

Physique A

Synthèse et utilisation de composés semi-conducteurs

A - Exemple d'utilisation des semi-conducteurs : la MLI

A.1 - Modulation de largeur d'impulsion : réalisation analogique

1 Un ALI idéal de gain infini est caractérisé par une résistance d'entrée infinie (courants de polarisation nuls), une résistance de sortie nulle, une saturation en tension à $\pm V_{\text{sat}} \simeq \pm 15 \text{ V}$ et une saturation en courant à $\pm i_{\text{sat}} = \pm 30 \text{ mA}$. Lorsqu'il fonctionne en régime linéaire, les potentiels de ses deux entrées sont égaux.

2 Il n'y a pas de rétroaction donc l'ALI fonctionne en **régime de saturation**. Le montage est un **comparateur simple**.

3 Au cours de la première période,

$$u_{\text{scie}}(t) = At \quad \text{et} \quad u_{\text{scie}}(t=T) = AT = U_{\text{max}} \quad \text{d'où} \quad \boxed{A = \frac{U_{\text{max}}}{T}}.$$

4 Supposons $0 < U_0 < U_{\text{max}}$. À l'instant $t = 0$, $u_{\text{scie}} = 0 < U_{\text{max}}$ donc l'ALI est en saturation haute. Il y reste tant que

$$U_0 > u_{\text{scie}}(t) \quad \text{soit} \quad U_0 > \frac{U_{\text{max}}}{T}t \quad \text{d'où} \quad \boxed{t < \frac{U_0}{U_{\text{max}}}T = \tau_+}.$$

Il est en saturation basse pendant le reste de la période, soit

$$\tau_- = T - \tau_+ \quad \text{donc} \quad \boxed{\tau_- = \left(1 - \frac{U_0}{U_{\text{max}}}\right)T}.$$

Le signal est représenté figure 1.

5 Si $U_0 > U_{\text{max}}$, l'ALI ne bascule jamais et le signal modulé est constamment égal à V_{sat} .

6.a L'équation horaire s'écrit

$$u_e(t) = \frac{U_{\text{max}}}{2} + \frac{U_{\text{max}}}{2} \cos(2\pi f_e t).$$

Ses valeurs sont bien comprises entre 0 et U_{max} , et $u_e(t=0) = U_{\text{max}}$.

6.b Voir figure 2.

6.c Voir figure 3.

6.d L'objectif de la démodulation est de récupérer le signal modulant, donc ici une sinusoïde à 1 kHz, en filtrant le signal modulé. Il faut donc utiliser un **filtre passe-bas** pour démoduler $u_{\text{mod}}(t)$.

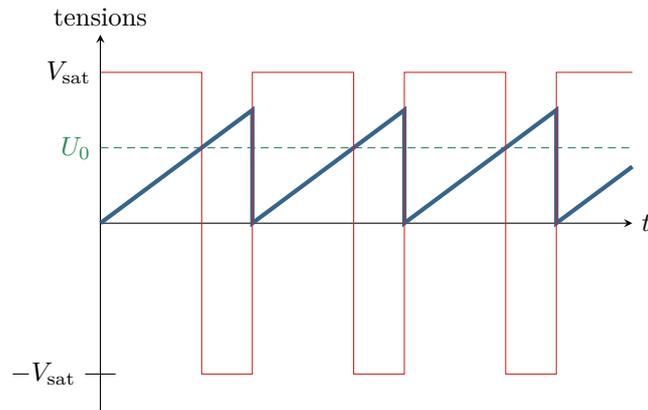


Figure 1 – Signal modulé par un signal modulant constant.

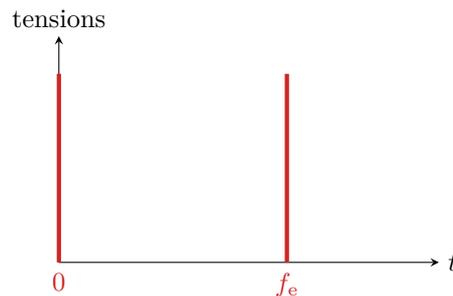
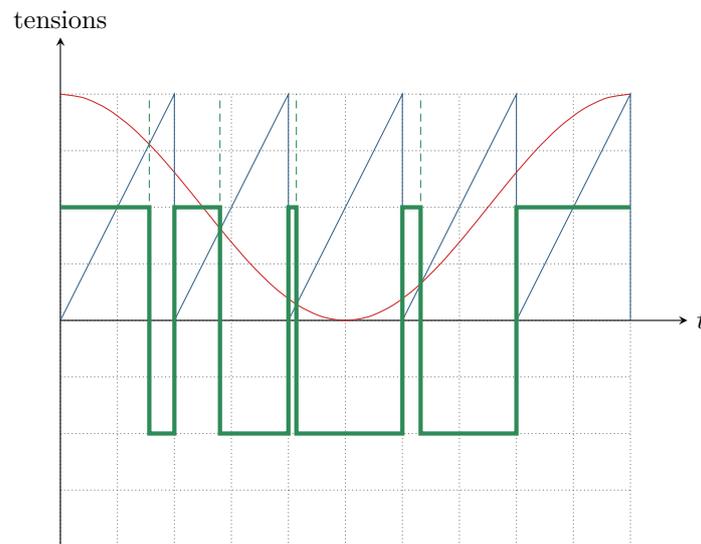
Figure 2 – Spectre de la tension sinusoïdale u_e .

Figure 3 – Signal modulé par un signal modulant sinusoïdal.

A.2 - Réalisation d'un signal dent de scie

7 L'impédance d'entrée d'un ALI TL081 est de l'ordre de $10^{12} \Omega$, l'impédance de sortie est **quasiment nulle**.

*L'impédance de sortie est tellement faible qu'elle n'est même pas mentionnée dans les fiches techniques !
Notez que ces ordres de grandeur ne font pas partie des connaissances exigibles au programme de PT
... L'auteur du sujet est donc un peu limite, néanmoins la question n'est pas bloquante pour la suite.*

8 L'impédance de sortie de l'ALI étant nulle, le courant et la tension de sortie sont indépendants. La présence d'autres blocs en sortie de l'ALI, à même d'appeler un courant, ne modifie donc pas son comportement par rapport à une situation où il serait en sortie ouverte.

9.a L'ALI de l'étage compte une unique rétroaction négative, on peut donc considérer qu'il fonctionne en régime

linéaire : ainsi, $v_- = v_+ = 0$. On suppose de plus $u_e > 0$, seule la diode D_1 est passante. En orientant tous les courants vers la borne \ominus de l'ALI et avec des notations évidentes, la loi des nœuds s'écrit

$$i_1 + i_C = 0 \quad \text{donc} \quad \frac{u_e - 0}{R_1} + C \frac{d}{dt}(u_s - 0) = 0 \quad \text{d'où} \quad \boxed{\frac{du_s}{dt} = -\frac{1}{R_1 C} u_e.}$$

9.b Si $u_e < 0$ alors la diode D_2 est passante et on a de même

$$\boxed{\frac{du_s}{dt} = -\frac{1}{R_2 C} u_e.}$$

10.a L'ALI de l'étage 2 ne possède qu'une unique **rétroaction positive**, il fonctionne donc nécessairement en régime de saturation.

10.b D'après la loi des nœuds en potentiel appliquée à l'entrée \oplus ,

$$\frac{u_s - v_+}{R_3} + \frac{u_e - v_+}{R_4} = 0 \quad \text{d'où} \quad u_s + \frac{u_e}{2} = \frac{3}{2} v_+.$$

Supposons l'ALI en saturation haute. Il y reste tant que $v_+ > v_- = 0$, soit

$$u_s + \frac{V_{\text{sat}}}{2} > 0 \quad \text{d'où} \quad \boxed{u_s > -\frac{V_{\text{sat}}}{2}.}$$

10.c Supposons maintenant l'ALI en saturation basse. Il y reste tant que $v_+ < v_- = 0$, soit

$$u_s - \frac{V_{\text{sat}}}{2} < 0 \quad \text{d'où} \quad \boxed{u_s < \frac{V_{\text{sat}}}{2}.}$$

10.d Il s'agit d'un **comparateur à hystérésis non-inverseur**, dont la caractéristique est représentée figure 4.

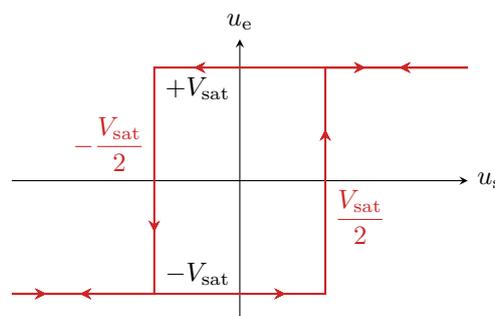


Figure 4 – Caractéristique entrée-sortie du comparateur à hystérésis.

11.a Si l'étage 2 bascule en saturation haute, c'est que

$$\boxed{u_s(t=0) = \frac{V_{\text{sat}}}{2}.}$$

Comme $u_e > 0$, l'évolution de u_s est donnée par la relation différentielle établie question 9.a,

$$\frac{du_s}{dt} = -\frac{V_{\text{sat}}}{R_1 C} \quad \text{d'où} \quad \int_{u_s(0)}^{u_s(t)} du_s = -\frac{V_{\text{sat}}}{R_1 C} \int_0^t dt$$

soit finalement

$$\boxed{u_s(t) = \frac{V_{\text{sat}}}{2} - \frac{V_{\text{sat}}}{R_1 C} t.}$$

Attention à ne pas oublier la condition initiale $u_s(0) \neq 0$!

11.b L'ALI est en saturation haute et il y reste tant que $u_s > -V_{\text{sat}}/2$, c'est-à-dire

$$\frac{V_{\text{sat}}}{2} - \frac{V_{\text{sat}}}{R_1 C} t > -V_{\text{sat}}/2 \quad \text{soit} \quad -\frac{t}{R_1 C} > -1,$$

et ainsi il y a basculement à l'instant

$$t_1 = R_1 C.$$

L'étage 2 reste en saturation haute entre $t = 0$ et $t = t_1$, donc

$$\Delta t_{\text{haut}} = R_1 C.$$

12.a La relation différentielle entre u_s et u_e est désormais celle établie question 9.b,

$$\frac{du_s}{dt} = -\frac{1}{R_2 C} u_e \quad \text{d'où} \quad \int_{u_s(t_1)}^{u_s(t)} du_s = +\frac{V_{\text{sat}}}{R_2 C} \int_{t_1}^t dt$$

et finalement

$$u_s(t) = -\frac{V_{\text{sat}}}{2} + \frac{V_{\text{sat}}}{R_2 C} (t - t_1).$$

12.b L'ALI est en saturation basse et il y reste tant que $u_s < V_{\text{sat}}/2$, c'est-à-dire

$$-\frac{V_{\text{sat}}}{2} + \frac{V_{\text{sat}}}{R_2 C} (t - t_1) < \frac{V_{\text{sat}}}{2} \quad \text{soit} \quad \frac{t - t_1}{R_2 C} < 1,$$

on en déduit qu'il y a basculement à l'instant

$$t_2 = t_1 + R_2 C.$$

L'étage 2 reste en saturation haute entre $t = t_1$ et $t = t_2$, donc

$$\Delta t_{\text{bas}} = R_2 C.$$

La période du signal s'en déduit par

$$T = \Delta t_{\text{haut}} + \Delta t_{\text{bas}} = (R_1 + R_2) C.$$

13 Voir figure 5.

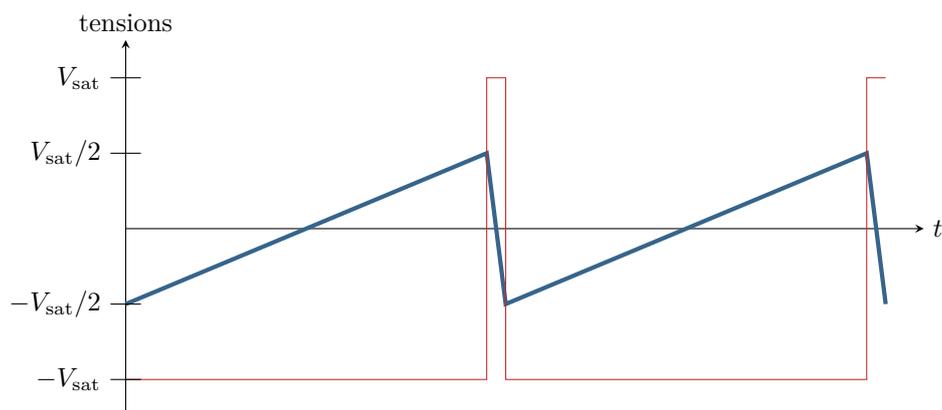


Figure 5 – Tensions u_s et u_e du multivibrateur.

14 On cherche $T = 1 \cdot 10^{-6}$ s. D'après les questions 11.b et 12.b,

$$\Delta t_{\text{haut}} = \frac{T}{20} = R_1 C \quad \text{d'où} \quad R_1 = \frac{T}{20 C} = 5 \text{ k}\Omega$$

puis

$$\Delta t_{\text{bas}} = R_2 C = 19 \Delta t_{\text{haut}} \quad \text{d'où} \quad R_2 = 19 R_1 = 95 \text{ k}\Omega.$$