

# OSCILOSCOPUL DIGITAL

## 1. Prezentare generală

## 2. Structura internă

## 3. Efectuarea măsurărilor

## 4. Rezultatul măsurărilor

## 5. Lucrarea practică

**Atenție: Aparatele se pornesc doar cu acordul cadrului didactic! Montajele sunt alimentate doar după ce au fost verificate de cadrul didactic! După efectuarea măsurării, montajul este scos de sub tensiune (se oprește sursa)!**

**5.1.** Se vor măsura, în regim **manual** și **automat**, parametrii unor semnale primite la intrare.

### a) Semnal sinusoidal, regim manual.

Utilizați canalul 1 al generatorului de semnal pentru a transmite către canalul 1 al osciloscopului un semnal de tip sinus. Acest semnal are următoarele valori nominale (setări ale generatorului de semnal):  $f = 1\text{ kHz}$ ,  $A_{pp} = 4\text{ V}_{pp}$  (pp – peak to peak), Offset DC = 0 V și Phase =  $0^\circ$ .

Vizualizați acest semnal cu ajutorul canalului 1 (Ch1) al osciloscopului.

Înainte de vizualizarea semnalului sinusoidal, utilizați opțiunea Coupling a osciloscopului pentru a centra formele de undă afișate pe valoarea de 0 V.

După reglarea potențioetrelor Volt/Div și Time/Div astfel încât semnalul de test să fie prezentat în mod adecvat, utilizați opțiunea de Offset a generatorului pentru adăugarea unei componente continue de 1 V.

Cu ajutorul opțiunii Coupling efectuați afișarea semnalului de test, cu și fără componenta continuă. Observați modul de funcționare a opțiunii Coupling.

Setați componenta continuă pe 0 V și precizați cu ajutorul calculelor, în regim manual, următorii parametri ai semnalului de test:

Amplitudinea A, amplitudinea vârf la vârf  $A_{pp}$ , perioada T, frecvența f [Hz], pulsația  $\omega$  [rad/s] și valoarea efectivă  $A_{rms}$ .

Comparați valorile obținute cu cele nominale (afișate pe ecranul generatorului de semnal).

### b) Semnal rectangular, regim manual.

Repetăți experimentul de la punctul a) pentru un semnal rectangular care are următoarele setări nominale:  $f = 500\text{ Hz}$ ,  $A_{pp} = 0.5\text{ V}_{pp}$  (pp – peak to peak), Offset DC = 0 V și Phase =  $0^\circ$ .

Calculați amplitudinea  $A$ , amplitudinea vârf la vârf  $A_{pp}$ , perioada  $T$ , frecvența  $f$  [Hz], pulsația  $\omega$  [rad/s] și valoarea efectivă  $A_{rms}$ .

**c) Semnal impuls, regim manual.**

Utilizați generatorul pentru transmiterea unui semnal de tip impuls (Pulse) având  $f = 500$  Hz,  $A_{pp} = 2 V_{pp}$  (pp – peak to peak). Care este lățimea impulsului (Pulse width) de care avem nevoie pentru obținerea unui factor de umplere (Duty Cycle) de 40%?

Calculați amplitudinea  $A$ , amplitudinea vârf la vârf  $A_{pp}$ , perioada  $T$ , frecvența  $f$  [Hz], pulsația  $\omega$  [rad/s] și valoarea efectivă  $A_{rms}$ .

**d) Semnal sinusoidal, regim automat.**

Reveniți la setările generatorului utilizate la punctul a). Utilizați opțiunile osciloscopului pentru Autoset, Measure și Cursor pentru a refăce măsurările de: amplitudine vârf la vârf  $A_{pp}$ , perioadă  $T$ , frecvență  $f$  [Hz] și valoarea efectivă  $A_{rms}$ .

**5.2. Studiul parametrilor bandă de frecvențe ( $B_f$ ) și timp de creștere (Rise Time).**

Identificați pe panoul aparatului care este valoarea benzii de frecvențe a aparatului. Ce înseamnă specificația 1 GSa/S marcată pe panoul osciloscopului?

În practică se recomandă ca  $B_f > 5 * f_{max}$ , unde  $f_{max}$  reprezintă frecvența maximă a semnalului primit la intrare.

Cunoaștem relația:

$$t_c (us) = \frac{0.35}{B_f (MHz)}$$

Determinați timpul de creștere teoretic pentru acest aparat.

Ca semnal de test, transmiteți cu ajutorul generatorului un semnal de tip rectangular având frecvența  $f = 10$  [MHz] și amplitudinea vârf la vârf  $A_{pp} = 2 V_{pp}$ . Vizualizați acest semnal pe ecranul osciloscopului și constatați dacă afișarea se face în mod corect.

Micșorați (în pași de 1 MHz) frecvența semnalului de intrare până la o valoare pentru care afișarea pe ecranul osciloscopului devine apropiată de forma dorită.

Utilizați setările Time/Div și meniul corespunzător pentru a regla afișarea corespunzătoare a semnalului rectangular.

Utilizați opțiunile Window și Cursors pentru a efectua o măsurare a timpului de creștere al semnalului rectangular (parametrul  $t_{cm}$  – timpul de creștere măsurat).

Apoi utilizați opțiunea Measure pentru a vizualiza  $t_{cm}$  calculat în mod automat.

Calculați timpul de creștere al impulsului ca rezultat al suprapunerii  $t_c$  și  $t_{cm}$ .

$$t_0 (us) = \sqrt{t_{cm}^2 - t_c^2}$$

Orientativ, care este în opinia dvs. frecvența  $f_{max}$  pentru care recomandați utilizarea acestui tip de osciloscop?

**5.3. Caracterizarea unui circuit de tip filtru trece-jos pasiv, cu ajutorul osciloscopului.**

Acest punct al lucrării presupune testarea unui circuit de tip filtru trece-jos pentru care se vor specifica frecvența de tăiere și defazajul (la frecvența de tăiere) între semnalul de intrare și cel de ieșire.

Considerăm exemplul unui circuit pentru care  $R = 1.78 \text{ k}\Omega$  și  $C = 32 \text{ nF}$ .

Notăm magnitudinea funcției de transfer pentru acest circuit ca fiind  $|H(s)|$  unde:

$$|H(s)| = \frac{1}{\sqrt{(\omega * R * C)^2 + 1}}, \text{ iar } s = j\omega, \omega \text{ se exprimă în [rad/s]}.$$

Dacă  $\omega \rightarrow 0$  atunci  $|H(s)| \rightarrow 1$ . Dacă  $\omega \rightarrow \text{Inf}$  atunci  $|H(s)| \rightarrow 0$ .

Dacă  $\omega = 1/(R*C)$ , atunci  $\omega = \omega_c$  (frecvența de tăiere sau *cutoff frequency*). În cazul nostru: pulsația  $\omega_c = 17544 \text{ [rad/s]}$  sau frecvența aproximativ  $2.8 \text{ kHz}$ .

Cu alte cuvinte, dacă valoarea frecvențe semnalului de intrare este  $2.8 \text{ kHz}$ , atunci semnalul de ieșire este atenuat în amplitudine și defazat față de semnalul de intrare. Valoarea amplitudinii de ieșire este aproximativ 70% din valoarea amplitudinii de intrare.

Conexiuni:

- Tensiune sinusoidală generată se conectează la canalul 1 (Ch1) al osciloscopului și la intrarea circuitului R-C.
- Tensiunea de ieșire (tensiunea de pe C) se conectează la canalul 2 (Ch2) al osciloscopului.
- Atenție la conectarea firelor de masă (Gnd).

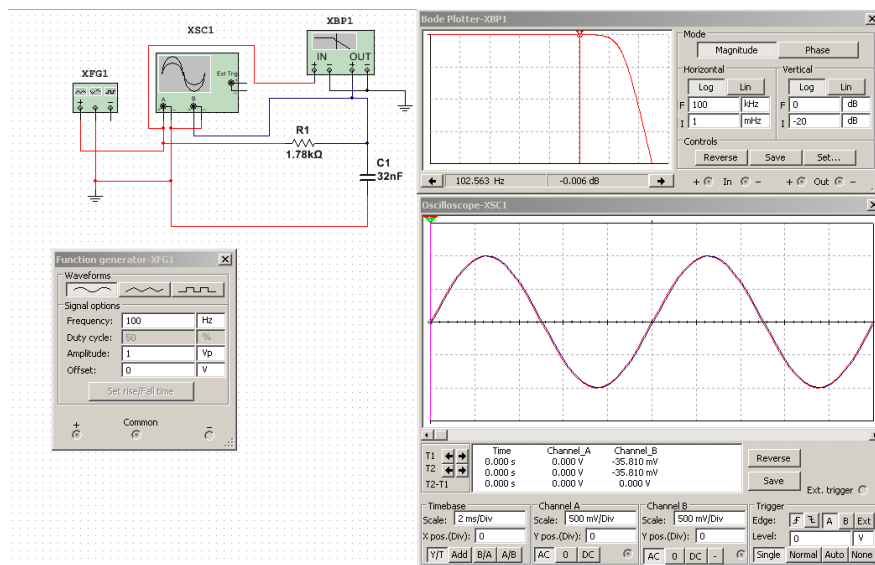
**Pasul 1:** Setați generatorul de semnal pentru generarea unui semnal sinusoidal având  $f = 100 \text{ Hz}$ ,  $A_{pp} = 2 \text{ V}_{pp}$  (pp – peak to peak), Offset DC = 0 V și Phase = 0°. Observați comportamentul semnalului de ieșire. Ce observați? Cum sunt cele două semnale din punct de vedere al atenuării și defazajului? Urmăriți montajul simulat din imaginea **Fig.1** și comparați cu ceea ce ați obținut. Utilizați opțiunea Measure sau Cursor pentru a studia valorile de amplitudine și defazaj pentru semnale.

**Pasul 2:** Setați generatorul de semnal pentru generarea unui semnal sinusoidal având  $f = 1 \text{ kHz}$ ,  $A_{pp} = 2 \text{ V}_{pp}$  (pp – peak to peak), Offset DC = 0 V și Phase = 0°. Observați comportamentul semnalului de ieșire. Ce observați? Cum sunt cele două semnale din punct de vedere al atenuării și defazajului? Urmăriți montajul simulat din imaginea **Fig.2** și comparați cu ceea ce ați obținut. Utilizați opțiunea Measure sau Cursor pentru a studia valorile de amplitudine și defazaj pentru semnale.

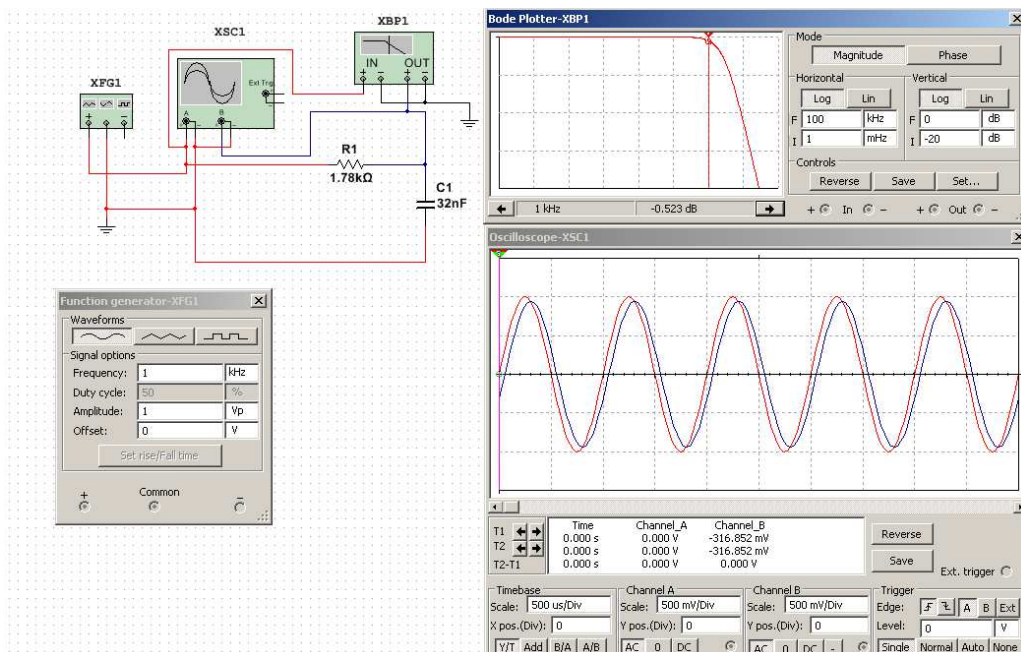
**Pasul 3:** Pentru filtrul pe care îl folosiți calculați frecvența de tăiere (valorile componentelor R și C sunt notate pe plăcuță). Setați generatorul de semnal pentru generarea unui semnal sinusoidal având  $f = \text{frecvența de tăiere}$  (2.8 kHz pentru exemplul de mai sus),  $A_{pp} = 2 \text{ V}_{pp}$  (pp – peak to peak), Offset DC = 0 V și Phase =  $0^\circ$ .

Observați comportamentul semnalului de ieșire. Ce observați? Cum sunt cele două semnale din punct de vedere al atenuării și defazajului? Urmăriți montajul simulat din imaginea **Fig.3** și comparați cu ceea ce ați obținut. Utilizați opțiunea Measure sau Cursor pentru a studia valorile de amplitudine și defazaj pentru semnale.

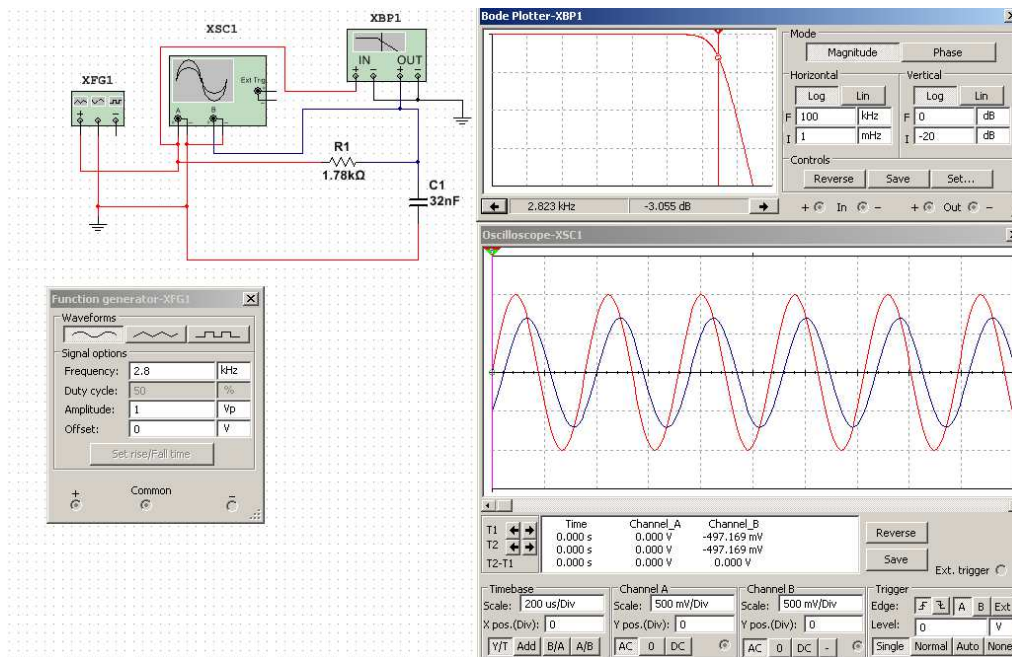
Ce înseamnă atenuare cu  $-3\text{dB}$ ?



**Fig.1. Simulare comportament circuit pentru  $f = 100 \text{ Hz}$**



**Fig.2. Simulare comportament circuit pentru  $f = 1 \text{ kHz}$**



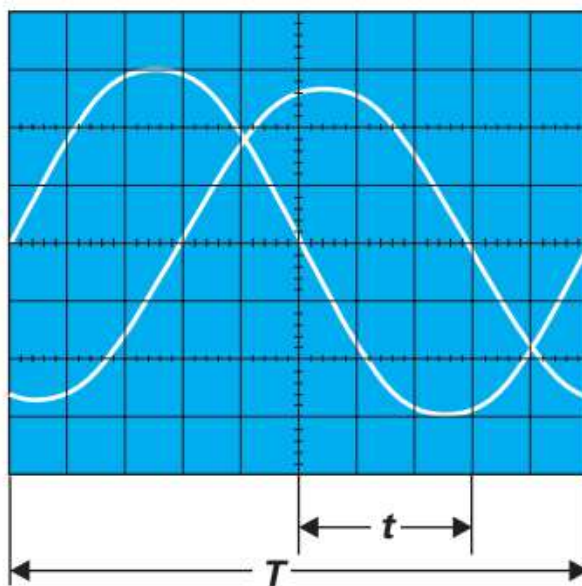
**Fig.3. Simulare comportament circuit pentru  $f = 2.8$  kHz**

**5.4.** Calculul defazajului între semnale la frecvența de tăiere ( $\omega_c$  – cutoff frequency).

**a) Metoda 1 – utilizând afișarea duală.**

Se măsoară defazajul  $t$  între cele 2 semnale obținute anterior. Se consideră **Fig.4**. Pentru această figură,  $t = 3$  diviziuni și  $T = 10$  diviziuni. Atenție la setarea Coupling. Aceasta trebuie să fie AC pentru ambele canale. Defazajul în grade se obține astfel:

$$\varphi^\circ = \frac{t}{T} * 360^\circ$$



**Fig.4. Semnale afișate în mod Dual, centrate în 0.**

**b) Metoda 2 – utilizând calcul cu numere complexe.**

Considerăm diferența fazelor între cele două semnale. Utilizăm ca pas de plecare funcția de transfer prezentată anterior. Această funcție de transfer reprezintă o împărțire de numere complexe.

Pentru numărător:  $\varphi_1 = \arctan \frac{0}{1} = 0 \quad [rad]$

Pentru numitor:  $\varphi_2 = \arctan \frac{\omega * R * C}{1} \cong \arctan \frac{1}{1} \cong 0.785 \quad [rad]$

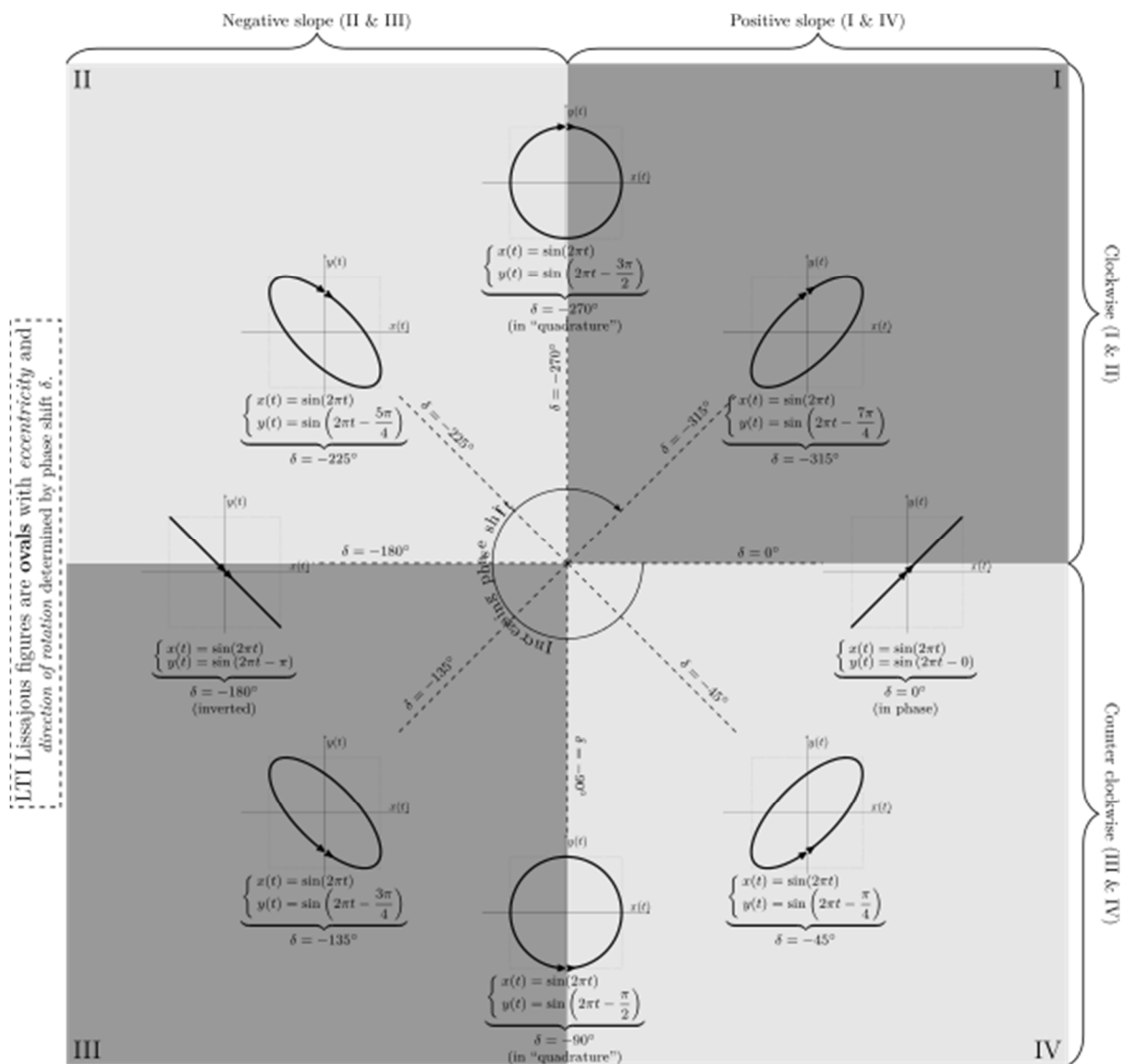
Defazajul:  $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = -0.785 \quad [rad]$  sau  $-45^\circ$  ( $\varphi * 57.2$ )

**c) Metoda 3 – utilizând afișarea figurilor Lissajous.**

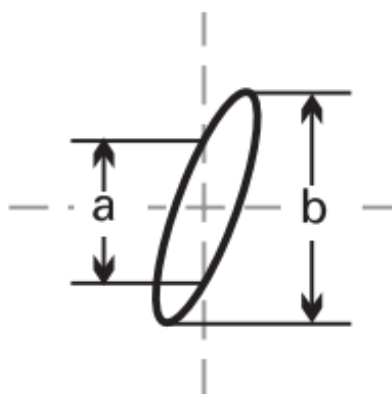
Utilizați opțiunea XY din meniul MENU, secțiunea Time/Div. Se compară rezultatul cu ceea ce observăm în figura următoare. Orientativ putem observa că ceea ce se afișează pe ecranul aparatului corespunde unui defazaj de  $-45^\circ$  (vezi **Fig.5**). Putem spune că semnalul de ieșire “conduce” semnalul de intrare (*output signal leads input signal*). Utilizarea figurilor Lissajous este utilă în cazul unor defazaje clasice:  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ .

În **Fig.6** observăm setarea imaginii Lissajous pe ecranul osciloscopului astfel încât să putem calcula defazajul.

$$\sin \varphi = \frac{a}{b}, \quad \text{astfel} \quad \varphi = \arcsin \frac{a}{b}$$



**Fig.5. Figuri Lissajous clasice.**



**Fig.6. Explicativă calcul defazaj.**

### 5.5. Sonda cu atenuare (utilizare 1:1 sau 1:10).

Prin consultarea manualului osciloscopului digital putem identifica parametrii caracteristici sondelor cu atenuare utilizate în cadrul experimentelor de laborator. Astfel, în funcție de coeficientul atenuării, suntem interesați de următoarele date:

Tabel 1. Caracteristicile sondei cu atenuare GTP-100B-4

Atenuare	1	10
Rezistență intrare	1 M $\Omega$ (rezistența osciloscopului).	10 M $\Omega$ (pentru asigurarea atenuării de 10 ori, dacă osciloscopul are rezistența de intrare egală cu 1M $\Omega$ ).
Capacitate intrare	85pF – 115pF	14.5pF – 17.5pF
Domeniu compensare	-----	5pF – 30pF
Lungime cablu	1.3m	
B <sub>f</sub>	DC – 10MHz	DC-100MHz

Referitor la osciloscopul GDS-1102A-U, putem identifica impedanța de intrare pentru CH1 și CH2 ca fiind 1M $\Omega$  || 15pF.

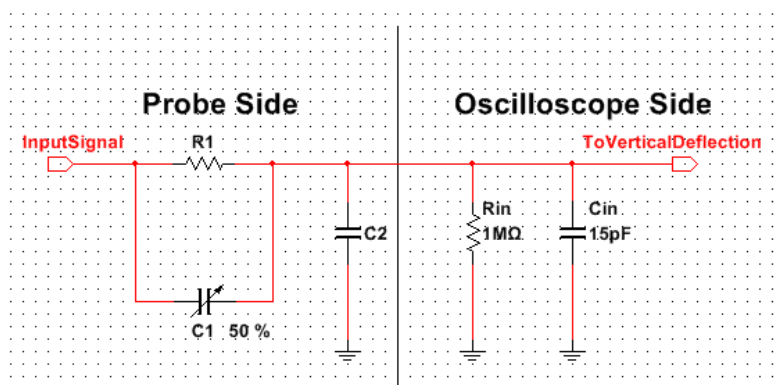


Fig.7. Schemă echivalentă a ansamblului sondă cu atenuare/osciloscop.

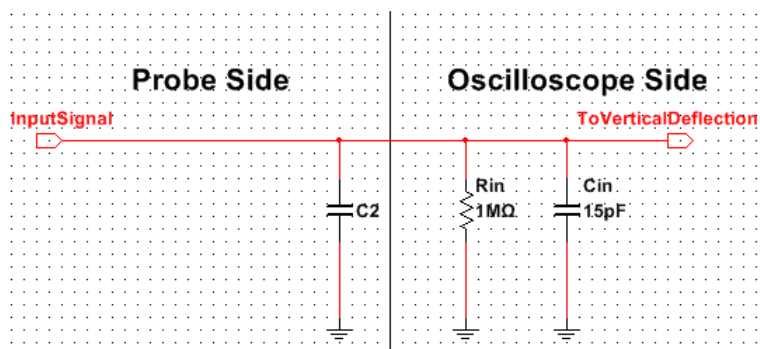


Fig.8. Schemă echivalentă a ansamblului sondă fără atenuare/osciloscop.



Elementele prezentate în schemele de mai sus sunt:

R1 – rezistență internă a sondei cu atenuare,  $10\text{M}\Omega$ , pentru asigurarea unei atenuări cu 10 dacă rezistența de intrare a osciloscopului este de  $1\text{M}\Omega$ .

Rin – rezistență intrare osciloscop,  $1\text{M}\Omega$ , conform datelor de catalog.

C1 – condensator compensare, reglabil, pe domeniul prezentat în Tabelul 1.

Cin – capacitatea echivalentă de intrarea a osciloscopului,  $15\text{pF}$ , conform datelor de catalog.

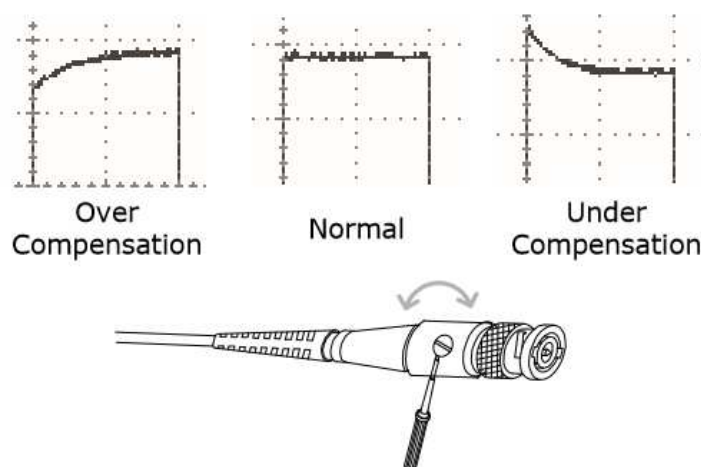
C2 – capacitate parazită a cablului sondei, presupunem  $10\text{pF/m}$ . Astfel,  $C2 = 13\text{pF}$ .

Utilizând aceste date, urmărim două direcții. În prima fază, vom ajusta condensatorul de compensare al sondei, astfel încât funcționarea acesteia să fie în parametrii acceptabili. Apoi, vom studia cum se comportă impedanța de intrare a ansamblului sondă-osciloscop, atunci când frecvența semnalului de intrare se modifică.

**Pasul 1:** Sonda cu atenuare va fi setată pe modul de funcționare 1:10 (atenuare x10). Apoi, se va conecta la calibratorul osciloscopului pentru preluarea unui semnal de test rectangular, de amplitudine  $2\text{ Vpp}$  și de frecvență  $f = 1\text{ kHz}$ . Semnalul de test se vizualizează pe canalul 1 al osciloscopului. Setările recomandate pentru CH1 sunt  $50\text{ mV/div}$  și  $250\text{ us/div}$ .

În această situație, putem observa comportamentele sondei de tip Over Compensation (Supracompensare) sau Under Compensation (Subcompensare).

Prin ajustarea condensatorului de compensare încercăm obținerea unui comportament adecvat astfel încât forma semnalului rectangular prezentat pe CH1 să fie corespunzătoare. În Fig. 9 (mijloc) observăm forma corectă a semnalului vizualizat pe CH1.



**Fig.9. Comportament sondă cu atenuare.**

**Pasul 2:** Setați generatorul de semnal pentru generarea unui **semnal sinusoidal** având  $f = 1 \text{ kHz}$ ,  $A_{pp} = 20 \text{ V}_{pp}$  (pp – peak to peak), Offset DC = 0 V și Phase =  $0^\circ$ . Vizualizați acest semnal pe ecranul osciloscopului cu ajutorul sondei cu atenuare setată pe comportament 1:10.

Accesați meniul CH1 și studiați opțiunea Voltage. În cazul în care setarea acestei opțiuni este 1x putem observa că amplitudinea măsurată de osciloscop în regim automat (opțiunea Measure) este de aproximativ 2 Vpp. Cu alte cuvinte, aparatul nu ține cont de atenuarea introdusă de sondă.

Prin setarea opțiunii Voltage pe valoarea 10x, rezultatele calculelelor automate prezentate pe ecranul osciloscopului vor ține cont de atenuarea introdusă de sondă. Selectarea opțiunii de Measure arată valoarea amplitudinii semnalului de intrare ca fiind aproximativ 20 Vpp.

Modificați forma de undă generată astfel încât să afișăm un **semnal rectangular**. Utilizați șurubelnița de reglare a condensatorului de compensare astfel încât semnalul vizualizat pe ecranul osciloscopului să prezinte o formă distorsionată (Undercompensation/Overcompensation).

Astfel, putem înțelege importanța ajustării condensatorului de compensare astfel încât semnalul vizualizat pe ecranul osciloscopului în regim 1:10 să fie corespunzător celui generat. O calibrare incorectă a sondei cu atenuare cauzează erori de reprezentare și calcul atât în cazul regimului 1:1 cât și în cazul regimului 1:10.

După părerea dvs., care este regimul de atenuare în care erorile de compensare se reflectă mai acut? Cel de 1:1 sau cel de 1:10? Prezentați un calcul pentru susținerea acestei opinii dvs.

**Pasul 3:** Vom studia ceea ce se întâmplă cu impedanța de intrare  $Z_{in}$  a ansamblului sondă-osciloscop, atunci când frecvența semnalului generat este ridicată. Exemplul nostru de calcul arată avantajul utilizării sondei cu atenuare în special pentru vizualizarea semnalelor de frecvențe ridicate.

Problemă: Evaluați impedanța de intrare  $Z_{in}$  a ansamblului sondă – osciloscop (cu și fără atenuare), dacă se măsoară un semnal de frecvență  $f = 2 \text{ MHz}$ .

**a) Sonda pasivă fără atenuare, Fig. 8.**

$C_2 = 13 \text{ pF}$ ,  $C_{in} = 15 \text{ pF}$ , astfel  $C_{intotal} = 28 \text{ pF}$  (Condensatori în regim paralel).

Calculăm modulul impedanței de intrare  $Z_{in}$  a ansamblului sondă – osciloscop utilizând relația:

$$|Z_{in}| = \frac{R_{in}}{\sqrt{1 + (\omega * R_{in} * C_{int\ total})^2}}, \text{ unde } \omega = 2\pi f.$$

Astfel,  $|Z_{in}| \approx 2.84 \text{ k}\Omega$ .

### b) Sonda pasivă cu atenuare, Fig. 7.

Calculul teoretic pentru valoarea lui C1 se va face pe baza relației:

$$C1 = \frac{R_{in} * C_{int\ total}}{R1 - R_{in}}, \text{ conform montajului de tip punte, prezentat în Fig. 7.}$$

$$C1 = \frac{1M\Omega * 28pF}{9M\Omega} = 3.11pF$$

(presupunem că se încadrează în domeniul de compensare)

Astfel, datele pentru calculul modulul impedanței de intrare  $Z_{in}$  în cazul sondei cu atenuare sunt:

$$R_{in} = 10M\Omega, C_{total} = 2.79pF \text{ unde } C_{total} = \frac{C1 * C_{int\ total}}{C1 + C_{int\ total}}.$$

$$|Z_{in}| = \frac{10M\Omega}{\sqrt{1 + (12.56Mrad / s * 10M\Omega * 2.79pF)^2}}, \text{ unde } \omega = 2\pi f.$$

Astfel,  $|Z_{in}| \approx 28.4 \text{ k}\Omega$ .

Prin urmare, ansamblul sondă cu atenuare – osciloscop, asigură o impedanță de intrare mult mai mare (de x10), ceea ce reprezintă un avantaj. Influența exercitată de osciloscop asupra circuitului emițător este mult redusă, în special în cazul semnalelor de frecvențe înalte.

Listare program de test în MATLAB, exemplu de evaluare a celor două tipuri de sondă:

```
%Compare the Z of the Oscilloscope + Attenuating Probe ensemble against the same
```

```
%setup but with a Non-attenuating Probe connected at the oscilloscope input.
```

```
%Note that the test signal is a 20 kHz waveform. Analyze the results.
```

```
CableL = 1.35;
```

```
CableC = 30 * 10^-12;
```

```
Attenuation = 6;
```

```
Rin = 1 * 10^6;
```

```
Cin = 15 * 10^-12;
```

```

R1 = Attenuation * 10^6 - Rin;
['R1 Value is [Ohm]: ',num2str(R1),'']
C2 = CableL*CableC;
['C2 Value is [F]: ',num2str(C2),'']
Cinnew = C2 + Cin;
['New Input Capacitance Value is [F]: ',num2str(Cinnew),'']
C1 = (Rin*Cinnew)/R1;
['Adjustable Capacitance Value is [F]: ',num2str(C1),'']
f = 20 * 10^3;
w = 2*pi*f;
['Test Signal Frequency Value is [rad/s]: ',num2str(w),'']
%For Non-attenuating probe
ZNon-attenuating = Rin/sqrt(1+(w*Rin*Cinnew)^2);
['Non-attenuating Probe + Osc Input Z Value is [Ohm]: ',num2str(ZNon-
attenuating),'']
%For Attenuating probe we calculate the input capacitance after adjusting
C1
Rtotal = Rin + R1;
['Attenuating Probe + Osc Input R Input Value is [Ohm]:
',num2str(Rtotal),'']
Ctotal = (C1*Cinnew)/(C1+Cinnew); %Series Capacitors
['Attenuating Probe + Osc Input C Input Value is [F]: ',num2str(Ctotal),'']
ZAttenuating = Rtotal/sqrt(1+(w*Rtotal*Ctotal)^2);
['Attenuating Probe + Osc Input Z Value is [Ohm]:
',num2str(ZAttenuating),'']
['Z Value Improvement if using the Attenuating Probe:
',num2str(ZAttenuating/ZNon-attenuating),'']

```