tensiunii efective a zgomotului de cuantizare $U_{zg\ RMS\ calc}$ - vezi formula (3). Se convertește rezultatul în dB și se compară cu zgomotul măsurat (aproximativ) pe ecran.

Se calculează RSZ_c [dB] din formula (4), pt $n=4b$. Se compară valoarea calculată cu SINAD măsurat (atenție că RSZ_c nu ține seama de zgomotul analogic).

Se deconectează sonda osciloscopului de la ieșirea CNA, se face scurt-circuit între crocodilii cablului osciloscopului, și se măsoară cu ajutorul cursorilor (**Cursor->Source Math->Type Magnitude**) valoarea efectivă a zgomotului analogic, $U_{ef\ zg\ analogic}$, având ca sursă etajul de intrare în osciloscop și tensiunile perturbatoare induse în cablu.

Cum interpretați această din urmă valoare în contextul calculelor precedente?

c) Se trece la un CNA de 3 biți. Pentru aceasta, se conectează la masă firul LSB al CNA-ului pe 4 biți, în loc să mai fie conectat la pinul 14 al ADC0804 (DB4) din fig 5.

Ce se constată trecând de la 4 la 3 biți? Explicați.

Se verifică nr. de trepte pe osciloscop, pt. 3 biți (fără a desena).

Se reiau măsurătorile din tabel pt. 3 biți (atenție la noul V_{LSB} !)

Observație:

La finalul lucrării, se aduce macheta în starea inițială: se conectează din nou toate cele 8 LED-uri la CAN, se reface conexiunea intrării CAN la cursorul P1, ca la punctul 1 (figura 4).

Întrebări pregătitoare pentru laborator:

- a) Fie un CAN cu aproximații succesive de 8 biți, $V_{REF} = 10.24V$. Să se calculeze V_{LSB} , V_{MSB} , V_{CS} și rezoluția.
- b) Aplicând algoritmul AS, să se determine numărul de la ieșire pentru $U_{IN} = 7V$, cazul cu trunchiere
- c) repetați b) pentru cazul cu rotunjire.
2. Ce tensiune se obține la ieșirea unui CNA de 8b, $V_{REF}=10V$, pentru numărul de la intrare $N=5DH$? Fără a repeta calculul, cât este tensiunea pentru $N'=5EH$?
3. Explicați diferența dintre un CAN unipolar și unul bipolar. Cât este gama dinamică a tensiunii de intrare pentru fiecare dintre ele (în funcție de V_{REF}) Ce tip de CAN este cel din schema studiată?
4. Care este valoarea erorii de cuantizare, în cazul folosirii unui CNA de 12 biți, ce are o tensiune de referință $V_{REF} = 10,24V$?
5. Care sînt cauzele de erori ale CNA cu rețea rezistivă R-2R ?
6. Ce sînt tranzițiile principale și de ce sînt importante la măsurarea unui CAN/CNA?
7. Cît trebuie să fie timpul de conversie al unui lanț CAN-CNA pentru a afișa corect forma de undă de la punctul 4 din desfășurarea lucrării (16 trepte pentru un semnal sinusoidal de 1000Hz)?
8. Cît trebuie să fie frecvența minimă de eșantionare a unui CAN cu AS pe 8 biți pentru ca acesta să poată fi utilizat la cuantizarea unui semnal vocal pentru transmisia telefonică (semnalul se consideră că are $f_{max}= 3,4kHz$).
9. Ce reprezintă eroarea de offset pentru CNA unipolar?

10. Un CNA bipolar cu $V_{REF}=10,24V$ are un timp de conversie de $2\mu s$. Determinați frecvența maximă a unui semnal sinusoidal care poate fi reconstituit din eșantioanele de la ieșirea acestui CNA.

11. a) Fie un CAN bipolar ($b_1=1$ pentru tensiuni pozitive) cu aproximații succesive de 8 biți, $V_{REF} = 5.12V$. Să se calculeze V_{LSB} , V_{MSB} , V_{CS} și rezoluția.

b) Aplicînd algoritmul AS, să se determine numărul de la ieșire pentru $U_{IN} = -1,312V$, cazul cu trunchiere

c) repetați (b) pentru cazul cu rotunjire.

12. Un CAN bipolar cu AS pe 8 biți are timpul de decizie pentru un bit (T_{ck}) de $0,2\mu s$. Dacă $V_{REF}=5,12V$, determinați frecvența maximă a unui semnal triunghiular simetric (fără componentă continuă),cu amplitudinea $1.28V$ astfel încât două eșantioane succesive, după conversia ADC să difere cu maxim un bit LSB.

13. Un CAN bipolar pe 8 biți cu timpul de conversie de $50ns$, are $V_{REF}=5,12V$, determinați amplitudinea maximă a unui semnal sinusoidal simetric (fără componentă continuă) cu frecvența $f_{sgn} = 500kHz$, ale cărui eșantioane succesive sunt convertite în numere binare care diferă cu maxim 1 LSB .

14. Căutați pe Internet și studiați *datasheet*-ul circuitului ADC0804.