



2. Osciloscopul

2.5 Canalul Y



Rolul și funcțiunile canalului Y

- **impedanța de intrare** mare;
- **amplificare** în tensiune pentru
 - sistemului de deflexie (osciloscopul analogic)
 - sistemului de conversie CAN (osciloscopul numeric);
- amplificare **calibrată** (relație dim. imag. - U_{in})
- intrare **nesimetrică** → ieșire **simetrică**;
- **protecție la supratensiuni**;



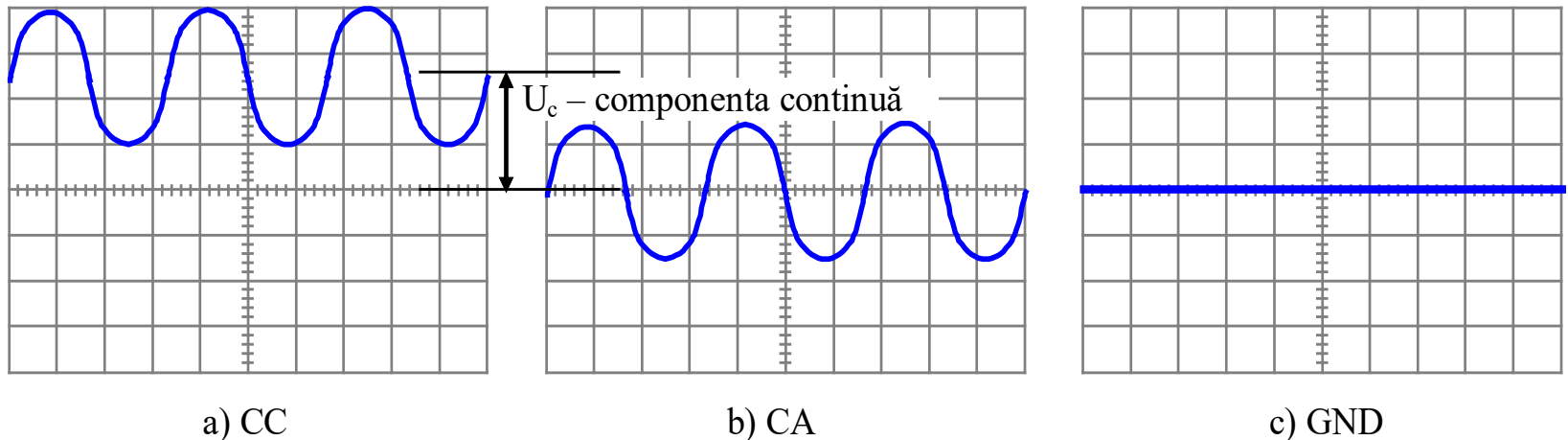
Rolul și funcțiunile canalului Y

- extragere semnal pentru **sincronizare internă**;
- reglaje și selecții pentru **vizualizarea** și **încadrarea** convenabilă pe ecran a imaginii



Reglaje și selecții în canalul Y

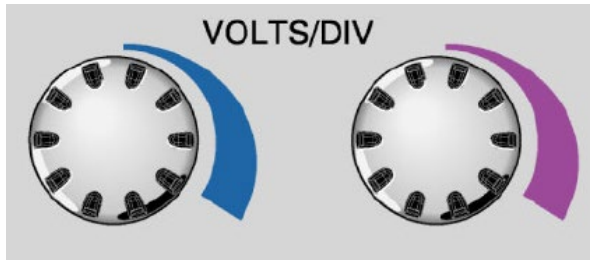
- *Selecția modului de cuplaj al semnalului de intrare*
 - Cuplaj în curent continuu (CC)
 - Cuplaj în curent alternativ (AC);
 - Conectarea la masă a intrării (GND – ground)





Reglaje și selecții în canalul Y

- *Coeficientul de deflexie pe verticală*



$$C_y = \frac{U_y}{n_y}$$



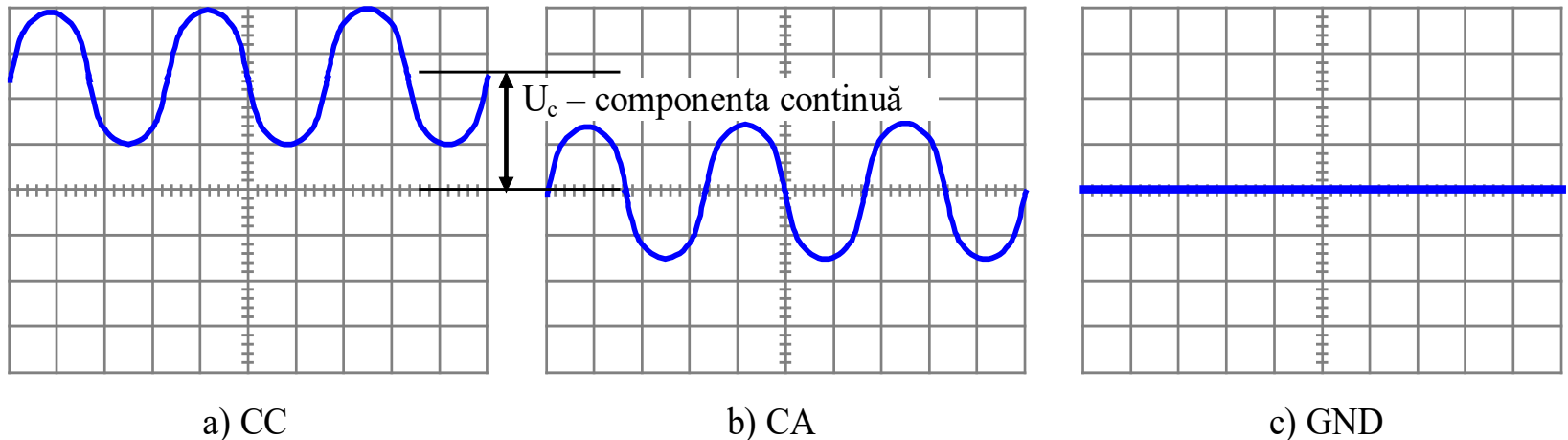
- Valorile calibrate întâlnite la majoritatea osciloscoapelor sunt:

$C_y = 5-10-20-50-100-200-500 \text{ mV/div}, 1-2-5 \text{ V/div.}$



Reglaje și selecții în canalul Y

- *Exemplu:*
- $C_y = 1V/div$
- $A = 1,5V$
- $U_c = 2,5V$





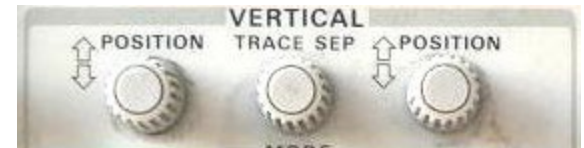
Reglaje și selecții în canalul Y

- *Coeficientul de deflexie pe verticală*
 - **reglare continuă** a C_y
 - **Atenție!**
 - În cazul osciloscoapelor numerice, scările calibrate pot fi uneori **mai dese**,
 - Reglajul continuu poate fi înlocuit cu unul „**fin**” (în trepte foarte dese, de exemplu 1 : 1,1 : 1,2 : etc.)



Reglaje și selecții în canalul Y

- *Poziția (deplasarea) pe verticală a imaginii -POZ Y*



- tensiune continuă
- erori în măsurarea tensiunilor continue suprapuse peste semnal
- evitarea erorilor:
 - comutatorul modurilor de cuplaj pe GND
 - Ajustarea poziției spotului din *POZ Y*



Reglaje și selecții în canalul Y

- *Selecția polarității imaginii +/-*
 - y sau -y
- *Selecția modului de vizualizare simultană*
a semnalelor de pe cele două (sau mai multe) intrări.
Pentru un osciloscop cu două canale avem opțiunile:
 - CH1
 - CH2
 - ALT
 - CHOP
 - ADD



Caracteristici și performanțe ale canalului Y

■ Sensibilitatea osciloscopului

- $1/C_{ym}$
- $C_{ym} = 5$ sau 10 mV/div
- Limitarea inferioară cauzată de existența zgomotului
- Pentru trepte mai coborâte, (1 sau 2 mV/div)
reducere a lărgimii de bandă a osciloscopului (la 5-10 MHz) pe acele trepte (FTJ)



Caracteristici și performanțe ale canalului Y

- **Amplificarea în tensiune a canalului la frecvențe joase A_0**
- **În cazul osciloscopului analogic:**
 - Cunoscând S_{y0} și C_{ym}

$$A_0 = \frac{1}{S_{y0} C_{ym}}$$

- **EXEMPLU:** Pentru $S_{y0} = 0,1\text{div/V}$ și $C_{ym} = 10\text{mV/div}$, rezultă $A_0 = 10^3$



Caracteristici și performanțe ale canalului Y

- **Amplificarea în tensiune a canalului la frecvențe joase A_0**
- **În cazul unui osciloscop numeric:**
 - Cunoscând tensiunea maximă la intrarea CAN, U_M
 - care corespunde tensiunii necesare pentru acoperirea întregului ecran pe treapta de C_{ym}

$$A_0 = \frac{U_M}{N_y C_{ym}}$$



Caracteristici și performanțe ale canalului Y

■ Caracteristicile de frecvență

$$A(j\omega) = |A(j\omega)| e^{j\varphi(\omega)} = \frac{A_0 \omega_0}{j\omega + \omega_0}$$

■ Modulul amplificării:

$$|A(j\omega)| = \frac{A_0 \omega_0}{\sqrt{\omega^2 + \omega_0^2}} = \frac{A_0}{\sqrt{1 + \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}}$$



Caracteristici și performanțe ale canalului Y

- $|A(j\omega)|$ *caracteristica amplitudine frecvență*
- caracteristică constantă în toată banda → redare fără distorsiuni a semnalului
- constatăm însă o scădere cu frecvența

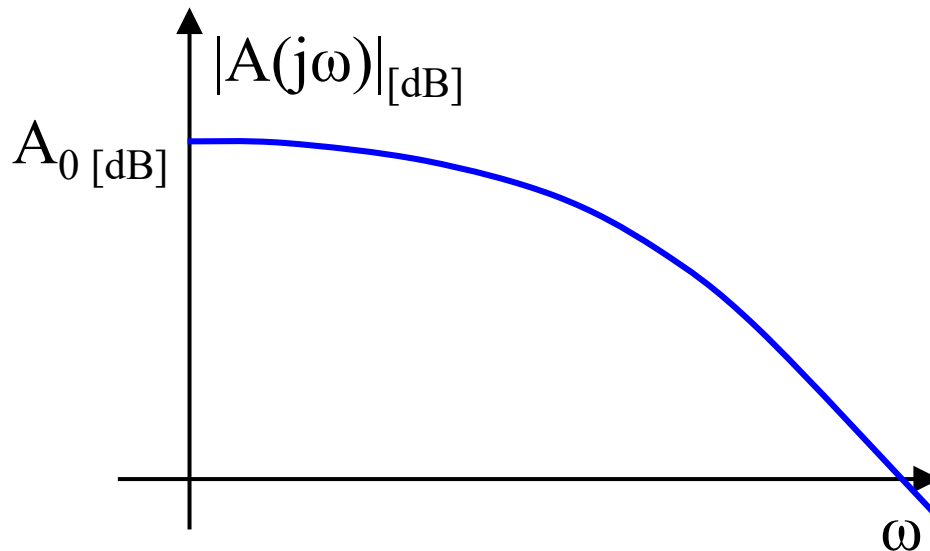
$$|A(j\omega)| = \frac{A_0}{\sqrt{1 + \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}}$$



Caracteristici și performanțe ale canalului Y

- *Caracteristica amplitudine frecvență* a canalului Y în dB:

$$\left| A(j\omega) \right|_{dB} = 20 \log_{10} \left| A(j\omega) \right| = 20 \log_{10} A_0 - 10 \log_{10} \left(1 + \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right)$$



$$\left| A(j\omega) \right| = \frac{A_0}{\sqrt{1 + \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}}$$



Caracteristici și performanțe ale canalului Y

- se considere acceptabilă o scădere la

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707, \text{ în dB: } 20\log_{10}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = -10\log_{10} 2 = -3 \text{ dB}$$

- Aceasta apare la $\omega = \omega_0$
- *lărgimea de bandă la 3dB* a canalului Y și implicit a osciloscopului:

$$f_{3dB} = f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$$

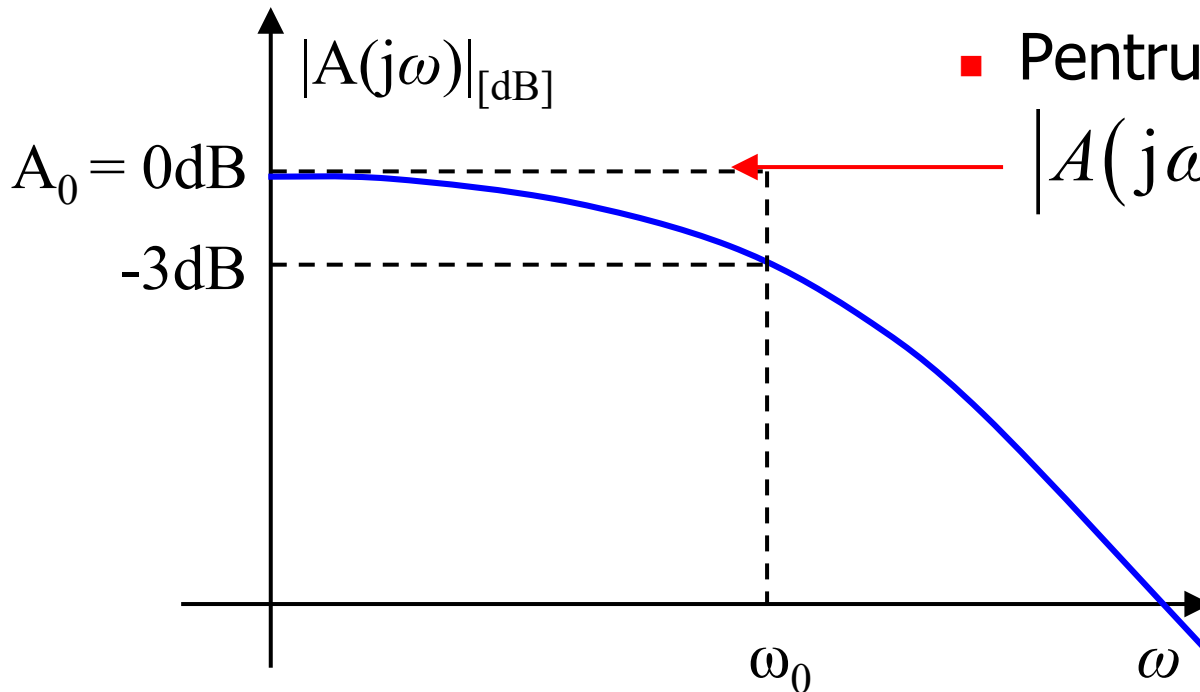
$$|A(j\omega)| = \frac{A_0}{\sqrt{1 + \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}}$$



Caracteristici și performanțe ale canalului Y

$$|A(j\omega)|_{dB} = 20\log_{10} A_0 - 10\log_{10} \left(1 + \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right)$$

- reprezentare aproximativă:



- Pentru frecvențe $\omega \ll \omega_0$

$$|A(j\omega)|_{dB} \cong 20\log_{10} A_0$$

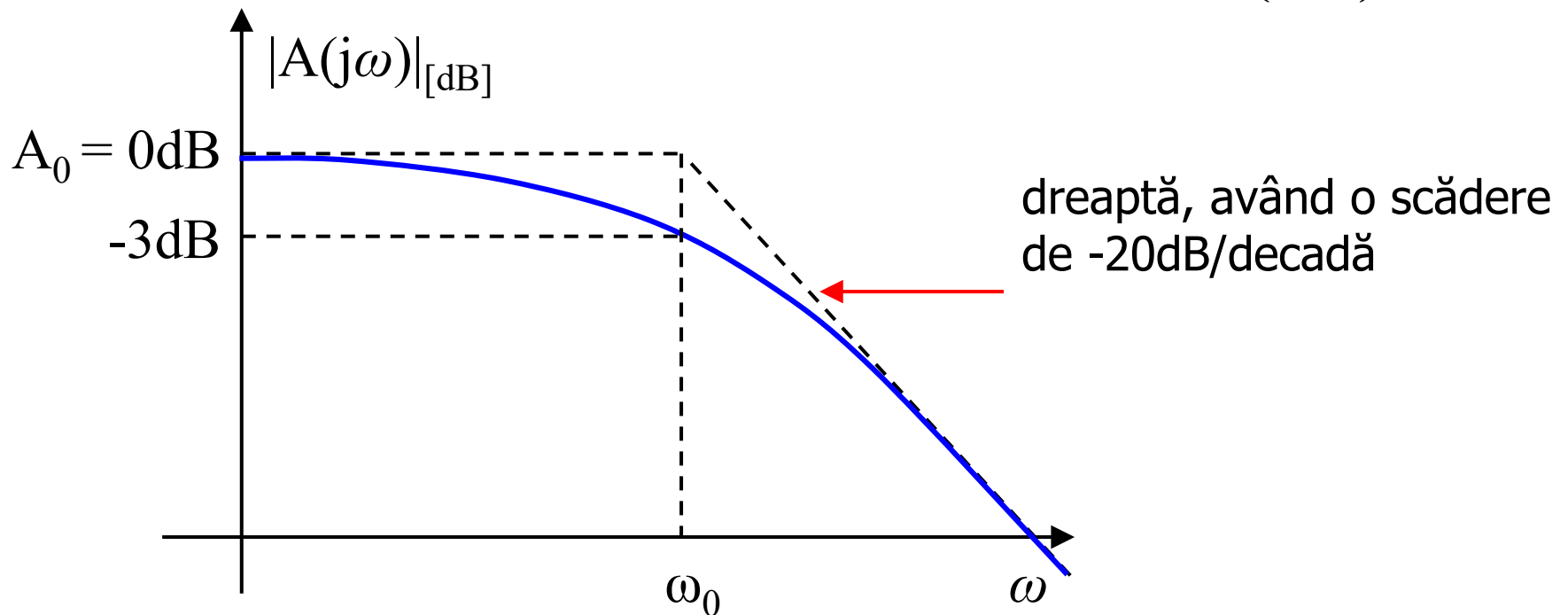


Caracteristici și performanțe ale canalului Y

$$|A(j\omega)|_{dB} = 20\log_{10} A_0 - 10\log_{10} \left(1 + \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right)$$

- Pentru frecvențe $\omega \gg \omega_0$

$$|A(j\omega)|_{dB} \cong 20\log_{10} A_0 - 20\log_{10} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)$$

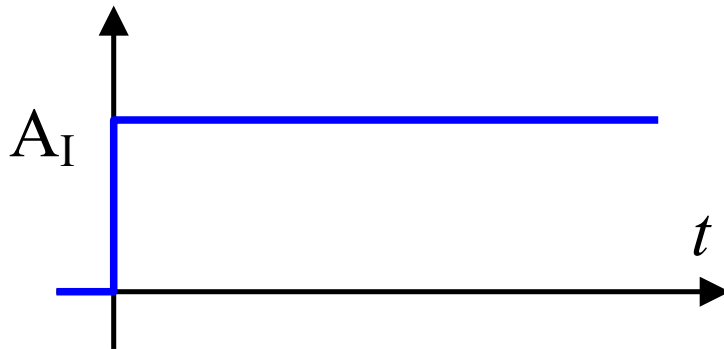




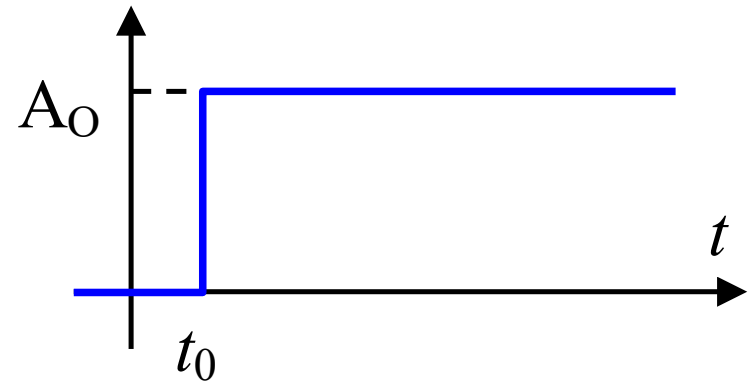
Caracteristici și performanțe ale canalului Y

■ Răspunsul la impuls treaptă

- În mod ideal:



intrare

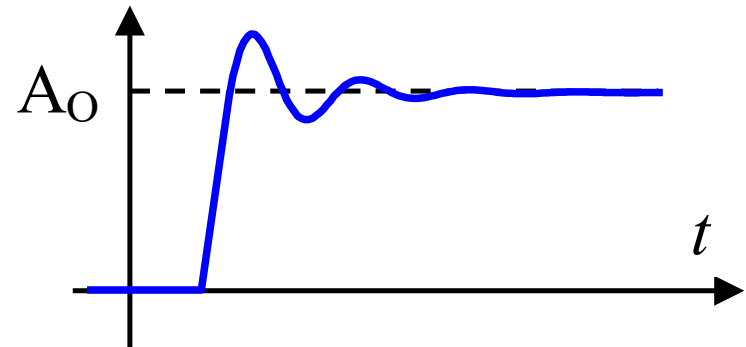
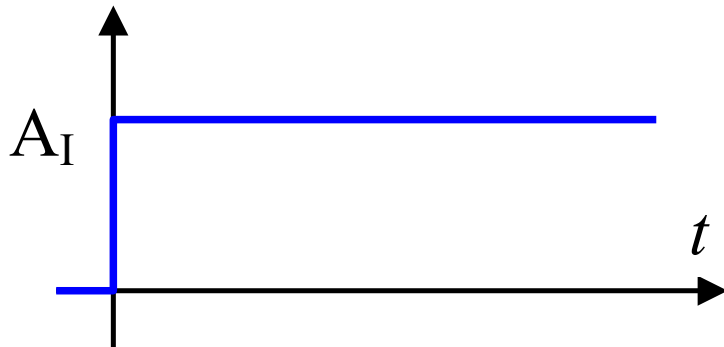


ieșire



Caracteristici și performanțe ale canalului Y

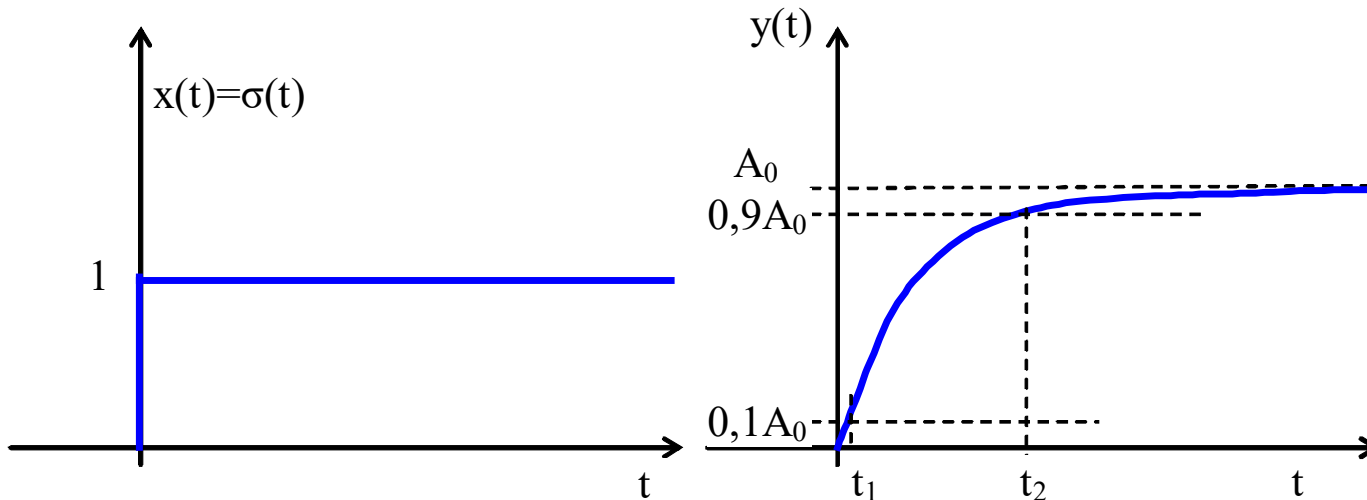
- Două distorsiuni în cazul real
 - **oscilații amortizate** în vecinătatea tranziției (pot fi evitate printr-o proiectare și realizare adecvată)
 - **timp de creștere** (durata frontului)





Caracteristici și performanțe ale canalului Y

- Semnalul la intrare: $x(t) = \sigma(t)$
- Funcția de transfer a canalului: $A(j\omega) = \frac{A_0\omega_0}{j\omega + \omega_0}$
- Semnalul de ieșire: $y(t) = A_0(1 - e^{-t\omega_0})\sigma(t)$



- Durata frontului va fi: $t_f = t_2 - t_1$



Caracteristici și performanțe ale canalului Y

$$y(t_1) = A_0 (1 - e^{-t_1 \omega_0}) = 0,1 A_0$$

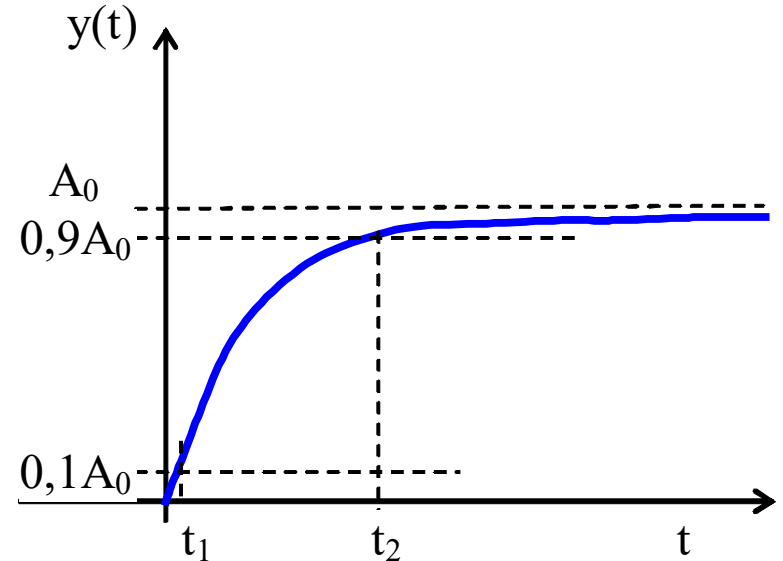
$$\Rightarrow t_1 = \frac{1}{\omega_0} \ln \frac{1}{0,9}$$

$$y(t_2) = A_0 (1 - e^{-t_2 \omega_0}) = 0,9 A_0$$

$$\Rightarrow t_2 = \frac{1}{\omega_0} \ln \frac{1}{0,1}$$

$$t_f = \frac{1}{\omega_0} \ln 9 = \frac{2,2}{\omega_0} = \frac{2,2}{2\pi f_0} = \frac{0,35}{f_0}$$

$$y(t) = A_0 (1 - e^{-t\omega_0}) \sigma(t)$$





Caracteristici și performanțe ale canalului Y

- Ex: $f_0 = 100 \text{ MHz}$ $\rightarrow t_f = 3,5 \text{ ns}$
- semnal la intrare cu $t_s \rightarrow$ semnal vizualizat cu

$$t_v = \sqrt{t_s^2 + t_f^2}$$



Caracteristici și performanțe ale canalului Y

- Dacă $t_s \gg t_f$

$$t_v \cong t_s$$

- Dacă însă t_s și t_f sunt apropiați:

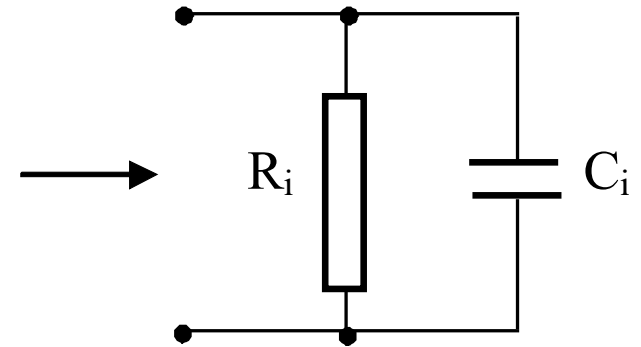
$$t_v = \sqrt{t_s^2 + t_f^2} \quad \Rightarrow \quad t_s = \sqrt{t_v^2 - t_f^2}$$



Caracteristici și performanțe ale canalului Y

■ Impedanța de intrare

$$Z_i = R_i \parallel C_i = \frac{R_i}{1 + j\omega R_i C_i}$$



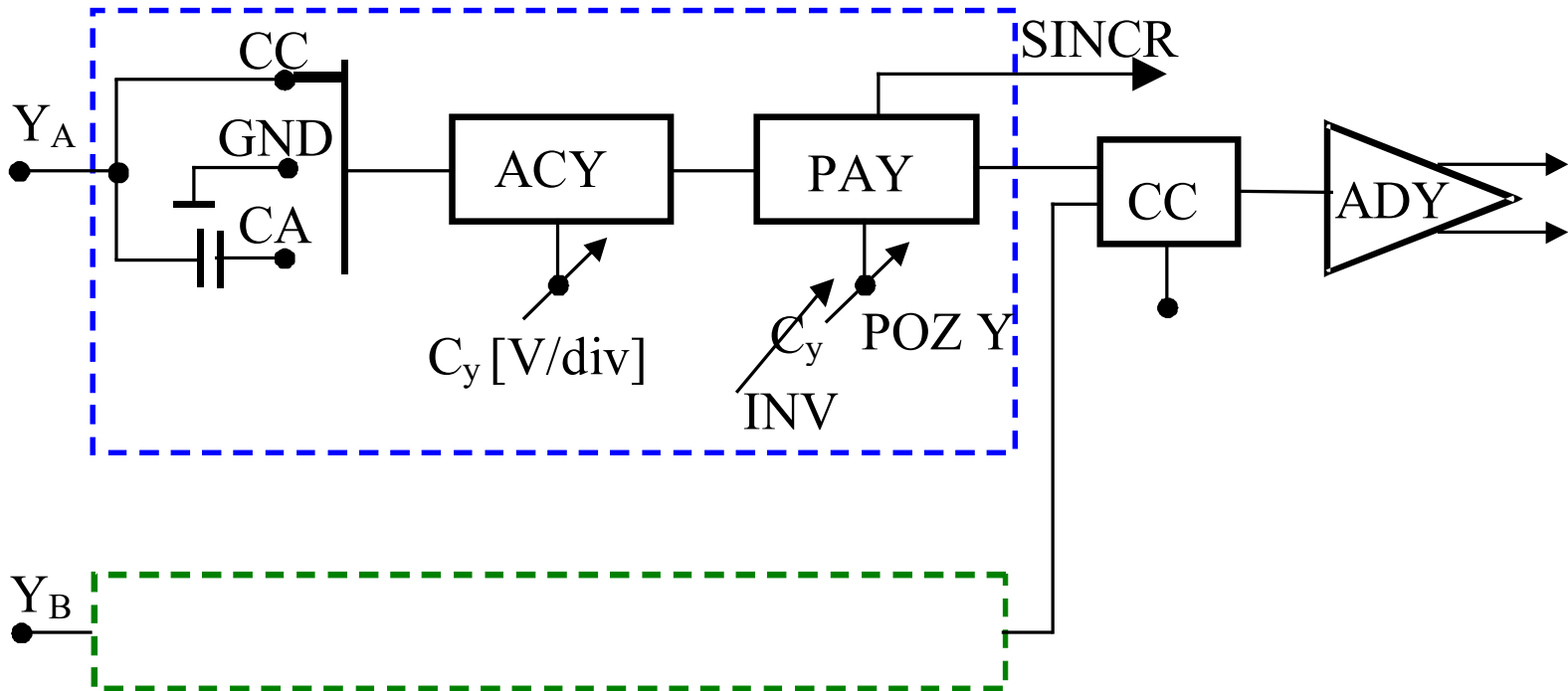
- În mod frecvent,

$$R_i = 1M\Omega, C_i = 10 \div 80 pF$$

- La f mari, C_i șuntează $R_i \rightarrow Z_i$ devine puternic dependentă de f
- la f mari (peste 100 MHz) \rightarrow o intrare de impedanță mică (50 sau 75 ohmi).



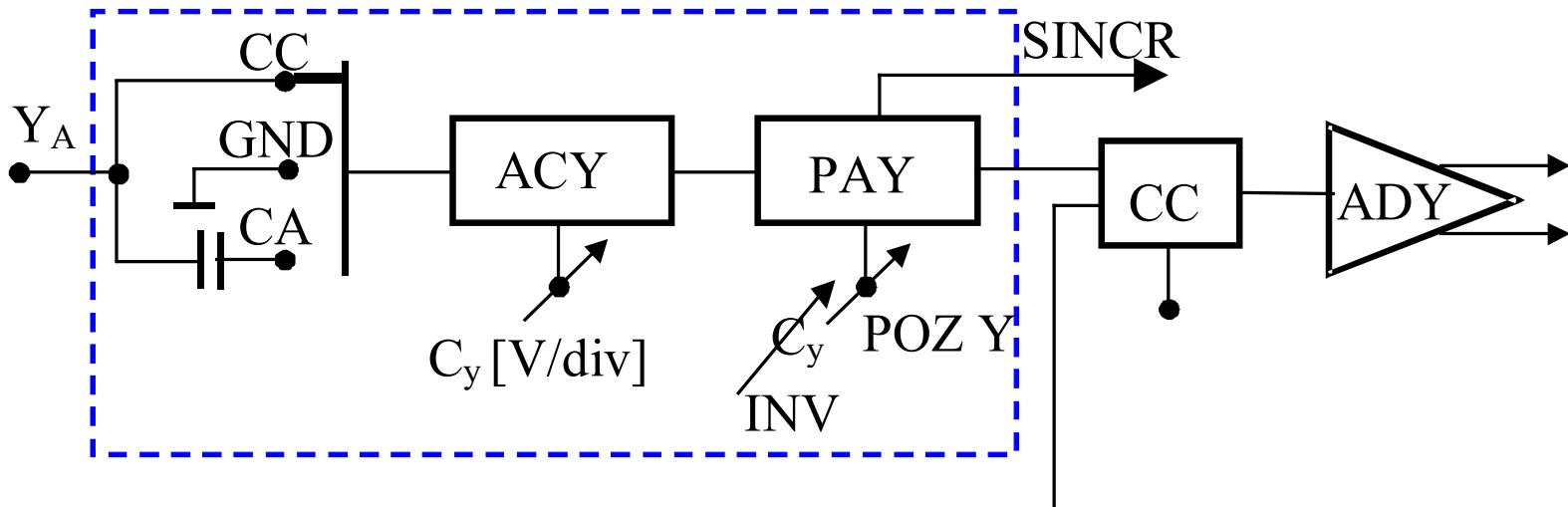
Blocurile funcționale ale canalului Y



- S-a considerat cazul unui osciloscop cu două canale (Y_A , Y_B)



Blocurile funcționale ale canalului Y

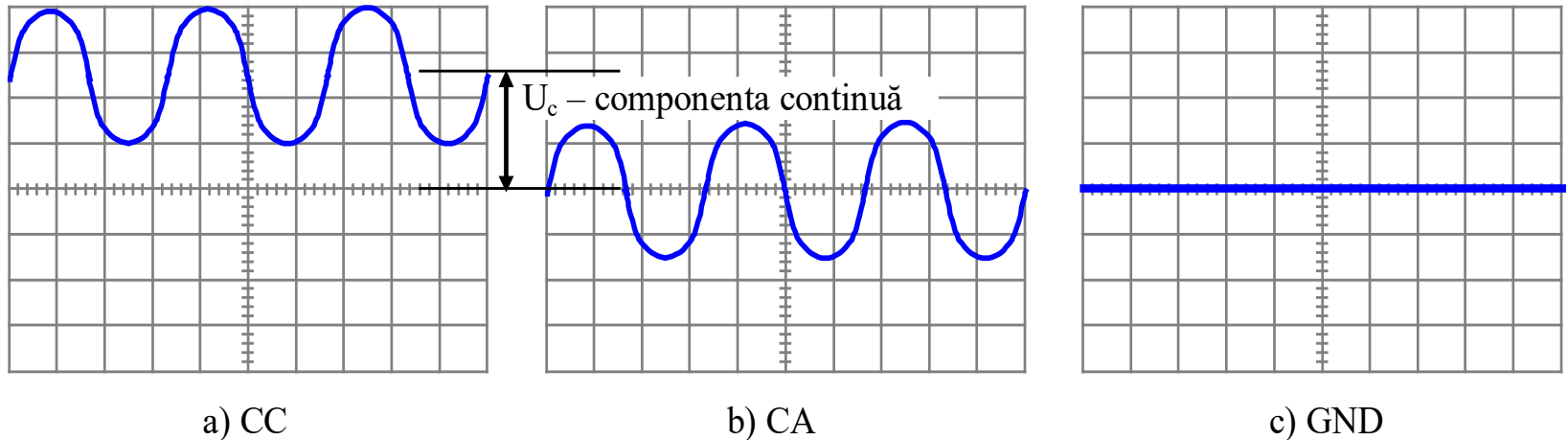


- Comutatorul modurilor de cuplaj (CC, AC, GND)
- Atenuatorul calibrat (ACY)
- Preamplificatorul canalului Y (PAY)
- Comutatorul de canale (CC)
- Amplificatorul de deflexie pe verticală (ADY)



Blocurile funcționale ale canalului Y

- *Comutatorul modului de cuplaj*





Blocurile funcționale ale canalului Y

■ *Atenuatorul calibrat*

- permite modificarea în trepte calibrate a C_y
- Dacă se dorește realizarea unui atenuator cu treptele $C_y = 10-20-50-100-200-500$ mV/div, 1-2-5 V/div, vor fi necesare atenuările din tabel

C_y	10 mV/div	20 mV/div	50 mV/div	100 mV/div	200 mV/div	500 mV/div	1 V/div	2 V/div	5 V/div
Atenuare	1/1	1/2	1/5	1/10	1/20	1/50	1/100	1/200	1/500



Blocurile funcționale ale canalului Y

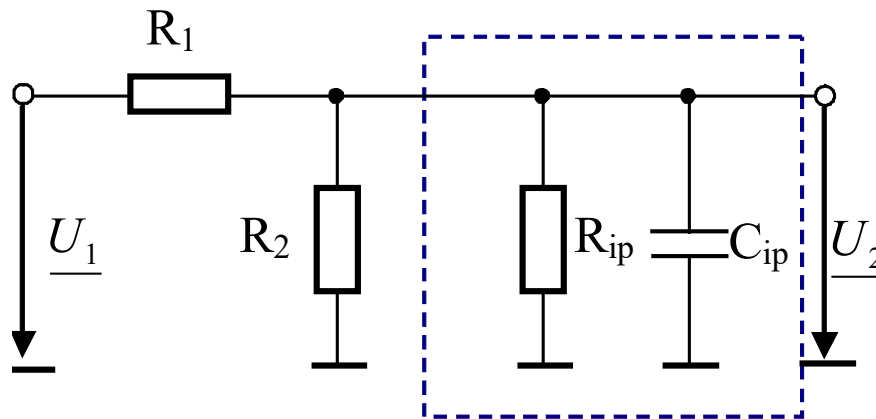
- patru atenuatori elementari ($1/2$, $1/5$, $1/10$, $1/100$)
- Ex: $A = 1/50 = 1/10 * 1/5$

Cy	10 mV/div	20 mV/div	50 mV/div	100 mV/div	200 mV/div	500 mV/div	1 V/div	2 V/div	5 V/div
Atenuare	1/1	1/2	1/5	1/10	1/20	1/50	1/100	1/200	1/500



Blocurile funcționale ale canalului Y

- atenuatorul - divizor rezistiv realizat cu rezistoarele R_1 și R_2 și având drept sarcină impedanța $Z_{ip}(\omega)$.

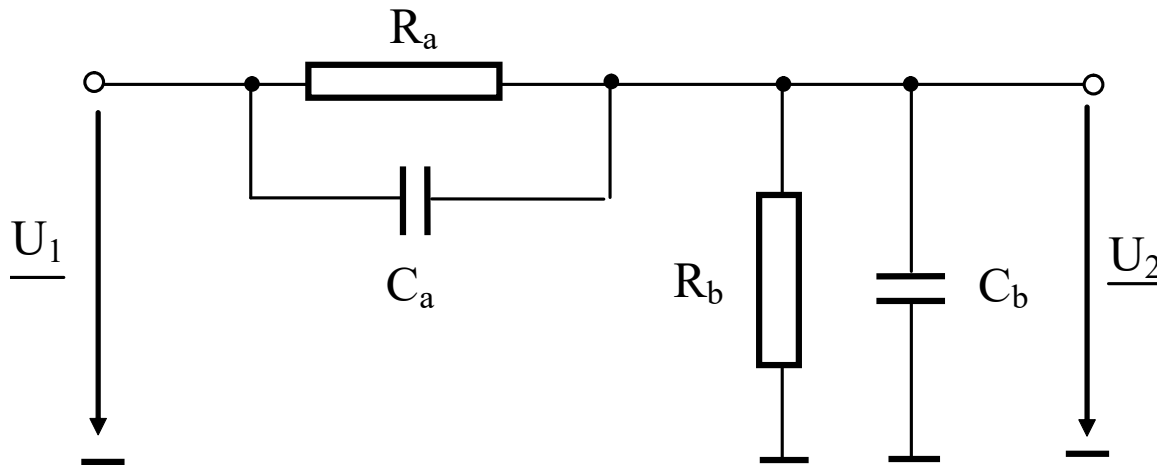


$$H(\omega) = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2 \parallel Z_{ip}(\omega)}{R_1 + R_2 \parallel Z_{ip}(\omega)}$$



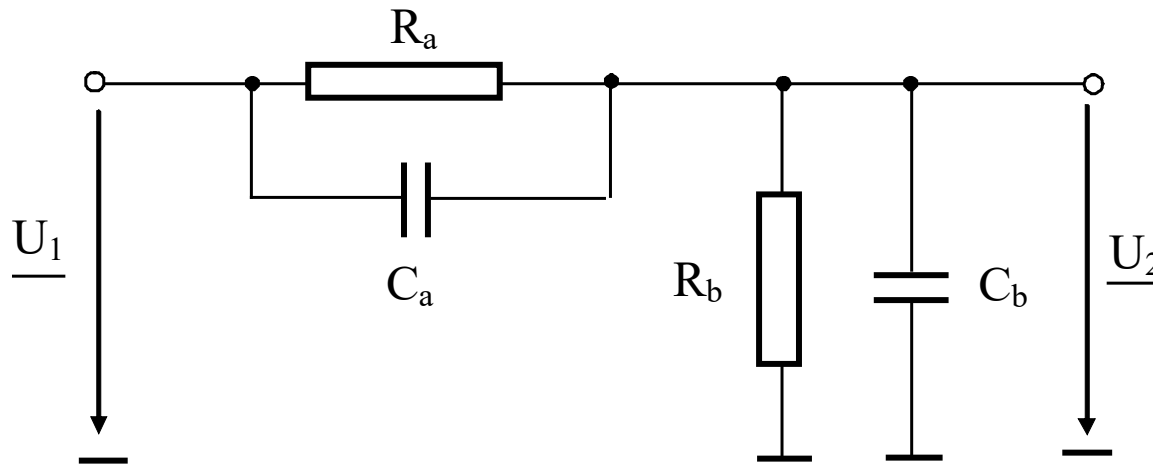
Blocurile funcționale ale canalului Y

- $Z_{ip}(\omega)$ scade cu f din cauza C_b ,
→ $H(\omega)$ scade
- pentru a compensa → C_a în paralel cu R_a , care să favorizeze trecerea frecvențelor înalte





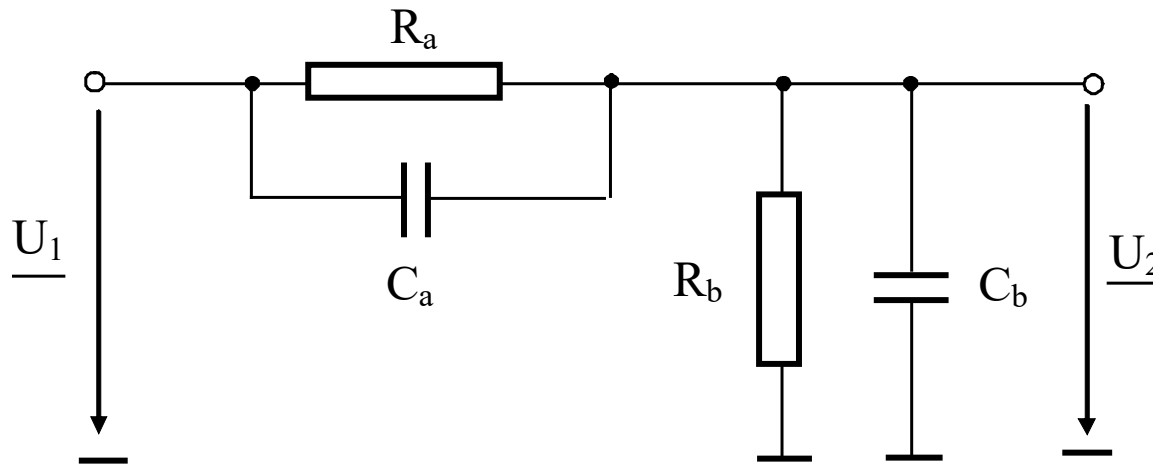
Blocurile funcționale ale canalului Y



$$H(\omega) = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{Z_b(\omega)}{Z_a(\omega) + Z_b(\omega)}$$



Blocurile funcționale ale canalului Y



$$Z_a(\omega) = R_a \parallel \frac{1}{j\omega C_a} = \frac{R_a}{1 + j\omega R_a C_a} = \frac{R_a}{1 + j\omega \tau_a}, \quad \tau_a = R_a C_a$$

$$Z_b(\omega) = R_b \parallel \frac{1}{j\omega C_b} = \frac{R_b}{1 + j\omega R_b C_b} = \frac{R_b}{1 + j\omega \tau_b}, \quad \tau_b = R_b C_b$$



Blocurile funcționale ale canalului Y

$$\begin{aligned} H(\omega) &= \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_b(1 + j\omega\tau_a)}{R_a + R_b + j\omega(R_a\tau_b + R_b\tau_a)} = \\ &= \frac{R_b}{R_a + R_b} \frac{1 + j\omega\tau_a}{1 + j\omega\left(\frac{R_a\tau_b + R_b\tau_a}{R_a + R_b}\right)} \end{aligned}$$

- La frecvențe joase

$$H(0) = \frac{R_b}{R_a + R_b} = k$$



Blocurile funcționale ale canalului Y

$$H(\omega) = \frac{R_b}{R_a + R_b} \frac{1 + j\omega\tau_a}{1 + j\omega \left(\frac{R_a\tau_b + R_b\tau_a}{R_a + R_b} \right)}$$

- Este de dorit ca funcția de transfer să nu depindă de frecvență, ceea ce se întâmplă dacă

$$\tau_a = \frac{R_a\tau_b + R_b\tau_a}{R_a + R_b} = \tau$$

- ceea ce implică

$$\tau_a = \tau_b = \tau$$

$$\tau_a = R_a C_a$$

$$\tau_b = R_b C_b$$



Blocurile funcționale ale canalului Y

- *condiția de compensare perfectă* a atenuatorului:

$$\tau_a = \tau_b = \tau$$

- Este foarte important ca această condiție să fie îndeplinită
 - constanța atenuării cu frecvența
 - răspunsul atenuatorului la un semnal compus nu este distorsionat.
- De exemplu, răspunsul atenuatorului compensat la $u_1(t) = \sigma(t)$ va fi $k\sigma(t)$



Blocurile funcționale ale canalului Y

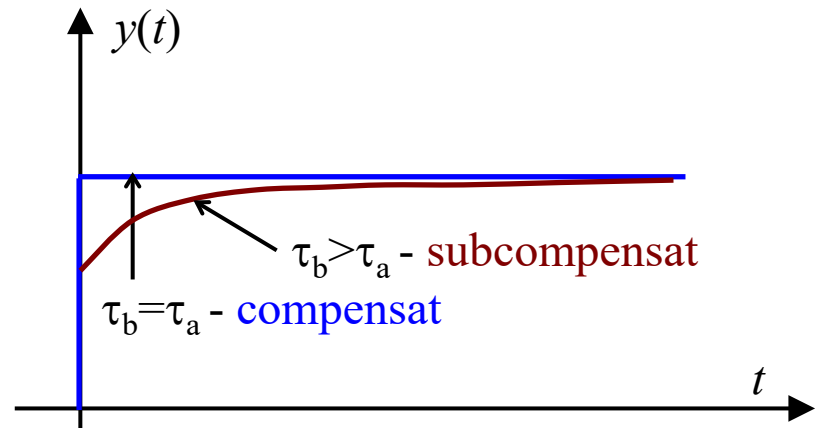
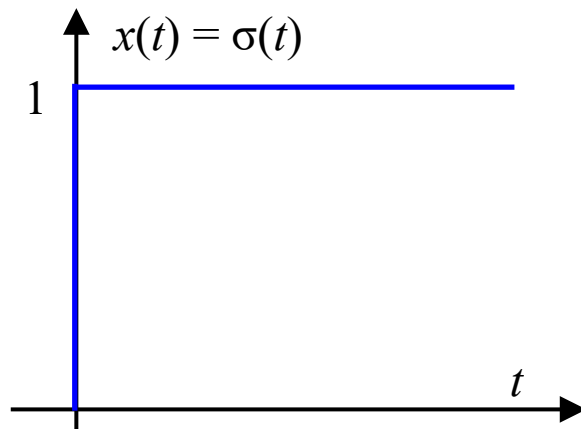
- În cazul în care $\tau_a \neq \tau_b$, atenuarea nu mai este constantă cu frecvența
 - erori în măsurarea amplitudinii unor semnale sinusoidale
 - semnalele cu o formă mai complexă vor fi distorsionate
- **Exemplu:** impuls treaptă aplicat la intrare
 - la ieșirea atenuatorului:

$$u_2(t) = k\sigma(t) + \frac{\tau_a - \tau_b}{(C_b + C_a)(R_b + R_a)} e^{-\frac{t}{\tau}} \sigma(t)$$



Blocurile funcționale ale canalului Y

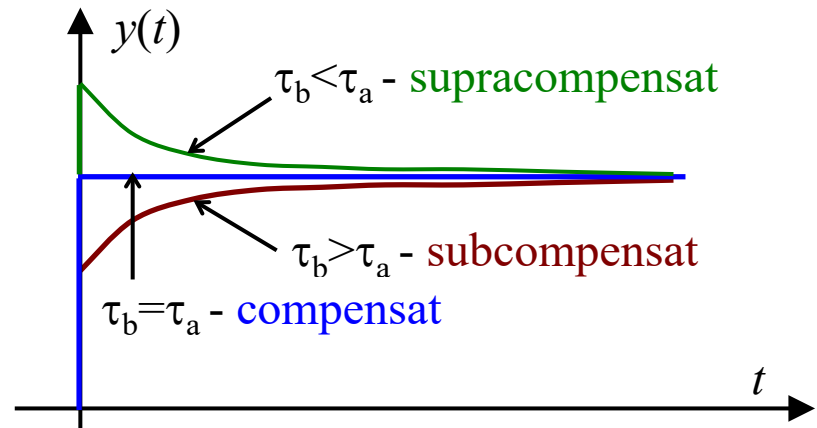
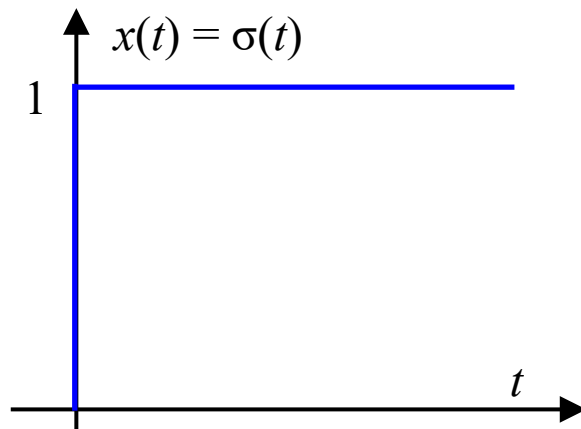
- Sunt posibile două situații:
 - $\tau_b > \tau_a$ – **atenuator subcompensat**;
 - defavorizează semnalele de f mari
 - termenul al doilea negativ \rightarrow distorsionare a frontului





Blocurile funcționale ale canalului Y

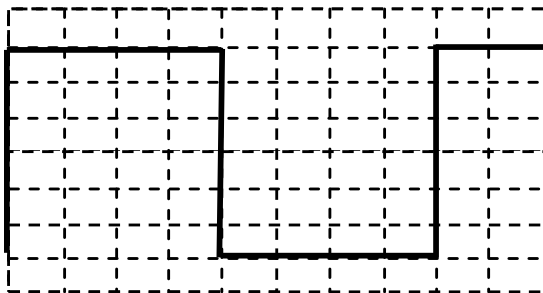
- Sunt posibile două situații:
 - $\tau_b < \tau_a$ – **atenuator supracompensat**;
 - favorizează semnalele de frecvențe înalte
 - termenul al doilea pozitiv \rightarrow supracreștere



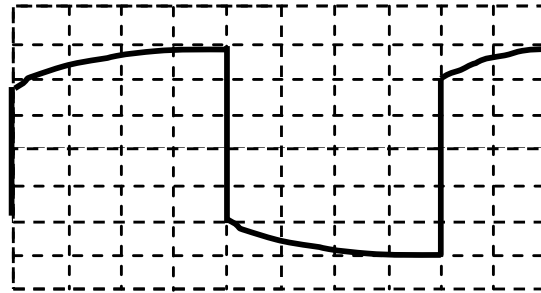


Blocurile funcționale ale canalului Y

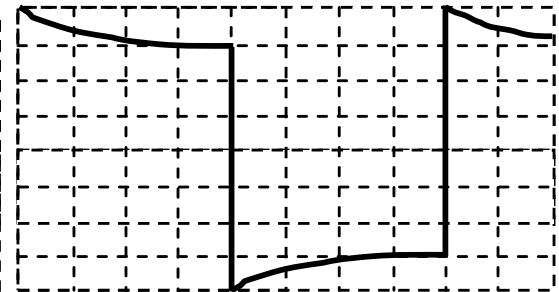
■ EXEMPLU:



Atenuator
compensat

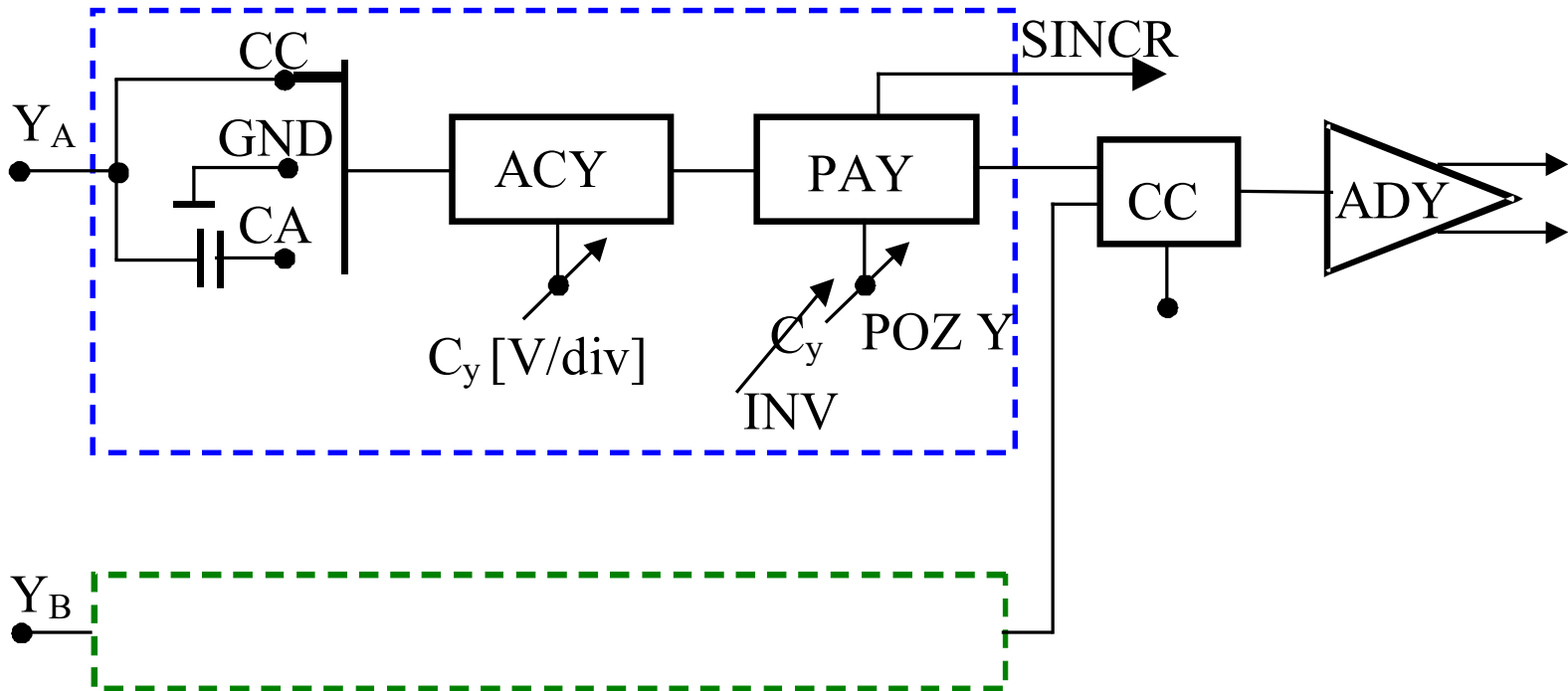


Atenuator
subcompensat



Atenuator
supracompensat

Blocurile funcționale ale canalului Y





Blocurile funcționale ale canalului Y

- *Preamplificatorul canalului Y* – Realizează o bună parte din funcțiunile specifice canalului Y:
 - o primă amplificare a semnalului de la ieșirea ACY
 - intrarea asimetrică → ieșire simetrică (diferențială)
 - impedanță de intrare mare ($R_{in}=1M\Omega$, $C_{in}=10\div 80pF$);
 - protecția la supratensiuni aplicate
 - extragerea unui semnal pentru sincronizarea internă



Blocurile funcționale ale canalului Y

- *Comutatorul de canale*
 - osciloscopul cu mai multe canale
 - dacă osciloscopul nu are decât un singur fascicol de electroni, nu pot fi afișate mai multe imagini simultan.



Blocurile funcționale ale canalului Y

- *Comutatorul de canale*
 - pentru vizualizare „simultană” a semnalelor de pe mai multe canale
 - rolul de a multiplexa semnalele care trebuie vizualizate
 - Exisă două moduri de vizualizare a mai multor canale:
 - modul alternat (**ALT**)
 - modul comutat (chopped - **CHOP**)



Blocurile funcționale ale canalului Y

■ Modul alternat

- semnale afișate alternat
- la fiecare cursă un semnal
- de exemplu, în cazul unui osciloscop cu două canale,
 - la cursele impare este afișat semnalul de pe canalul 1,
 - la cursele pare este afișat semnalul de pe canalul 2.
- T_d perioada desfășurărilor
- imaginea corespunzătoare unuia dintre canale este afișată cu $2T_d$
- dacă $t_p > 2T_d \rightarrow$ afișare simultană



Blocurile funcționale ale canalului Y

- **Modul alternat**
 - **frecvențe mari** (perioadă mică)
 - perioada mică → alternare rapidă
 - Probleme la frecvențe joase!!!



Blocurile funcționale ale canalului Y

■ Modul comutat

- eșantioane (fragmente) din cele două imagini
- CC cu f de ordinul sutelor de kHz
- comutare cu o f suficient de mare, cu o perioadă $T_c \ll T_d \rightarrow$ discontinuitate nesesizată de ochi.



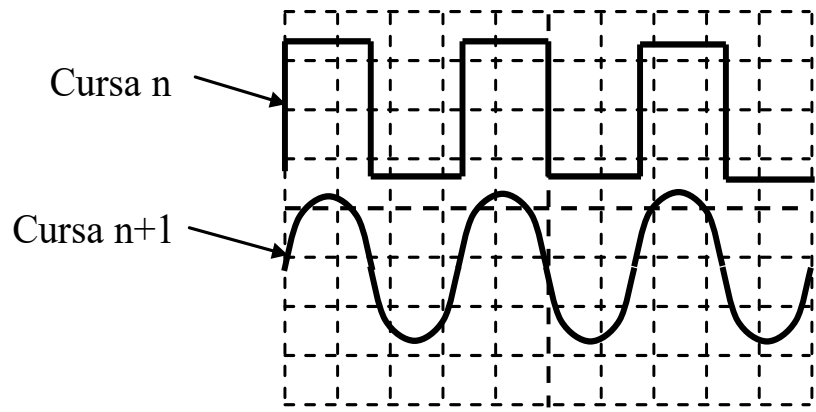
Blocurile funcționale ale canalului Y

■ Modul comutat

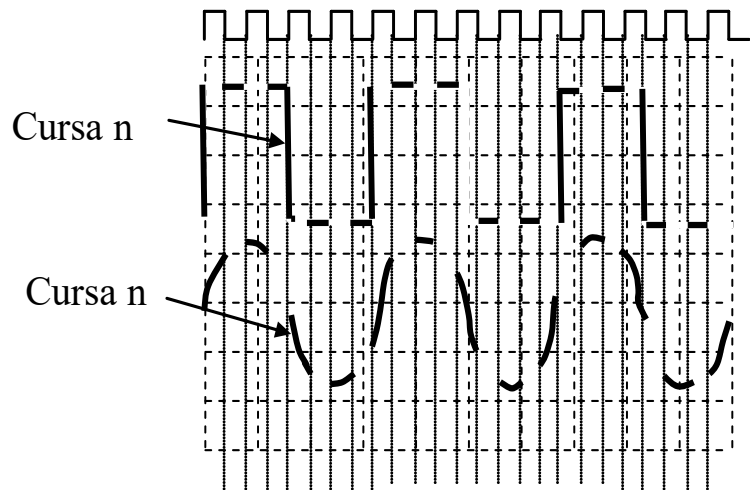
- **frecvențe joase**, unde inegalitatea de mai sus poate fi ușor îndeplinită.
- prescurtarea CHOP (de lb. Engleză – chopped)



Blocurile funcționale ale canalului Y



Modul ALT



Modul CHOP



Blocurile funcționale ale canalului Y

- *Amplificatorul de deflexie*
 - Amplificator diferențial de bandă largă
 - Are amplificare fixă
 - Funcționează la nivel mare