

Session S3 du programme de génie électrique
Département de génie électrique et de génie informatique
Faculté de génie, Université de Sherbrooke
Sherbrooke, Québec, Canada, J1K 2R1

Unité d'APP1 :

Électronique et physique I

Automne 2008

Note : En vue d'alléger le texte, la forme masculine est utilisée pour désigner les femmes et les hommes.

Version originale par Jaouhar Mouine avec Nicolas Bégin, modifiée par Jacques Beauvais.

Révision par Serge Charlebois.

Document : S3eA2008_APP1_guide_etudiant_20080824.doc

Version : 2008-08-26 21:26:00

Tous droits réservés

© Département de génie électrique et de génie informatique, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada

On ne peut reproduire ni diffuser aucune partie du présent ouvrage, sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit, sans avoir au préalable obtenu l'autorisation écrite du détenteur de copyright.

1 Énoncé de la problématique

Vous êtes ingénieur d'électronique et vous travaillez dans une situation à inventaire limité sur un navire; c'est-à-dire que vous êtes dans une situation où vous ne pouvez pas commander de pièces, et vous devez résoudre tout problème rencontré avec ce que vous avez en mains.

Au cours d'une tempête violente, un système de sonar est endommagé. Après une recherche rapide dans la documentation technique du fabricant de l'appareil, vous constatez que le système en panne est composé de trois blocs principaux tel que montré à la figure 1. Un émetteur envoie une onde ultrasonique vers le fond marin, laquelle est réfléchiée puis détectée par le capteur ultrasonique. Le capteur proprement dit possède une impédance de sortie purement résistive de $1\text{ k}\Omega$ et produit un signal dont l'amplitude varie de 0 à $25\text{ mV}_{\text{crête}}$ en fonction de l'amplitude du signal de l'émetteur et de l'atténuation par le milieu de transmission (l'eau de mer dans ce cas-ci). La fréquence de ce signal varie entre 100 Hz et 100 kHz. Le système de traitement numérique possède une impédance d'entrée purement résistive de $4.3\text{ k}\Omega$ et interprète un signal proportionnel à celui qui est produit par le sonar d'amplitude 0 à $500\text{ mV}_{\text{crête}}$ sur la même plage de fréquence. Par le biais d'un logiciel spécialisé, il produit une image du fond marin à l'écran. Le préamplificateur d'entrée amplifie donc le signal du capteur de manière à le rendre utilisable par le système de traitement numérique.

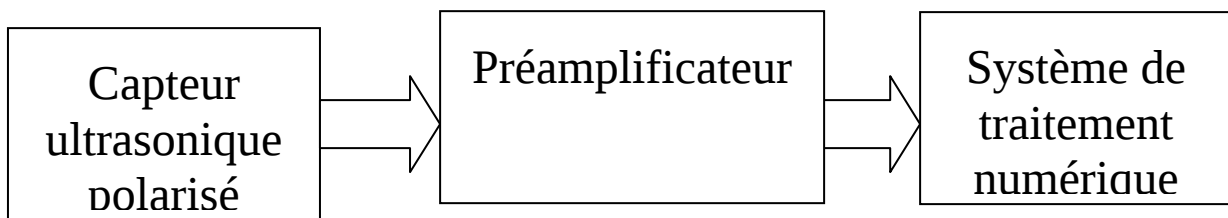


Figure 1 : Schéma bloc simplifié du sonar

Vous avez identifié le préamplificateur comme étant la source de la défaillance. Vous devez donc en déterminer les caractéristiques et trouver une solution de remplacement. L'inventaire des pièces électroniques dont vous disposez se résume principalement à quelques composants passifs, ainsi que des pièces se retrouvant dans de vieux appareils. Parmi ceux-ci, un ancien système d'interphone attire votre attention. Ce système est monté sur deux cartes distinctes. La première est reliée à un microphone qui d'après les indications sur la carte produit un signal d'amplitude $100\text{ mV}_{\text{crête}}$ et possède une résistance interne de $100\text{ }\Omega$. La deuxième carte est reliée à la première et semble être un étage de puissance puisqu'on y retrouve des dissipateurs de chaleur. Cette carte est reliée à un haut-parleur qui, d'après les indications qui y sont inscrites, présente une résistance de $8\text{ }\Omega$ et devrait être alimenté par un signal d'environ $1\text{ V}_{\text{crête}}$. Après l'examen des deux cartes, vous avez pu déterminer que le circuit en question est celui illustré à la figure 2.

En tenant compte des caractéristiques de l'amplificateur que vous devez mettre au point et sachant les caractéristiques des différentes configurations des amplificateurs à transistors, vous vous questionnez sur l'utilité de la carte comportant l'étage de puissance. Vous procédez également à une analyse du circuit implémenté sur la première carte en utilisant le modèle à transconductance simplifié des transistors, afin de déterminer s'il peut mener à une solution raisonnable. Les résultats d'analyse démontrent que seul le remplacement du microphone par le capteur du sonar pourrait causer un problème et nécessiter des modifications majeures.

Cependant, en vous basant sur vos connaissances des principes de fonctionnement physique des différents types de transistors, vous vous rendez compte que ce problème pourrait être surmonté en disposant d'un transistor d'une autre technologie, possédant de meilleures caractéristiques d'entrée. À ce moment, vous vous rappelez que vous disposez, dans un vieux kit d'entretien, d'un transistor à grille isolée qui peut convenir à vos besoins. Vous trouvez inscrit sur le petit sac contenant ces transistors « BS170, $k=0.3 \text{ A/V}^2$ » et vous trouvez aussi ses fiches techniques. Avec ces données, vous êtes convaincu que quelques modifications mineures sur le circuit de la carte permettront de rencontrer les spécifications désirées. Vos convictions sont renforcées par le fait que le préamplificateur du sonar et l'interphone fonctionnent tous deux à la même tension d'alimentation de 12 V C.C.

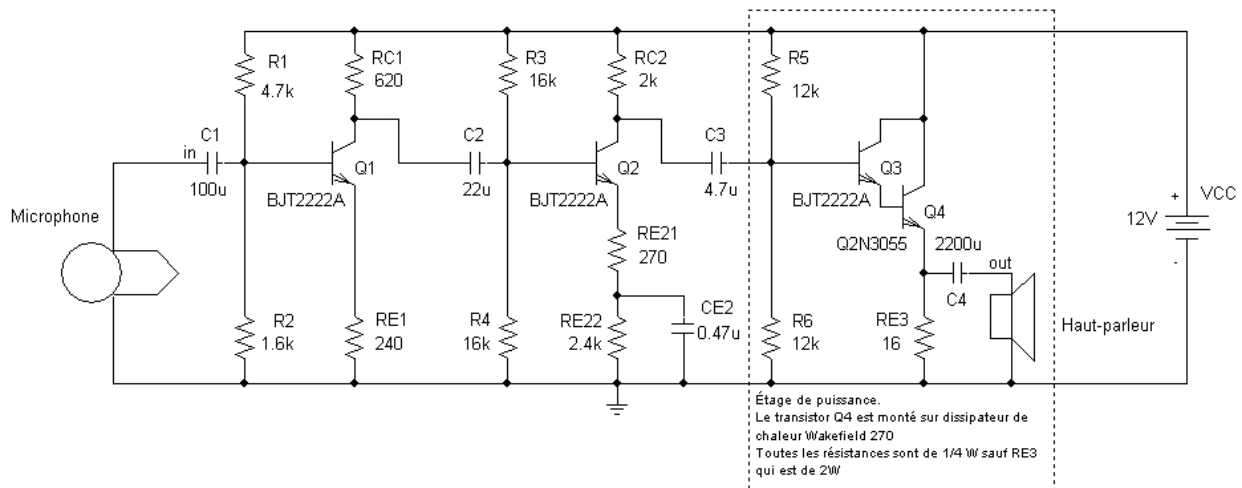


Figure 2 : Circuit d'amplification de l'intercom

Vous préparez donc un résumé des modifications à faire qui permettront de proposer une solution viable dans un délai raisonnable.

2 Éléments de compétences visés par l'unité

GEL-311 – Physique des semi-conducteurs II

1. Justifier l'allure des caractéristiques v-i des dispositifs électroniques d'après leurs principes de fonctionnement physique.
2. Identifier une technologie appropriée selon l'application et les critères de conception d'un circuit électronique.

GEL-320 – Électronique analogique

1. Identifier, analyser, concevoir et simuler des circuits électroniques pour l'amplification des signaux.
2. Identifier, analyser, simuler et appliquer des techniques de conception électroniques permettant d'améliorer et d'adapter les performances des circuits aux applications spécifiques.
3. Identifier, analyser, concevoir et simuler des circuits de génération et de conditionnement de signaux.

GEL 350 – Éléments de statistiques

1. Appliquer des éléments de mathématiques statistiques dans l'évaluation des systèmes électriques et électroniques.

GEL-361 – Phénomènes d'échange de chaleur

1. Appliquer les notions d'échange de chaleur au refroidissement des dispositifs et des systèmes électroniques.

3 Connaissances nouvelles à acquérir par la résolution de cette problématique

Connaissances déclaratives : QUOI

- Principe de fonctionnement physique des transistors faibles signaux basses fréquences (structure physique, modes d'opération, relations courant-tension en mode actif)
- Caractéristiques v-i des transistors faibles signaux basses fréquences
- Points d'opération des transistors faibles signaux basses fréquences
- Modèles des transistors faibles signaux basses fréquences
- Polarisation des transistors dans les amplificateurs faibles signaux basses fréquences
- Caractéristiques des amplificateurs faibles signaux basses fréquences
- Configurations de base des amplificateurs faibles signaux basses fréquences
- Réponses en fréquences des amplificateurs faibles signaux basses fréquences
- Mesures de tendance centrale et de dispersion (statistiques)

Connaissances procédurales : COMMENT

- Choisir un modèle de transistor pour une application spécifique
- Polariser un transistor dans une région d'opération spécifique
- Déterminer les paramètres du modèle d'un transistor pour un point d'opération donné
- Déterminer le point d'opération d'un transistor dans un circuit
- Concevoir un circuit de polarisation d'un transistor dans un circuit à composants discrets
- Déterminer les caractéristiques d'un amplificateur à transistor
- Estimer la réponse en fréquence d'un amplificateur à transistor
- Utiliser un logiciel pour analyser un circuit à transistor
- Calcul de la puissance dissipée par les composantes d'un circuit

Connaissances conditionnelles : QUAND

- Utiliser un modèle spécifique d'un transistor
- Considérer le modèle simplifié pour un transistor
- Utiliser un transistor selon ses caractéristiques pour une application spécifique
- Utiliser une configuration spécifique d'un amplificateur à transistor
- Utiliser un logiciel de conception assistée par ordinateur
- Identifier le potentiel de surchauffe de certains éléments d'un circuit

4 Références

Références essentielles à consulter

- « **Microelectronic Circuits** », A.S. Sedra et K.C. Smith, Oxford University Press, 2004, 1283 pages, ISBN 0-19-514251-9.
 - **Partie I:**
 - Chapitre 5 – sections 5.1, 5.2 (jusqu'à la sous-section 5.2.3 incluse), 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 (87 pages)
 - Chapitre 1 – section 1.7.6
 - **Partie II :**
 - Chapitre 4 – sections 4.1, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6, 4.7, 4.11 (77 pages)
 - Chapitre 5 – sous-section 5.9
 - appendice E (18 pages)
- « **Probabilités et statistique : Avec applications en technologie et ingénierie** », G. Baillargeon, SMG, 2003, ISBN 2-89094-137-X.
 - Chapitre 3 (21 pages)

Séquence d'étude suggérée :

- Pour le mercredi de la 2^e semaine, il faut avoir lu les sections listées en partie I.
- Pour le lundi de la 3^e semaine, il faut maîtriser tous les chapitres décrits ci-haut.
- Vous devez travailler les exercices liés à ces sections.

5 Sommaire des activités liées à la problématique

- 1^{ière} rencontre de tutorat ;
- Étude personnelle et exercices : étude des sujets issus des objectifs d'étude du tutorat ;
- Formation à la pratique procédurale : problèmes liés aux principes physiques de base et à la modélisation des dispositifs;
- Formation à la pratique en laboratoire : exercices de simulation en appui aux concepts étudiés.
- Rédaction de la première partie du rapport de l'APP.
- Remise de la première partie du rapport de l'APP.
- Étude personnelle et exercices : sujets issus des objectifs d'étude du tutorat ;
- Formation à la pratique procédurale : problèmes liés à la conception des amplificateurs, à la réponse en fréquence et aux amplificateurs relativement complexes;
- Validation pratique des éléments de solution ;
- Rédaction de la deuxième partie du rapport de l'APP ;
- 2^{ième} rencontre de tutorat : validation des connaissances acquises ;
- Remise de la deuxième partie du rapport de l'APP et du schéma de concepts ;
- Évaluation formative ;
- Évaluation sommative.

6 Productions à remettre (individuelles)

- Première partie du rapport de l'APP :
 - à remettre le vendredi de la deuxième semaine.
- Deuxième partie du rapport de l'APP :
 - à remettre à la fin de la deuxième rencontre de tutorat.
- Schéma de concepts sur la problématique
 - Illustrer les liens qui relient les concepts suivants dans un schéma de concept :
 - Dispositifs (diode, transistor BJT, transistor MOSFET)
 - Amplificateurs discrets (TOUTES les configurations)
 - Caractéristiques des amplificateurs faibles signaux et basses fréquences.
 - Pour valider tous vos schémas, apportez-les et appliquez-les lors des rencontres de formation à la pratique procédurale et de formation à la pratique en laboratoire.

7 Formation à la pratique procédurale (2^e semaine)

Le but de cette activité est de mettre en pratique les procédures requises pour résoudre les problèmes reliés aux principes physiques de base des dispositifs électronique et à l'analyse, en régime statique et en régime dynamique, des amplificateurs discrets faibles signaux et basses fréquences, utilisant des transistors bipolaires.

Exercices à résoudre dans le livre de référence:

- 5.4, 5.20, 5.21, 5.23, 5.112, 5.79, 5.121, 5.124, 5.135

8 Formation à la pratique en laboratoire (2^e semaine)

Dans cette activité, on collabore par équipe de 2.

Le but de cette activité est de s'initier à la simulation avec le logiciel PSPICE et se familiariser avec :

- La simulation des dispositifs (transistors) pour tracer leurs caractéristiques v-i à partir de leurs modèles SPICE.
- La simulation des circuits pour déterminer les points d'opération des dispositifs utilisés.
- La simulation des circuits pour déterminer les caractéristiques d'un amplificateur en régime dynamique.

Vous n'avez pas de rapport de laboratoire à écrire.

Après avoir complété les exercices qui suivent, vous pouvez débiter la simulation du circuit de la problématique et de sa solution. Vous devrez les compléter avant la période de validation expérimentale de la solution (3^e semaine).

Exercices à réaliser au laboratoire

1. Tracer les courbes caractéristiques i_C - v_{CE} , pour le transistor 2N2222A (voir section 4.2 du livre SPICE).
2. Simuler le circuit de l'exemple 5.11 du manuel de Sedra.
3. Simuler le circuit de la section 4.6 du livre SPICE.
4. En utilisant le même circuit de polarisation que dans la section 4.6 du livre de SPICE, simuler le circuit en configuration base commune avec une charge de $10k\Omega$ et une résistance interne de la source de 50Ω .
5. En utilisant le même circuit de polarisation que dans la section 4.6 du livre de SPICE, simuler le circuit en configuration collecteur commun avec une charge de $1k\Omega$ et une résistance interne de la source de $100k\Omega$.
6. Tracer les courbes caractéristiques i_D - v_{DS} , pour le transistor à effet de champ 2N5457 dans une plage de tension de 0 à 12V pour des tensions v_{GS} allant de 0 à 1.5V par pas de 150mV.
7. Simuler le circuit de la section 5.1.3 de SPICE (qui s'apparente au circuit de l'exemple 4.2 du manuel de Sedra, mais avec une alimentation différente).
8. Simuler le circuit de l'exemple 4.10 du manuel de référence (voir section 5.4.3 de SPICE)
9. Simuler le circuit de la section 7.5 de SPICE afin d'étudier son comportement en fréquence.

9 Formation à la pratique procédurale (3^e semaine)

Le but de cette activité est de mettre en pratique les procédures requises pour :

- résoudre les problèmes reliés à l'analyse, en régime statique et en régime dynamique, des amplificateurs discrets faibles signaux et basses fréquences, utilisant des transistors à effet de champ;
- résoudre des problèmes reliés à la réponse en fréquence des amplificateurs discrets faibles signaux et basses fréquences

Exercices à résoudre dans le livre de référence :

- 5.148, 4.7, 4.12, 4.43, 4.26, 4.75, 4.60, 5.159

10 Validation de la problématique (3^e semaine)

Le but de cette activité est de mettre en pratique votre solution à la problématique :

- Réaliser un montage permettant de mesurer la tension de seuil et la transconductance à $(V_G - V_T) = 0.5V$ du transistor. Consignez vos résultats dans le fichier collectif auprès de l'auxiliaire d'enseignement.
- Réaliser le montage correspondant à votre solution à la problématique, vérifier son fonctionnement et corriger au besoin.

11 Rapport d'APP

Première partie du rapport de l'APP à remettre le vendredi de la première semaine (**maximum 4 pages**, figures en annexe).

- Résumé de la problématique sous forme de schéma bloc (spécifications recherchées).
- Analyse à la main, en régime statique et en régime dynamique, de la partie du circuit de l'intercom retenue pour la solution de la problématique
 - Utilisez une source idéale à l'entrée et considérez la sortie en circuit ouvert.
 - Vous n'avez pas à analyser la bande passante.
 - Estimez r_o (à partir des spécifications) et justifiez le fait que vous pouvez négliger r_o dans vos calculs.
- Les nouvelles caractéristiques du circuit en utilisant le capteur du sonar et la charge éventuelle.
- Justification des modifications du circuit proposées pour arriver à la solution de la problématique.

Deuxième partie du rapport de l'APP à remettre à la fin de la deuxième rencontre de tutorat (**maximum 5 pages**, figures en annexe).

- Solution de la problématique.
- Brève explication de la raison pour laquelle la technologie du nouveau transistor conviendrait mieux à la solution de la problématique en se basant sur sa structure et son principe de fonctionnement physique.
- Résultats de simulation. Fournir ses courbes caractéristiques i-v en spécifiant dessus le point d'opération statique (choisir une fenêtre de visualisation qui contient l'origine et qui montre le point d'opération près du centre de votre graphique).
- Bilan thermique des composants de votre solution, estimez la puissance dégagée par votre circuit et identifiez les composants requérant des tolérances thermiques particulières.
- Résultats pratiques : mesure du gain et de la bande passante.

- Statistiques : calculez la moyenne et l'écart-type de la distribution des caractéristiques des transistors mesurées par toute la classe et identifiez dans quel quartile votre transistor se situe.
- Identification des principales différences avec vos analyses à la main, les simulations et les résultats pratiques et l'origine de ces différences.

Modalités d'évaluation du rapport d'APP

L'évaluation du rapport d'APP contribue à l'évaluation des éléments de compétence de l'unité (voir section suivante). On évalue l'exactitude, la précision, la complétude, la valeur de chaque élément de solution.

La qualité de la communication ne sera pas évaluée de façon sommative mais si le rapport est fautif sur le plan de la qualité de l'écrit et de la présentation, il vous sera retourné pour correction avant qu'il ne soit noté.

12 Évaluation sommative

L'évaluation sommative porte sur tous les objectifs d'apprentissage de l'unité.

Toute documentation manuscrite permise ainsi que la feuille aide mémoire remise par l'équipe professorale. Les calculatrices sont fournies pour cet examen.

13 Évaluation de l'unité

Référez-vous à la grille d'évaluation globale pour connaître la répartition des points de cette unité pour chaque compétence visée.