

Funcții și parametri specifici osciloscopelor digitale

Scop: Familiarizarea cu funcțiile specifice unui osciloscop digital, efectele eșantionării asupra măsurătorilor, alierea, modurile de afișare *Main/Window* (baza dublă de timp)

Breviar teoretic

Osciloscopul digital lucrează cu semnalul eșantionat, ceea ce permite adăugarea de funcții specifice unui sistem digital: memorare, prelucrări numerice asupra eșantioanelor achiziționate, dar cu dezavantajul posibilității apariției unor probleme specifice eșantionării (subeșantionare, aliere spectrală).

Osciloscopul Tektronix TDS 1001 poate să lucreze cu o frecvență de eșantionare *maximă* de 1G eșantioane/secundă ($F_{smax} = 1\text{Ghz} = 1\text{Gsa/s}$ sau 1GS/s). Într-un ciclu de achiziție (intervalului de timp cât durează afișarea pe ecran) osciloscopul achiziționează $N_s = 2500$ eșantioane. Afișajul osciloscopului are 320 puncte pe orizontală, dintre care pentru zona corespunzătoare graticulei ecranului sunt folosite 250 puncte. În consecință imaginea afișată pe ecran va fi formată din 250 puncte din 2500. Rezultă că detalierea imaginii (*zoom*) va fi posibilă cu un factor de maxim 10x fără interpolare.

Notînd cu T_s intervalul de timp dintre două puncte (eșantioane) achiziționate și cu $N_x = 10$, numărul de diviziuni ale graticulei pe orizontală, pentru o imagine reprezentată pe ecran trebuie respectată relația:

$$N_x \cdot C_x = N_s \cdot T_s \quad (1)$$

Relația (1) provine din egalarea timpului unei curse directe de afișare $t_d = N_x C_x$ cu durata porțiunii de semnal afișată pe ecran, care este reprezentată de numărul de eșantioane N_s , înmulțit cu distanța dintre două eșantioane, T_s , adică $t_{sgn_afișat} = N_s T_s$.

Deoarece numărul de eșantioane N_s achiziționate este limitat la dimensiunea memoriei, rezultă că osciloscopul trebuie să-și modifice f_s la modificarea coeficientului C_x , conform ecuațiilor (2) și (3).

$$T_s = \frac{N_x C_x}{N_s} \quad (2)$$

$$F_s = \frac{N_s}{N_x C_x} \quad (3)$$

Frecvenței maxime de eșantionare, $F_{smax} = 1\text{Gsa/s}$, îi corespunde o perioadă de eșantionare $T_{smin} = 1\text{ns}$. Conform (1) se obține în un coeficient de deflexie C_{xmin}

$$C_{xmin} = \frac{N_s T_s}{N_x} = 250\text{ns/div} \quad (4)$$

Pentru coeficienți de deflexie $C_x < C_{xmin}$ ar rezulta din ecuația (1) o perioadă de eșantionare mai mică decât T_{smin} , adică o frecvență de eșantionare mai mare decât F_{smax} și cum acest lucru nu este posibil, osciloscopul va lucra în acest caz cu frecvența F_{smax} , și va micșora numărul de eșantioane achiziționate. Rezultă că ecuația (1) este valabilă doar pentru coeficienți de deflexie mai mari decât C_{xmin} , iar la $C_x < C_{xmin}$ osciloscopul va crea eșantioanele lipsă (va „umple golurile”) folosind *interpolarea*.

Moduri de achiziție pentru osciloscopul digital Tektronix TDS1001

a) **SAMPLE** –sunt afișate direct eșantioanele achiziționate la cursa curentă. Din cele 2500 de eșantioane achiziționate, în zona gradată a ecranului sunt afișate doar 250. Imaginea vizualizată este reîmprospătată după fiecare ciclu de achiziție.

b) **PEAK DETECT** – Detecție de vîrf – folosește frecvența maximă de eșantionare disponibilă, și nu cea calculată cf. relației (1); memoria de 2500 de eșantioane este folosită astfel: se memorează, pentru 1250 intervale de eșantionare, valoarea maximă și respectiv cea minimă a semnalului. Prin urmare, forma de undă va fi formată din 1250 maxime și 1250 minime. Acest mod poate fi folosit pentru afișarea impulsurilor de durată foarte scurtă, care se pot pierde în modul **SAMPLE**, atunci cînd F_s calculată cf. (1) este mică și deci T_s este mare. Imaginea vizualizată este reîmprospătată după fiecare ciclu de achiziție

c) **AVERAGE** – mediere; se efectuează medierea, pe un număr M de cicluri de achiziție, pentru fiecare din cele 2500 eșantioane ce compun imaginea. Numărul M de cicluri de mediere poate lua valorile: $M = 4, 16, 64, 128$. (**AQUIRE**->**Averages**)

RUN/STOP –Modul de lucru în care osciloscopul reia operația de achiziție a eșantioanelor la fiecare nou trigger îl vom denumi modul **RUN**. Operația de achiziție poate fi oprită prin apăsarea butonului **RUN/STOP**. În acest caz osciloscopul păstrează în memorie setul de 2500 eșantioane achiziționate înaintea apăsării butonului. Acest mod de lucru îl vom numi modul **STOP**. Comutarea între moduri se face prin apăsarea succesivă a butonului **RUN/STOP**. Modul selectat este afișat în partea de sus a ecranului (**Trig'd** sau **STOP**).

Moduri de afișare pentru osciloscopul digital Tektronix TDS1001

În modul de afișare cu **persistență** a imaginii, pe ecran sînt păstrate toate imaginile afișate într-un interval de timp selectat. Acest mod permite vizualizarea tuturor punctelor prin care trece semnalul în intervalul respectiv; deoarece se păstrează eșantioanele obținute pe parcursul mai multor cicluri de achiziție, crește foarte mult probabilitatea de a detecta și evenimente care apar mai rar sau care au o durată foarte mică.

Pentru TDS 1001 se pot selecta intervalele de persistență: 1, 2, 5 s și respectiv valoarea infinit (imaginea nu se șterge niciodată).

Efectul alierii în domeniul timp și respectiv în domeniul frecvență**• Efectul alierii în domeniul timp**

Alierea apare atunci cînd semnalul nu este eșantionat cu o frecvență suficient de mare, care să permită refacerea corectă a semnalului din eșantioanele obținute. În acest caz semnalul reconstituit va fi diferit de semnalul original. Pe osciloscop aceasta se manifestă prin afișarea unui semnal de frecvență mai mică decât cea a semnalului de la intrarea sa, și/sau prin afișarea unei imagini nesincronizate, întrucît noua frecvență (mai mică) nu mai corespunde cu frecvența triggerului, care este extras separat din semnal.

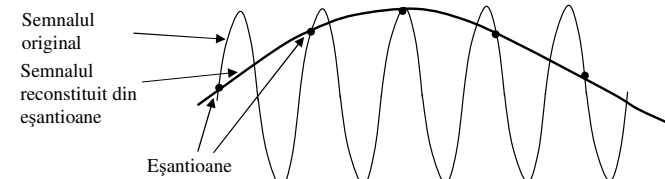


Figura 1 Fenomenul de aliere în domeniul timp

Observație 1. Posibilitatea alierii este unul din dezavantajele osciloscopului digital față de cel analogic. Totuși, alierea apare rar, și se poate detecta prin mai multe metode (vor fi detaliate în desfășurarea lucrării). La valori C_X mici (rapide), T_s e mic și f_s mare (ecuația (1)), și alierea e improbabil să apară datorită existenței frecvenței de sus (analogice) a etajelor de intrare, care filtrează semnalele pe frecvențe mai mari decât cea Nyquist.

Exemplu: la TDS1001, $f_{-3dB} = 40\text{MHz}$ și $f_{Smax} = 1\text{GSa/s}$ – deci atîta vreme cît $f_{Nyquist} > 40\text{MHz}$, adică $f_s > 80\text{MSa/s}$, etajul de intrare are rolul unui filtru antialiere.

Observație 2. La osciloscopapele digitale cu $N_s \gg 2500$ pct, riscul apariției alierii scade, căci f_s nu mai scade așa pronunțat pe măsură ce se mărește C_X .

• **Alte efecte ale alierii în domeniul timp**

○ **Măsurarea eronată a timpului de creștere folosind meniul Measure**

Osciloscopul nu poate să măsoare intervale de timp mai mici decît durata dintre două eșantioane consecutive, adică mai mici decît perioada de eșantionare cu care a achiziționat semnalul, T_s . Dacă se folosesc *Rise Time* sau *Fall Time* din meniul Measure pentru măsurarea unei durate de timp foarte mici, cum ar fi timpul de creștere sau de descreștere al unui semnal dreptunghiular, iar achiziția semnalului se face folosind o perioadă de eșantionare mai mare decît durata de timp care se dorește a fi măsurată (se lucrează cu un C_X mare), atunci valoarea intervalului de timp indicată va fi aproximativ egală cu perioada de eșantionare, ceea ce este evident eronat (Figura 2a). Se pot obține indicații de zeci-sute de ori mai mari decît valoarea corectă.

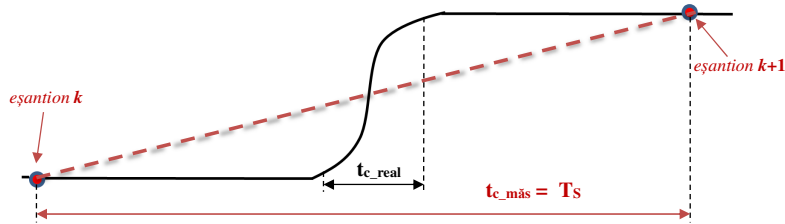


Figura 2 a – Indicație eronată a timpului de creștere dacă se folosește calculul *Rise Time* bazat doar pe 2 eșantioane $k, k+1$

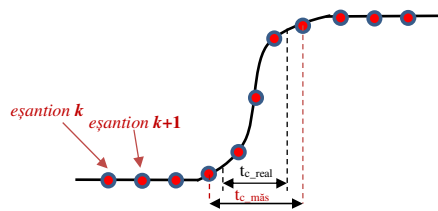


Figura 2 b – Măsurarea corectă folosind *Rise Time* (cu eroare acceptabilă)

Dacă achiziția semnalului se face cu o perioadă de eșantionare suficient de mică (mai mică decît intervalul de timp care se dorește a fi măsurat), atunci indicația intervalului de timp în modul *Measure* va fi corectă (în limita erorii datorate achiziției semnalului prin eșantionare, care se consideră a fi egală cu perioada de eșantionare) – Figura 2b.

O situație asemănătoare se întîlnește atunci cînd se salvează imaginea achiziționată cu un coeficient de deflexie pe orizontală mare, echivalent cu o frecvență de eșantionare mică conform relației (3), iar apoi se detaliază imaginea pentru a face diverse măsurători, așa cum se va putea observa în experimentul cu măsurarea timpului de creștere pe imaginea salvată – punctul 4 din desfășurarea lucrării.

• **Efectul alierii în domeniul frecvență**

Spectrul semnalului eșantionat este reprezentat de *repetarea periodică în frecvență*, cu perioada F_s , a spectrului semnalului analogic. Prin urmare, notînd F_M frecvența maximă din spectru (Figura 3, sus), spectrul din intervalul $(-F_M, F_M)$ se regăsește și în intervalul $(F_s - F_M, F_s + F_M)$, etc (Figura 3, centru și jos, dreapta). Deci pentru a evita suprapunerea (alierea) spectrelor, trebuie ca al doilea spectru (albastru, repetat) să se afle la frecvențe mai mari decît primul spectru (negru), Figura 2:

$$F_s - F_M \text{ (frecv. min din al doilea spectru)} \geq F_M \text{ (frecv. max din primul spectru)}$$

$$\rightarrow F_s \geq 2F_M$$

sau:

$$F_s/2 \geq F_M$$

Aceasta este teorema eșantionării: frecvența de eșantionare să fie mai mare sau egală decît dublul frecvenței maxime din spectrul semnalului analogic, altfel va apare fenomenul de aliere, nemaiputîndu-se realiza reconstituirea semnalului original.

Deoarece spectrul semnalului eșantionat este periodic cu perioada F_s , iar spectrul semnalelor reale este simetric față de zero, osciloscopul afișează spectrul semnalului în intervalul de la 0 (stînga ecranului) pînă la $F_s/2$ (dreapta ecranului), reprezentat cu linie punctată în Figura 3 (centru și jos):

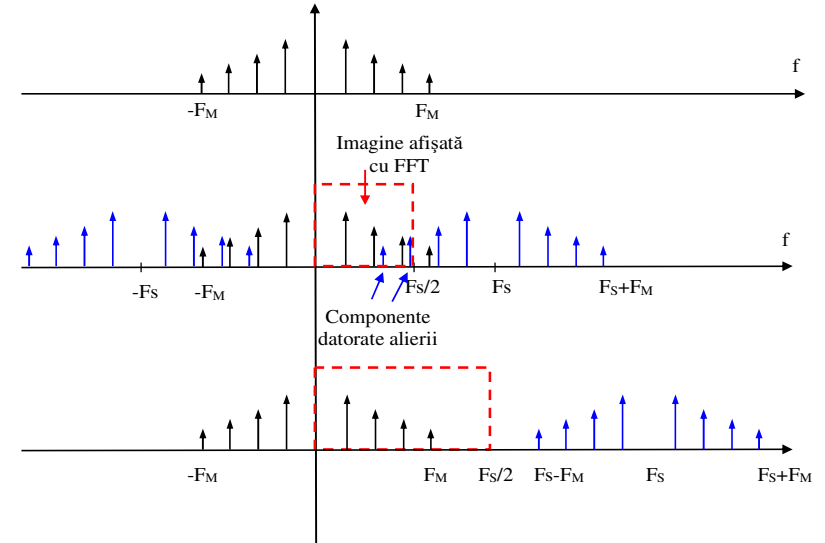


Figura 3 Efectul alierii în frecvență

- Figura 3 centru: componentele spectrale provenite din spectrul repetat (desenate cu albastru), care intră în zona cu linie punctată, se suprapun parțial și vor fi afișate și ele, deși nu fac parte din semnalul original, așadar, avem aliere.
- Figura 3 jos, nu mai avem aliere, căci spectrele nu se mai suprapun.

La vizualizarea în modul FFT a spectrului unui semnal sinusoidal care are frecvența cuprinsă în intervalul $(F_s/2, F_s)$, încălcînd condiția Nyquist, frecvența aliată are valoarea f_a :

$$f_a = F_s - f_{\text{semnal}} \quad (5)$$

Cum pe ecran, în modul FFT, se vizualizează doar intervalul de frecvențe $[0, F_s/2]$, pe ecran va fi afișată doar componenta rezultată în urma alierii pe f_a (vom avea un impuls Dirac la frecvența f_a) și nu se va vedea f_{semnal} .

Moduri de lucru cu baza dublă de timp

Baza dublă de timp (denumire preluată de la oscilosoapele analogice) permite selectarea unei zone din imaginea vizualizată cu baza de timp principală și vizualizarea separată doar a zonei selectate. Se obține astfel un efect de „lupă de timp” cu poziția reglabilă oriunde în interiorul bazei principale.

Pentru folosirea modului de lucru cu bază dublă se selectează din meniul **HORIZ MENU** cîmpul **Window Zone**. Din butonul **SEC/DIV** se poate regla coeficientului de deflexie pe orizontală pentru baza de timp secundară. Valoarea sa apare pe ecran în cîmpul **W**. Prin modificarea valorii coeficientului de deflexie se stabilește dimensiunea dorită pentru fereastra corespunzătoare bazei secundare. Prin selectarea cîmpului **Window** se trece în modul de vizualizare folosind baza de timp secundară.

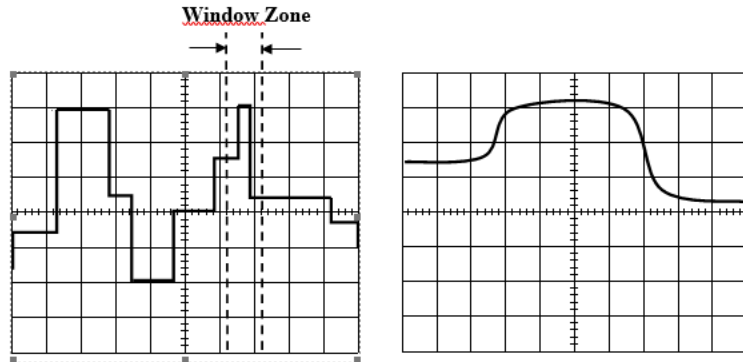


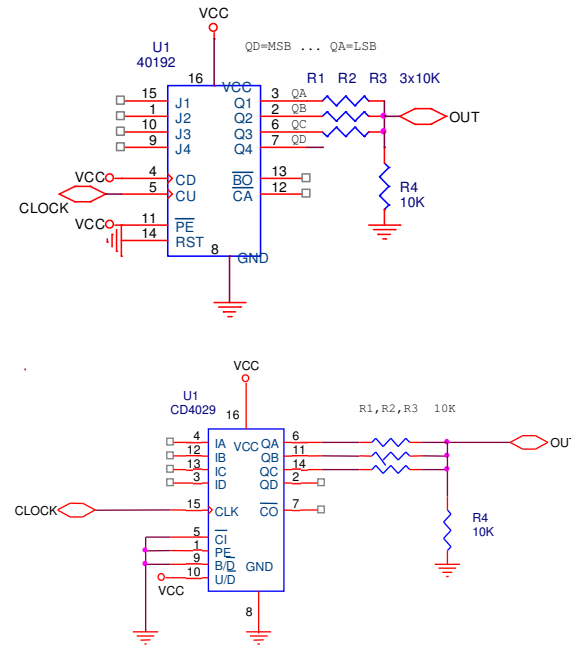
Figura 4: Ilustrarea funcționării bazei duble de timp

a. Modul Window Zone: Selecția zonei ce va fi detaliată

b. Modul Window: Vizualizarea porțiunii selectate

Studiul sincronizării

În cadrul lucrării va fi folosit un circuit digital de tip numărător pentru obținerea unor semnale de frecvențe diferite și a unui semnal multinivel. Schema este prezentată în figura 5, în 2 variante, în funcție de circuitul disponibil: CD4029 sau CD40192.



Zecimal	Binar
N	DCBA
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001

Figura 5 Variante de montaje folosite pentru generarea unei tensiuni multinivel

Circuitul integrat U1 este un numărător decadic și generează la ieșirile notate A,B,C,D un număr binar incrementat la fiecare impuls de ceas primit. Corespondența dintre numerele 0..9 (in zecimal) și biții A-D (in binar) este dată în tabel (D=MSB, A=LSB)

În mod normal pe 4 biți se pot reprezenta 16 numere (0..15) dar acest numărător se limitează explicit la 0..9 pentru anumite aplicații, cum ar fi comanda cifrelor din afișajele digitale. Codul binar limitat între 0..9 în acest mod se numește *cod BCD (binary coded decimal)*. Circuitul 4029 este în modul decadic căci $B/D^* = \text{Binary/Decimal}^* = 0$, unde prin * s-a notat semnal negat, iar circuitul 40192 funcționează doar în modul decadic.

În funcție de valorile din tabel, atunci cînd ieșirile QA, QB și QC sînt în „1” logic, fiecare ieșire produce un curent prin rezistența corespunzătoare; însumarea acestor curenți prin R4 duce la o cădere de tensiune pe aceasta, proporțională cu cîte ieșiri sunt pe „1” logic. Prin urmare, forma de undă de la borna OUT va avea 4 nivele de tensiune posibile în funcție de cîte ieșiri sunt simultan „1” (0, 1, 2 sau toate 3) – se obține deci un semnal multinivel pornind de la semnalele digitale cu 2 nivele.

În figura 6 sunt prezentate semnalele de ceas și de pe cele patru ieșiri ale numărătorului pe durata unui ciclu de numărare. Semnalele QA ...QD corespund biților A...D din tabel. Se observă că analizînd valorile semnalelor QA...QD pentru fiecare perioadă a ceasului se obține codarea binară a numerelor zecimale, conform tabelului de mai sus.

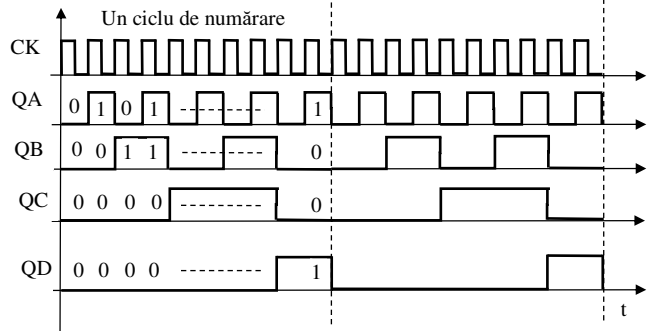


Figura 6: Ieșirile numărătorului pentru două cicluri de numărare

Reglajul HOLDOFF folosit pentru sincronizare

Semnalele digitale pot pune probleme de sincronizare osciloscopului, dacă condiția de trigger se îndeplinește de mai multe ori în intervalul vizualizat.

Timpul de reținere (*Holdoff*) reprezintă timpul de la sfârșitul afișării și pînă la acceptarea unui nou trigger. În intervalul de *Holdoff* osciloscopul ignoră eventualele impulsuri trigger valide. Se poate folosi la forme de undă mai complexe pentru a selecta un anumit moment de trigger, care asigură sincronizarea imaginii.

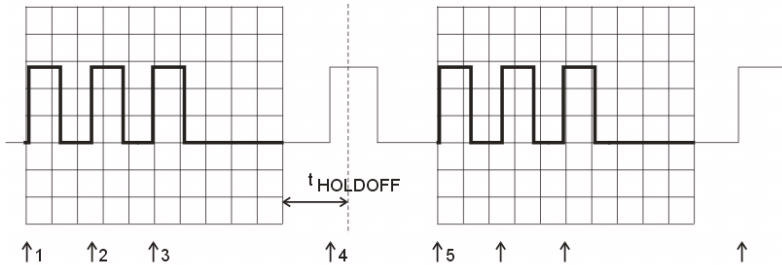


Figura 7a: Imagine sincronizată folosind și reglajul holdoff

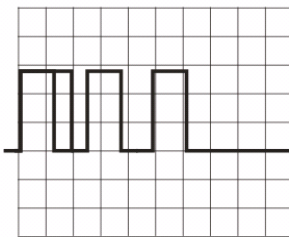


Figura 7b: Imagine nesincronizată, reglaj holdoff incorect

Exemplu: fie trenul de impulsuri din figura 7a, sincronizare pe front pozitiv, nivel mediu. Dorim să vizualizăm doar cele 3 impulsuri, nu și al 4-lea (de lungime mai mare). Timpul de *Holdoff* se alege ca în figură (de la sfârșitul imaginii pînă puțin peste momentul 4). În acest caz, impulsul 4 va fi ignorat și noua imagine va începe cu triggerul 5, fiind identică cu prima.

Dacă însă intervalul de *Holdoff* este mai mic decît intervalul de timp între finalul primei afișări și momentul impulsului 4, se obține imaginea din figura 7b, în care prima afișare începe cu impulsul 1, a doua cu impulsul 4, deci după 2 imagini succesive impulsul 4 se suprapune peste impulsul 1, ceea ce face imaginea neinteligibilă.

O altă situație care pune probleme de sincronizare apare atunci cînd sînt vizualizate două semnale de frecvențe diferite, iar sincronizarea se face după semnalul de frecvență mai mare. De exemplu, dacă vrem să vizualizăm semnalele CLOCK și oricare din semnalele QA, QB, QC sau QD, iar sincronizarea o facem după semnalul CLOCK, cel de-al doilea semnal va genera în cele mai multe cazuri o imagine nesincronizată pe ecran, fiind nevoie de reglajul timpului de *Holdoff* pentru a obține o imagine sincronizată.

În figura 8 este prezentat cazul (nedorit) în care se vizualizează semnalele CLOCK și QA, sincronizarea făcîndu-se după semnalul CLOCK pe front crescător. Se observă că momentele la care se poate produce declanșarea unei noi afișări (frontul crescător al semnalului CLOCK corespund cu frontul pozitiv sau negativ al semnalului QA. În funcție de cum este ales intervalul de *Holdoff*, imaginea pentru QA poate fi sincronizată sau nu. În Figura 8 timpul de *Holdoff* este ales astfel încît imaginea lui QA să fie nesincronizată: în primul ecran QA începe cu 0, în al doilea cu 1, obținînd rezultatul din Figura 9. Dacă timpul de *Holdoff* era ales astfel încît să invalideze doar impulsul 1 de sincronizare, declanșarea pentru cursa a doua se producea la impulsul 2, care corespunde cu momentul în care QA are frontul negativ, la fel ca la prima afișare. În acest caz s-ar fi obținut o imagine sincronizată.

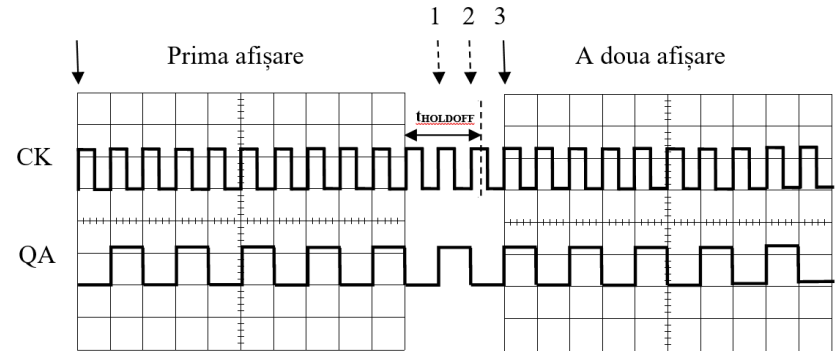


Figura 8: Primele două afișări ale semnalelor CLOCK și QA cînd sincronizarea se face după semnalul CLOCK

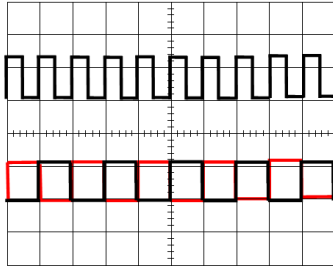


Figura 9: Imaginea vizualizată pe osciloscop, semnalul QA este inteligibil

Observație: Având în vedere cele de mai sus, când se vizualizează doua semnale de frecvențe diferite, pentru a evita problemele de sincronizare, **este recomandat ca aceasta să se realizeze după semnalul de frecvență mai mică**, deoarece acesta are mai puține tranziții care pot genera impulsuri de trigger.

Desfășurarea lucrării

A. Studiul bazei duble de timp (Main și Window)

Se măsoară timpul de creștere al unui semnal dreptunghiular de frecvență 10kHz. Amplitudinea se reglează astfel încât semnalul să fie cuprins între jumătatea celei de-a doua diviziuni (0%) și jumătatea celei de-a șaptea diviziuni (100%). Se reglează din butonul **HORIZONTAL POSITION** ca poziția săgeții care indică momentul de trigger să fie în **centrul** ecranului. Se selectează modul de lucru cu bază dublă (prin apăsarea butonului **HORIZ MENU** și selectarea cîmpului **Window Zone**). Pe ecran apare o linie verticală punctată, iar în josul ecranului mai apare un cîmp **W** - coeficientul de deflexie pentru baza secundară **Window** (C_{XB}). Prin rotirea butonului pentru reglarea C_X se poate modifica valoarea coeficientului **W** (C_{XB}). Prin mărirea lui **W** se observă că linia verticală punctată se separă în două linii verticale, zona încadrată de cele două linii reprezentînd porțiunea din semnal ce se va vizualiza cu baza B. Se poziționează fereastra bazei secundare pe frontul crescător al semnalului (frontul situat în centrul ecranului) și se vizualizează zona selectată (prin selectarea cîmpului **Window** din meniul de pe ecran). Se reglează C_X pentru măsurarea cît mai precisă a timpului de creștere.

B. Studiul sincronizării

Se trece în modul de vizualizare a bazei de timp principale (**Main**). Se realizează montajul din figura 5 cu unul din cipurile disponibile. Pentru alimentare, se va folosi sursa setată pe 6V (se verifică cu **voltmetrul polaritatea; circuitele CMOS funcționează într-o gamă largă de tensiuni, dar peste 5V**).

Se identifică și se notează circuitul folosit și numerele pinilor corespunzatori semnalelor **CLOCK**, **A**, **B**, **C**, **D** care vor fi vizualizate cu osciloscopul.

Pe intrarea de ceas (**CLOCK**) se va introduce un semnal TTL (dreptunghiular cu domeniul 0-5V, deci **AMPL=5V_{PP}** și **OFFSET=2.5V**), de **frecvență f=20kHz**. La osciloscop se alege $C_X = 50\mu s/div$ pentru a avea o perioadă de Clock pe o diviziune.

Se dorește ilustrarea funcției reglajului de **HOLDOFF**.

a) Pentru a ilustra aceasta, cuplați semnalele **CLOCK** pe **CH1** și **QA** pe **CH2**, sincronizare după **CH1 (TRIG MENU->SOURCE->CH1)**. Reglați nivelul de trigger a.f. să fie aproximativ la mijlocul (pe verticală) a semnalului **CLOCK**. Este imaginea stabilă?

Selectați **HORIZ MENU->TRIG KNOB->HOLDOFF**; în acest fel reglajul rotativ de Trigger Level își schimbă funcția și devine *Holdoff*. Ajustați reglajul de *Holdoff* astfel încît imaginea să devină nesincronizată (ca în Figura 9), respectiv sincronizată. De ce avem nevoie de reglajul *Holdoff* pentru a sincroniza imaginea (comentați pe baza explicațiilor care însoțesc figura 8)?

b) Dorim să vizualizăm semnalele **CLOCK**, **QA**, **QB**, **QC**, **QD**. Întrucît osciloscopul are doar 2 canale, nu putem vedea simultan toate 5 semnalele, ci succesiv, conectîndu-le pe rînd la osciloscop. Este esențială sincronizarea corectă și **identică** pentru cele 4 semnale, altfel se pierde complet relația temporală dintre ele (valorile „hi” și „low” respectiv 1 și 0 scrise una sub alta ca în tabelul DCBA sau în figura 6). Sincronizarea internă (de pe **CH1** sau **CH2**) nu este utilă în acest caz, întrucît nu conține informații despre legătura dintre semnale.

Important! Se poziționează săgeata care marchează momentul de trigger în partea stîngă a ecranului (la începutul ecranului).

Se alege sincronizare externă (**Trig Menu-> Source -> Ext**), front negativ (**Slope->Falling**). Pe borna **EXT TRIG** se introduce semnalul **QD** și se păstrează pe parcursul măsurării tuturor celor 4 semnale. Se vizualizează și se desenează cele cinci semnale (amplitudinea va fi reprezentată pe o diviziune, ca să încapă în desen toate cele cinci semnale).

Indicație! Pentru vizualizare se cuplează pe rînd semnalele la osciloscop: $CH1=CLK$, $CH2=QA$; $CH1=QB$, $CH2=QC$; $CH1=QD$.

Explicați de ce s-a ales front negativ pentru **QD**!

Indicație: afișarea va fi stabilă și în cazul frontului pozitiv, dar mai puțin evidentă; scrieți sub formă binară numerele de la 0,1,2,...,9,0,1,... (perioadă 10) și vedeți ce tranziție (0-1 sau 1-0) corespunde bitului **MSB**, adică **D**, la începutul unei perioade de 10 numere).

De ce imaginea nu este stabilă dacă se alege pentru sincronizare alt semnal semnal decît **QD** (de exemplu **CLOCK** sau **QA**) ? Explicați!

Indicație: după ce ați desenat cele 5 forme de undă, observați că imaginea este instabilă atunci cînd se vizualizează un semnal de perioadă **mai mare** (de exemplu **A**) sincronizat cu un semnal de perioadă **mai mică** (de exemplu **Clock**), iar invers este stabilă. Dacă totuși nu este stabilă, se ajustează timpul de *Holdoff* (**HORIZ MENU->TRIG KNOB->HOLDOFF**).

C. Măsurători cu bază dublă de timp asupra unui semnal multinivel

Se revine la **HORIZ MENU->TRIG KNOB-> Trigger Level**, **TRIG MENU-> Source -> CH1**. Se conectează **CH1** la ieșirea **OUT** de pe schemă, se reglează sincronizarea pînă la obținerea unei imagini stabile și se desenează o perioadă a semnalului. Cum credeți că va fi afectată imaginea dacă rezistențele nu ar fi egale?

Ce valoare (*trigger level*) și front (*slope*) ați folosit pentru a obține o imagine stabilă?

Marcați pe desen nivelul și frontul corespunzător.

Se detaliază și se măsoară cu ajutorul bazei secundare (**Window**) timpul de creștere t_c pentru unul din salturile **cele mai mici** de tensiune (o treaptă) care apare în semnalul vizualizat

(se va alege unul din momentele în care se întâmplă acest lucru și se va îngroșa pe desenul bazei principale).

Observați că, deoarece evenimentul respectiv începe cu un nivel și front care se regăsesc **de mai multe ori** în cadrul unei perioade a semnalului de la OUT, nu este posibilă detalierea sa cu baza de timp principală (Main), întrucât nu se poate defini în mod unic un reglaj de sincronizare (*trigger level și slope*) care să corespundă numai aceluiași eveniment. S-ar fi putut doar dacă se cerea treapta de amplitudine maximă, care apare **o singură dată** pe perioadă.

Aceasta este principala utilizare a bazei de timp duble: când semnalul are o formă mai complexă, se afișează cu baza de timp principală o porțiune mai mare din semnal, după un eveniment ușor de sincronizat (*de exemplu, valoarea (level) cea mai mare sau mai mică din semnal, care se regăsește exact o dată în cadrul unei perioade*), chiar dacă acel eveniment nu ne interesează, după care folosind baza secundară se poate detalia porțiunea care ne interesează, chiar dacă nu putem regla triggerul pentru a ne sincroniza cu începutul acelei porțiuni.

D. Măsurarea perioadei de eșantionare

Se va măsura perioada de eșantionare a osciloscopului. Se folosește un semnal dreptunghiular cu $f_1 = 10\text{KHz}$, amplitudine aprox. 2-3 div. Se trece în modul de vizualizare al bazei de timp principale (Main). Se revine în modul de afișare fără persistență, modul de achiziție **Acquire-> SAMPLE**, modul de afișare **Display->DOTS** (punctele individuale nu mai sînt unite cu linii). Se reglează coeficientul de deflexie pe orizontală la valoarea $C_{x1} = 250\mu\text{s/div}$. Se trece în modul **STOP** pentru a opri achiziția (prin apăsarea butonului **RUN/STOP**). Se detaliază imaginea din reglajul C_x pînă cînd începe să fie afișată sub formă de puncte.

Atenție! poate fi necesară deplasarea **fină** a imaginii din reglajele de **Poziție** orizontală și verticală, pentru ca punctele să nu se suprapună cu graticula (avînd aceeași culoare pot deveni invizibile).

a) Se măsoară distanța între două puncte consecutive (perioada de eșantionare T_s). Pentru a vă ușura măsurătoarea, sugerăm să reglați C_x a.î. distanța dintre 2 puncte = 1 div sau $\frac{1}{2}$ diviziuni, sau se poate măsura cu ajutorul cursorilor.

Se calculează perioada de eșantionare T_{Scale} și frecvența de eșantionare f_{Scale} din relația (1) unde C_x este **valoarea la momentul în care s-a apăsat butonul STOP** ($250\mu\text{s/div}$), $N_s = 2500$ eșantioane.

Observație: În modul **RUN**, osciloscopul ajustează T_s în funcție de C_x pentru a lua numărul optim de eșantioane. În modul **STOP** însă, reglarea C_x nu mai are acest efect, întrucât achiziția este oprită și imaginea de pe ecran este o imagine salvată (nu se mai actualizează). Este posibil așadar de a detalia imaginea astfel încît să se vadă sub forma de puncte individuale, ceea ce nu se putea în modul **RUN**.

b) Se revine în **RUN**, se repetă punctul precedent pentru un coeficient de deflexie $C_{x2} = 100\mu\text{s/div}$. Ce se întâmplă cu frecvența de eșantionare? de ce f_s nu este cea specificată pe panoul frontal, 1GSa/s (corelați cu valoarea calculată la punctul c) ?

c) Calculați dimensiunea memoriei (numărul de puncte N_{s2}) necesar pentru a putea eșantiona cu 1GSa/s la $C_{x2} = 250\mu\text{s/div}$! Comparați cu $N_s = 2500$ p disponibil la TDS1001.

d) Pentru $N_s = 2500$ p, calculați C_x din ecuația 1, pentru $f_{S\text{max}} = 1\text{GSa/s}$, care este în acest caz C_x limită peste care frecvența de eșantionare începe să scadă ! Comparați C_x limită, C_{x1} , C_{x2} .

Concluzie: Punctul b) este important pentru a înțelege că frecvența de eșantionare maximă, scrisă la loc vizibil pe panoul frontal, nu este disponibilă la orice C_x , ci doar la C_x mai mici decît C_x limită calculat anterior. Cu cît osciloscopul are N_s mai mare, cu atît $f_{s\text{max}}$ poate fi folosit pentru mai multe valori C_x .

E. Efectul eșantionării asupra măsurătorilor în domeniul timp.

Se aplică un semnal dreptunghiular de frecvență 10KHz . Se reglează din butonul **HORIZONTAL POSITION** ca poziția săgeții care indică locul unde acționează triggerul să fie în centrul ecranului. Coeficientul de deflexie pe orizontală se reglează la valoarea $C_{x1} = 250\mu\text{s/div}$. Se trece în modul **STOP** pentru a opri achiziția semnalului. Se detaliază imaginea achiziționată pînă ce timpul de creștere devine vizibil pe ecran.

a) Se măsoară timpul de creștere t_{c1} . În scopul simplificării acestor măsurători **timpul de creștere se măsoară de la momentul în care semnalul începe să crească pînă cînd ajunge la valoarea maximă (între 0% și 100% din valoare maximă)**.

b) Se revine în modul **RUN**. Se modifică valoarea coeficientului de deflexie pe orizontală la $C_{x2} = 100\mu\text{s/div}$. Se oprește achiziționarea imaginii trecînd în modul **STOP**. Procedînd ca la punctul a se măsoară timpul de creștere t_{c2} .

De ce sunt valorile t_c măsurate la aceste două puncte mult mai mari decît cea măsurată la punctul A, unde a fost determinată corect valoarea timpului de creștere?

Indicație: corelați timpii de creștere măsurați la acest punct cu perioadele de eșantionare corespunzătoare determinate la punctul D (T_{s1} , respectiv T_{s2}).

F. Efectul alierii în domeniul frecvență (FFT)

Se revine în **Acquire->Sample și Display->VECTORS**.

Se generează un **semnal sinusoidal** de amplitudine 2V și frecvență f_x cf. numărului mesei. Se reglează $C_y = 1\text{V/div}$, $C_{x1} =$ valoare dată pe tablă. Se vizualizează spectrul semnalului (**MATH MENU->FFT**).

a) Se măsoară cu ajutorul cursorilor de frecvență valoarea frecvenței semnalului, adică a componentei de amplitudine maximă de pe ecran; atenție că rezoluția de citire a cursorului nu este foarte fină, el poate „sări” peste valoarea exactă căutată; folosiți-vă logica pentru a nu măsura altă frecvență decît dă generatorul, ceea ce nu ar avea sens !

Cît este frecvența maximă f_{max} pe care o poate afișa osciloscopul pentru coeficientul de deflexie selectat – adică frecvența care corespunde marginii din dreapta ecranului (fig. 2, jos)? **Ce relație este între această frecvență și frecvența de eșantionare (afișată în paranteze lîngă coeficientul de deflexie pe orizontală) ?**

b) Se modifică valoarea $C_x = C_{x2}$. Se măsoară cu cursorul frecvența semnalului în acest caz (aceeași atenționare la citirea „inteligentă” a valorilor avînd în vedere rezoluția cursorului). Cum explicați valoarea obținută? Cît este frecvența de eșantionare în acest caz? Cît este frecvența maximă măsurabilă, corespunzătoare marginii din dreapta ecranului?

Se iese din modul **FFT**.

G. Efectul alierii în domeniul timp

Reamintim că alierea apare atunci cînd eșantionarea se face la o frecvență mai mică decît frecvența Nyquist, și semnalul aliat apare pe o frecvență mai mică decît cea reală. Mai precis, dacă semnalul necunoscut are frecvența f_x , cu $f_s/2 < f_x < f_s$, atunci semnalul aliat apare pe frecvența:

$$f_a = f_s - f_x \quad (5)$$

La osciloscopul digital, această situație poate apare la valori C_X relativ mari (lente), întrucât creșterea C_X duce la creșterea T_S , conform relației (1), și deci la scăderea f_S . Observăm că $f_{S_{max}}$ (în cazul nostru 1GSa/s) nu este valabil decât la C_X mici, în rest scade din cauză că N_S e relativ mic (osciloscopul nu are destulă memorie pentru a memora eșantioane „multe și dese”).

a) Se iese din FFT și se revine în domeniul timp. Se reglează $C_X = 5\text{ms/div}$ la osciloscop. Știind $N_S = 2500$ pct, calculați f_S corespunzător acestui C_X .

b) observați că f_S e relativ joasă, deci e ușor de depășit frecvența Nyquist; vom alege un semnal de frecvență $f_x > f_S/2$, foarte aproape de f_S , și anume $f_x = 49.95\text{KHz}$. Se reglează această frecvență la generator. Calculați frecvența semnalului aliat f_a conform f_S determinat anterior și relației pentru frecvența aliată (5).

c) fără a modifica C_X , observați frecvența semnalului de pe ecran; deși acesta este instabil, se poate vedea că este de frecvență mică. Folosiți butonul **RUN/STOP** modul **STOP** pentru a vedea în mod stabil imaginea. Folosind meniul **MEASURE** -> **TYPE Frequency** măsurați frecvența, $f_{m\grave{a}s}$, acestui semnal. Reveniți în **RUN**.

Observați dacă frecvența aliată măsurată $f_{m\grave{a}s}$ corespunde cu f_a calculată.

d) alierea este un fenomen nedorit, căci osciloscopul digital ne arată un semnal de frecvență cu totul diferită de cea reală (chiar rezultatul măsurătorii este greșit). Pentru a detecta faptul că a avut loc aliere, se pot folosi mai multe metode:

- observați că, reglînd nivelul triggerului oriunde în cadrul semnalului, imaginea nu se stabilizează, ceea ce e anormal
- în extrema dreapta jos a ecranului sînt arătați parametrii triggerului: nivelul, frontul (stabilite de utilizator) și frecvența cu care semnalul intersectează triggerul (măsurată de osciloscop cu un circuit separat, **pe semnalul analogic**, înainte de eșantionare, deci fără aliere). Cît este această frecvență f_{Trigger} ? observați că este foarte diferită de frecvența $f_{m\grave{a}s}$ măsurată de osciloscop pe baza eșantioanelor, ceea ce în mod normal nu se întîmplă. Faptul că triggerul e de frecvență diferită decât frecvența afișată (aliată) duce la imposibilitatea sincronizării și deci, imagine instabilă. Ce legătură observați între f_{Trigger} și frecvența de la generator?
- observați că modificînd C_X cu o singură treaptă, la dreapta și la stînga, imaginea se modifică radical (se extinde/comprimă mai mult de 2 ... 2.5 ori așa cum ar trebui, avînd în vedere succesiunea 1-2.5-5 a valorilor C_X).
- se revine la $C_X = 5\text{ms/div}$ și se folosește modul **ACQUIRE**->**Peak Detect** pentru detectarea alierii, deoarece în acest mod frecvența de eșantionare este setată la valoarea maximă $f_{S_{MAX}} = 1\text{GSa/s}$ și relația anterioară pentru f_a nu mai e valabilă (nu mai are loc aliere); se observă că imaginea nu seamănă deloc cu cea din modul **Sample**, ceea ce indică o anomalie.
- calculați cîte perioade N se vîd pe ecran în **Peak Detect**, pt. reglajele date: o perioadă a semnalului $T_{\text{semnal}} = T_X = 1/f_X$, iar tot ecranul are $T_{\text{ecran}} = N_X C_X = 10C_X$.

$$N_{\text{perioade viz}} = T_{\text{ecran}} / T_{\text{semnal}}$$

- Avînd în vedere nr. f. mare de perioade, devine evident de ce imaginea arată așa: sînt prea multe perioade pentru a putea fi distinse între ele. Se desenează imaginea cu **Peak Detect**.

e) se revine în modul **Sample**; se apasă **AUTOSET** pentru a obliga osciloscopul să ajusteze coef. orizontal la o valoare determinată automat C_X' (C_X ales manual la pct. a) a fost complet nepotrivit pt. f_x ; a fost ales așa doar pt a ilustra alierea) Cît este C_X' ? Se măsoară frecvența semnalului f_X (meniul **Measure**) și se compară cu cea de la generator. cît este f_S' corespunzător acestuia din relația (1)? Explicați dacă mai are loc alierea și de ce.

H. Reducerea zgomotului afișat pe ecran

Pentru cazurile în care se măsoară cu osciloscopul semnale de frecvențe mici (cum este, în general, cazul în acest laborator), banda analogică de 40MHz a osciloscopului are dezavantajul că lasă să treacă în mod inutil mult zgomot de bandă largă. Pentru aceste situații, toate oscilosoapele au opțiunea de a limita banda analogică. De asemenea, medierea (efectuată prin calcul pe eșantioanele existente) este o metodă echivalentă de reducere a zgomotului.

a) Se folosește un semnal dreptunghiular de frecvență 10kHz și amplitudine A_{VV} (o valoare mică, afectată de zgomot). Se vizualizează semnalul folosind $C_x=20\mu\text{s/div}$ și $C_y=50\text{mV/div}$. Se completează în tabel următoarele valori:

Zgomotul inițial: se setează banda analogică a osciloscopului la valoarea implicită de 40MHz (**CH1 MENU** -> **BANDWIDTH = 40MHz**). Se măsoară cu cursorii valoarea Vîrf-Vîrf a zgomotului, U_{VV_noise} .

Reducerea analogică a zgomotului: se reduce banda analogică a CH1 la **20MHz** și se măsoară din nou valoarea Vîrf-Vîrf a zgomotului

Reducerea digitală a zgomotului: pentru cele 2 valori ale benzii se activează medierea pe 128 valori (**Acquire**->**Average**->**128**). Se măsoară din nou valorile Vîrf-Vîrf a zgomotului.

Se calculează rapoartele de reducere a zgomotului $R_{U_{VV_noise}(1)} / U_{VV_noise}(2)$ și celelalte valori din coloanele (3),(4). Cu cît factorul R este mai mare cu cît reducerea a fost mai mare.

Care dintre cele 2 metode de reducere a zgomotului, (2) analogică sau (3) digitală, a avut un efect mai pronunțat?

b) Se revine în modul de lucru **Sample**, **BANDWIDTH=40MHz**. Se trece în modul de afișare cu persistență infinită (**Display**->**Persist**->**Infinite**) și se măsoară din nou amplitudinea vîrf la vîrf a zgomotului $U_{VV_noise\ inf}$. Cum se modifică aceasta față de măsurătoarea inițială? de ce?

Se revine în modul **Sample** și fără persistență.

Întrebări pregătitoare pentru laborator:

1. Calculați f_s pentru TDS1001, dacă C_x are valorile 10ms/div, 5μs/div, 100ns/div. Se consideră $N_x=10$ diviziuni și $N_s=2500$. Frecvența maximă de eșantionare este $F_{smax}=1GSa/s$.
2. Se vizualizează spectrul unui semnal sinusoidal de frecvență $f=500kHz$. Cît trebuie să fie frecvența minimă de eșantionare astfel încît să se vizualizeze corect spectrul semnalului?
3. Cum funcționează osciloscopul în modul PEAK DETECT?
4. Cum funcționează osciloscopul în modul mediere?
5. Ce reprezintă pentru osciloscop valoarea C_{xmin} ? La ce frecvență de eșantionare lucrează osciloscopul pentru $C_x < C_{xmin}$?
6. Care este eroarea relativă datorată rezoluției ecranului la măsurarea unui timp de creștere de 40 ns, folosind osciloscopul Tektronix TDS1001 (Frecvența de eșantionare maximă $F_{smax}=1GHz$ și se presupune că C_x poate fi oricît de mic)?
7. De ce un impuls scurt poate dispărea, cînd se lucrează în modul SAMPLE și poate să apară cu valoare mai mare în modul PEAK DETECT, decît în modul SAMPLE?
8. Un semnal determinist perturbator de înaltă frecvență, sincron cu semnalul util, suprapus peste acesta, poate fi eliminat în modul AVERAGE? Dar unul asincron? Argumentați!
9. Evaluați rezoluția în măsurarea duratelor folosind cursorii de timp, dacă $C_x = 1\mu sec/div$, $0,02\mu s/div$, $N_x=10$ diviziuni, 250 pixeli pe orizontală, și $f_{es\ max}=250MHz$ (rezoluția este determinată de perioada de eșantionare folosită și cursorii pot fi mutați punct cu punct).
10. Să se determine frecvența măsurată pe ecranul osciloscopului TDS 1001, în modul FFT, dacă semnalul vizualizat este sinusoidal frecvența $f=700kHz$, iar $C_x=50kHz/div$?
11. Un semnal sinusoidal de $f=1MHz$ este afișat în modul FFT ca avînd $f=500kHz$. Cît este frecvența de eșantionare folosită?
12. Un semnal sinusoidal de frecvență $f=2,5MHz$ este afișat în modul FFT cu frecvențele de eșantionare $f_{es1}=8MS/sec$, $f_{es2}=4MS/sec$ și $f_{es3}=2MS/sec$. Determinați care sunt frecvențele *aparente* ale semnalului care vor fi citite în fiecare caz și care sunt frecv. de eșantionare corecte.
13. Se măsoară un semnal sinusoidal cu $RSZ = 50\ dB$ (datorat zgomotului analogic alb). Cît este valoarea $RSZ\ [dB]$ a semnalului afișat în modul AVERAGE (mediere) pe 100 cicluri de achiziție? (nu se ține cont de cuantizarea făcută de osciloscop). Dar dacă, în plus, se reduce banda analogică de la 100MHz la 20MHz?
14. Să se determine frecvența afișată pe ecranul osciloscopului TDS 1001, în modul FFT, dacă semnalul vizualizat este ideal $s(t) = 3 \cos(4\pi \cdot 10^5 \cdot t) \cdot \cos(8\pi \cdot 10^5 \cdot t)$, iar la comutarea în modul FFT coeficientul de deflexie folosit pentru vizualizarea în domeniul timp era $C_x=50kHz/div$?
15. Să se determine frecvența afișată pe ecranul osciloscopului TDS 1001, în modul FFT, dacă semnalul vizualizat este $s(t) = 3 \cos(8\pi \cdot 10^3 \cdot t) \cdot \cos(4,4\pi \cdot 10^4 \cdot t)$, iar la comutarea în modul FFT coeficientul de deflexie folosit pentru vizualizarea în domeniul timp era $C_x=2,5kHz/div$?
16. Calculați $C_{x\ max}$ la care filtrarea de 40MHz are acest efect antialiere (pe baza relației (1), cu $f_s=80MSa/s$). Care este valoarea calibrată $C_{x\ max\ cal}$ imediat inferioară celei calculate, sub care nu mai este posibilă alierea?
17. Calculați N_s' necesar pentru ca f_s să nu scadă sub valoarea 1GSa/s la $C_x \leq 5ms/div$, pe baza relației (1). Comparați cu N_s disponibil la TDS1001!
18. Să se reprezinte tensiunea obținută la ieșirea OUT a circuitului din fig. 4, ținînd cont că ieșirile numărătorului sunt semnale TTL (0-5V), iar forma lor este prezentată în figura 5.
19. Dacă ați avea la dispoziție un osciloscop cu 5 canale, iar C_x ar fi setat a.î. pe ecran să fie afișate exact 10 perioade de ceas, momentul de trigger fiind reglat la începutul ecranului, pe care din semnale l-ați alege pentru a face sincronizarea și pe ce front astfel încît să obțineți imaginea biților DCBA ca în tabelul din fig. 5 (rotit la 90 grade a.î. axa timpului, respectiv semnalul Clock, să fie orizontale)? Ce s-ar întîmpla dacă ați alege alt semnal sau alt front? *Indicație: Se va alege semnalul care are o tranziție la începutul ciclului de numărare și această tranziție apare doar o singură dată pe durata unui ciclu de numărare.*
20. Care sînt metodele de detectare a faptului că a avut loc aliere în cazul osciloscopului numeric?