

**CURSUL 2**

CURS INTRODUCTIV

**Componente și circuite electronice pasive -  
CCEP**

---

# Cuprins

---

- Semnale electrice
- Caracteristici și parametri de circuit
- Reprezentarea mărimilor electrice la scară logaritmică

# Semnale electrice

---

Noțiunea de semnal este atașată unei mărimi fizice variabile, susceptibilă de a purta informație.

Dacă mărimea fizică variabilă nu este suportul unei informații, ea se numește **zgomot**.

În circuitele electrice se întâlnesc două tipuri de semnale electrice:

- *Tensiunea electrică* (prescurtat *tesiu*)
- *Curentul electric* (prescurtat *curent*)

# Ilustrarea noțiunii de semnal

---



# Notații pentru semnalele electrice

---

Orice semnal electric se notează printr-un *simbol literal* și unul sau mai mulți *indici*. Atât simbolul cât și indicii au dublă semnificație: prin numele literei și prin caracterul acesteia (majusculă sau minusculă). În cazul textelor editate, inclusiv scrierea cu caractere roman, italic sau bold are semnificații standardizate. Pentru a identifica aceste semnificații puteți consulta: <http://physics.nist.gov/cuu/Units/>.

*Numele literei folosite ca simbol* arată natura fizică a semnalului: *i* sau *I* pentru curenți și *v* sau *V* pentru tensiuni.

*Numele literei folosite ca indice* precizează condițiile de măsurare sau de definire a semnalelor: locul din circuit, starea circuitului, felul valorii (valoare medie, maximă, etc.). Exemple: indicii *i* sau *I* înseamnă intrare (de la *input*), iar *o* sau *O* înseamnă ieșire (de la *output*).

# Notații pentru semnalele electrice

---

*Simbolul imprimat cu caracter majusculă* desemnează o valoare constantă (tensiune continuă sau curent continuu) sau arată o valoare caracteristică a semnalului variabil (valoare maximă, medie, eficace etc.)

*Simbolul imprimat cu caracter minuscul* arată valoarea instantanee a unei mărimi variabile în timp.

*Majuscula utilizată ca indice* arată o valoare totală (constantă sau variabilă).

*Indicele minuscul* arată o valoare a componentei variabile a semnalului (valoare constantă sau variabilă).

# Notații pentru semnalele electrice

Cele patru combinații posibile pentru notația unei tensiuni de ieșire, cu semnificațiile lor:

*Notația pentru o tensiune de ieșire oarecare*

$$v_O$$

*Valoarea ei medie pe intervalul de timp  $T$*

$$V_O = \frac{1}{T} \cdot \int_T v_O(t) dt$$

*Valoarea instantanee a componentei variabile*

$$v_o = v_O - V_O$$

*Valoarea eficace a componentei variabile*

$$V_o = \sqrt{\frac{1}{T} \int_T v_o^2(t) dt}$$

$v_o$  – valoarea instantanee totală; combinația simbol minuscul și indice majuscul este notația generică pentru orice tip de semnal.

$V_O$  – valoarea constantă totală numită și valoare statică sau medie; este valoarea tensiunii în regim static (regim de curent continuu).

$v_o$  – valoarea instantanee a componentei variabile a tensiunii de ieșire; ea este egală prin definiție cu diferența dintre valoarea instantanee totală și valoarea statică.

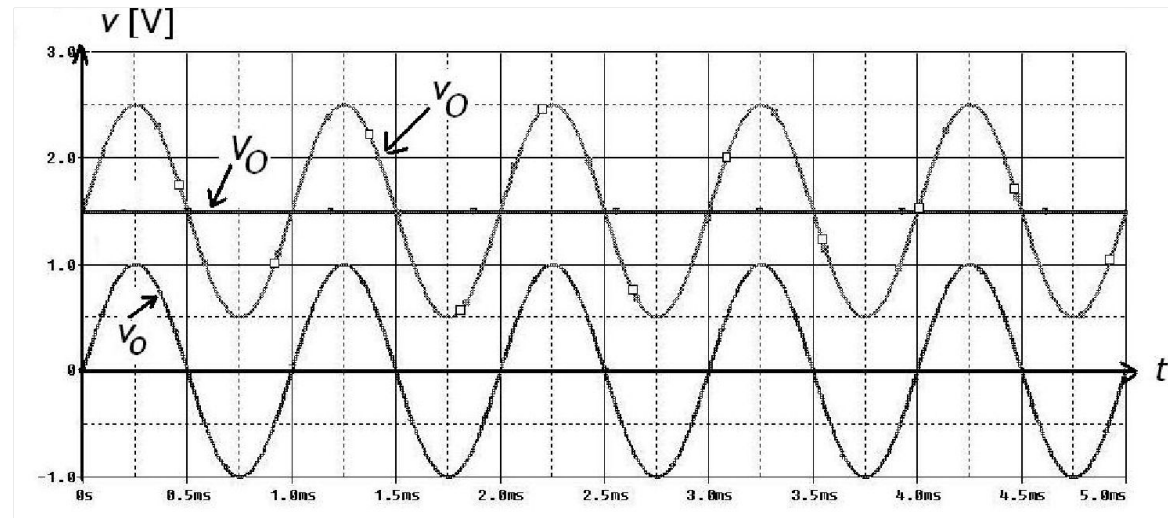
$V_o$  – valoarea eficace (efectivă) a componentei variabile a tensiunii de ieșire.

# Exemplificare

$$v_O = V_O + v_o = 1,5 + \sin 2000\pi t \text{ [V]}$$

$$V_O = 1,5 \text{ [V]}$$

$$v_o = A \cdot \sin \omega t = A \cdot \sin 2\pi f t = A \sin \frac{2\pi}{T} t = 1 \cdot \sin 2000\pi t \text{ [V]}$$





# Caracteristici și parametri de circuit

---

Transmitanțele circuitelor electronice sunt descrise de funcții liniare (pentru circuitele liniare) sau de funcții neliniare (pentru circuitele neliniare).

Reprezentarea grafică a acestor funcții se numește caracteristică electrică. În cazul circuitelor liniare ele se reprezintă prin drepte.

- Prin reprezentarea grafică a funcțiilor matematice care aproximează funcționarea circuitului  $\Rightarrow$  caracteristici teoretice. (Dacă funcțiile sunt approximate în scopul simplificării lor caracteristicile se numesc și ideale).
- Prin măsurători experimentale (măsurători)  $\Rightarrow$  caracteristici experimentale

Coordonatele anumitor puncte de pe caracteristicile circuitelor se numesc parametri de circuit.

# Familii de caracteristici

---

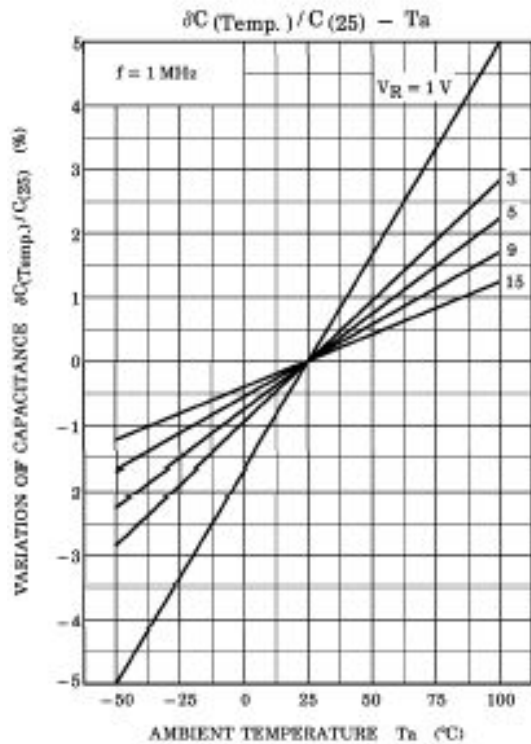
În majoritatea situațiilor o mărime electrică nu este funcție doar de o singură variabilă (electrică sau neelectrică).

Dependența unei caracteristici de o a doua (sau chiar a treia) mărime fizică se reprezintă sub forma familiilor de caracteristici în plan (sau în spațiu).

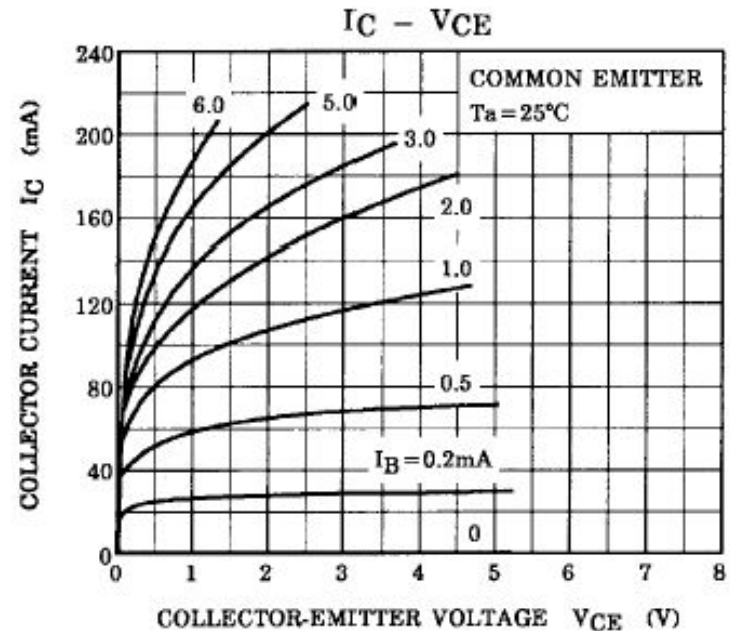
În comportarea circuitelor electronice o mărime neelectrică cu influență deosebită este temperatura, regăsind-o ca parametru pentru familii de caracteristici.

$$v = v(i, p) \} \Rightarrow \begin{array}{l} v = v(i) \Big|_{p=cst.} \text{ o caracteristică} \\ v = v(i) \Big|_{p=p1, p2, \dots} \text{ familie de caracteristici} \end{array}$$

# Familii de caracteristici - exemple



a) Familie de caracteristici liniare



a) Familie de caracteristici neliniare

# Clasificarea caracteristicilor și parametrilor de circuit

---

În general în cataloagele cu componente electronice se regăsesc următoarele categorii de caracteristici și parametri care au în vedere regimurile sau modurile de funcționare:

- Caracteristici/parametri statice/statici sau de curent continuu
- Caracteristici/parametri dinamice/dinamici sau de curent alternativ
- Caracteristici/parametri pentru regim tranzitoriu
- Caracteristici/parametri pentru influența mediului
- Caracteristici/parametri pentru puterea disipată

# Funcționarea în curent continuu

---

În acest regim de funcționare mărimile electrice sunt invariabile în timp (în intervalul de timp de observație).

Parametrii se pot referi la puncte semnificative de pe caracteristici sau la valori limită absolute, care dacă sunt depășite produc funcționarea incorectă a circuitului sau chiar defectarea lui.

# Funcționarea în curent alternativ

---


Funcționarea circuitului în prezența unor semnale variabile, de obicei sinusoidale.

Transmitanțele de la o poartă la alta se numesc amplificări sau atenuări (în funcție de valoarea modului: supra sau subunitară).


Suplimentar se definește și amplificarea în putere.

$$A_v =: \frac{v_o}{v_i} \text{ adimension ală}$$

$$A_i =: \frac{i_o}{i_i} \text{ adimension ală}$$


$$A_{v/i} =: \frac{v_o}{i_i} [\Omega]$$

$$A_{i/v} =: \frac{i_o}{v_i} [S]$$


$$A_p =: \frac{P_o}{P_i} \text{ adimension ală}$$

# Funcționarea în curent alternativ – reprezentarea în funcție de frecvență

---

Transmitanțele în curent alternativ sunt influențate de frecvență,  $f$ , (sau pulsație,  $\omega=2\pi f$ ), semnalelor.

Dependența transmitanțelor de frecvență se reprezintă prin caracteristici de frecvență.

Pentru reprezentarea în domeniul frecvență mărimile sinusoidale se descriu sub forma unor fazori (vectori rotitori):

$$v(t) = \sqrt{2}V \cos(\omega t + \varphi) \Rightarrow V(j\omega) = V \cdot e^{j\omega t + j\varphi}$$

<http://mathworld.wolfram.com/Phasor.html>

<http://www.physics.udel.edu/~watson/phys208/phasor-animation.html>

# Funcții de transfer

---

Raportul a două mărimi electrice de la două porți diferite reprezentate sub formă de fazori se numește *funcție de transfer*.

Funcția de transfer este o mărime complexă caracterizată de modul și de fază. În consecință reprezentarea ei în domeniul frecvență are două componente:

- Caracteristica modul-frecvență (raportul amplitudinilor)
- Caracteristica fază-frecvență (defazajul)

$$H(j\omega) = \frac{v_o(j\omega)}{v_i(j\omega)} = \text{Re}[H(j\omega)] + j\text{Im}[H(j\omega)]$$

$$|H(j\omega)| = \sqrt{\text{Re}^2[H(j\omega)] + \text{Im}^2[H(j\omega)]}$$

$$\varphi_{H(j\omega)} = \text{arctg} \frac{\text{Im}[H(j\omega)]}{\text{Re}[H(j\omega)]}$$



# Comportarea în regim tranzitoriu

---

Regimul tranzitoriu este tot un regim de funcționare la variații de semnal. Variația de semnal poate fi o modificare:

- de la o valoare statică la altă valoare statică;
- de la o valoare a frecvenței la altă valoare a frecvenței;

În cataloage regimul tranzitoriu este caracterizat în general prin parametri de regim tranzitoriu, care sunt valorile unor intervale de timp în care se desfășoară regimul tranzitoriu pentru o excitație specificată (timp de creștere, timp de cădere, timp de stabilire, timp de propagare, etc.).

# Influența mediului asupra circuitelor

---

Mediul ambiant acționează prin diferiți factori asupra circuitelor, în general acțiunea este perturbativă (excepția o constituie transductoarele).

Principalul factor de mediu care influențează funcționarea circuitelor este *temperatura*. Prin acțiunea ei se modifică procesele fizice din intimitatea circuitului (agitație termică, dimensiuni, etc.) determinând în felul acesta modificarea parametrilor electrici.

Aceste modificări sunt caracterizate prin coeficienți de temperatură definiți pentru anumiți parametri:

$$\alpha_T^p = \frac{p(T1) - p(T2)}{T1 - T2}$$

# Puterea disipată

---

Fenomenele electronice din circuite sunt însoțite inevitabil și de o disipare de putere sub formă de căldură. Acumularea căldurii poate duce la creșterea semnificativă a temperaturii din vecinătatea circuitelor având apoi ca și consecință modificarea parametrilor funcționali ai circuitelor.

De aceea în cataloage sunt specificați și parametri prin care se limitează puterea disipată.

Nu toți parametrii ce specifică valori limită au legătură cu puterea disipată de circuite, existând și alte tipuri de fenomene distructive.

# Puterea disipată în c.c.

---

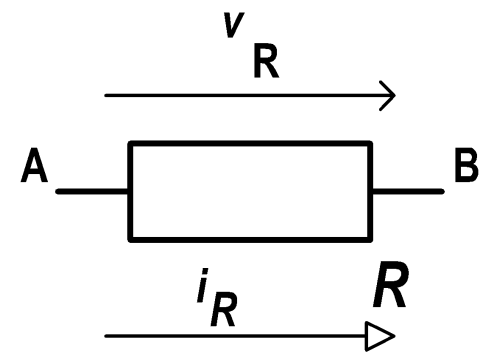
În general puterea se disipă de către un circuit indiferent de regimul de funcționare, în c.c., în c.a. sau în regim tranzitoriu.

- Pentru o rezistență  $R$  căreia  $i$  se aplică în c.c. tensiunea  $V_R = \text{constantă}$ , curentul prin ea va fi:

$$I_R = \frac{V_R}{R}$$

- Puterea disipată de această rezistență este:

$$P = V_R \cdot I_R = \frac{V_R^2}{R} = R \cdot I_R^2$$



# Puterea disipată în c.a.

$$v_R(t) = V_{\max} \sin(\omega t)$$

- Curentul prin rezistență va fi:

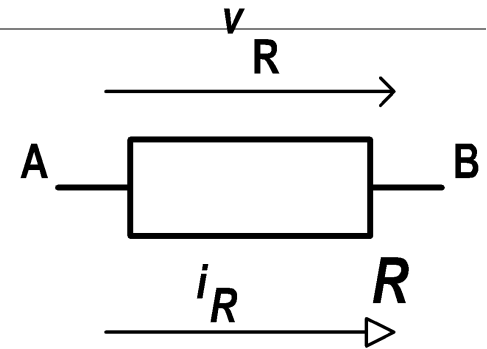
$$i_R(t) = \frac{v_R(t)}{R} = \frac{V_{\max}}{R} \sin(\omega t)$$

- Puterea instantanee disipată de rezistență este:

$$p(t) = v_R(t) \cdot i_R(t) = \frac{V_{\max}^2}{R} \sin^2(\omega t)$$

- Puterea medie disipată pe o perioadă (sau un număr întreg de perioade) este:

$$P_{\text{med}} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{V_{\max}^2}{R} \sin^2(\omega t) dt = \frac{1}{R} \frac{1}{T} \int_0^T V_{\max}^2 \sin^2(\omega t) dt = \frac{V_{\text{ef}}^2}{R} = R \cdot I_{\text{ef}}^2$$



# Toleranța parametrilor electrici

---

Valorile indicate în cataloage pentru parametri sunt valorile (țintă) pe care producătorul dorește să le obțină, ele numindu-se *valori nominale*.

Datorită diferiților factori (imperfecțiunile și fluctuațiile proceselor tehnologice, costuri reduse, etc.) valorile parametrilor se obțin în proximitatea valorilor nominale. Prin măsurători selective producătorii oferă numai acele componente care au parametrii încadrați în anumite limite stabilite în jurul valorii nominale. Această abatere maximă acceptată pentru parametrul real față de valoarea nominală se numește *toleranță*.

# Exprimarea toleranței

---

Toleranța poate fi exprimată în mod absolut, specificându-se valorile minime și maxime admise pentru parametru.

Exprimarea procentuală reflectă abaterea maximă admisibilă pentru valoarea reală față de cea nominală.

Cunoscând toleranța procentuală se poate determina toleranța absolută.

$$p_{nom} \in [p_{min}, p_{max}]$$

$$t_p = \pm \max \frac{|p - p_{nom}|}{p_{nom}}$$

$$p \in [p_{nom}(1 - t_p), p_{nom}(1 + t_p)]$$

# Reprezentarea mărimilor electrice la scară logaritmică

---

Prin reprezentarea la scară logaritmică se înlocuiește reprezentarea unei variabile  $x$  prin reprezentarea logarimului său zecimal,  $lgx$  (sau natural  $lnx$ ).

Reprezentarea logaritmică se poate face numai pentru valori pozitive ale variabilei. Pentru a asigura această condiție se reprezintă de obicei modulul variabilelor.

- Prin logaritmare vechea origine a axelor devine  $-\infty$ .
- Vechile valori subunitare devin negative, iar vechile valori supraunitare devin valori pozitive.



# Utilizarea logaritmilor în tehnică

---

Ce avantaje are utilizarea logaritmilor în tehnică?

- Permite comprimarea domeniului în care se reprezintă mărimile.
- Conduce la obținerea unor caracteristici liniarizate
- Transformă operațiile de înmulțire/împărțire în operații de adunare/scădere  $\Rightarrow$  aceste operații se pot efectua și grafic.

$$\lg \frac{a(b+c)}{(d+e)} = \lg a + \lg(b+c) - \lg(d+e)$$

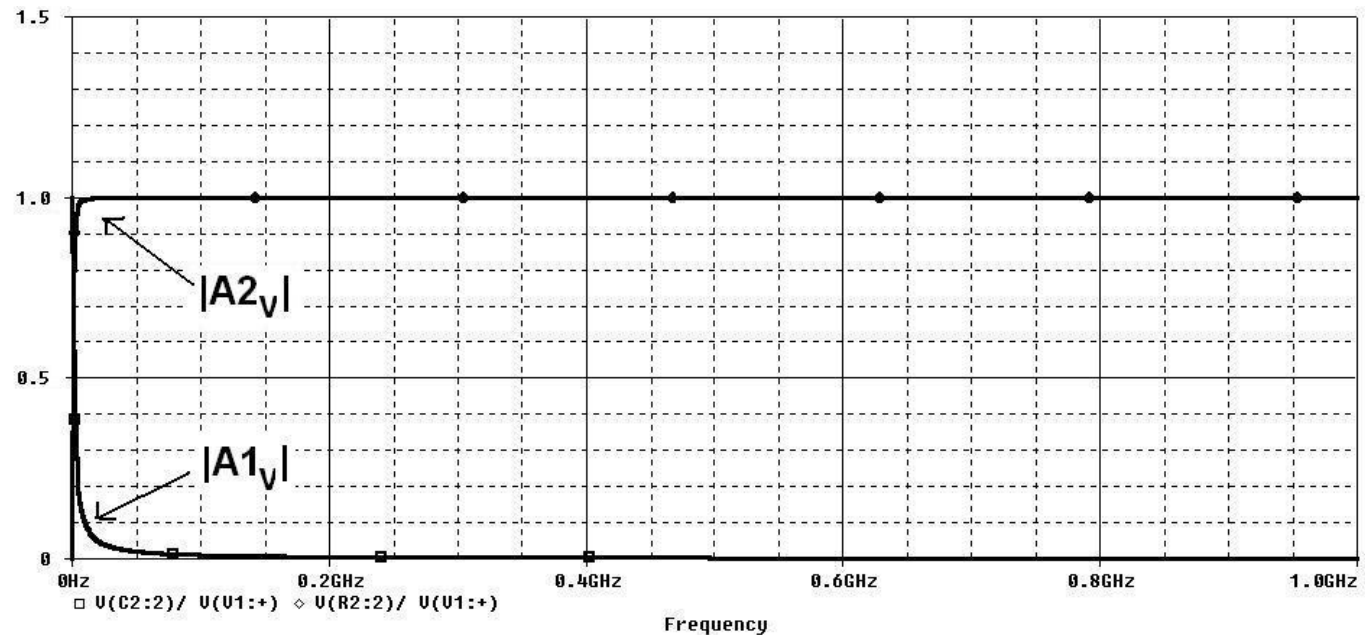
# Reprezentare liniară - exemplu

Ilustrăm reprezentarea la scară liniară a modulelor următoarelor funcții complexe.

Reprezentarea se face pentru un domeniu al frecvențelor cuprinse între 1000Hz și 1000MHz.

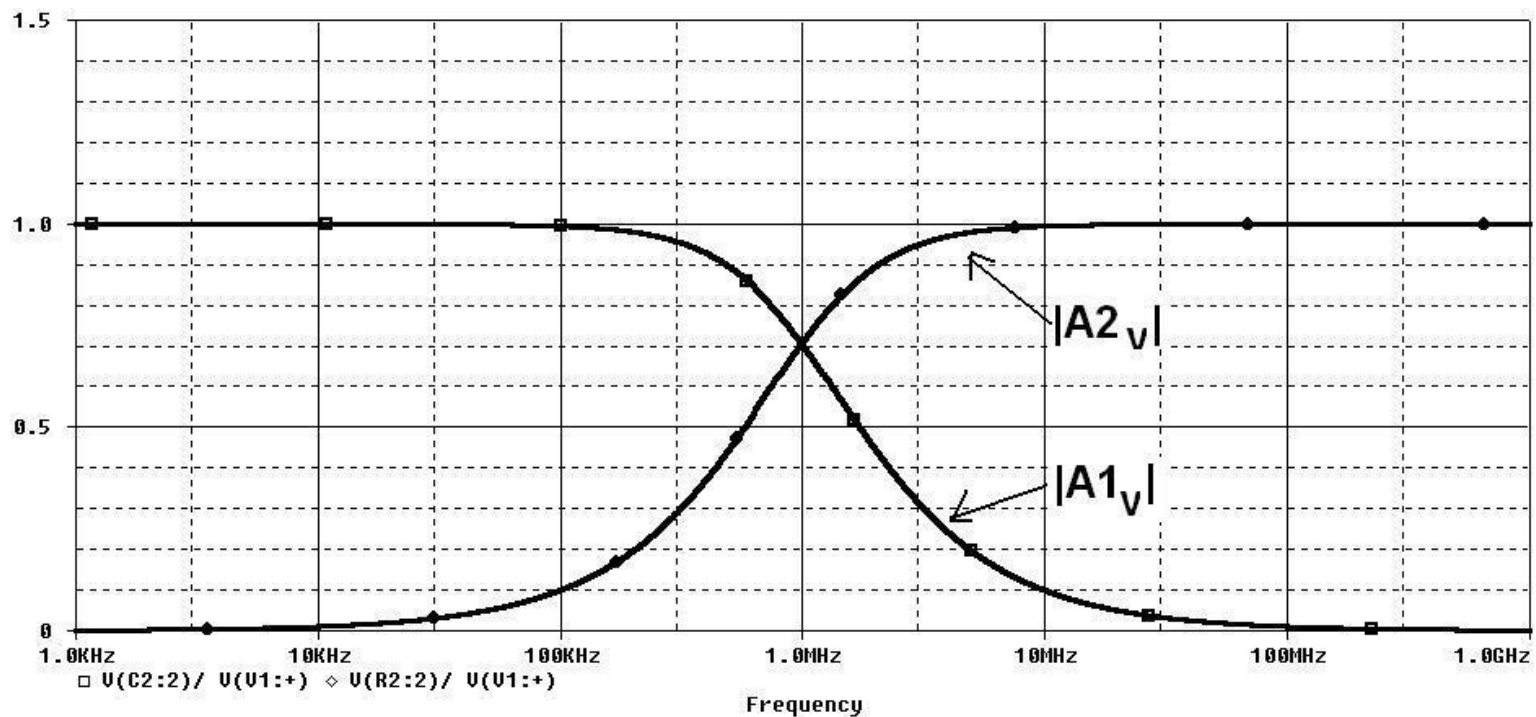


$$A1_v = \frac{1}{1 + j \cdot f \cdot 10^{-6}}$$
$$A2_v = \frac{j \cdot f \cdot 10^{-6}}{1 + j \cdot f \cdot 10^{-6}}$$



# Reprezentare simplu logaritmică - exemplu

Modulele aceluiași funcții sunt reprezentate acum într-o scară simplu logaritmică, obținută prin logaritmare a axei frecvențelor. Se observă comprimarea ce se obține pentru domeniul frecvențelor (înalte).



# Caracterizarea mărimilor electrice prin rapoarte logaritmice

---

**Rapoartele de transfer** reprezintă logaritmii unor rapoarte adimensionale referitoare la mărimile de intrare și de ieșire ale unui sistem și servesc pentru caracterizarea proprietăților de transfer ale sistemului (exemple: *amplificarea unui etaj, atenuarea unei linii, atenuarea unui ecran*).

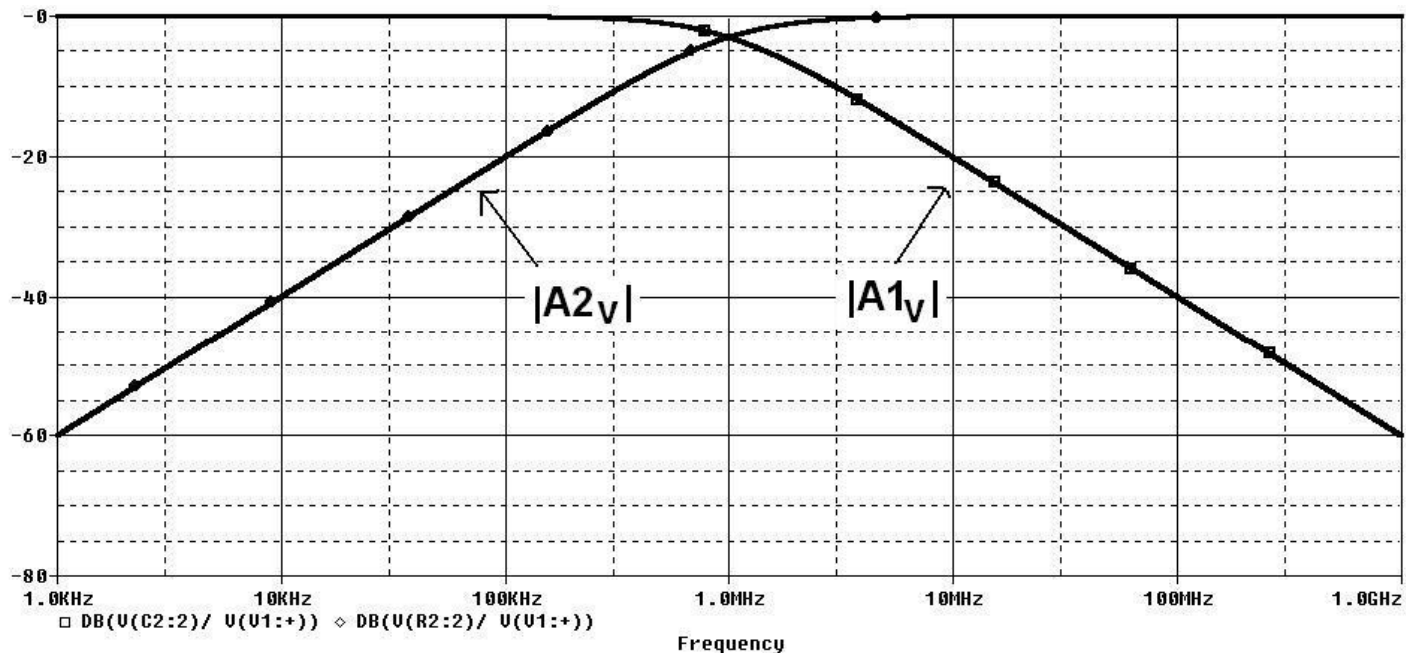
$$A_v[\text{dB}] = 20 \lg |A_v|$$

$$A_i[\text{dB}] = 20 \lg |A_i|$$

$$A_p[\text{dB}] = 10 \lg |A_p|$$

# Reprezentarea dublu logaritmică - exemplu

Este reluată reprezentarea modulelor funcțiilor din exemplele precedente, reprezentarea logarimică realizându-se și pe axa verticală, modulele fiind exprimate în decibeli. Se observă liniarizarea pe porțiuni obținută pentru modulele celor două funcții.



# Reprezentarea prin diagrame Bode

---

Metoda diagramelor Bode presupune înlocuirea reprezentării graficelor la scară dublu logaritmică cu asimptotele și tangentele ce se pot duce la aceste grafice.

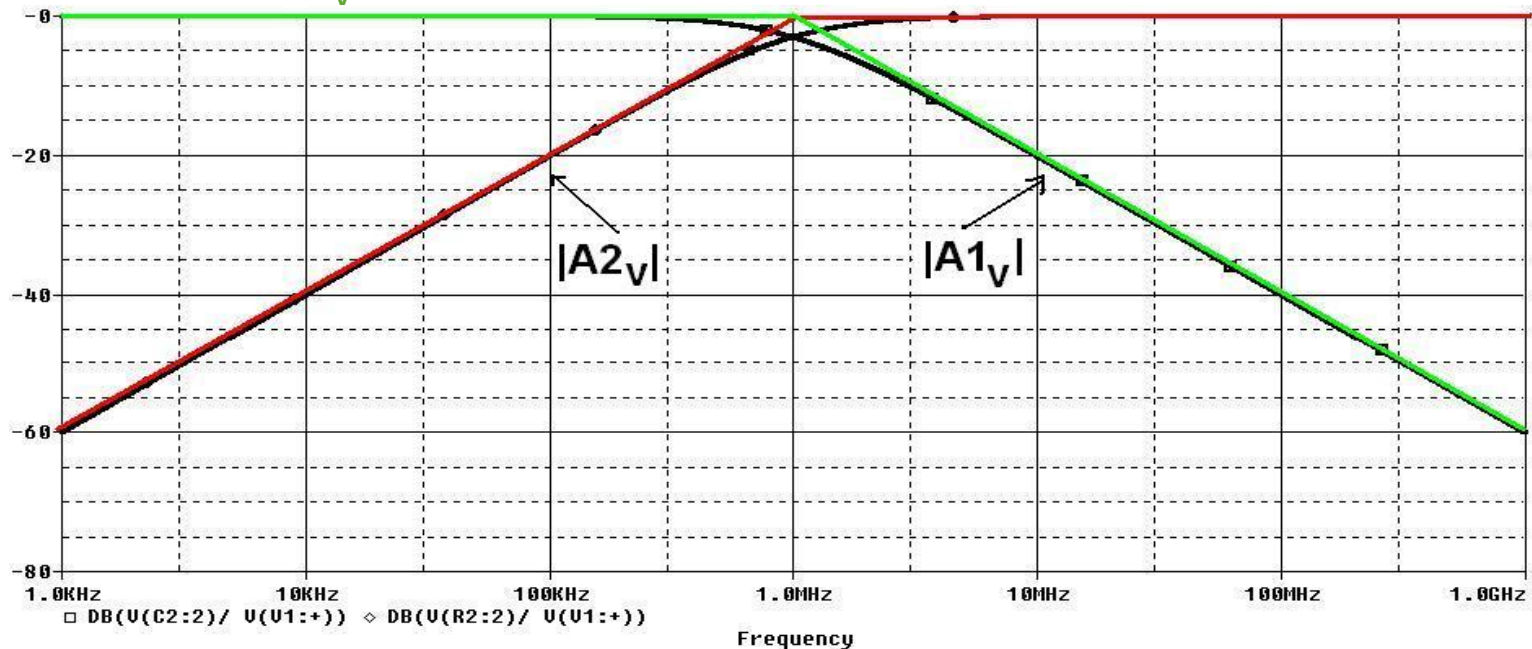
Se obține o reprezentare grafică numai prin semidrepte și segmente de dreaptă.

Acest tip de reprezentare permite o foarte facilă operație de însumare grafică.

# Reprezentarea prin diagrame Bode - exemplu

În figura alăturată este completată reprezentarea anterioară cu diagramele Bode atașate celor două funcții.

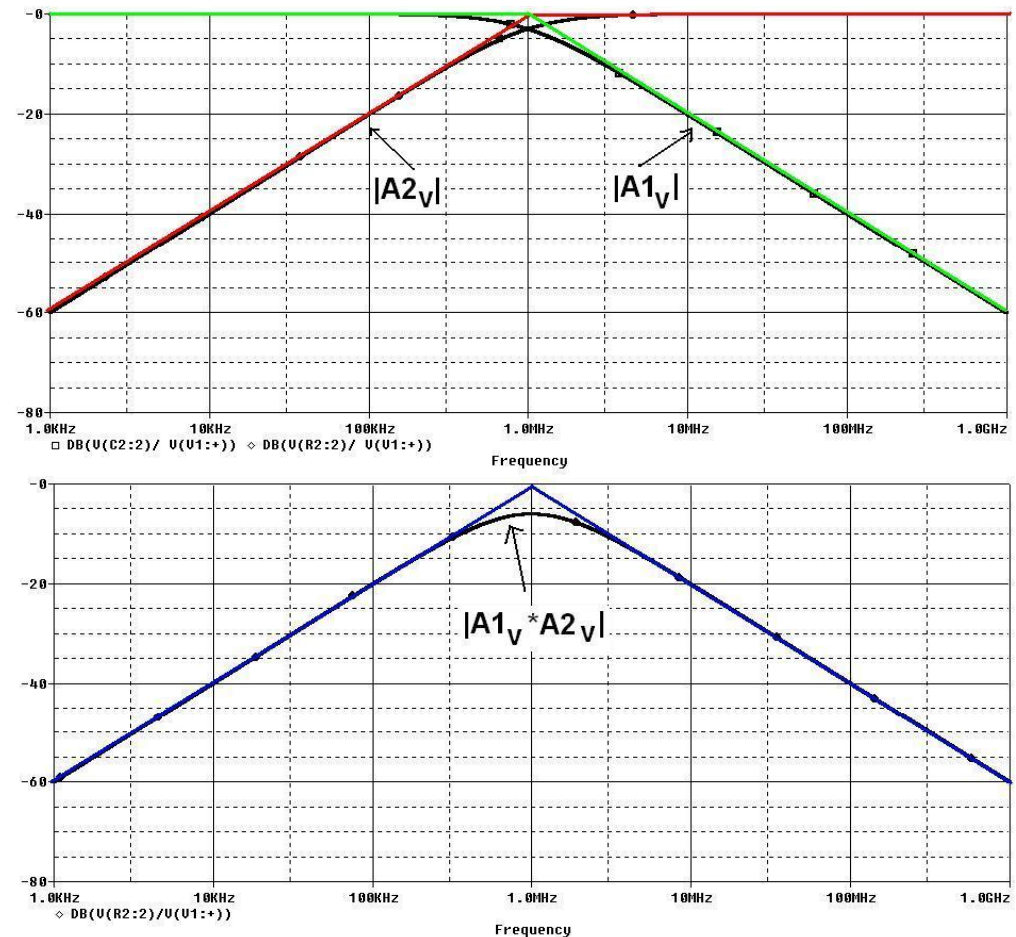
- Cu verde pentru  $|A1_v|$ ;
- Cu roșu pentru  $|A2_v|$ ;



# Însumarea grafică a diagramelor Bode - exemplu

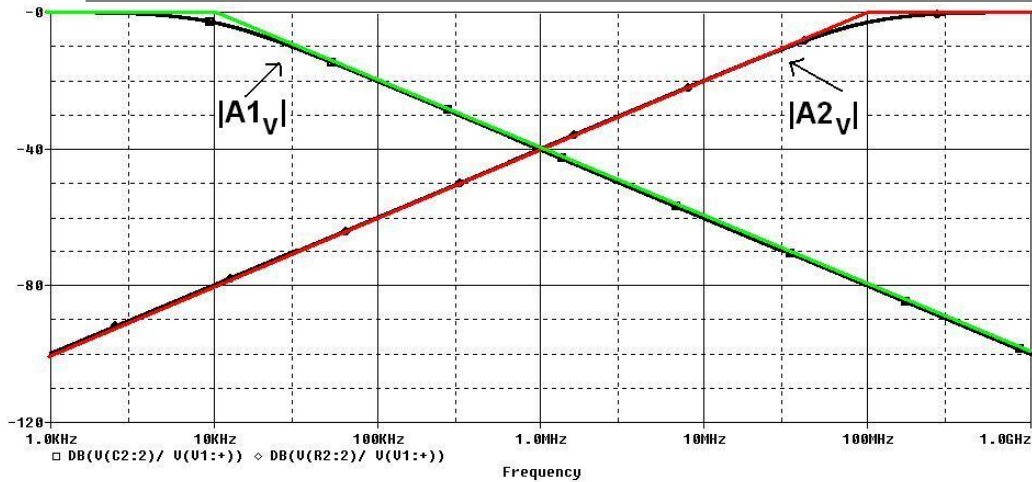
În figura de jos este reprezentat la scară logaritmică (negru) și prin diagrame Bode (albastru) modulul amplificării:

$$\begin{aligned} A_v[\text{dB}] &= 20 \lg(A1_v \cdot A2_v) = \\ &= 20 \lg(A1_v) + 20 \lg(A2_v) = \\ &= A1_v[\text{dB}] + A2_v[\text{dB}] \end{aligned}$$



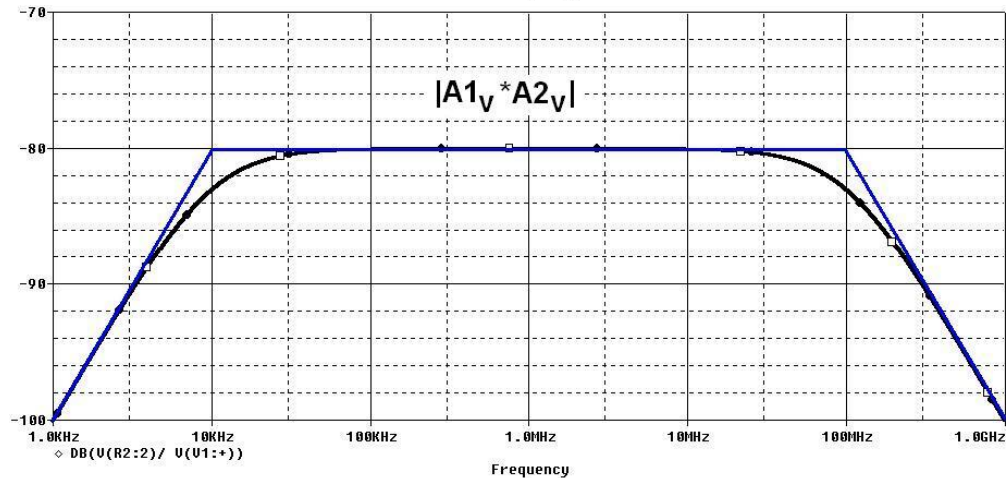


# Exemplu 1 - utilizarea diagramelor Bode

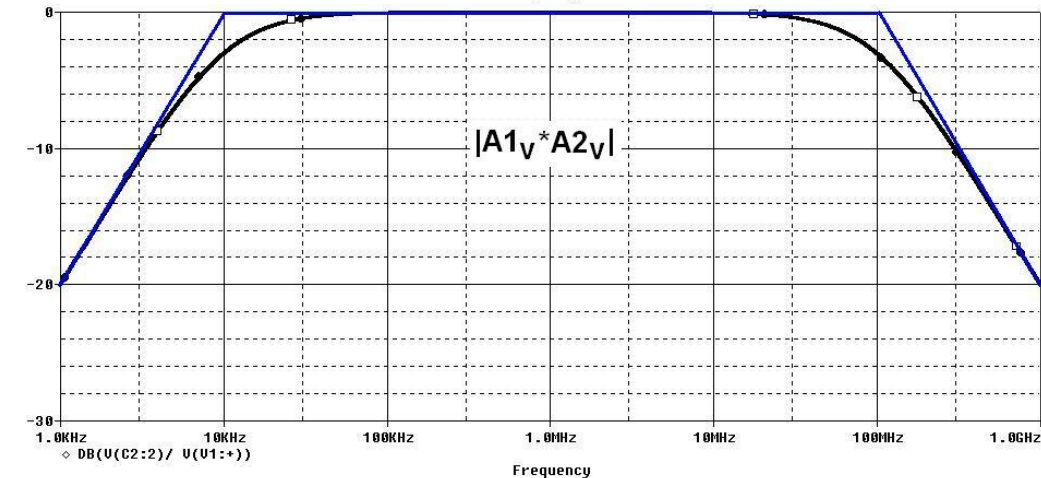
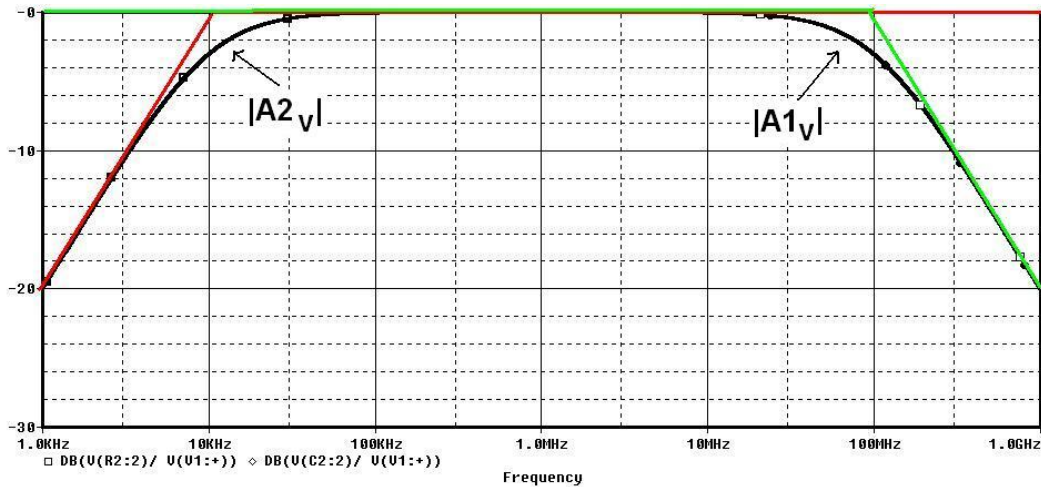


$$A1_v = \frac{1}{1 + j \cdot f \cdot 10^{-4}}$$

$$A2_v = \frac{j \cdot f \cdot 10^{-8}}{1 + j \cdot f \cdot 10^{-8}}$$



# Exemplu 2 - utilizarea diagramelor Bode



$$A_{1v} = \frac{1}{1 + j \cdot f \cdot 10^{-8}}$$

$$A_{2v} = \frac{j \cdot f \cdot 10^{-4}}{1 + j \cdot f \cdot 10^{-4}}$$

# Nivele de semnale

---

**Nivelele de semnale absolute** raportează mărimile din sistem la o valoare de referință fixată.

**Nivelele relative de semnale** raportează semnalul analizat la un semnal a cărui valoare nu este cunoscută.



$$V_{\text{dB}} = 20 \lg \frac{V_x}{V_0} [\text{dB}_{\mu\text{V}}]$$

□ Nivel de tensiune-valoarea de referință este  $V_0=1\mu\text{V}$

$$I_{\text{dB}} = 20 \lg \frac{I_x}{I_0} [\text{dB}_{\mu\text{A}}]$$

□ Nivel de curent-valoarea de referință este  $I_0=1\mu\text{A}$

$$P_{\text{dB}} = 10 \lg \frac{P_x}{P_0} [\text{dB}_{\text{pW}}]$$

□ Nivel de putere-valoarea de referință este  $P_0=1\text{pW}$

# Nivele absolute în dB

---

- **Observația 1-** Cunoscând valoarea nivelului absolut se poate reconstitui ușor valoarea semnalului:



$$V_{\text{volt}} = 10^{\frac{V_{\text{dB}}}{20}} \times 1\mu\text{V}$$

- **Observația 2-** Dacă rezistența  $R_x$ , pe care se măsoară semnalul caracterizat prin nivel, este egală cu rezistența  $R_0$ , pe care se măsoară semnalul de referință, atunci valoarea în dB a nivelului de putere coincide numeric cu nivelele de tensiune și de curent în dB.

$$P_{\text{dB}} = 10 \lg \frac{P_x}{P_0} = 10 \lg \frac{\frac{V_x^2}{R_x}}{\frac{V_0^2}{R_0}} = 10 \lg \left( \frac{V_x}{V_0} \right)^2 = 20 \lg \frac{V_x}{V_0} = V_{\text{dB}}; \quad R_x = R_0$$

# Nivele absolute în dB

---

- **Observația 3** - Dacă se cunoaște valoarea puterii în dB și valoarea rezistenței pe care se măsoară aceasta atunci nivelele absolute de tensiune și de curent se pot deduce astfel:

$$V_{\text{dB}} = P_{\text{dB}} + 10 \lg(R / 1\Omega) \text{ respectiv } I_{\text{dB}} = P_{\text{dB}} - 10 \lg(R / 1\Omega)$$

- **Exemple** - Următoarele nivele exprimate în dB au corespondente valoarea rapoartelor indicate:

$$3\text{dB} \leftrightarrow 2^{1/2}$$

$$6\text{dB} \leftrightarrow 2;$$

$$20\text{dB} \leftrightarrow 10;$$

$$120\text{dB} \leftrightarrow 10^6$$

# Nivele absolute în Np

---

Dacă în locul logaritmilor zecimali care s-au folosit pentru exprimarea rapoartelor în dB, se folosesc logaritmi naturali (*Neperieni*), nivelele vor fi exprimate în *Neperi (Np)*.



Relațiile de transformare din Np în dB și invers sunt următoarele: **1Np≈8,686dB**, **1dB≈0.115Np**

$$V_{\text{Np}} = \ln \frac{V_x}{V_0} [\text{Np}]$$

$$I_{\text{Np}} = \ln \frac{I_x}{I_0} [\text{Np}]$$

$$P_{\text{Np}} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_x}{P_0} [\text{Np}]$$

# Operații cu nivele de semnale - exemplu

---

Pe o rezistență de  $50 \Omega$  se măsoară  $V_{\text{dB}} = 120 \text{ dB}_{\mu\text{V}}$ . Cât este nivelul absolut de putere? Dar cel al curentului ce o parcurge?

## Varianta 1

$$V_{\text{volt}} = 10^{\frac{V_{\text{dB}}}{20}} \times 1 \mu\text{V} = 10^{\frac{120}{20}} \times 10^{-6} = 1 \text{ V}$$

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{1}{50} = 20 \text{ mW}$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1}{50} = 20 \text{ mA}$$

$$P_{\text{dB}} = 10 \lg \frac{20 \cdot 10^{-3}}{10^{-12}} = 10 \lg(20 \cdot 10^9) \cong 103 \text{ dB}$$

$$I_{\text{dB}} = 20 \lg \frac{20 \cdot 10^{-3}}{10^{-6}} = 20 \lg(20 \cdot 10^3) \cong 86 \text{ dB}$$

## Varianta 2

$$\begin{aligned} P_{\text{dB}} &= V_{\text{dB}} - 10 \lg(R/1 \Omega) = \\ &= 120 - 10 \lg \frac{50}{1} \cong 120 - 17 = 103 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{dB}} &= P_{\text{dB}} - 10 \lg(R/1 \Omega) = \\ &= 103 - 10 \lg \frac{50}{1} \cong 103 - 17 = 86 \text{ dB} \end{aligned}$$