

Signaux 5.2 - Filtres actifs à ALI

Table des matières

1	Amplificateur Linéaire Intégré (ALI)	1
1.1	Brochage d'un amplificateur opérationnel	1
1.2	Régime linéaire - exemple du montage suiveur	2
2	Montage amplificateur non inverseur	3
3	Montage amplificateur inverseur	4
4	Montage intégrateur à ALI	5

1 Amplificateur Linéaire Intégré (ALI)

Un amplificateur linéaire intégré (ALI), souvent appelé *amplificateur opérationnel* (*ampli-op*), est un composant électronique analogique destiné à réaliser des opérations linéaires sur les signaux : amplification, filtrage, sommation, intégration, dérivation, etc...

1.1 Brochage d'un amplificateur opérationnel

Un amplificateur opérationnel classique se présente sous la forme d'un boîtier à 8 broches (type DIP-8) représenté sur la figure 1.

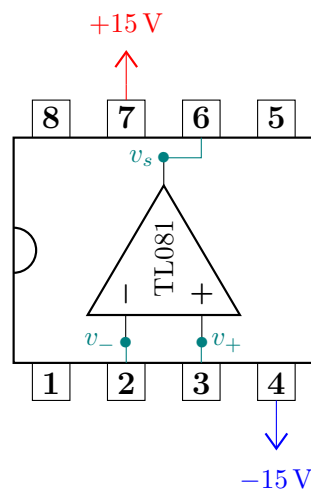


Figure 1 – Brochage de l'ALI

Brochage de l'ALI

Les broches essentielles sont les deux entrées et la sortie :

- la borne 2 est l'**entrée inverseuse** au potentiel v_- ;
- la borne 3 est l'**entrée non-inverseuse** au potentiel v_+ ;
- la borne 6 est la **sortie** au potentiel v_s .

Deux broches assurent l'alimentation continue (ou permanente au cours du temps) :

- la borne 7 correspond à la **tension d'alimentation positive** (V_+ ou $V_{CC} = 15\text{ V}$) ;
- la borne 4 correspond à la **tension d'alimentation négative** (V_- ou $V_{EE} = -15\text{ V}$).

Les autres broches (1 et 5) permettent d'ajuster la tension de décalage en entrée, et la broche 8 est non connectée sur un DIP-8 standard. Ce brochage est celui des ALI courants tels que le 741 ou les TL081/TL082.

1.2 Régime linéaire - exemple du montage suiveur

Considérons un montage suiveur pour lequel l'ALI est en régime linéaire de fonctionnement (figure 2).

ALI idéal en régime linéaire

Pour fonctionner en régime linéaire, une boucle de retour, ou boucle de rétroaction, doit relier l'entrée inverseuse et la sortie de l'ALI.

Les propriétés fondamentales de l'ALI idéal en régime linéaire sont :

1. la tension différentielle d'entrée ϵ est nulle, soit $\epsilon = v_+ - v_- = 0$;
2. les courants d'entrée, ou courants de polarisation, sont nuls, soit $i_+ = i_- = 0$.

La tension de sortie v_s ne peut pas dépasser en valeur absolue la tension de saturation $V_{\text{Sat}} \approx 15\text{ V}$.

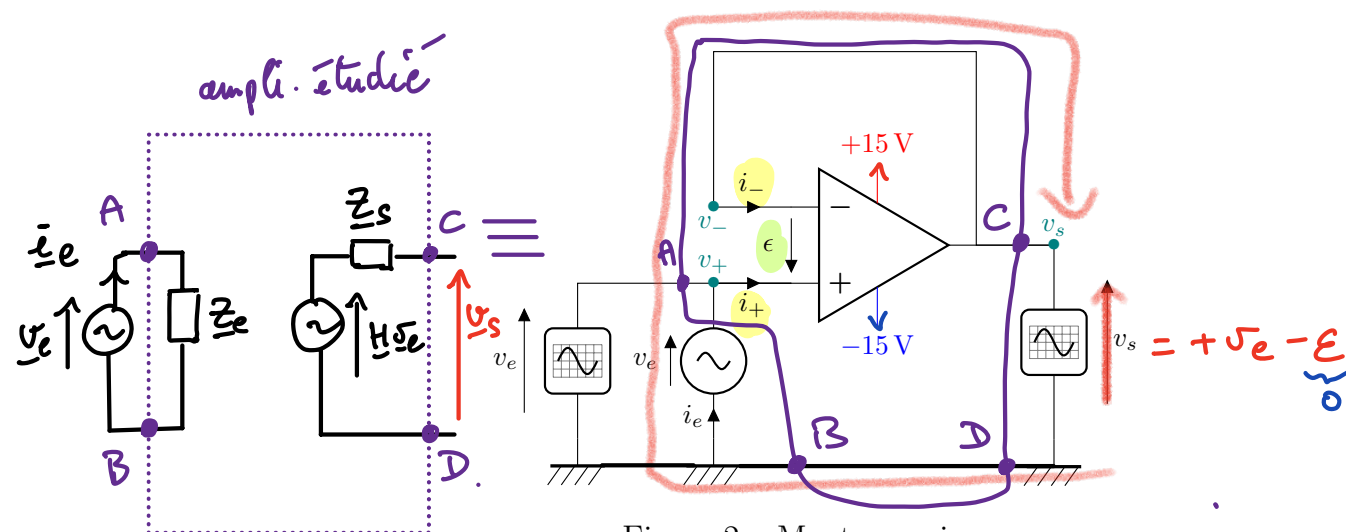


Figure 2 – Montage suiveur

ici $z_e \rightarrow \infty$ et $z_s \approx 0\Omega$ (en pratique $z_s < 1\Omega$).

Pour le montage suiveur, on obtient donc :

$$v_s = v_- = v_+ = v_e$$

On en déduit la **fonction de transfert** :

$$\underline{H} = \frac{v_s}{v_e} = 1$$

L'intérêt de ce montage est son **impédance d'entrée** $\underline{Z}_e$ très grande que l'on considérera comme infinie :

$$\underline{Z}_e = \frac{v_e}{i_e} = \frac{v_e}{i_+} \rightarrow \infty \quad \text{car} \quad i_e = i_+ = 0$$

De plus la résistance de sortie du montage suiveur est très faible, de l'ordre d'un ohm.

Intérêt du montage suiveur

Le montage suiveur constitue un excellent étage d'adaptation d'impédance : son impédance d'entrée très élevée garantit qu'il ne perturbe quasiment pas la source, tandis que son impédance de sortie très faible permet d'alimenter efficacement l'étage suivant.

2 Montage amplificateur non inverseur

Le montage amplificateur non inverseur à ALI est représenté sur la figure 3.

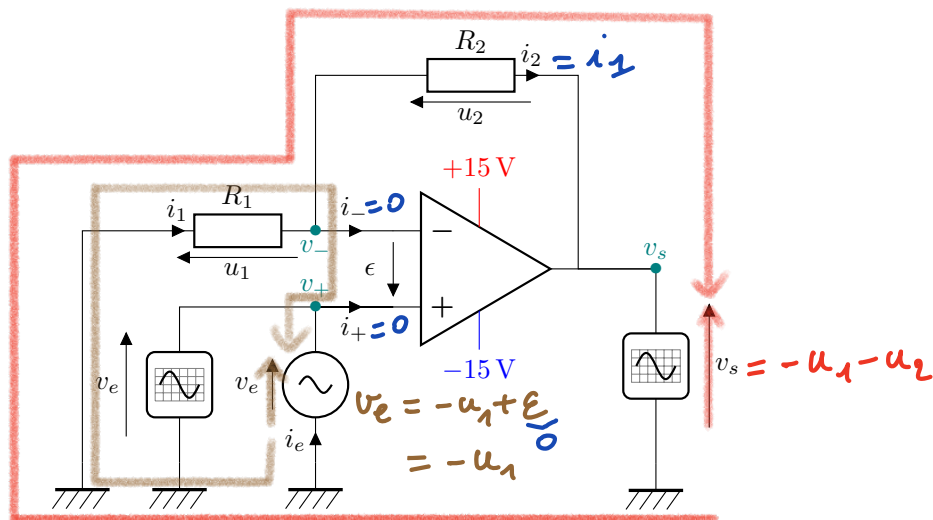


Figure 3 – Montage amplificateur non inverseur à ALI

La loi des mailles donne :

$$v_s = -(u_1 + u_2) \quad \text{et} \quad v_e = -u_1 + \epsilon = -u_1$$

La loi de nœuds s'écrit :

$$i_1 = i_2 + i_- = i_2$$

De plus, d'après la loi d'Ohm :

$$u_1 = R_1 i_1 \quad \text{et} \quad u_2 = R_2 i_2$$

On en déduit la **fonction de transfert** de ce filtre :

$$\underline{H} = \frac{v_s}{v_e} = \frac{-(u_1 + u_2)}{-u_1} \Rightarrow \underline{H} = \frac{v_s}{v_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

L'intérêt de ce montage est son **impédance d'entrée** $\underline{Z}_e$ très grande que l'on considérera comme infinie :

$$\underline{Z}_e \triangleq \frac{v_e}{i_e} = \frac{v_e}{i_+} \rightarrow \infty \quad \text{car} \quad i_e = i_+ = 0$$

3 Montage amplificateur inverseur

Le montage amplificateur inverseur à ALI est représenté sur la figure 4.

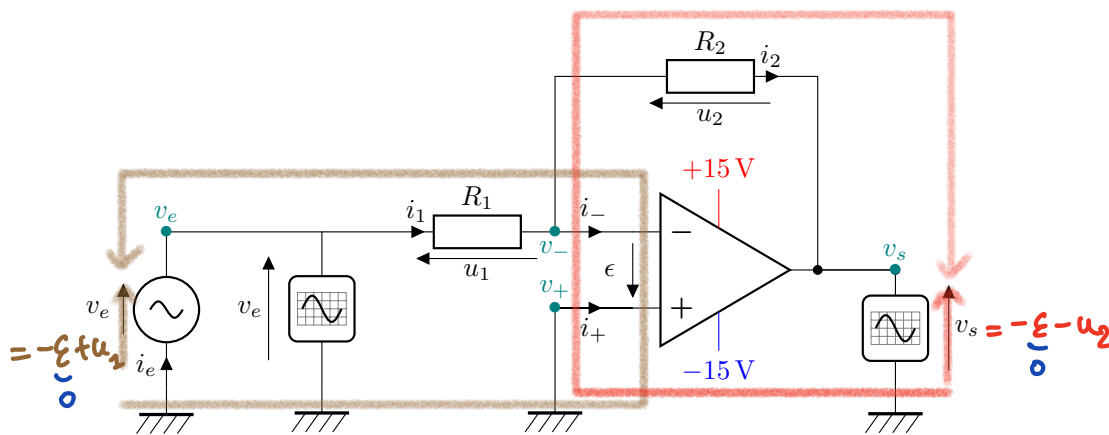


Figure 4 – Montage amplificateur inverseur à ALI

La loi des mailles donne :

$$v_s = -(\epsilon + u_2) = -u_2 \quad \text{et} \quad v_e = -\epsilon + u_1 = u_1$$

La loi de nœuds s'écrit :

$$i_1 = i_2 + i_- = i_2$$

De plus, d'après la loi d'Ohm :

$$u_1 = R_1 i_1 \quad \text{et} \quad u_2 = R_2 i_2$$

On en déduit la **fonction de transfert** de ce filtre :

$$\underline{H} = \frac{v_s}{v_e} = \frac{R_2 i_2}{-R_1 i_1} \Rightarrow \underline{H} = \frac{v_s}{v_e} = -\frac{R_2}{R_1}$$

L'impédance d'entrée $\underline{Z}_e$ de ce montage est :

$$\underline{Z}_e \triangleq \frac{v_e}{i_e} = \frac{u_1}{i_1} = R_1 \quad \text{car} \quad i_e = i_1$$

4 Montage intégrateur à ALI

Le montage intégrateur à ALI est représenté sur la figure 5.

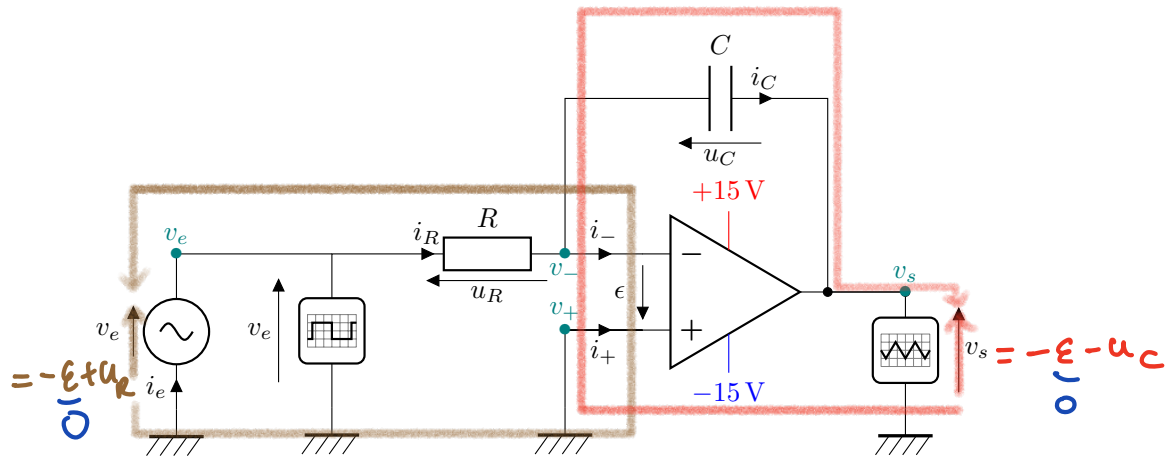


Figure 5 – Montage intégrateur théorique à ALI

La loi des mailles donne :

$$v_s = -(\epsilon + u_C) = -u_C \quad \text{et} \quad v_e = -\epsilon + u_R = u_R$$

La loi de nœuds s'écrit :

$$i_R = i_C + i_- = i_C$$

De plus, en régime sinusoïdal :

$$\underline{u}_C = \underline{Z}_C \underline{i}_C \quad \text{et} \quad \underline{u}_R = R \underline{i}_R$$

L'impédance d'entrée $\underline{Z}_e$ de ce montage est :

$$\underline{Z}_e \triangleq \frac{v_e}{i_e} = \frac{u_R}{i_R} = R \quad \text{car} \quad i_e = i_R$$

La fonction de transfert de ce filtre est :

$$H = \frac{v_s}{v_e} = \frac{-\underline{Z}_C \underline{i}_C}{R \underline{i}_R} \Rightarrow H = \frac{v_s}{v_e} = -\frac{\underline{Z}_C}{R} = -\frac{1}{jRC\omega}$$

Que l'on peut aussi écrire sous la forme :

$$j\omega \times v_s = -\frac{v_e}{RC}$$

$\frac{d}{dt}(v_s)$

Soit, en repassant pour les grandeurs instantanées :

$$\frac{dv_s}{dt} = -\frac{v_e}{RC}$$

En intégrant entre t_0 et t quelconque :

$$\underbrace{\int_{t_0}^t \frac{dv_s}{dt'} dt'}_{v_s(t) - v_s(t_0)} = -\frac{1}{RC} \int_{t_0}^t v_e(t') dt'$$

Au final :

$$v_s(t) = v_s(t_0) - \frac{1}{RC} \int_{t_0}^t v_e(t') dt'$$

On a réalisé une simulation de ce montage sur la figure 6 avec $R = 10 \text{ k}\Omega$ et $C = 100 \text{ nF}$.

$$\text{ici } RC = 10^4 \cdot 10^{-7} = 10^{-3} \text{ s.}$$

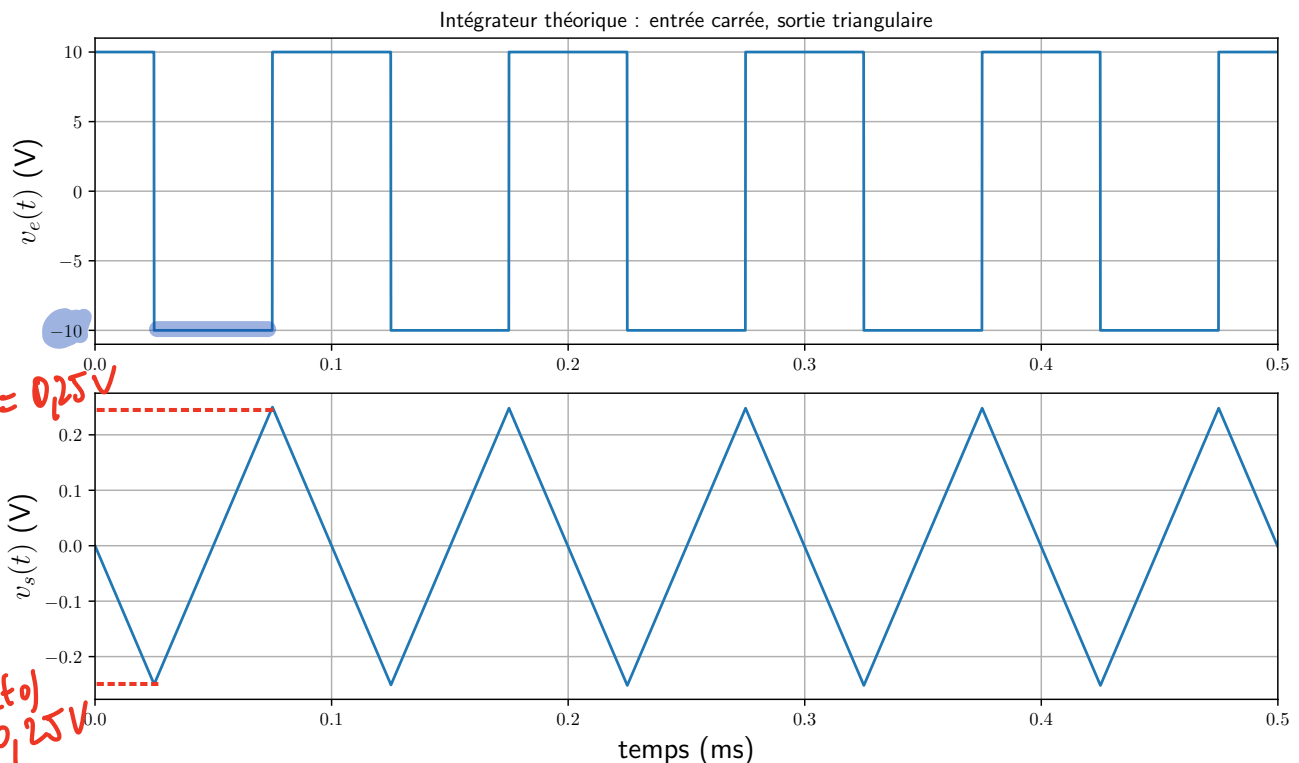


Figure 6 – Tensions du montage intégrateur théorique à ALI

En pratique, le montage intégrateur théorique atteint rapidement ses limites : les imperfections de l'amplificateur opérationnel réel, telles que la tension de décalage d'entrée ou les courants de polarisation non nuls, entraînent une dérive progressive de la sortie, qui finit par saturer.

Par ailleurs, le gain de l'intégrateur tend vers l'infini lorsque la fréquence du signal tend vers zéro (figure 7) : la moindre composante continue dans $v_e(t)$ conduit alors inévitablement la sortie vers la saturation en tension. Une simulation incluant une composante continue en entrée met clairement en évidence cette saturation précoce peu après l'allumage du circuit sur la figure 8.

Le montage intégrateur réellement utilisé en pratique sera étudié en exercice.

On vérifie que $v_s(t_0) - \frac{1}{RC} \int_{t_0}^{t_1} v_e(t') dt' = -0.25 - \frac{1}{10^{-3}} \times (-10 \times 0.05 \cdot 10^{-3})$

$$= -0.25 + 10^4 \cdot 5 \cdot 10^{-5} = -0.25 + 0.5 = +0.25 = v_s(t_1)$$

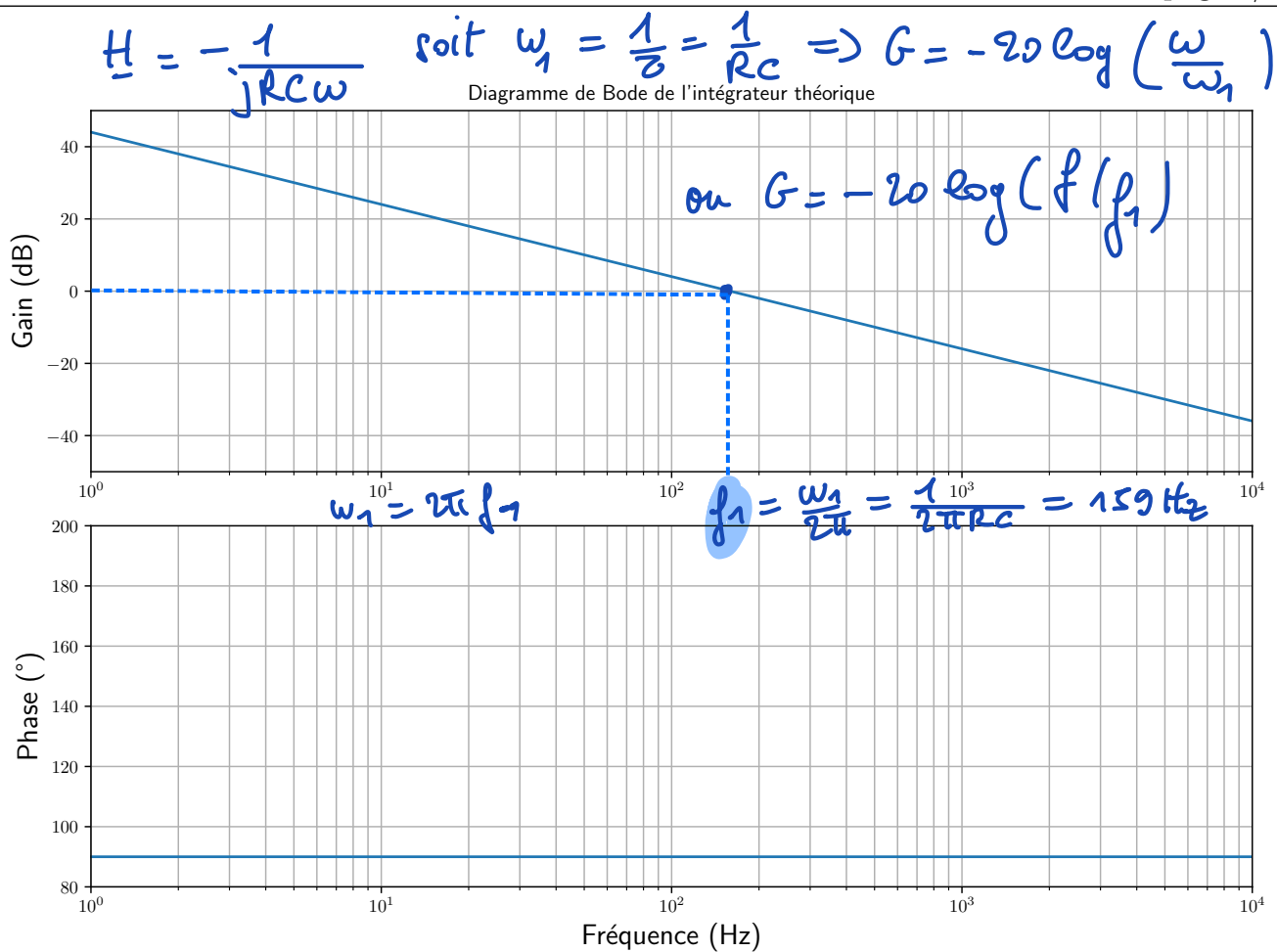


Figure 7 – Diagramme de Bode du montage intégrateur théorique à ALI.

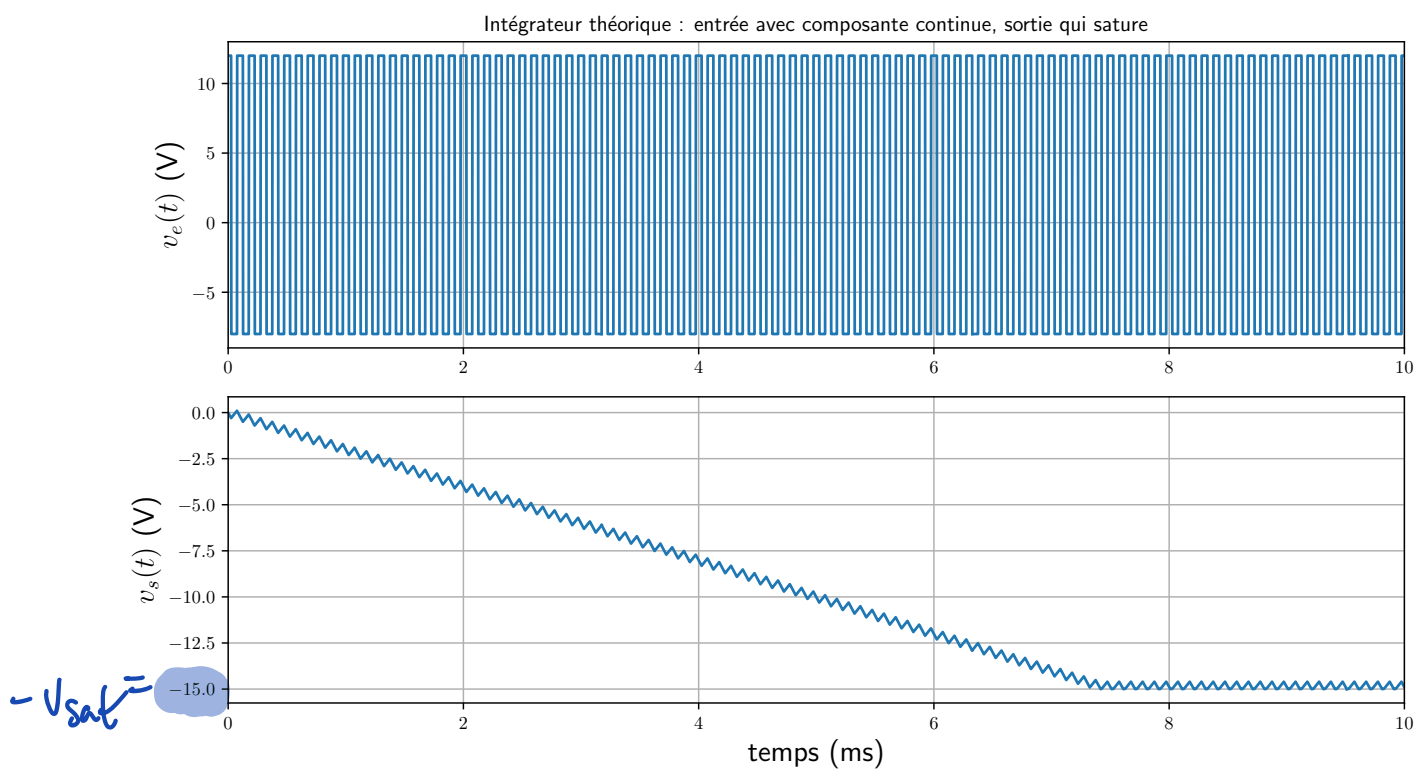


Figure 8 – Tensions du montage intégrateur théorique à ALI avec composante continue en entrée