

15 Charge et décharge d'un condensateur

$$V_c(t) = V_{c\infty} - (V_{c\infty} - V_{c\text{ini}}) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

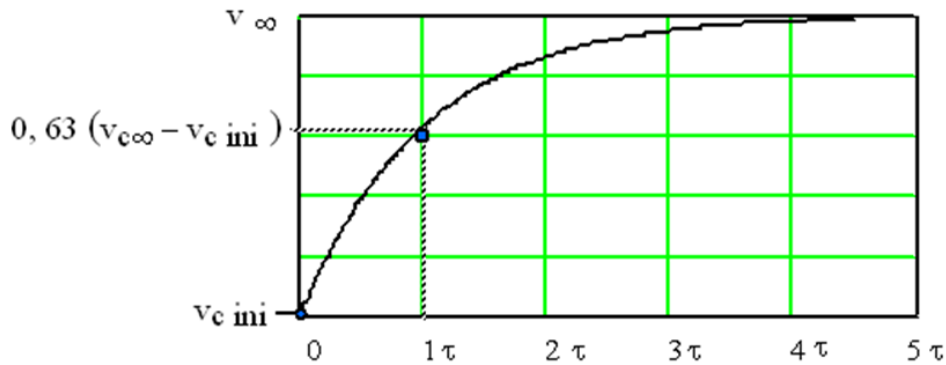


Figure 15.1 : Expression et graphe de l'évolution de la tension aux bornes d'un condensateur en fonction du temps et des conditions aux limites.

I - ETUDE THEORIQUE

Considérons le montage de la figure 15.2 suivant où le condensateur C est initialement déchargé. A l'instant initial, on ferme l'interrupteur sur la position 1. $R_1 = 30 \text{ k}\Omega$, $R_2 = R_3 = 60 \text{ k}\Omega$

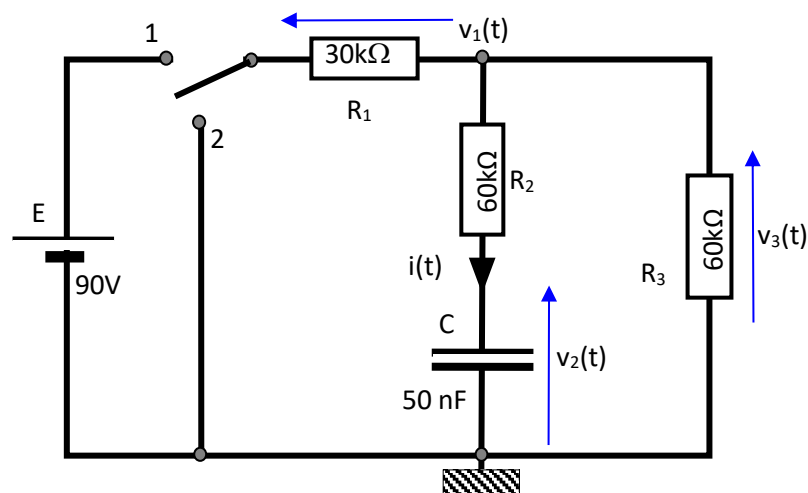


Figure 15.2 : montage étudié

- 1) Déterminer le générateur de Thévenin (E_{th} , R_{th}) vu par la capacité.
- 2) Écrire l'expression de la tension $v_2(t)$ aux bornes de C et de son courant $i(t)$.
- 3) En déduire, à l'aide du schéma du montage, l'expression des autres tensions.
- 4) Construire les diverses courbes représentatives depuis l'instant $t = 0 - \varepsilon$.
- 5) Longtemps après, ($t \gg 5 \tau$), de telle sorte que les valeurs finales précédentes soient atteintes on ferme K en position 2. Traiter les mêmes questions. On reprendra l'instant de commutation comme nouvel instant initial.

II - ETUDE PAR SIMULATION : QUCS en distanciel (ISIS en présentiel)

Généralités : Quite Universal Circuit Simulator (QUCS) est un logiciel open source de simulation de circuits électroniques avec une interface graphique (GUI) sous licence GPL. Le logiciel de simulation prend en charge des simulations de type DC, AC, paramètre S, analyse de bruit, etc. Les données de simulation peuvent être représentées dans différents types de diagrammes, notamment cartésien, polaire, Smith-Chart, etc.

Téléchargement et Lancement du Logiciel :

- Allez sur le site : <https://sourceforge.net/projects/qucs/files/qucs/>
- Cliquez sur « Download Latest Version »
- Une fois le fichier zip téléchargé, extrayez les fichiers.
- Le logiciel ne requérant pas d'être installé, sauvegardez les fichiers extraits dans un emplacement de votre choix.
- Lancez le fichier « qucs.bat » en faisant double-clic.

Rappel sur les différents types de Simulation :

Dans le cadre des Travaux Dirigés et Pratiques qui vous seront proposés, on s'intéressera à trois types de simulation principalement :

- Simulation Transitoire :* par exemple la charge et la décharge d'un condensateur où les variables de simulation seront fonction du temps. Ex : $i(t) = C \frac{dv(t)}{dt}$
- Simulation DC :* par exemple la caractéristique électrique d'une diode : $I_{AK} = I_S \left[\exp\left(\frac{qV_{AK}}{kT}\right) - 1 \right]$.
- Simulation AC :* par exemple la réponse en fréquence d'un filtre passe-bas où les variables de simulation seront fonction de la fréquence ou de la pulsation. Ex. $|T(\omega)| = \frac{1}{1+jRC\omega}$

II-1 Exemple d'utilisation : Charge et Décharge d'un Condensateur

Dans cet exemple, on s'intéresse à la simulation de la charge et décharge d'un condensateur via une résistance suite à une impulsion en tension.

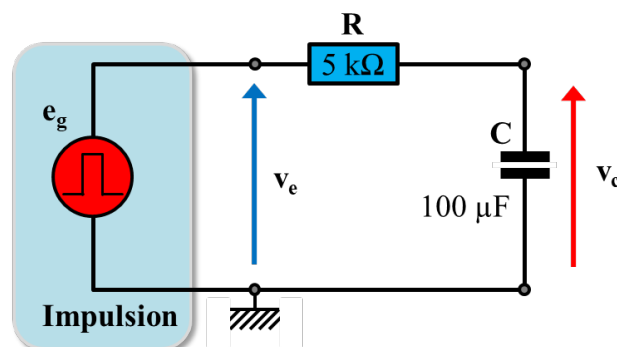


Figure 15.3 : Circuit de Simulation : Charge et Décharge d'un condensateur

II-1-1 Dessin du schématique :

- Créez un nouveau schématique (Menu Fichier → Nouveau).
- Placez les éléments passifs (résistance, condensateur) et la masse dans votre circuit et modifiez leurs paramètres comme le montre la Figure 8.
- Sélectionnez « Sources » dans la liste déroulante et placez une source de type « Impulsion en tension ». Modifiez ses paramètres de manière à créer une impulsion en tension de 0 → 1 V avec comme début d'impulsion 100 ms et comme fin d'impulsion 3 s.
- Reliez les composants et nommez les nœuds.
- Sélectionnez « Simulations » dans la liste déroulante et placez un objet de type « Simulation en régime transitoire ». Modifiez ses paramètres de manière à simuler 6 s. Assurez-vous d'avoir suffisamment de points de simulation en rajustant le « pas ».

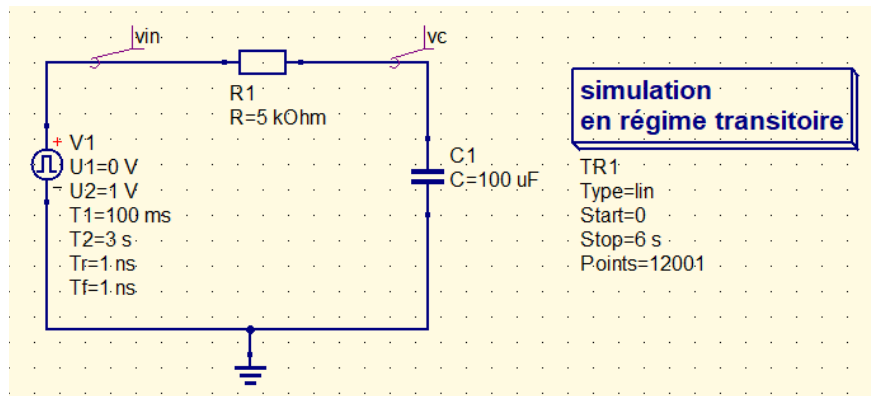


Figure 15.4 : Schématique Simulation en Régime Transitoire

II-1-2 Simulation Transitoire :

- Lancez la simulation : Menu Simulation → Simuler ou bien appuyez sur F2. Nommez et enregistrez votre schématique.
- Dans le nouveau fichier « .dpl » venant de s'ouvrir, sélectionnez « Diagrams » dans la liste déroulante et placez un diagramme de type « Cartésien ». Ajoutez au diagramme les variables transitoires « vin.Vt » et « vc.Vt ».
- Rajoutez un curseur pour vérifier que la constante du temps $\tau = RC$ correspond bien à 63 % de la tension maximale. (N'oubliez pas de considérer le décalage de 100 ms en début de simulation)

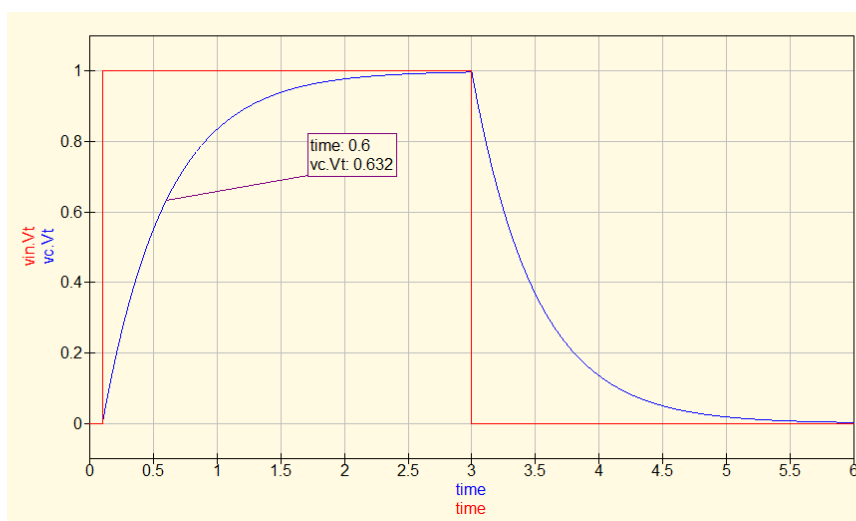


Figure 15.5: Simulation transitoire: Charge et Décharge d'un Condensateur

II-2 - Exemple d'utilisation (Extrait du TP2 : Circuits « RC » Intégrateur).

II-2-1 Dessin du schématique :

Le circuit RC de la Figure 15.6 est étudié en Travaux Pratiques en régime Transitoire et AC, nous allons l'aborder avec le logiciel de simulation

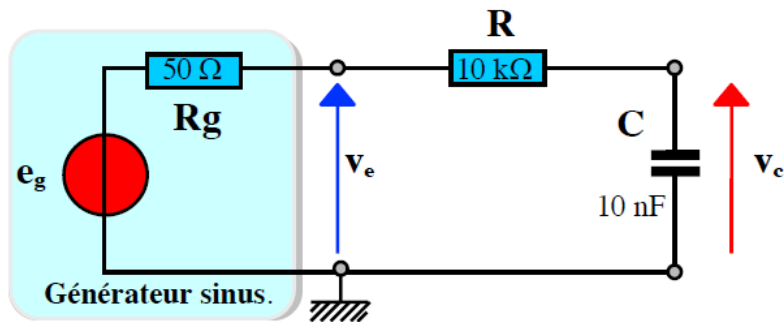





Figure 15.6 : Circuit « RC intégrateur »

- Créez un nouveau projet : Menu *Projet* → *Nouveau projet...* ou bien *Ctrl+Shift+N* et nommez-le.
- Dans l'onglet « *Composants* », sélectionnez « *lumped components* » dans la liste déroulante : et placez les éléments passifs du circuit (résistances, condensateur).
- Sélectionnez « *Sources* » dans la liste déroulante et placez la source d'alimentation alternative.
- Faites double-clic sur chaque composant et modifiez ses paramètres.
- Dans la barre d'outils, sélectionnez  et placez la masse dans votre circuit.
- Dans la barre d'outils, sélectionnez  et reliez vos composants avec des fils.
- Dans la barre d'outils, sélectionnez  et nommez les nœuds: v_e et v_c .
-

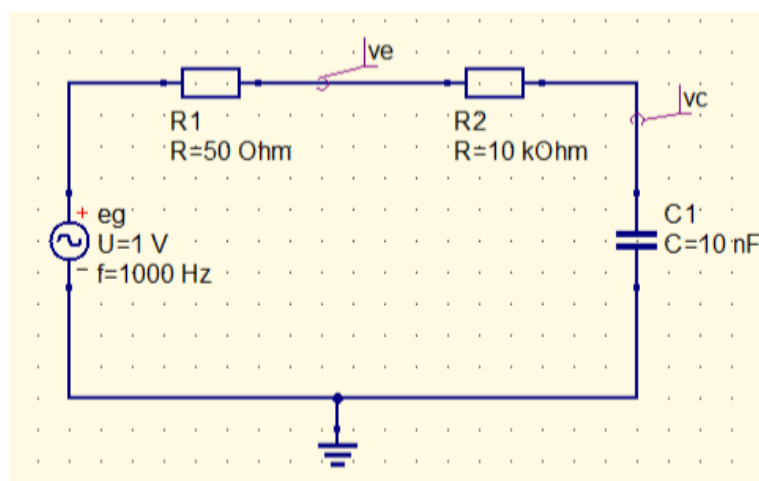


Figure 15.7 : Circuit de Simulation « RC Intégrateur »

II-2-2 Simulation Temporelle :

- Sélectionnez « Simulations » dans la liste déroulante et placez un objet de type « Simulation en régime transitoire ». Modifiez ses paramètres de manière à simuler quelques périodes de la tension « eg ». Assurez-vous d'avoir suffisamment de points de simulation en rajustant le « pas ».

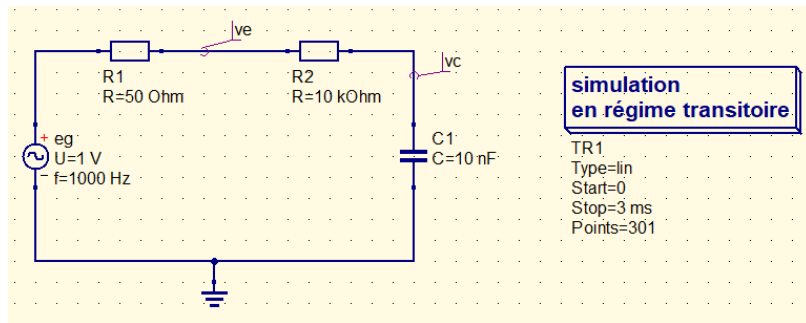



Figure 15.8 : Schématique Simulation Temporelle

- Lancez la simulation : Menu Simulation → Simuler ou bien appuyez sur F2. Nommez et enregistrez votre schématique.
- Dans le nouveau fichier « .dpl » venant de s'ouvrir, sélectionnez « Diagrams » dans la liste déroulante et placez un diagramme de type « Cartésien ». Ajoutez au diagramme les variables transitoires « ve.Vt » et « vc.Vt ».
- Pour relever les points vous permettant de tracer votre diagramme de Bode : dans la barre d'outils, sélectionnez  et placez des marqueurs. Ajustez leur position avec les flèches de votre clavier.

Voici le diagramme de type « Cartésien » résultant :

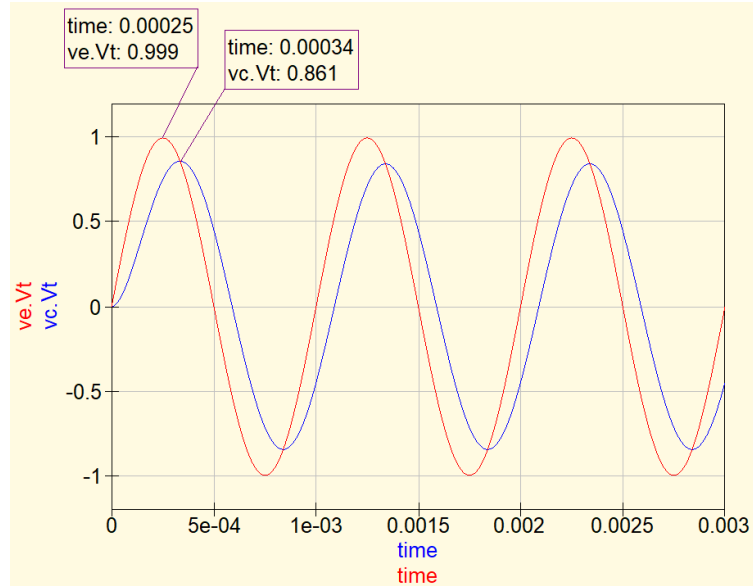



Figure 15.9 : Simulation temporelle du circuit « RC intégrateur »

- En faisant varier la fréquence dans votre schématique, vous pouvez relever les points de simulation pour différentes valeurs de fréquence et tracer votre diagramme de Bode dans un logiciel de type classeur.

II-2-3 Simulation AC

- Dans un nouveau schématique (Menu Fichier → Nouveau), redessinez (ou bien faites un copier-coller) votre circuit de départ de la Figure 2.
- Sélectionnez « Simulations » dans la liste déroulante et placez un objet de type « Simulation en régime sinusoïdal ». Modifiez ses paramètres afin d'avoir un balayage de type logarithmique allant de 10 Hz jusqu'à 100 kHz avec 25 points par décade.
- Dans la barre d'outils, sélectionnez  et placez un objet de type « équation ».
- Modifiez les paramètres de l'objet de type « équation » comme suit :

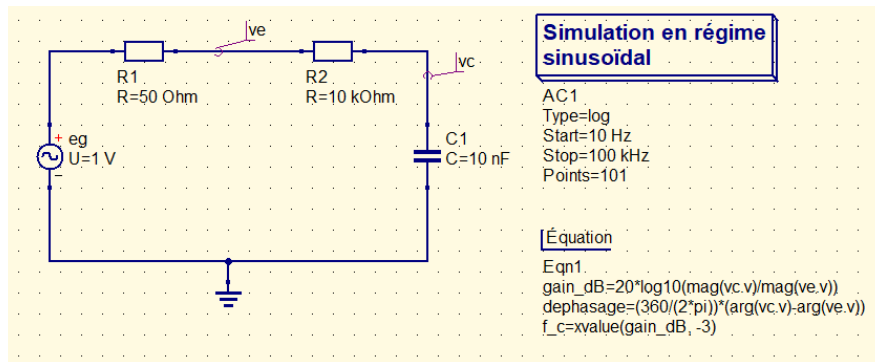


Figure 15.10 Schématique Simulation AC

L'équation « $\text{gain_dB} = 20 \cdot \log_{10}(\text{mag}(\text{vc.v})/\text{mag}(\text{ve.v}))$ » calcule le gain en dB en faisant le rapport du module de la tension de sortie par rapport au module de la tension d'entrée.

L'équation « $\text{dephasage} = (360/(2 \cdot \pi)) \cdot (\text{arg}(\text{vc.v}) - \text{arg}(\text{ve.v}))$ » calcule le déphasage en degrés de la tension de sortie par rapport à la tension d'entrée en faisant la différence de leurs arguments.

L'équation « $\text{f_c} = \text{xvalue}(\text{gain_dB}, -3)$ » recherche la valeur x la plus proche (dans ce cas la fréquence) où gain_dB s'approche de -3 dB.

- Lancez la simulation : Menu Simulation → Simuler ou bien appuyez sur F2. Nommez et enregistrez votre schématique.
- Dans le nouveau fichier « .dpl » venant de s'ouvrir, sélectionnez « Diagrams » dans la liste déroulante et placez deux diagrammes de type « Cartésien » pour représenter le gain en dB et le déphasage en degré en échelle logarithmique. Placez un diagramme de type « Tableau » pour afficher la fréquence de coupure.

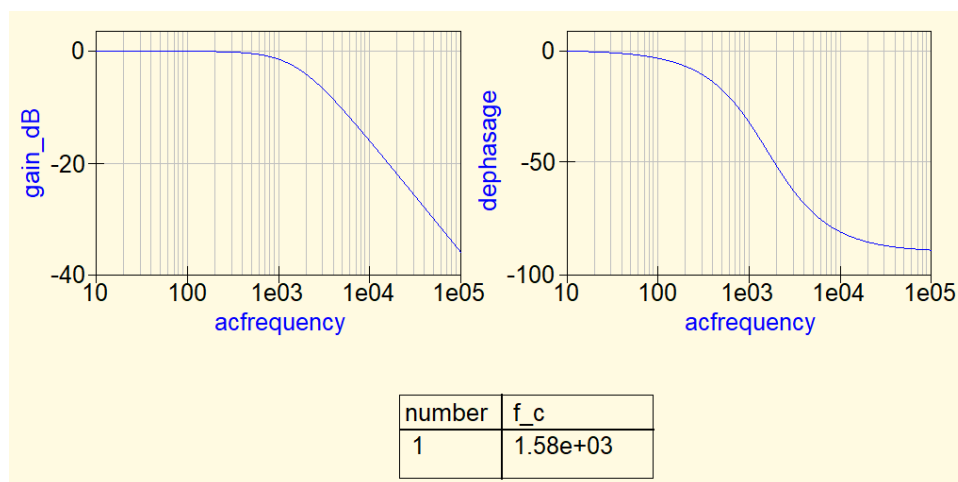


Figure 15.11 : Simulation AC du circuit « RC intégrateur »

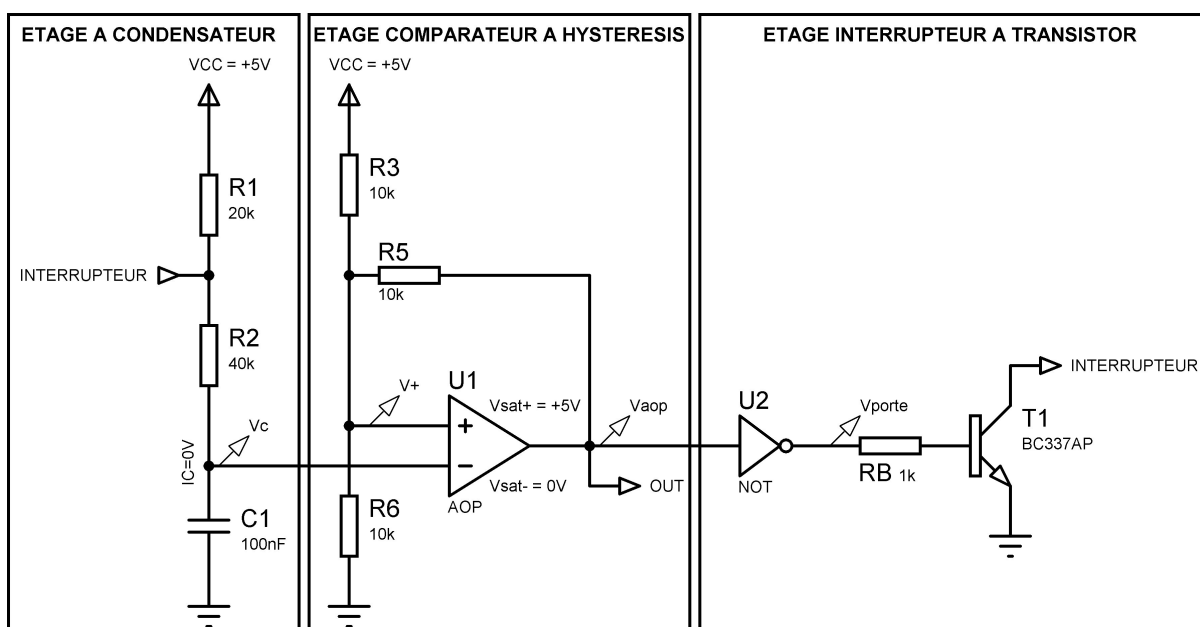
15b Condensateur
Charge et décharge à courant non constant
Montage astable

Dans ce TD, on se propose d'étudier le principe de charge et de décharge à courant non constant d'un condensateur, d'en déterminer l'évolution temporelle dans sa tension.

I. Schéma électrique du montage à étudier

Le montage à étudier est le suivant, il est constitué de 3 étages :

- Etage à condensateur et résistance
- Etage comparateur à hystérésis avec seuil à $1/3 \cdot V_{CC}$ et $2/3 \cdot V_{CC}$
- Etage interrupteur à transistor (en régime bloqué ou saturé)



II. Loi du condensateur et expressions

- 1) Rappeler la loi fondamentale du condensateur.
- 2) De cette loi découle l'expression temporelle de l'évolution de la tension d'un condensateur. Rappeler l'expression de la tension d'un condensateur lors de sa charge (ou décharge) à courant constant.
- 3) Rappeler les expressions de la tension et du courant d'un condensateur lors de sa charge (ou décharge) à courant non-constant via un générateur imparfait.

III. ETAPE 1 : Charge du condensateur

A la mise sous tension du montage, le condensateur est considéré déchargé ($V_c = 0V$). Dans ce cas où la tension ε de l'AOP est supérieure à $0V$, V_{aop} est alors proche de $5V$, V_{porte} vaut donc $0V$ et le courant de base du transistor est nul. Le transistor se comporte finalement à la mise sous tension du montage comme un interrupteur ouvert.

- 4) Dessiner le montage équivalent de l'étage à condensateur à la mise sous tension.
- 5) Ecrire l'expression de l'évolution de la tension V_c en fonction en temps. (Pour cela, déterminer tout d'abord la valeur $V_{c_initiale}$, V_{c_finale} , et la constante de temps τ_1).
- 6) Tracer l'évolution de cette tension $V_c(t)$ sur la feuille millimétrée n°1. (Faire apparaître les valeurs $V_{c_initiale}$, V_{c_finale} , τ_1 et les points caractéristiques de la courbe exponentielle).

L'évolution de la tension du condensateur va être stoppée avant la fin de sa charge car le comparateur va commuter. Il commutera lorsque la tension ε de l'AOP deviendra inférieure à $0V$ et donc lorsque V_c deviendra supérieure à $V_{c1}=3,33V$ (tension correspondant au seuil hystérésis haut de l'étage comparateur).

- 7) Déterminez mathématiquement à quel instant $t=t_1$ cette commutation se produira. Repérer cette tension $V_{c1}(t_1)$ sur la feuille millimétrée.

IV. ETAPE 2 : Décharge du condensateur

A partir de $t=t_1$, la tension ε de l'AOP est maintenant devenue inférieure à $0V$, V_{aop} est alors proche de $0V$, V_{porte} vaut donc $5V$ et le courant de base du transistor est devenu non-nul. Le transistor se comporte maintenant comme un interrupteur fermé.

- 8) Dessiner le montage équivalent de l'étage à condensateur dans ce nouvel état de fonctionnement.
- 9) Ecrire l'expression de l'évolution de la tension V_c en fonction en temps en considérant que l'origine des temps est maintenant en $t=t_1$. (Pour cela, déterminer avant tout la valeur $V_{c_initiale}$, V_{c_finale} , et la constante de temps τ_2).
- 10) Tracer l'évolution de cette tension $V_c(t)$ sur la feuille millimétrée à partir de $t=t_1$. (Faire apparaître les valeurs $V_{c_initiale}$, V_{c_finale} , τ_2 et les points caractéristiques de la courbe exponentielle).

L'évolution de la tension du condensateur va être stoppée avant la fin de sa décharge car le comparateur va à nouveau commuter. Il commutera lorsque la tension ε de l'AOP deviendra supérieure à $0V$ et donc lorsque V_c deviendra inférieure à $V_{c2}=1,67V$ (tension correspondant au seuil hystérésis bas de l'étage comparateur).

- 11) Déterminez mathématiquement à quel instant $t=t_2$ cette commutation se produira. Repérer cette tension $V_{c2}(t_2)$ sur la feuille millimétrée.

V. ETAPE 3 : Recharge du condensateur

A partir de $t=t_2$, la tension $\varepsilon > 0$; $V_{aop} = 5V$; $V_{porte} = 0V$. Le transistor se comporte alors comme un interrupteur ouvert.

12) Dessiner le montage équivalent de l'étage à condensateur dans ce nouvel état de fonctionnement.

13) Ecrire l'expression de l'évolution de la tension $V_c(t)$ en considérant que l'origine des temps est maintenant en $t=t_2$. (Déterminer avant tout : $V_{c_initiale}$, V_{c_finale} , et τ_3).

14) Tracer l'évolution de cette tension $V_c(t)$ sur la feuille millimétrée. (Faire apparaître les valeurs $V_{c_initiale}$, V_{c_finale} , τ_3 et les points caractéristiques de la courbe exponentielle).

L'évolution de la tension du condensateur va être stoppée avant la fin de sa recharge car le comparateur va commuter. Il commutera lorsque la tension ε de l'AOP deviendra inférieure à $0V$ et donc lorsque V_c deviendra supérieure à $V_{c1}=3,33V$.

15) Déterminez mathématiquement à quel instant $t=t_3$ cette commutation se produira. Repérer cette tension $V_{c1}(t_3)$ sur la feuille millimétrée.

VI. ETAPE 4 : Re-décharge du condensateur

16) Cette nouvelle étape correspond-elle rigoureusement à 1 des 3 étapes réalisées précédemment ? Laquelle ?

17) Tracer l'évolution de cette tension $V_c(t)$ sur la feuille millimétrée à partir de t_3 jusqu'à la prochaine commutation ($t=t_4$).

VII. ETAPE 5 : Re-recharge du condensateur

18) Cette nouvelle étape correspond-elle rigoureusement à 1 des 4 étapes réalisées précédemment ? Laquelle ?

19) Tracer l'évolution de cette tension $V_c(t)$ sur la feuille millimétrée à partir de t_4 jusqu'à la prochaine commutation ($t=t_5$).

20) A partir de $t=t_1$, que pouvons-nous constater de l'évolution de $V_c(t)$? Période ?

VIII. Simulation et analogie avec le NE555

21) Simuler le montage sous Isis à l'aide du fichier fourni. Retrouver l'évolution de V_c tracée sur feuille millimétrée. Tracer également l'évolution du courant dans le condensateur par simulation.

Pour les étudiants les plus rapides

22) Vous venez de créer un NE555. Les étages « comparateur à hystérésis » et « interrupteur à transistor » sont les constituants internes du NE555. Il existe également dans le NE555 une entrée RESET qui désactive la charge du NE555. Modifier le schéma électrique afin d'y faire apparaître l'entrée RESET qui jouera le même rôle que dans un NE555.

16 Charge et décharge d'une self inductance

On considère le montage de la figure 16.1 qui utilise :

- Une diode **D** supposée idéale (tension de seuil et résistance série nulles)
- Une self **L** de **15 mH** qui représente le circuit de commande d'un relais électromagnétique.
- Un transistor NPN travaillant en mode bloqué (I_B nul) ou saturé (courant de base $I_{B\text{ sat}} \gg I_C/\beta$) par l'intermédiaire d'un interrupteur de commande **K**. Le fonctionnement du transistor en « bloqué saturé » conduit à le simuler en première approximation comme un interrupteur placé entre collecteur et émetteur.

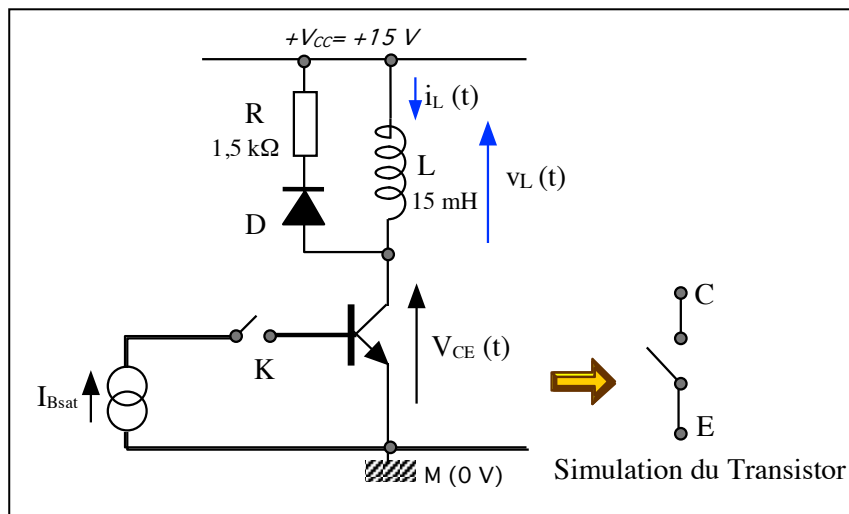


Figure 16.1

- 1) La self-inductance étant déchargée, à l'instant $t = 0$, on ferme l'interrupteur **K**. Le transistor est alors saturé et se comporte comme un court-circuit entre **C** et **E**.
 - a. Justifier l'état dans lequel se trouve la diode **D**.
 - b. Déterminer l'expression du courant $i_L(t)$ qui circule dans la self. Calculer le temps t_1 au bout duquel $i_L(t_1) = 100\text{mA}$.
 - c. Dessiner les graphes du courant $i_L(t)$, $v_L(t)$ et de la tension $v_{ce}(t)$ du transistor.
- 2) A l'instant t_1 , nouvelle origine du temps, on ouvre l'interrupteur **K**, le transistor se bloque.
 - a. Quel est le rôle de la diode **D** (faire un schéma et justifier) ?
 - b. Déterminer l'expression du courant $i_L(t)$ ainsi que celle de $v_L(t)$ et $v_{ce}(t)$.
 - c. Dessiner les graphes.
- 3) On a choisi un transistor dont la tension de claquage V_{BCE} est de **50V**. Que se passe-t-il ? Est-il nécessaire de choisir un transistor ayant une tension de claquage plus importante ou bien a-t-on possibilité de modifier le montage ?

17 Circuit à Retard de Phase

Le schéma du montage RC à retard de phase est donné en figure 1 où la tension v_e est sinusoïdale

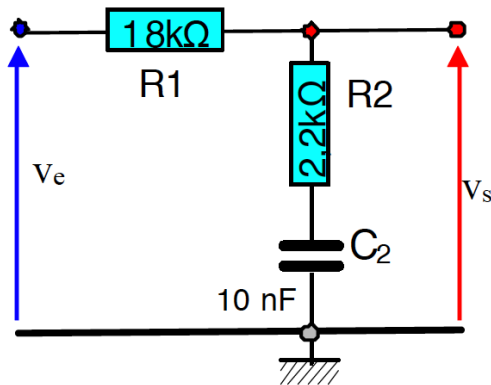


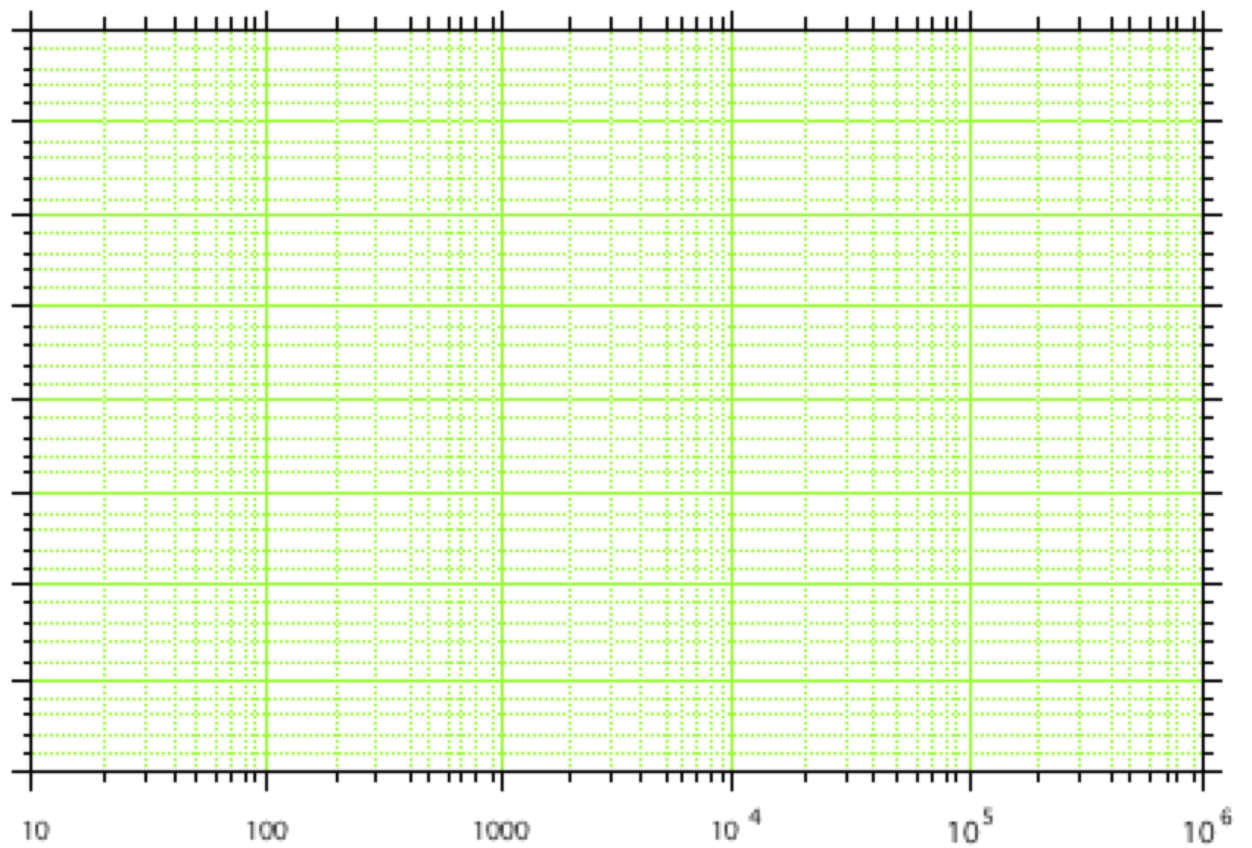
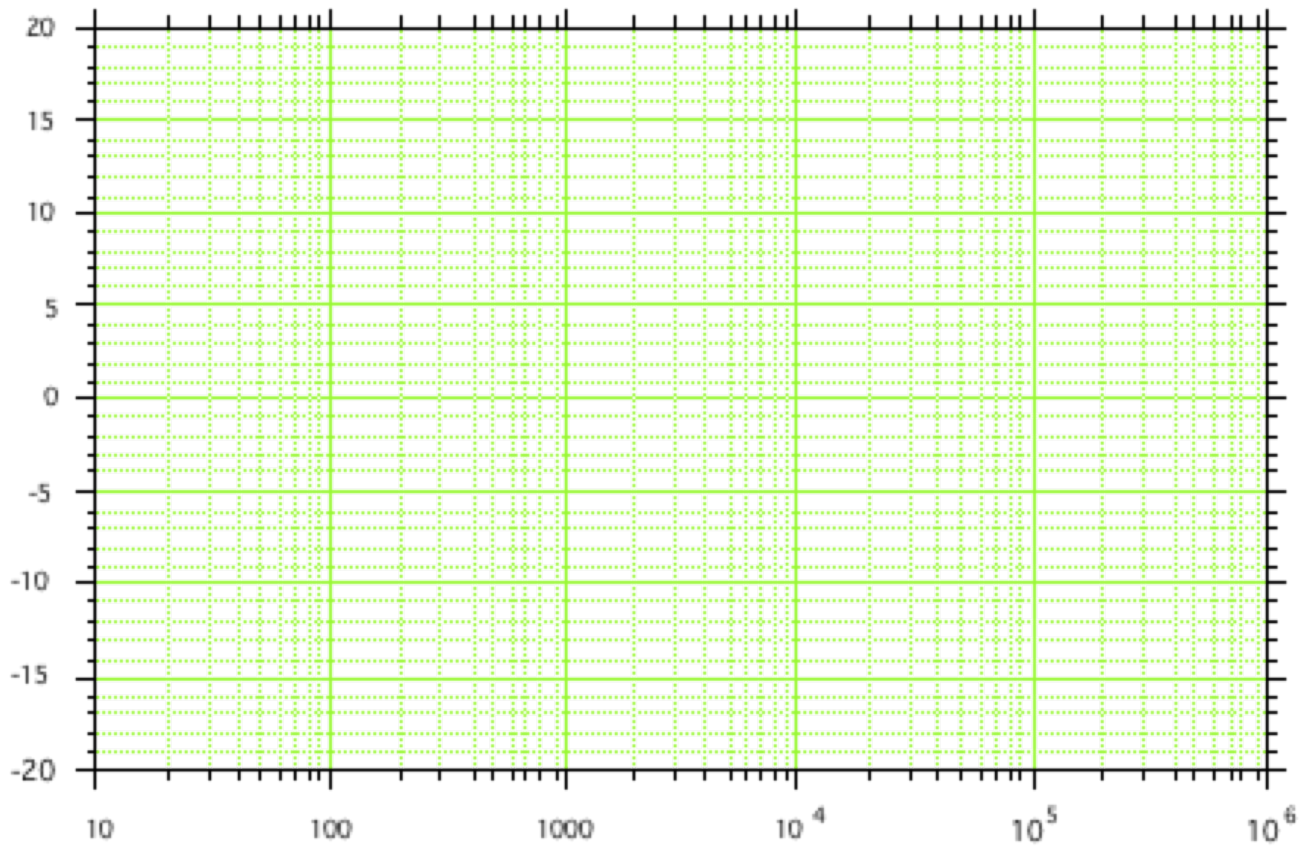
Figure 1 : Représentation schématique du montage RC à retard de phase

- 1) Exprimer la fonction de transfert $T(\omega) = \frac{v_s}{v_e}$, en sachant que :
 $Z_{R_1}(\omega) = R_1$; $Z_{R_2}(\omega) = R_2$ et $Z_{C_1}(\omega) = \frac{1}{jC_1\omega}$

- 2) Sachant que $\omega = 2\pi f$, montrer que l'expression de la fonction de transfert du montage s'exprime selon :

$$T(f) = \frac{v_s}{v_e} = \frac{1 + j\frac{f}{f_{c1}}}{1 + j\frac{f}{f_{c2}}}$$

- 3) Donner les expressions des constantes de temps τ_1 et τ_2 ainsi que celle des fréquences de coupures f_{c1} et f_{c2} à -3dB.
- 4) Déterminer l'expression du module de la fonction de transfert $|T(f)|_{dB}$ exprimé en Décibels ainsi que son argument $\phi(f)$.
- 5) Tracer sur les papiers semi-logarithmiques, le graphe asymptotique de Bode des fonctions élémentaires et en déduire, par addition, le graphe asymptotique du module et de l'argument de la fonction de transfert du circuit à retard de phase.



18 Etude de la réponse en fréquence d'un étage amplificateur

Nous avons recherché les performances d'un étage amplificateur en nous plaçant aux fréquences moyennes où les capacités de liaisons étaient considérées comme des impédances très faibles. Dans ces conditions, le gain en tension du montage est indépendant de la fréquence et la courbe de réponse présente un « plateau ». Si on se place maintenant aux basses fréquences, l'impédance des condensateurs de liaisons doit être prise en compte et le gain du montage est dépendant de la fréquence.

La figure 1 représente le schéma permettant de faire cette étude. On notera que l'étage amplificateur est représenté sous sa forme simplifiée ou de synthèse avec : R_e , A_{v0} , R_s (si les résistances d'entrée R_e et de sortie R_s sont respectivement indépendantes de R_u et R_g).

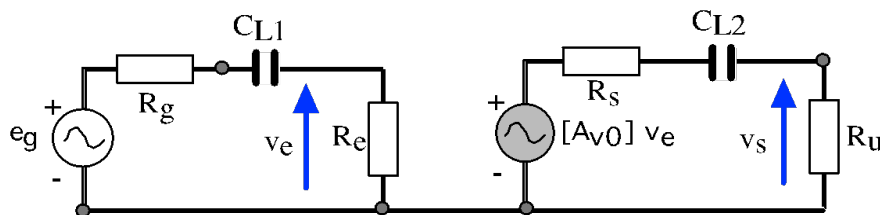


Figure 1

1° PARTIE : ANALYSE ET GRAPHE ASYMPTOTIQUE DE BODE

- 1) Montrer que l'expression du gain du montage complet, aux basses fréquences, se met sous la forme :

$$\frac{v_s}{e_g} = \left[\frac{v_s}{e_g} \right]_{\text{fréq moy}} \left[\frac{1}{1 - j \frac{f_{ce}}{f}} \right] \left[\frac{1}{1 - j \frac{f_{cs}}{f}} \right]$$

$$\left[\frac{v_s}{e_g} \right]_{\text{fréq moy}} = A_{v0} \frac{R_e R_u}{(R_g + R_e)(R_s + R_u)} \quad f_{ce} = \frac{1}{2\pi(R_g + R_e)C_{L1}} \quad f_{cs} = \frac{1}{2\pi(R_s + R_u)C_{L2}}$$

f_{ce} et f_{cs} sont les fréquences de coupure à - 3dB de l'entrée et de la sortie du montage.

Cette expression permet l'étude de la réponse en fréquence de l'étage amplificateur par l'intermédiaire du graphe asymptotique de Bode qui représente l'évolution en fonction de la fréquence :

- Du module du gain du montage complet : v_s / e_g exprimé en décibels
- Du déphasage Φ de v_s par rapport à e_g .

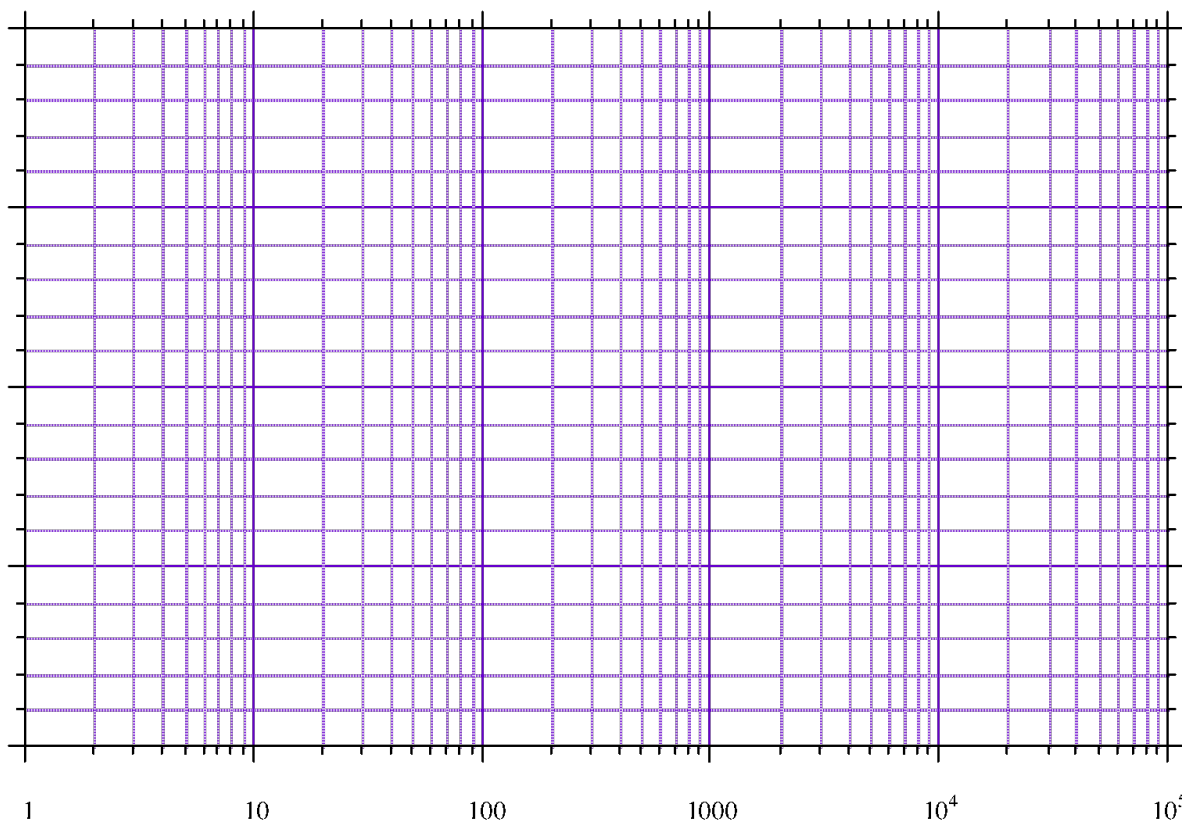
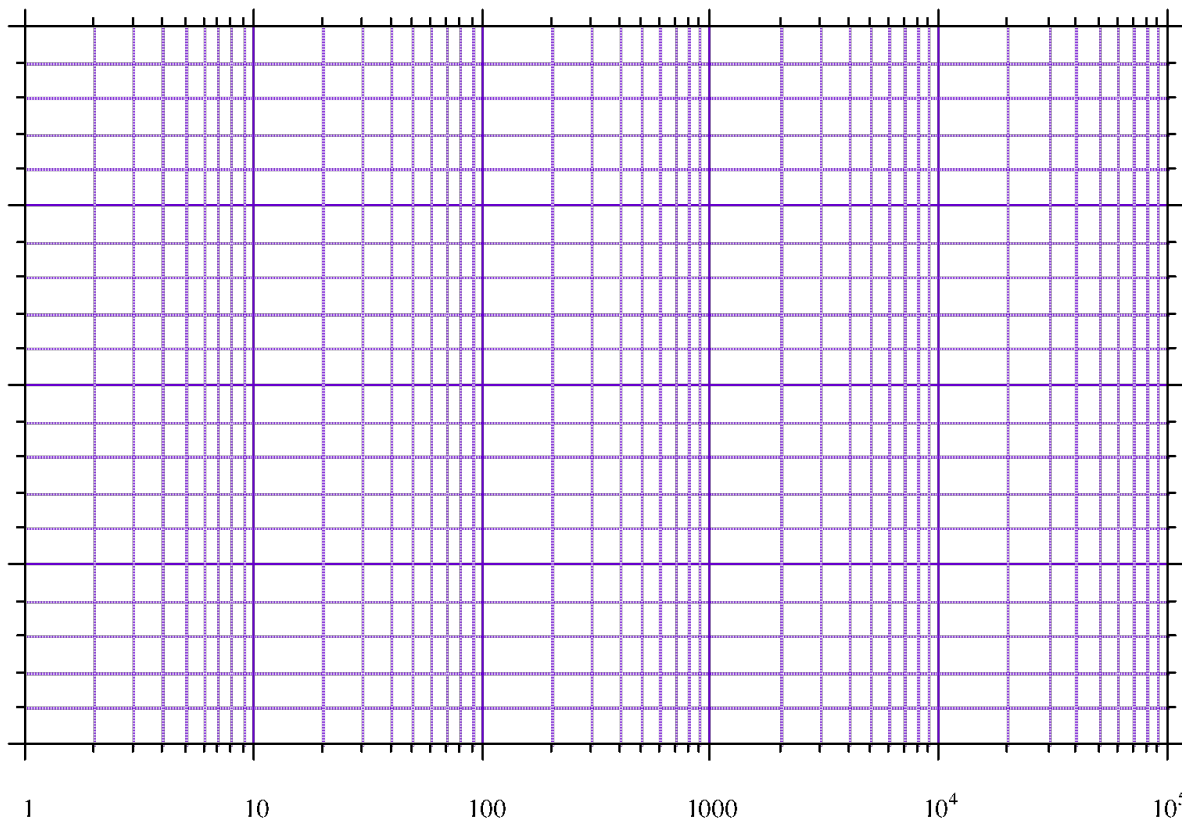
2) On donne : $R_g = 1\text{k}\Omega$, $R_e = 600\Omega$, $A_{V0} = -160$, $R_s = 1\text{k}\Omega$ et $R_u = 1\text{k}\Omega$.

A titre d'exemple, sachant que l'on a choisi :

- $C_{L1} = 1 \mu\text{F}$ donnant : $f_{ce} = 100 \text{ Hz}$
- $C_{L2} = 27 \text{ nF}$ conduisant à : $f_{cs} = 3 \text{ kHz}$

Tracer sur du papier semi-logarithmique 5 modules, le graphe asymptotique de Bode de l'étage amplificateur. En déduire la fréquence de coupure à - 3 dB du montage ?

3) Simuler le circuit de la figure 1 à l'aide du Logiciel QUCS (distanciel) ou ISIS (présentiel) et comparer le résultat de simulation avec votre précédent tracé asymptotique.



2° PARTIE : SYNTHÈSE ET CALCUL DES CAPACITÉS DE LIAISONS

Pour calculer la valeur des condensateurs de liaisons, il faut se fixer, aux très basses fréquences, une valeur de l'atténuation A_t en dB du gain $|v_s/e_g|$ par rapport aux fréquences moyennes où la courbe de réponse présente une zone de plateau (figure 2).

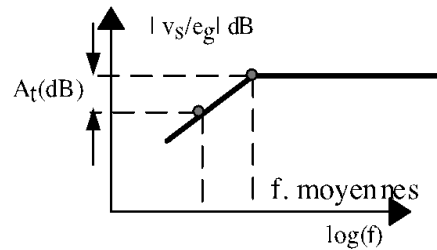


Figure 2

- 1) Quelle est l'expression de l'atténuation A_t (dB) ?

- 2) En déduire la valeur à donner aux condensateurs de liaisons C_{L1} et C_{L2} pour que cette atténuation à la fréquence de 500 Hz soit globalement égale à -3 dB. A cet effet, on supposera par exemple que les circuits RC d'entrée et de sortie apportent chacun une atténuation de -1,5 dB.

19 Etude du montage dérivateur en régime variable

- 1) Quelle relation lie le courant i_C et la tension U_C dans un condensateur ?
- 2) On considère le schéma de la figure 1. L'amplificateur opérationnel est idéal. On donne $R = 10 \text{ k}\Omega$ et $C = 10 \text{ nF}$. Dans quelle mode (linéaire ou comparateur) l'AoP fonctionne-t-il ici ?
- 3) Quelle relation lie V_e et U_C dans ce montage ; quelle relation lie V_s et i_C ?

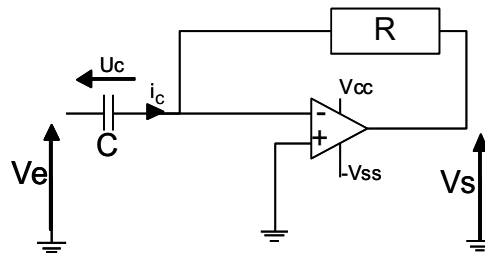
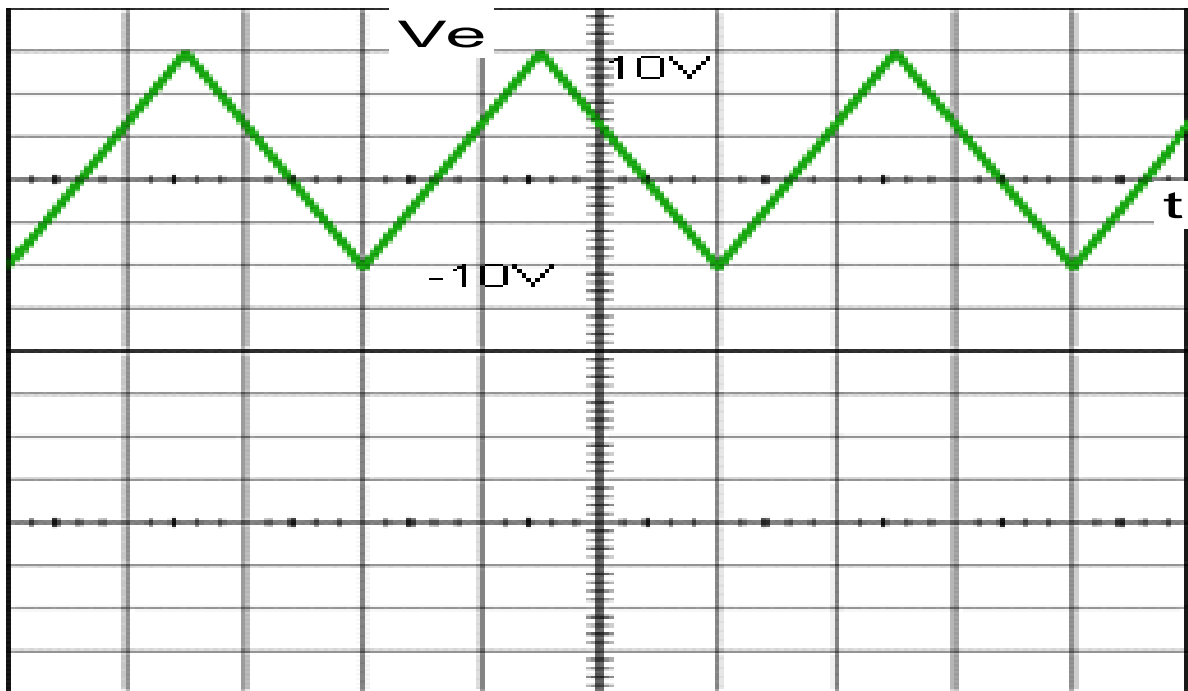


Figure 1 : Montage dérivateur

- 4) En déduire que $V_s(t) = -RC \frac{dV_e}{dt}$
- 5) On applique à l'entrée une tension V_e de forme triangulaire, d'amplitude 20 V crête à crête, et de période 2 ms (graphe donné ci-dessous). Déterminer $\frac{dV_e}{dt}$ puis tracer en concordance des temps la tension de sortie V_s en indiquant les valeurs remarquables.



6) Chronogrammes

7) Ce circuit est maintenant attaqué par une tension sinusoïdale de faible amplitude, et dont les fréquences peuvent varier de 0 à 1MHz. En utilisant les impédances complexes, donner la fonction de transfert de ce circuit.

8) Tracer le diagramme de Bode, en amplitude, et en phase, de ce montage. Comment qualifieriez-vous la fonction ainsi réalisée ?