Cours de Physique des Capteurs : Conditionnement du signal

A. Arciniegas
N. Wilkie-Chancellier

IUT Cergy-Pontoise, Dep GEII, site de Neuville

Plan du cours

Avant propos

Définition

Conditionneur du signal : dispositif dont la fonction est en rapport direct avec la nature du signal telle que celle-ci résulte d'une part des caractéristiques propres du capteur et le cas échéant de son conditionneur et d'autre part des conditions pratiques de la mesure.

Problématique

Définition

Conditionneur du signal : dispositif dont la fonction est en rapport direct avec la nature du signal telle que celle-ci résulte d'une part des caractéristiques propres du capteur et le cas échéant de son conditionneur et d'autre part des conditions pratiques de la mesure.

Il permet notamment de :

- **interfacer** la source du signal et le reste de la chaîne de mesure selon que cette source est un générateur de tension, de courant ou de charge ;

Définition

Conditionneur du signal : dispositif dont la fonction est en rapport direct avec la nature du signal telle que celle-ci résulte d'une part des caractéristiques propres du capteur et le cas échéant de son conditionneur et d'autre part des conditions pratiques de la mesure.

Il permet notamment de :

- **interfacer** la source du signal et le reste de la chaîne de mesure selon que cette source est un générateur de tension, de courant ou de charge ;
- **amplifier** le signal ;

Problématique

Définition

Conditionneur du signal : dispositif dont la fonction est en rapport direct avec la nature du signal telle que celle-ci résulte d'une part des caractéristiques propres du capteur et le cas échéant de son conditionneur et d'autre part des conditions pratiques de la mesure.

Il permet notamment de :

- **interfacer** la source du signal et le reste de la chaîne de mesure selon que cette source est un générateur de tension, de courant ou de charge ;
- **amplifier** le signal ;
- **linéariser** le signal ;

Définition

Conditionneur du signal : dispositif dont la fonction est en rapport direct avec la nature du signal telle que celle-ci résulte d'une part des caractéristiques propres du capteur et le cas échéant de son conditionneur et d'autre part des conditions pratiques de la mesure.

Il permet notamment de :

- **interfacer** la source du signal et le reste de la chaîne de mesure selon que cette source est un générateur de tension, de courant ou de charge ;
- **amplifier** le signal ;
- **linéariser** le signal ;
- **extraire** l'information relative au mesurande lorsque ses variations modulent le signal électrique.

Définition

Conditionneur du signal : dispositif dont la fonction est en rapport direct avec la nature du signal telle que celle-ci résulte d'une part des caractéristiques propres du capteur et le cas échéant de son conditionneur et d'autre part des conditions pratiques de la mesure.

Il permet notamment de :

- **interfacer** la source du signal et le reste de la chaîne de mesure selon que cette source est un générateur de tension, de courant ou de charge ;
- **amplifier** le signal ;
- **linéariser** le signal ;
- **extraire** l'information relative au mesurande lorsque ses variations modulent le signal électrique.

Nous allons nous intéresser à l'**amplification** et à la **linéarisation analogique** du signal.

Amplification

Rôle

D'une façon générale, un amplificateur remplit une triple fonction :

D'une façon générale, un amplificateur remplit une triple fonction :

- en augmentant son niveau, il assure une **protection du signal** vis-à-vis des parasites, du bruit de fond et des dérives des éléments suivants de la chaîne ;

Rôle

D'une façon générale, un amplificateur remplit une triple fonction :

- en augmentant son niveau, il assure une **protection du signal** vis-à-vis des parasites, du bruit de fond et des dérives des éléments suivants de la chaîne ;
- par son impédance d'entrée élevée et sa faible impédance interne, il permet d'assurer un **transfert optimal du signal** entre les dispositifs qu'il relie ;

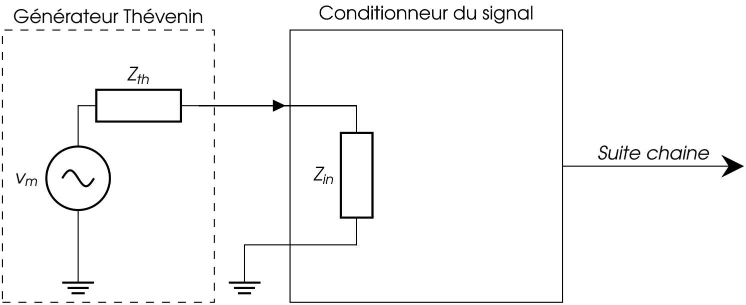
Rôle

D'une façon générale, un amplificateur remplit une triple fonction :

- en augmentant son niveau, il assure une **protection du signal** vis-à-vis des parasites, du bruit de fond et des dérives des éléments suivants de la chaîne ;
- par son impédance d'entrée élevée et sa faible impédance interne, il permet d'assurer un **transfert optimal du signal** entre les dispositifs qu'il relie ;
- il **améliore la précision de mesure** en portant le signal au niveau requis par l'échelle d'entrée de l'élément final de la chaîne (le CAN, convertisseur analogique-numérique).

Adaptation de la source du signal à la chaîne de mesure

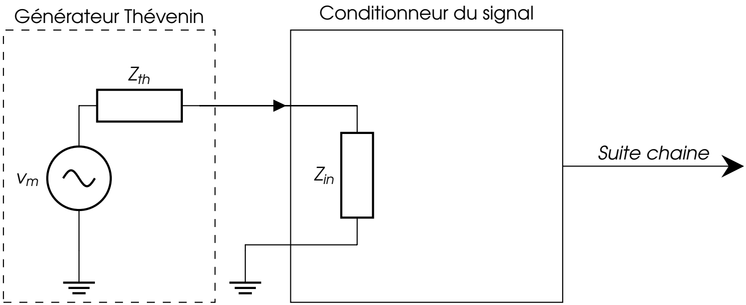
Lorsque l'information correspondant au mesurande m est délivrée sous la forme d'une tension v_m, nous devons prendre en compte le circuit équivalent Thévenin vu par le circuit aux bornes duquel est recueilli le signal v_m.



Adaptation de la source du signal à la chaîne de mesure

Lorsque l'information correspondant au mesurande m est délivrée sous la forme d'une tension v_m, nous devons prendre en compte le circuit équivalent Thévenin vu par le circuit aux bornes duquel est recueilli le signal v_m.

Dans ce cas, l'impédance d'entrée Z_{in} du conditionneur du signal doit être très supérieure à l'impédance Thévenin Z_{th}.



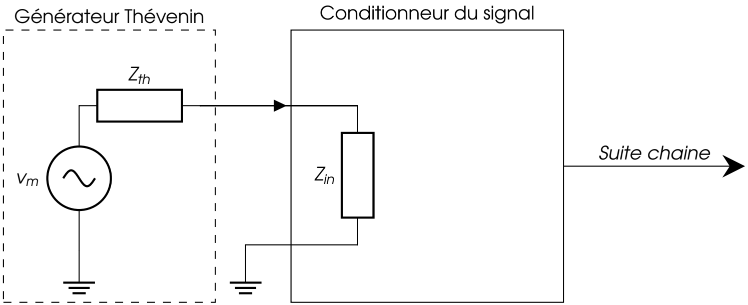
Adaptation de la source du signal à la chaîne de mesure

Lorsque l'information correspondant au mesurande m est délivrée sous la forme d'une tension v_m, nous devons prendre en compte le circuit équivalent Thévenin vu par le circuit aux bornes duquel est recueilli le signal v_m.

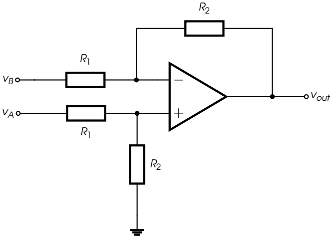
Dans ce cas, l'impédance d'entrée Z_{in} du conditionneur du signal doit être très supérieure à l'impédance Thévenin Z_{th}.

Les dispositifs à grande impédance d'entrée utilisables dans ce cas sont :

- l'AOP en montage suiveur ou non inverseur
- l'amplificateur différentiel, en général sous la forme de l'amplificateur d'instrumentation



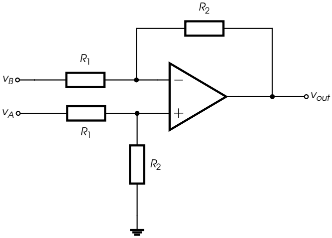
Nous avons déjà vu le montage amplificateur différentiel, rappelé ci-après :



Solution

Rappel : Amplificateur différentiel

Nous avons déjà vu le montage amplificateur différentiel, rappelé ci-après :



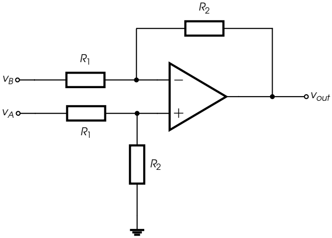
Solution

Un pont diviseur de tension permet d'exprimer v_+ par :

$$v_+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_A$$

Rappel : Amplificateur différentiel

Nous avons déjà vu le montage amplificateur différentiel, rappelé ci-après :



Solution

Un pont diviseur de tension permet d'exprimer v_+ par :

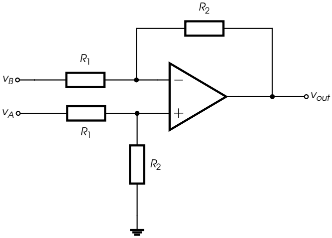
$$v_+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_A$$

Le Théorème de Millman permet d'exprimer v_- par :

$$v_- = \frac{\frac{v_B}{R_1} + \frac{v_{out}}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_2 v_B + R_1 v_{out}}{R_1 + R_2}$$

Rappel : Amplificateur différentiel

Nous avons déjà vu le montage amplificateur différentiel, rappelé ci-après :

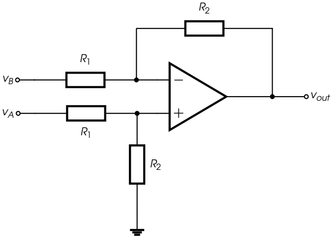


Solution

L'AOP fonctionne en régime linéaire, donc $v_+ = v_-$:

Rappel : Amplificateur différentiel

Nous avons déjà vu le montage amplificateur différentiel, rappelé ci-après :

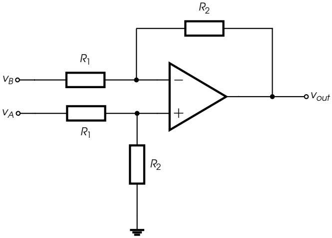


Solution

L'AOP fonctionne en régime linéaire, donc $v_+ = v_-$:

$$\Leftrightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_A = \frac{R_2 v_B + R_1 v_{out}}{R_1 + R_2}$$

Nous avons déjà vu le montage amplificateur différentiel, rappelé ci-après :



Solution

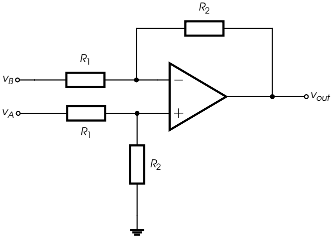
L'AOP fonctionne en régime linéaire, donc $v_+ = v_-$:

$$\Leftrightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_A = \frac{R_2 v_B + R_1 v_{out}}{R_1 + R_2}$$

$$\Leftrightarrow \frac{R_1 v_{out}}{R_1 + R_2} = (v_A - v_B) \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Rappel : Amplificateur différentiel

Nous avons déjà vu le montage amplificateur différentiel, rappelé ci-après :



Solution

L'AOP fonctionne en régime linéaire, donc $v_+ = v_-$:

$$\Leftrightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_A = \frac{R_2 v_B + R_1 v_{out}}{R_1 + R_2}$$

$$\Leftrightarrow \frac{R_1 v_{out}}{R_1 + R_2} = (v_A - v_B) \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\Leftrightarrow v_{out} = \frac{R_2}{R_1} (v_A - v_B)$$

Amplification d'une tension différentielle

L'objectif d'un conditionneur de signal amplifiant la tension v_m est d'avoir :

- en entrée les deux tensions v_A et v_B
- en sortie une tension $v_{out} = Kv_m = K(v_A - v_B)$, où K est le coefficient d'amplification.

Amplification d'une tension différentielle

L'objectif d'un conditionneur de signal amplifiant la tension v_m est d'avoir :

- en entrée les deux tensions v_A et v_B
- en sortie une tension $v_{out} = Kv_m = K(v_A - v_B)$, où K est le coefficient d'amplification.

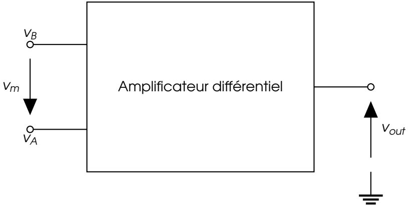
Cet amplificateur doit aussi avoir une impédance d'entrée très élevée pour assurer la *discrétion* du système, c'est-à-dire ne pas prélever d'intensité de courant dans le montage et ainsi ne pas perturber la mesure.

Amplification d'une tension différentielle

L'objectif d'un conditionneur de signal amplifiant la tension v_m est d'avoir :

- en entrée les deux tensions v_A et v_B
- en sortie une tension $v_{out} = Kv_m = K(v_A - v_B)$, où K est le coefficient d'amplification.

Cet amplificateur doit aussi avoir une impédance d'entrée très élevée pour assurer la *discrétion* du système, c'est-à-dire ne pas prélever d'intensité de courant dans le montage et ainsi ne pas perturber la mesure.



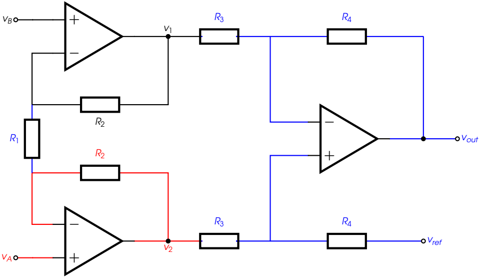
Amplificateur d'instrumentation (1/2)

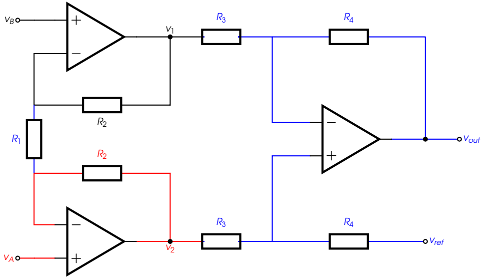
- Un des principaux amplificateurs d'instrumentation est constitué de 3 AOP.

Amplificateur d'instrumentation (1/2)

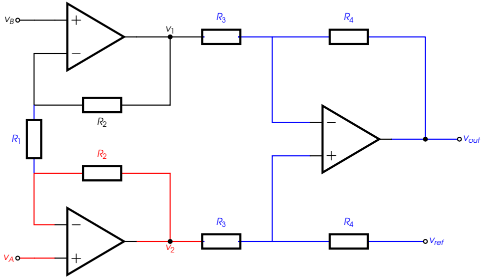
- Un des principaux amplificateurs d'instrumentation est constitué de 3 AOP.
- On retrouve bien en entrée de ce conditionneur les deux tensions v_A et v_B dont on veut amplifier la différence.

- Un des principaux amplificateurs d'instrumentation est constitué de 3 AOP.
- On retrouve bien en entrée de ce conditionneur les deux tensions v_A et v_B dont on veut amplifier la différence.



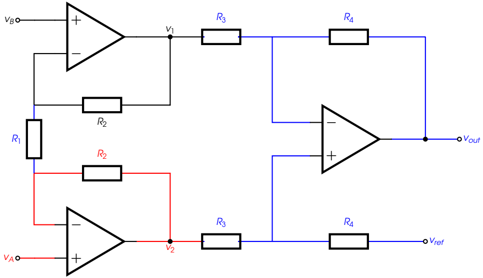


Les AOP fonctionnent en régime linéaire, on a alors :



Les AOP fonctionnent en régime linéaire, on a alors :

$$V_- = V_B$$
$$V_- = V_A$$

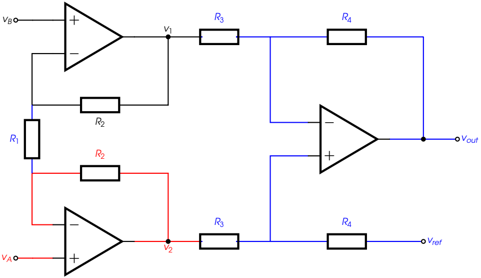


Les AOP fonctionnent en régime linéaire, on a alors :

$$v_- = v_B$$
$$v_- = v_A$$

$$v_- = \frac{\frac{v_1}{R_2} + \frac{v_A}{R_1}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1}} = \frac{R_1 v_1 + R_2 v_A}{R_1 + R_2} \Rightarrow v_1 = \frac{(R_1 + R_2)v_B - R_2 v_A}{R_1}$$

Amplificateur d'instrumentation (2/2)



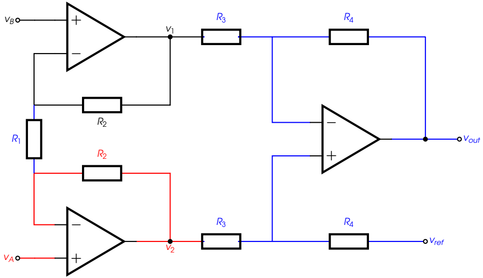
Les AOP fonctionnent en régime linéaire, on a alors :

$$v_- = v_B$$

$$v_- = v_A$$

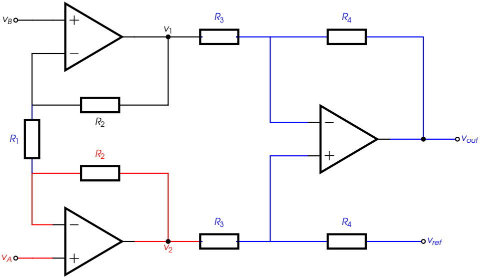
$$v_- = \frac{\frac{v_1}{R_2} + \frac{v_A}{R_1}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1}} = \frac{R_1 v_1 + R_2 v_A}{R_1 + R_2} \Rightarrow v_1 = \frac{(R_1 + R_2) v_B - R_2 v_A}{R_1}$$

$$v_- = \frac{\frac{v_2}{R_2} + \frac{v_B}{R_1}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1}} = \frac{R_1 v_2 + R_2 v_B}{R_1 + R_2} \Rightarrow v_2 = \frac{(R_1 + R_2) v_A - R_2 v_B}{R_1}$$



Les AOP fonctionnent en régime linéaire, on a alors :

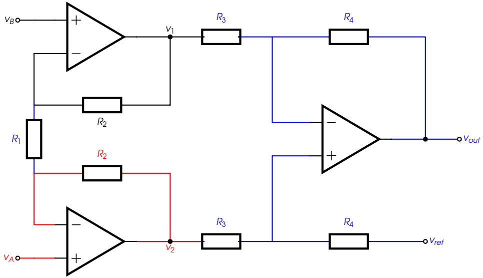
$$v_+ = \frac{\frac{v_2}{R_3} + \frac{v_{ref}}{R_4}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{R_4 v_2 + R_3 v_{ref}}{R_3 + R_4}$$



Les AOP fonctionnent en régime linéaire, on a alors :

$$v_+ = \frac{\frac{v_2}{R_3} + \frac{v_{ref}}{R_4}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{R_4 v_2 + R_3 v_{ref}}{R_3 + R_4}$$

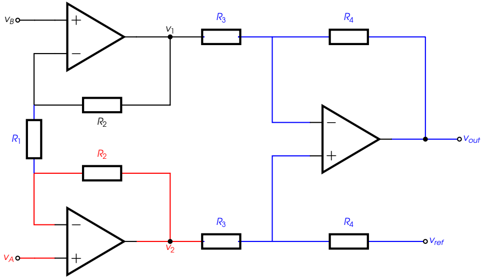
$$v_- = \frac{\frac{v_1}{R_3} + \frac{v_{out}}{R_4}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{R_4 v_1 + R_3 v_{out}}{R_3 + R_4}$$



Les AOP fonctionnent en régime linéaire, on a alors :

$$v_+ = v_-$$

$$R_4 v_2 + R_3 v_{ref} = R_4 v_1 + R_3 v_{out}$$

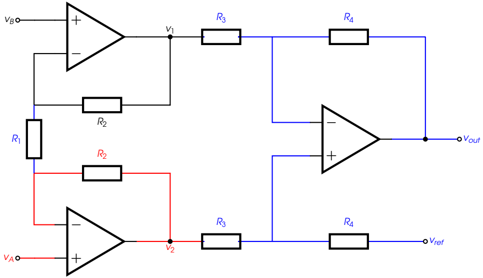


Les AOP fonctionnent en régime linéaire, on a alors :

$$v_+ = v_-$$

$$R_4 v_2 + R_3 v_{ref} = R_4 v_1 + R_3 v_{out}$$

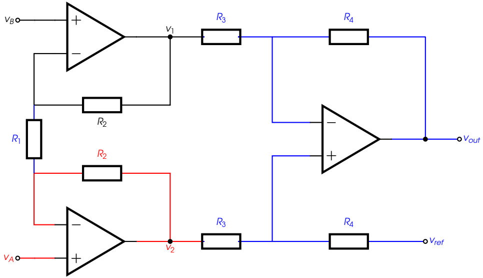
$$v_{out} = v_{ref} + \frac{R_4}{R_3}(v_2 - v_1)$$



En remplaçant v_1 et v_2 par leurs expressions, il vient :

$$v_{out} = v_{ref} + \frac{R_4}{R_3}(v_2 - v_1)$$

$$v_{out} = v_{ref} + \frac{R_4}{R_3}\left[\frac{(R_1+R_2)v_A - R_2 v_B}{R_1} - \left(\frac{(R_1+R_2)v_B - R_2 v_A}{R_1}\right)\right]$$

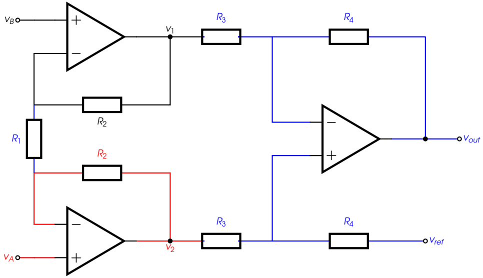


En remplaçant v_1 et v_2 par leurs expressions, il vient :

$$v_{out} = v_{ref} + \frac{R_4}{R_3}\left[\frac{(R_1+R_2)v_A - R_2 v_B}{R_1} - \left(\frac{(R_1+R_2)v_B - R_2 v_A}{R_1}\right)\right]$$

$$v_{out} = v_{ref} + \frac{R_4}{R_3}\left[v_A + \frac{R_2}{R_1}v_A - \frac{R_2}{R_1}v_B - v_B - \frac{R_2}{R_1}v_B + \frac{R_2}{R_1}v_A\right]$$

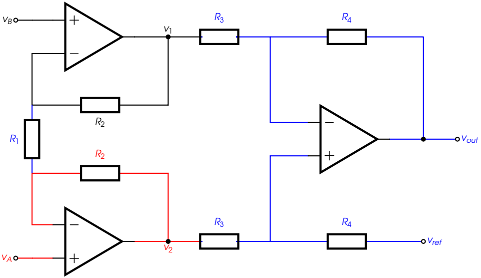
Amplificateur d'instrumentation (2/2)



En remplaçant v_1 et v_2 par leurs expressions, il vient :

$$v_{out} = v_{ref} + \frac{R_4}{R_3}\left[v_A + \frac{R_2}{R_1}v_A - \frac{R_2}{R_1}v_B - v_B - \frac{R_2}{R_1}v_B + \frac{R_2}{R_1}v_A\right]$$

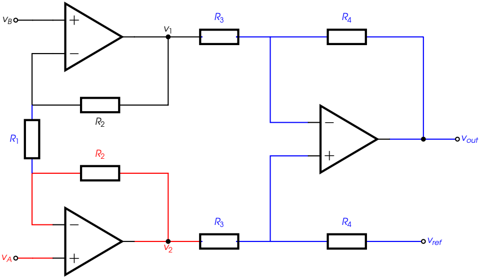
$$v_{out} = v_{ref} + \frac{R_4}{R_3}\left[v_A + 2\frac{R_2}{R_1}v_A - v_B - 2\frac{R_2}{R_1}v_B\right]$$



En remplaçant v_1 et v_2 par leurs expressions, il vient :

$$v_{out} = v_{ref} + \frac{R_4}{R_3}\left[v_A + 2\frac{R_2}{R_1}v_A - v_B - 2\frac{R_2}{R_1}v_B\right]$$

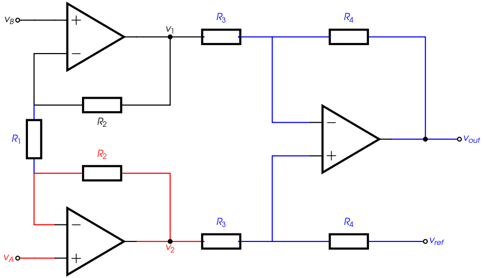
$$v_{out} = v_{ref} + \frac{R_4}{R_3}\left[\left(1 + 2\frac{R_2}{R_1}\right)v_A - \left(1 + 2\frac{R_2}{R_1}\right)v_B\right]$$



Au final :

Résumé

$$v_{out} = v_{ref} + \frac{R_4}{R_3}\left(1 + 2\frac{R_2}{R_1}\right)(v_A - v_B)$$



Au final :

Résumé

$$v_{out} = v_{ref} + \frac{R_4}{R_3}\left(1 + 2\frac{R_2}{R_1}\right)(v_A - v_B)$$

Si $v_{ref} = 0$, alors $v_{out} = Kv_m$ avec $K = \frac{R_4}{R_3}\left(1 + 2\frac{R_2}{R_1}\right)$ et $v_m = v_A - v_B$.

Linéarisation

Problème de linéarisation de tension (1/6)

Prenons l'exemple d'un capteur capacitif de déplacement dont la capacité est donnée par :

$$C(x) = C_0(1 + Ax)$$

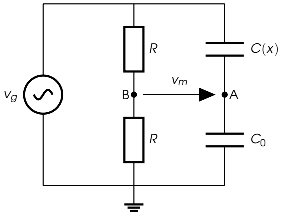
où C_0 est la capacité du capteur pour x = 0, et A est un coefficient dépendant des caractéristiques électriques (permittivité des milieux) et des dimensions du capteur.

Prenons l'exemple d'un capteur capacitif de déplacement dont la capacité est donnée par :

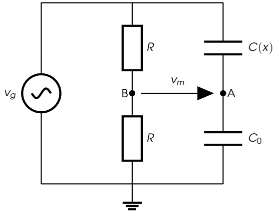
$$C(x) = C_0(1 + Ax)$$

où C_0 est la capacité du capteur pour x = 0, et A est un coefficient dépendant des caractéristiques électriques (permittivité des milieux) et des dimensions du capteur.

Positionnons ce capteur C(x) dans un pont de Sauty (déjà étudié auparavant). On retrouve ici $v_m = v_A - v_B$.

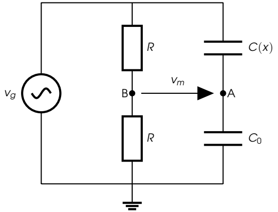


Pont de Sauty



Pont de Sauty

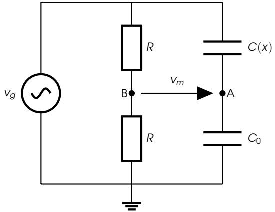
Deux ponts diviseurs de tension permettent d'écrire :



Pont de Sauty

Deux ponts diviseurs de tension permettent d'écrire :

$$v_A = \frac{Z_{C0}}{Z_{C0} + Z_C} v_g = \frac{C(x)}{C_0 + C(x)} v_g$$

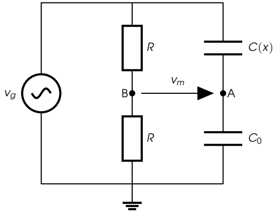


Pont de Sauty

Deux ponts diviseurs de tension permettent d'écrire :

$$v_A = \frac{Z_{C0}}{Z_{C0} + Z_C} v_g = \frac{C(x)}{C_0 + C(x)} v_g$$

$$v_B = \frac{R}{R+R} v_g = \frac{1}{2} v_g$$

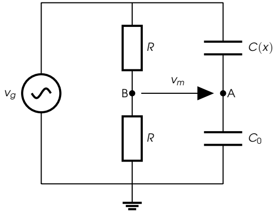


Pont de Sauty

Deux ponts diviseurs de tension permettent d'écrire :

$$v_A = \frac{Z_{C0}}{Z_{C0} + Z_C} v_g = \frac{C(x)}{C_0 + C(x)} v_g$$
$$v_B = \frac{R}{R + R} v_g = \frac{1}{2} v_g$$

On peut ainsi exprimer v_m par :



Pont de Sauty

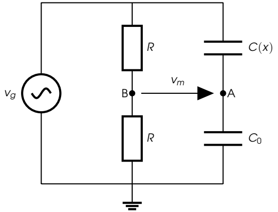
Deux ponts diviseurs de tension permettent d'écrire :

$$v_A = \frac{Z_{C0}}{Z_{C0} + Z_C} v_g = \frac{C(x)}{C_0 + C(x)} v_g$$

$$v_B = \frac{R}{R + R} v_g = \frac{1}{2} v_g$$

On peut ainsi exprimer v_m par :

$$v_m = v_A - v_B$$



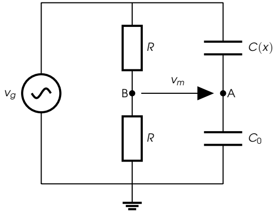
Pont de Sauty

Deux ponts diviseurs de tension permettent d'écrire :

$$v_A = \frac{Z_{C0}}{Z_{C0} + Z_C} v_g = \frac{C(x)}{C_0 + C(x)} v_g$$
$$v_B = \frac{R}{R+R} v_g = \frac{1}{2} v_g$$

On peut ainsi exprimer v_m par :

$$v_m = v_A - v_B$$
$$v_m = \frac{C(x)}{C_0 + C(x)} v_g - \frac{1}{2} v_g$$



Pont de Sauty

Deux ponts diviseurs de tension permettent d'écrire :

$$v_A = \frac{Z_{C0}}{Z_{C0} + Z_C} v_g = \frac{C(x)}{C_0 + C(x)} v_g$$

$$v_B = \frac{R}{R+R} v_g = \frac{1}{2} v_g$$

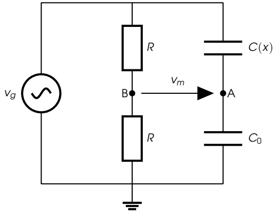
On peut ainsi exprimer v_m par :

$$v_m = v_A - v_B$$

$$v_m = \frac{C(x)}{C_0 + C(x)} v_g - \frac{1}{2} v_g$$

$$v_m = \frac{C(x) - C_0}{C(x) + C_0} \frac{v_g}{2}$$

Problème de linéarisation de tension (2/6)



Pont de Sauty

Deux ponts diviseurs de tension permettent d'écrire :

$$v_A = \frac{Z_{C0}}{Z_{C0} + Z_C} v_g = \frac{C(x)}{C_0 + C(x)} v_g$$

$$v_B = \frac{R}{R + R} v_g = \frac{1}{2} v_g$$

On peut ainsi exprimer v_m par :

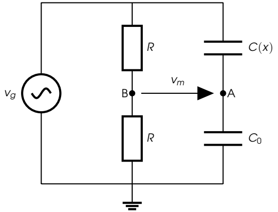
$$v_m = v_A - v_B$$

$$v_m = \frac{C(x)}{C_0 + C(x)} v_g - \frac{1}{2} v_g$$

$$v_m = \frac{C(x) - C_0}{C(x) + C_0} \frac{v_g}{2}$$

En remplaçant C(x) par son expression, on a alors :

$$v_m = \frac{Ax}{2 + Ax} \frac{v_g}{2}$$



Pont de Sauty

Deux ponts diviseurs de tension permettent d'écrire :

$$v_A = \frac{Z_{C0}}{Z_{C0} + Z_C} v_g = \frac{C(x)}{C_0 + C(x)} v_g$$
$$v_B = \frac{R}{R+R} v_g = \frac{1}{2} v_g$$

On peut ainsi exprimer v_m par :

$$v_m = v_A - v_B$$
$$v_m = \frac{C(x)}{C_0 + C(x)} v_g - \frac{1}{2} v_g$$
$$v_m = \frac{C(x) - C_0}{C(x) + C_0} \frac{v_g}{2}$$

En remplaçant C(x) par son expression, on a alors :

$$v_m = \frac{Ax}{2 + Ax} \frac{v_g}{2}$$

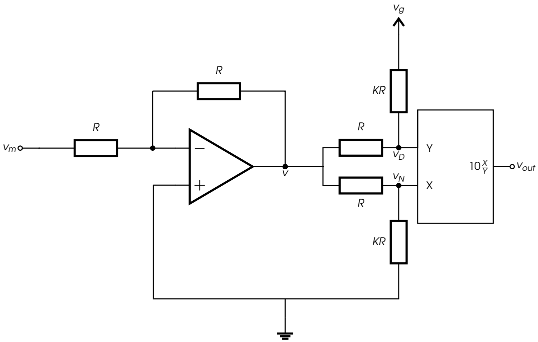
La présence du paramètre de position x au numérateur et au dénominateur indique que cette tension v_m n'est pas linéaire en fonction de x : il faut donc la linéariser par un conditionneur de signal.

Problème de linéarisation de tension (3/6)

On souhaite donc linéariser la tension : $v_m = \frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}$

On souhaite donc linéariser la tension : $v_m = \frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}$

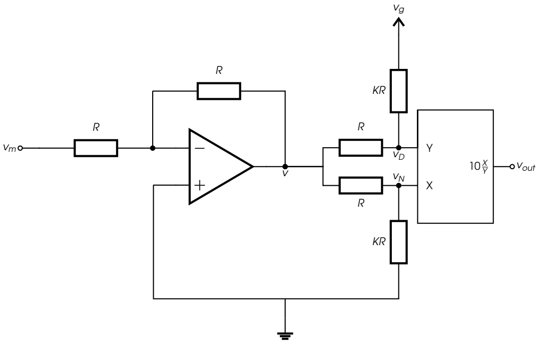
Ce signal doit être d'abord conditionné à l'aide d'un amplificateur d'instrumentation de gain unité afin d'obtenir une tension v_m référencée à la masse. Ensuite, on utilise le système de linéarisation suivant, avec la tension v_m en entrée.



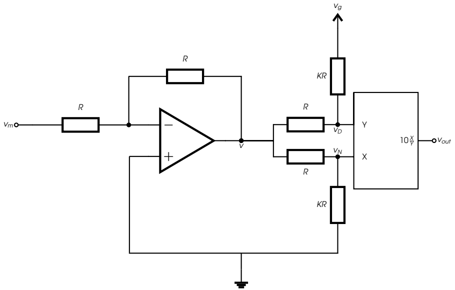
Problème de linéarisation de tension (3/6)

On souhaite donc linéariser la tension : $v_m = \frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}$

Ce signal doit être d'abord conditionné à l'aide d'un amplificateur d'instrumentation de gain unité afin d'obtenir une tension v_m référencée à la masse. Ensuite, on utilise le système de linéarisation suivant, avec la tension v_m en entrée.

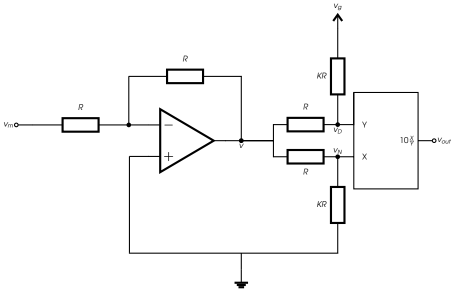


On va montrer que la tension du conditionneur v_{out} peut être linéaire en fonction de x si on choisit bien le coefficient K permettant de régler la valeur des résistances KR.



Dans ce conditionneur, on remarque :

- 1 AOP
- 1 diviseur analogique pondéré possédant 2 entrées (X et Y) et 1 sortie $\left(v_{out} = 10\frac{X}{Y}\right)$.

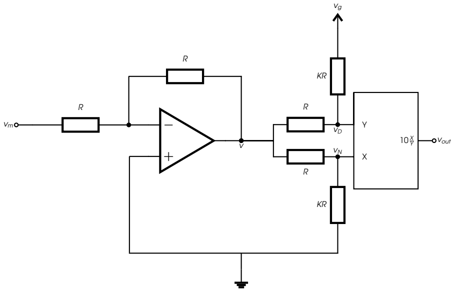


Dans ce conditionneur, on remarque :

- 1 AOP
- 1 diviseur analogique pondéré possédant 2 entrées (X et Y) et 1 sortie $\left(v_{out} = 10\frac{X}{Y}\right)$.

L'étude de l'AOP (montage inverseur) permet de voir que $v = -v_m$.

Problème de linéarisation de tension (4/6)



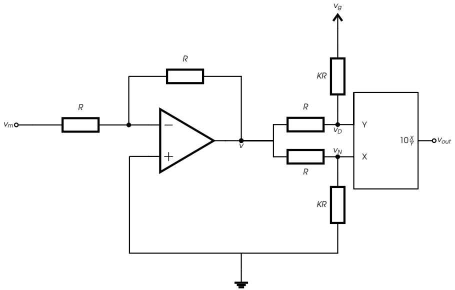
Dans ce conditionneur, on remarque :

- 1 AOP
- 1 diviseur analogique pondéré possédant 2 entrées (X et Y) et 1 sortie $\left(v_{out} = 10\frac{X}{Y}\right)$.

L'étude de l'AOP (montage inverseur) permet de voir que $v = -v_m$.

Deux ponts diviseurs de tension indiquent que :

Problème de linéarisation de tension (4/6)



Dans ce conditionneur, on remarque :

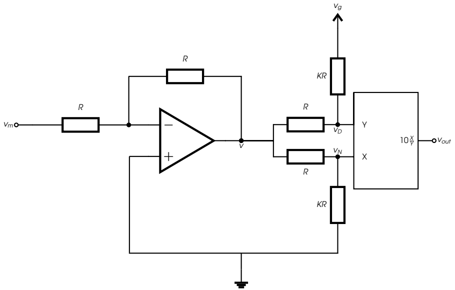
- 1 AOP
- 1 diviseur analogique pondéré possédant 2 entrées (X et Y) et 1 sortie $\left(v_{out} = 10\frac{X}{Y}\right)$.

L'étude de l'AOP (montage inverseur) permet de voir que $v = -v_m$.

Deux ponts diviseurs de tension indiquent que :

$$v_N = \frac{KR}{KR + R} v$$

$$v_D = \frac{\frac{v}{R} + \frac{v_g}{KR}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{KR}}$$



Dans ce conditionneur, on remarque :

- 1 AOP
- 1 diviseur analogique pondéré possédant 2 entrées (X et Y) et 1 sortie $\left(v_{out} = 10\frac{X}{Y}\right)$.

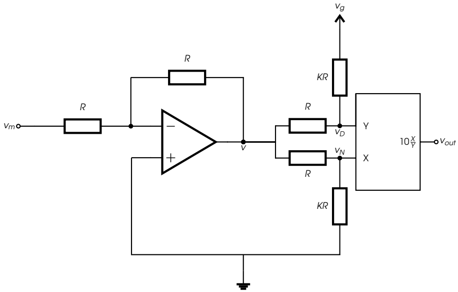
L'étude de l'AOP (montage inverseur) permet de voir que $v = -v_m$.

Deux ponts diviseurs de tension indiquent que :

$$v_N = \frac{K}{K+1} v$$

$$v_D = \frac{Kv + v_g}{K+1}$$

Problème de linéarisation de tension (5/6)



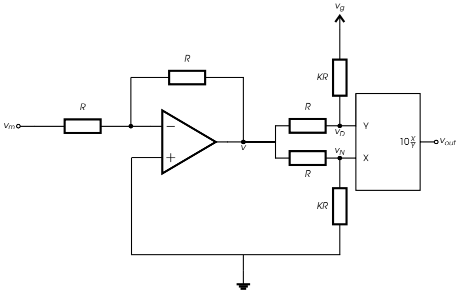
Résumé

$$v_m = \frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}$$

$$v = -v_m$$

$$v_N = \frac{K}{K+1}v$$

$$v_D = \frac{Kv + v_g}{K+1}$$



Résumé

$$v_m = \frac{Ax}{2 + Ax}\frac{v_g}{2}$$

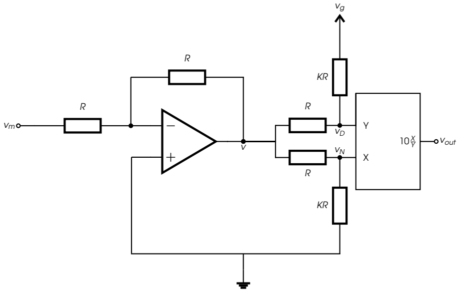
$$v = -v_m$$

$$v_N = \frac{K}{K+1}v$$

$$v_D = \frac{Kv + v_g}{K+1}$$

La tension de sortie du conditionneur est alors : $v_{out} = 10\frac{v_N}{v_D}$.

Problème de linéarisation de tension (5/6)



Résumé

$$v_m = \frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}$$

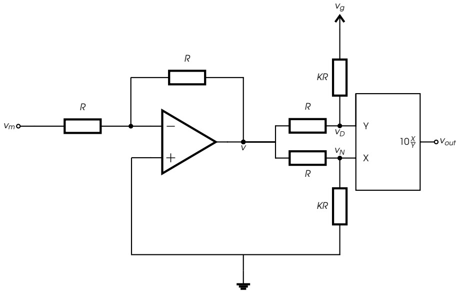
$$v = -v_m$$

$$v_N = \frac{K}{K+1}v$$

$$v_D = \frac{Kv+v_g}{K+1}$$

La tension de sortie du conditionneur est alors : $v_{out} = 10\frac{v_N}{v_D}$.

Donc :



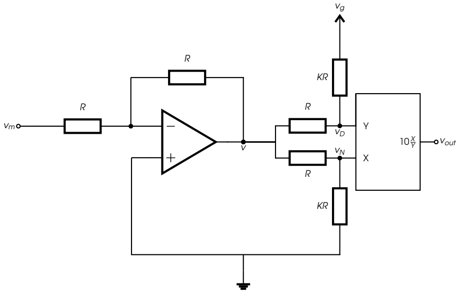
Résumé

$$v_m = \frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}$$
$$v = -v_m$$
$$v_N = \frac{K}{K+1}v$$
$$v_D = \frac{Kv+v_g}{K+1}$$

La tension de sortie du conditionneur est alors : $v_{out} = 10\frac{v_N}{v_D}$.

Donc :

$$v_{out} = 10\frac{\frac{K}{K+1}v}{\frac{Kv+v_g}{K+1}}$$



Résumé

$$v_m = \frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}$$

$$v = -v_m$$

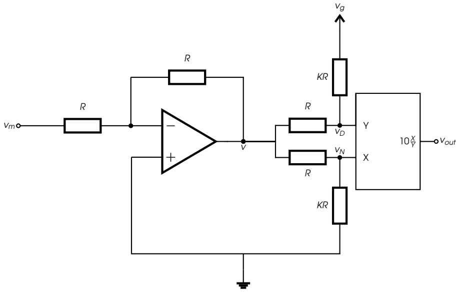
$$v_N = \frac{K}{K+1}v$$

$$v_D = \frac{Kv + v_g}{K+1}$$

La tension de sortie du conditionneur est alors : $v_{out} = 10\frac{v_N}{v_D}$.

Donc :

$$v_{out} = 10\frac{\frac{K}{K+1}v}{\frac{Kv+v_g}{K+1}} = 10\frac{Kv}{Kv+v_g}$$



Résumé

$$v_m = \frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}$$

$$v = -v_m$$

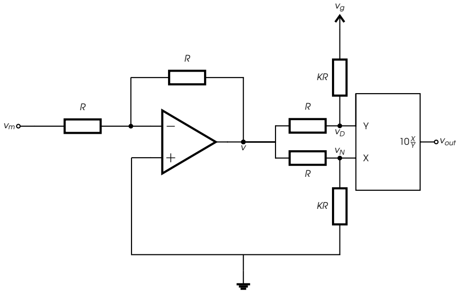
$$v_N = \frac{K}{K+1}v$$

$$v_D = \frac{Kv+v_g}{K+1}$$

La tension de sortie du conditionneur est alors : $v_{out} = 10\frac{v_N}{v_D}$.

Donc :

$$v_{out} = 10\frac{\frac{K}{K+1}v}{\frac{Kv+v_g}{K+1}} = 10\frac{Kv}{Kv+v_g} = 10\frac{-Kv_m}{v_g-Kv_m}$$



Résumé

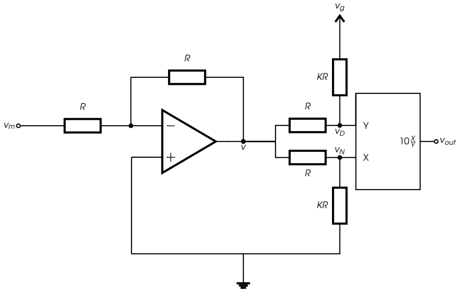
$$v_m = \frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}$$
$$v = -v_m$$
$$v_N = \frac{K}{K+1}v$$
$$v_D = \frac{Kv+v_g}{K+1}$$

La tension de sortie du conditionneur est alors : $v_{out} = 10\frac{v_N}{v_D}$.

Donc :

$$v_{out} = 10\frac{\frac{K}{K+1}v}{\frac{Kv+v_g}{K+1}} = 10\frac{Kv}{Kv+v_g} = 10\frac{-Kv_m}{v_g-Kv_m}$$

En remplaçant v_m par son expression, on obtient :



Résumé

$$v_m = \frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}$$
$$v = -v_m$$
$$v_N = \frac{K}{K+1}v$$
$$v_D = \frac{Kv+v_g}{K+1}$$

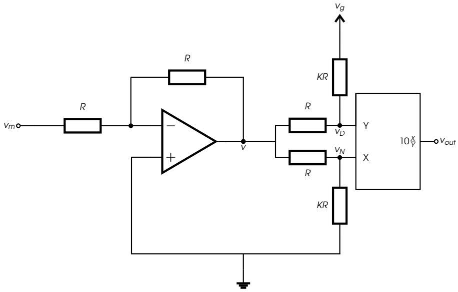
La tension de sortie du conditionneur est alors : $v_{out} = 10\frac{v_N}{v_D}$.

Donc :

$$v_{out} = 10\frac{\frac{K}{K+1}v}{\frac{Kv+v_g}{K+1}} = 10\frac{Kv}{Kv+v_g} = 10\frac{-Kv_m}{v_g - Kv_m}$$

En remplaçant v_m par son expression, on obtient :

$$v_{out} = 10\frac{-K\frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}}{v_g - K\frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}}$$



Résumé

$$v_m = \frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}$$
$$v = -v_m$$
$$v_N = \frac{K}{K+1}v$$
$$v_D = \frac{Kv+v_g}{K+1}$$

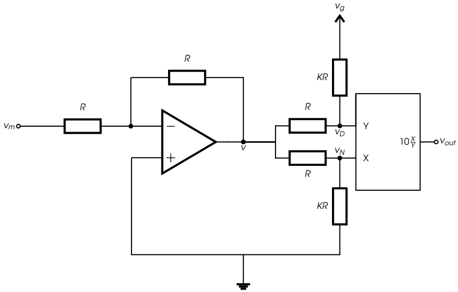
La tension de sortie du conditionneur est alors : $v_{out} = 10\frac{v_N}{v_D}$.

Donc :

$$v_{out} = 10\frac{\frac{K}{K+1}v}{\frac{Kv+v_g}{K+1}} = 10\frac{Kv}{Kv+v_g} = 10\frac{-Kv_m}{v_g-Kv_m}$$

En remplaçant v_m par son expression, on obtient :

$$v_{out} = 10\frac{-K\frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}}{v_g-K\frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}} = \frac{-10K\frac{Ax}{2+Ax}}{2-K\frac{Ax}{2+Ax}}$$



Résumé

$$v_m = \frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}$$

$$v = -v_m$$

$$v_N = \frac{K}{K+1}v$$

$$v_D = \frac{Kv+v_g}{K+1}$$

La tension de sortie du conditionneur est alors : $v_{out} = 10\frac{v_N}{v_D}$.

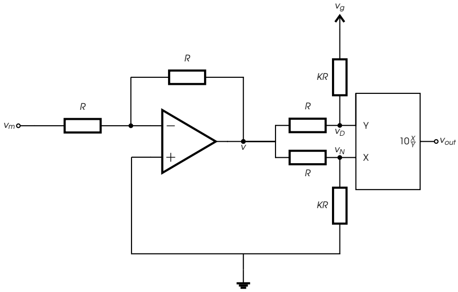
Donc :

$$v_{out} = 10\frac{\frac{K}{K+1}v}{\frac{Kv+v_g}{K+1}} = 10\frac{Kv}{Kv+v_g} = 10\frac{-Kv_m}{v_g-Kv_m}$$

En remplaçant v_m par son expression, on obtient :

$$v_{out} = 10\frac{-K\frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}}{v_g-K\frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}} = \frac{-10K\frac{Ax}{2+Ax}}{2-K\frac{Ax}{2+Ax}} = \frac{-10KAx}{2(2+Ax)-KAx}$$

Problème de linéarisation de tension (5/6)



Résumé

$$v_m = \frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}$$

$$v = -v_m$$

$$v_N = \frac{K}{K+1}v$$

$$v_D = \frac{Kv+v_g}{K+1}$$

La tension de sortie du conditionneur est alors : $v_{out} = 10\frac{v_N}{v_D}$.

Donc :

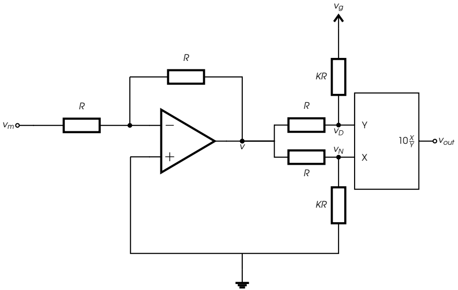
$$v_{out} = 10\frac{\frac{K}{K+1}v}{\frac{Kv+v_g}{K+1}} = 10\frac{Kv}{Kv+v_g} = 10\frac{-Kv_m}{v_g-Kv_m}$$

En remplaçant v_m par son expression, on obtient :

$$v_{out} = 10\frac{-K\frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}}{v_g-K\frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}} = \frac{-10K\frac{Ax}{2+Ax}}{2-K\frac{Ax}{2+Ax}} = \frac{-10KAx}{2(2+Ax)-KAx} = \frac{-10KAx}{4+(2-K)Ax}$$

Au final, on a :

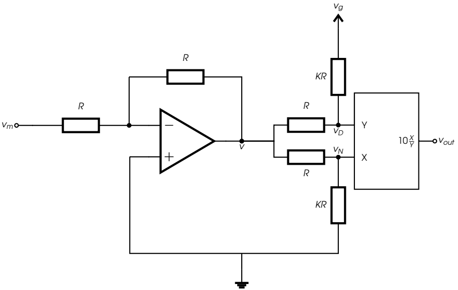
$$v_m = \frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}$$



$$v_{out} = \frac{-10KAx}{4+(2-K)Ax}$$

Au final, on a :

$$v_m = \frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}$$



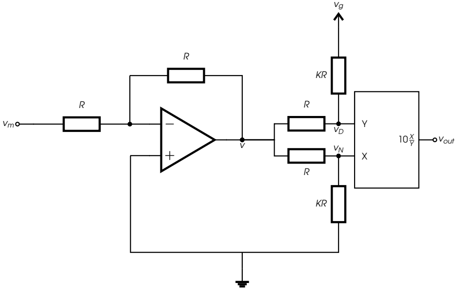
$$v_{out} = \frac{-10KAx}{4+(2-K)Ax}$$

En conclusion, il suffit de prendre K=2 dans le montage pour que x « disparaisse » du dénominateur, et donc pour que v_m soit linéaire en fonction de la position x.

Problème de linéarisation de tension (6/6)

Au final, on a :

$$v_m = \frac{Ax}{2+Ax}\frac{v_g}{2}$$



$$v_{out} = \frac{-10KAx}{4+(2-K)Ax}$$

En conclusion, il suffit de prendre K=2 dans le montage pour que x « disparaisse » du dénominateur, et donc pour que v_m soit linéaire en fonction de la position x.

Résumé

On a alors un système complet fournissant une tension de mesure linéarisée : $v_{out} = -5Ax$