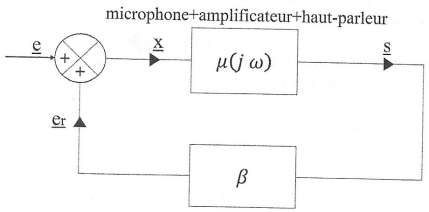
▶ Correction : Effet Larsen

1. On considère que le signal du à l'effet Larsen est un sinus. En régime permanent, on utilise la notation complexe. Les grandeurs de l'énoncé deviennent :

$$\begin{cases} \underline{s} = \underline{\mu}(j\omega)\underline{x} & \rightarrow \text{sortie du système \{microphone + amplificateur + haut parleur\}} \\ \underline{x} = \underline{e}+\underline{e_r} & \rightarrow \text{addition du son émis par le chanteur et le haut-parleur au niveau du micro} \\ \underline{e_r} = \underline{\beta}\underline{s} & \rightarrow \text{trajet dans l'air jusqu'au microphone} \end{cases}$$

On peut représenter ce système bouclé par le schéma-bloc suivant :



En se référant au schéma-bloc, on a : $\underline{s} = \underline{\mu}(j\omega)(\underline{e}+\underline{\beta}\underline{s}) \Rightarrow \boxed{\underline{s} = \dfrac{\underline{\mu}(j\omega)}{1-\underline{\mu}(j\omega)\underline{\beta}}\underline{e}}$

Question d'examinateur

Rappelez la définition d'une FTBF et d'une FTBO ? Quelles sont leur utilité ?

- On appelle **fonction de transfert en boucle ouverte** (FTBO) le rapport entre l'image de la sortie e_r et l'écart x. Dans le cas présent, on a FTBO $= \underline{\beta}\underline{\mu}(j\omega)$. Cette relation est utilisée notamment en sciences de l'ingénieur pour juger de la **stabilité** d'un système bouclé.
- On appelle **fonction de transfert en boucle fermée** (FTBF) le rapport entre la sortie $\underline{s}$ du système et l'entrée $\underline{e}$ en régime permanent sinusoïdal. Il s'agit de la relation encadrée ci-dessus, utile pour évaluer les réponses harmoniques d'un système.

2.

Pour mémoire

Le critère d'oscillations entretenues d'un système bouclé $\underline{\mu}(j\omega)\underline{\beta} = 1$, aussi appelé **critère de Barkhausen**, comporte en réalité deux conditions à appliquer dans l'ordre suivant :
- Une condition sur l'**argument** : arg $[\underline{\mu}(j\omega)\underline{\beta}] = 0$, qui donne la pulsation d'oscillation ω_0
- Une condition sur le **module** : $|\underline{\mu}(j\omega_0)\underline{\beta}| = 1$, qui donne le gain (minimal) de l'amplificateur

On ne peut pas appliquer la condition du critère de Barkhausen qui porte sur l'argument de la fonction de transfert du microphone $\underline{\mu}(j\omega)\underline{\beta}$ car l'argument de $\underline{\mu}(j\omega)$ est inconnu. On suppose cependant qu'il existe une pulsation ω_0 tel que arg $[\underline{\mu}(j\omega)\ \underline{\beta}] = 0$, qui constituera la **pulsation d'oscillation**.

⊕ Petit plus

On pourrait se pencher longtemps sur la question de l'argument de $\underline{\mu}(j\omega)\underline{\beta}$.
En effet, celui-ci dépend de la **distance à laquelle se trouve le chanteur** : pour que arg$(\underline{\beta}) = 0[2\pi]$, il faut que le microphone se situe à une distance égale à un multiple de la longueur d'onde λ du son émis par le haut parleur. Cela explique qu'on puisse avoir *plusieurs fréquences* de Larsen possibles pour une même installation, en fonction la position du chanteur.

On a auto-entretien des oscillations si $|\underline{\mu}(j\omega_0)\underline{\beta}| = 1$. Mais cette condition n'assure pas l'amplification des oscillations, seulement l'**entretien** de leur amplitude de départ. En pratique, on a instabilité si :

$$\boxed{|\underline{\mu}(j\omega_0)\underline{\beta}| > 1}$$

Dans ce cas, tout bruit d'entrée qui contient la bonne fréquence $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ est amplifié de manière **exponentielle**... C'est l'effet Larsen.

3. Il s'agit de respecter la condition $|\underline{\mu}(j\omega_0)\underline{\beta}| > 1$.

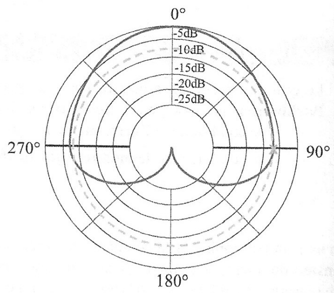
On ne s'intéressera qu'au module des fonctions de transfert $\underline{\mu}$ et $\underline{\beta}$, qu'on notera respectivement μ et β.

On a $\mu = G_m G_A$, avec G_m le gain du microphone et G_A le gain de l'amplificateur associé au haut-parleur. β correspond au gain dû à la propagation du son dans l'air.

Amplification du microphone

On cherche d'abord à déterminer G_m. On a un angle de 90° entre le microphone et le haut parleur, qui correspond à la valeur de -7 dB sur le diagramme polaire.
Cela signifie que le son capté par le microphone sera atténué de 7 dB par rapport à un son capté dans son axe :

$$G_m = -7\,\mathrm{dB}$$



A.N. : En raisonnant sur l'amplitude du son, on a en échelle linéaire, $G_m = 10^{-7/20} = 0.45$

Amplificateur

On mesure 92 dB à 1 m, alors que le chanteur chante à 73 dB (on suppose qu'il chante en face du microphone, sans atténuation). Cela correspond en amplitude à un gain de $G_A = 19\,\mathrm{dB}$ à 1 m.

A.N. : $G_A = 8.9$ en amplitude et échelle linéaire

Piège

Le critère de Barkhausen n'est valable que sur **l'amplitude** des signaux. Dans le cas présent, on manipule des niveaux sonores liés à des puissances **proportionnels au carré de l'amplitude** de la surpression captée par le microphone. De plus, il est exprimé en **échelle linéaire** !

Il faut alors prendre garde à la **conversion dB / échelle linéaire**, selon qu'on parle de la puissance P ou de l'amplitude A du signal, avec $P \propto A^2$. Le calcul de la grandeur X en dB s'écrit :

$$X_{dB} = 10\log\left(\frac{P}{P_0}\right) = 10\log\left[\left(\frac{A}{A_0}\right)^2\right] = 20\log\left(\frac{A}{A_0}\right)$$

La première formule est utilisée pour les niveaux sonores. La dernière est plutôt utilisée en électronique, où on manipule des tensions (avec $P \propto \frac{V^2}{R}$, R étant une résistance de charge par exemple).

Propagation dans l'air

La distance de 1 m pour la mesure de G_A a été bien choisie, car le niveau sonore est **proportionnel** à $\frac{1}{r^2}$. Si on connaît le niveau sonore I_1 en un point à la distance R_1, celui à la distance r vaut :

$$I_r = I_1\left(\frac{R_1}{r}\right)^2$$

Question d'examinateur

Comment justifier cette hypothèse ?

Le son est assimilable à une **onde sphérique** , puisqu'il se propage de manière **isotrope**. En l'absence de phénomènes dissipatifs, l'énergie totale d'un front d'onde E_{tot} se conserve, or la surface d'une sphère de rayon r est $4\pi r^2$, d'où $E(r) = \frac{E_{tot}}{4\pi r^2}$.

Or l'amplitude du signal (vitesse des particule ou surpression) est proportionnelle à la racine carrée de l'intensité sonore. En effet, la puissance acoustique à travers une surface S vaut $\iint_S \overrightarrow{\pi_{ac}}.\overrightarrow{ds}$ avec $\overrightarrow{\pi_{ac}} = p\,\vec{v}$ le **vecteur de Poynting acoustique.** Or $p = \mu_0 c_s v$, avec c_s la vitesse du son. Comme $R_1 = 1\,\mathrm{m}$, on a :

$$e_r = s\,\underbrace{\frac{1}{r}}_{\beta}$$

Calcul de la distance minimale

Il peut y avoir l'effet Larsen si :

$$\frac{G_m G_A}{r} > 1$$

$$\Rightarrow \boxed{r < G_m G_A}$$

A.N. : On trouve $r_{lim} = 4.0\,\mathrm{m}$

Il faut éviter d'approcher le microphone à moins de 4 m du haut-parleur si on veut éviter le Larsen.