
Recueil de montages

Amplificateur opérationnel

version 1.0

09/05/2010

comporte actuellement 58 montages

A. Geltzenlichter

electronique.aop@gmail.com

Introduction

Le présent recueil est un résumé condensé au format PDF des montages proposé sur le site electronique.aop.free.fr.

Il s'adresse aussi bien aux étudiants, aux électroniciens, aux ingénieurs qu'à tous les passionnés d'électronique !

Notez bien qu'il ne s'agit que d'un aide-mémoire théorique, aucun montage n'indique de valeurs précises pour les composants. Il est conseillé de visualiser les démonstrations sur le site (via le lien proposé à chaque montage) afin de bien assimiler le fonctionnement des circuits.

De nombreux cours sur l'amplificateur opérationnel sont disponibles sur internet, dont [celui-là](#). De même que de nombreux ouvrages sur l'électronique traitent également du sujet, n'hésitez donc pas à diversifier vos sources d'informations. En ce qui concerne les filtres actifs, il est conseillé aux non-initiés de lire au préalable [ce document](#) afin d'être à jour avec les concepts de fonction de transfert, de fréquence de coupure, de phase ainsi que de coefficient d'amortissement / facteur de qualité.

Conventions mises en place dans ce document :

- Tous les amplificateurs opérationnels sont considérés comme idéaux (sauf mention contraire), autrement dit que les courants d'entrée i_+ et i_- sont nuls (= impédances d'entrée de l'AOP infinies) et que leurs caractéristiques ne varient pas avec la fréquence.
 - L'alimentation symétrique des AOP n'est pas représentée pour alléger les schémas (sauf exceptions).
 - Les schémas donnés ici sont des schémas théoriques, aucune valeur de composant n'est donnée, c'est à vous d'adapter les montages qui vous intéressent aux utilisations que vous voulez en faire.
 - Les AOP sont de préférence représentés en notation ANSI.
 - Le gain d'un montage est noté $\mathbf{A}$, le déphasage $\varphi(j\omega)$.
- Les fonctions de transfert sont notées $H(j\omega)$, avec $|H(j\omega)|$ son module. La fréquence de coupure est notée f_c (pour rappel, $f_c = \frac{\omega_c}{2\pi}$), le coefficient d'amortissement est noté $\mathbf{m}$ (pour rappel, $Q = \frac{1}{2m}$ avec $\mathbf{Q}$ le facteur de qualité).

Sommaire

Partie 1 – *Montages à AOP en régime linéaire indépendants de la fréquence :*

- Amplificateurs
- Générateurs
- Fonctions mathématiques
- Sources de tension
- Montages divers

Partie 2 – *Montages à AOP en régime linéaire dépendants de la fréquence :*

- Simulateurs d'impédance
- Correcteurs
- Filtres actifs

Partie 3 – *Montages à AOP en régime non linéaire :*

- Comparateurs
- Redresseurs sans seuil
- Générateurs de fonctions

<http://electronique.aop.free.fr/>

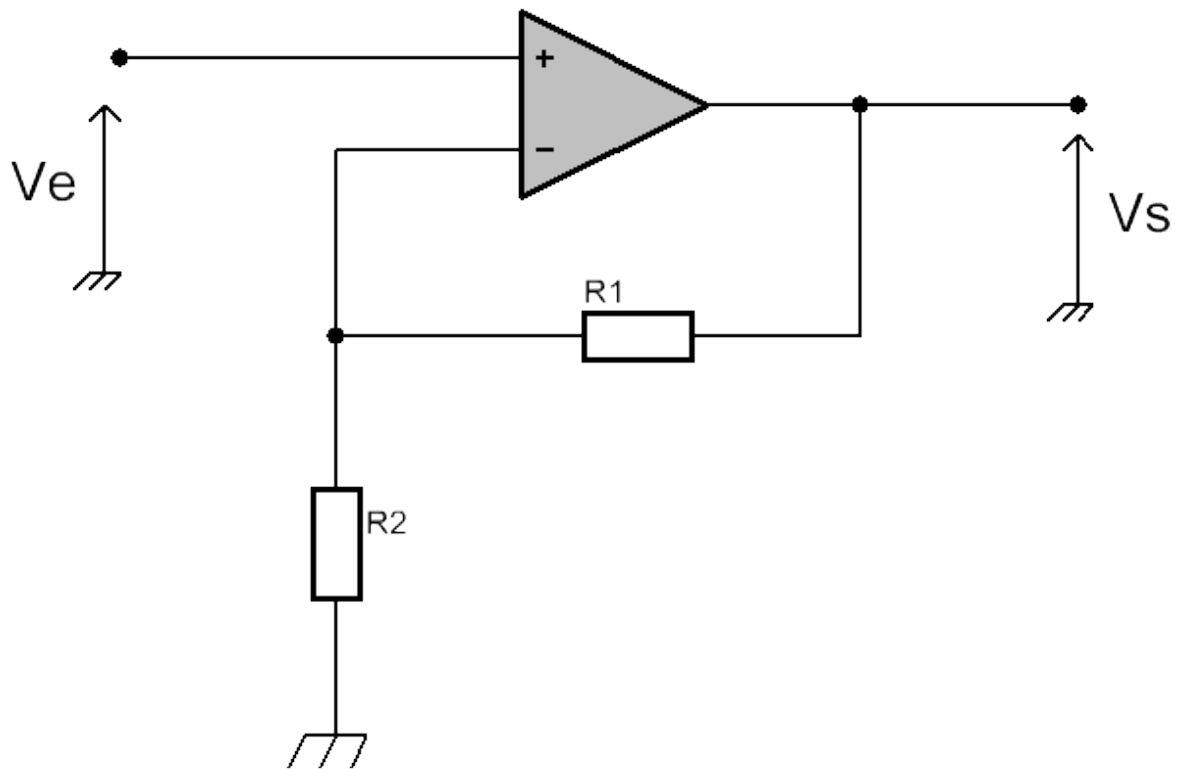
PARTIE 1

Montages à régime linéaire indépendants de la fréquence :

→ Amplificateurs :	Page :
→ Amplificateur non-inverseur	<u>8</u>
→ Amplificateur inverseur	<u>9</u>
→ Amplificateur inverseur à gain renforcé	<u>10</u>
→ Inverseur/Non-Inverseur	<u>11</u>
→ Amplificateur d'instrumentation	<u>12</u>
→ Amplificateur à sorties symétriques	<u>13</u>
→ Amplificateur à contrôle automatique de gain	<u>14</u>
 → Générateurs :	
→ Convertisseur tension/courant simple	<u>16</u>
→ Convertisseur tension/courant amélioré	<u>17</u>
→ Source de courant	<u>18</u>
 → Fonctions mathématiques :	
→ Sommateur inverseur	<u>19</u>
→ Sommateur non-inverseur	<u>20</u>
→ Soustracteur simple	<u>21</u>
→ Soustracteur amélioré	<u>22</u>
→ Intégrateur	<u>23</u>
→ Intégrateur différentiel	<u>24</u>
→ Dérivateur	<u>25</u>
→ Amplificateur logarithmique	<u>26</u>
→ Amplificateur exponentiel	<u>27</u>
 → Sources de tensions :	
→ Source de tension - 1	<u>28</u>
→ Source de tension - 2	<u>30</u>
 → Divers :	
→ Indicateur pour résistance variable	<u>32</u>
→ Simulateur de résistance négative	<u>33</u>
→ Suiveur	<u>34</u>
→ Détecteur de crête	<u>35</u>

<http://electronique.aop.free.fr/>

Amplificateur non-inverseur



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

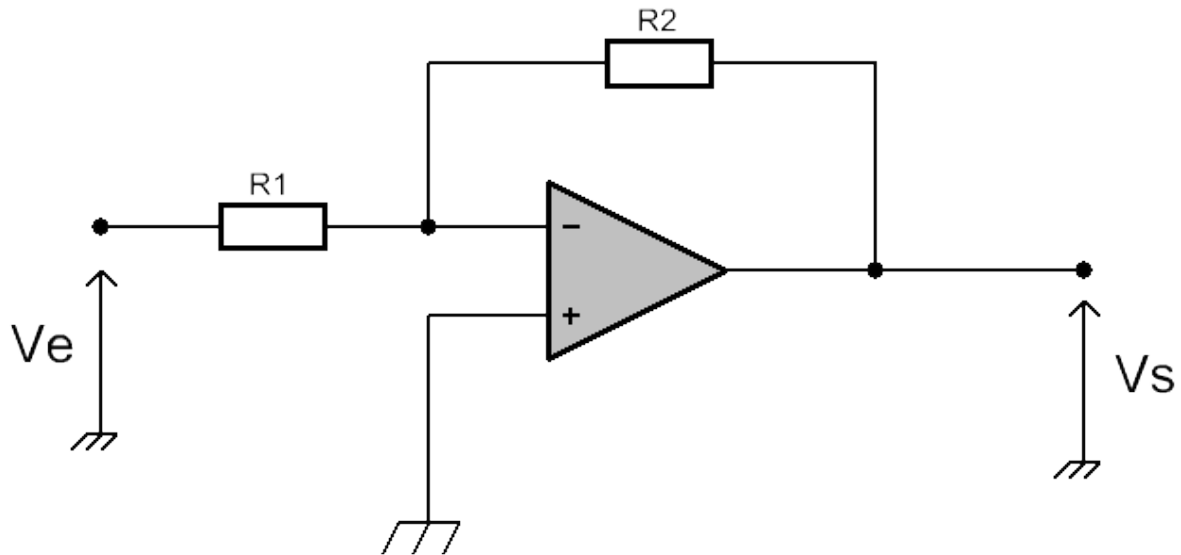
$$V_s = V_e \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

A retenir :

- Tension de sortie de même signe que celle d'entrée
- $V_s \geq V_e$
- Forte impédance d'entrée sur V_e

-> Démonstration <-

Amplificateur inverseur



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

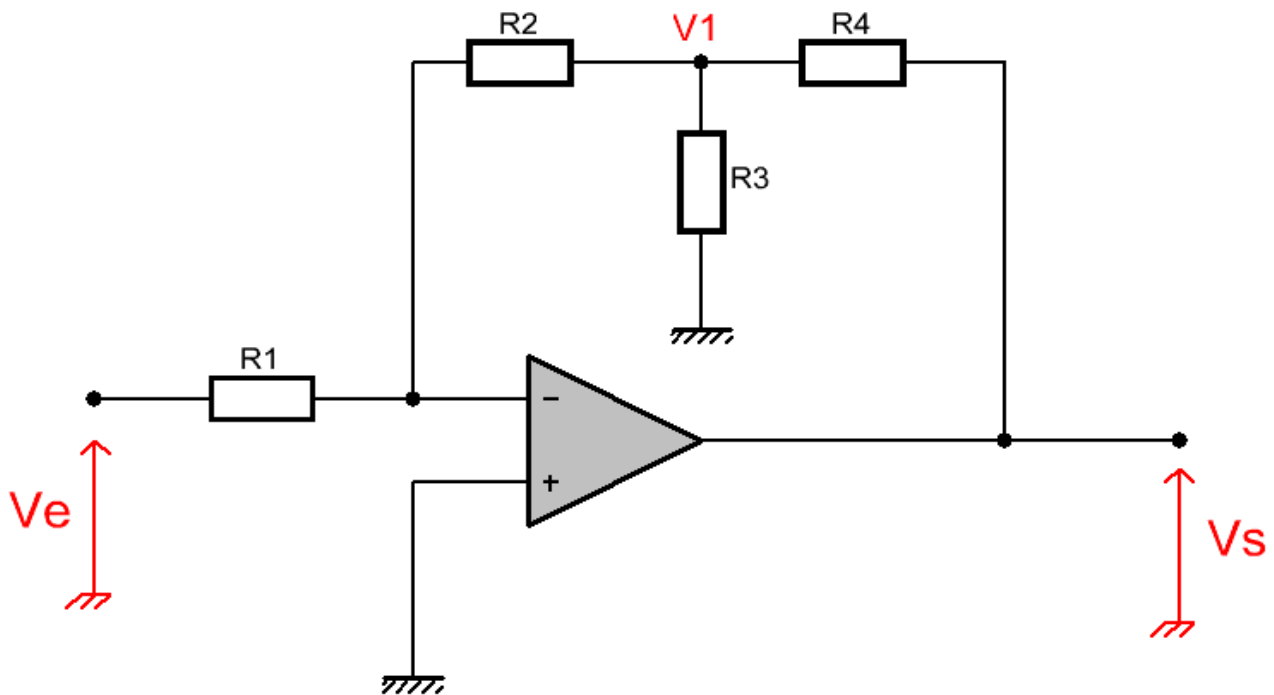
$$V_s = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right) V_e$$

A retenir :

- Tension de sortie de signe opposé à l'entrée
- $|V_s| > |V_e|$ si $R_2 > R_1$ et $|V_s| < |V_e|$ si $R_2 < R_1$

-> Démonstration <-

Amplificateur inverseur à gain renforcé



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

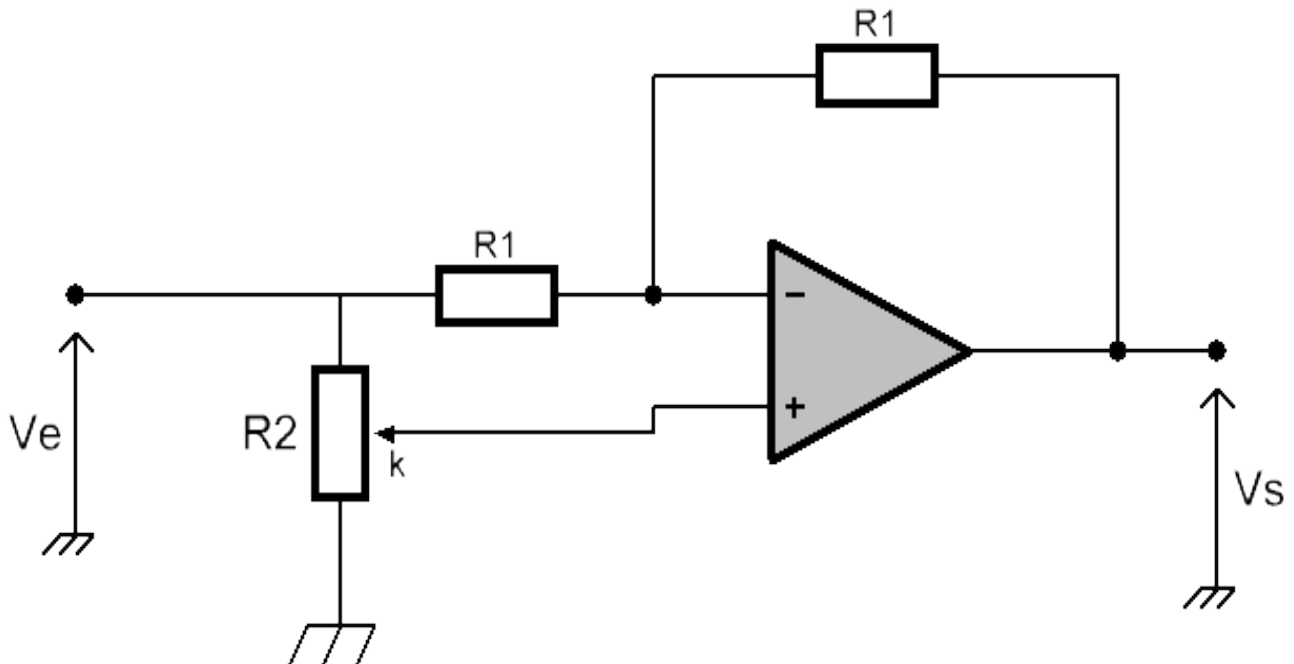
$$V_s = -V_e \frac{R_2}{R_1} \left(1 + R_4 \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \right)$$

A retenir :

- Tension de sortie de signe opposé à l'entrée
- Gain total supérieur ou égal à celui d'un montage inverseur simple

-> Démonstration <-

Inverseur / Non-inverseur



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

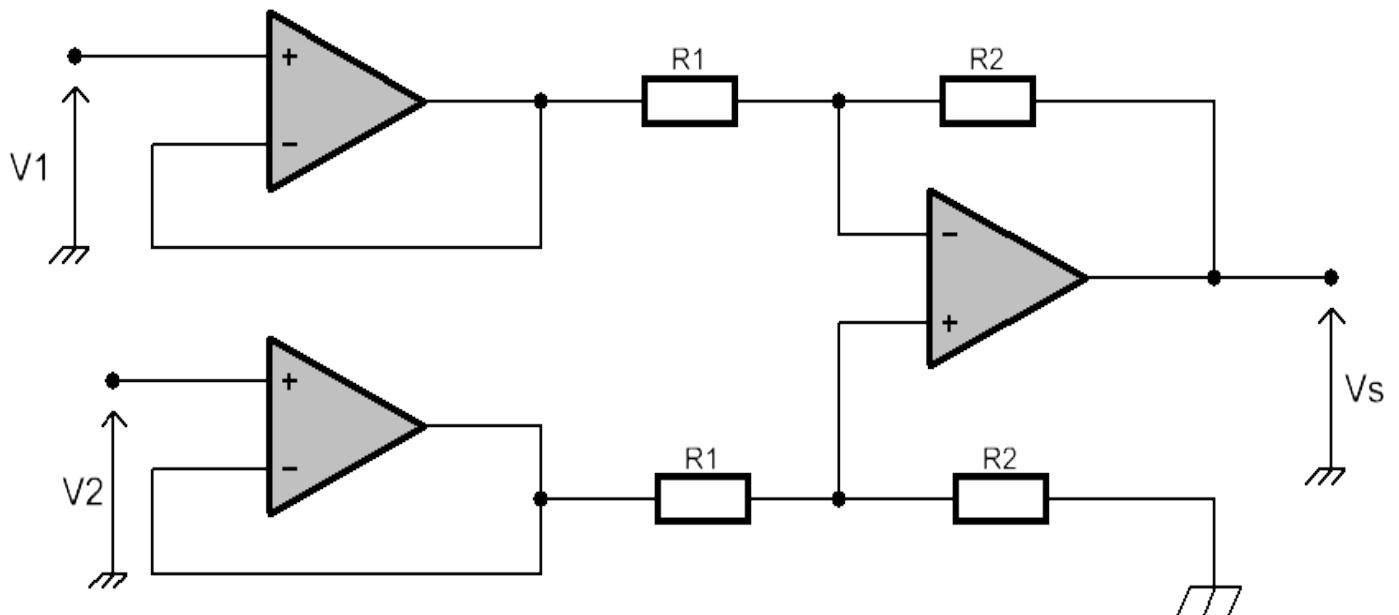
$$V_s = V_e(2k - 1)$$

A retenir :

→ Gain variant entre +1 et -1 selon la position du potentiomètre (aux extrêmes : $k = 0$ ou $k = 1$)

->Démonstration<-

Amplificateur d'instrumentation



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

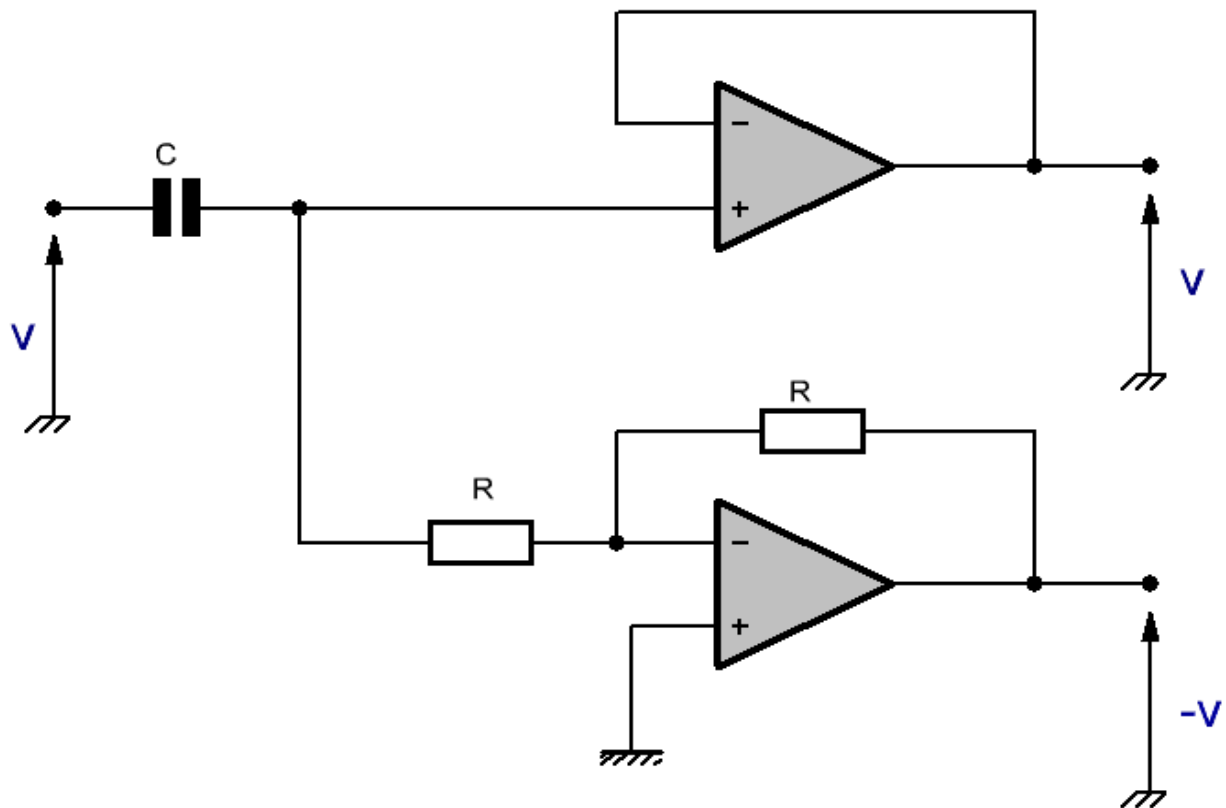
$$V_s = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

A retenir :

- Fortes impédances d'entrée sur V1 et V2
- Soustracteur simple en sortie
- Ne soutire qu'un très faible courant au étages en amont (utile en cas de capteurs délivrant un faible courant)

-> Démonstration <-

Sorties symétriques



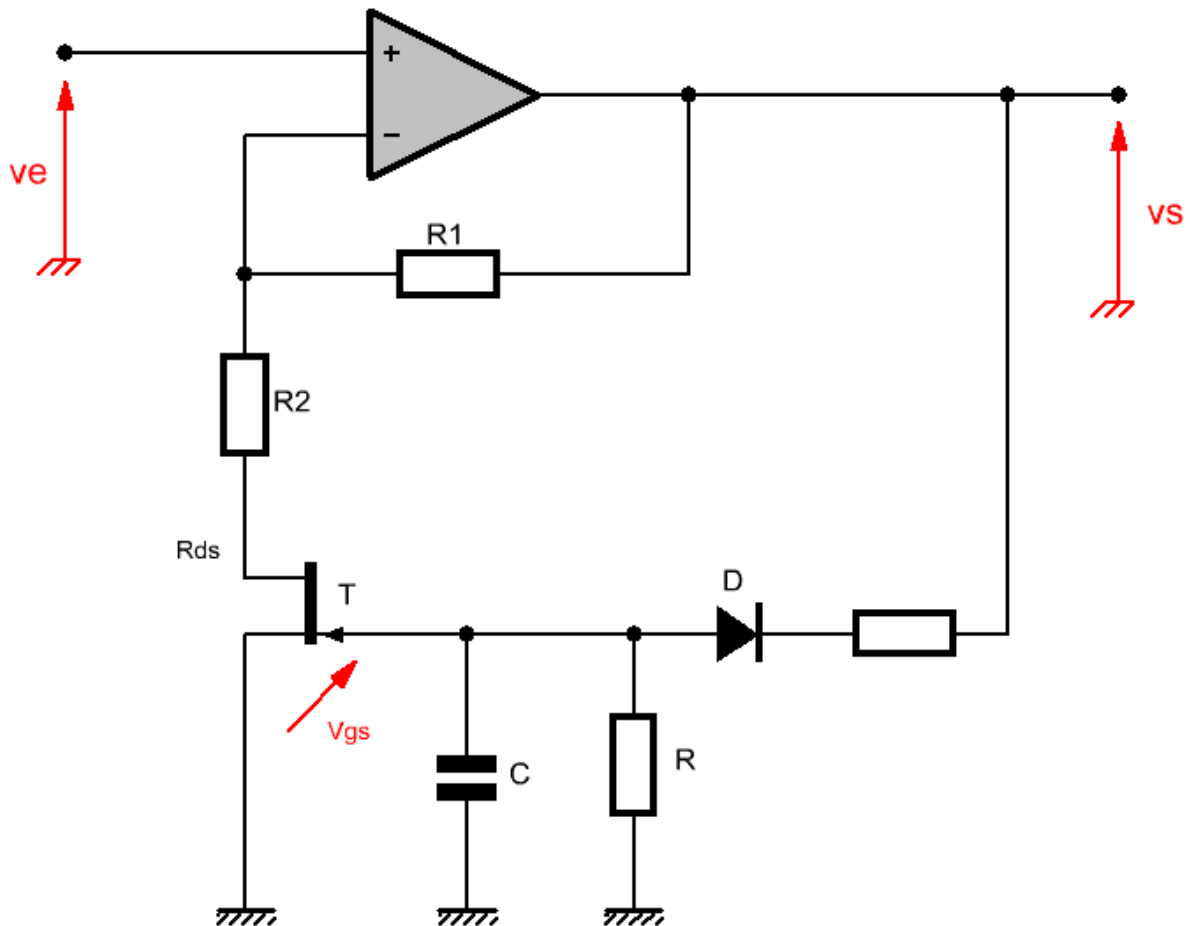
AOP supposé idéal, alimentation non représentée

A retenir :

- Tensions de sortie de signes opposés
- Le condensateur **C** bloque la composante continue du signal d'entrée **V**. L'enlever pour des sorties continues.

-> Démonstration <-

Amplificateur à contrôle automatique de gain



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

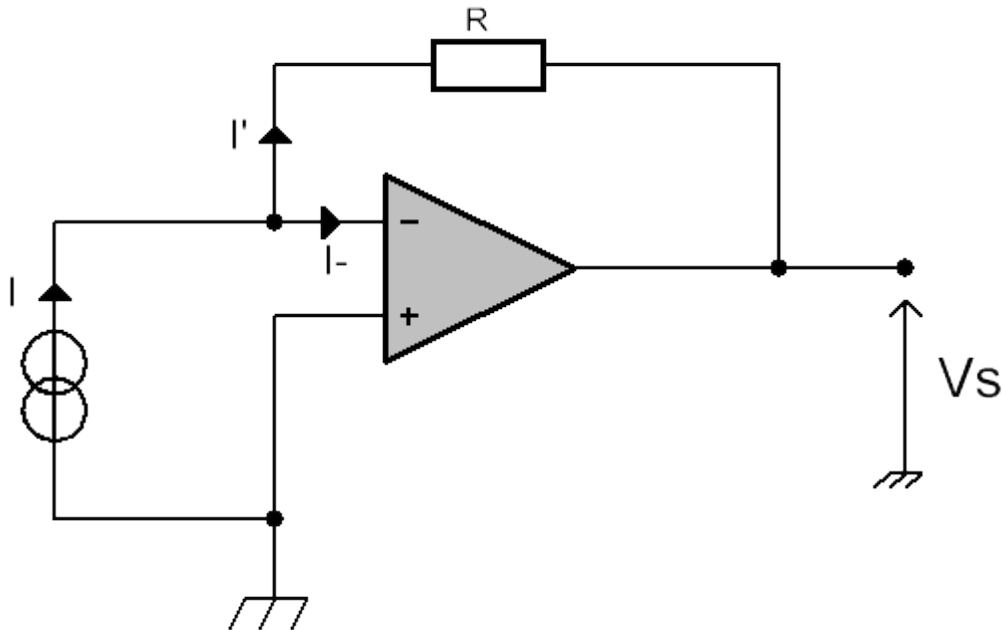
$$R_{ds} = \frac{R_{DS0}}{1 + \frac{V_{GS}}{V_P}} \quad \text{et} \quad V_s = V_e \left(1 + \frac{R_1}{R_2 + R_{DS}} \right)$$

A retenir :

- Montage amplificateur non-inverseur modifié
- L'ensemble **C**, **R** et **D** forme un détecteur de crêtes négatives
- Si $|V_s|$ augmente, alors $|V_{gs}|$ augmente et donc R_{ds} aussi. De fait, le gain total du montage diminue.
- Régulation automatique du gain pour éviter des amplitudes de sortie trop importantes (et la saturation de l'AOP par la même occasion)

-> Démonstration <-

Convertisseur tension/courant simple



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

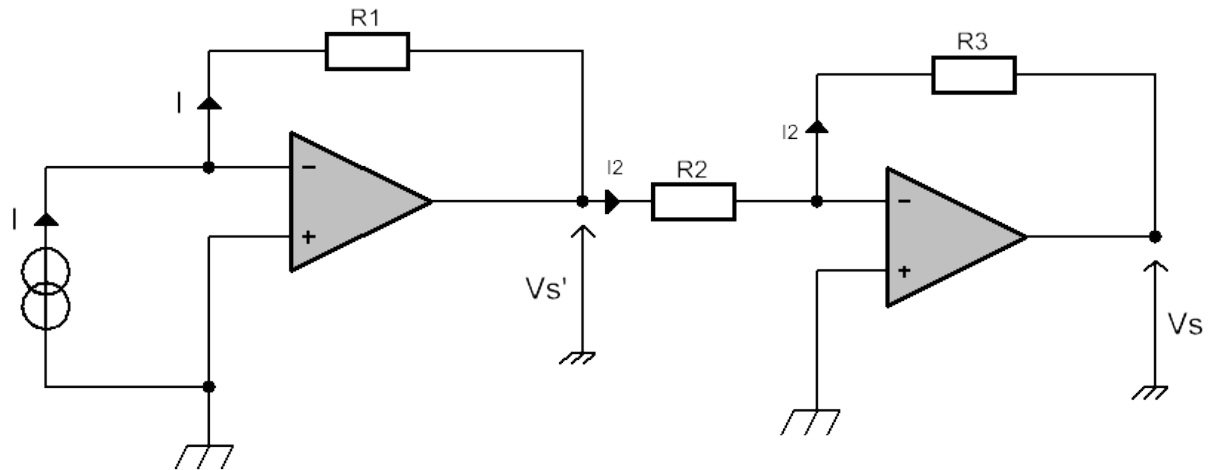
$$V_s = -R I$$

A retenir :

- Se comporte comme un générateur de tension commandé en courant (via I)
- Montage limité par les caractéristiques électriques de l'AOP (tension de sortie max , saturation, alimentation, symétrique ou non, etc.)

-> Démonstration <-

Convertisseur tension/courant amélioré



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

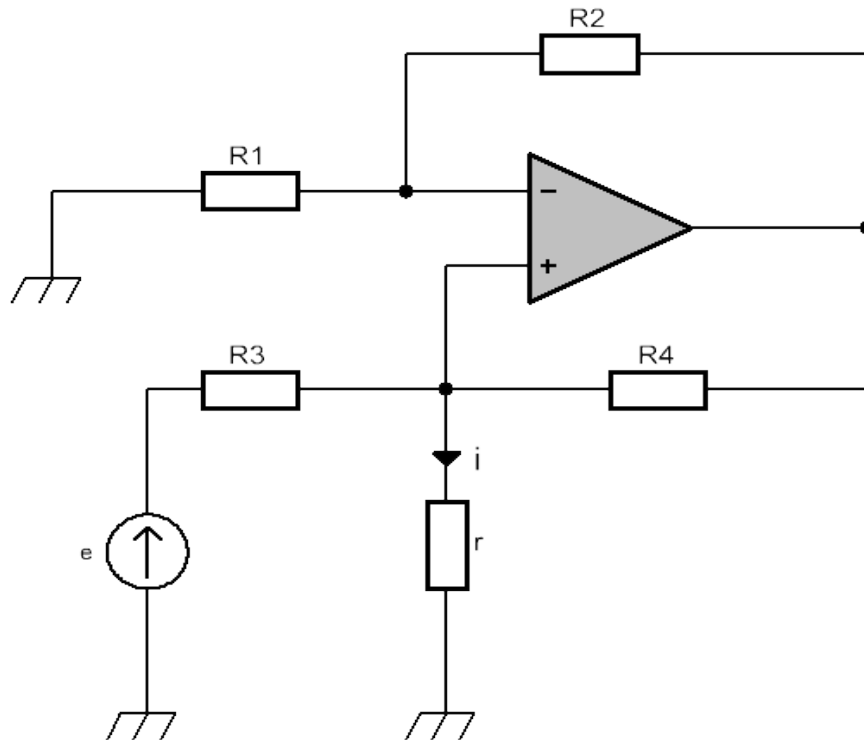
$$V_s = -\frac{R R_3}{R_2} I$$

A retenir :

- Se comporte comme un générateur de tension commandé en courant par un gain **$R.R3/R2$**
- Si la condition **$R.R3 = R2$** est vérifiée, alors la sortie en tension est directement proportionnelle au courant d'entrée **I** .

-> Démonstration <-

Source de courant



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$i = \frac{e}{R_3} \quad \text{si} \quad R_1 R_4 = R_2 R_3$$

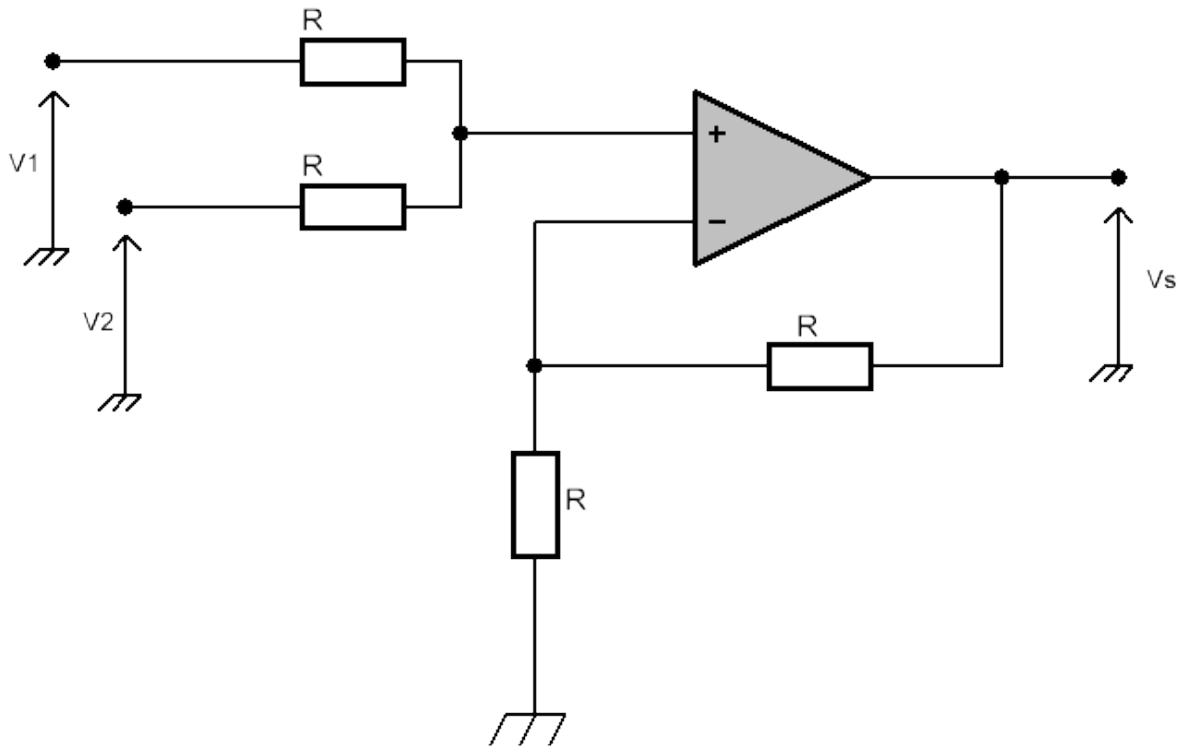
A retenir :

→ Fournit un courant **i** indépendant du circuit de charge (d'impédance **r** ici)

→ Montage nommé source de *Howland*

-> Démonstration <-

Sommeur non-inverseur



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

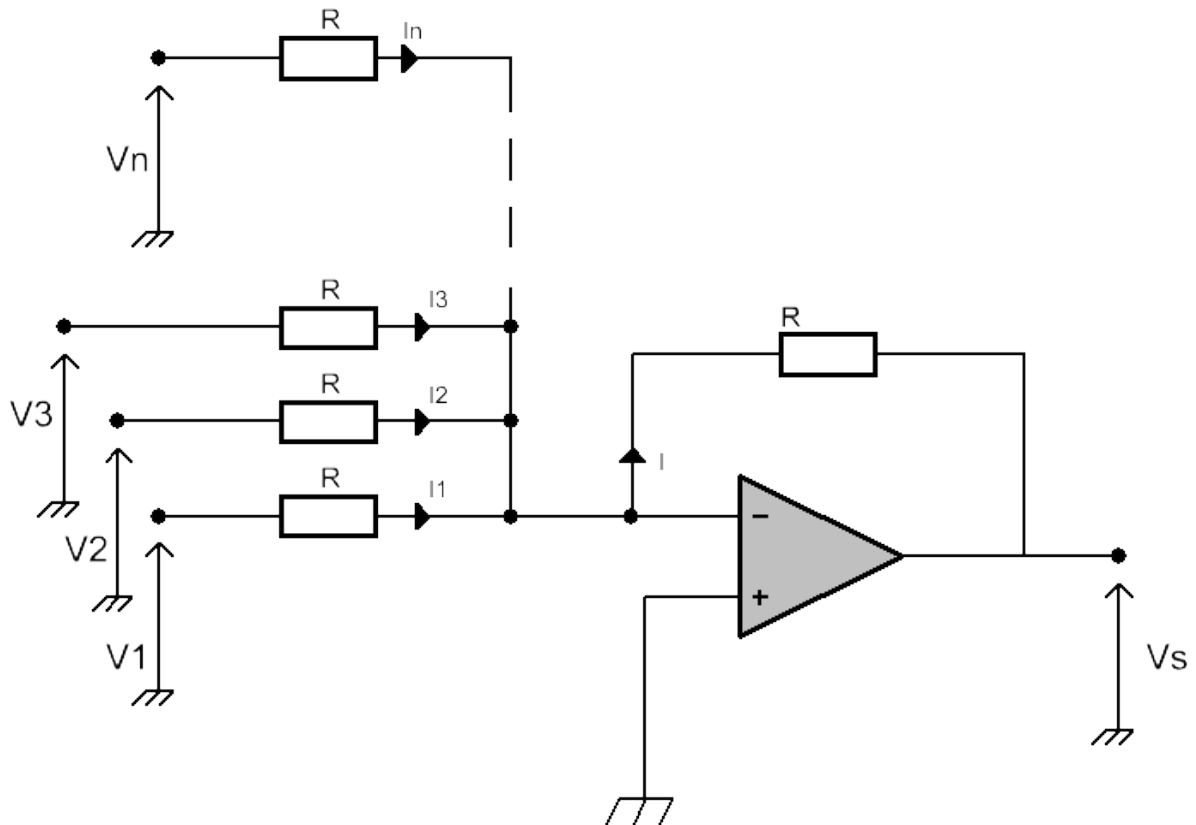
$$V_s = V_1 + V_2$$

A retenir :

→ La tension de sortie maximale est limitée par la saturation de l'AOP (dépend des caractéristiques de ce dernier ainsi que de sa tension d'alimentation)

-> Démonstration <-

Sommeur inverseur



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

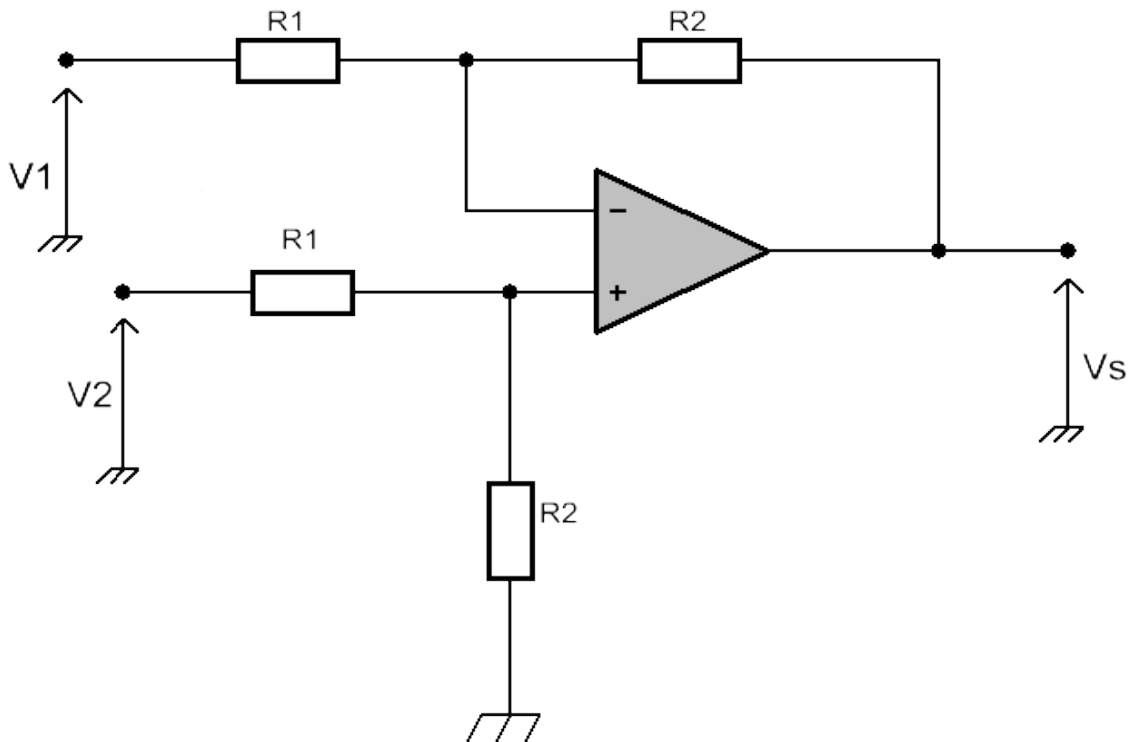
$$V_s = -(V_1 + V_2 + \dots + V_n)$$

A retenir :

→ Rajouter un amplificateur inverseur de gain -1 en sortie pour rétablir le signe positif.

-> Démonstration <-

Soustracteur simple



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

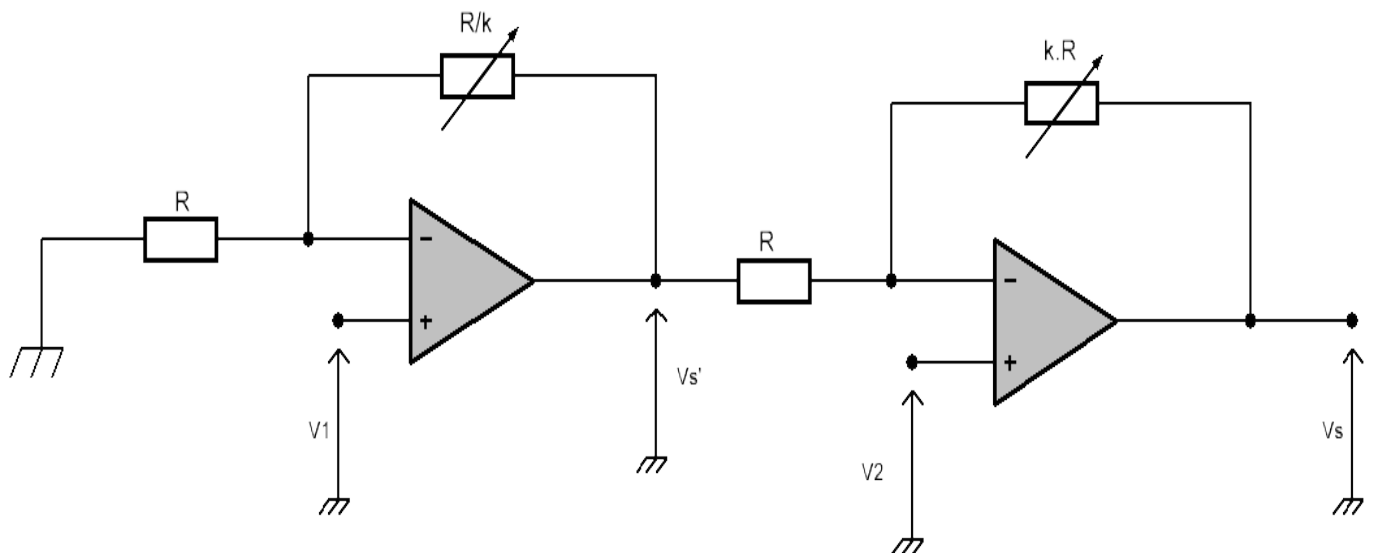
$$V_s = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

A retenir :

- Si $R_2 = R_1 = R$, alors la sortie est directement proportionnelle à la différence des entrées
- Point faible du montage : impédances d'entrée non « infinies »

-> Démonstration <-

Soustracteur amélioré



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

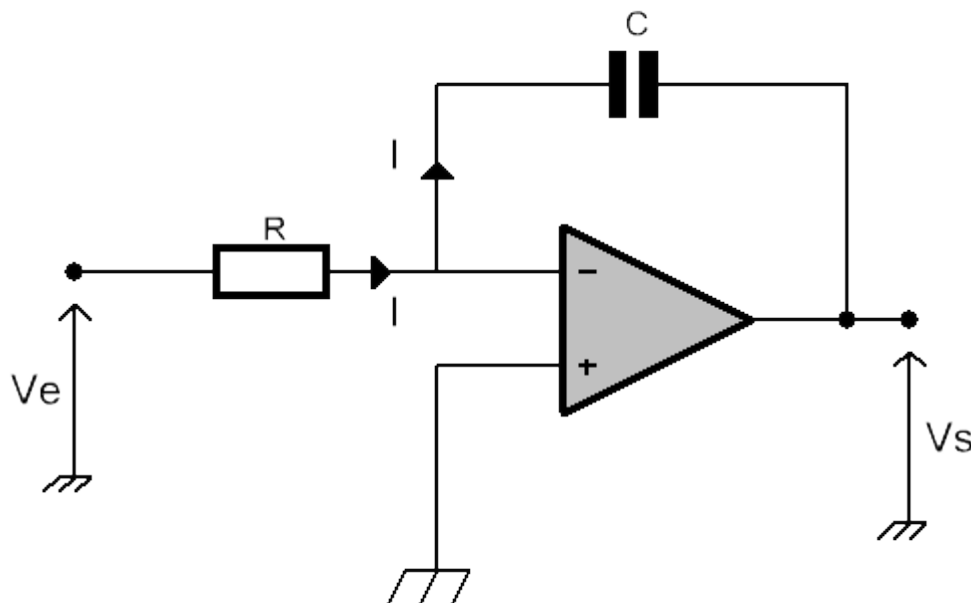
$$V_s = (k+1)(V_2 - V_1)$$

A retenir :

- Avantage du montage : impédances d'entrée « infinies »
- Inconvénient : utilisation de deux AOP

-> Démonstration <-

Intégrateur



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

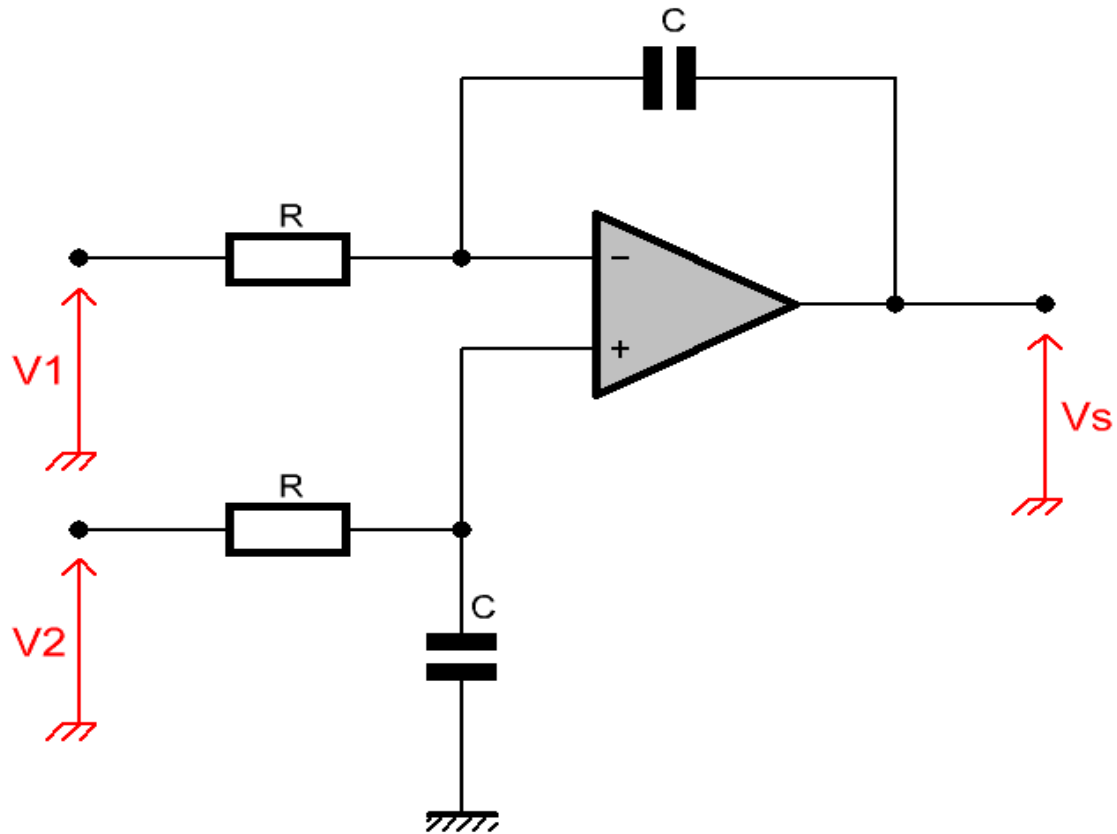
$$V_s = -\frac{1}{RC} \int V_e dt$$

A retenir :

→ En pratique, on rajoute une résistance en parallèle de **C** pour permettre une décharge de ce dernier et ainsi éviter des saturations de la sortie (cf. démo).

[-> Démonstration <-](#)

Intégrateur différentiel



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

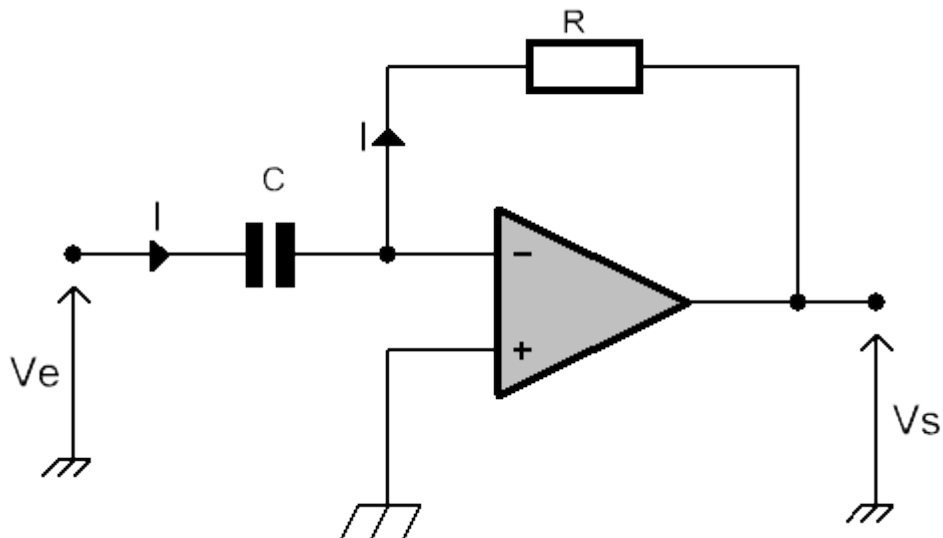
$$V_s = \frac{1}{RC} \int (V_2 - V_1) dt$$

A retenir :

→ Utiliser l'espace de Laplace pour l'étude de ce montage (cf. démo)

-> Démonstration <-

Dérivateur



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

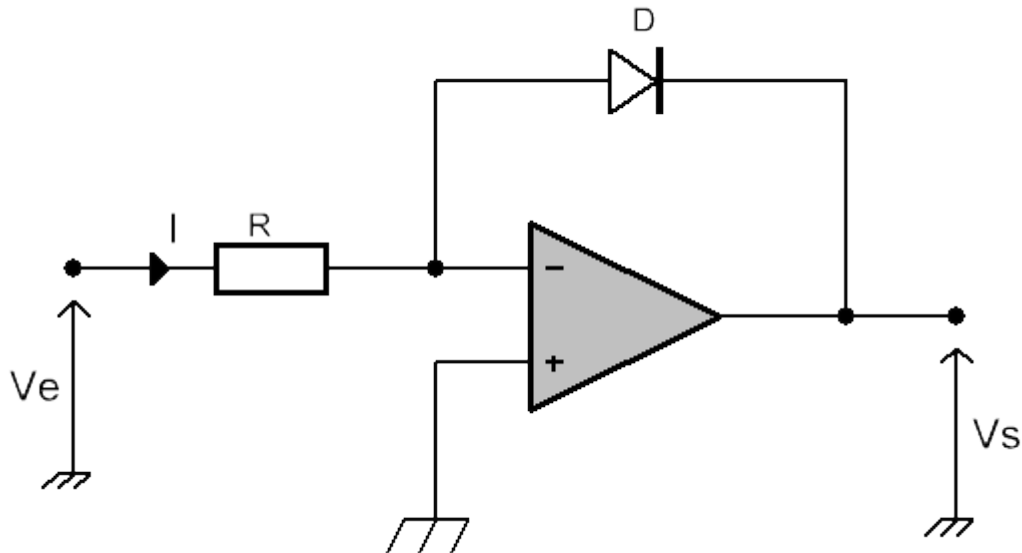
$$V_s = -RC \frac{dV_e}{dt}$$

A retenir :

→ En pratique, on rajoute une résistance en série avec **C** pour stabiliser d'éventuelles oscillations en hautes-fréquences .

-> Démonstration <-

Amplificateur logarithmique



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$V_s = -V_0 \ln\left(\frac{V_e}{R I_{sat}}\right)$$

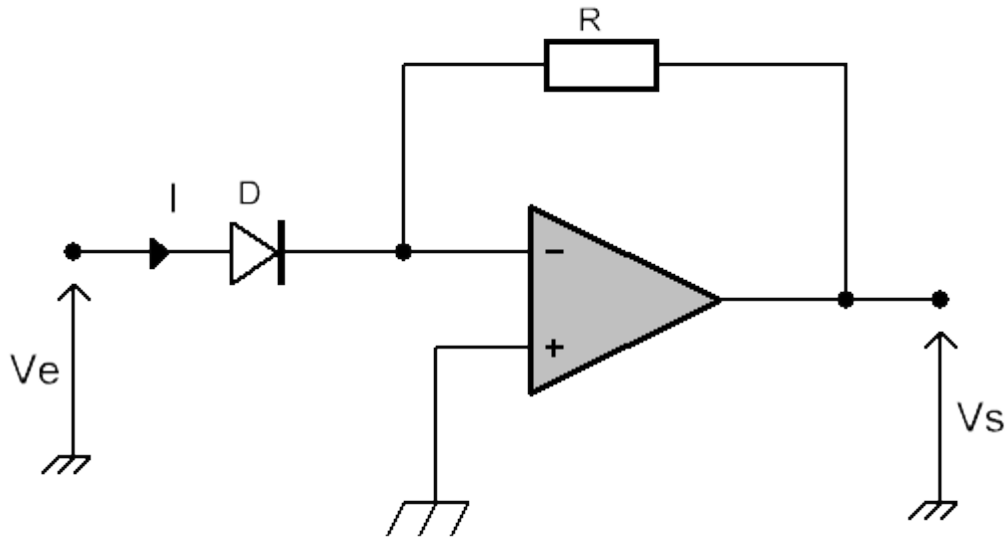
A retenir :

- La tension **V0** correspond à la tension thermodynamique, d'une valeur de 25 mV environ.
- **Isat** correspond au courant de saturation de la diode **D**.
- Le courant à traversant la diode est donné par la relation :

$$I_{diode} = I_{sat} \left(e^{\frac{-V_s}{V_0}} - 1 \right)$$

> Démonstration <-

Amplificateur exponentiel



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$V_s = -R I_{sat} e^{\frac{V_e}{V_0}}$$

A retenir :

→ La tension **V_0** est correspond à la tension thermodynamique, d'une valeur de 25 mV environ.

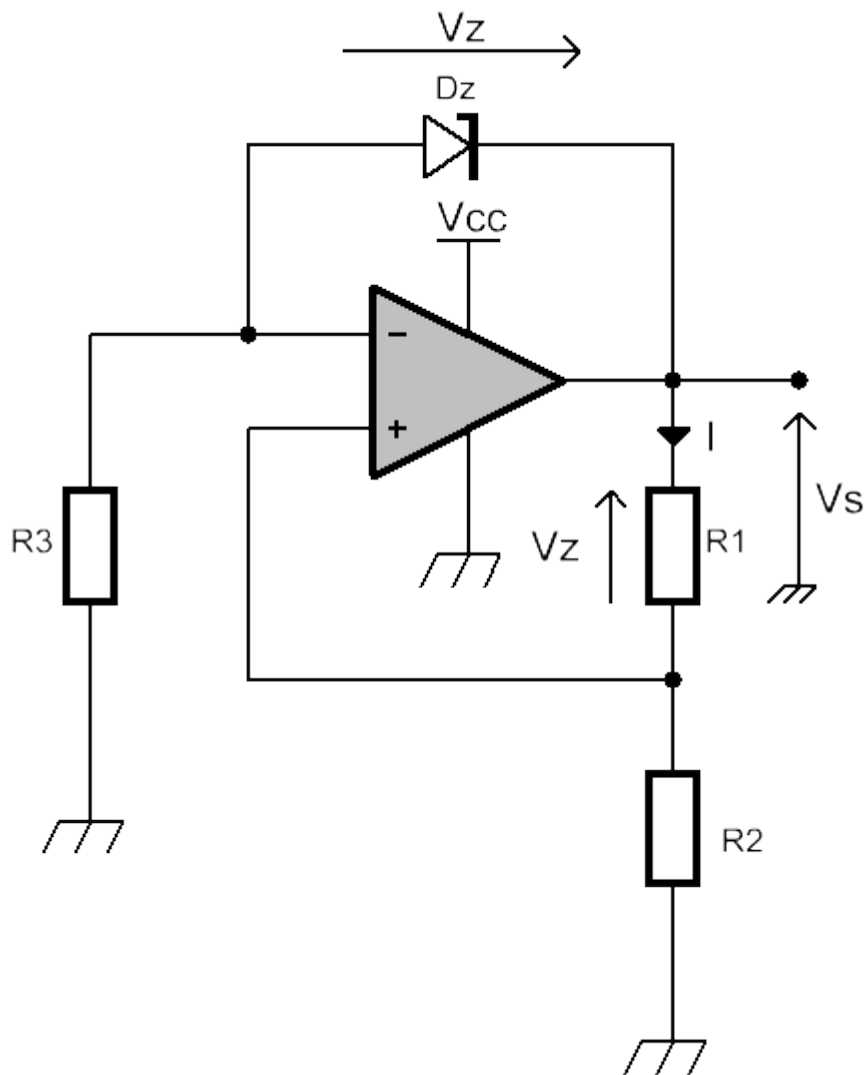
→ **I_{sat}** correspond au courant de saturation de la diode **D** .

→ Le courant à traversant la diode est donné par la relation :

$$I_{diode} = I_{sat} \left(e^{\frac{-V_s}{V_0}} - 1 \right)$$

-> Démonstration <-

Source de tension – 1



AOP supposé idéal

$$V_s = V_z \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

A retenir :

→ L' AOP étant alimenté en $+V_{cc}$ et $0V$, le montage ne fournit que des tensions positives en sortie.

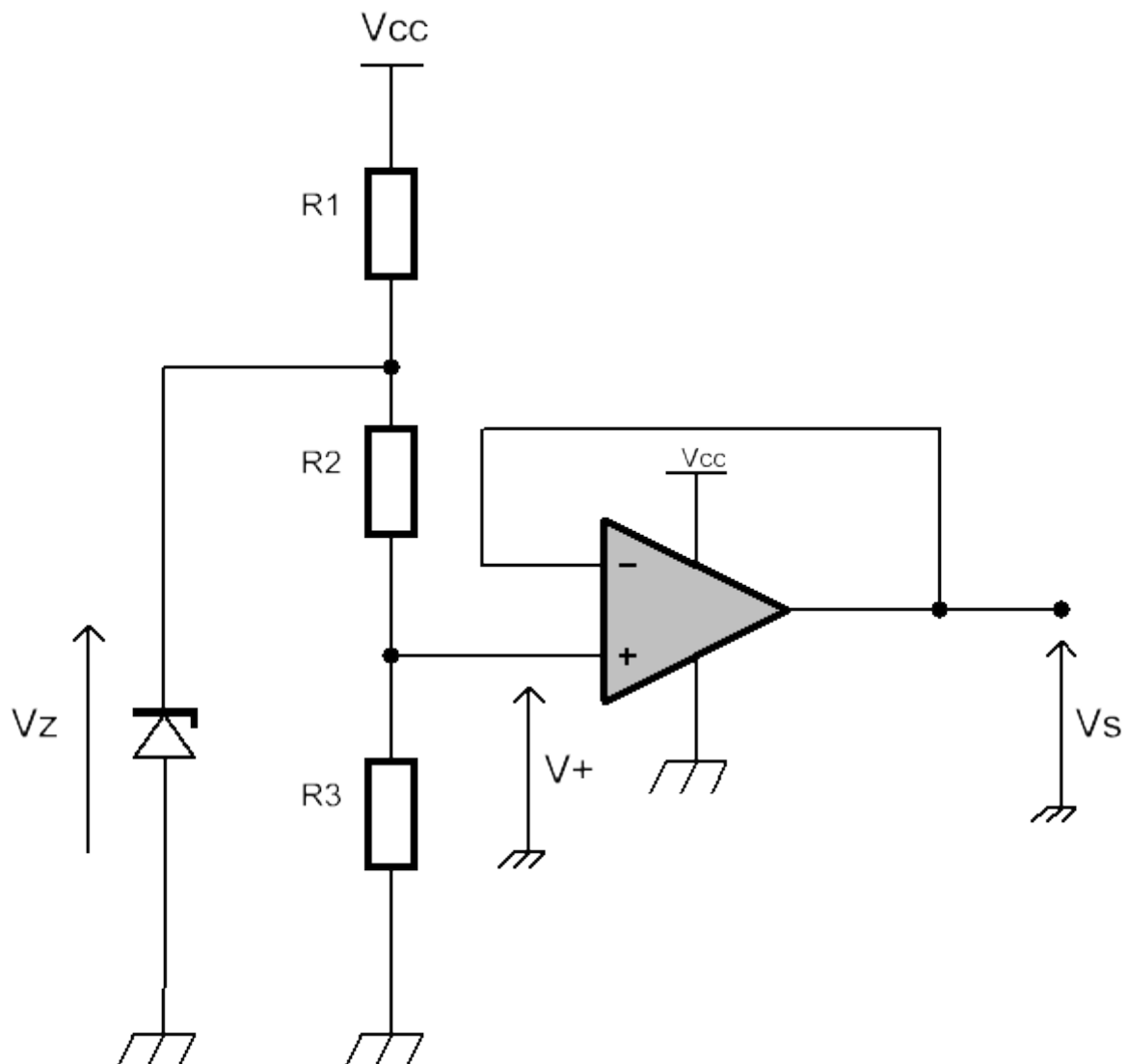
→ La diode **Zéner** étant passante dans les deux sens, l'AOP travail donc en régime linéaire.

→ Inversez le sens de la diode et alimentez l'AOP entre $0V$ et $-V_{cc}$ pour obtenir l'opposé en sortie :

$$V_s = -V_z \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

-> Démonstration <-

Source de tension – 2



AOP supposé idéal

$$V_s = V_z \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right)$$

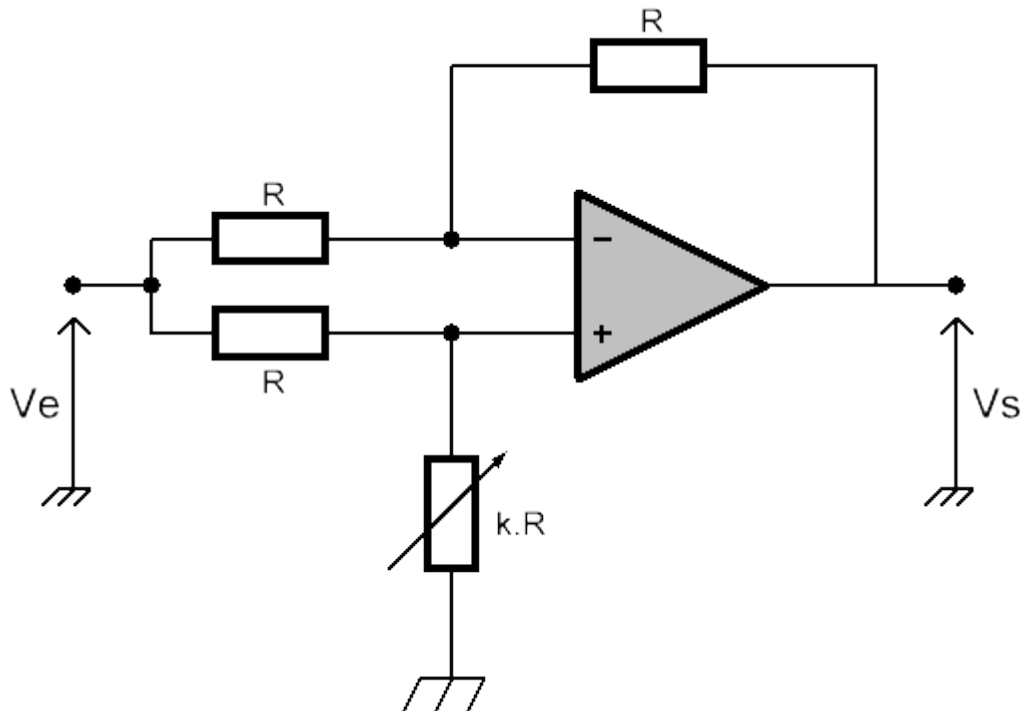
A retenir :

- L' AOP étant alimenté en $+V_{cc}$ et $0V$, le montage ne fournit que des tensions positives en sortie.
- Le pont diviseur entre les résistances R_2 et R_3 peut être considéré « parfait » si l'on considère le courant de l'entrée non-inverseuse de l'AOP nul.
- Voir sur le site pour le montage donnant la tension opposée négative :

$$V_s = -V_z \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right)$$

-> Démonstration <-

Indicateur pour résistance variable



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$V_s = V_e \frac{k-1}{k+1}$$

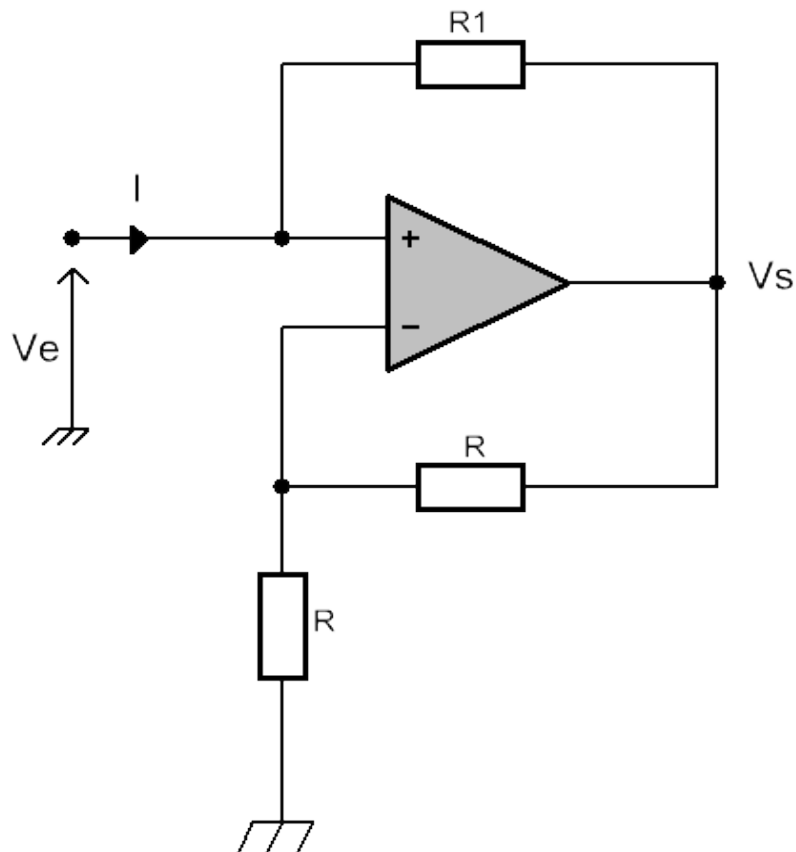
A retenir :

→ Sortie proportionnelle au paramètre k

→ Le paramètre **k.R** peut correspondre à la résistance d'une *thermistance*

-> Démonstration <-

Simulateur de résistance négative



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

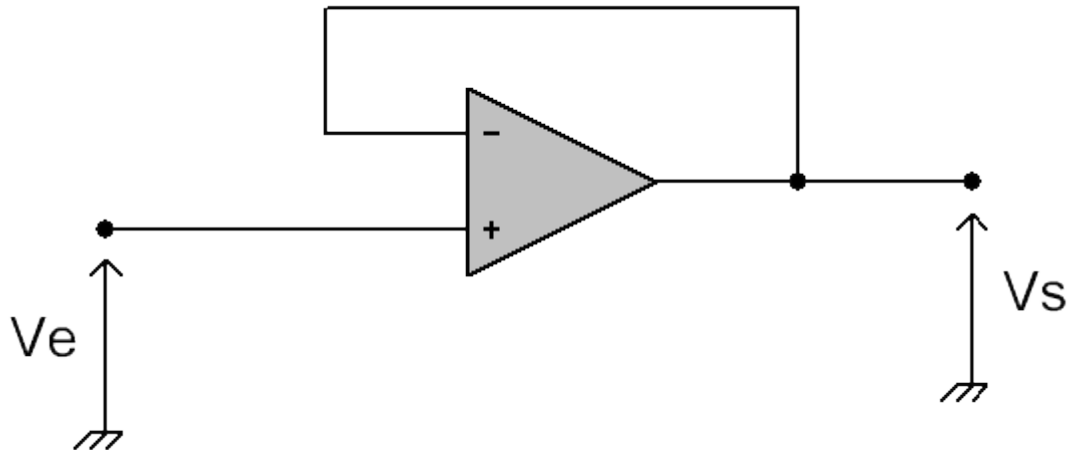
$$V_e = -R_1 I$$

A retenir :

- Boucle de réaction et de contre-réaction
- Fournit de l'énergie au circuit connecté

-> Démonstration <-

Montage suiveur



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

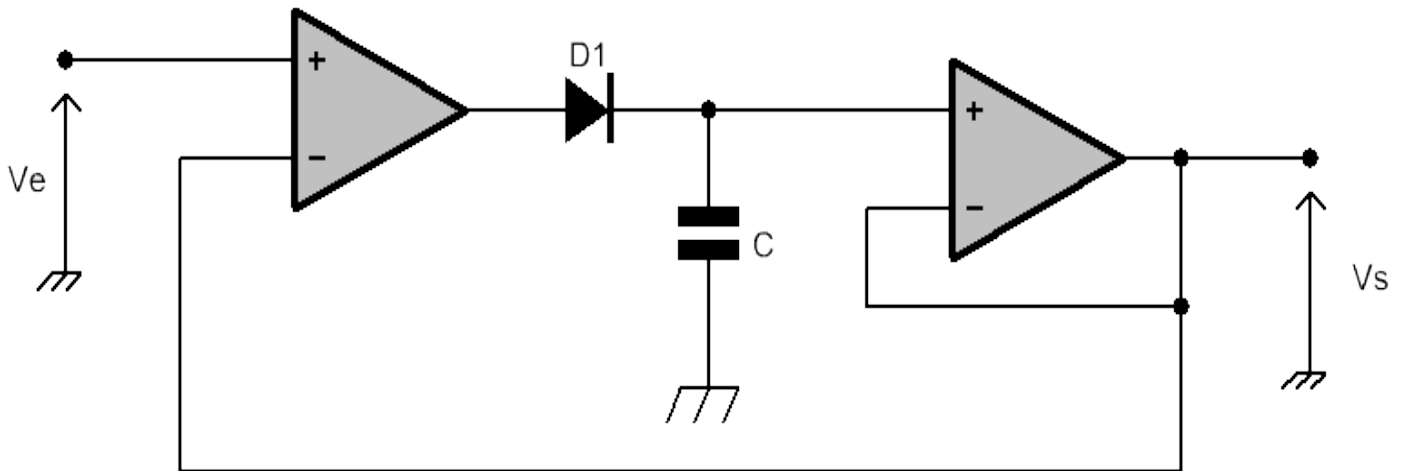
$$V_s = V_e$$

A retenir :

- Grande impédance d'entrée
- Etage tampon d'entrée ou de sortie

-> Démonstration <-

Détecteur de crête



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

A retenir :

- Fonctionnement en mode linéaire ou saturé du premier AOP
- Chargement de la crête de tension dans le condensateur C
- Faible décharge de C (suiveur en sortie, impédance d'entrée $\gg 1$)
- Le sens de la diode $D1$ permet de détecter soit des crêtes positives, soit négatives
- Il est possible d'insérer un transistor entre les bornes du condensateur pour faire une RAZ (par commande de la base)

-> Démonstration <-

<http://electronique.aop.free.fr/>

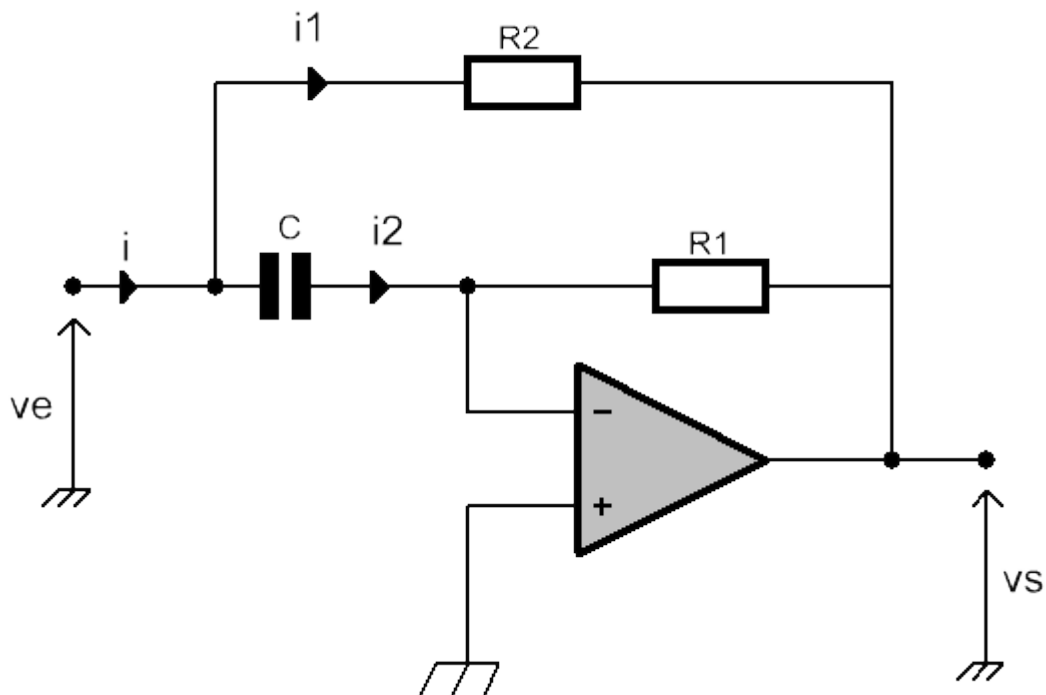
PARTIE 2

Montages à régime linéaire dépendants de la fréquence :

→ Simulateurs d'impédance :	Page :
→ Simulateur de capacité -1	<u>39</u>
→ Simulateur de capacité - 2	<u>40</u>
→ Simulateur d'inductance - 1	<u>41</u>
→ Simulateur d'inductance - 2	<u>42</u>
→ Correcteurs :	
→ Correcteur PI	<u>44</u>
→ Correcteur PD	<u>45</u>
→ Correcteur PID	<u>47</u>
→ Correcteur à avance/retard de phase	<u>48</u>
→ Filtres actifs :	
→ Passe-bas 1er ordre - 1	<u>49</u>
→ Passe-bas 1er ordre - 2	<u>50</u>
→ Passe-haut 1er ordre - 1	<u>51</u>
→ Passe-haut 1er ordre - 2	<u>52</u>
→ Déphaseur	<u>53</u>
→ Passe-bande	<u>54</u>
→ Structure de Rauch :	<u>55</u>
→ Cellule passe-bas	<u>56</u>
→ Cellule passe-haut	<u>58</u>
→ Cellule passe-bande	<u>60</u>
→ Structure de Sallen & Key :	<u>62</u>
→ Cellule passe-bas	<u>64</u>
→ Cellule passe-haut	<u>67</u>
→ Cellule passe-bande	<u>70</u>

<http://electronique.aop.free.fr/>

Simulateur de capacité - 1



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$C_{eq} = C \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

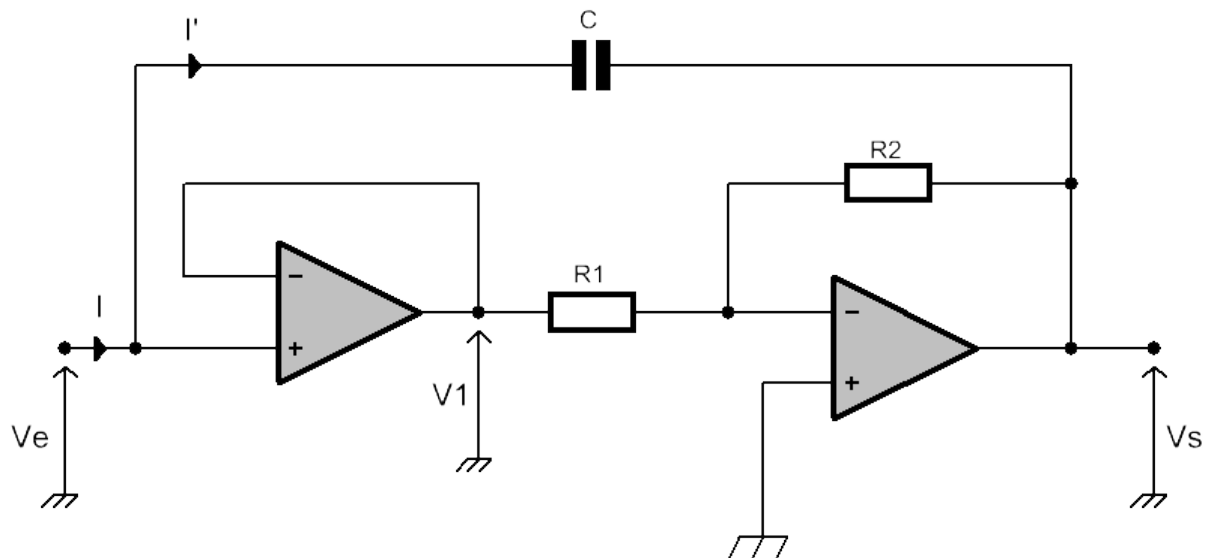
A retenir :

→ L'impédance totale du montage est telle que la capacité totale « vue » est égale à la capacité réelle C multipliée par un gain

→ On parle d'effet Miller

[-> Démonstration <-](#)

Simulateur de capacité - 2



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

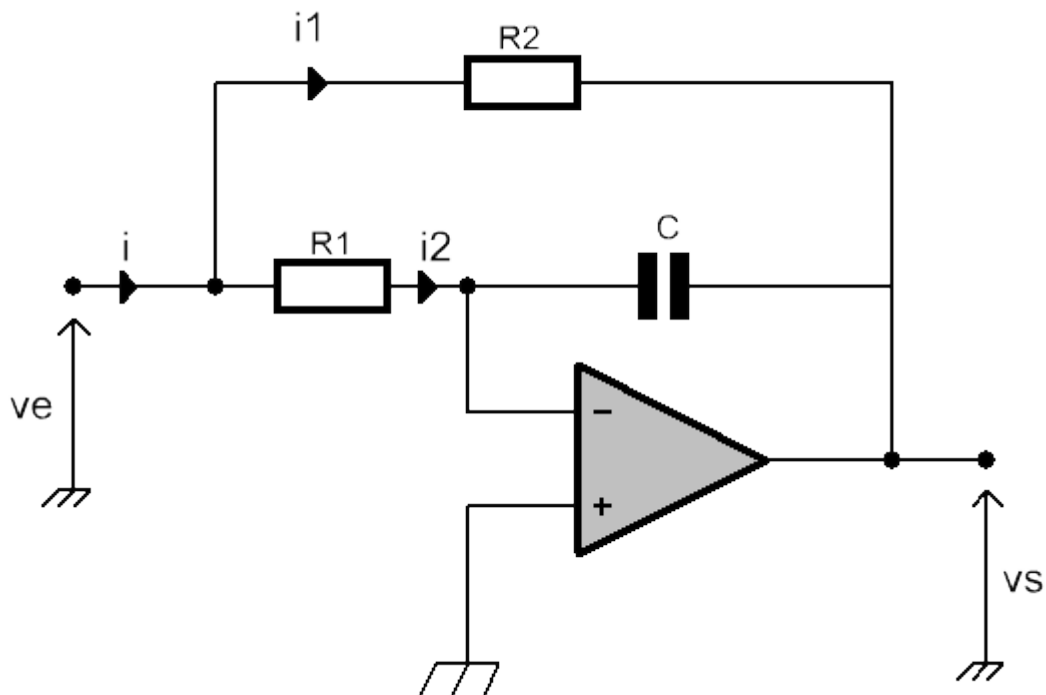
$$C_{eq} = C \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

A retenir :

→ L'impédance totale du montage est telle que la capacité totale « vue » est égale à la capacité réelle C multipliée par un gain

-> Démonstration <-

Simulateur d'inductance - 1



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

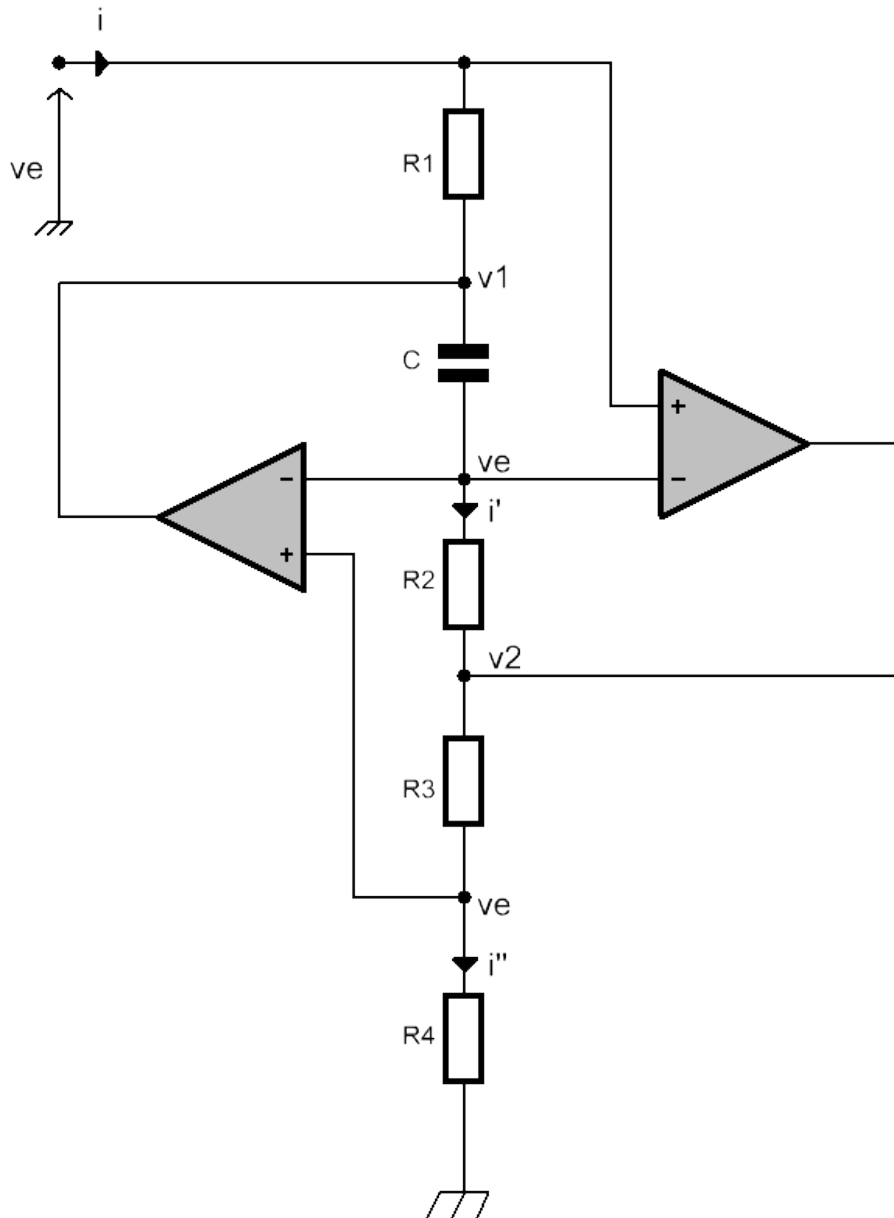
$$L_{eq} = C R_1 R_2$$

A retenir :

→ Ce montage simule l'effet d'une self en régime alternatif

-> Démonstration <-

Simulateur d'inductance – 2



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$L_{eq} = \frac{R_1 R_2 R_4 C}{R_3}$$

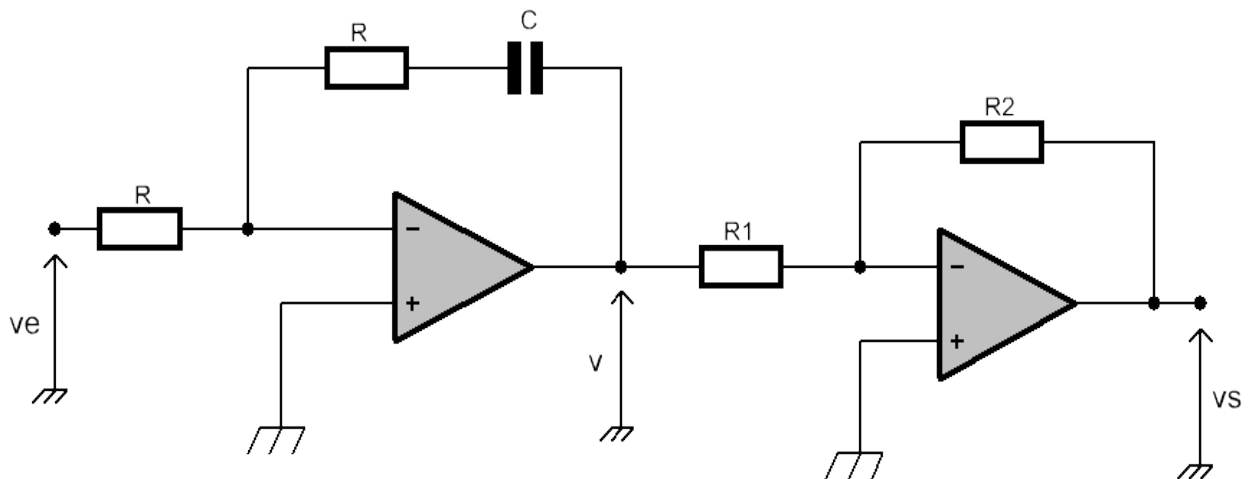
<http://electronique.aop.free.fr/>

A retenir :

→ Ce montage simule l'effet d'une self en régime alternatif

-> Démonstration <-

Correcteur PI



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$C(p) = \frac{R_2}{R_1} \frac{1 + RCp}{RCp}$$

A retenir :

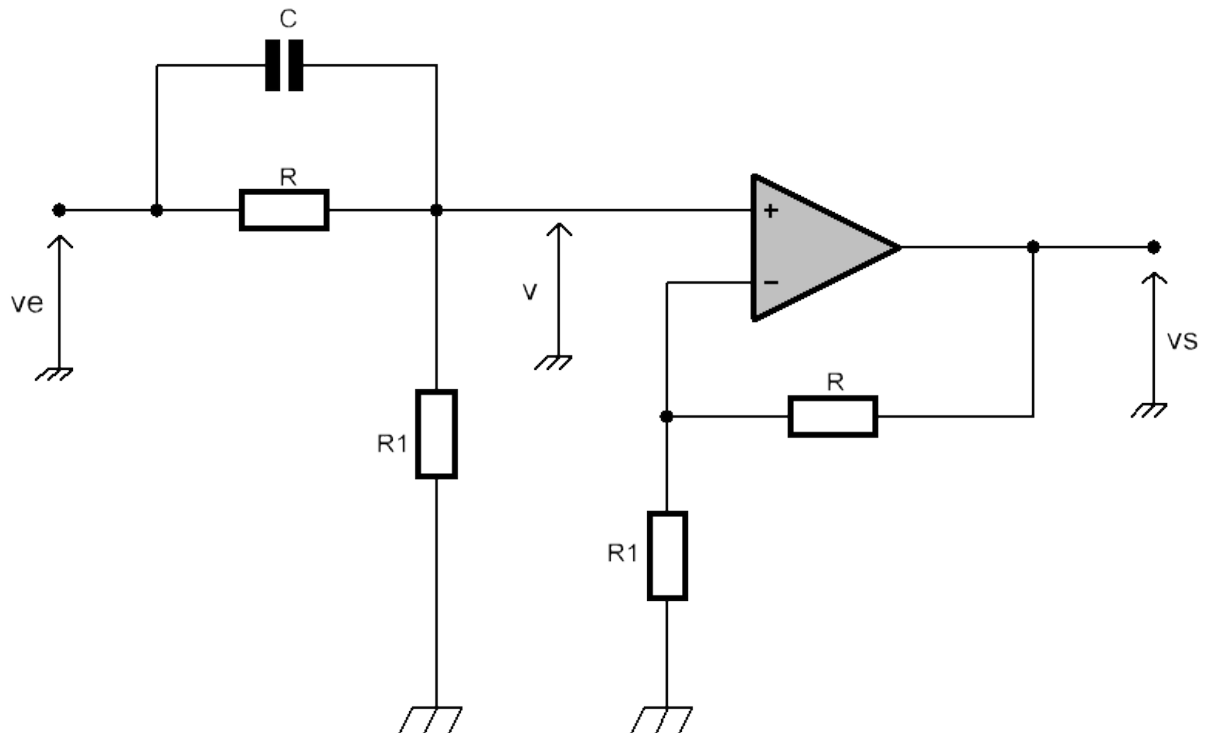
→ Gain $A = \frac{R_2}{R_1}$

→ Constante de temps $\tau = RC$

→ Le premier étage fait office de filtre passe-bas

-> Démonstration <-

Correcteur PD



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$C(p) = \frac{1 + RCp}{1 + \frac{RR_1}{R + R_1}Cp}$$

A retenir :

→ Gain $A = 1$

→ Constante de temps numérateur : $\tau_d = RC$

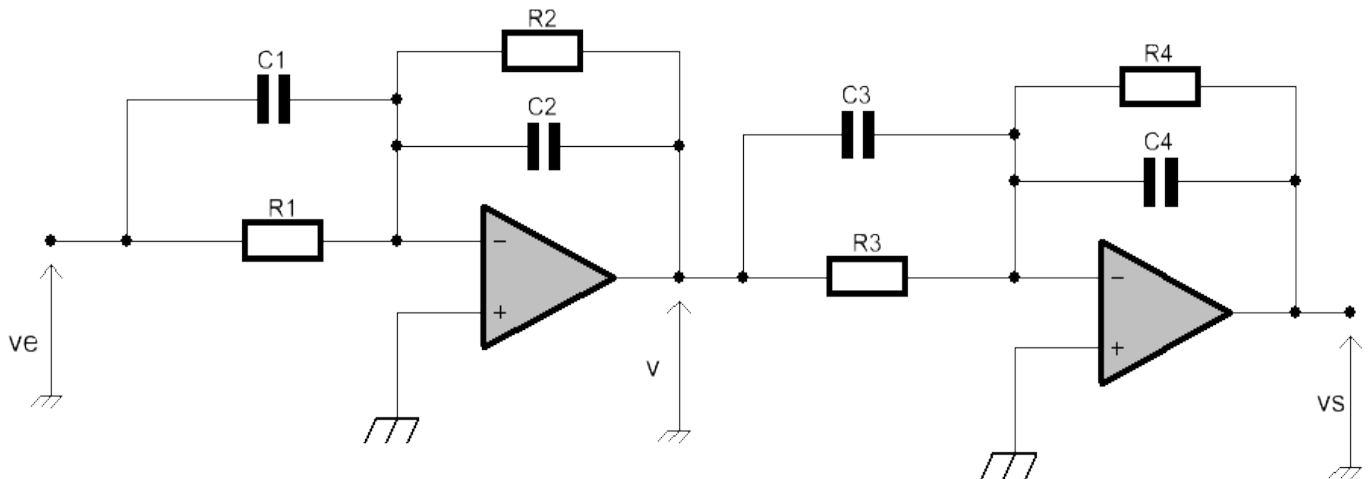
<http://electronique.aop.free.fr/>

→ Constante de temps dénominateur :

$$\tau = \frac{R R_1}{R + R_1}$$

-> Démonstration <-

Correcteur PID



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$C(p) = \frac{R_2 R_4 (1 + R_1 C_1 p)(1 + R_3 C_3 p)}{R_1 R_3 (1 + R_2 C_2 p)(1 + R_4 C_4 p)}$$

$$C(p) = A \frac{(1 + \tau_{cl} p)(1 + \tau_{c2} p)}{(1 + \tau_{dlp})(1 + \tau_{d2} p)}$$

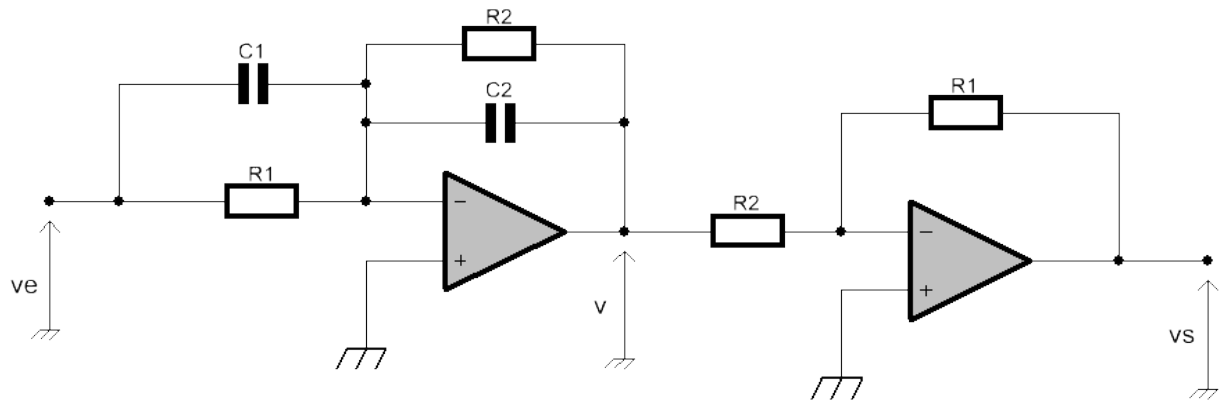
A retenir :

→ Gain $A = \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3}$

→ Il faut que : $C(p) = R_2 C_2 \ll R_1 C_1 < R_3 C_3 \ll R_4 C_4$

-> Démonstration <-

Correcteur à avance/retard de phase



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$C(p) = \frac{1 + R_1 C_1 p}{1 + R_2 C_2 p}$$

A retenir :

→ Gain $A = \frac{R_2}{R_1}$

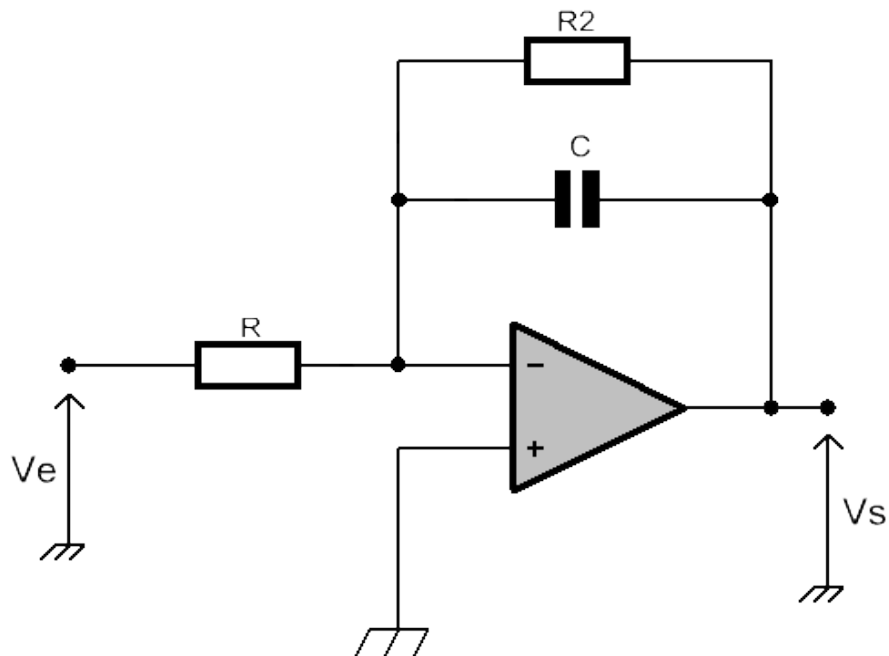
→ « Avance de phase » si $R_1 C_1 > R_2 C_2$

→ « Retard de phase » si $R_2 C_2 > R_1 C_1$

-> Démonstration correcteur à retard de phase <-

-> Démonstration correcteur à avance de phase <-

Filtre passe-bas – 1



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$H(j\omega) = -\frac{R_2}{R} \frac{1}{1 + jR_2 C \omega}$$

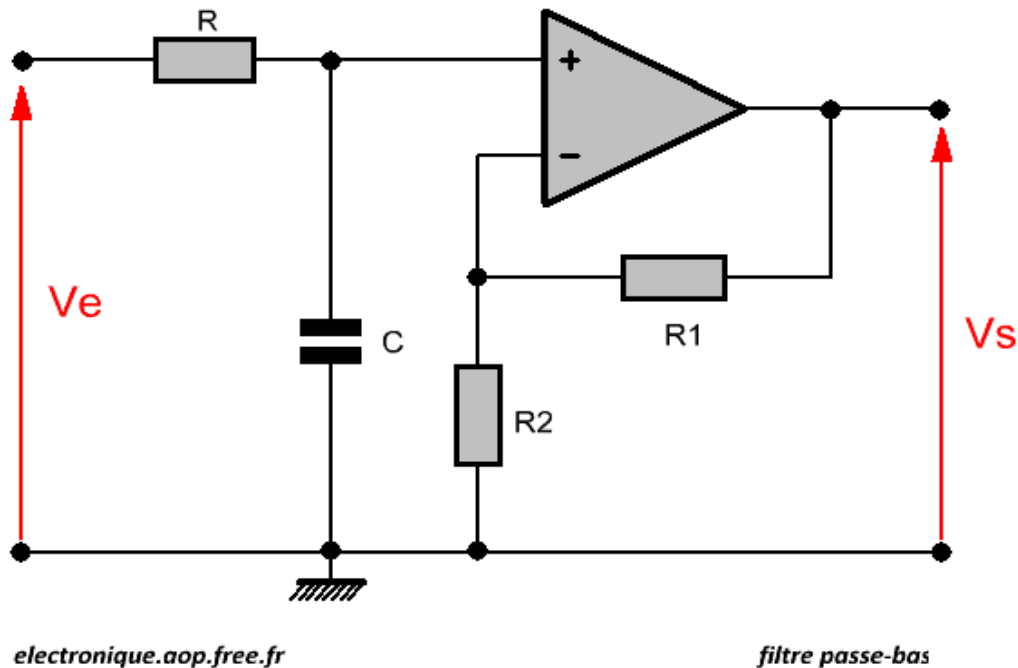
→ Gain : $A = -\frac{R_2}{R}$

→ Fréquence de coupure : $f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C}$

→ Attention, la BP de l'AOP est limitée en pratique

-> Démonstration <-

Filtre passe-bas – 2



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$H(j\omega) = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{1}{1 + jRC\omega}$$

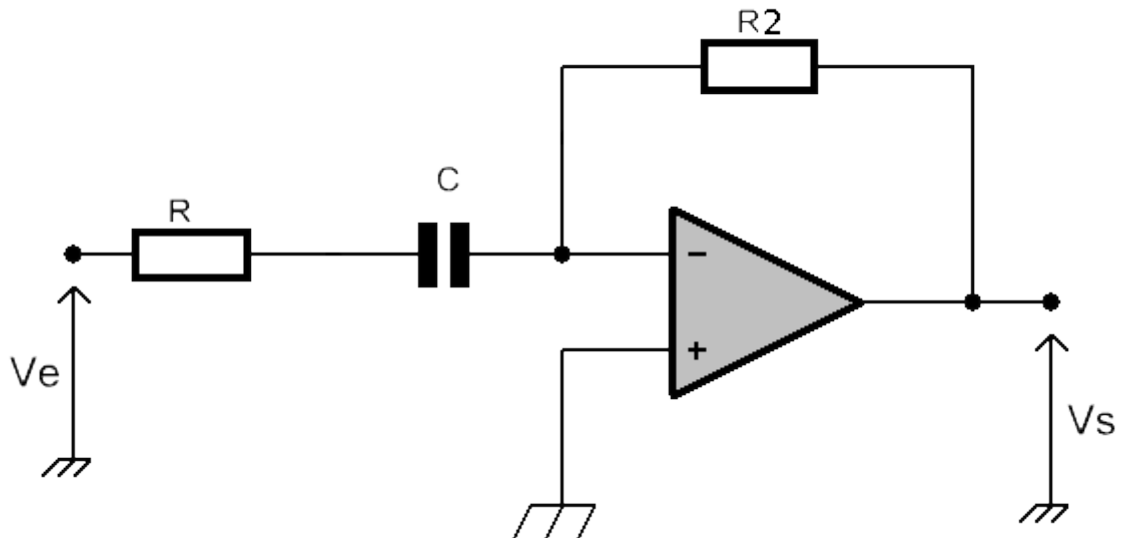
→ Gain : $A = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$

→ Fréquence de coupure : $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$

→ Attention, la BP de l'AOP est limitée en pratique

-> Démonstration <-

Filtre passe-haut – 1



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$H(j\omega) = -\frac{j R_2 C \omega}{1 + j R C \omega}$$

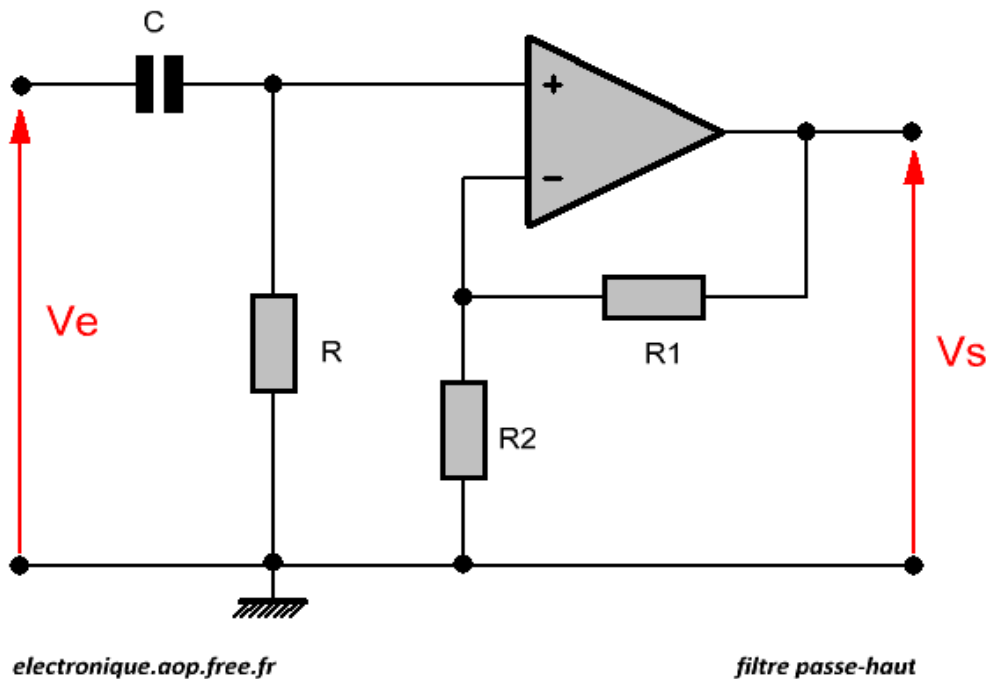
→ Gain : $A = -1$

→ Fréquence de coupure si $R = R_2$: $f_c = \frac{1}{2\pi R C}$

→ Attention, la BP de l'AOP est limitée en pratique

-> Démonstration <-

Filtre passe-haut – 2



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$H(j\omega) = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{jRC\omega}{1 + jRC\omega}$$

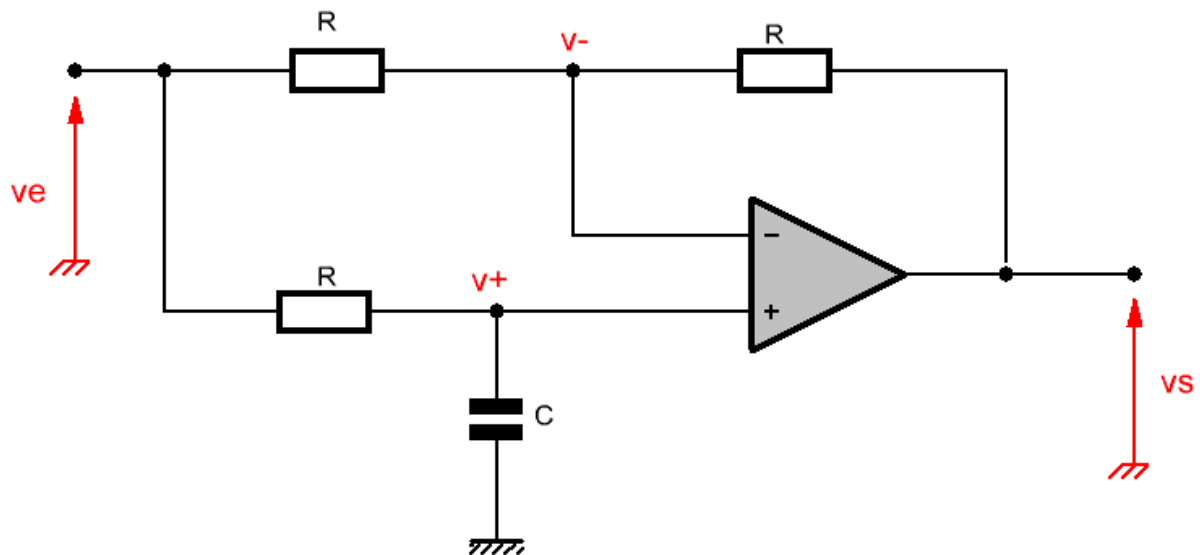
→ Gain : $A = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$

→ Fréquence de coupure : $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$

→ Attention, la BP de l'AOP est limitée en pratique

-> Démonstration <-

Filtre passe-tout (déphaseur)



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$H(j\omega) = \frac{1 - jRC\omega}{1 + jRC\omega}$$

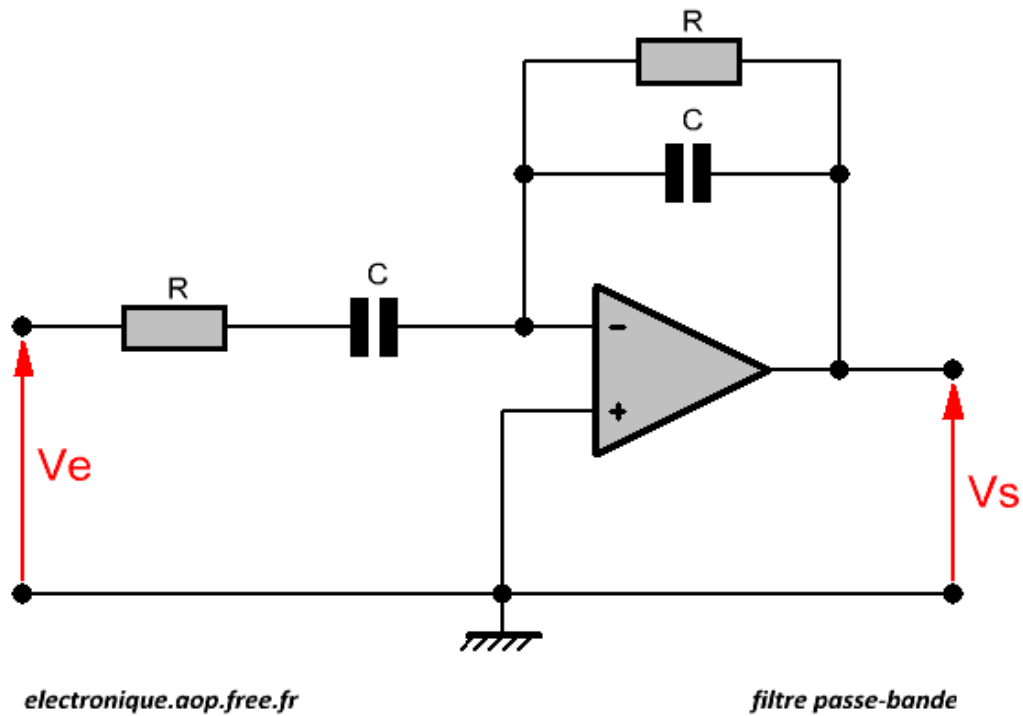
A retenir :

→ Module : $|H(j\omega)| = 1 \quad \forall \omega$

→ Déphasage : $\varphi(j\omega) = -2 \arctan(RC\omega)$

-> Démonstration <-

Filtre passe-bande

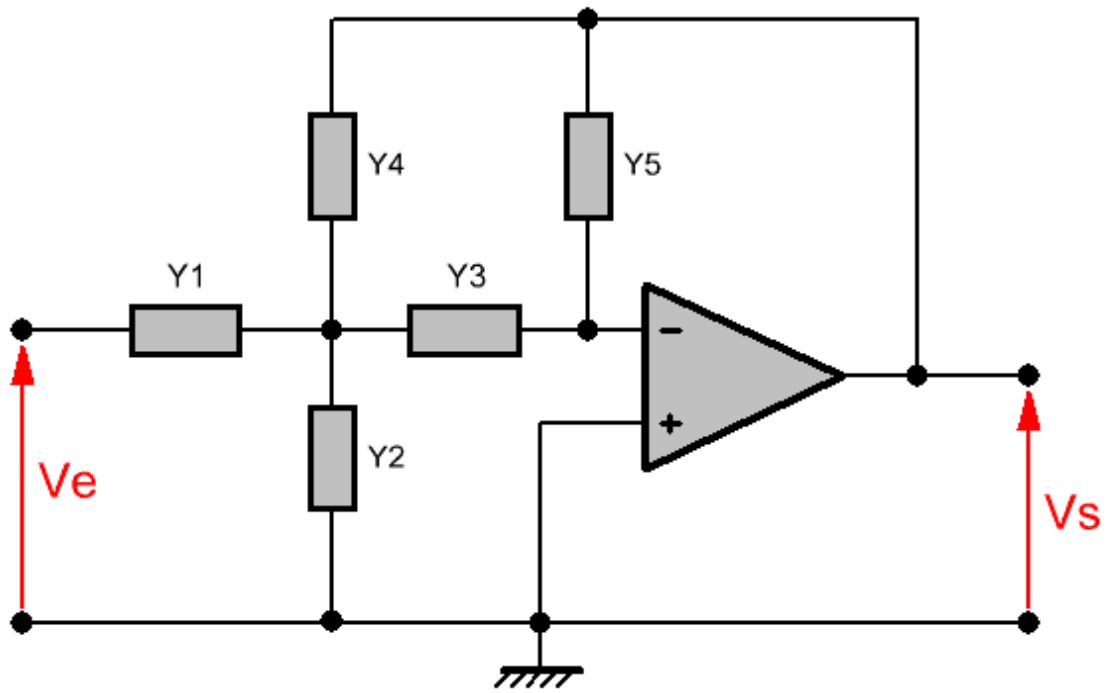


AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$H(j\omega) = \frac{-jRC\omega}{(1+jRC\omega)^2}$$

-> Démonstration <-

Structure de Rauch



electronique.aop.free.fr

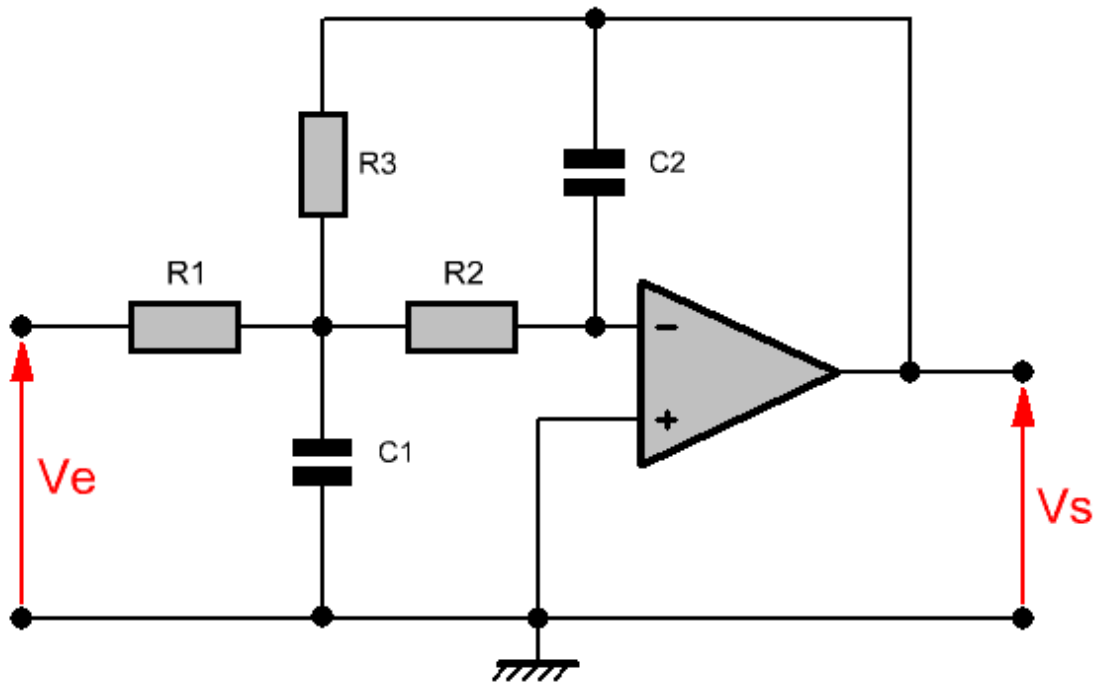
structure de Rauch

AOP supposé idéal, alimentation non représentée

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

-> Démonstration <-

Cellule de Rauch passe-bas



electronique.aop.free.fr

cellule de Rauch passe-bas

AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$H(j\omega) = - \frac{1}{1 + 3jRC_2\omega + (j\sqrt{C_1C_2}\omega R)^2}$$

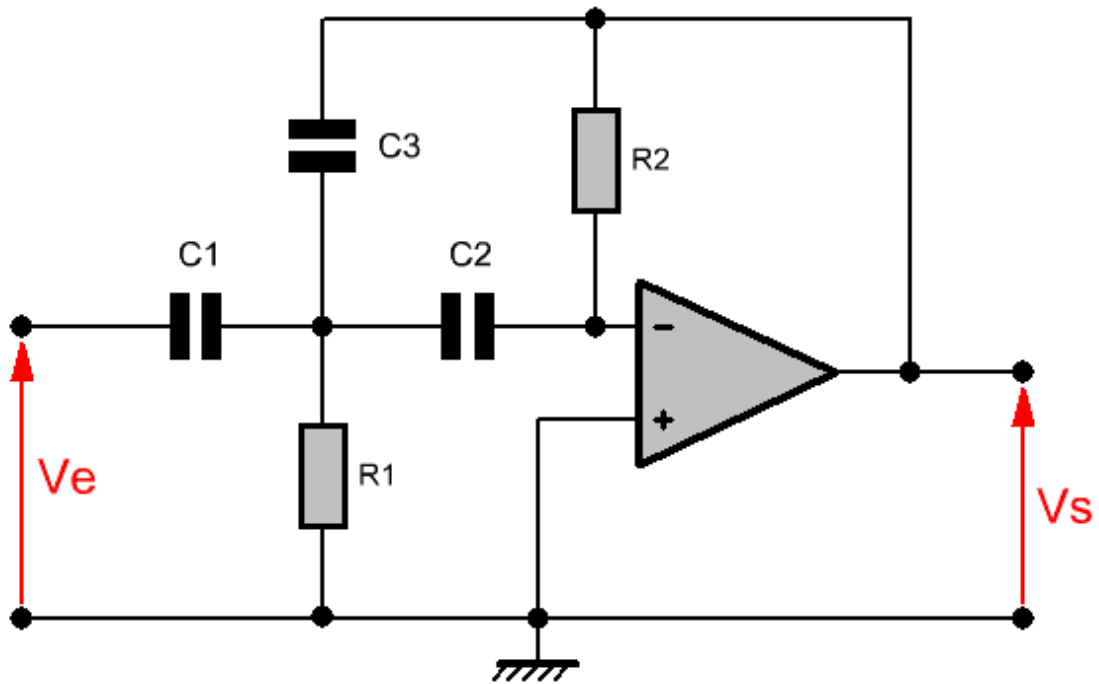
→ Gain : $A = -1$

→ Fréquence de coupure : $f_c = \frac{1}{2\pi R \sqrt{C_1 C_2}}$

→ Coefficient d'amortissement : $m = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$

-> Démonstration <-

Cellule de Rauch passe-haut



electronique.aop.free.fr

cellule de Rauch passe-haut

AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$H(j\omega) = - \frac{(jC\sqrt{R_1 R_2}\omega)^2}{1 + 3jR_1 C\omega + (jC\sqrt{R_1 R_2}\omega)^2}$$

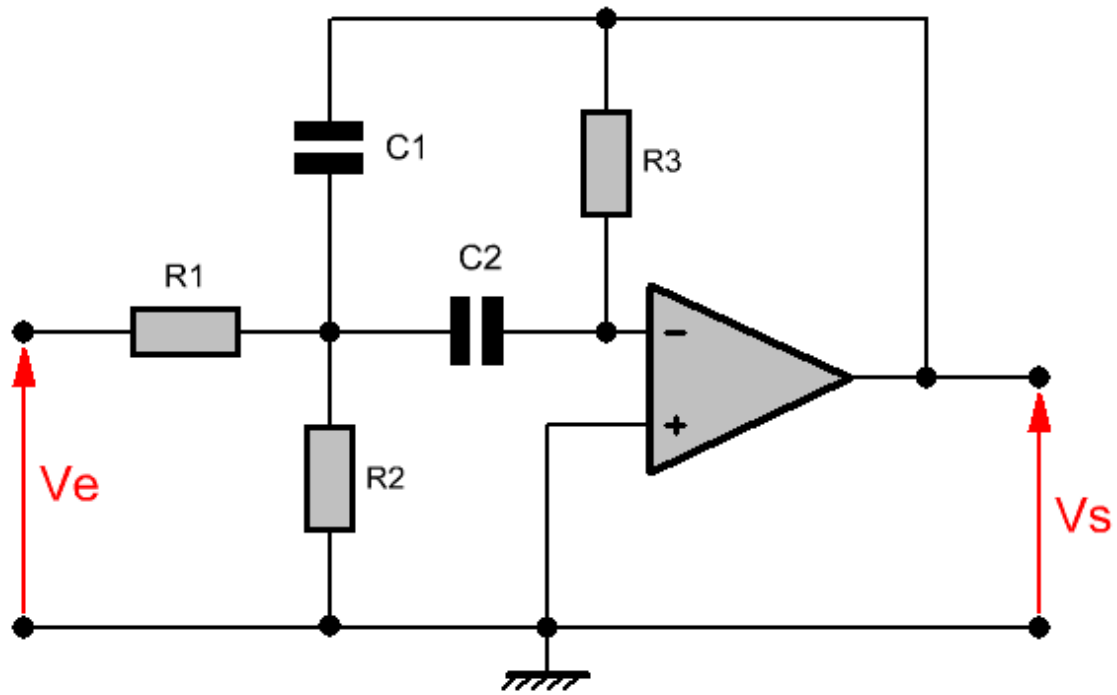
→ Gain : $A = -1$

→ Fréquence de coupure : $f_c = \frac{1}{2\pi C \sqrt{R_1 R_2}}$

→ Coefficient d'amortissement : $m = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$

-> Démonstration <-

Cellule de Rauch passe-bande



electronique.aop.free.fr

cellule de Rauch passe-bande

AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$H(j\omega) = -\frac{R_3}{2R_1} \frac{2j\omega \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C}{1 + 2j\omega \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C + (j\omega C)^2 R_3 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}$$

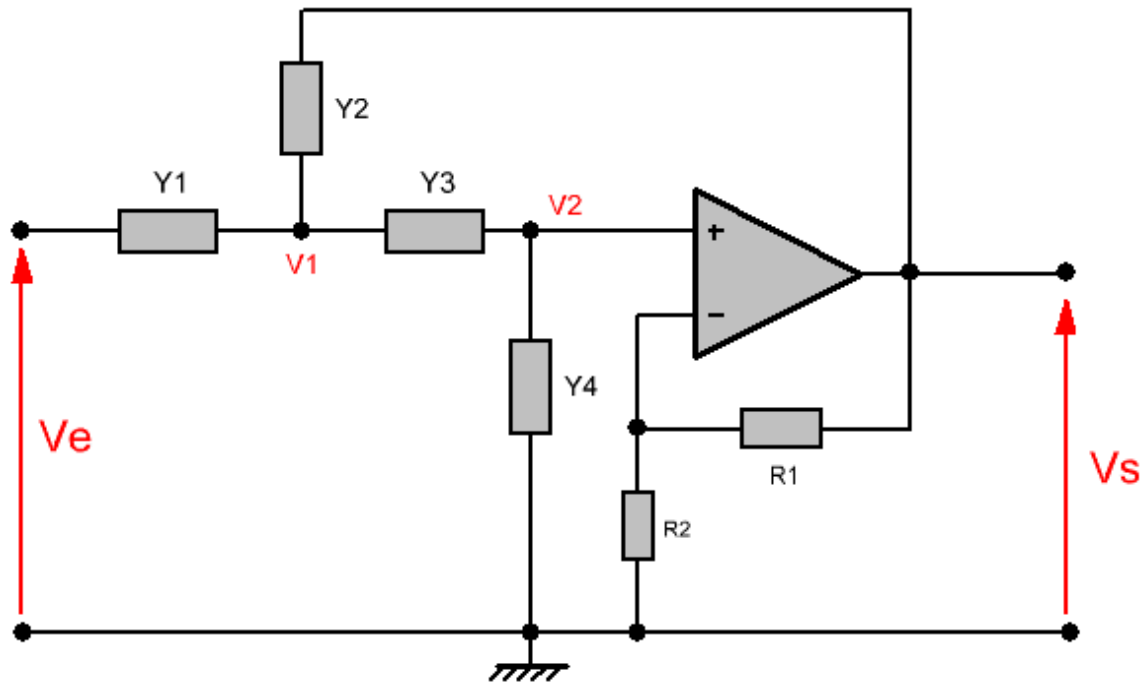
→ Gain : $A = -\frac{R_3}{2R_1}$

→ Fréquence de coupure : $f_c = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 R_3}}$

→ Coefficient d'amortissement : $m = \sqrt{\frac{R_1 R_2}{R_3 (R_1 + R_2)}}$

-> Démonstration <-

Structure de Sallen & Key



electronique.aop.free.fr

structure de Sallen & Key à gain variable

AOP supposé idéal, alimentation non représentée

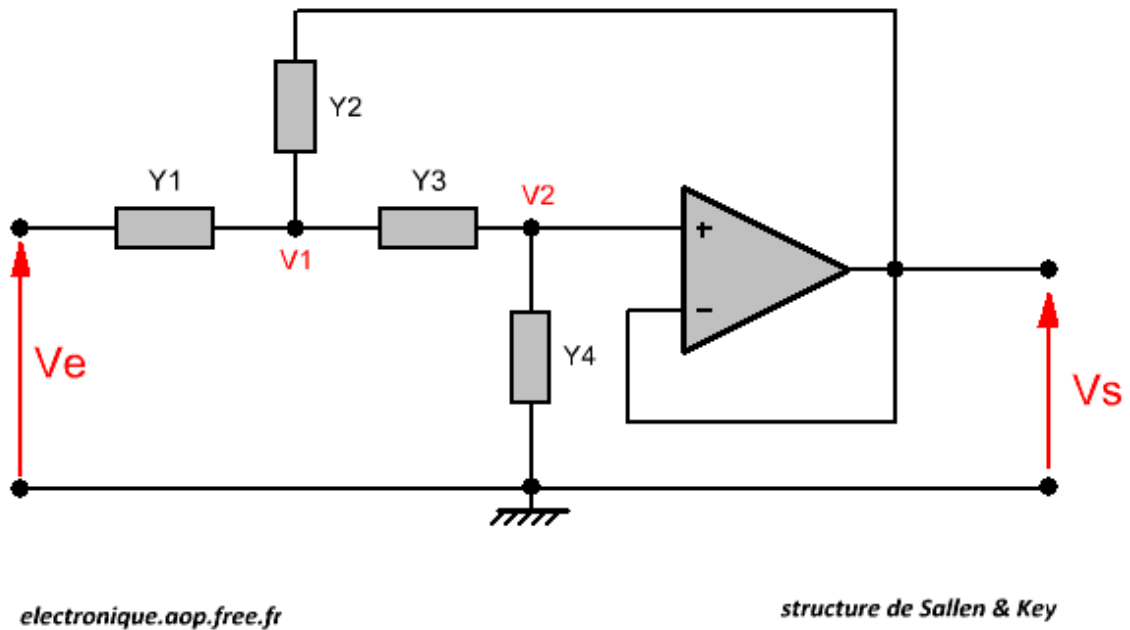
$$\frac{V_s}{V_e} = K_A \cdot \frac{Y_1 Y_3}{(Y_1 + Y_2)(Y_3 + Y_4) + Y_3(Y_4 - Y_2 K_A)}$$

avec

$$K_A = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

A retenir :

→ Existe également sans les résistances dans la boucle de contre-réaction. On a alors :

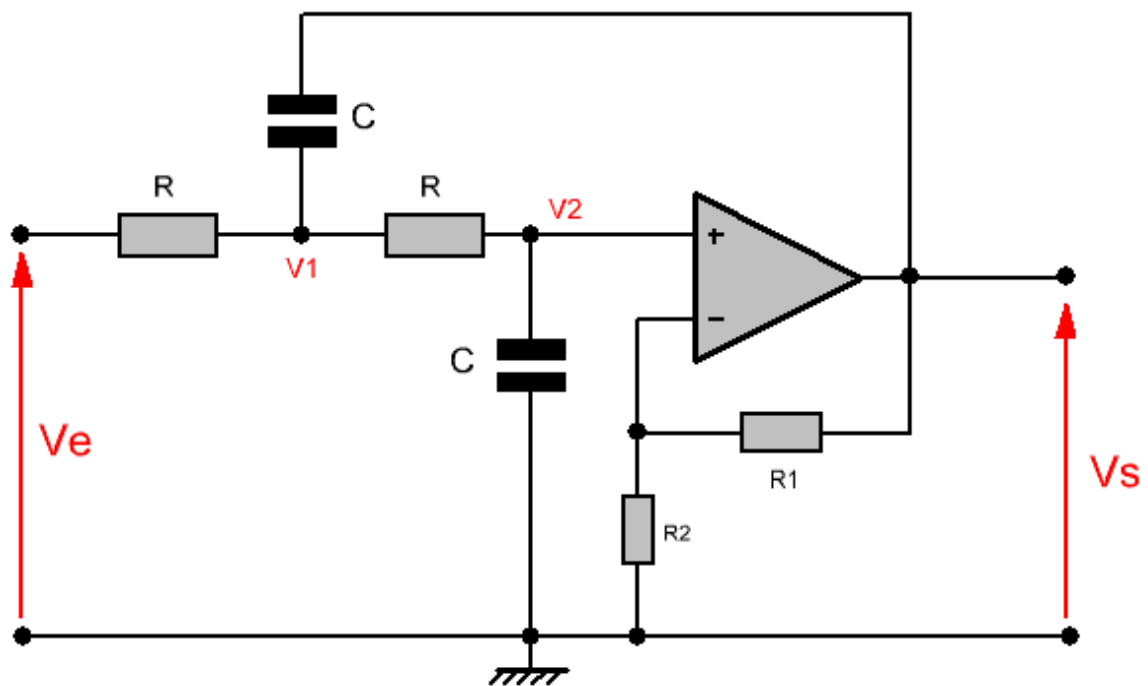


AOP supposé idéal, alimentation non représentée

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

-> Démonstration <-

Cellule de Sallen & Key passe-bas



electronique.aop.free.fr

cellule de Sallen & Key passe-bas à gain variable

AOP supposé idéal, alimentation non représentée

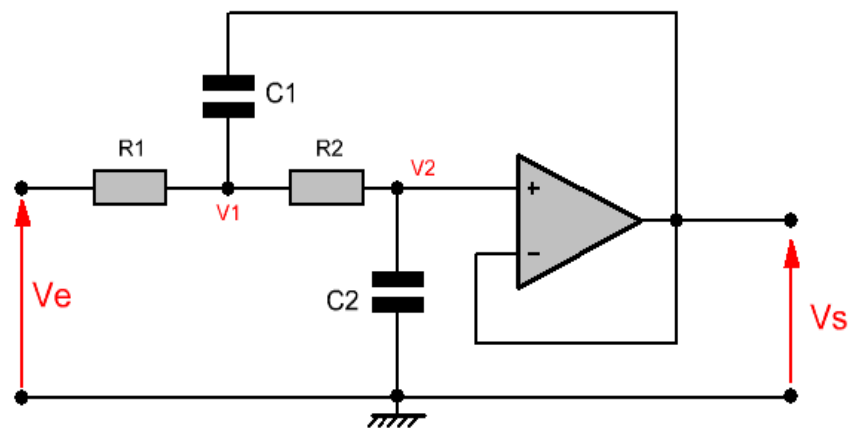
$$H(j\omega) = K_A \frac{1}{1 + (3 - K_A)jRC\omega + (jRC\omega)^2}$$

→ Gain :
$$K_A = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

→ Fréquence de coupure :
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

→ Coefficient d'amortissement :
$$m = 1 - \frac{R_1}{2R_2}$$

→ Existe également sans les résistances dans la boucle de contre-réaction. On a alors :



electronique.aop.free.fr

cellule de Sallen & Key passe-bas

AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + C_2(R_1 + R_2)j\omega + R_1 R_2 C_1 C_2 (j\omega)^2}$$

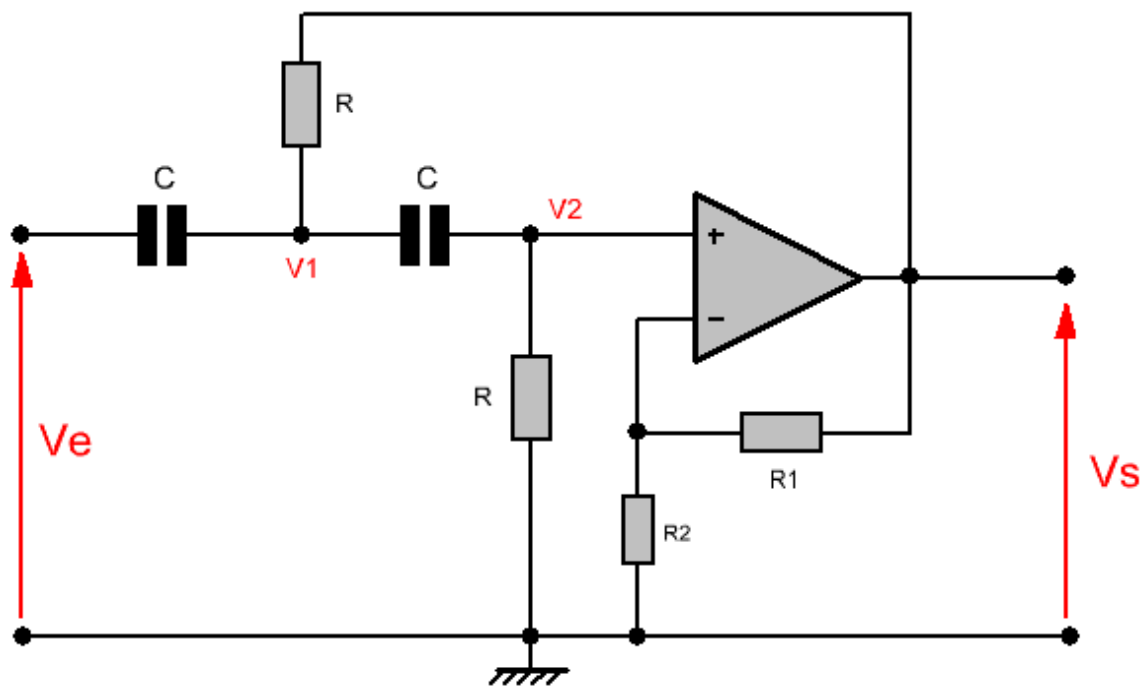
→ Gain : $A = 1$

→ Fréquence de coupure : $f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$

→ Coefficient d'amortissement : $m = \frac{C_2(R_1 + R_2)}{2\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$

-> Démonstration <-

Cellule de Sallen & Key passe-haut



electronique.aop.free.fr

cellule de Sallen & Key passe-haut à gain variable

AOP supposé idéal, alimentation non représentée

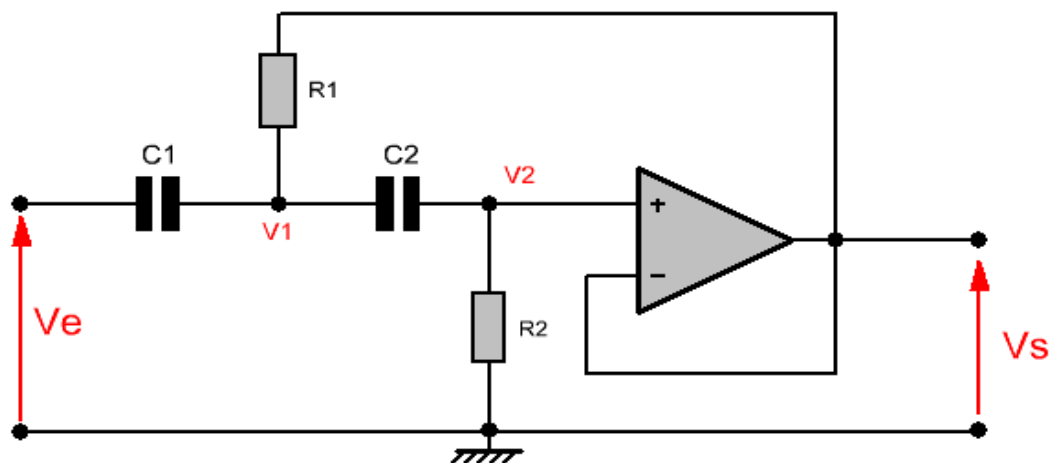
$$H(j\omega) = K_A \frac{(jRC\omega)^2}{1 + (3-K_A)jRC\omega + (jRC\omega)^2}$$

→ Gain :
$$K_A = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

→ Fréquence de coupure :
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

→ Coefficient d'amortissement :
$$m = 1 - \frac{R_1}{2R_2}$$

→ Existe également sans les résistances dans la boucle de contre-réaction. On a alors :



electronique.aop.free.fr

cellule de Sallen & Key passe-haut

AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$H(j\omega) = \frac{C_1 C_2 R_1 R_2 (j\omega)^2}{1 + R_1 (C_1 + C_2) j\omega + C_1 C_2 R_1 R_2 (j\omega)^2}$$

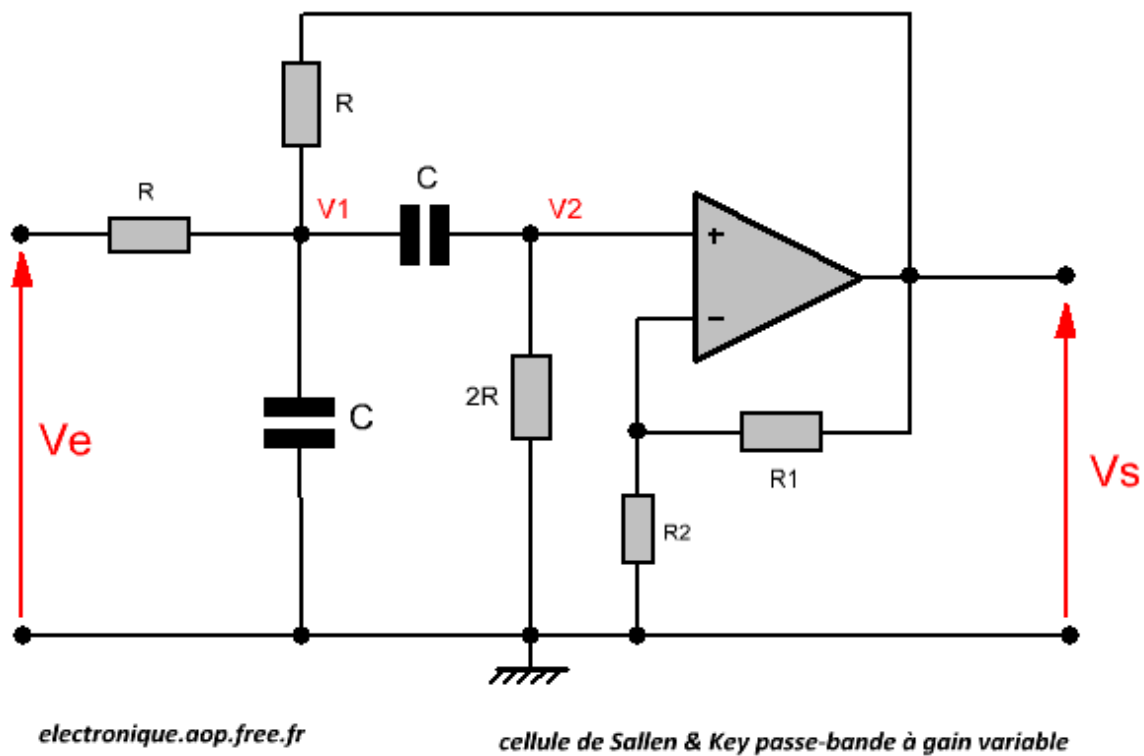
→ Gain : $A = 1$

→ Fréquence de coupure : $f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$

→ Coefficient d'amortissement : $m = \frac{C_2(R_1 + R_2)}{2\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$

-> Démonstration <-

Cellule de Sallen & Key passe-bande



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

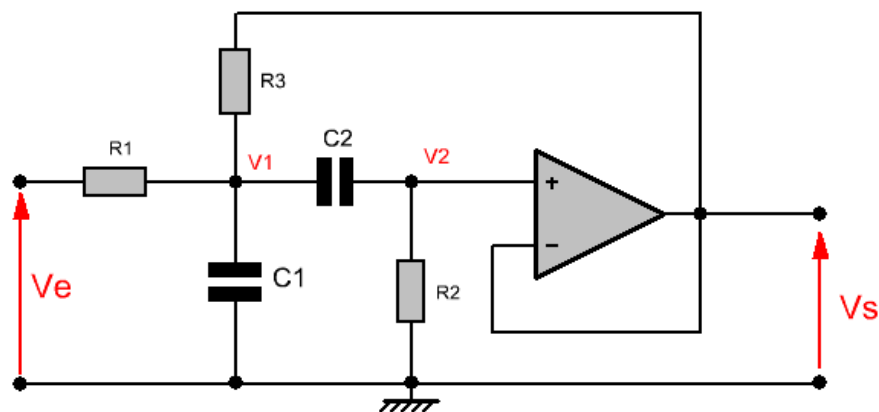
$$H(j\omega) = \frac{K_A}{3-K_A} \frac{(3-K_A)jRC\omega}{1 + (3-K_A)jRC\omega + (jRC\omega)^2}$$

→ Gain :
$$A = \frac{R_1 + R_2}{2R_2 + R_1}$$

→ Fréquence de coupure :
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

→ Coefficient d'amortissement :
$$m = 1 - \frac{R_1}{2R_2}$$

→ Existe également sans les résistances dans la boucle de contre-réaction. On a alors :



electronique.aop.free.fr

cellule de Sallen & Key passe-bande

AOP supposé idéal, alimentation non représentée

$$H(j\omega) = \frac{1}{3} \frac{3 \frac{R_3}{R+R_3} RC j\omega}{1 + 3 \frac{R_3}{R+R_3} RC j\omega + \frac{R_3}{R+R_3} (RC)^2 (j\omega)^2}$$

→ Gain : $A = \frac{1}{3}$

→ Fréquence de coupure : $f_c = \sqrt{\left(1 + \frac{R}{R_3}\right)} \frac{1}{2\pi(RC)}$

→ Coefficient d'amortissement : $m = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{R_3}{R + R_3}}$

-> Démonstration <-

<http://electronique.aop.free.fr/>

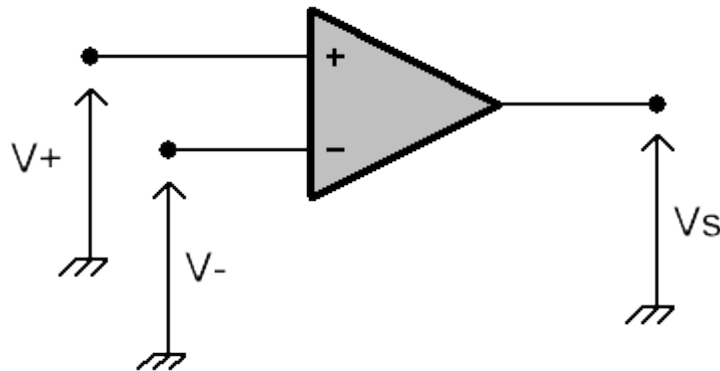
PARTIE 3

Montages à régime non-linéaire :

→ Comparateurs :	Page :
→ Comparateur simple	<u>76</u>
→ Trigger de Schmitt non-inverseur	<u>77</u>
→ Trigger de Schmitt inverseur	<u>79</u>
→ Comparateur à fenêtre - 1	<u>81</u>
→ Comparateur à fenêtre - 2	<u>83</u>
→ Redresseurs sans seuil :	
→ Redresseur mono-alternance	<u>85</u>
→ Générateurs de fonctions :	
→ Monostable	<u>86</u>
→ Astable	<u>88</u>
→ Oscillateur à pont de Wien	<u>90</u>
→ Générateur triangulaire – 1	<u>91</u>
→ Générateur triangulaire – 2	<u>93</u>

<http://electronique.aop.free.fr/>

Comparateur simple



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

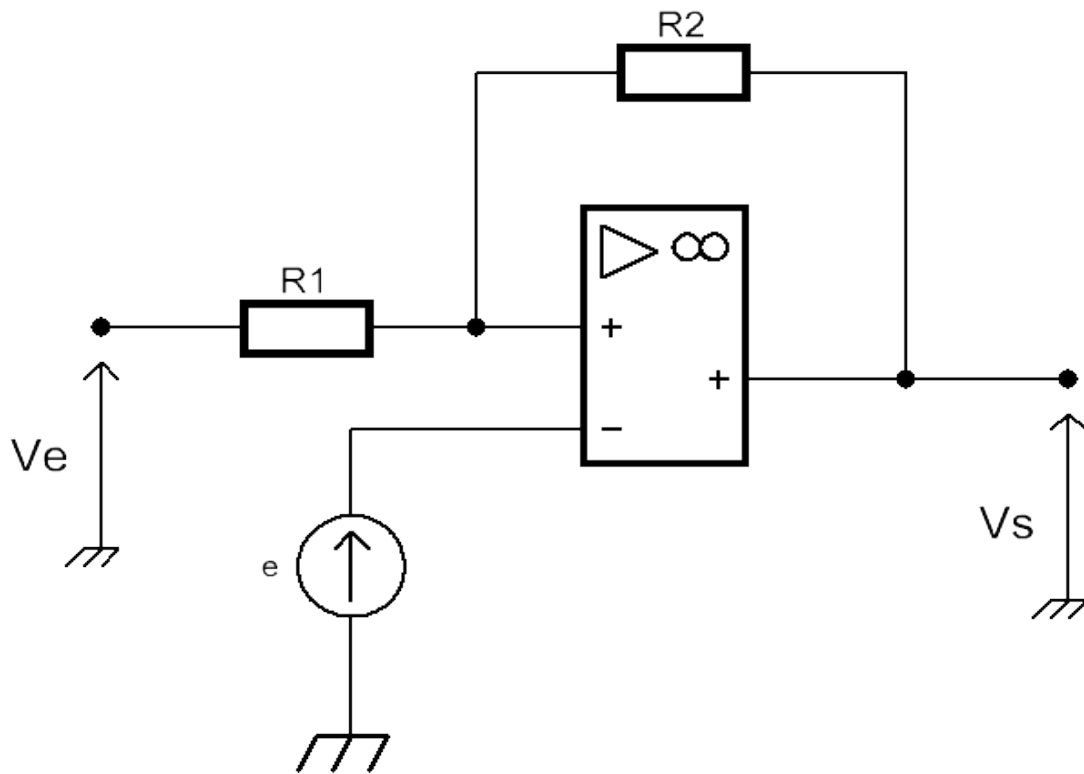
- $V_+ > V_- \Rightarrow V_s = +V_{sat} \approx +V_{cc}$
- $V_+ < V_- \Rightarrow V_s = -V_{sat} \approx -V_{cc}$

A retenir :

- Réalise la comparaison des tensions d'entrée V_+ et V_-
- *Point faible* : phénomène de multi-basculement si entrée(s) bruitée(s) (cf. démonstration)

-> Démonstration <-

Trigger de Schmitt non-inverseur

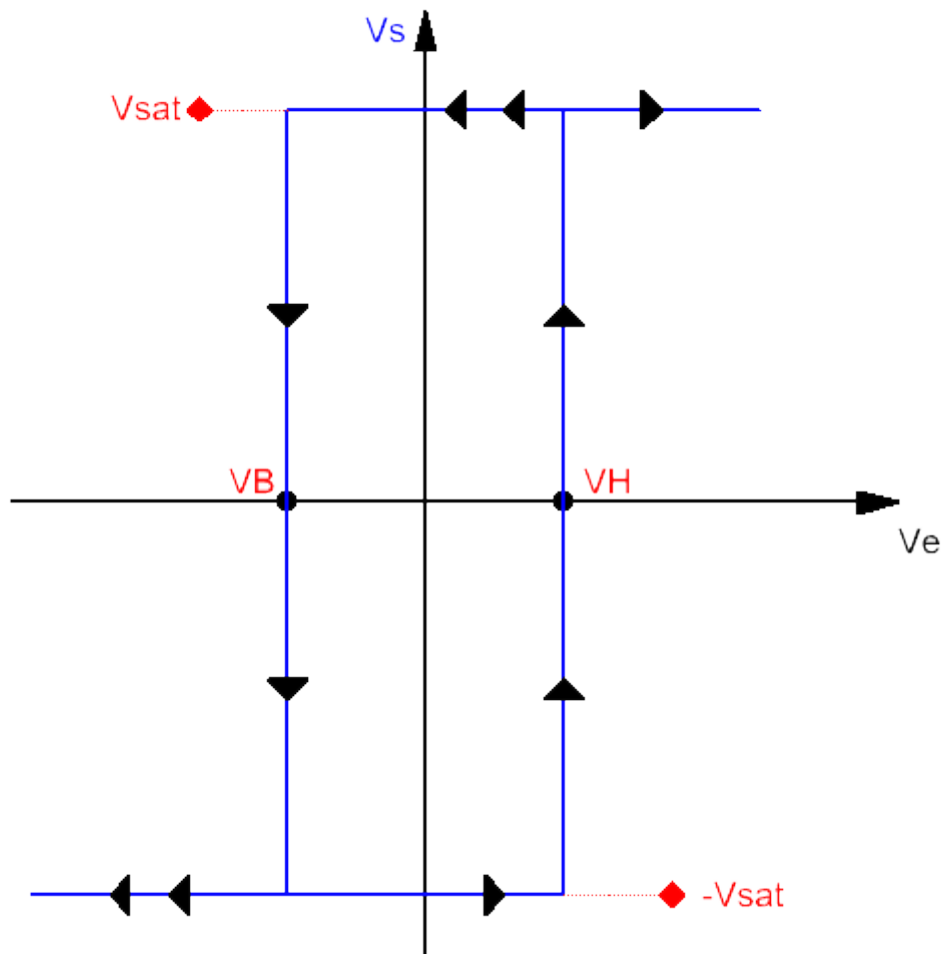


AOP supposé idéal, alimentation non représentée

Ce montage est caractérisé par le cycle d'hystérésis suivant, avec :

$$V_H = V_{seuil_{haut}} = e \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) + V_{sat} \frac{R_1}{R_2}$$

$$V_B = V_{seuil_{bas}} = e \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) - V_{sat} \frac{R_1}{R_2}$$



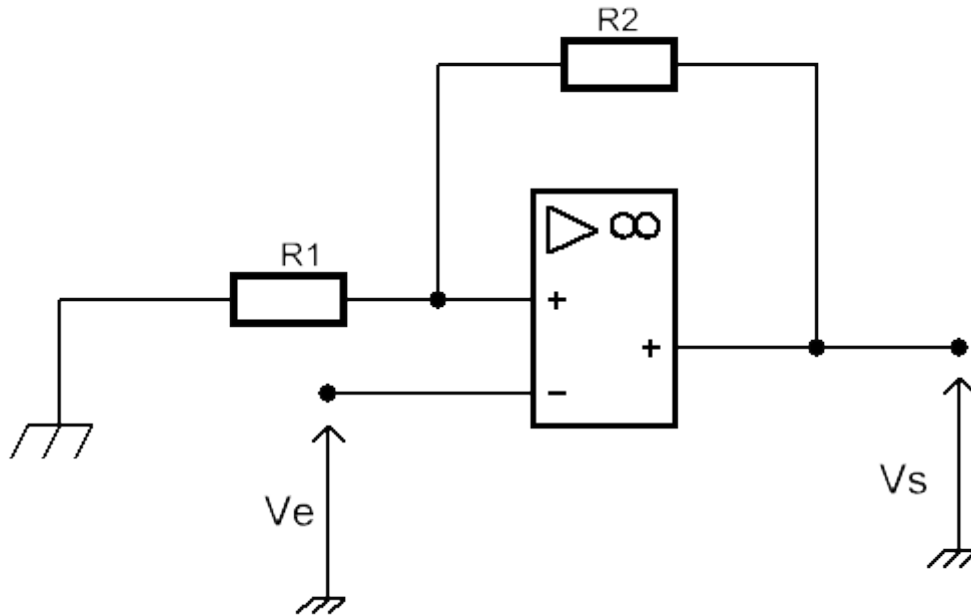
V_{sat} proche de V_{cc} , tension d'alimentation de l'AOP

A retenir :

- Deux seuils différents avec $V_{seuil_{haut}} > V_{seuil_{bas}}$
- Disparition du phénomène de multi-basculement (cf. démonstration)

-> Démonstration <-

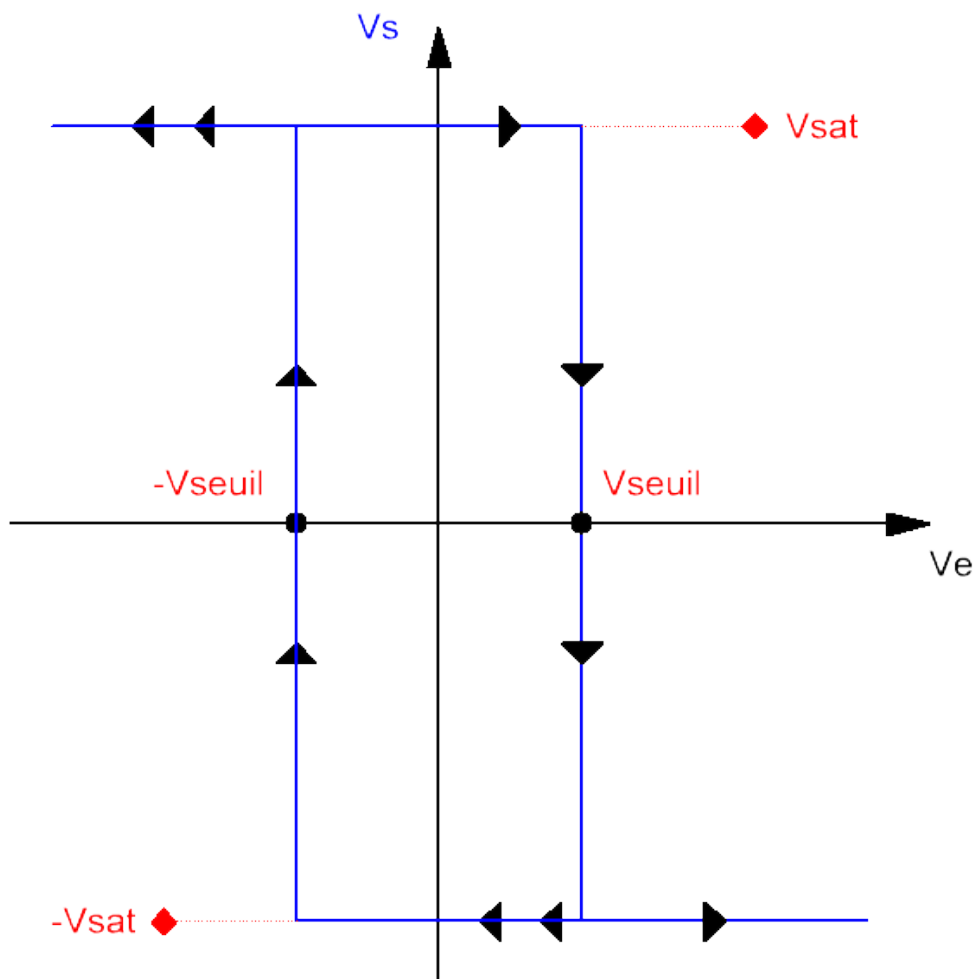
Trigger de Schmitt inverseur



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

Ce montage est caractérisé par le cycle d'hystérésis suivant, avec :

$$V_{seuil} = V_{sat} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$



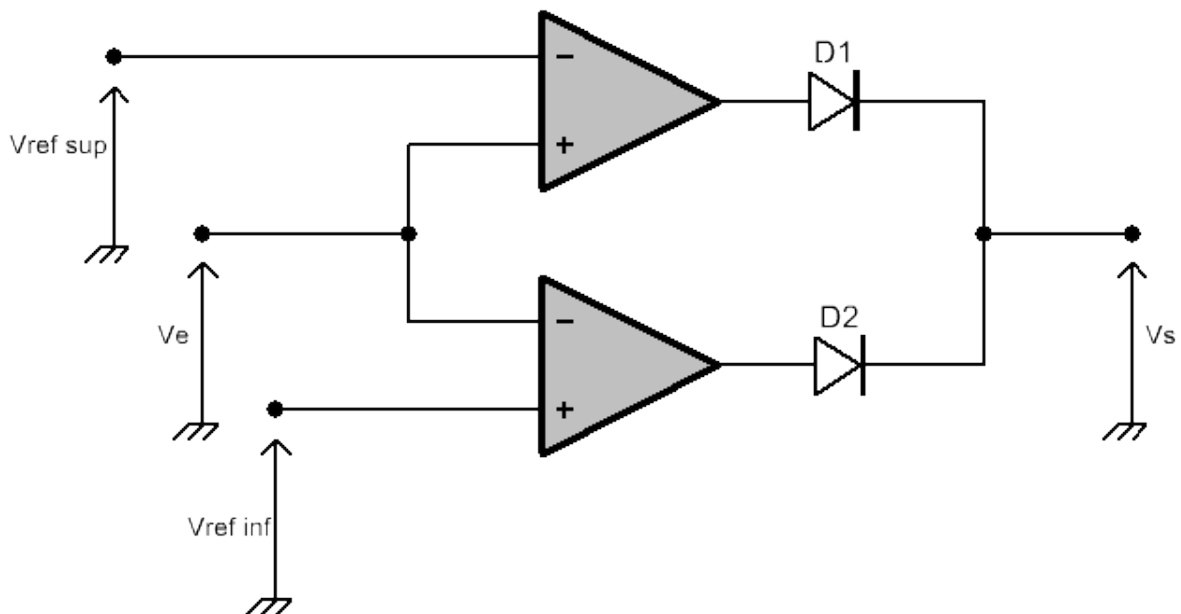
V_{sat} proche de V_{cc} , tension d'alimentation de l'AOP

A retenir :

→ Disparition du phénomène de multi-basculement (cf. démonstration)

-> Démonstration <-

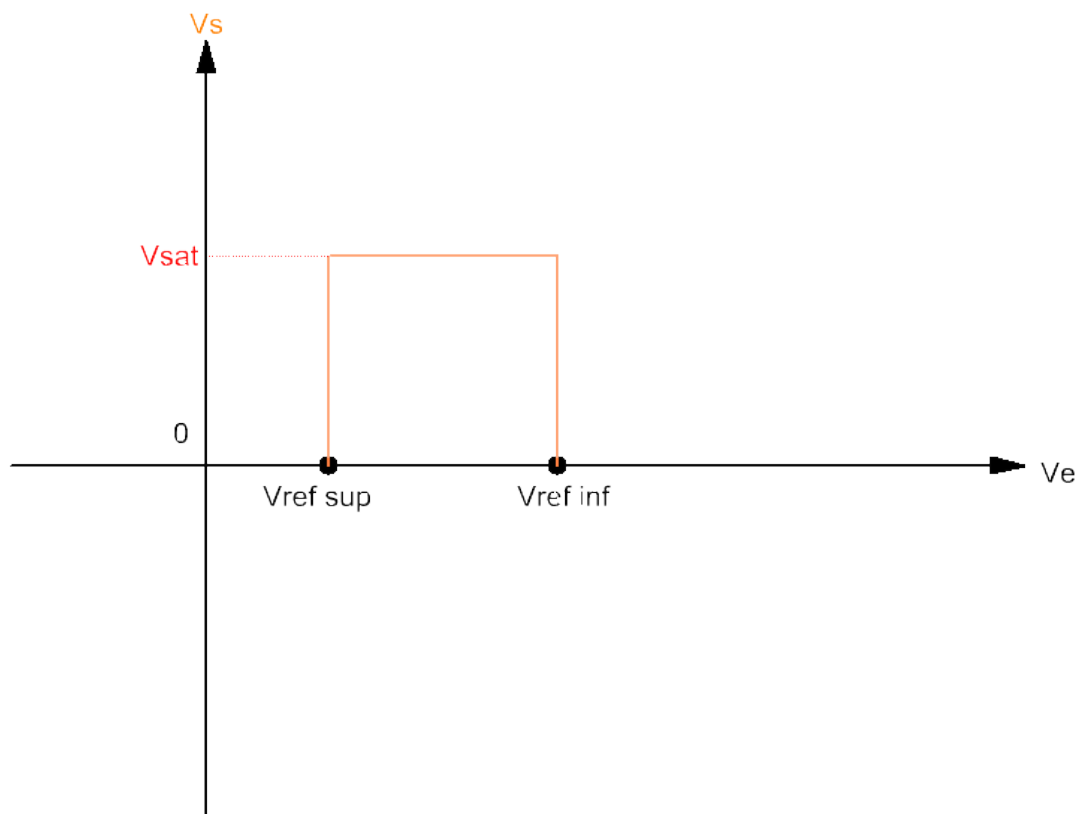
Comparateur à fenêtre - 1



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

A retenir :

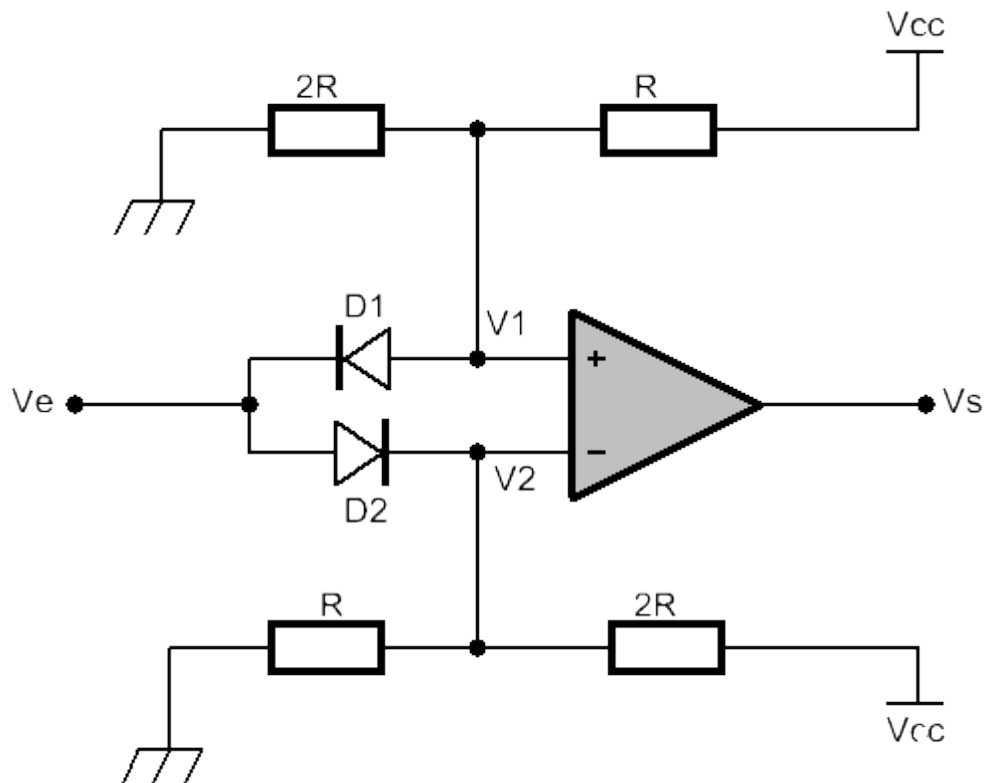
- Permet de détecter si la tension **Ve** est comprise dans l'intervalle $[Vref_sup, Vref_inf]$
- Ici, la condition **Vref_inf > Vref_sup** est supposée vérifiée. Si l'inverse est vrai, alors **Vs** est à nul dans l'intervalle de mesure et égale à $+V_{sat}$ ailleurs (graphe $V=f(Ve)$ inverse)



Graphe $V_s = f(V_e)$

-> Démonstration <-

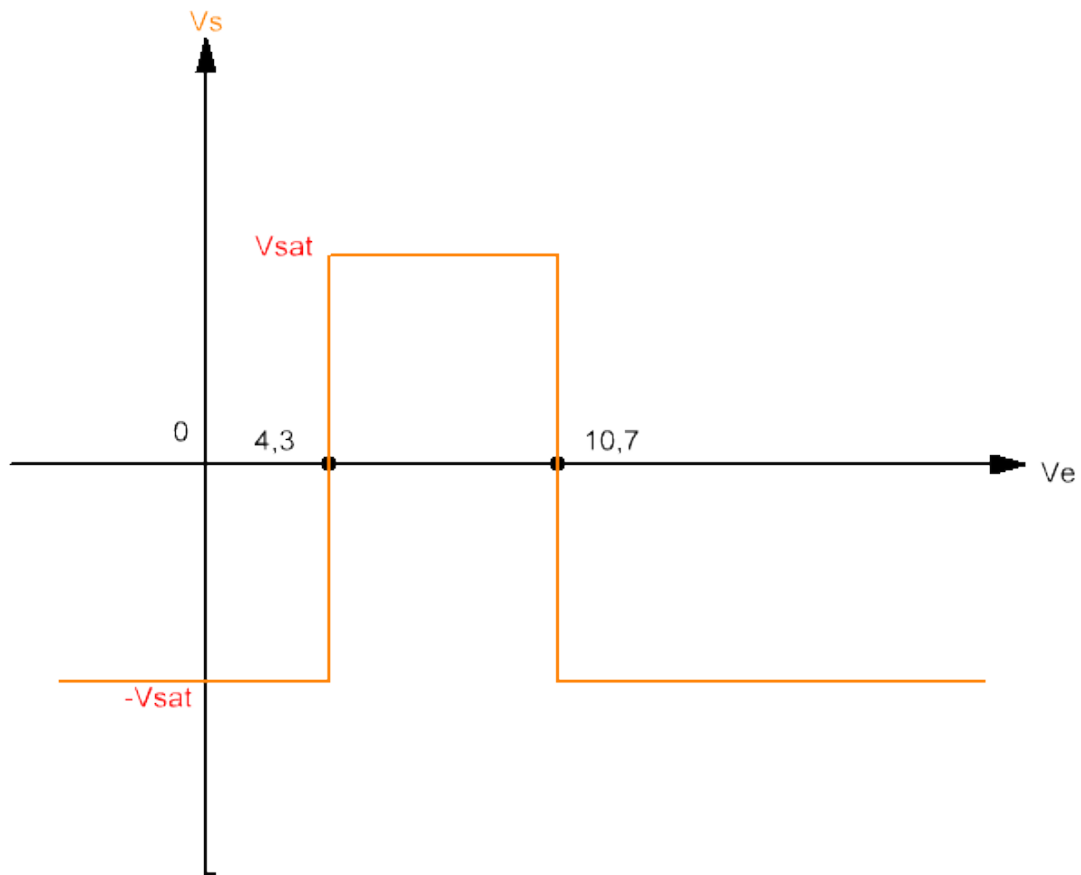
Comparateur à fenêtre – 2



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

A retenir :

→ Permet de détecter si la tension **V_e** est comprise dans un intervalle prédéfini.

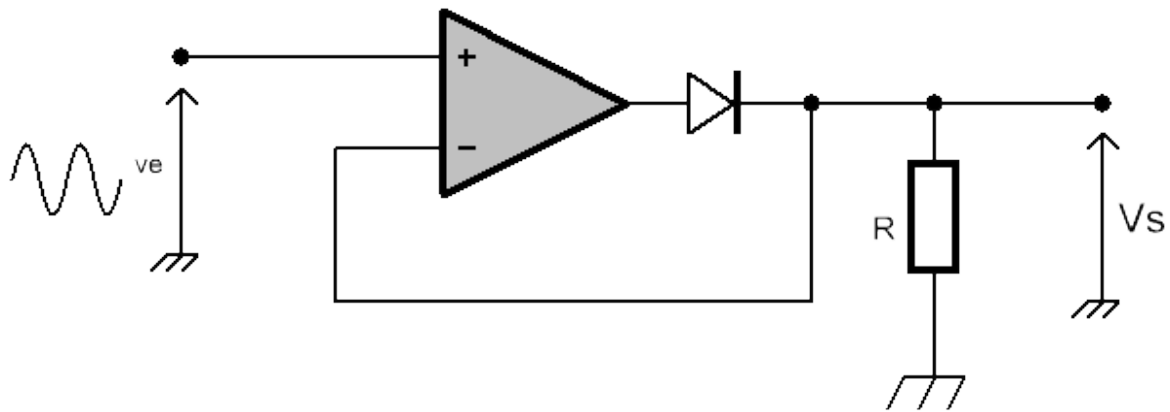


Graph $V_s = f(V_e)$

- Dans cet exemple, $V_{cc} = 15\text{ V}$ et la tension de seuil des diodes est fixée à $0,7\text{V}$
- Jouez sur V_{CC} et sur les résistances pour ajuster la fenêtre
- Voir la démonstration pour bien comprendre ce montage.

-> Démonstration <-

Redresseur mono-alternance



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

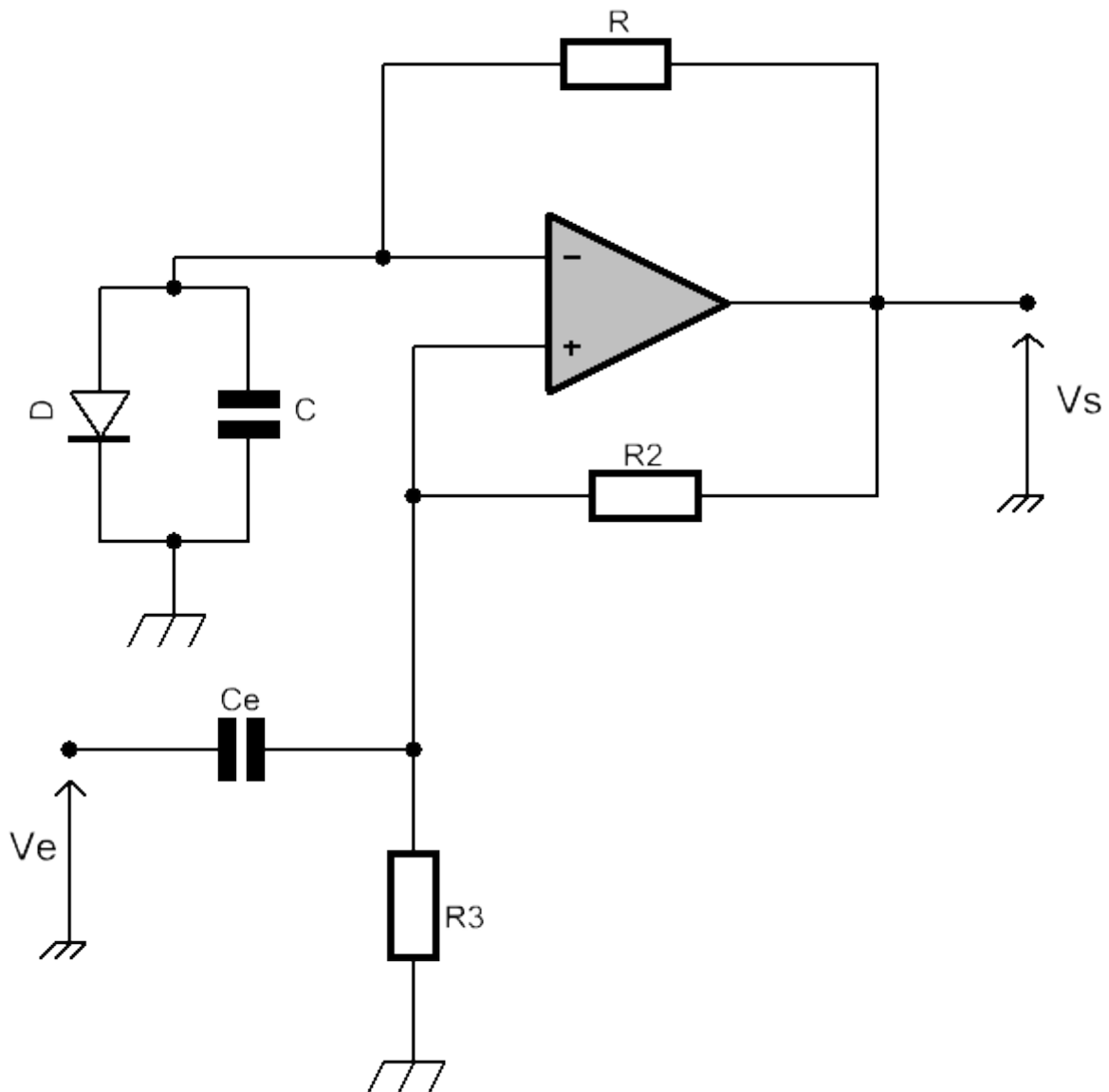
R = circuit de charge

A retenir :

- Redressement mono-alternance de la tension d'entrée alternative (d'amplitude crête $< V_{sat}$) .
- Le grand gain en boucle ouverte de l'AOP élimine l'effet de la tension de seuil de la diode
- Inversez le sens de la diode pour ne garder que les alternances négatives
- Ce montage possède l'originalité de fonctionner alternativement en régime saturé et en régime linéaire (suiveur)

[-> Démonstration <-](#)

Monostable

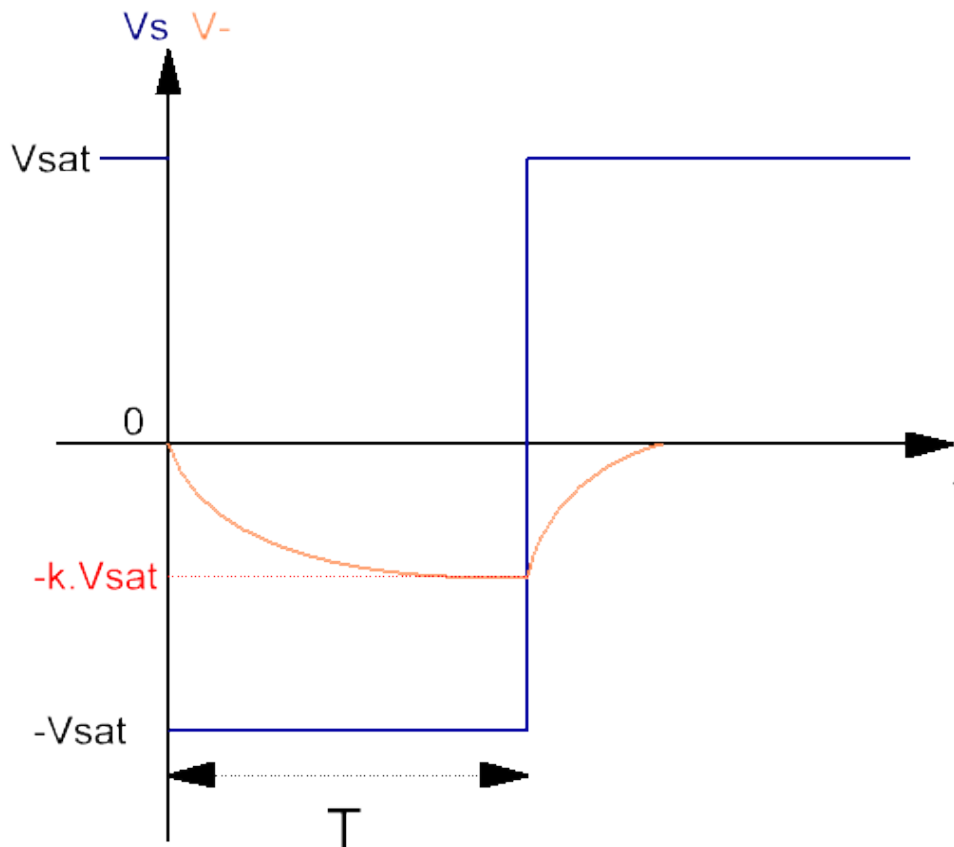


AOP supposé idéal, alimentation non représentée

Ce = condensateur de liaison

A retenir :

→ Réalise une tempo de durée **T** à **-Vsat** lorsqu'une impulsion négative est présentée en **Ve**



Graphes $V_s(t)$ et $V_-(t)$

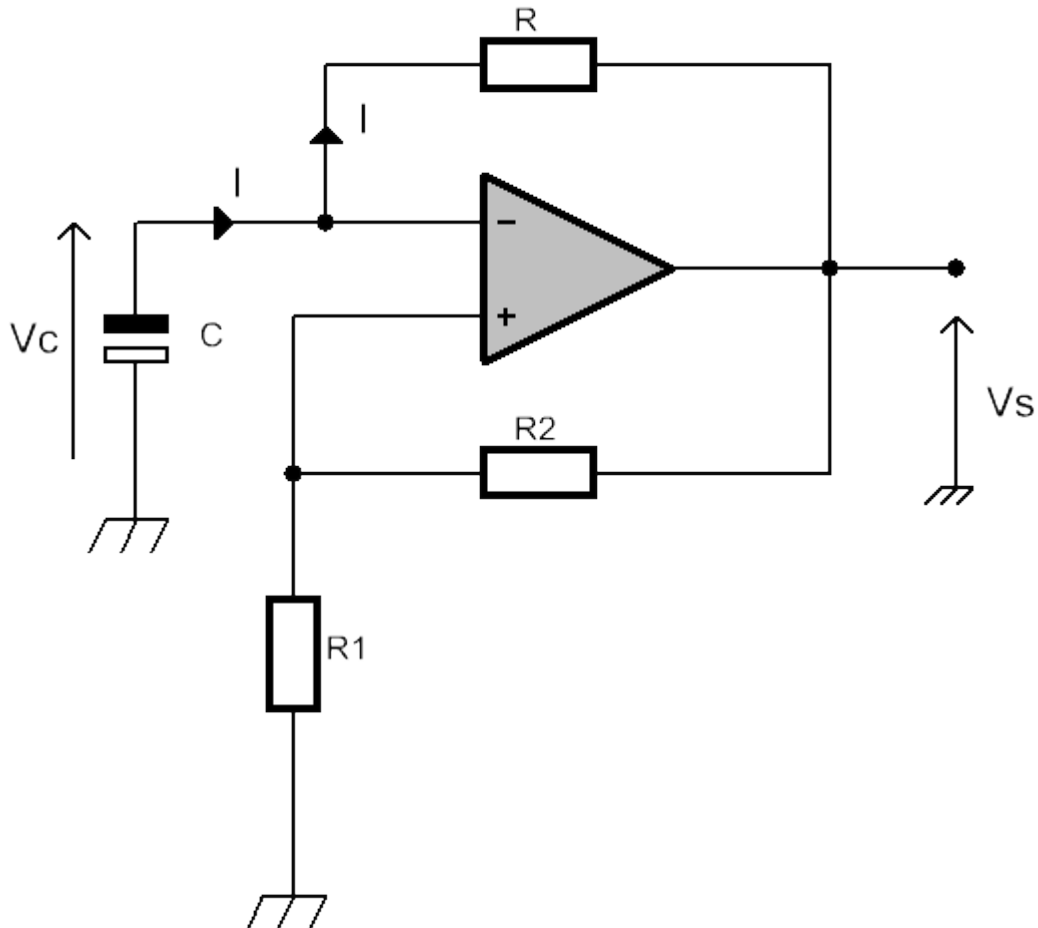
$$T = RC \ln\left(\frac{1}{1-k}\right)$$

avec

$$k = \frac{R_3}{R_3 + R_2}$$

-> Démonstration <-

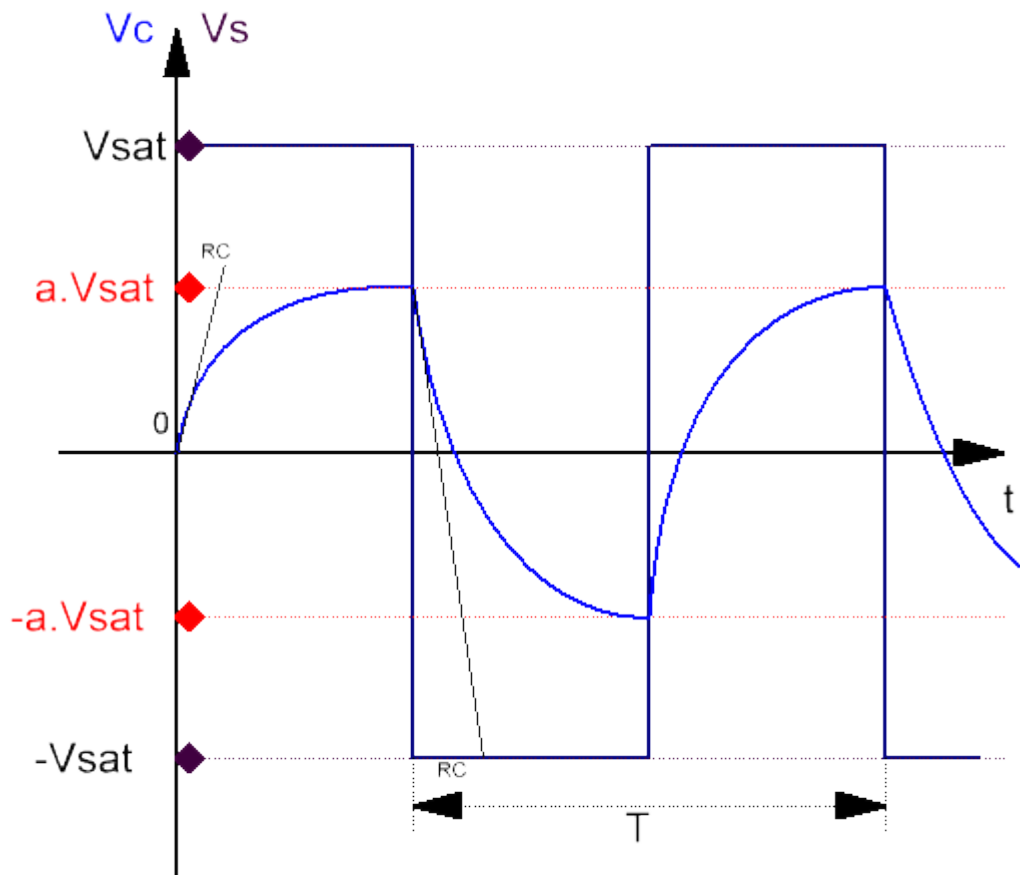
Astable



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

A retenir :

- La sortie V_s bascule constamment de $+V_{sat}$ à $-V_{sat}$ selon une période T de rapport cyclique de 50%
- Valeur moyenne nulle (pas d'offset)



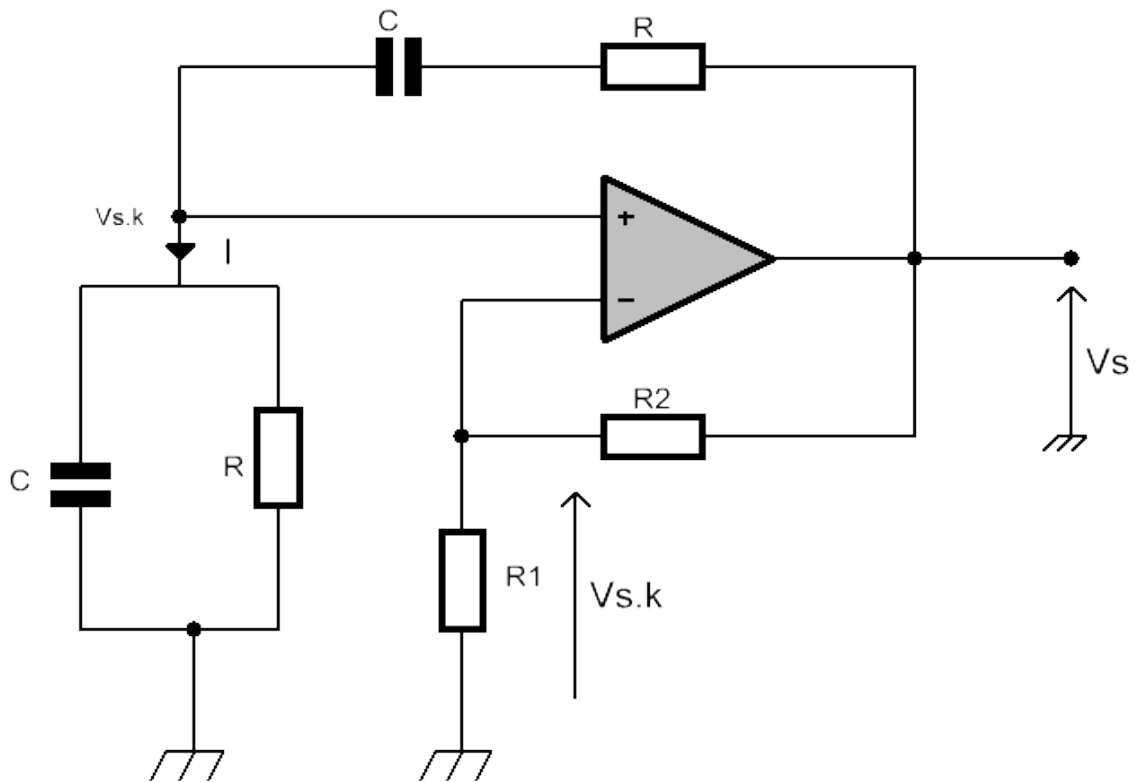
Graphes $V_s(t)$ et $V_c(t)$

$$T = 2RC \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$

→ Pour modifier le rapport cyclique, voir la démonstration

-> Démonstration <-

Oscillateur à pont de Wien



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

A retenir :

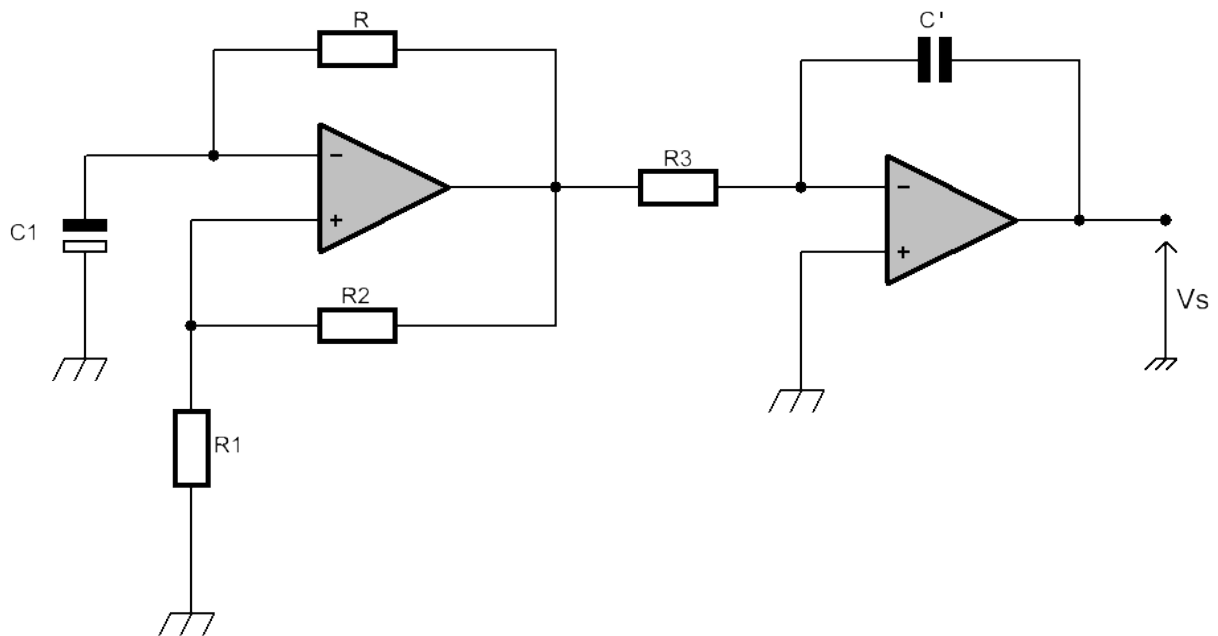
→ La boucle de réaction positive est constituée d'un pont de **Wien**

→ La sortie oscille à la fréquence $f = \frac{1}{2\pi RC}$ si la condition $R_2 = 2R_1$ est vérifiée

Attention aux dérives de la fréquence centrale dues à la température !

-> Démonstration <-

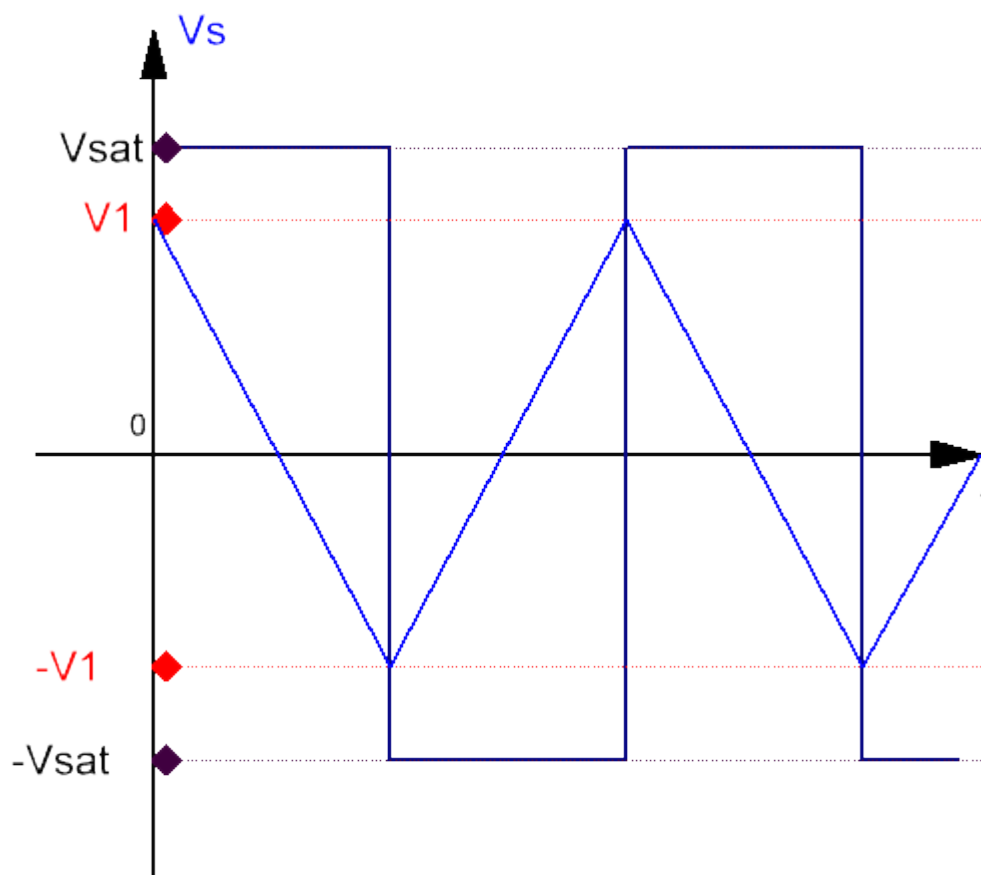
Générateur triangulaire – 1



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

A retenir :

- Le premier étage est un astable, tandis que le second est un intégrateur
- Sortie triangulaire de période fixée par la période de l'étage l'astable



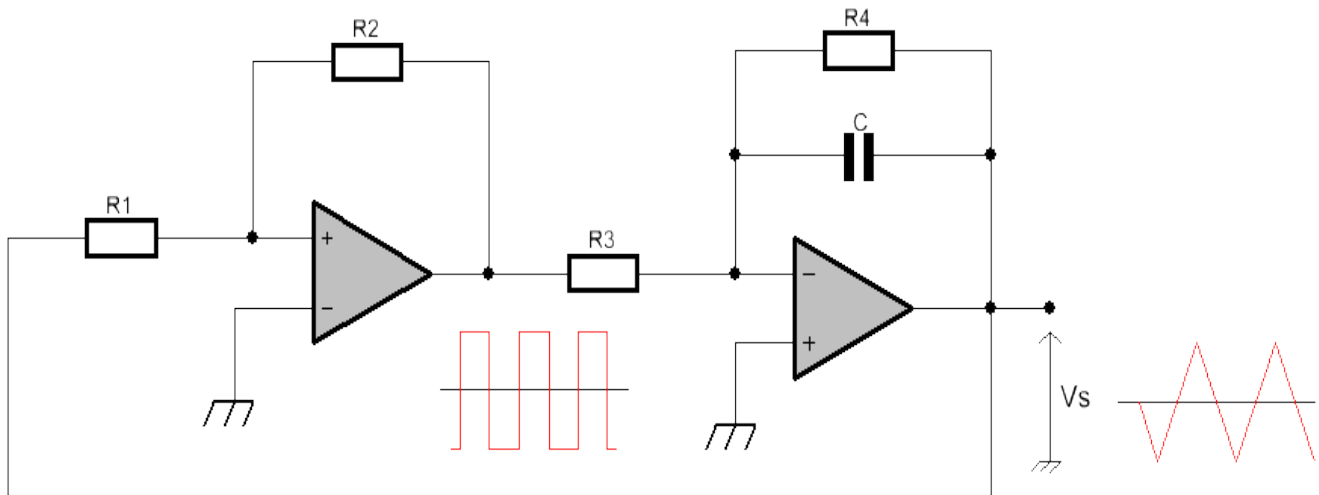
Graphes $V_s(t)$

Amplitude V_1 du signal triangulaire :

$$V_1 = \frac{V_{sat} T}{4 R_3 C'}$$

-> Démonstration <-

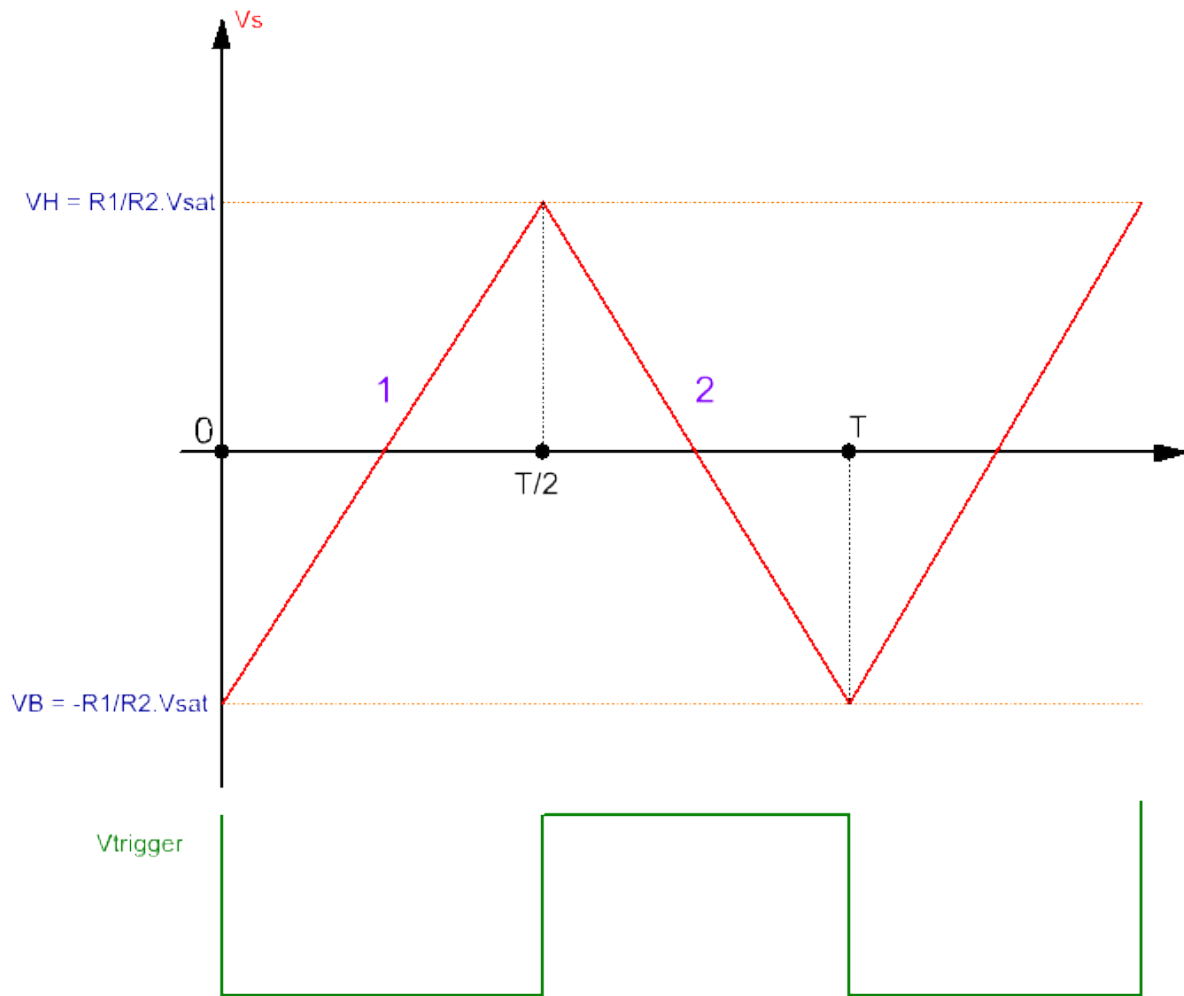
Générateur triangulaire – 2



AOP supposé idéal, alimentation non représentée

A retenir :

- Le premier étage est un trigger de Schmitt non-inverseur, tandis que le second est un intégrateur
- La résistance R4 (servant à améliorer le comportement réel de l'intégrateur) est négligée dans le calcul de la période du signal de sortie à des fins de simplification



Graphes $V_s(t)$

Période du signal triangulaire :

$$T = \frac{4 R_1 R_3 C}{R_2}$$

-> Démonstration <-

<http://electronique.aop.free.fr/>