

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR ÉLECTRONIQUE

SESSION 2002

*Calculatrice à fonctionnement autonome autorisée
(circulaire 99-186 du 16.11.99)*

Epreuve : **PHYSIQUE APPLIQUÉE**

Durée : 4 heures

Coefficient : 5

Le candidat répondra aux questions sur le texte même de l'épreuve, qu'il inclura dans une copie double à remettre aux surveillants en quittant la salle d'examen.

Si la place allouée pour telle ou telle réponse semble insuffisante, il est possible, en le précisant clairement, d'utiliser le verso de la feuille précédente.

L'épreuve comporte trois parties très largement indépendantes

1. Analyse temporelle et fréquentielle d'un signal vidéo
2. Elaboration des signaux de synchro-ligne et de synchro-trame
3. Amplification et filtrage du signal vidéo

Toute valeur numérique donnée doit être suivie de l'unité correspondante.

Certaines expressions ou valeurs numériques données permettent aux candidats soit d'effectuer des "auto-contrôles", soit de poursuivre la résolution d'une partie sans avoir résolu les questions précédentes.

Le système de « quadrivision » reçoit 4 images vidéo provenant de 4 caméras C.C.D. noir et blanc.

A partir du signal vidéo composite présent en entrée, des fonctions analogiques sont mises en œuvre ; deux d'entre elles sont étudiées dans le problème.

Rappels préliminaires.

Le signal vidéo composite est un signal qui porte les informations de luminance et des informations de synchronisation lignes et trames.

- La luminance est traduite par un signal analogique : le « noir » est le niveau de référence. L'amplitude maximale séparant le « blanc » du « noir » représente 70% du signal complet.
- Les informations de début de ligne et de début de trame sont des impulsions placées négativement par rapport au niveau de noir. Leur niveau représente 30% du niveau de blanc pur : elles sont disposées respectivement toutes les 64 μs et toutes les 20 ms et sont destinées à la synchronisation des bases de temps lignes et trames.

La figure 1 présentée ci-dessous en donne une illustration un peu simplifiée dans le cas particulier où la caméra reçoit de la lumière d'un objet dont « la couleur » évolue régulièrement du noir au blanc quand on le parcourt de la gauche vers la droite.

Seules 4 lignes sont représentées :

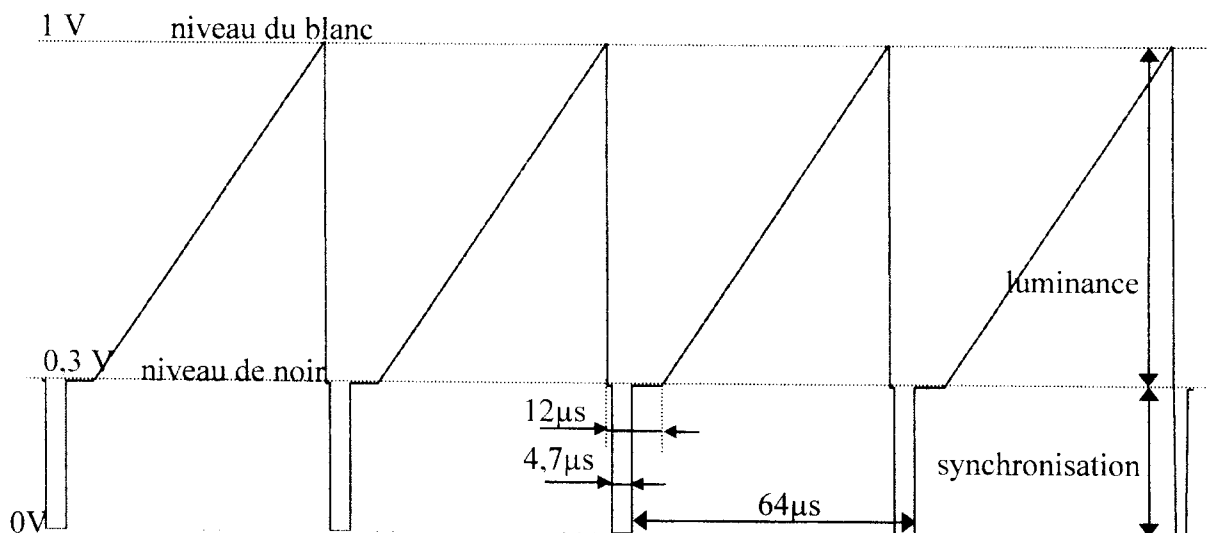


figure 1

On met ainsi en évidence :

- la durée totale d'une ligne (64 μs)
- la durée utile d'une ligne (52 μs) pendant laquelle le signal analogique image de la luminance évolue de 0,3 à 1 V
- la durée de la suppression de ligne (12 μs) pendant laquelle est présent le signal de synchronisation de ligne d'une durée de 4,7 μs .

A la fin de chaque trame (paire et impaire), le signal vidéo comprend un train d' impulsions de largeur et de rapport cyclique différents çomme indiqué sur la figure 2 :

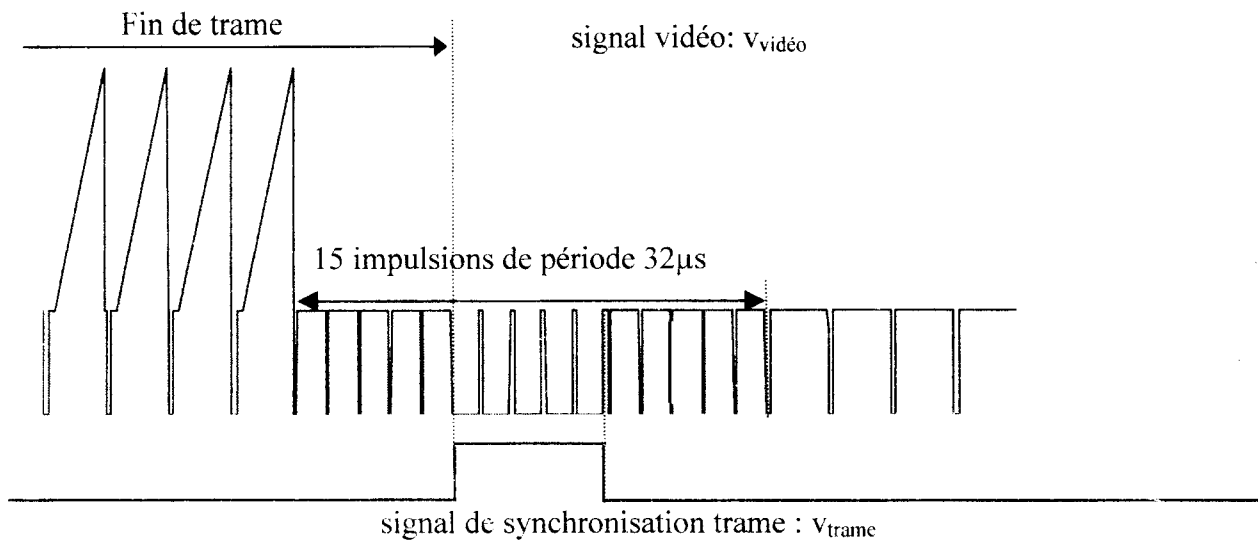


figure 2

A la fin de la trame, le rapport cyclique initialement proche de 92% passe à une valeur voisine de 15%. Ce changement permet d'élaborer le signal de synchronisation trame qui est également représenté figure 2.

1. ANALYSE TEMPORELLE ET FREQUENTIELLE D'UN SIGNAL VIDEO.

Le but de cette étude est de valider et éventuellement de compléter les chronogrammes issus de résultats expérimentaux.

1.1 Analyse d'une partie du signal vidéo dans le cas d'un objet noir.

Dans le cas d'un objet visualisé de « couleur » noire, on s'intéresse à la partie du signal vidéo composite, noté $v(t)$ dont l'allure est la suivante :

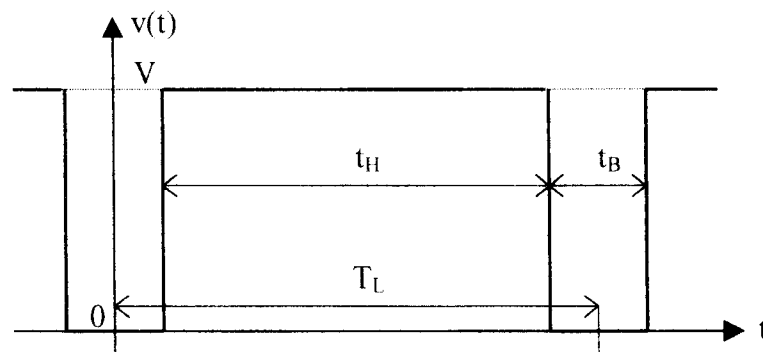


figure 3

Le signal $v(t)$ est périodique, de période T_L .

On donne : $T_L = 64 \mu s$, $t_B = 4,7 \mu s$ et $V = 0,3 V$.

1.1.1 Justifier la décomposition en séries de Fourier suivante :

$$v(t) = V_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} A_n \cos(n \cdot \omega_L \cdot t)$$

Réponse :

Que représente V_0 ? Donner son expression littérale et la valeur numérique correspondante.

Quelle est la valeur numérique de f_L définie par $\omega_L = 2\pi f_L$?

1.1.2 On donne l'expression littérale des coefficients A_n précédemment définis.

$$A_n = 2V \frac{t_H}{T_L} \frac{\sin\left(n\pi \frac{t_H}{T_L}\right)}{n\pi \frac{t_H}{T_L}}$$

Calculer les valeurs numériques de A_n pour $n = 1, 2, 6, 7$ et 10 et compléter le tableau donné ci-dessous :

n	1	2	6	7	10
A_n					

1.1.3 En déduire la fréquence et la valeur efficace des raies correspondantes constituant une partie du spectre en amplitude de $v(t)$.

Compléter le tableau suivant :

n	1	2	6	7	10
Fréquence (kHz)					
Valeur efficace (V)					

1.1.4 Un analyseur de spectre de type F.F.T. a permis de relever expérimentalement le spectre en amplitude du signal $v(t)$ précédemment défini.

Le chronogramme relevé est représenté figure 4 ci-dessous.

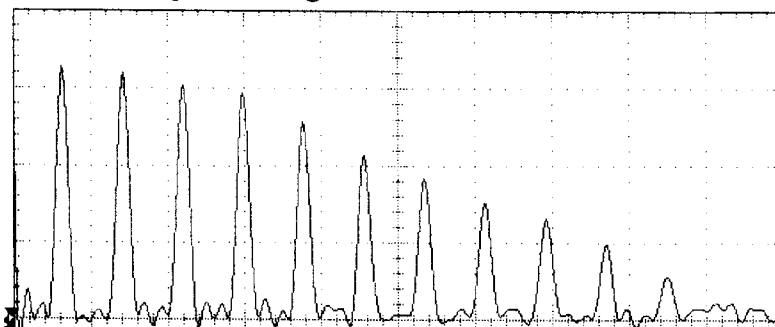


figure 4

On précise que l'échelle horizontale représente la fréquence et l'échelle verticale la valeur efficace en V. Ces axes sont gradués de façon linéaire.
Indiquer la sensibilité de l'axe horizontal et celle de l'axe vertical pour que ce chronogramme valide les calculs théoriques précédents avec une erreur relative maximale inférieure à 10%.

1.2. Analyse temporelle d'une partie du signal vidéo dans 2 cas particulier.

1.2.1. On a relevé, grâce à un oscilloscope, un oscillogramme, donné figure 5, correspondant à quelques lignes d'un signal vidéo.

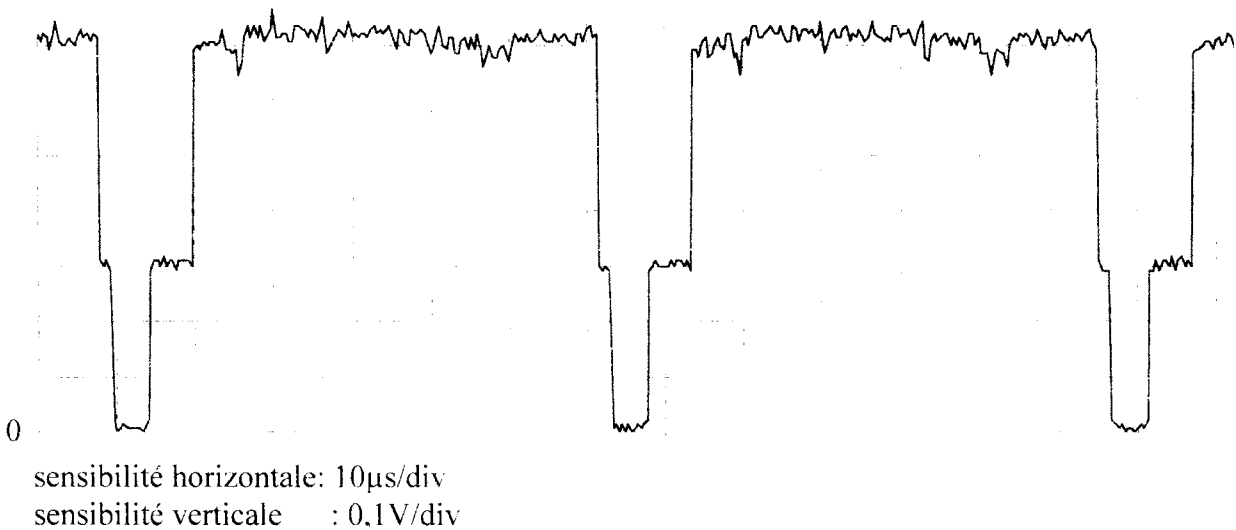


figure 5

En supposant que la luminance est la même pour toutes les lignes, que peut-on affirmer sur l'objet sélectionné par la caméra vidéo ? Justifier votre réponse.

1.2.2. Comment serait modifié le signal analogique correspondant à la luminance si l'objet était constitué de 5 bandes verticales alternativement blanches et noires ?

On représentera le chronogramme correspondant sur le même graphe donné figure 5.

1.2.3. Retrouverait-on, comme précédemment, dans le spectre d'amplitude des deux signaux vidéo des fréquences multiples de 15625 Hz ?

Justifier votre réponse.

2. ELABORATION DES SIGNAUX DE SYNCHRO-LIGNE ET DE SYNCHRO-TRAME.

Pour reconstituer correctement l'image de la scène filmée il est nécessaire d'extraire du signal vidéo composite les signaux de début de ligne et de début de trame.

2.1. Elaboration du signal synchro ligne

Un système utilisant un transistor en commutation permet de récupérer les « tops » de synchro-ligne. Le circuit de polarisation du transistor n'est pas représenté.

Le transistor est bloqué dès que $v_{\text{vidéo}}$ devient supérieure au niveau de noir soit 0.3V.

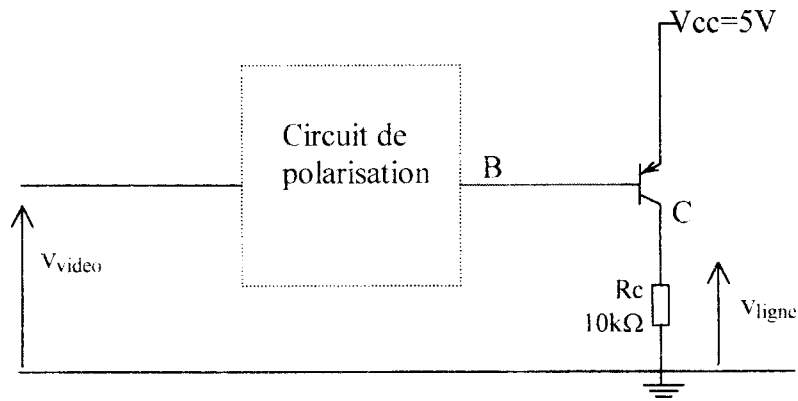


figure 6

2.1.1. Compléter la figure 7 en donnant le chronogramme de v_{ligne} correspondant à $v_{\text{vidéo}}$.

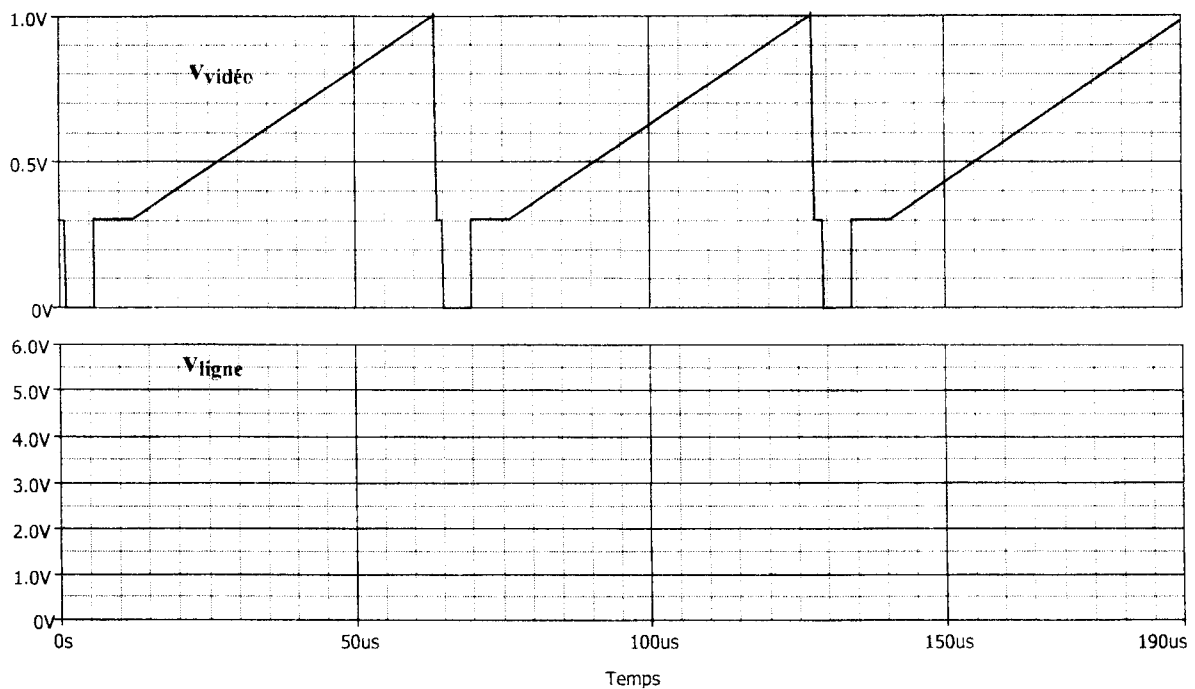


figure 7

2.1.2. En régime linéaire, le transistor est caractérisé par $I_C = h_{FE} \cdot I_B$. Le constructeur fournit l'indication suivante: $100 < h_{FE} < 300$

2.1.2.1. Indiquer l'orientation des courant I_C et I_B sur la figure 6 en précisant leur signe quand le transistor est saturé.

2.1.2.2. Donner la valeur numérique du courant I_B assurant la saturation de tout transistor de la série, avec un coefficient de sursaturation au moins égal à 1,5.

Indiquer clairement votre raisonnement.

2.2. Élaboration du signal synchro frame.

Le signal v_{ligne} est un signal rectangulaire évoluant entre $V_{CC}=5V$ et $0V$ de rapport cyclique variable. Il est appliqué à l'entrée du circuit suivant :

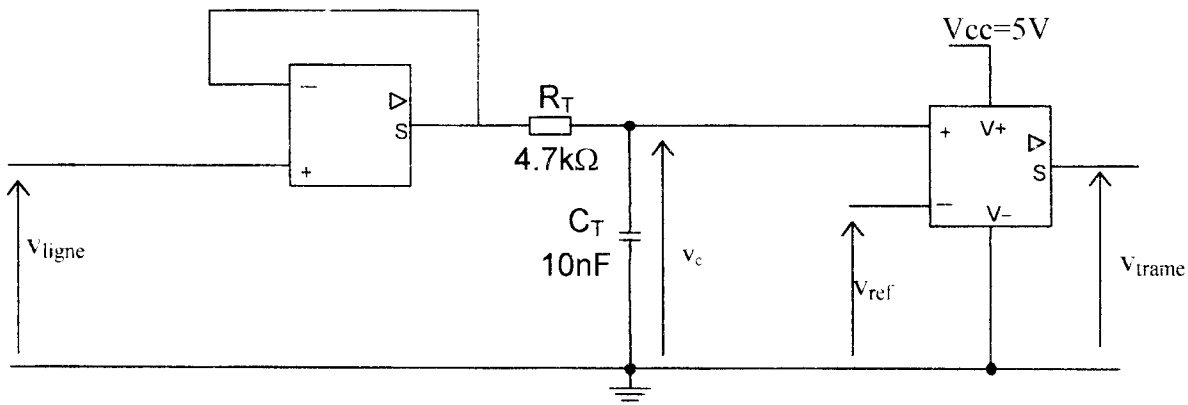


figure 8

2.2.1. Etablir l'équation différentielle régissant l'évolution de $v_c(t)$ en fonction de v_{ligne} , R_T et C_T

2.2.2. On se place dans le cas où la tension $v_{\text{ligne}}(t)$ évolue comme indiqué sur la figure 9.

$$\begin{aligned} \text{sur }]0, t_h[, v_{\text{ligne}}(t) &= V_{CC} \\ \text{à partir de } t_h, v_{\text{ligne}}(t) &= 0 \end{aligned}$$

2.2.2.1. Donner la loi d'évolution instantanée de $v_c(t)$ sur l'intervalle $]0, t_h[$ sachant que le condensateur présente à l'instant $t = 0$, une tension initiale de valeur $v_c(0) = 0,3V$. La solution de l'équation différentielle peut-être donnée sans démonstration.

Quelle est la valeur atteinte par $v_c(t)$ à l'instant $t = t_h$, sachant que $t_h = 27,3\mu s$?

On notera $v_c(t_h)$ la valeur correspondante.

2.2.2.2. Donner de nouveau la loi d'évolution de $v_c(t)$ pour $t > t_h$. Quelle est la valeur atteinte à l'instant $t_0 = 32\mu s$? On notera $v_c(t_0)$ la valeur correspondante.

2.2.2.3. Représenter $v_c(t)$ sur le graphe de la figure 9.

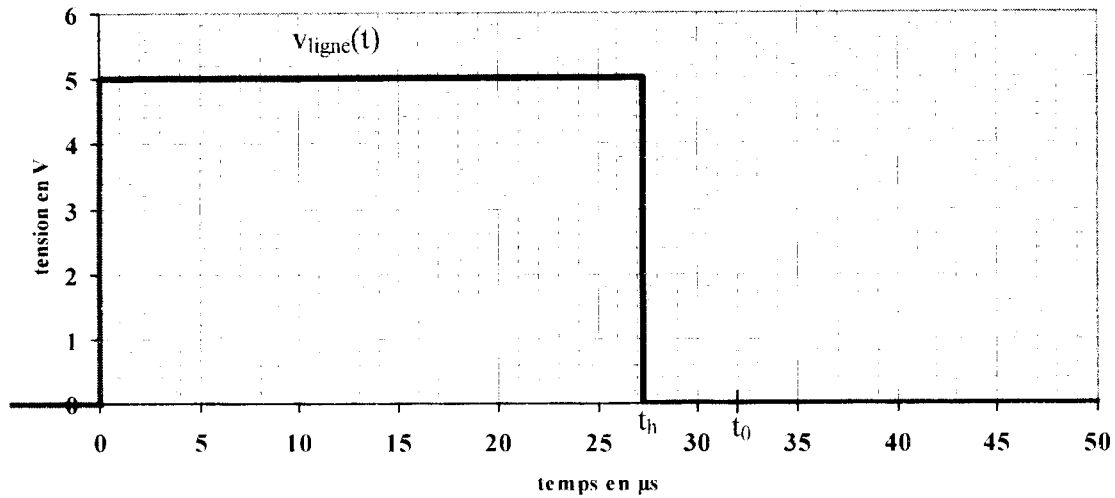


figure 9

2.2.3. Lorsque le circuit de la figure 8 est soumis au signal v_{ligne} réel, l'évolution de $v_c(t)$ est donnée ci-dessous. Pour obtenir le signal v_{trame} conforme au signal de synchronisation trame de la figure 2, un comparateur idéal est placé derrière le condensateur (figure 8). On donne $V_{\text{ref}} = 2V$, représenter v_{trame} sur le graphe de la figure 10.

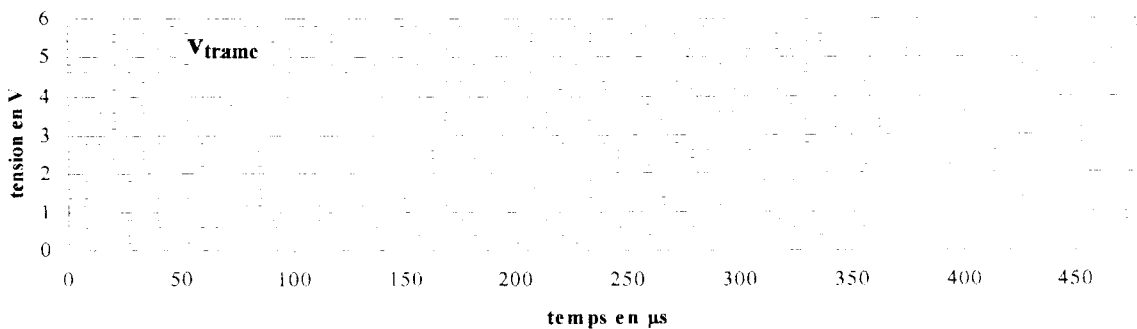
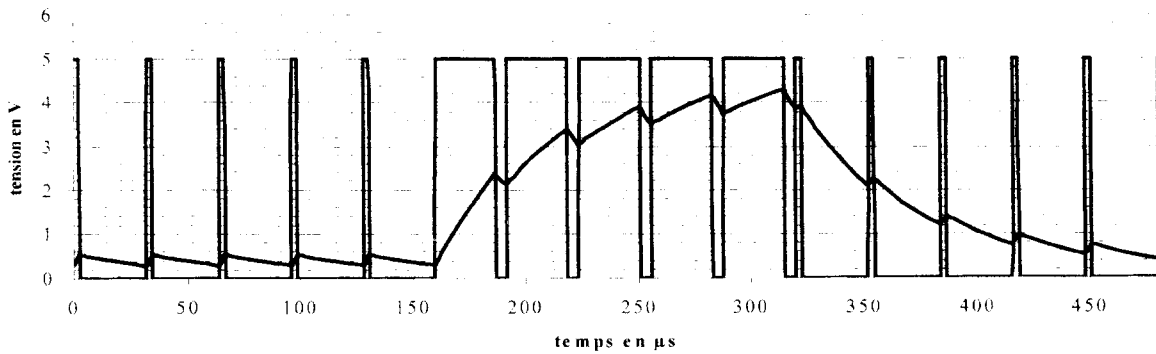


figure 10

3. AMPLIFICATION ET FILTRAGE DU SIGNAL VIDEO

Le signal vidéo a une amplitude crête à crête de 1 V entre le minimum des impulsions de synchronisation et le maximum du signal analogique de luminance.

Grâce à un convertisseur analogique numérique, des échantillons du signal vidéo vont être prélevés à une fréquence d'échantillonnage de 4MHz, convertis en numérique puis stockés dans une mémoire.

En pratique, un filtre est présent avant le convertisseur analogique numérique ; il a pour rôle :

- d'amplifier le signal vidéo pour obtenir une amplitude crête à crête de 5 V correspondant à la dynamique d'entrée du convertisseur
- d'éliminer les fréquences contenues dans le signal vidéo de valeur supérieure à 2 MHz.

Le schéma structurel proposé est le suivant :

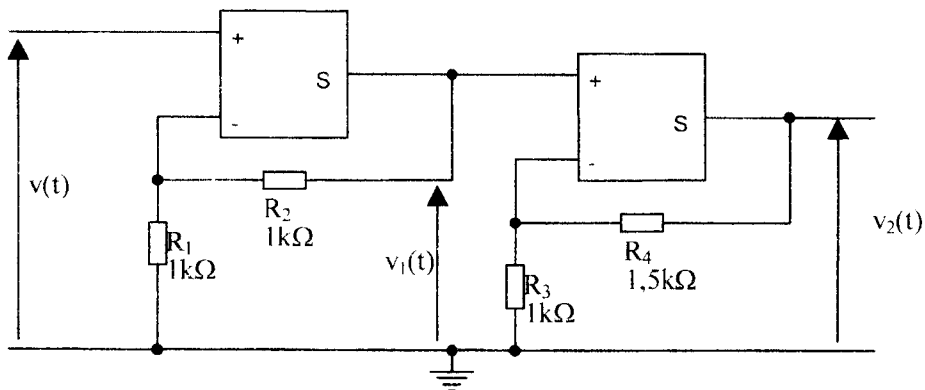
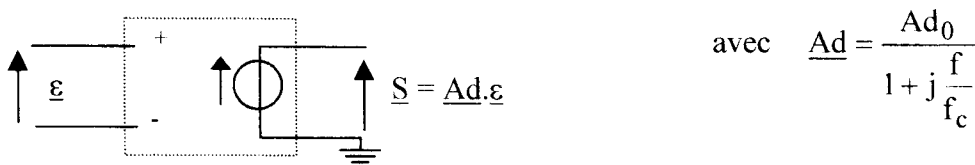


figure 11

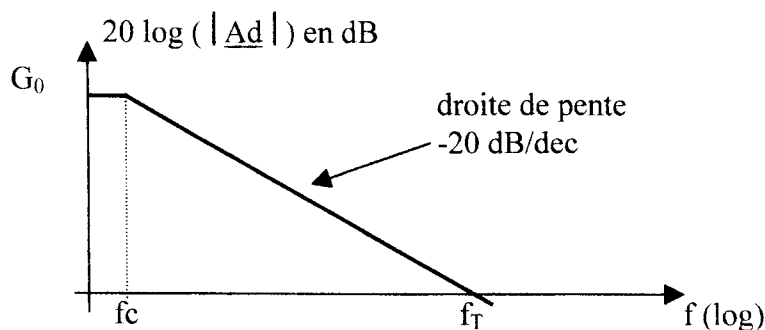
3.1 Etude de la réponse en fréquence du premier étage, d'entrée $v(t)$ et de sortie $v_1(t)$.

On suppose pour cette étude que $v(t)$ est un signal sinusoïdal de fréquence variable et d'amplitude compatible avec le fonctionnement linéaire du circuit intégré.

3.1.1. Le circuit intégré linéaire utilisé est décrit par le modèle ci-dessous :



Le constructeur indique le tracé asymptotique de la réponse en fréquence du composant.
Elle est reproduite ci-dessous :



Le constructeur précise les valeurs typiques :

- de la fréquence de transition notée f_T sur le graphe ; $f_T = 7 \text{ MHz}$
- du gain en très basses fréquences noté G_0 sur le graphe ; $G_0 = 100 \text{ dB}$

Donner l'équation de la droite asymptotique traduisant le comportement du circuit intégré dans le domaine des hautes fréquences :

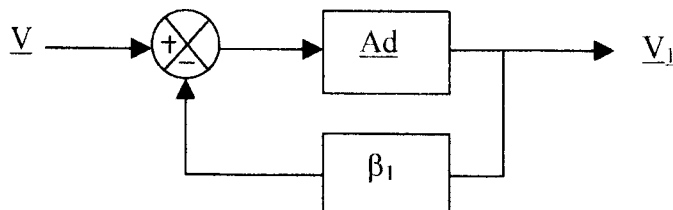
- en exploitant l'expression de \underline{Ad}

- en exploitant la caractéristique graphique donnée par le constructeur

En déduire la relation reliant Ad_0 , f_c et f_1 .

Donner la valeur numérique de Ad_0 . En déduire celle de f_c .
(on exploitera les valeurs typiques données par le constructeur)

3.1.2. L'étage étudié peut être décrit par le schéma bloc donné ci-dessous :



Donner l'expression littérale de β_1 en fonction de R_1 et de R_2 .

3.1.3. Etablir l'expression de la transmittance isochrone $\underline{Av_1}(j\omega) = \frac{V_1}{V}$ en fonction de \underline{Ad} et β_1 , puis en fonction de Ad_0 , f_c et β_1 .

\underline{Av}_1 peut être identifiée à une expression de la forme : $\underline{Av}_1(jf) = \frac{Av_{10}}{1 + j \frac{f}{fc_1}}$

Donner les expressions littérales de Av_{10} et de fc_1 en fonction de Ad_0 , fc et β_1 .

Compte tenu de la valeur de Ad_0 , on peut affirmer $Ad_0 \beta_1 \gg 1$.
En déduire les expressions approchées de Av_{10} et de fc_1 .

3.2. Etude de la réponse en fréquence de la chaîne d'amplification d'entrée $v(t)$ et de sortie $v_2(t)$.

Le deuxième circuit intégré, fonctionnant en régime linéaire, a des caractéristiques identiques au premier.

On peut donc affirmer : $\underline{Av}_2(jf) = \frac{V_2}{V_1} = \frac{Av_{20}}{1 + j \frac{f}{fc_2}}$

3.2.1. En exploitant les expressions de $\underline{Av}_1(jf)$ et de $\underline{Av}_2(jf)$, établir l'expression de la transmittance isochrone $\underline{Av}(jf) = \frac{V_2}{V}$.

$\underline{Av}(jf)$ peut être identifiée à l'expression d'un filtre passe-bas du second ordre définie par :

$$\underline{Av}(jf) = \frac{Av_0}{1 + 2jm \frac{f}{f_0} - \frac{f^2}{f_0^2}}$$

Donner l'expression littérale de f_0 puis de m en fonction de fc_1 et de fc_2 .
Quels sont les noms usuellement donnés à ces deux grandeurs ?

3.2.2. On rappelle : $f_{c1} = \beta_1 \cdot f_T$ et $f_{c2} = \beta_2 \cdot f_T$, en posant $\beta_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ et $\beta_2 = \frac{R_3}{R_3 + R_4}$.

Avec les valeurs des composants données sur le circuit de la figure 11, donner les valeurs numériques de A_{v0} , f_0 et m .

3.3 Exploitation des résultats expérimentaux.

Une simulation a été effectuée avec les valeurs données sur le circuit de la figure 11.

L'évolution du gain $G = 20 \cdot \log\left(\frac{V_2}{V}\right)$ en fonction de la fréquence est donnée sur la figure 12 ci-dessous.

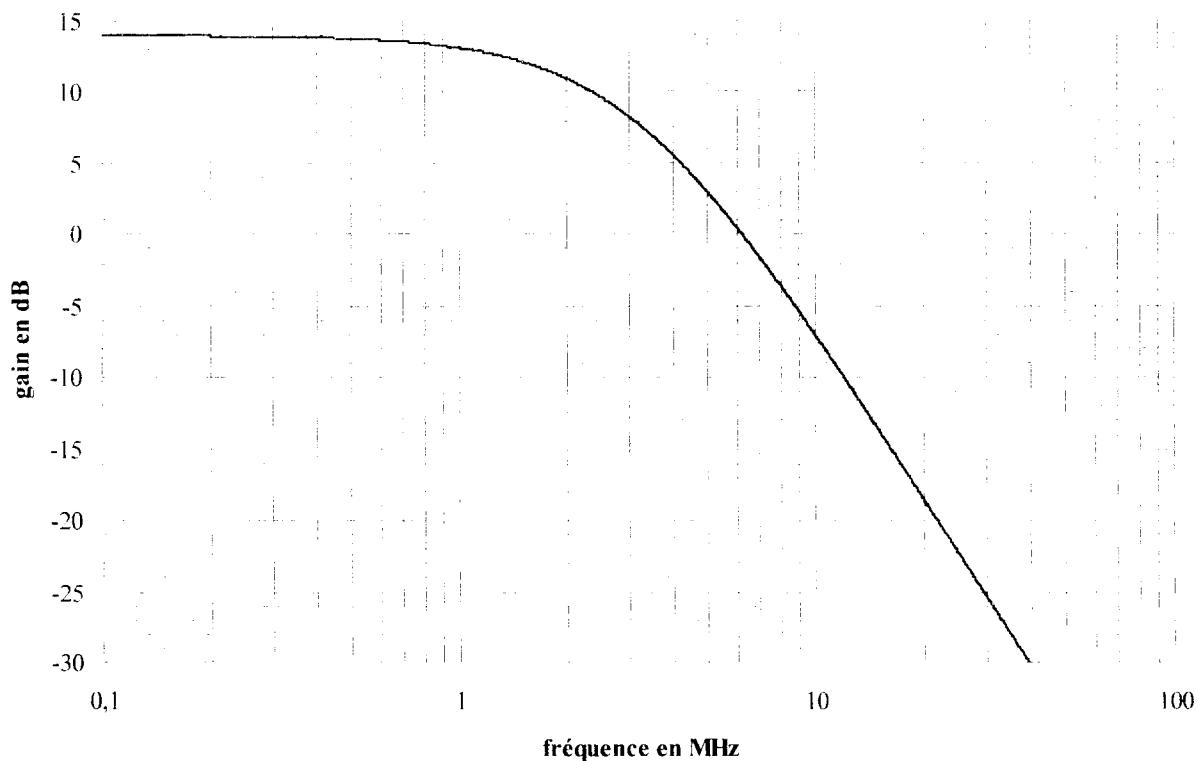


figure 12

3.3.1. Tracer les droites asymptotiques traduisant le comportement du circuit dans le domaine des basses et des hautes fréquences.

Valider les résultats précédemment établis en faisant apparaître sur le tracé de la figure 12, les deux grandeurs $20 \cdot \log(A_{v0})$ et f_0 .

La valeur numérique de m est-elle également compatible avec le tracé ? Justifier votre réponse.

3.3.2. On note f_{coup} la fréquence de coupure du montage.
Définir cette grandeur.

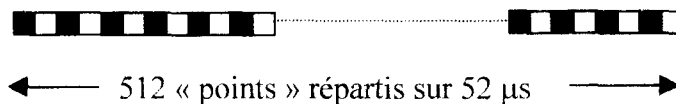
Donner sa valeur numérique en faisant apparaître cette grandeur sur le tracé de la figure 12.

3.4. Rôle du filtre

3.4.1. Le signal $v(t)$ présent à l'entrée du filtre est le signal vidéo comportant les informations de luminance issues d'une caméra C.C.D. de vidéo surveillance.

La caméra utilisée est une caméra haute résolution comportant 297984 pixels dont 512 sont répartis horizontalement et 582 verticalement.

On s'intéresse aux fréquences H.F. contenues dans le signal de luminance dans le cas extrême où une ligne est constituée d'une succession de points alternativement blancs et noirs conformément à :



On assimile le signal de luminance correspondant à un signal sinusoïdal évoluant entre 0,3V et 1V.

Quelle est la période de ce signal ?

En déduire la fréquence maximale contenue dans le signal vidéo transmis par la caméra.

3.4.2. Peut-on échantillonner le signal précédent à 4 MHz ?

Justifier clairement votre réponse.

3.4.3. On pourrait attribuer au système décrit figure 11 la terminologie « filtre anti-repliement ».

Justifier la nécessité d'un tel filtre et l'adéquation du système de la figure 11 à cette définition.

Corrigé

1.1.1 Justifier la décomposition en séries de Fourier suivante :

$$v(t) = V_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} A_n \cos(n\omega_L t)$$

Le signal est périodique, pair donc décomposable en somme de cosinus.

Que représente V_0 ? Donner son expression littérale et la valeur numérique correspondante.

V_0 est la valeur moyenne du signal ; $V_0 = V \frac{T_H}{T_L}$; $V_0 = 0,3 \frac{59,3}{64} = 0,28V$

Quelle est la valeur numérique de f_L définie par $\omega_L = 2\pi f_L$?

$$f_L = \frac{1}{T_L} = \frac{1}{64E^{-6}} = 15625\text{Hz}$$

1.1.2 On donne l'expression littérale des coefficients A_n précédemment définis.

$$A_n = 2V \frac{\frac{\sin(n\pi \frac{t_H}{T_L})}{n\pi \frac{t_H}{T_L}}}{\frac{t_H}{T_L}}$$

Calculer les valeurs numériques de A_n pour $n=1, 2, 6, 7$ et 10

Compléter le tableau donné ci-dessous :

n	1	2	6	7	10
A_n	43,7 mV	-42,5 mV	-31,3 mV	27,2 mV	-13,9 mV

1.1.3 En déduire la fréquence et la valeur efficace des raies correspondantes constituant une partie du spectre en amplitude de $v(t)$.

Compléter le tableau suivant :

n	1	2	6	7	10
Fréquence (Hz)	15625	31250	93750	109375	156250
Valeur efficace (V)	$30,9 \cdot 10^{-3}$	$30 \cdot 10^{-3}$	$22,1 \cdot 10^{-3}$	$19,2 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-3}$

1.1.4 Un analyseur de spectre de type F.F.T. a permis de relever expérimentalement le spectre en amplitude du signal $v(t)$ précédemment défini.

Le chronogramme relevé est représenté figure 4 ci-dessous.

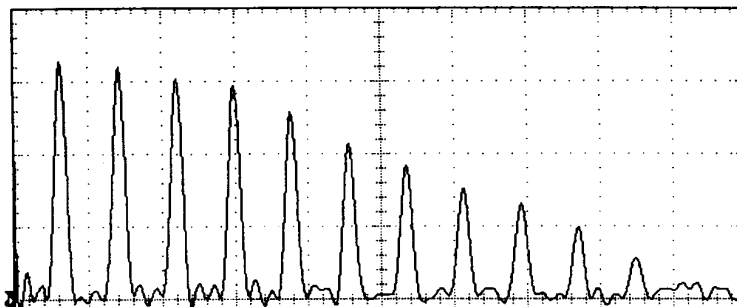


figure 4

Corrigé

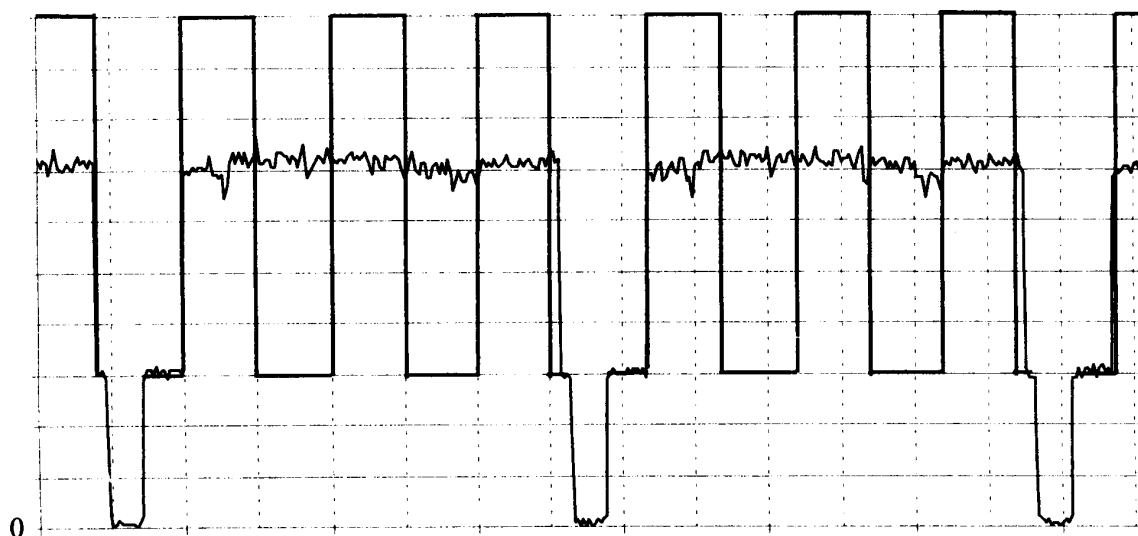
On précise que l'échelle horizontale représente la fréquence et l'échelle verticale la valeur efficace en V. Ces axes sont gradués de façon linéaire.

Indiquer la sensibilité de l'axe horizontal et celle de l'axe vertical pour que ce chronogramme valide les calculs théoriques précédents avec une erreur relative maximale inférieure à 10%.

axe horizontal : 20 kHz/carreau axe vertical : 10 mV/carreau

1.2. Analyse temporelle d'une partie du signal vidéo dans 2 cas particuliers.

1.2.1. On a relevé, grâce à un oscilloscope, un oscillogramme, donné figure 5, correspondant à quelques lignes d'un signal vidéo.



sensibilité horizontale: $10\mu\text{s}/\text{div}$
sensibilité verticale : $0,1\text{V}/\text{div}$

figure 5

En supposant que la luminance est la même pour toutes les lignes, que peut-on affirmer sur l'objet sélectionné par la caméra vidéo ? Justifier votre réponse.

L'objet sélectionné est de couleur uniformément grise car le signal de luminance est de valeur constante voisine de 0,7V

1.2.2. Comment serait modifié le signal analogique correspondant à la luminance si l'objet était constitué de 5 bandes verticales alternativement blanches et noires ?

On représentera le chronogramme correspondant sur le même graphe donné figure 5.

Un autre chronogramme est possible : la première bande pourrait être noire.

1.2.3. Retrouverait-on, comme précédemment, dans le spectre d'amplitude des deux signaux vidéo des fréquences multiples de 15625 Hz ?

Justifier votre réponse.

Dans les deux cas, le signal vidéo composite est périodique de période $T_L = 64\mu\text{s}$

Le spectre d'amplitude sera donc également composé de fréquences multiples de $f_L = \frac{1}{T_L} = 15625\text{ Hz}$

2. ELABORATION DES SIGNAUX DE SYNCHRO-LIGNE ET DE SYNCHRO-FRAME.

Pour reconstituer correctement l'image de la scène filmée il est nécessaire d'extraire du signal vidéo composite les signaux de début de ligne et de début de trame.

2.1.Elaboration du signal synchro ligne

Un système utilisant un transistor en commutation permet de récupérer les « tops » de synchro-ligne. Le circuit de polarisation du transistor n'est pas représenté.

Le transistor est bloqué dès que $v_{\text{vidéo}}$ devient supérieure au niveau de noir soit 0,3V.

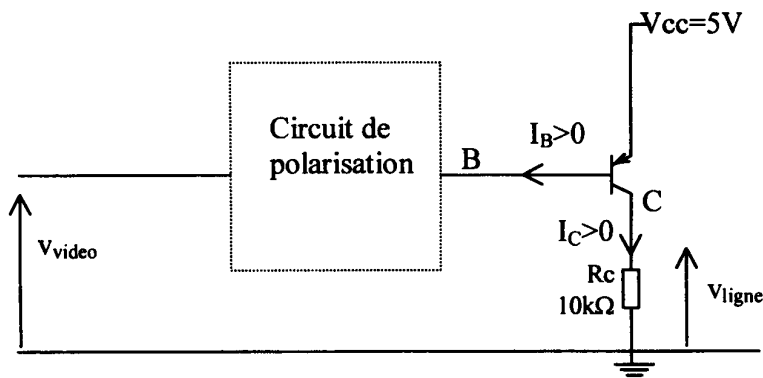


figure 6

2.1.1. Compléter la figure 7 en donnant le chronogramme de v_{ligne} correspondant à $v_{\text{vidéo}}$.

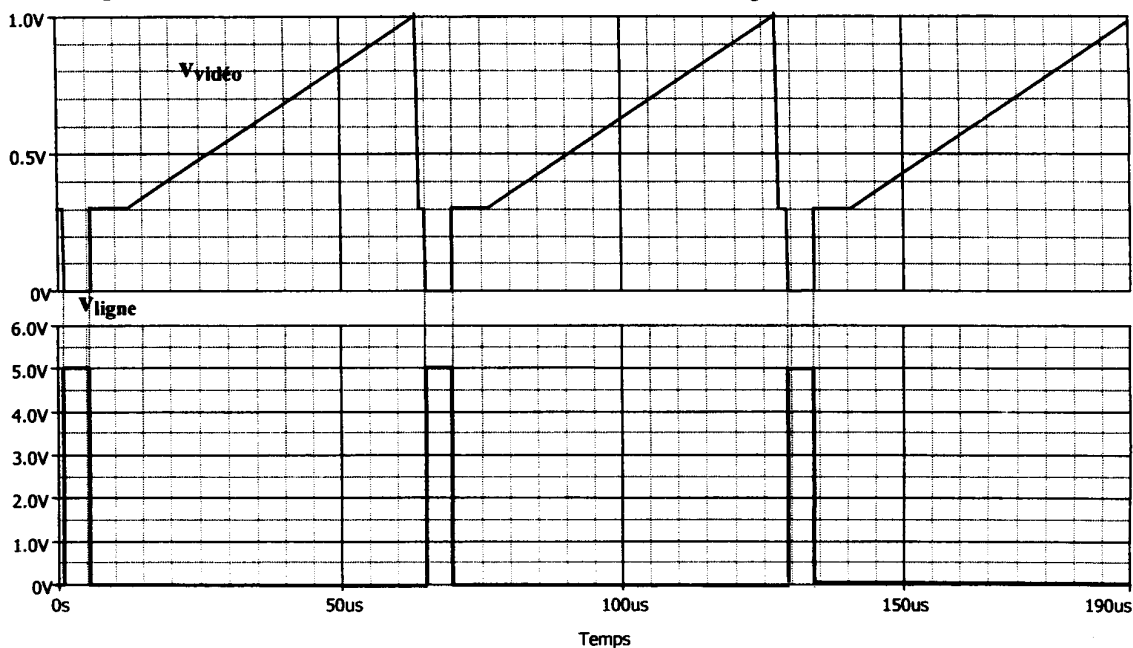


figure 7

2.1.2. En régime linéaire le transistor est caractérisé par $I_C = h_{FE} \cdot I_B$. Le constructeur fournit l'indication suivante: $100 < h_{FE} < 300$

2.1.2.1. Indiquer l'orientation des courant I_C et I_B sur la figure 6 en précisant leur signe quand le transistor est saturé.

Corrigé

2.1.2.2. Donner la valeur numérique du courant I_B assurant la saturation du transistor avec un coefficient de sursaturation au moins égal à 1,5.
Indiquer clairement votre raisonnement.

Quand le transistor est saturé, $I_C = I_{Csat} = \frac{V_{cc} - V_{ECsat}}{R_c} \approx \frac{V_{cc}}{R_c} = 0,5 \text{ mA}$

Le courant juste nécessaire à la saturation du transistor est dans le cas le plus défavorable :

$I_{Bsat} = \frac{I_{Csat}}{h_{FEmin}} = 5 \mu\text{A}$. Il faut donc polariser le transistor pour obtenir $I_B = 1,5 I_{Bsat} = 7,5 \mu\text{A}$

2.2. Élaboration du signal synchro trame.

Le signal v_{ligne} un signal rectangulaire évoluant entre $V_{cc}=5\text{V}$ et 0V de rapport cyclique variable est appliqué à l'entrée du circuit suivant :

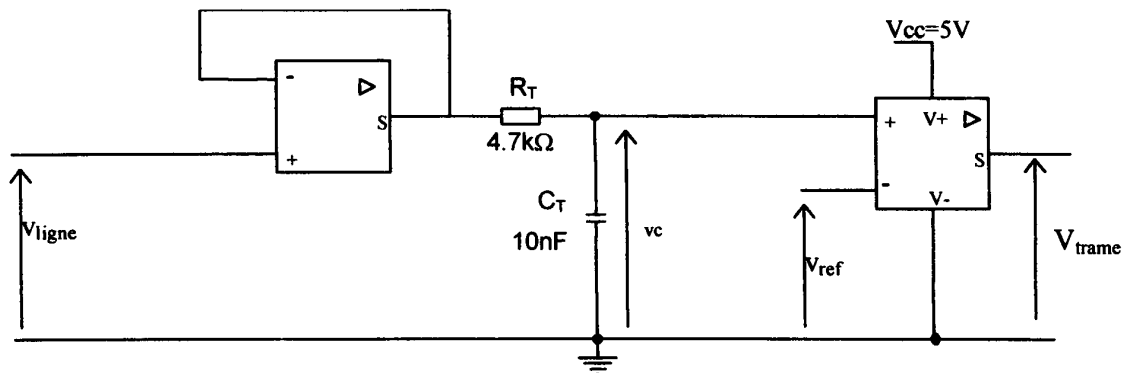


figure 8

2.2.1. Etablir l'équation différentielle régissant l'évolution de $v_c(t)$ en fonction de v_{ligne} , R_T et C_T

$$R_T C_T \frac{dv_c(t)}{dt} + v_c(t) = v_{ligne}(t)$$

2.2.2. On se place dans le cas où la tension $v_{ligne}(t)$ évolue comme indiqué sur la figure 9.

sur $]0, t_h[$, $v_{ligne}(t) = V_{CC}$
à partir de t_h , $v_{ligne}(t) = 0$

2.2.2.1. Donner la loi d'évolution instantanée de $v_c(t)$ sur l'intervalle $]0, t_h[$ sachant que le condensateur présente à l'instant $t=0$, une tension initiale de valeur $v_c(0)=0,3\text{V}$. La solution de l'équation différentielle peut-être donnée sans démonstration.

Quelle est la valeur atteinte par $v_c(t)$ à l'instant $t=t_h$, sachant que $t_h=27,3\mu\text{s}$?

On notera $v_c(t_h)$ la valeur correspondante.

Solution de l'équation différentielle : $v_c(t) = V_{cc} + K.e^{-\frac{t}{R_T C_T}}$

A $t=0$, $v_c(t) = v_c(0)$; on déduit : $v_c(t) = V_{cc} + (v_c(0) - V_{cc}).e^{-\frac{t}{R_T C_T}} = 5 - 4,7.e^{-\frac{t}{R_T C_T}}$

A $t = t_h$, $v_c(t_h) = 5 - 4,7.e^{-\frac{27,3}{47}} = 2,37 \text{ V}$

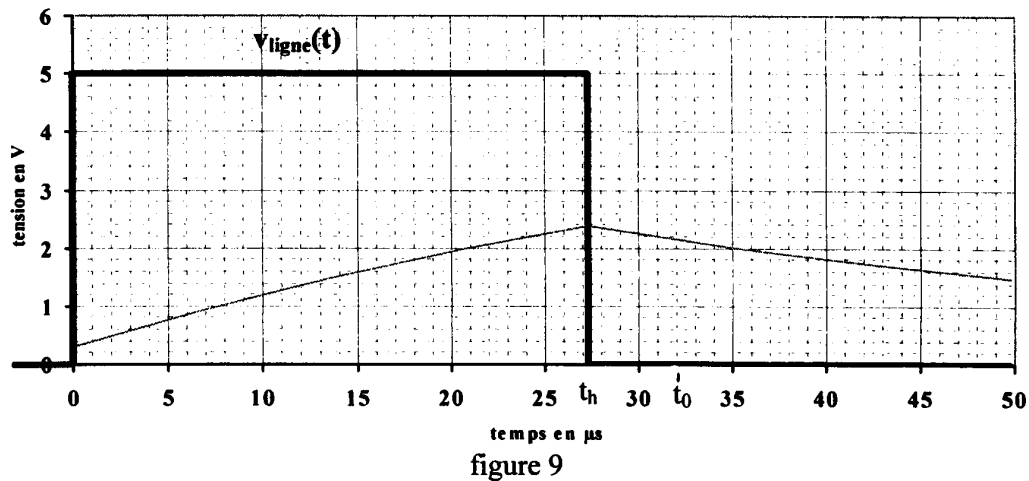
Corrigé

2.2.2.2. Donner de nouveau la loi d'évolution de $v_c(t)$ pour $t > t_h$. Quelle est la valeur atteinte à l'instant $t_0 = 32 \mu s$? On notera $v_c(t_0)$ la valeur correspondante.

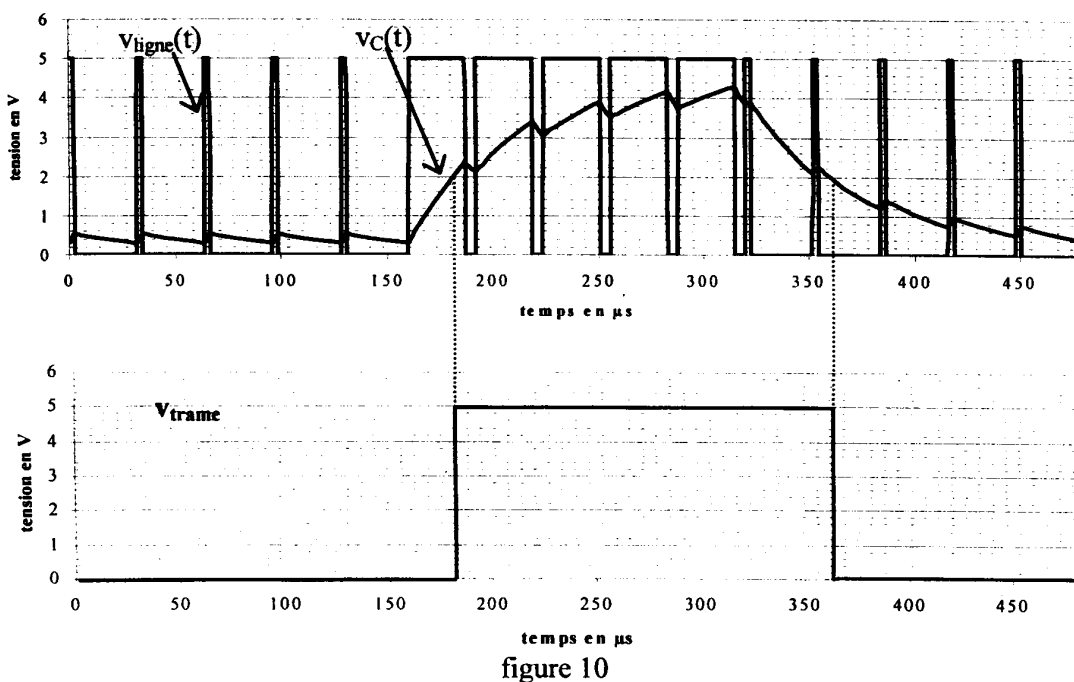
$$A \text{ partir de } t = t_h, v_c(t) = v_c(t_h) \cdot e^{-\frac{t-t_h}{R_\tau C_\tau}}$$

$$A t = t_0, v_c(t_0) = 2,37 \cdot e^{-\frac{32-27.3}{47}} = 2,14 \text{ V}$$

2.2.2.3. Représenter $v_c(t)$ sur le graphe de la figure 9.



2.2.3. Soumis au signal v_{ligne} réel, l'évolution de $v_c(t)$ est donné ci-dessous. Pour obtenir le signal v_{trame} conforme au signal de synchronisation trame de la figure 2, un comparateur idéal est placé derrière le condensateur (figure 8). On donne $V_{\text{ref}} = 2V$, représenter v_{trame} sur le graphe de la figure 10.



3. AMPLIFICATION ET FILTRAGE DU SIGNAL VIDEO

Le signal vidéo a une amplitude crête à crête de 1 V entre le minimum des impulsions de synchronisation et le maximum du signal analogique de luminance.

Grâce à un convertisseur analogique numérique, des échantillons du signal vidéo vont être prélevés à une fréquence d'échantillonnage de 4MHz, convertis en numérique puis stockés dans une mémoire.

En pratique, un filtre est présent avant le convertisseur analogique numérique ; il a pour rôle :

- d'amplifier le signal vidéo pour obtenir une amplitude crête à crête de 5 V correspondant à la dynamique d'entrée du convertisseur
- d'éliminer les fréquences contenues dans le signal vidéo de valeur supérieure à 2 MHz.

Le schéma structurel proposé est le suivant :

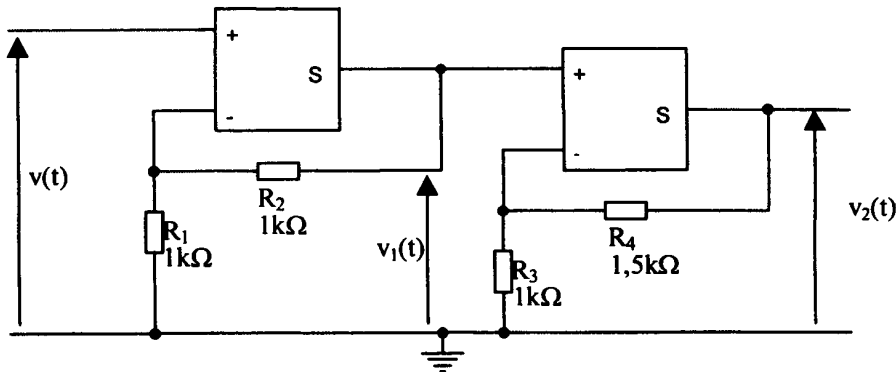
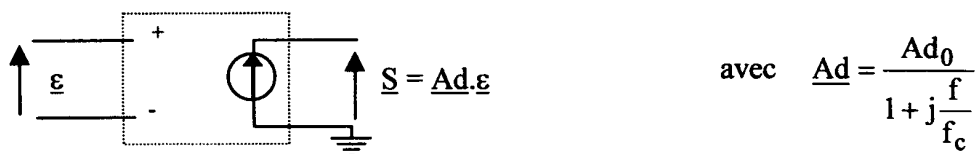


figure 11

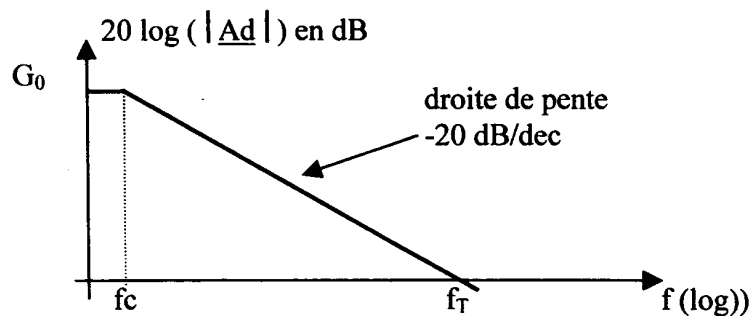
3.1 Etude de la réponse en fréquence du premier étage d'entrée $v(t)$ et de sortie $v_1(t)$.

On suppose pour cette étude que $v(t)$ est un signal sinusoïdal de fréquence variable et d'amplitude compatible avec le fonctionnement linéaire du circuit intégré.

3.1.1. Le circuit intégré linéaire utilisé est décrit par le modèle ci-dessous :



Le constructeur indique le tracé asymptotique de la réponse en fréquence du composant. Elle est reproduite ci-dessous :



Le constructeur précise les valeurs typiques :

- de la fréquence de transition notée sur le graphe f_T ; $f_T = 7 \text{ MHz}$
- du gain en très basses fréquences noté G_0 sur le graphe ; $G_0 = 100 \text{ dB}$

Donner l'équation de la droite asymptotique traduisant le comportement du circuit intégré dans le domaine des hautes fréquences :

- en exploitant l'expression de \underline{Ad}

$$\text{quand } f \rightarrow \infty, \underline{Ad} \approx \frac{Ad_0}{j \frac{f}{fc}} = \frac{Ad_0 \cdot fc}{jf}$$

$$\text{on déduit l'équation de la droite asymptotique : } G_{HF} = -20 \log \left(\frac{f}{Ad_0 \cdot fc} \right)$$

- en exploitant la caractéristique graphique donnée par le constructeur

En hautes fréquences, la droite asymptotique a une pente de -20 dB/déc , elle passe par le point

($f_T, 0 \text{ dB}$) ; elle a donc pour équation $G_{HF} = -20 \log \left(\frac{f}{f_T} \right)$

En déduire la relation reliant Ad_0 , fc et f_T .

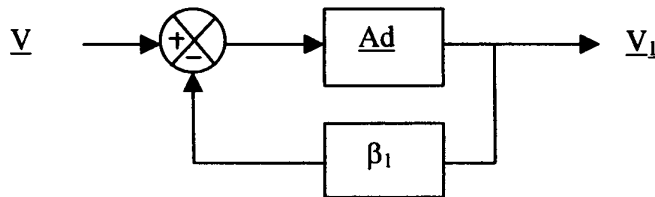
$$f_T = Ad_0 \cdot fc$$

Donner la valeur numérique de Ad_0 . En déduire celle de fc .

(on exploitera les valeurs typiques données par le constructeur)

$$Ad_0 = 10^5 \text{ } fc = 70 \text{ Hz}$$

3.1.2. Montrer que l'étage étudié peut être décrit par le schéma bloc donné ci-dessous :



Donner l'expression littérale de β_1 en fonction de R_1 et de R_2 .

$$\underline{V}_1 = \underline{Ad} (\underline{E}^+ - \underline{E}^-) \text{ avec } \underline{E}^+ = \underline{V} \text{ et } \underline{E}^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \underline{V}_1. \text{ Par identification } \beta_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

3.1.3. Etablir l'expression de la transmittance isochrone $\underline{Av}_1(j\omega) = \frac{\underline{V}_1}{\underline{V}}$ en fonction de \underline{Ad} et β_1 ,

puis en fonction de Ad_0 , fc et β_1 .

$$\underline{Av}_1 = \frac{\underline{V}_1}{\underline{V}} = \frac{\underline{Ad}}{1 + \beta_1 \cdot \underline{Ad}} = \frac{Ad_0}{1 + Ad_0 \beta_1 + j \frac{f}{fc}}$$

\underline{Av}_1 peut être identifiée à une expression de la forme : $\underline{Av}_1(jf) = \frac{Av_{10}}{1 + j\frac{f}{fc_1}}$

Donner les expressions littérales de Av_{10} et de fc_1 en fonction de Ad_0 , fc et β_1 .

$$\underline{Av}_1 = \frac{Ad_0}{1 + Ad_0\beta_1} \frac{1}{1 + j\frac{f}{fc(1 + Ad_0\beta_1)}}$$

par identification : $Av_{10} = \frac{Ad_0}{1 + Ad_0\beta_1}$ et $fc_1 = fc(1 + Ad_0\beta_1)$

Compte tenu de la valeur de Ad_0 , on peut affirmer $Ad_0\beta_1 \gg 1$.

En déduire les expressions approchées de Av_{10} et de fc_1 .

$$Av_{10} = \frac{1}{\beta_1} \text{ et } fc_1 = Ad_0 \cdot fc \cdot \beta_1 = f_T \cdot \beta_1$$

3.2. Étude de la réponse en fréquence de la chaîne d'amplification d'entrée $v(t)$ et de sortie $v_2(t)$.

Le deuxième circuit intégré, fonctionnant en régime linéaire, a des caractéristiques identiques au premier.

On peut donc affirmer : $\underline{Av}_2(jf) = \frac{V_2}{V_1} = \frac{Av_{20}}{1 + j\frac{f}{fc_2}}$

3.2.1. En exploitant les expressions de $\underline{Av}_1(jf)$ et de $\underline{Av}_2(jf)$, établir l'expression de la

transmittance isochrone $\underline{Av}(jf) = \frac{V_2}{V}$.

$$\underline{Av}(jf) = \frac{Av_{10} \cdot Av_{20}}{(1 + j\frac{f}{fc_1})(1 + j\frac{f}{fc_2})} = \frac{Av_{10} \cdot Av_{20}}{1 + jf(\frac{1}{fc_1} + \frac{1}{fc_2}) - \frac{f^2}{fc_1 \cdot fc_2}}$$

$\underline{Av}(jf)$ peut être identifiée à l'expression d'un filtre passe-bas du second ordre définie par :

$$\underline{Av}(jf) = \frac{Av_0}{1 + 2jm\frac{f}{f_0} - \frac{f^2}{f_0^2}}$$

Donner l'expression littérale de f_0 puis de m en fonction de fc_1 et de fc_2 .

Quelle est la terminologie associée à ces deux grandeurs ?

$$f_0 \text{ est la fréquence propre } f_0 = \sqrt{fc_1 \cdot fc_2}$$

$$m \text{ est le facteur d'amortissement } m = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{fc_1}{fc_2}} + \sqrt{\frac{fc_2}{fc_1}} \right)$$

3.2.2. On rappelle : $f_{c1} = \beta_1 \cdot f_T$ et $f_{c2} = \beta_2 \cdot f_T$ en posant $\beta_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ et $\beta_2 = \frac{R_3}{R_3 + R_4}$.

Avec les valeurs des composants données sur le circuit de la figure 11, donner les valeurs numériques de Av_0 , f_0 et m .

$$Av_0 = Av_{1o} \cdot Av_{2o} = \frac{1}{\beta_1 \cdot \beta_2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) = 5$$

$$f_0 = f_T \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} = 3,13 \text{ MHz et } m = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{\beta_1}{\beta_2}} + \sqrt{\frac{\beta_2}{\beta_1}} \right) = 1$$

3.3 Exploitation des résultats expérimentaux.

Une simulation a été effectuée avec les valeurs données sur le circuit de la figure 11.

L'évolution du gain $G = 20 \cdot \log\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$ en fonction de la fréquence est donnée sur la figure 12 ci-dessous :

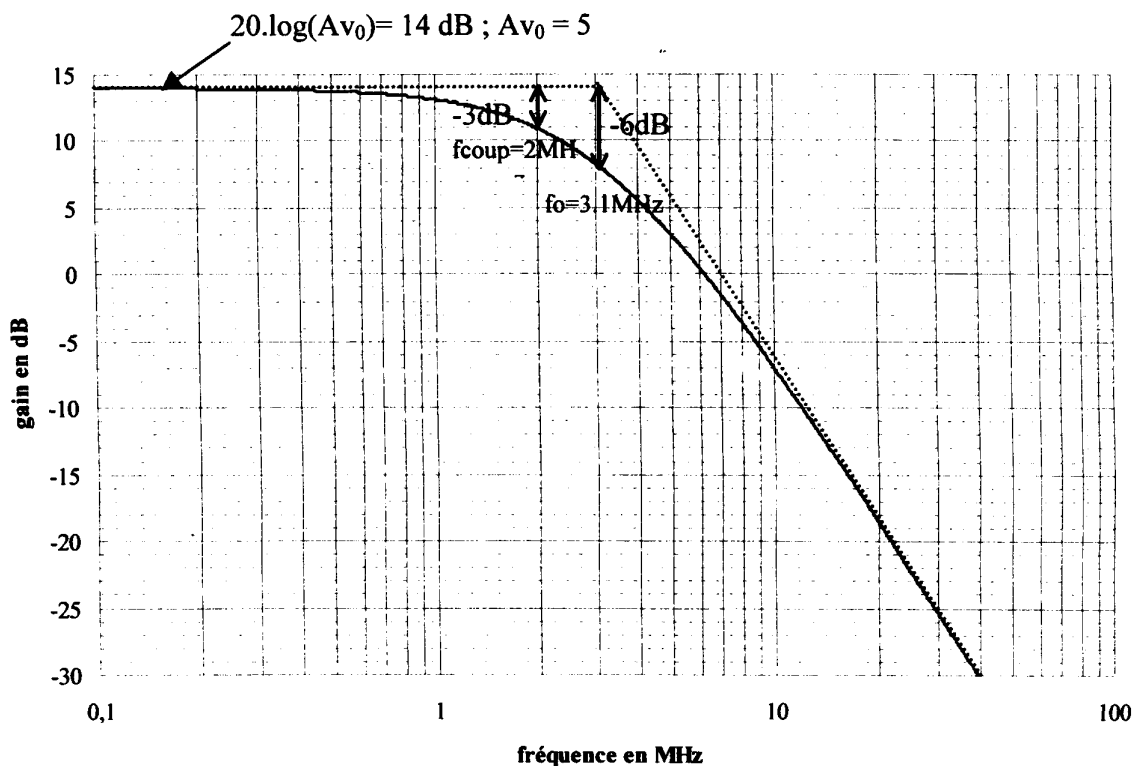


figure 12

3.3.1. Tracer les droites asymptotiques traduisant le comportement du circuit dans le domaine des basses et des hautes fréquences.

Valider les résultats précédemment établis en faisant apparaître sur le tracé de la figure 12, les deux grandeurs $20 \cdot \log(Av_0)$ et f_0 .

La valeur numérique de m est-elle également compatible avec le tracé ? Justifier votre réponse.

$$A f_0, G = 20 \cdot \log\left(\frac{Av_0}{2m}\right) = G_0 - 6 \text{ dB car } m = 1; \text{ on valide cette valeur sur le tracé}$$

3.3.2. On note f_{coup} la fréquence de coupure du montage.

Définir cette grandeur.

Donner sa valeur numérique en faisant apparaître cette grandeur sur le tracé de la figure 12.

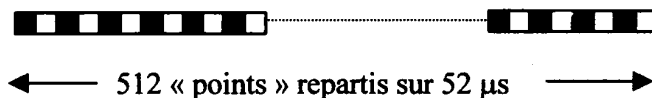
*La fréquence de coupure est la fréquence pour laquelle $G = G_0 - 3 \text{ dB}$.
On lit sur le graphe $f_{\text{coup}} = 2 \text{ MHz}$.*

3.4. Rôle du filtre

3.4.1. Le signal $v(t)$ présent à l'entrée du filtre est le signal vidéo comportant les informations de luminance issues d'une caméra C.C.D. de vidéo surveillance.

La caméra utilisée est une caméra haute résolution comportant 297984 pixels dont 512 sont répartis horizontalement et 582 verticalement.

On s'intéresse aux fréquences H.F. contenues dans le signal de luminance dans le cas extrême où une ligne est constituée d'une de points alternativement blancs et noirs conformément à :



On assimile le signal de luminance correspondant à un signal sinusoïdal évoluant entre 0,3 et 1V. Quelle est la période de ce signal ?

En déduire la fréquence maximale contenue dans le signal vidéo transmis par la caméra.

$$T_{\min} = \frac{2 * 52 \cdot 10^{-6}}{512} = 0,203 \mu\text{s} ; \text{ soit } F_{\max} = 4,92 \text{ MHz}$$

3.4.2. Peut-on échantillonner le signal précédent à 4 MHz ?

Justifier clairement votre réponse.

*La relation de Shannon impose que la fréquence d'échantillonnage soit au moins le double de la fréquence maximale du signal à transmettre.
Ce signal de luminance doit être échantillonné à $F_e \geq 9,84 \text{ MHz}$ (en pratique = 10 MHz)*

3.4.3. On pourrait attribuer au système décrit figure 11 la terminologie « filtre anti-repliement ».

Justifier cette affirmation.

*Lors de l'opération d'échantillonnage, il apparaît dans le spectre du signal échantillonné des « raies » de fréquence $|F_e - f|$
Quand la relation de Shannon n'est pas respectée, ces raies se retrouvent dans le spectre du signal initial et on ne pourra plus le reconstituer fidèlement à partir des échantillons.
Le filtre évite ce problème appelé « repliement » de spectre car il atténue tous les signaux de fréquences supérieures à 2 MHz ($F_e/2$)*