Les Filtres du 2$^{\text{iéme}}$ ordre

Définitions

- **Rôle d'un filtre**
  - Laisser passer certains signaux de fréquence (utiles).
  - Diminuer ou supprimer les signaux de fréquence indésirable.
  - Modifier la phase d'un signal par rapport à un autre (avance de phase ou retard de phase).

Définitions

Types de filtres

- Passe haut : laisse passer les fréquences hautes,
- Passe bas : laisse passer les fréquences basses,
- Passe bande : élimine les fréquences basses et hautes,
- Coupe bande : laisser passer les fréquences basses et hautes en éliminant les fréquences moyennes.

Filtres passifs et actifs

- filtre passif : composé uniquement de composants passifs (R, L, C),
- filtre actifs : composé de composants passifs et d'amplificateurs.

Ordre d'un filtre

La fonction de transfert générale d'un filtre est de la forme

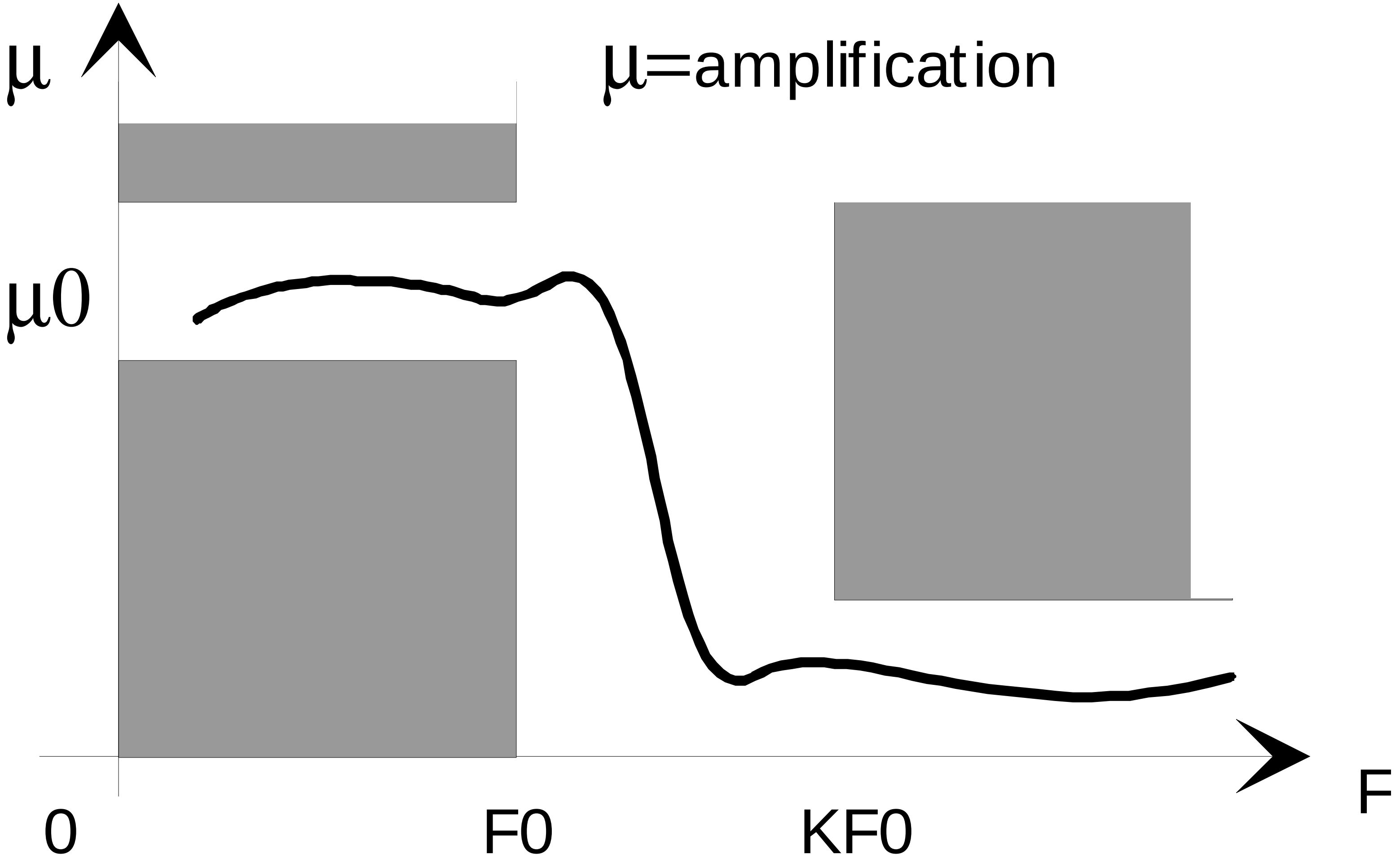
$$\mu = \frac{A}{a\omega^n + b\omega^{n-1} + \ldots}$$ avec n = ordre du filtre.

Exemple :

Filtre du premier ordre $\mu = \dfrac{\mu_0}{1 + j\dfrac{\omega}{\omega_0}}$ (ici un passe bas)

Filtre du deuxième ordre $\mu = \dfrac{\mu_0}{1 - \delta_0^{\,2}\omega^2 + a\omega j}$ (ici un passe bas).

Gabarit d'un filtre



Tracé des réponses d'un filtre : diagrammes de Bode

- **Intérêt des diagrammes de Bode**
  - L'axe des abscisses est en cordonnées logarithmiques : compression dans l'axe des fréquences (ou des pulsations).
  - En ordonné les asymptotes des modules sont des sommes ou des différences de droites.

Tracé direct des diagrammes de Bode

- **Forme générale** $\frac{N}{D}$ **(degré de N < au degré de D)**
- **Conditions du tracé direct**
  - Déterminants > 0
  - Pour tracer la FT dans le plan de Bode il faut mettre celle-ci sous la forme de produits de FT élémentaires du premier ordre.

$$\frac{(1+jt_1w)(1+jt_2w)\ldots}{(1+jt_1^{'}w)(1+jt_2^{'}w)\ldots}$$

- Exemple

$$\frac{A}{(jw)^2 a+(jw)b+c}=\frac{A/c}{(jw)^2 a/c+(jw)b/c+1}=$$

$$\frac{A/c}{(1+jt_1w)(1+jt_2w)}=\frac{A/c}{(jw)^2 t_1t_2+(jw)(t_1+t_2)+1}$$

Tracé des diagrammes de Bode

$$\frac{(1+jt_1w)(1+jt_2w)\ldots}{(1+jt_1^{'}w)(1+jt_2^{'}w)\ldots}=\frac{\left(1+j\frac{w}{w_1}\right)\left(1+j\frac{w}{w_2}\right)\ldots}{\left(1+j\frac{w}{w_1^{'}}\right)\left(1+j\frac{w}{w_2^{'}}\right)\ldots}$$

- **Tracé des courbes de phase**
  - Au numérateur chaque pôle déphase de :
    - $+\pi/2$ pour $\omega \to \infty$ ($\pi/4$ pour $\omega=1/\tau$) et provoque sur l'asymptote oblique une augmentation du gain de 20db / décade.
  - Au dénominateur chaque pôle déphase de :
    - $-\pi/2$ pour $\omega \to \infty$ ($-\pi/4$ pour $\omega=1/\tau'$) et provoque sur l'asymptote oblique une diminution du gain de -20db / décade.

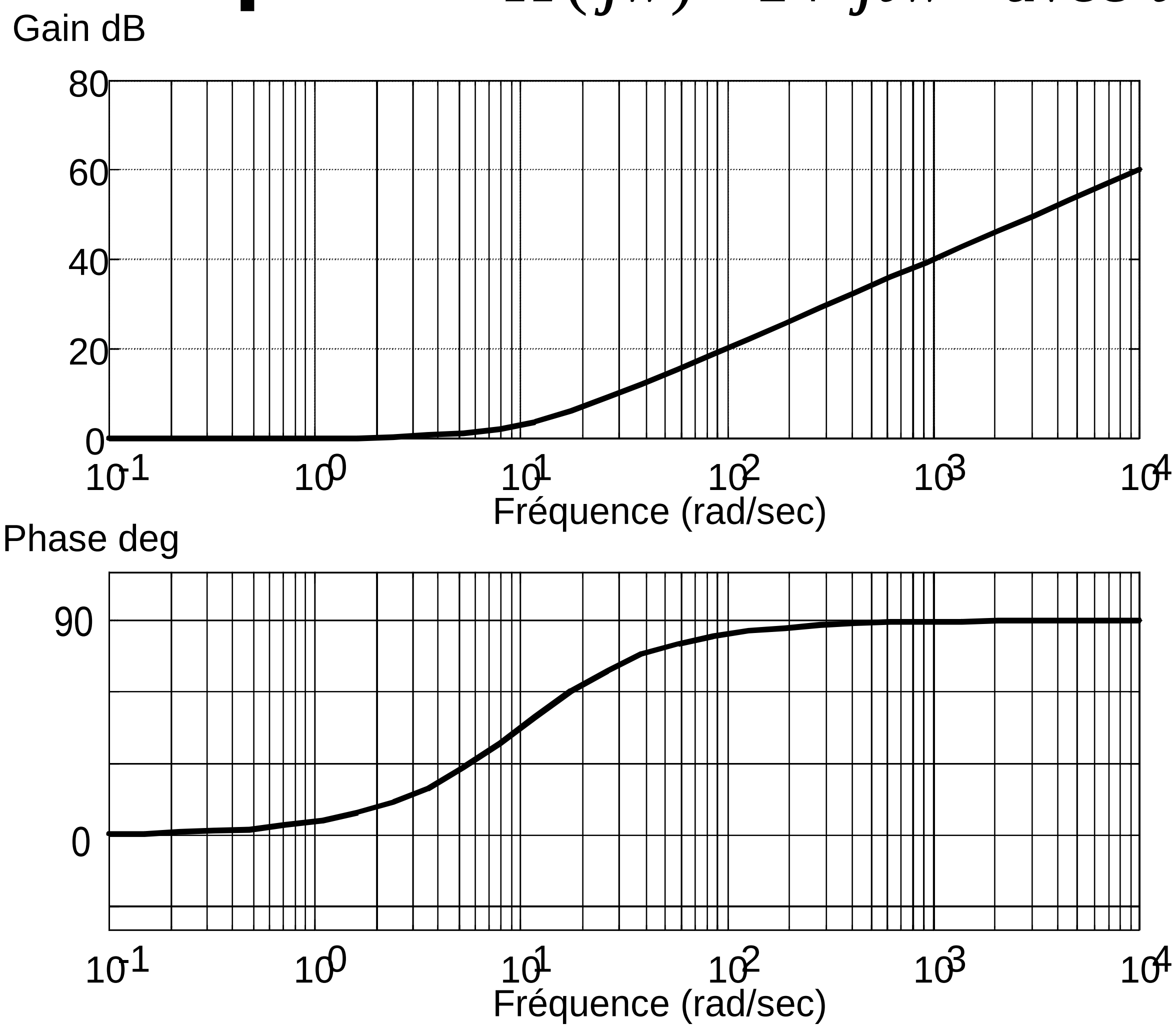
Tracé des diagrammes de Bode

$$\frac{(1+j\tau_1 w)(1+j\tau_2 w)\ldots}{(1+j\tau_1^{'} w)(1+j\tau_2^{'} w)\ldots}=\frac{\left(1+j\frac{w}{w_1}\right)\left(1+j\frac{w}{w_2}\right)\ldots}{\left(1+j\frac{w}{w_1^{'}}\right)\left(1+j\frac{w}{w_2^{'}}\right)\ldots}$$

- **Tracé des courbes de gain**
  - On trace les asymptotes horizontales et obliques de chaque pôle.
    - Exemple pour $(1+j\tau_1 w)$ au numérateur
      - asymptote horizontale à 0db
      - asymptote oblique de pente +20db/décade à partir de $\omega_1 = 1/\delta_1$
    - Exemple pour $(1+j\tau_1^{'} w)$ au dénominateur
      - asymptote horizontale à 0db
      - asymptote oblique de pente -20db/décade à partir de $\omega_1 = 1/\tau'_1$
  - A l'intersection des asymptotes la courbe réelle passe à ±3db

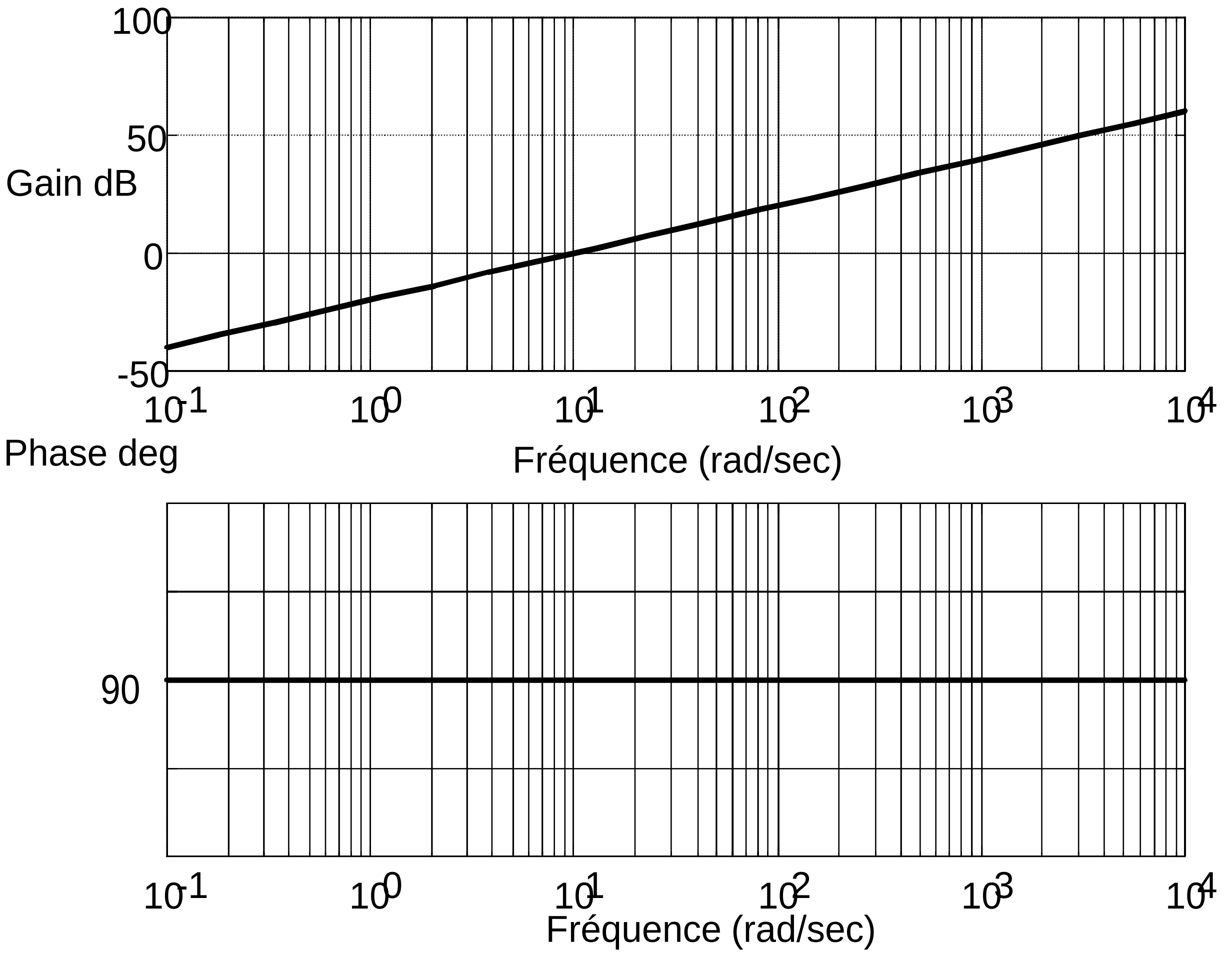
Tracé des diagrammes de Bode

- **Exemple** $H(jw) = 1 + jtw$ avec $t = 0{,}1$



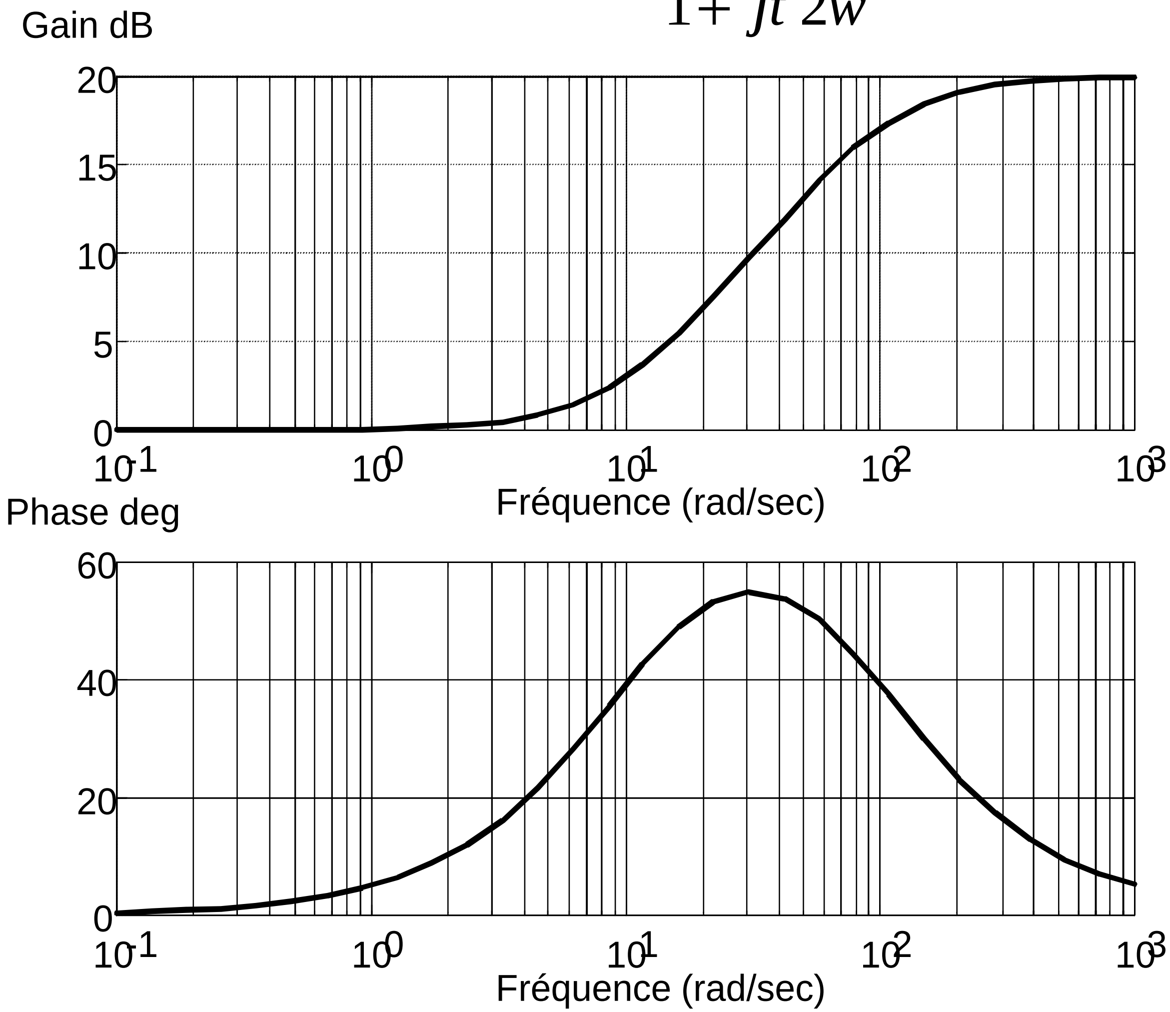
Tracé des diagrammes de Bode

- **Exemple** $H(jw) = jtw$ avec $t = 0,1$



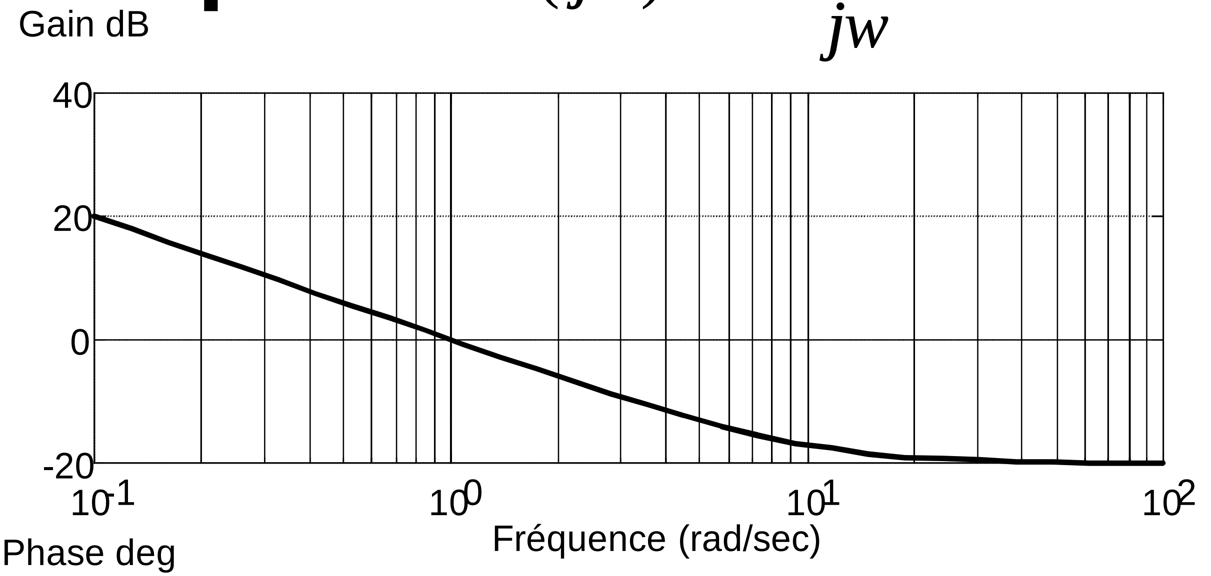
Tracé des diagrammes de Bode

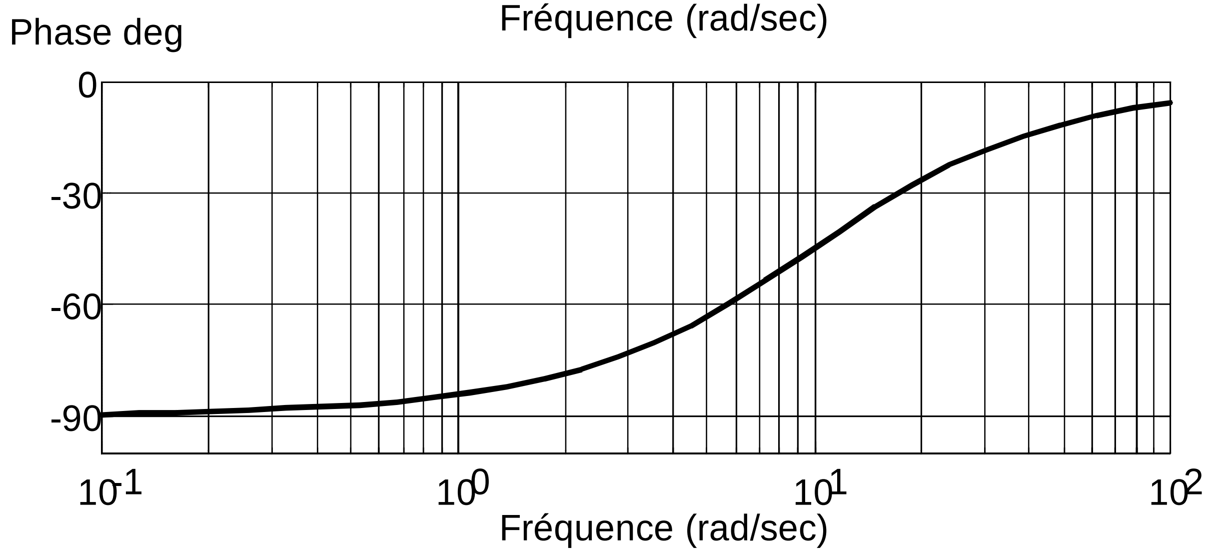
- **Exemple** $H(jw) = \dfrac{1 + jt1w}{1 + jt2w}$ avec $t1 = 0{,}1$ et $t2 = 0{,}01$



Tracé des diagrammes de Bode

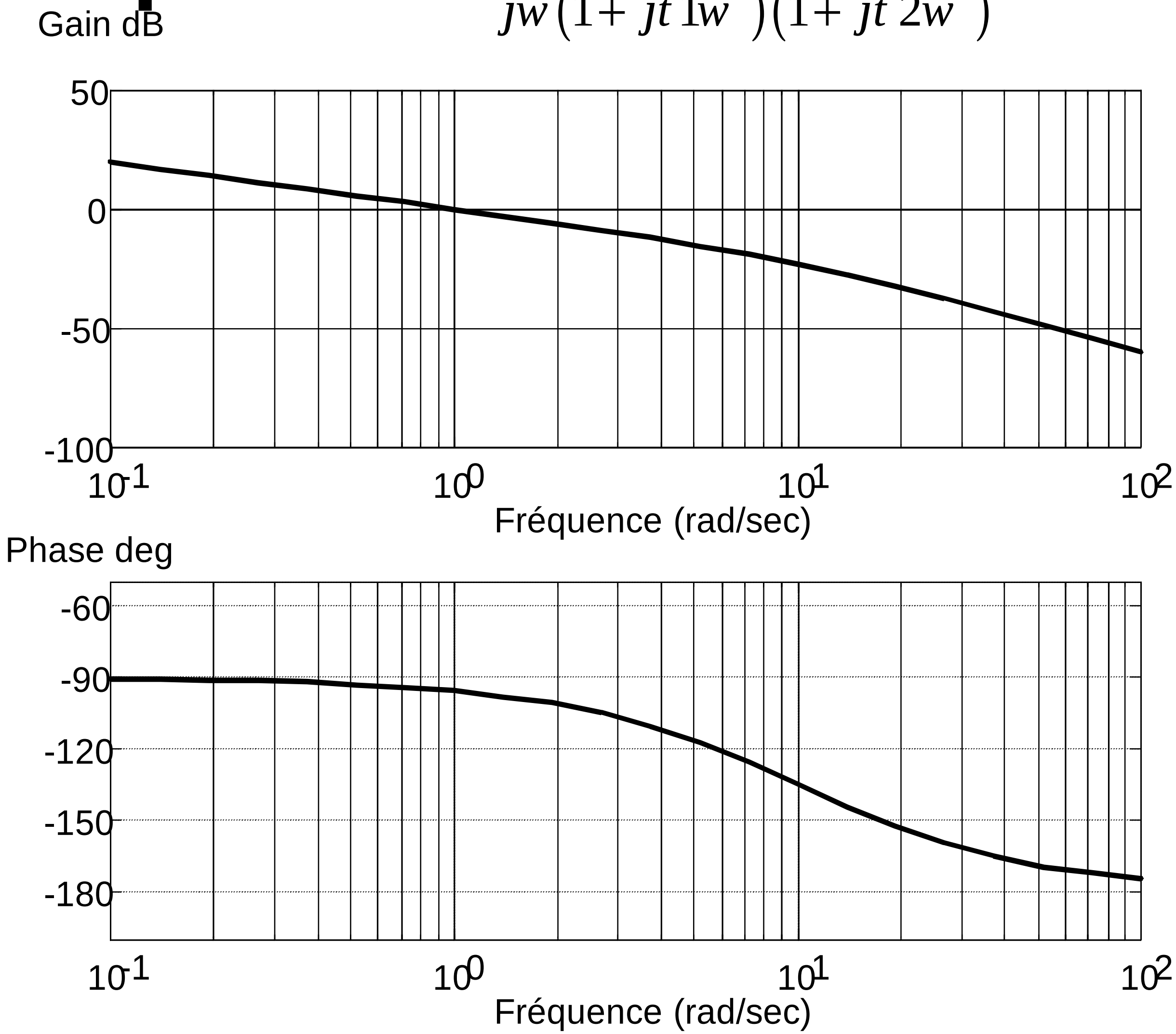
- **Exemple** $H(j\omega) = \dfrac{1 + j\tau 1\omega}{j\omega}$ avec $\tau 1 = 0{,}1$





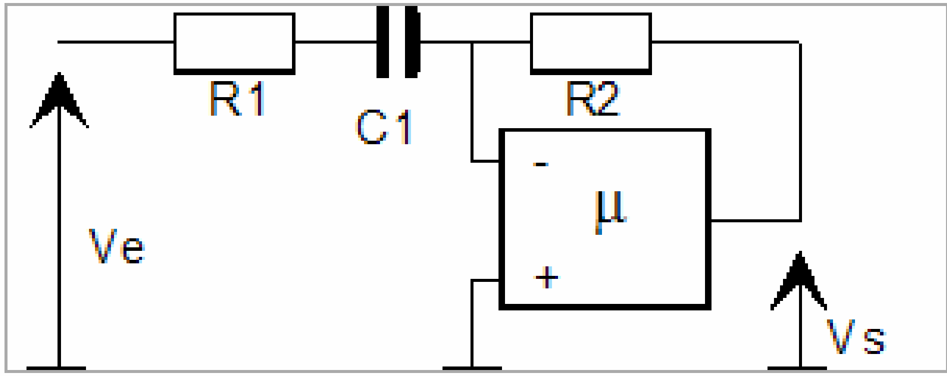
Tracé des diagrammes de Bode

- **Exemple** $H(jw)=\dfrac{1}{jw(1+jt1w)(1+jt2w)}$ avec $t1=0{,}1$ $t2=0{,}01$



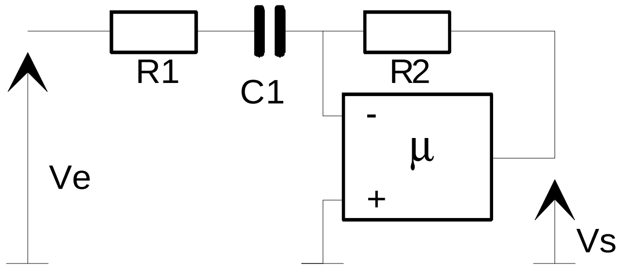
Filtres du premier ordre (rappels)

- **Filtre passe haut**



L'AOP est considéré comme parfait => μ est indépendant de la fréquence ($\mu = \mu_0$).

Filtres passe haut du premier ordre (2)



- **Fonction de transfert**

$$\underline{m}' = \frac{Vs}{Ve} = -\frac{Z_2}{Z_1} = \frac{-R_2}{R_1 + \frac{1}{jC_1w}} = \frac{-\frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{1}{jR_1C_1w}}$$

$$\underline{m}' = \frac{-\frac{R_2}{R_1}}{1 - j\frac{w_1}{w}} \quad \text{avec}\, w_1 = \frac{1}{R_1C_1}$$

Filtres passe haut du premier ordre (3)

- **Fonction de transfert**
  - Amplification maximale
  - Fréquence de coupure
  - Fréquence de transition

$$\underline{m}' = \frac{-\dfrac{R_2}{R_1}}{1 - j\dfrac{w_1}{w}} \quad \text{avec } w_1 = \frac{1}{R_1 C_1}$$

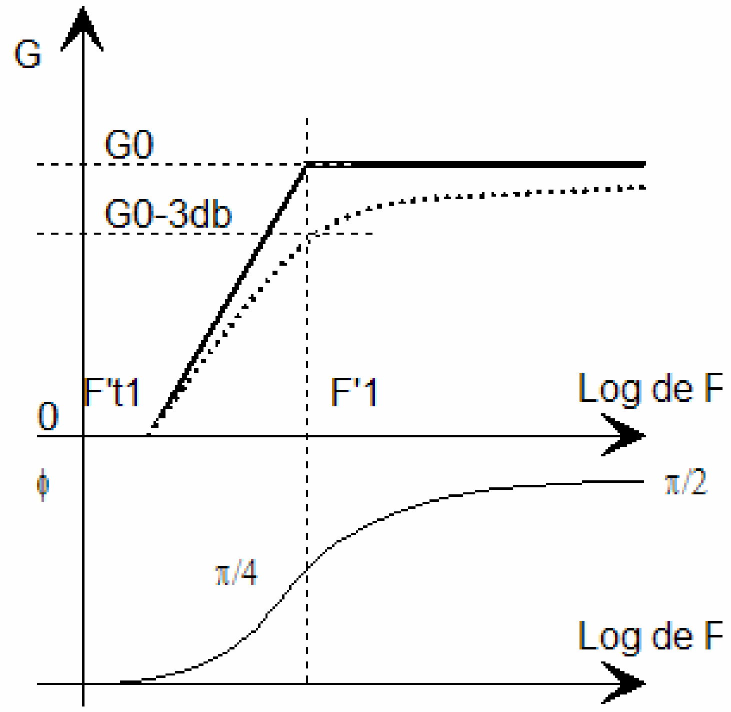
Amplification maximale : $\left|\underline{\mu}'_0\right| = \dfrac{R_2}{R_1}$

Fréquence de coupure : $F'_1 = \dfrac{1}{2\pi R_1 C_1}$

Fréquence de transition (fréquence pour laquelle $|\underline{\mu}| = 1$, donc G=0)

$$\left|\underline{\mu}\right| = 1 \Rightarrow \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 = 1 + \frac{\omega_1}{\omega_{t1}} \quad ; \quad Arg(\underline{\mu}') = \arctan\frac{\omega_1}{\omega}$$

$$\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 >> 1 \Rightarrow \omega_{t1} = \omega_1 \frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{R_2 C_1}$$



Filtres passe bas du premier ordre

Fonction de transfert

$$\underline{\mu}' = \frac{Vs}{Ve} = -\frac{Z_2}{Z_1} = \frac{-R_2 // \frac{1}{jC_2\omega}}{R_1} = \frac{-\frac{R_2}{R_1}}{1 + jR_2C_2\omega}$$

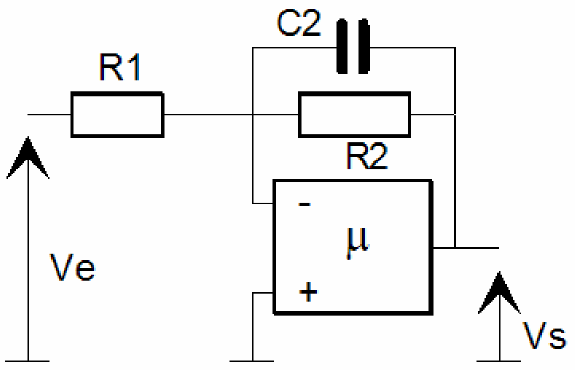
$$\underline{\mu}' = \frac{-\frac{R_2}{R_1}}{1 + j\frac{\omega}{\omega'_2}} \quad \text{avec } \omega'_2 = \frac{1}{R_2C_2}$$

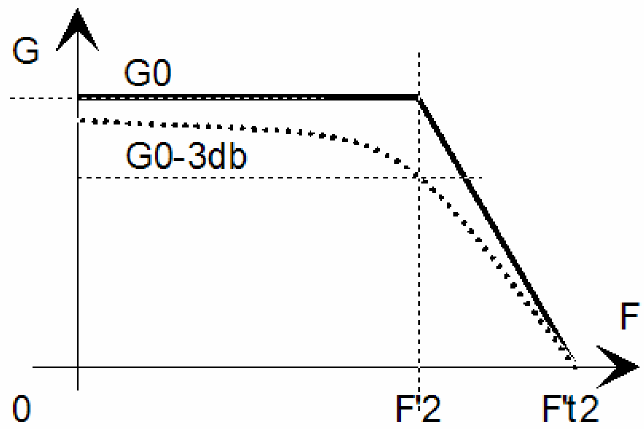
Amplification maximale : $\mu_0 = \frac{R_2}{R_1}$

Fréquence de coupure : $F_1 = \frac{1}{2\pi R_2C_2}$

Fréquence de transition (fréquence pour laquelle $|\underline{\mu}| = 1$, donc G=0) :

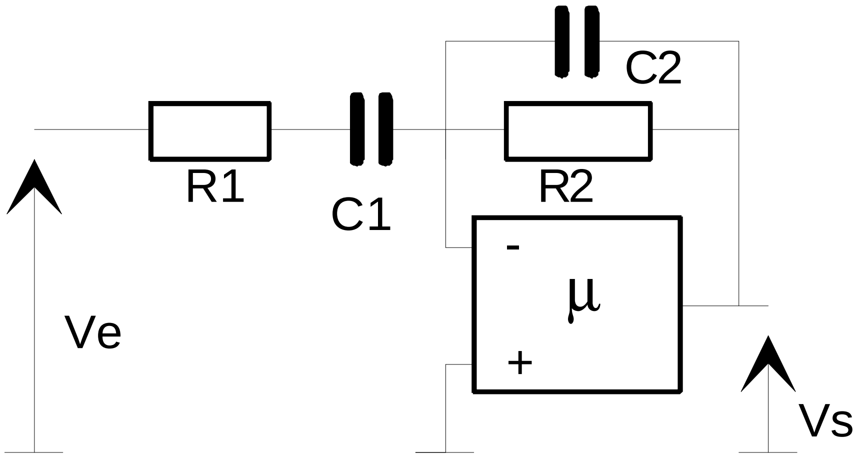
$$\omega_{t2} == \frac{1}{R_1C_2}$$





Filtres passe bande

- **Filtre passe bande**



$$\underline{m}' = \frac{Vs}{Ve} = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{\dfrac{R_2}{1 + jR_2C_2w}}{R_1 + \dfrac{1}{jC_1w}}$$

$$\underline{m}' = -\frac{R_2}{R_1}\frac{1}{1 + j\dfrac{w}{w'_2}} \cdot \frac{1}{1 - j\dfrac{w'_1}{w}}$$

Filtres du deuxième ordre

Quelques définitions

- Fréquence de coupure : fréquence pour laquelle le module de l'amplification a diminué de $\sqrt{2}$ par rapport à G(0) ou G(¥).
- Bande passante : intervalle entre deux fréquences de coupure.
- Coefficient de surtension n'a véritablement de sens que pour un passe bande :

$$Q = \frac{w_0}{\Delta w} = \frac{1}{2m}$$

- Pulsations
  - w_0 est appelée pulsation caractéristique du filtre,
  - ω_R est appelée pulsation de résonance du filtre,
  - ω_c est appelée pulsation de coupure du filtre.

Filtres du deuxième ordre

- **Etude théorique des filtres du deuxième ordre**
  - **Equation caractéristique d'un filtre du deuxième ordre**

$$\underline{m} = \frac{1}{1 - t_0^2 w^2 + 2 m t_0 w j} \qquad \text{avec } t_0 > 0,\ m > 0$$

- **En posant** $d_0 = \dfrac{1}{w_0}$ et $\dfrac{w}{w_0} = x$

M ! w_0 *n'est pas la pulsation de coupure*

$$\underline{m} = \frac{1}{1 - x^2 + 2mxj} \qquad \left|\underline{m}\right| = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - x^2\right)^2 + \left(2mx\right)^2}}$$

Filtres du deuxième ordre

- **Tangentes horizontales**

$$|\underline{m}|' = 0 \Rightarrow 4x\left(2m^2 - 1 + x^2\right) = 0 \quad \left\{\begin{array}{ll} x_R = 0 & 1^{\text{ère}}\ \text{tang horizontale} \\ x_R = \sqrt{1-2m^2} & 2^{\text{ième}}\ \text{tang horizontale} \end{array}\right\}$$

  - Si $x_R = 0 \qquad |\underline{m}| = 1$
  - Si $x_R = \sqrt{1-2m^2} \qquad |\underline{m}|_R = \dfrac{1}{\sqrt{\left(2m^2\right)^2 + \left(2m\sqrt{1-2m^2}\right)^2}}$
  - Si x_R est > 0 => 2ième tangente horizontale si $(1\text{-}2m^2) > 0$ ($m < 0{,}7$)

Filtres du deuxième ordre

- **Tangentes obliques**

  - Si $\boldsymbol{x} \to \infty$ $\qquad |\underline{m}| \approx \dfrac{1}{x^2}$

    - C'est l'équation d'une tangente de pente -40dB par octave passant par

$$\begin{cases} x = 1 \\ |\underline{m}| = 1 \end{cases}$$

Autre point particulier : $|\underline{m}| = 1$

Filtres du deuxième ordre

- **Point particulier** $\left|\underline{m}\right| = 1$

$$\left(1-x^2\right)^2+\left(2mx\right)^2=1$$

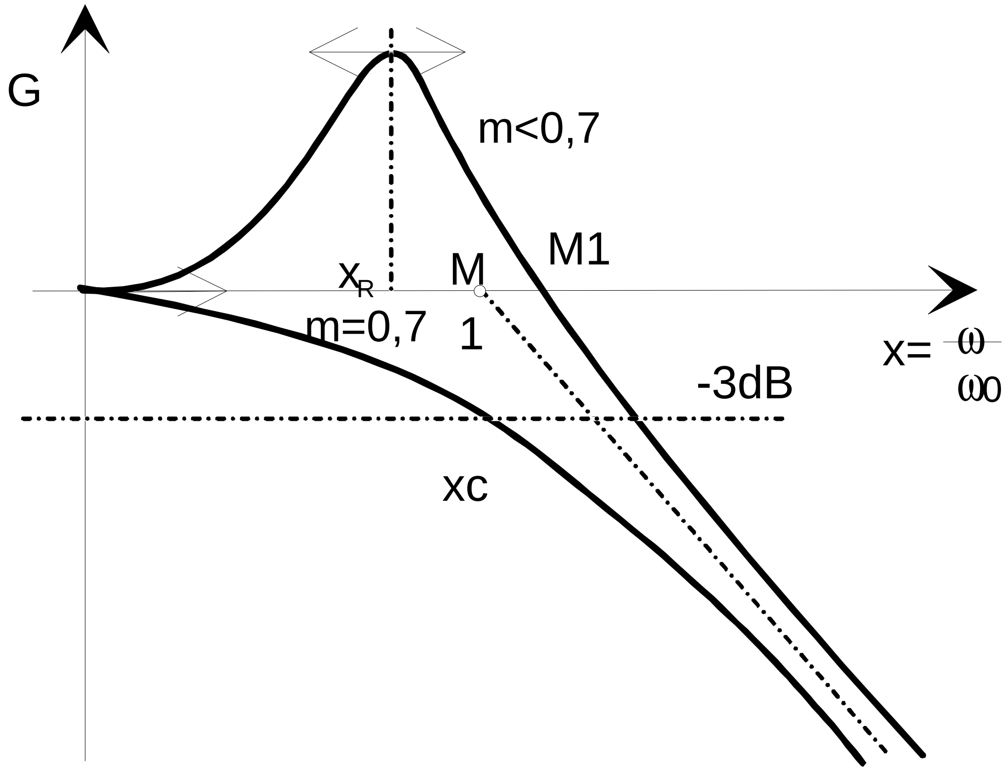
$$1+x^4-2x^2+4m^2x^2=1$$

$$x^2\left(x^2-2+4m^2\right)=0$$

$$x_0=0 \quad \Rightarrow \quad w=0$$

$$x_1^2=2-4m^2 \Rightarrow x_1=\sqrt{2}\sqrt{1-x^2}$$

$$x_1=x_R\sqrt{2} \quad (pt \quad M_1)$$



Filtres du deuxième ordre

- **Bande passante à 3dB**
  - **On ne tient pas compte de la surtension.**

$$\left|\underline{m}\right| = \frac{1}{\sqrt{\left(1-x^2\right)^2+\left(2mx\right)^2}} \qquad \begin{cases} x=0 & \left|\underline{m}\right|=1 \\ x=x_C & \left|\underline{m}\right|=\dfrac{1}{\sqrt{2}} \end{cases}$$

$$\left(1-x_C{}^2\right)^2+4m^2x_C{}^2=2 \qquad x_c^4+2x_C^2\left(2m^2-1\right)-1=0$$

Posons $X_C = x_c^2$

$$X_c^2+2X_C\left(2m^2-1\right)-1=0$$

$$X = \frac{-2\left(2m^2-1\right)\pm\sqrt{\Delta}}{2}$$

$$X>0 \quad X_{1_C}=1-2m^2+\sqrt{4m^4-4m^2+2}$$

$$x>0 \quad x_C=\sqrt{1-2m^2+\sqrt{4m^4-4m^2+2}}=\Delta x \quad \text{(bande passante)}$$

Filtres du deuxième ordre

- **Remarques**
  - w_0 est appelée pulsation caractéristique du filtre,
  - w_R est appelée pulsation de résonance du filtre,
  - w_c est appelée pulsation de coupure du filtre.

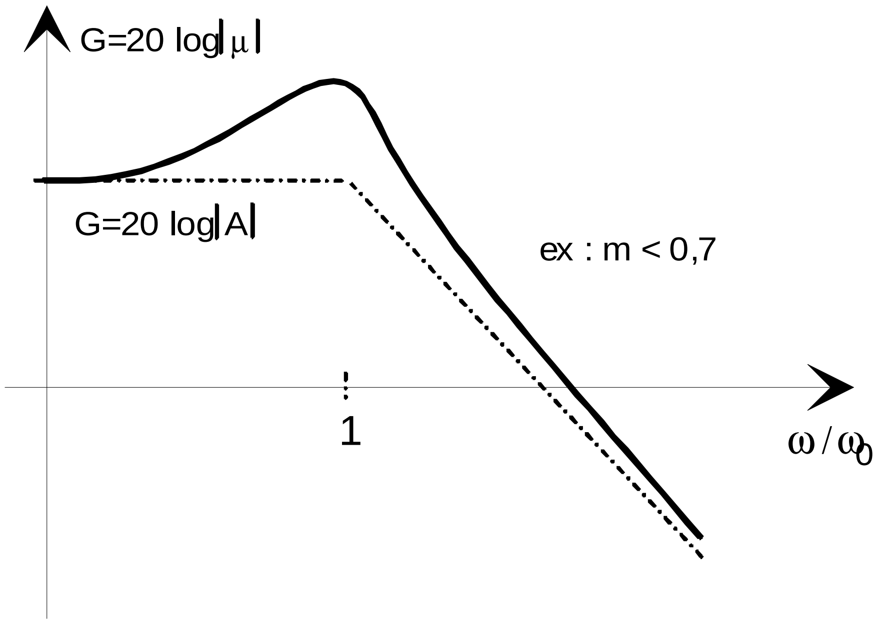
Différents types de filtres

- **Filtre Passe bas (étude précédente)**

$$\underline{m} = \frac{A}{1-\left(\frac{w}{w_0}\right)^2 + 2m\frac{w}{w_0}j}$$

$$G = 20\log|A| + 20\log\frac{1}{|D|}$$

Remarquer la forme

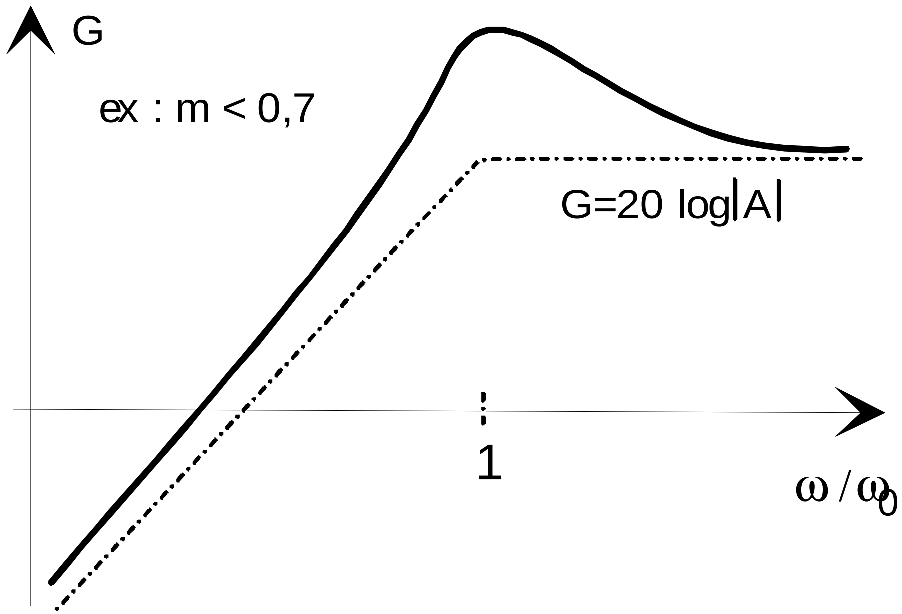


Différents types de filtres

- **Filtre Passe haut**

$$\underline{m} = \frac{A\left(j\frac{w}{w_0}\right)^2}{1+\left(j\frac{w}{w_0}\right)^2+2m\frac{w}{w_0}j} = \boxed{\frac{-A\left(\frac{w}{w_0}\right)^2}{1-\left(\frac{w}{w_0}\right)^2+2m\frac{w}{w_0}j}}$$

$$G = 20\log|A| + 20\log\left(\frac{w}{w_0}\right)^2 + 20\log\frac{1}{|D|}$$



Remarquer la forme

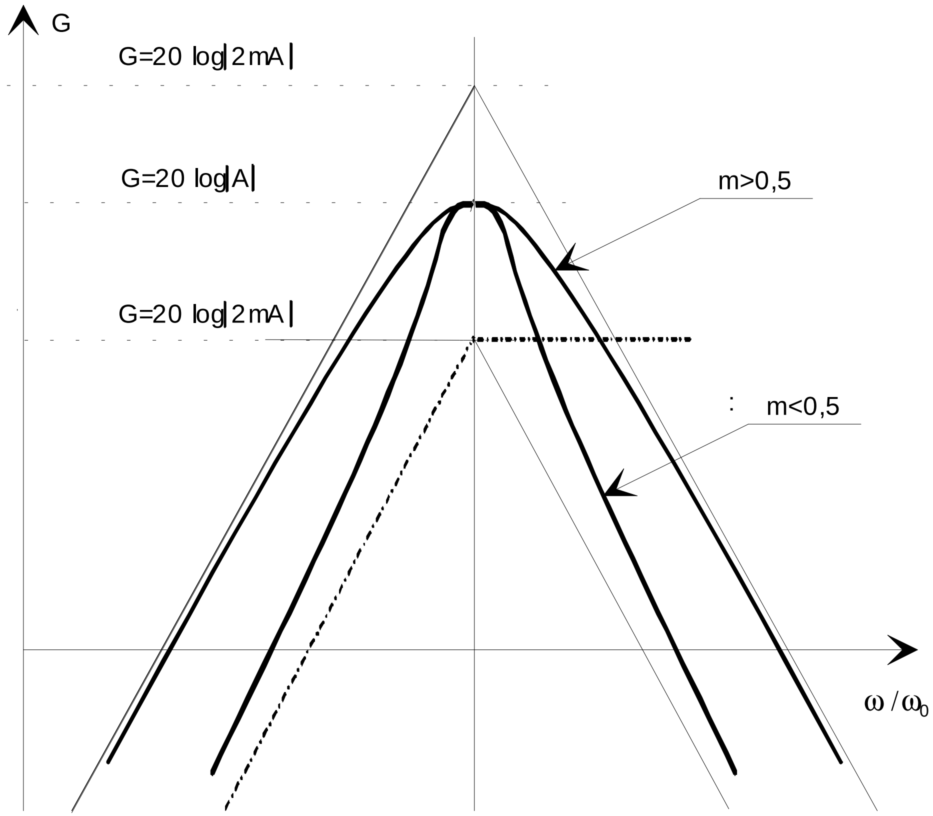
Différents types de filtres

- **Filtre Passe bande**

$$\underline{m} = \frac{A2m\frac{w}{w_0}j}{1-\left(\frac{w}{w_0}\right)^2+2m\frac{w}{w_0}j}$$

$$G = 20\log|2mA| + 20\log\frac{w}{w_0} + 20\log\frac{1}{|D|}$$

Remarquer la forme



Différents types de filtres

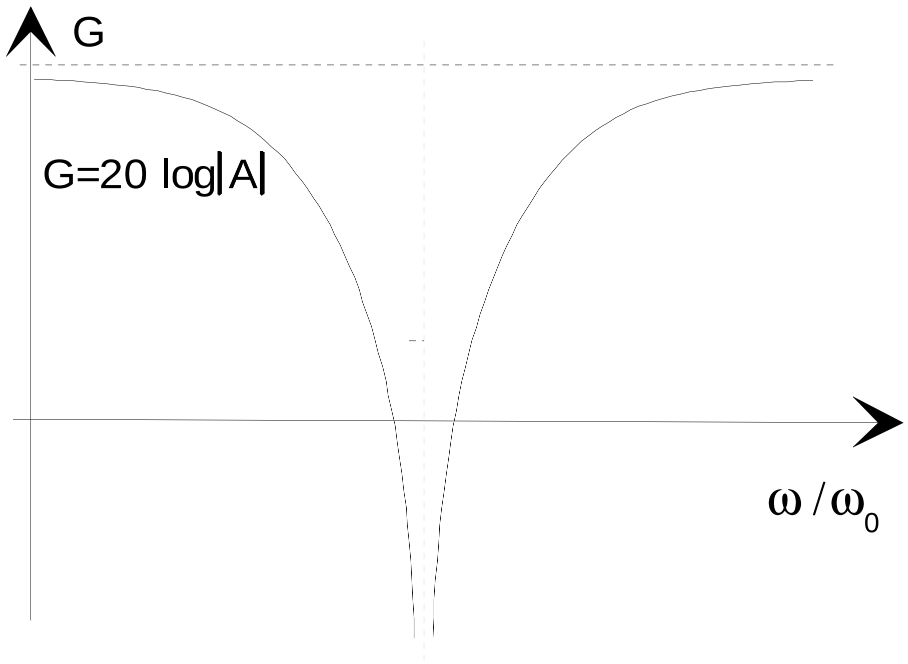
- **Filtre Coupe bande** : L'étude est différente.

$$\underline{m} = \frac{A}{1 + \dfrac{2m\dfrac{w}{w_0}}{1-\left(\dfrac{w}{w_0}\right)^2} j}$$

Pour $w = w_0$ $\quad |m| = \frac{A}{\infty} \quad |m| = 0 \quad G = -\infty$

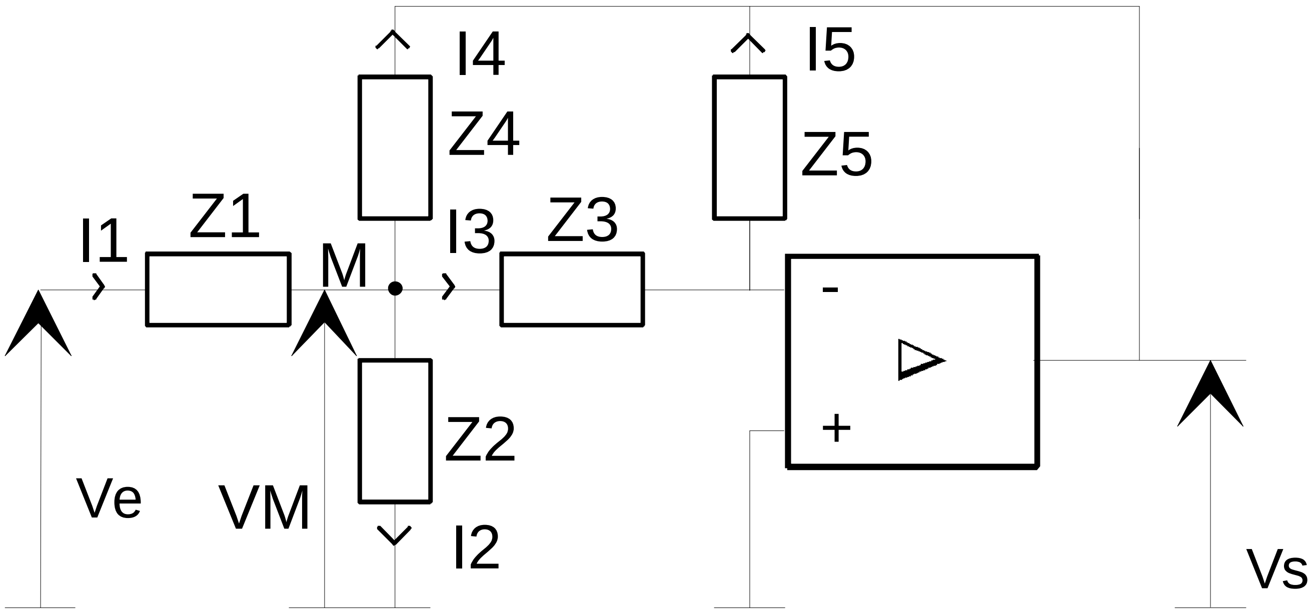
Pour $w = 0$ $\quad |m| = A \quad G = 20\log A$

Pour $w \to \infty$ $\quad |m| = \frac{A}{1} \quad |m| = A$



Etude de quelques filtres du deuxième ordre

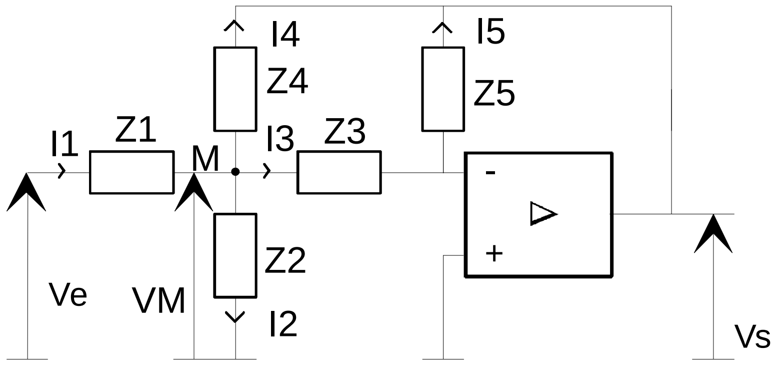
- **Filtre à contre réaction multiple (structure de Rauch)**



- Calculer la fonction de transfert Vs/Ve en supposant l'AOP parfait (ε=0, V(-)=0).

Etude de quelques filtres du deuxième ordre

- **Filtre à contre réaction multiple (structure de Rauch)**
  - Au point M on a (Millman) :



$$V_M = -\frac{Y_5}{Y_3} V_s$$

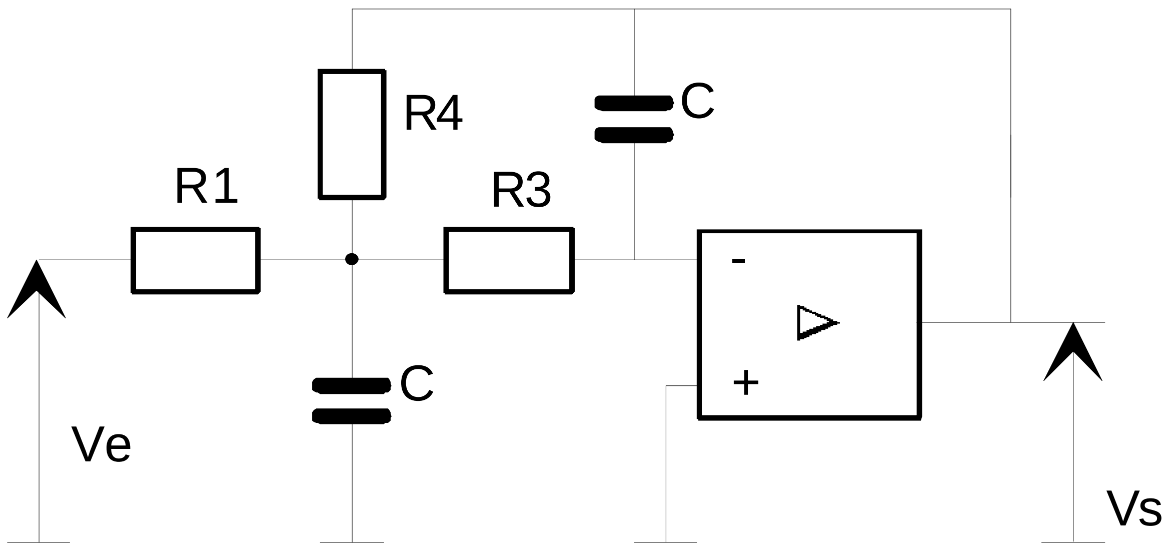
$$\frac{Y_1 V_e + Y_4 V_s}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4} = -\frac{Y_5}{Y_3} V_s$$

$$Y_1 Y_3 V_e + Y_3 Y_4 V_s = -Y_5 \left(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 \right) V_s$$

$$m' = \frac{V_s}{V_e} = \frac{-Y_1 Y_3}{Y_5 \left(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 \right) + Y_3 Y_4}$$

Etude de quelques filtres du deuxième ordre

- **Filtre passe bas (structure de Rauch)**

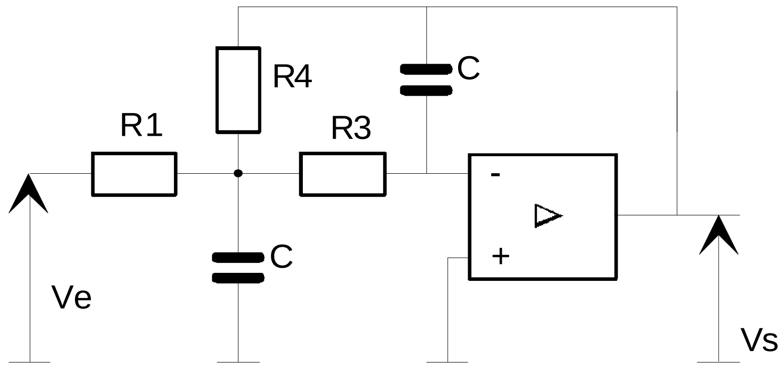


- YR=1/R Yc=jCω
- Y1=1/R1, Y3=1/R3, Y4=1/R4
- Y5= jCω, Y2=jCω

Etude de quelques filtres du deuxième ordre

- **Filtre passe bas (structure de Rauch).**
  Détermination de A, m,Q
  - La fonction de générale de transfert d'un tel filtre est :

$$\underline{m} = \frac{A}{1-\left(\frac{w}{w_0}\right)^2 + 2m\frac{w}{w_0}j}$$



$$m = \frac{V_s}{V_e} = \frac{-\frac{1}{R_1R_3}}{jCw\left(\frac{1}{R_1} + jCw + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right) + \frac{1}{R_3R_4}} = \frac{-\frac{R_4}{R_1}}{1 - R_3R_4C^2w^2 + jCw\left(R_3R_4\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right)}$$

Etude de quelques filtres du deuxième ordre

- **Filtre passe bas (structure de Rauch)**

$$\underline{m} = \frac{-\dfrac{R_4}{R_1}}{1 - R_3R_4C^2w^2 + jCw\left(\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_3}+\dfrac{1}{R_4}\right)} = \frac{A}{1-\left(\dfrac{w}{w_0}\right)^2 + 2m\dfrac{w}{w_0}j} =$$

En identifiant avec la fonction caractéristique d'un filtre du deuxième ordre

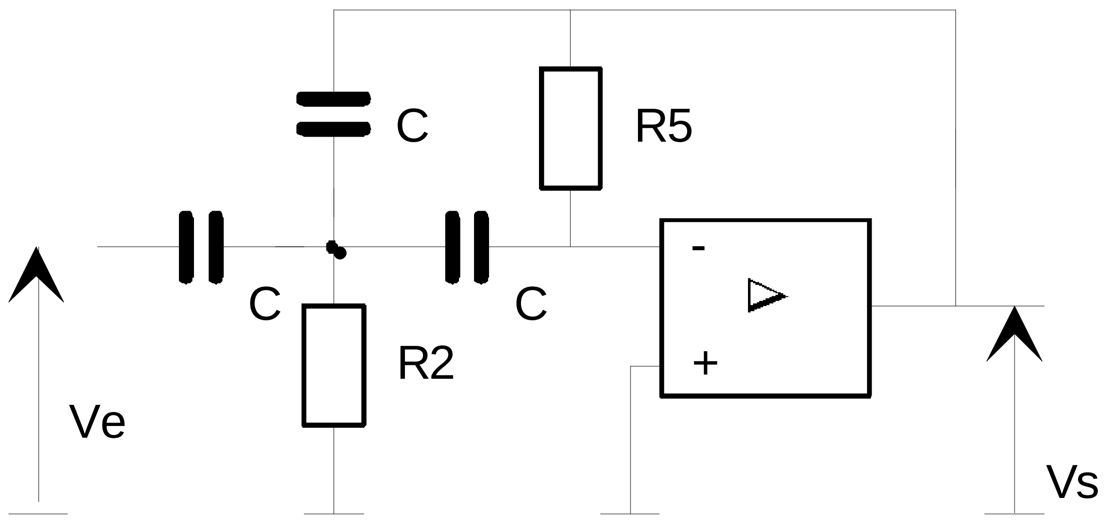
$$A = -\frac{R_4}{R_1} \qquad w_0 = \frac{1}{C\sqrt{R_3R_4}} \qquad Q = \frac{1}{2m}$$

$$2m = C\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}\right)\frac{1}{C\sqrt{R_3R_4}}$$

$$Q = \frac{1}{2m} = \frac{\sqrt{R_3R_4}}{\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_3}+\dfrac{1}{R_4}} = \frac{1}{\dfrac{\sqrt{R_3R_4}}{R_1}+\sqrt{\dfrac{R_4}{R_3}}+\sqrt{\dfrac{R_3}{R_4}}}$$

Etude de quelques filtres du deuxième ordre

- **Filtre passe haut (structure de Rauch)**
  Détermination de A, m,Q

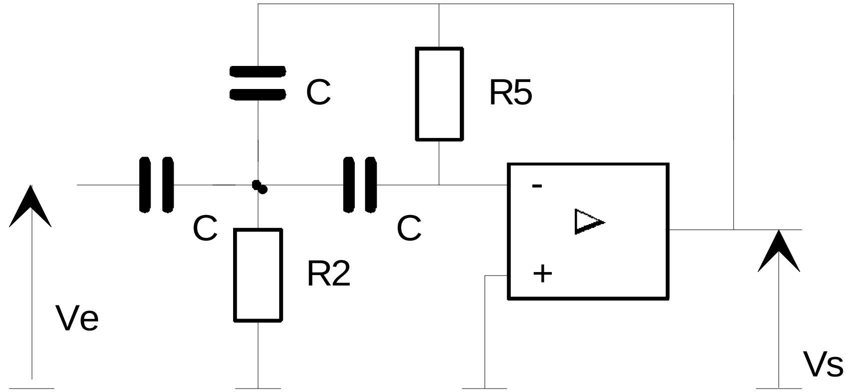


- YR=1/R Yc=jCω
- Y1= jCω, Y3= jCω, Y4= jCω
- Y2=1/R2, Y5=1/R5

Etude de quelques filtres du deuxième ordre

- **Filtre passe haut (structure de Rauch)**
  - La fonction de générale de transfert d’un tel filtre est :

$$\underline{m} = \frac{-A\left(\frac{w}{w_0}\right)^2}{1-\left(\frac{w}{w_0}\right)^2 + 2m\frac{w}{w_0}j}$$



$$m = \frac{V_s}{V_e} = \frac{-Y_1Y_3}{Y_5Y_1 + Y_5Y_2 + Y_5Y_4 + Y_3Y_4}$$

$$m = \frac{V_s}{V_e} = \frac{C^2w^2}{\frac{1}{R_5}\left(3jCw + \frac{1}{R_2}\right) - C^2w^2} = \frac{-1}{1 - \frac{1}{R_5C^2w^2}\left(3jCw + \frac{1}{R_2}\right)}$$

$$m = \frac{-1}{1 - \frac{1}{R_2R_5C^2w^2} - \frac{3j}{R_5Cw}} = \frac{+R_2R_5C^2w^2}{1 - R_2R_5C^2w^2 + 3jR_2Cw}$$

Etude de quelques filtres du deuxième ordre

- **Filtre passe haut (structure de Rauch)**
  - La fonction de générale de transfert d'un tel filtre est :

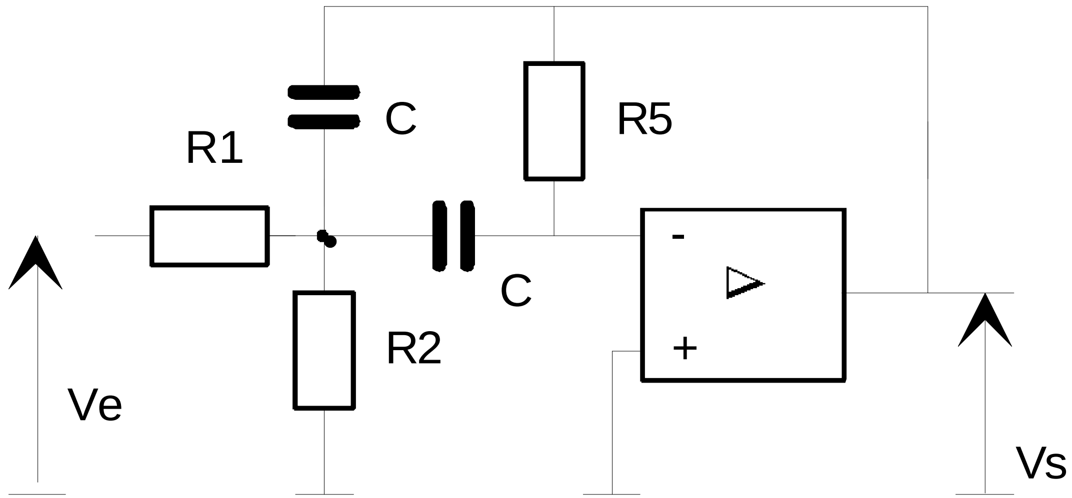
$$\underline{m} = \frac{+R_2R_5C^2w^2}{1-R_2R_5C^2w^2+3jR_2Cw} = \frac{-A\left(\dfrac{w}{w_0}\right)^2}{1-\left(\dfrac{w}{w_0}\right)^2+2m\dfrac{w}{w_0}j}$$

$$w_0 = \frac{1}{C\sqrt{R_2R_5}} \qquad 2m = 3R_2\frac{1}{\sqrt{R_2R_5}} \qquad Q = \frac{1}{3}\sqrt{\frac{R_5}{R_2}}$$

$$R_2R_5C^2w^2 = -A\frac{w^2}{w_0^2} \Rightarrow A = -1$$

Etude de quelques filtres du deuxième ordre

- **Filtre passe bande (structure de Rauch)**

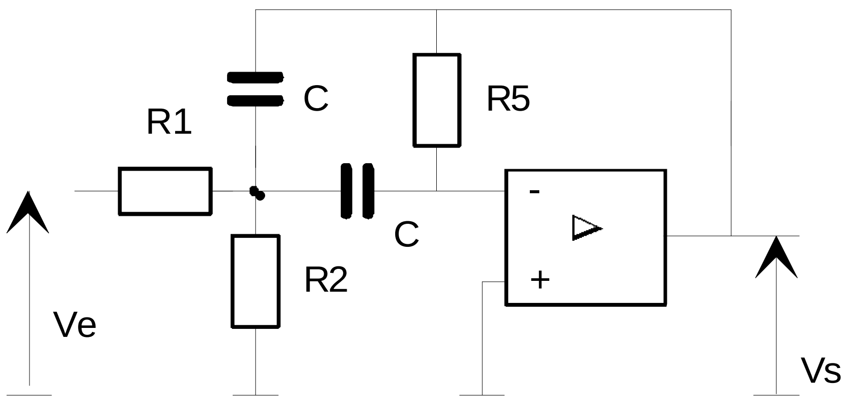


- Plusieurs solutions possibles :
  - Y1 ou Y3 = jCω , Y2=1/R2 ou jCω. On choisi :
  - YR=1/R Yc=jCω
  - Y3= jCω, Y4= jCω,
  - Y1=1/R1, Y2=1/R2, Y5= 1/R5

Etude de quelques filtres du deuxième ordre

- **Filtre passe bande (structure de Rauch)**
  - La fonction de générale de transfert d'un tel filtre est :

$$\underline{m} = \frac{2Am\frac{w}{w_0}j}{1-\left(\frac{w}{w_0}\right)^2+2m\frac{w}{w_0}j}$$



$$m = \frac{V_s}{V_e} = \frac{-Y_1Y_3}{Y_5Y_1+Y_5Y_2+Y_5Y_4+Y_3Y_4}$$

$$m = \frac{V_s}{V_e} = \frac{-\frac{jCw}{R_1}}{\frac{1}{R_5}\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+2jCw\right)-C^2w^2} = \frac{-\frac{jCw}{R_1}}{\frac{1}{R_1R_5}+\frac{1}{R_2R_5}+\frac{2jCw}{R_5}--C^2w^2}$$

Etude de quelques filtres du deuxième ordre

- **Filtre passe bande (structure de Rauch)**
  - La fonction de générale de transfert d'un tel filtre est :

$$m = \frac{-\dfrac{jCw}{R_1}}{\dfrac{1}{R_1R_5} + \dfrac{1}{R_2R_5} + \dfrac{2\,jCw}{R_5} - -C^2w^2}$$

$$m = \frac{V_s}{V_e} = \frac{jR_2R_5Cw}{R_1 + R_2 + 2\,jR_1R_2Cw - R_1R_2R_5C^2w^2}$$

$$m = \frac{jCw\,\dfrac{R_2R_5}{R_1+R_2}}{1 - \dfrac{R_1R_2R_5C^2w^2}{R_1+R_2} + 2\,jCw\,\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}}$$

Etude de quelques filtres du deuxième ordre

- **Filtre passe haut (structure de Rauch)**
  - La fonction de générale de transfert d'un tel filtre est :

$$\underline{m} = \frac{jCw\,\frac{R_2R_5}{R_1+R_2}}{1-\frac{R_1R_2R_5C^2w^2}{R_1+R_2}+2jCw\,\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}} = \frac{2Am\frac{w}{w_0}j}{1-\left(\frac{w}{w_0}\right)^2+2m\frac{w}{w_0}j}$$

$$w_0^2 = \frac{R_1+R_2}{R_1R_2R_5C^2} \Rightarrow w_0 = \frac{1}{C\sqrt{\frac{R_1R_2R_5}{R_1+R_2}}}$$

$$2m = 2\frac{\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}}{\sqrt{R_5\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}}} = 2\frac{\sqrt{\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}}}{\sqrt{R_5}}$$

Etude de quelques filtres du deuxième ordre

- **Filtre passe haut (structure de Rauch)**
  - La fonction de générale de transfert d'un tel filtre est :

$$\underline{m} = \frac{jCw\dfrac{R_2R_5}{R_1+R_2}}{1-\dfrac{R_1R_2R_5C^2w^2}{R_1+R_2}+2jCw\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}} = \frac{2Am\dfrac{w}{w_0}j}{1-\left(\dfrac{w}{w_0}\right)^2+2m\dfrac{w}{w_0}j}$$

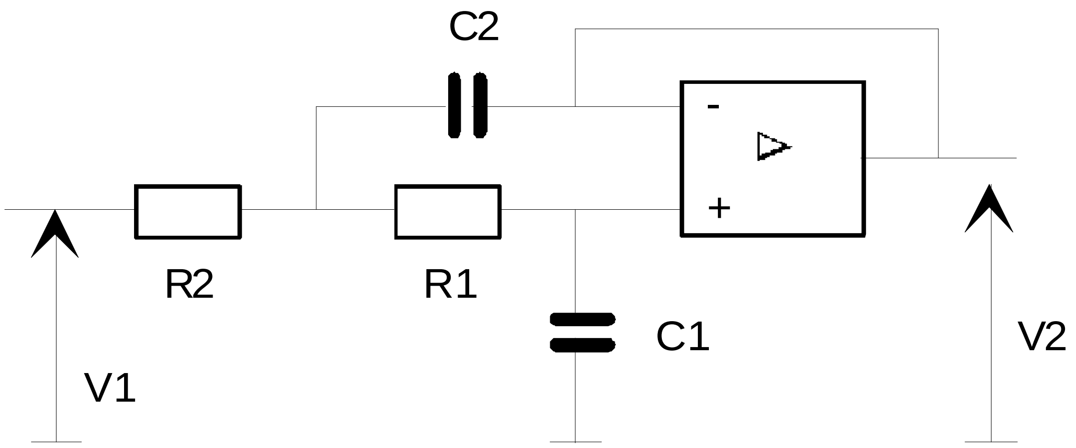
$$Q = \frac{1}{2m} = \frac{1}{2}\frac{\sqrt{R_5}}{\sqrt{\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}}} = \frac{1}{2}\sqrt{R_5\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}}$$

$$2mA\frac{w}{w_0}j = -jCw\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$$

$$A = C\frac{R_2R_5}{R_1+R_2}\frac{w_0}{2m} = \frac{R_2R_5}{R_1+R_2}\frac{1}{2}\sqrt{R_5\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}}\frac{1}{C\sqrt{R_5\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}}} \qquad A = -\frac{R_5}{2R_1}$$

Etude de quelques filtres du deuxième ordre

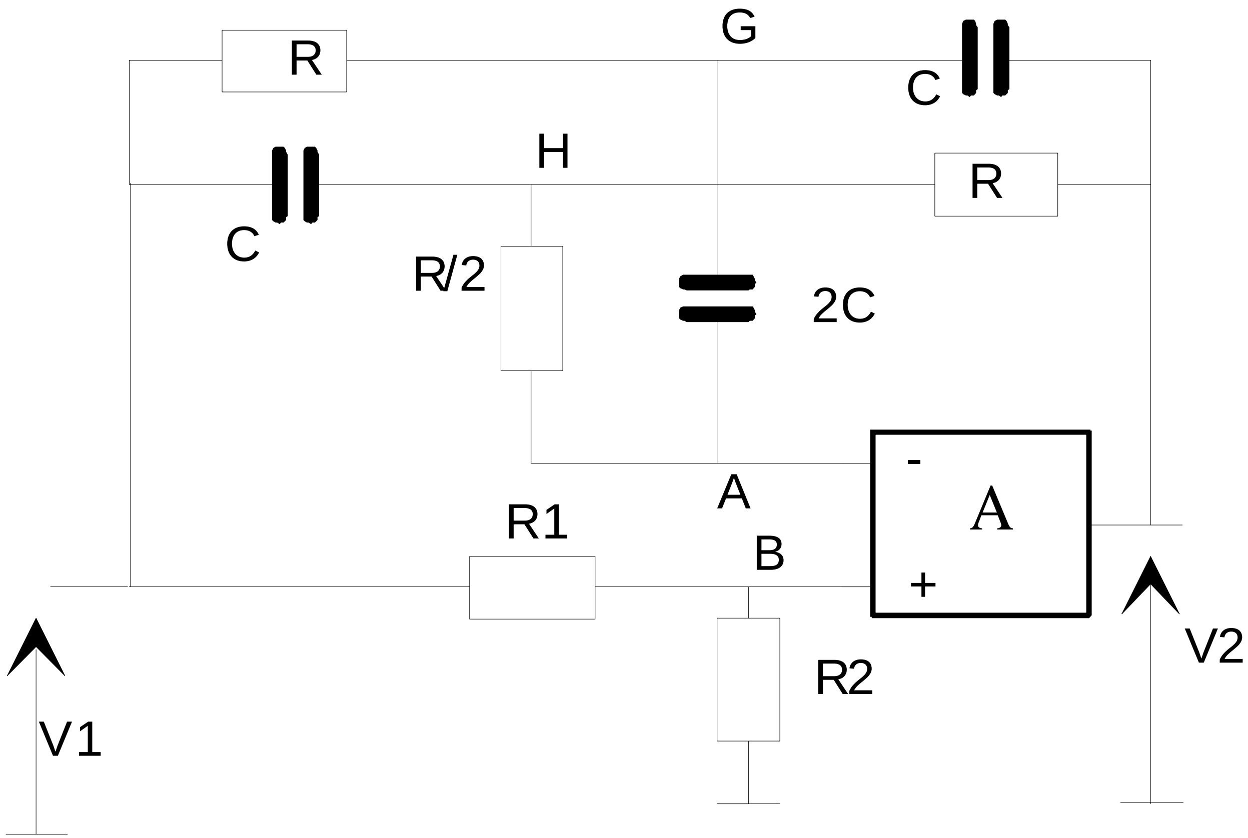
- **Filtre de Bessel, Butterworth, Chebychev**



- Ces filtres correspondent essentiellement chacun à un réglage particulier du coefficient m.

Etude de quelques filtres du deuxième ordre

- **Filtre coupe bande à double T**



Etude de quelques filtres du deuxième ordre

- **Filtre à INIC (convertisseur d'impédance négative)**