

Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. Toute réponse devra être justifiée.

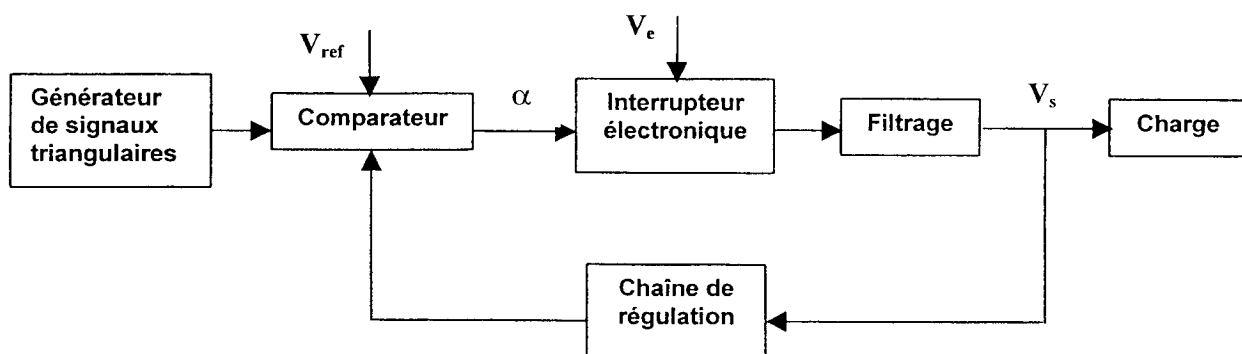
L'usage d'une calculatrice est autorisé.

ALIMENTATION À DÉCOUPAGE

Les parties I, II, III, IV, V du problème sont indépendantes.

On étudie une alimentation à découpage permettant d'obtenir une tension continue V_s de valeur 15 V, et capable de débiter un courant d'intensité 1 A, à partir d'une source de tension continue existante de f.e.m. $V_e = 45$ V.

Le schéma synoptique de l'alimentation est le suivant :



Le schéma complet du montage correspond à la figure 9 page 9.

Les amplificateurs opérationnels, considérés comme idéaux, sont alimentés sous les tensions $+V_{dd}$ et $-V_{dd}$. On donne $V_{dd} = 15$ V. Les tensions de saturation sont $+V_{dd}$ et $-V_{dd}$.

Les diodes sont considérées comme idéales.

CODE ÉPREUVE : PYELME1 PYELLR1		EXAMEN : BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE	SPÉCIALITÉ : Sciences et Technologies Industrielles spécialité Génie électronique	
SESSION 2000	SUJET	ÉPREUVE : PHYSIQUE APPLIQUÉE		
Durée : 4h00	Coefficient : 5		Code sujet : 00SB409	Page : 1/13

I. ÉTUDE DU GÉNÉRATEUR DE SIGNAUX TRIANGULAIRES :

Pour réaliser ce générateur on associe un comparateur à deux seuils avec un montage intégrateur.

1) Étude du comparateur à deux seuils (figure 1) :

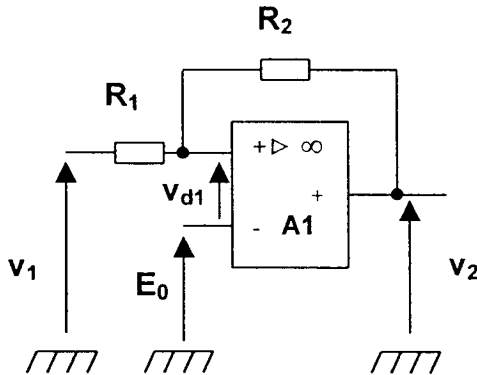


Figure 1

v_1 est une tension variable en fonction du temps.

E_0 est une tension continue de valeur 3,0 V.

$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$

$R_2 = 4R_1$

- La tension de sortie v_2 ne prend que deux valeurs : $-V_{dd}$ et $+V_{dd}$.
Pour quelle valeur de v_{d1} la tension v_2 change-t-elle d'état ?
- On note V^+ la tension entre l'entrée non inverseuse et la masse.
Exprimer V^+ en fonction de R_1 , R_2 , v_1 et v_2 .
En déduire l'expression de v_{d1} en fonction de R_1 , R_2 , v_1 , v_2 et E_0 .
- On note V_{1H} la valeur de v_1 pour laquelle v_2 bascule de $-V_{dd}$ à $+V_{dd}$.
On note V_{1B} la valeur de v_1 pour laquelle v_2 bascule de $+V_{dd}$ à $-V_{dd}$.
À partir de l'expression de v_{d1} , calculer les valeurs de V_{1H} et V_{1B} .
- Tracer la caractéristique de transfert du comparateur (correspondance entre les tensions v_1 et v_2) sur le document réponse 1, page 11, lorsque la tension v_1 est comprise entre -15 V et $+15 \text{ V}$. Indiquer les sens de basculement de la tension v_2 lorsque v_1 franchit chacun des seuils V_{1B} ou V_{1H} .

2) Étude du montage intégrateur (figure 2) :

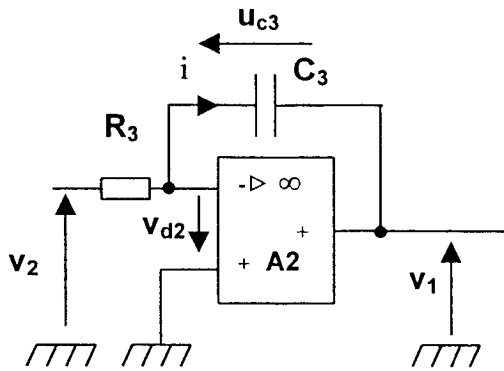


Figure 2

L'amplificateur opérationnel A2 fonctionne en régime linéaire.

a) Quelle est la valeur de la tension v_{d2} ?

b) Exprimer le courant i en fonction de v_2 et R_3 .

Exprimer le courant i en fonction de C_3 et $\frac{du_{c_3}}{dt}$ puis en fonction de C_3 et $\frac{dv_1}{dt}$.

$\frac{du_{c_3}}{dt}$ est la dérivée de u_{c_3} par rapport au temps.

À partir des expressions précédentes, montrer que l'on peut écrire :

$$\frac{dv_1}{dt} = - \frac{v_2}{R_3 C_3}$$

c) On suppose que $v_2 = -V_{dd}$.

Dans quel sens évolue la tension v_1 en fonction de t ?

d) On suppose que $v_2 = +V_{dd}$.

Dans quel sens évolue la tension v_1 en fonction de t ?

3) Étude de l'association des deux montages précédents (figure 3) :

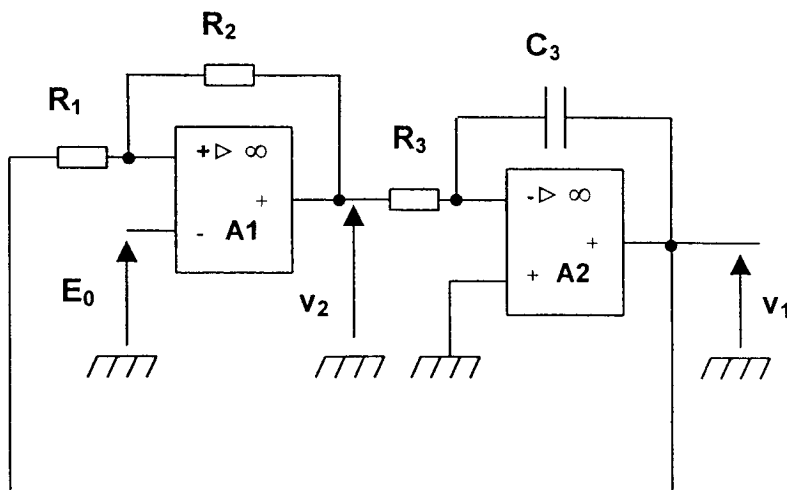


Figure 3

- a) La tension $v_1(t)$ est représentée sur le document réponse 2 (courbe 1) page 12. Représenter sur le document réponse 2 (courbe 2) la tension $v_2(t)$ en concordance de temps avec $v_1(t)$, lorsque, comme précédemment, $E_0 = 3,0$ V.
- b) On veut que la fréquence de $v_1(t)$ soit égale à $f = 20$ kHz. Quelle doit être la durée mise par v_1 pour varier de 0 V à 7,5 V ? Quelle doit être la valeur de la capacité C_3 du condensateur sachant que l'on donne $R_3 = 4,0$ k Ω ?

II. ÉTUDE DU COMPAREUR À UN SEUIL (FIGURE 4) :

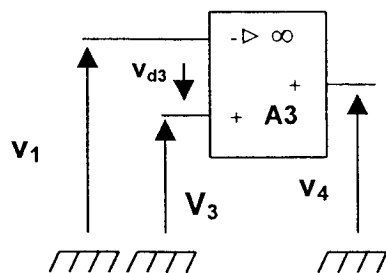


Figure 4

- v_1 est la tension triangulaire représentée sur le document réponse 2 (courbe 1) page 12.
 V_3 est une tension continue.

- 1) Donner la valeur de la tension v_4 dans le cas où $v_1 > V_3$.
- 2) Donner la valeur de la tension v_4 dans le cas où $v_1 < V_3$.
- 3) Représenter sur le document réponse 2 (courbe 3) page 12, la tension $v_4(t)$ en concordance de temps avec $v_1(t)$ dans le cas où $V_3 = 2,5 \text{ V}$.
- 4) On note α le rapport cyclique : $\alpha = \frac{T_H}{T}$
 T_H est la durée de l'état haut de la tension v_4 au cours d'une période T .
 Préciser les valeurs de α pour les trois valeurs de V_3 suivantes : 0 V ; $2,5 \text{ V}$; $7,5 \text{ V}$.
 Comment évolue α quand V_3 augmente entre 0 et $7,5 \text{ V}$?

III. ETUDE DE L'INTERRUPTEUR ELECTRONIQUE AVEC CHARGE RESISTIVE (FIGURE 5) :

On considère le montage suivant. Uniquement pour cette partie III, la charge est représentée par une résistance R .

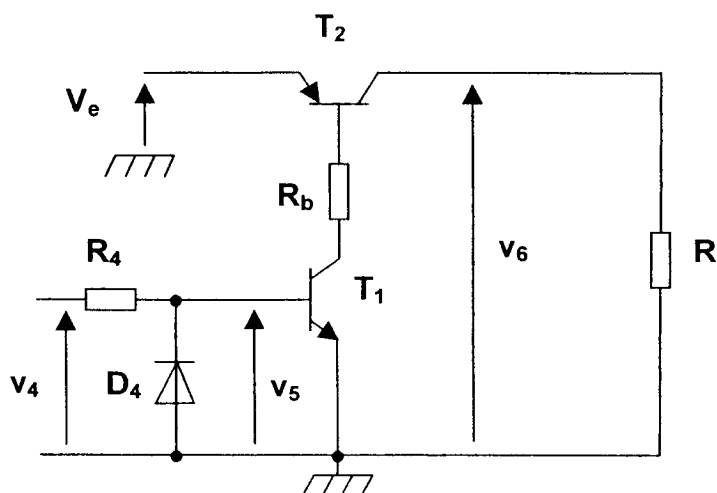


Figure 5

On considère, pour cette partie, que l'allure de la tension $v_4(t)$ est celle donnée par la courbe 4 représentée sur le document réponse 3 page 13.

V_e est une tension continue positive de valeur 45 V .

Les deux transistors fonctionnent en commutation : ils sont soit dans l'état bloqué, soit dans l'état saturé. Dans ce dernier cas, la tension entre collecteur et émetteur peut être considérée comme nulle.

- 1) La diode D_4 protège le transistor T_1 . Elle a une tension de seuil de $0,7 \text{ V}$. Quelle est la valeur de v_5 lorsque $v_4 = -15 \text{ V}$?
- 2) Compléter le tableau 1 du document réponse 3 page 13, en précisant, pour les deux valeurs de v_4 , l'état (passant ou bloqué) de la diode, l'état (saturé ou bloqué) des transistors, ainsi que la valeur de la tension v_6 .
- 3) Représenter sur le document réponse 3 (courbe 5) page 13, la tension $v_6(t)$ en concordance de temps avec $v_4(t)$.

- 4) Déterminer la valeur du rapport cyclique α des tensions v_4 et v_6 .
- 5) Établir l'expression littérale de la valeur moyenne de v_6 , notée $\langle v_6 \rangle$, en fonction de α et de V_e puis calculer sa valeur numérique.

IV. ÉTUDE DU CIRCUIT DE SORTIE DE L'ALIMENTATION À DÉCOUPAGE (FIGURE 6) :

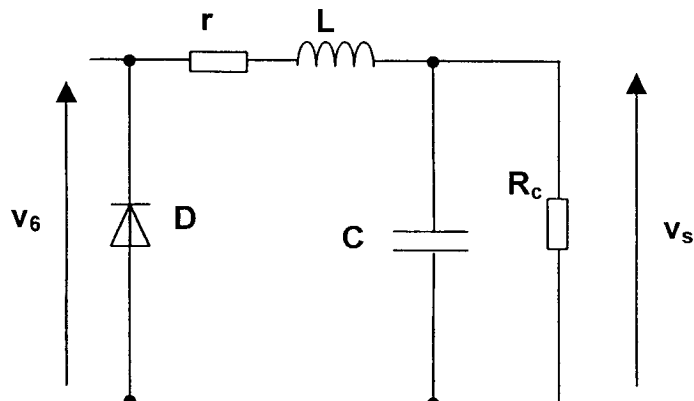


Figure 6

Le circuit de sortie est constitué de la diode D et d'un filtre passe-bas.

Le filtre passe bas comporte une bobine d'inductance L et de résistance r, et un condensateur de capacité C.

La charge de l'alimentation à découpage est constituée par la résistance R_c .

- 1) Étude du filtre, à vide, en régime sinusoïdal (figure 7) :

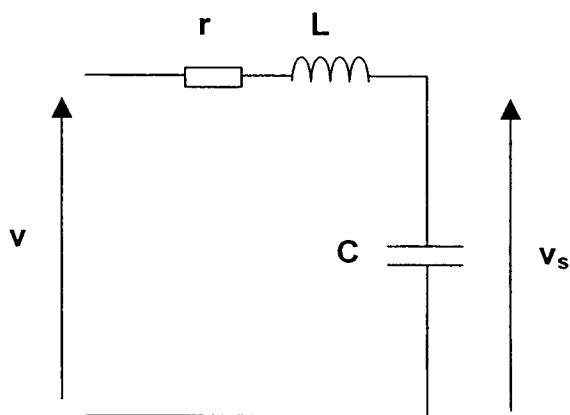


Figure 7

Pour cette question uniquement, on suppose que la tension d'entrée du filtre qui sera notée v , est une tension alternative sinusoïdale de fréquence f .

Le module de la fonction de transfert s'écrit : $T_v = \frac{V_s}{V}$

V_s et V sont les valeurs efficaces de v_s et v .

On a relevé la courbe de gain $G_{dB} = 20 \log T_v$ en fonction de la fréquence f . Cette courbe est représentée page 10.

- a) Déterminer graphiquement la fréquence de coupure à - 3 dB du filtre.
 - b) Déterminer les valeurs du gain dans le cas où $f < 10$ Hz et dans le cas où $f = 20$ kHz. En déduire les valeurs de T_v correspondantes.
 - c) Montrer en analysant la figure 7 que si v est une tension continue, alors $v_s = v$.
 - d) Calculer l'amplitude de la tension de sortie si la tension d'entrée v a pour amplitude 24,8 V et pour fréquence $f = 20$ kHz.
- 2) La tension v_6 appliquée à l'entrée du filtre dans l'alimentation à découpage peut être considérée comme la somme d'une tension continue et de tensions sinusoïdales de fréquences multiples de $f = 20$ kHz. Exprimée en volts, elle peut s'écrire :
- $$v_6 = 15 + 24,8 \sin(2 \pi f t + \varphi_1) + 12,4 \sin(4 \pi f t + \varphi_2) + \dots$$
- Déduire des résultats précédents la nature et la valeur de v_s .

V. ÉTUDE DE LA CHAÎNE DE RETOUR (FIGURE 8) :

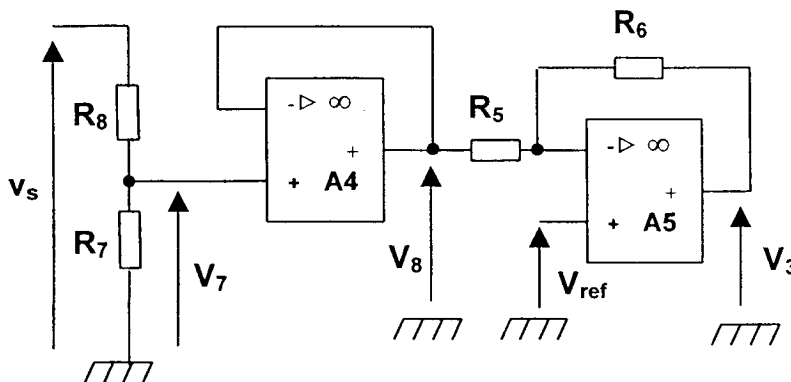


Figure 8

$$R_7 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_8 = 50 \text{ k}\Omega$$

$$R_5 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_6 = 20 \text{ k}\Omega$$

V_{ref} est une tension continue de valeur 2,5 V.

Les amplificateurs opérationnels A4 et A5 fonctionnent en régime linéaire.

- 1) Donner l'expression littérale de la tension V_7 en fonction de R_7 , R_8 et v_s .
- 2) Comment appelle-t-on le montage constitué autour de l'amplificateur A4 ? Quel est son rôle ? Ecrire la relation existant entre V_8 et V_7 .
- 3) Montrer, en appliquant par exemple le théorème de superposition, que V_3 s'exprime linéairement en fonction de V_8 et V_{ref} selon l'expression :

$$V_3 = \frac{R_6 + R_5}{R_5} V_{ref} - \frac{R_6}{R_5} V_8$$
- 4) Calculer V_7 et V_3 dans le cas où $v_s = 15$ V.

VI. SYNTHÈSE DU FONCTIONNEMENT :

On désire obtenir une tension de sortie $v_s \approx 15 \text{ V}$. Pour cela, la tension de référence est réglée à la valeur $V_{\text{ref}} = 2,5 \text{ V}$. D'autre part, lorsque l'alimentation à découpage fonctionne avec une charge R_c infinie, on note les valeurs suivantes :

- $V_3 = 2,5 \text{ V}$.
- $\alpha = 0,33$ avec α : rapport cyclique de $v_4(t)$ et de $v_6(t)$.

On charge alors l'alimentation à découpage et l'on constate que la tension v_s diminue légèrement (mais beaucoup moins qu'en l'absence de chaîne de retour).

Indiquer comment varient V_7 , V_8 , V_3 et α . Pour déterminer ces variations, on se référera aux réponses apportées dans la partie V aux questions 1) pour V_7 , 2) pour V_8 , 3) pour V_3 et dans la partie II à la question 4) pour α .

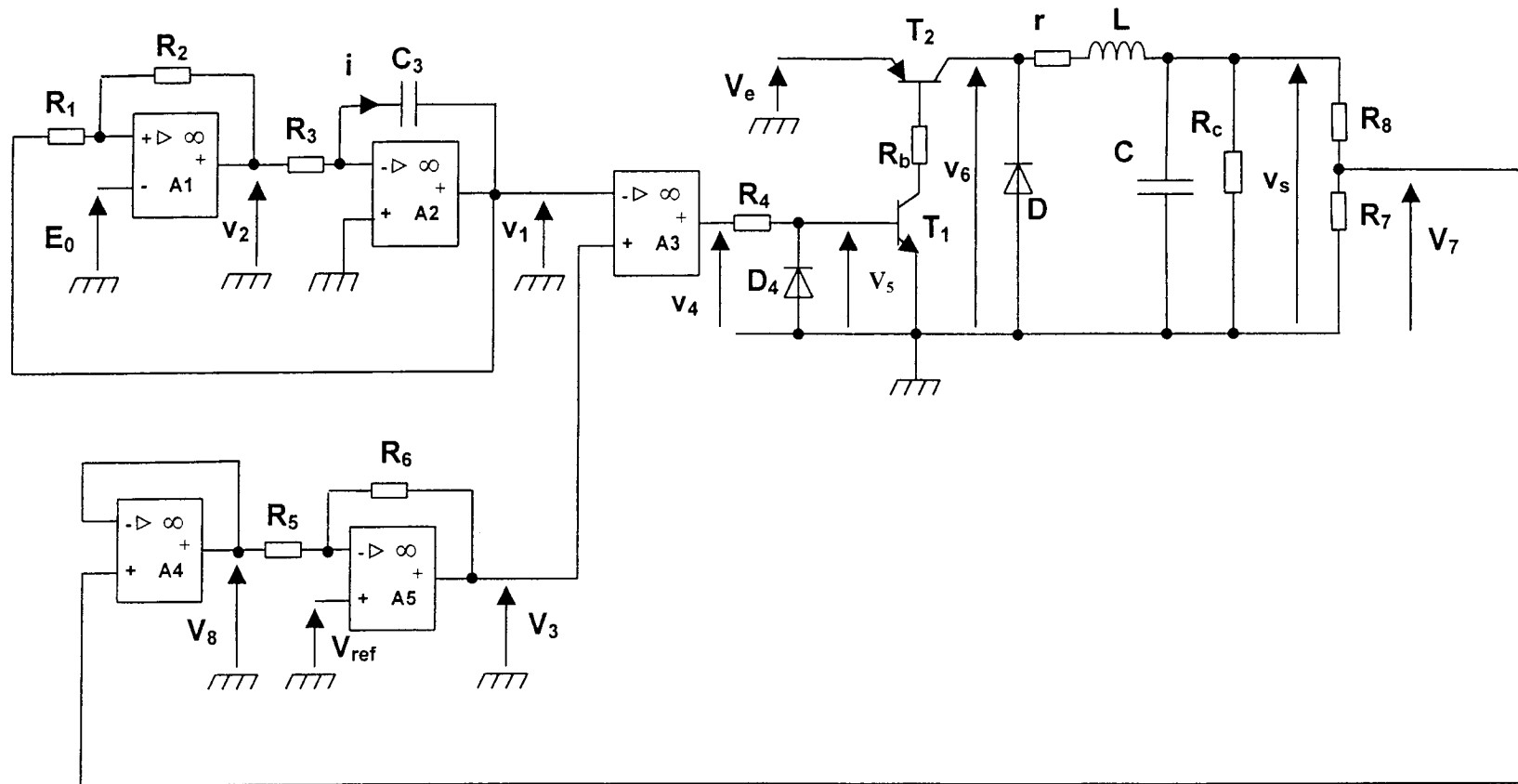
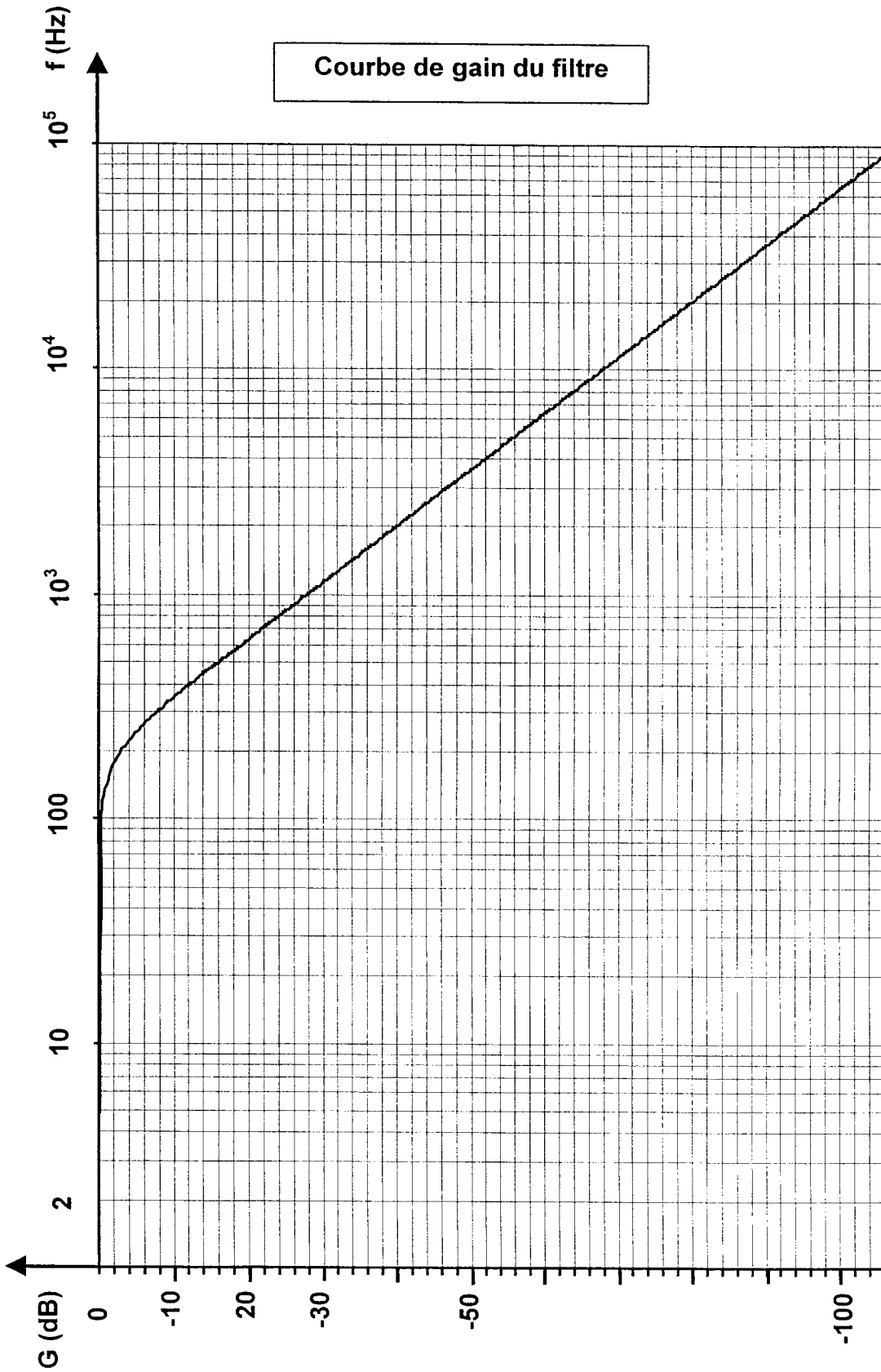
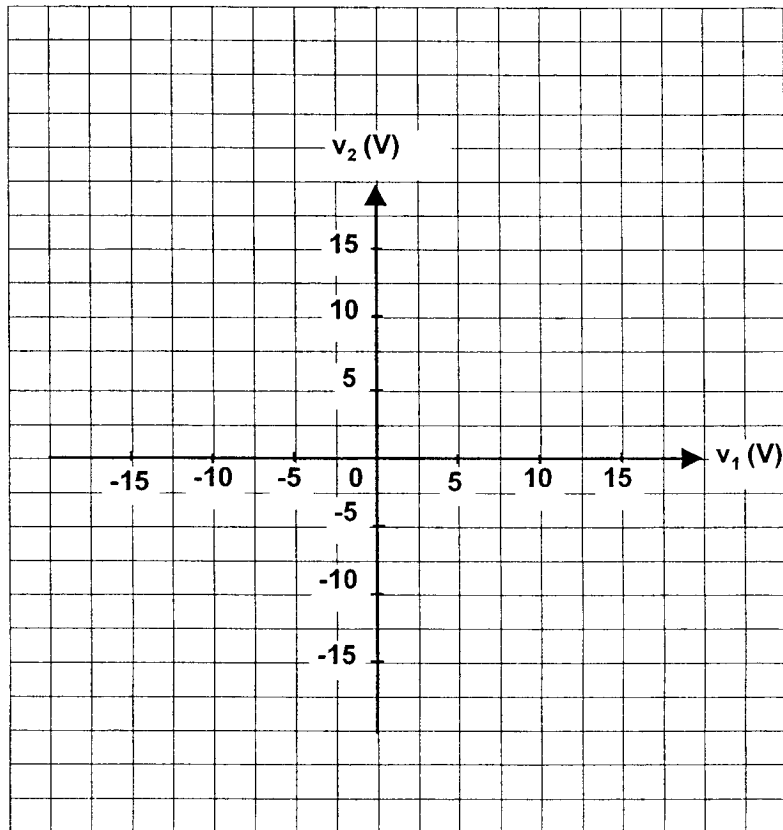


Figure 9

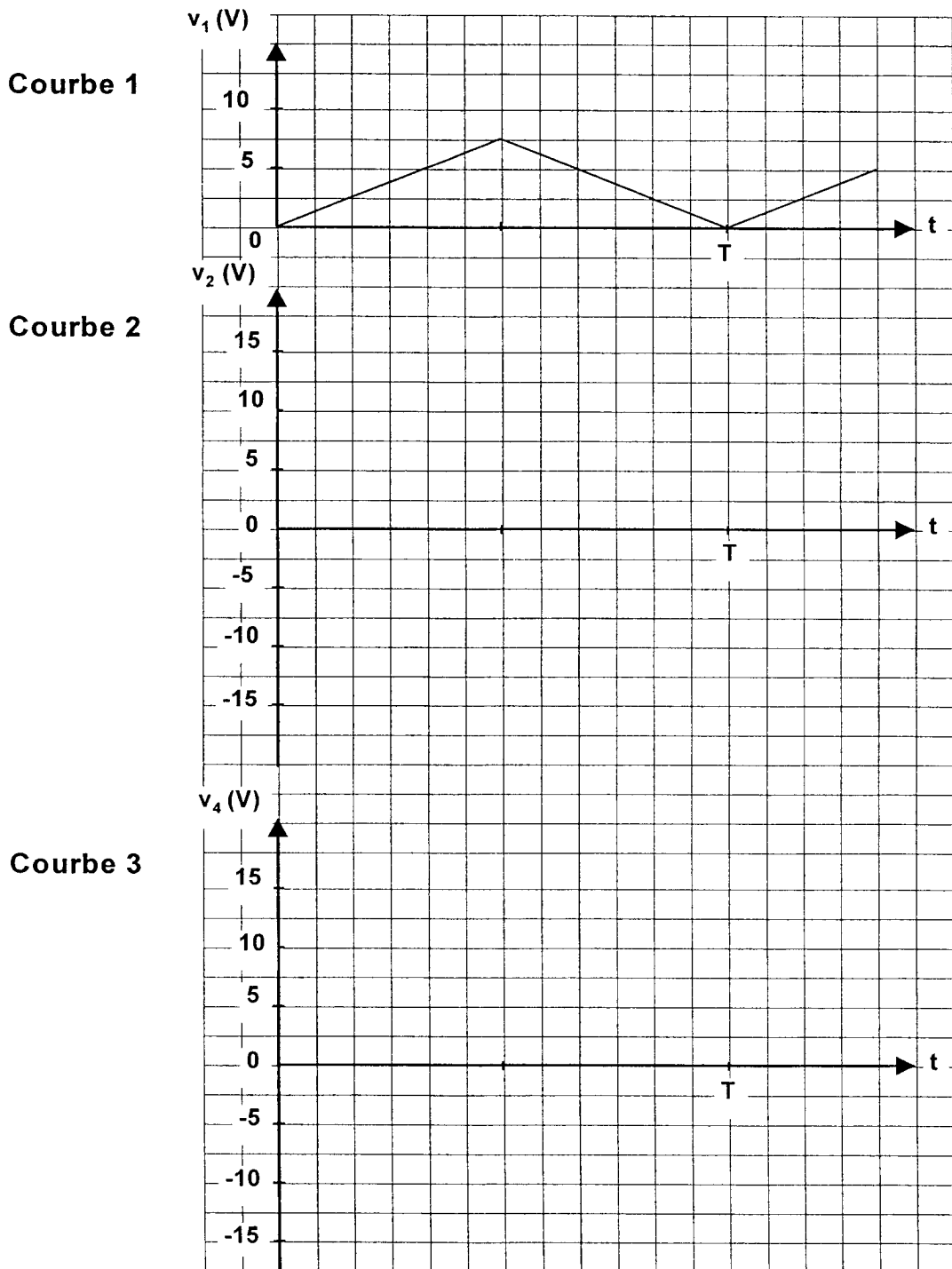
Courbe de gain du filtre



DOCUMENT REPONSE 1

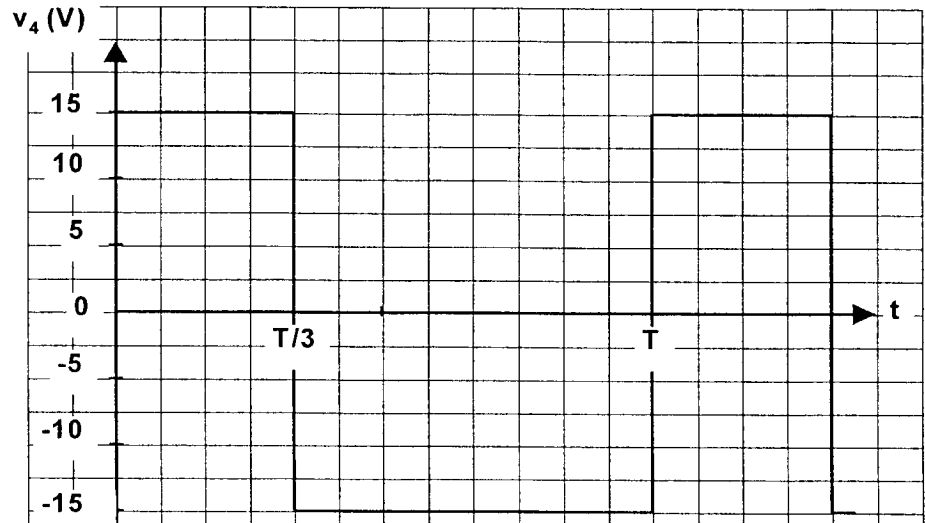


DOCUMENT REponse 2



DOCUMENT RÉPONSE 3

Courbe 4



Courbe 5

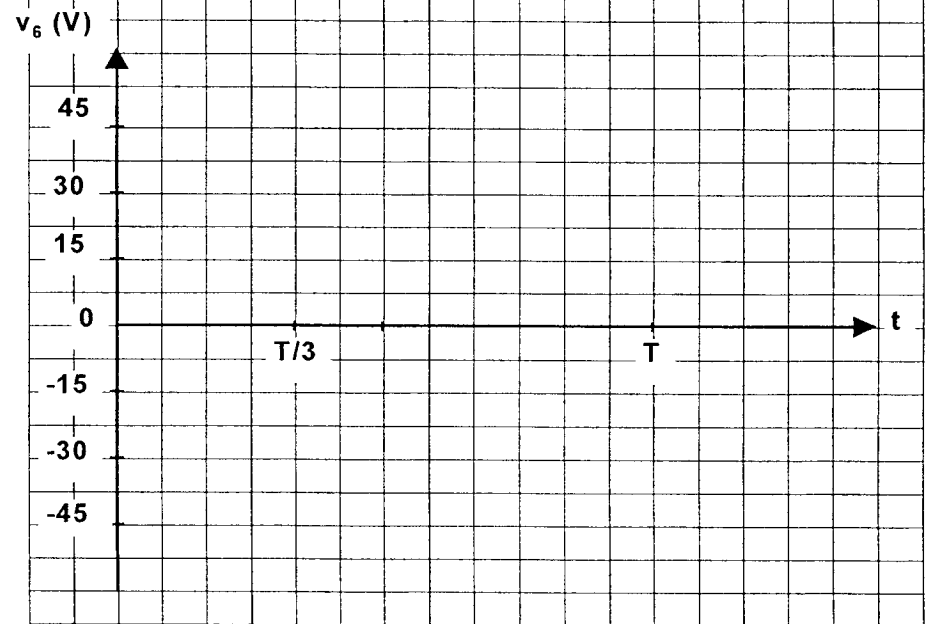


Tableau 1

valeur de v_4	état de D_4	état de T_1	état de T_2	valeur de v_6
+15 V				
-15 V				

Alimentation à découpage

1 point par réponse juste

I) Etude du générateur de signaux triangulaires

1) Etude du comparateur à deux seuils

a) La tension v_2 change d'état quand $v_{d1} = 0$

b) En appliquant le théorème de superposition, on obtient :

$$v^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_2 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_1$$
$$v_{d1} = v^+ - E_0 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_2 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_1 - E_0$$

c) Les seuils sont obtenus pour $v_{d1} = 0$

$$\Rightarrow \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_1 = E_0 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_2$$
$$v_1 = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \left(E_0 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_2 \right) \text{ que l'on peut écrire aussi } v_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E_0 - \frac{R_1}{R_2} v_2$$

Les deux seuils de basculement sont obtenus pour les deux valeurs de v_2 , c'est à dire $\pm V_{dd}$

Il vient :

$$V_{1H} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot E_0 + \frac{R_1}{R_2} V_{dd}$$
$$V_{1B} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot E_0 - \frac{R_1}{R_2} V_{dd}$$

A.N. : $V_{1H} = 7,5 \text{ V}$ et $V_{1B} = 0 \text{ V}$

d) Tracé de la caractéristique de transfert :

Si $v_{d1} < 0 \rightarrow v_2 = -V_{dd}$

Si $v_{d1} > 0 \rightarrow v_2 = +V_{dd}$

Quand $v_1 = V_{1H}$ par valeurs croissantes, v_2 bascule de $-V_{dd}$ à $+V_{dd}$

Quand $v_1 = V_{1B}$ par valeurs décroissantes, v_2 bascule de $+V_{dd}$ à $-V_{dd}$

Voir document réponse n°1

2) Etude du montage intégrateur

a) L'A.D.I. fonctionnant en régime linéaire $v_{d2} = 0$

$$b) v_2 - R_3 i + v_{d2} = 0 \text{ or } v_{d2} = 0 \text{ alors } i = \frac{v_2}{R_3}$$

$$i = C_3 \frac{dv_1}{dt}$$

D'après la loi des mailles : $v_1 + u_{C_3} + v_{d2} = 0 \Rightarrow v_1 = -u_{C_3} \Rightarrow i = -C_3 \frac{dv_1}{dt}$

En donnant l'égalité des courants, on obtient :

$$\frac{v_2}{R_3} = -C_3 \cdot \frac{dv_1}{dt}$$

$$\text{d'où : } \frac{dv_1}{dt} = -\frac{v_2}{R_3 C_3}$$

c) $v_2 = -V_{dd} \Rightarrow \frac{dv_1}{dt} = \frac{V_{dd}}{R_3 C_3} > 0$ alors $v_1(t)$ est croissante

d) $v_2 = +V_{dd} \Rightarrow \frac{dv_1}{dt} = -\frac{V_{dd}}{R_3 C_3} < 0$ alors $v_1(t)$ est décroissante

3) Etude de l'association

a) voir document réponse n°2

b) $f = 20 \text{ kHz} \Rightarrow T = \frac{1}{f} = 50 \mu\text{s}$

La durée mise par v_1 pour varier de 0 à 7,5 V correspond à une $\frac{1}{2}$ période soit $\frac{T}{2} = 25 \mu\text{s}$

$$v_1(t) = \frac{V_{dd}}{R_3 C_3} \cdot t \quad \text{et quand } t = \frac{T}{2}, v_1 = 7,5 \text{ V}$$

Il vient :

$$7,5 = \frac{V_{dd} \cdot T}{R_3 C_3 \cdot 2}$$

$$\Rightarrow C_3 = \frac{V_{dd} \cdot T}{2R_3 \cdot 7,5}$$

$$\Rightarrow C_3 = 12,5 \text{ nF}$$

II) Etude du comparateur à un seuil

$$V_{d3} = V_3 - v_1$$

1) Si $v_1 > V_3$ alors $v_{d3} < 0 \Rightarrow v_4 = -V_{dd}$

2) Si $v_1 < V_3$ alors $v_{d3} > 0 \Rightarrow v_4 = +V_{dd}$

3) Voir document réponse 2

$$4) \alpha = \frac{T_H}{T}$$

$$V_3 = 0 \text{ V} \Rightarrow \alpha = 0$$

$$V_3 = 2,5 \text{ V} \Rightarrow \alpha = 0,33$$

$$V_3 = 7,5 \text{ V} \Rightarrow \alpha = 1$$

Quand V_3 augmente de 0 à 7,5 V, α augmente linéairement de 0 à 1 .

III) Etude de l'interrupteur électronique

1) Lorsque $v_4 = - 15 \text{ V}$, D_4 est passante, la tension v_{AK} à ses bornes étant de $0,7 \text{ V} \Rightarrow v_5 = - v_{AK}$
 $\Rightarrow v_5 = - 0,7 \text{ V}$

2) Tableau 1 voir document réponse 3

3) $v_6(t)$ voir document réponse 3

4) $\alpha = \frac{1}{3}$

5) $\langle v_6 \rangle = \alpha v_E$

$$\langle v_6 \rangle = \frac{1}{3} \times 45 = 15 \text{ V}$$

IV) Etude du circuit de sortie de l'alimentation à découpage

1) Etude du filtre en régime sinusoïdal

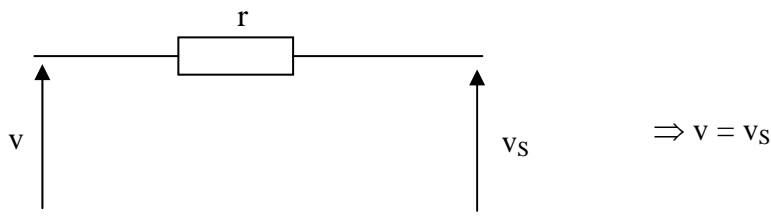
a) $G_{\max} = 0 \text{ dB}$

La fréquence de coupure à $- 3 \text{ dB}$ est donc graphiquement $f = 200 \text{ Hz}$

b) $f < 10 \text{ Hz} \Rightarrow G = 0 \text{ dB}$ soit $T_V = 1$

$$f = 20 \text{ kHz} \Rightarrow G = - 80 \text{ dB} \text{ soit } T_V = 10^{-\frac{80}{20}} = 10^{-4} \quad (20 \log T_V = G \Rightarrow \log T_V = \frac{G}{20} \Rightarrow T_V = 10^{\frac{G}{20}})$$

c) Si v est une tension continue ($f = 0$) alors le condensateur est équivalent à un circuit ouvert et la bobine à un fil. Le schéma est alors équivalent à :



d) Si $f = 20 \text{ kHz} \Rightarrow T_V = 10^{-4}$

$$T_V = \frac{v_s}{v} = 10^{-4}$$

$$v_s = 10^{-4} \times v$$

$$v_s = 2,5 \text{ mV}$$

2) Pour la composante continue, on a vu que $v_s = v$

Pour $f = 20 \text{ kHz}$ $v_s \ll v$

Les composantes sinusoïdales ont une amplitude très faible, négligeable devant la composante continue.

$\Rightarrow v_s$ est une tension continue de valeur 15 V

V) Etude de la chaîne de retour

1) Le courant i^+ est nul (A.D.I. idéal), on a un pont diviseur :

$$V_7 = \frac{R_7}{R_7 + R_8} v_S$$

2) Le montage constitué autour de A_4 est un montage suiveur dont le rôle est l'adaptation d'impédance.

Il ne charge pas le pont diviseur, la tension V_8 est donc indépendante du montage constitué autour de A_5 .

$$\Rightarrow V_7 = V_8$$

3) $V^+ = V_{\text{ref}}$

$$V^+ = \frac{R_5}{R_5 + R_6} V_3 + \frac{R_6}{R_5 + R_6} V_8 \text{ en utilisant le théorème de superposition}$$

En régime linéaire, $V^+ = V^-$

$$V_{\text{ref}} = \frac{R_5}{R_5 + R_6} V_3 + \frac{R_6}{R_5 + R_6} V_8$$

$$\frac{R_5}{R_5 + R_6} V_3 = V_{\text{ref}} - \frac{R_6}{R_5 + R_6} V_8$$

$$\Rightarrow V_3 = \frac{R_5 + R_6}{R_5} V_{\text{ref}} - \frac{R_6}{R_5} V_8$$

4) A.N. $v_S = 15 \text{ V}$; $V_7 = V_8 = 2,5 \text{ V}$; $V_3 = 2,5 \text{ V}$

VI) Synthèse du fonctionnement

V_S diminue légèrement

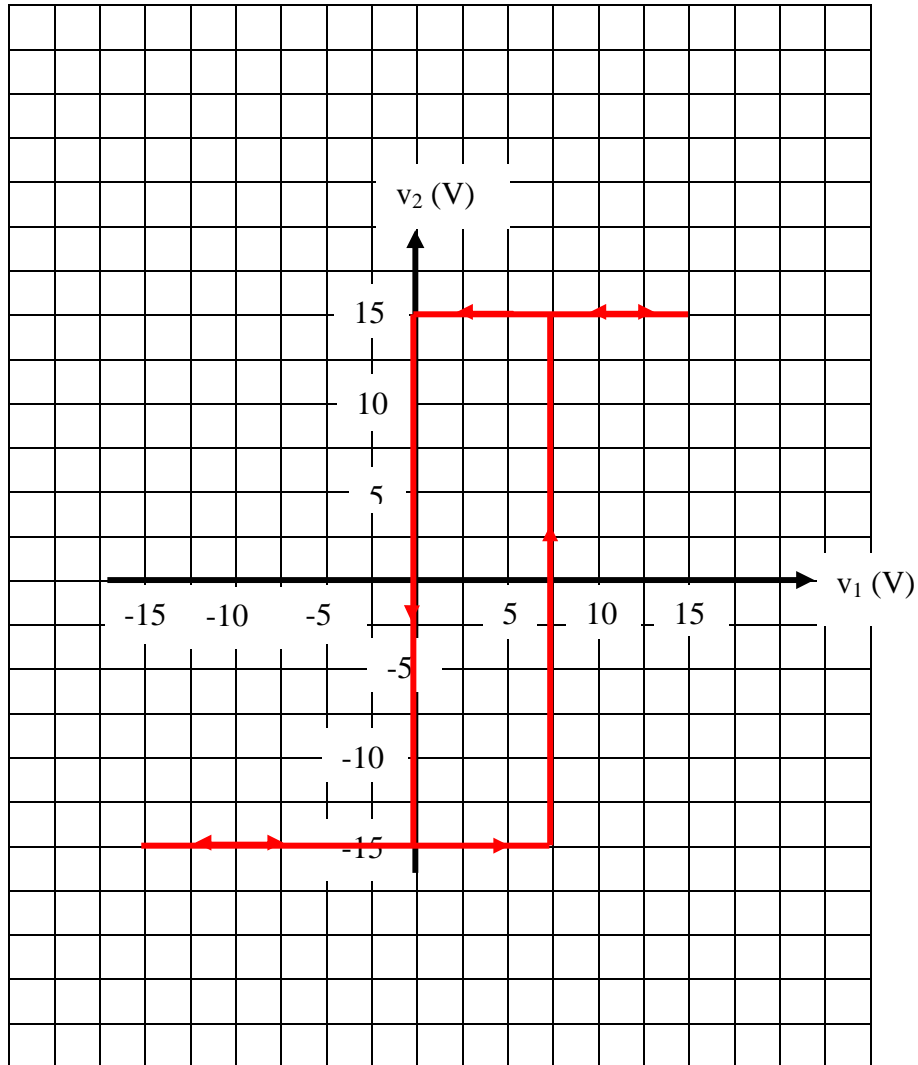
$$\Rightarrow V_7 \text{ diminue } (V_7 = \frac{R_7}{R_7 + R_8} v_S)$$

$$\Rightarrow V_8 \text{ diminue } (V_7 = V_8)$$

$$\Rightarrow V_3 \text{ augmente } (V_3 = \frac{R_5 + R_6}{R_5} V_{\text{ref}} - \frac{R_6}{R_5} V_8)$$

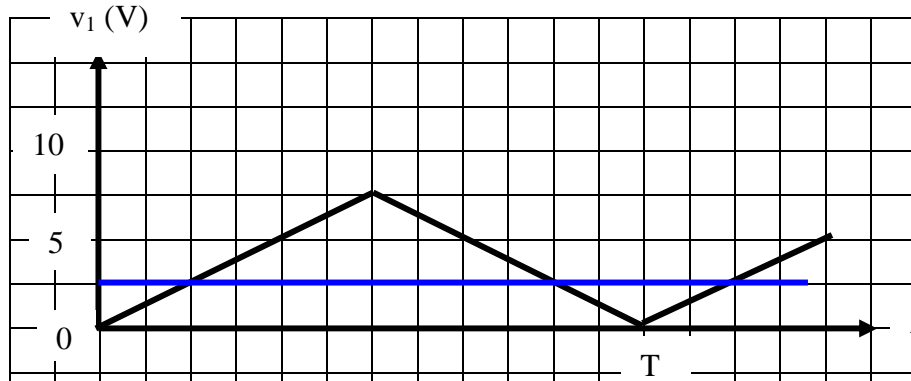
$$\Rightarrow \alpha \text{ augmente}$$

DOCUMENT REPONSE 1

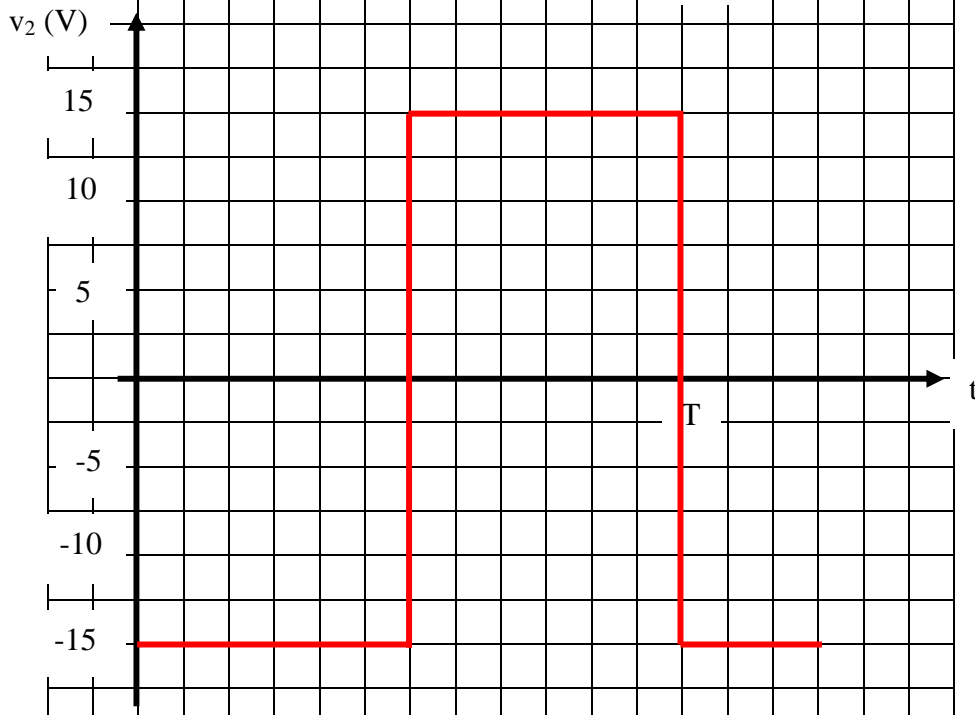


DOCUMENT REPONSE 2

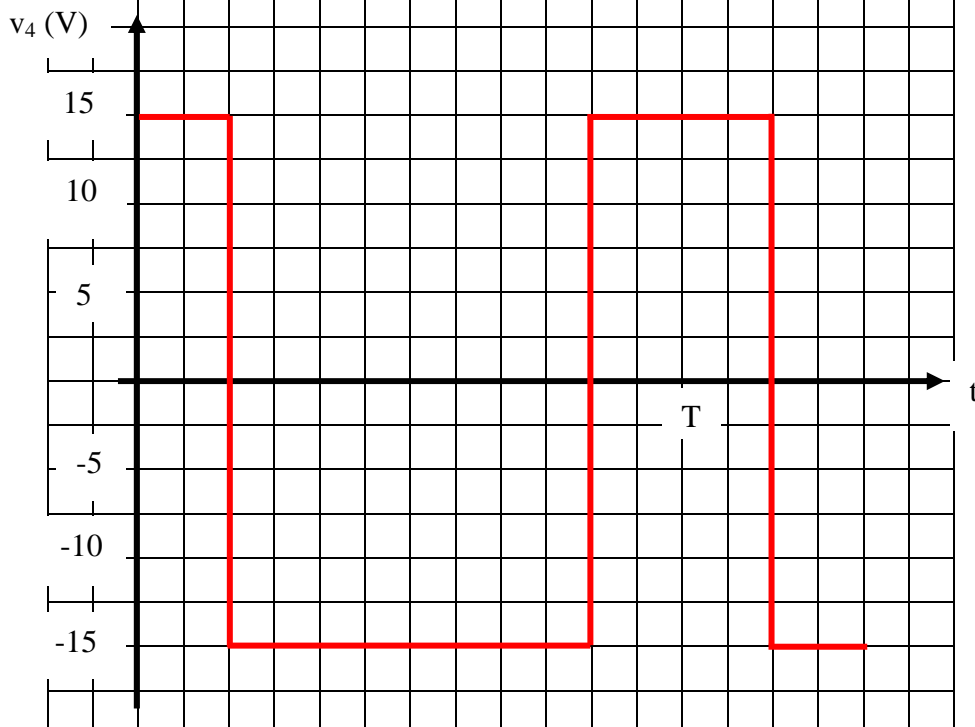
Courbe 1



Courbe 2

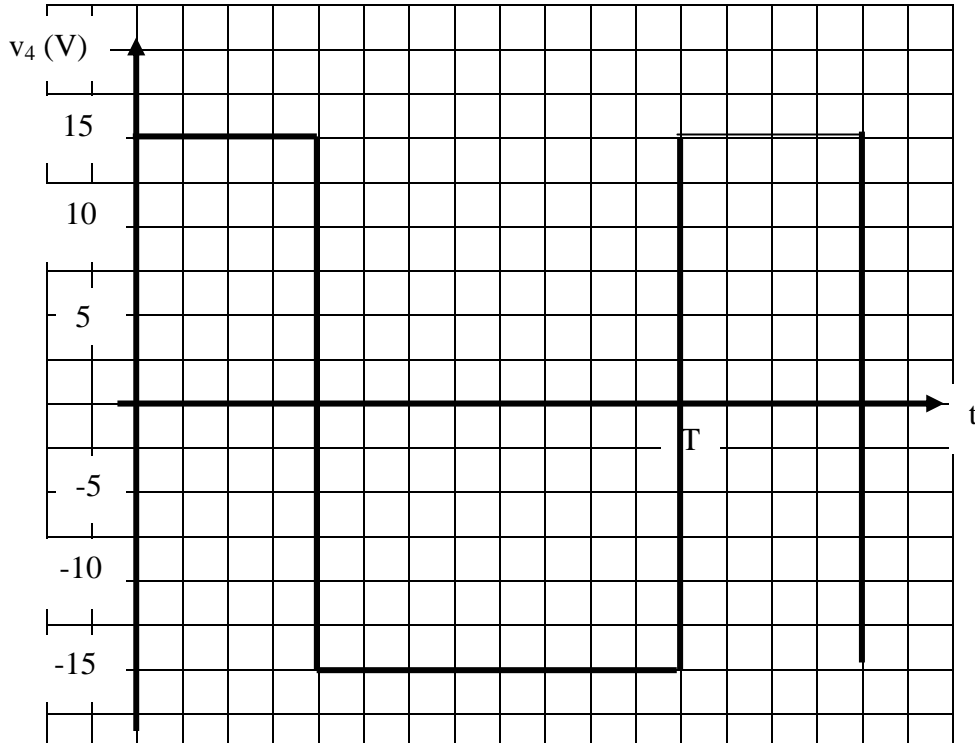


Courbe 3



DOCUMENT REPONSE 3

Courbe 4



Courbe 5

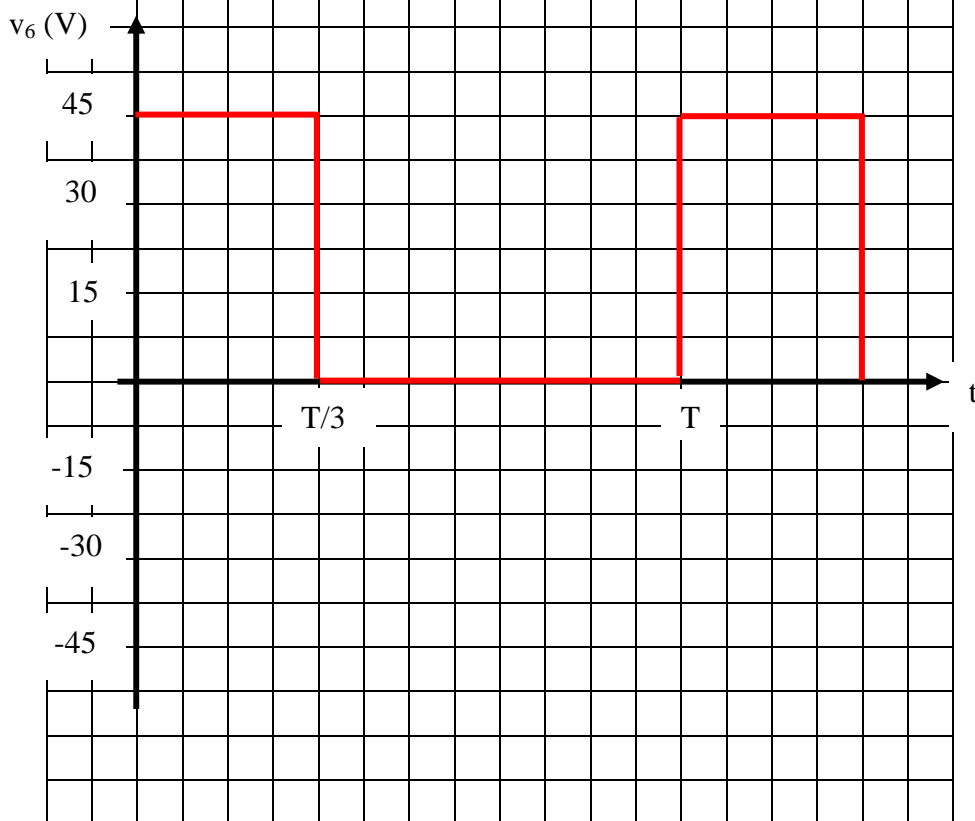


Tableau 1

Valeur de v_4	Etat de D_4	Etat de T_1	Etat de T_2	Valeur de v_6
+ 15 V	Bloquée	Saturé	Saturé	45 V
- 15 V	passante	bloqué	bloqué	0 V