

Faculté des sciences
Département de Physique

ÉLECTRONIQUE

PHQ-350

COURS	
Titre :	Électronique
Sigle :	PHQ-350
Crédits :	3
Cours magistraux :	3 heures/sem.
Travaux dirigés et laboratoire:	1 heure/sem.
Travail personnel :	5 heures/sem.
Session :	3

PROFESSEUR	
Nom :	Denis Morris
Bureau :	D2-1077
Horaire de disponibilité :	à définir au début du cours
Courrier électronique :	denis.morris@usherbrooke.ca
Page WEB :	http://www.usherbrooke.ca/moodle-cours/course/view.php?id=3283

PLACE DU COURS DANS LE PROGRAMME	
Type de cours:	à option
Programme:	Physique
Cours préalables:	MAT-297, PHQ-260

MISE EN CONTEXTE DU COURS

L'électronique a pour objet l'étude des composants passifs (résistance, condensateur,...) et actifs (transistor, amplificateur,...), ainsi que l'étude des circuits basés sur ces composants et utilisés pour le traitement des signaux électriques. Le nombre d'applications de l'électronique est sans cesse croissant, et les performances des dispositifs et circuits en progrès constant, de sorte que cette science occupe une place grandissante dans notre vie de tous les jours. La physique a toujours été un partenaire essentiel du développement de l'électronique. Des connaissances en physique statistique et en mécanique quantique, propres au physicien, sont en effet indispensables à la compréhension des propriétés des semiconducteurs et des dispositifs de très petites tailles, et donc à la conception et à l'optimisation des composants. En contrepartie, les progrès de l'électronique ont permis de faire progresser la physique en la dotant d'une instrumentation scientifique et informatique très performante. Que ce soit du côté théorique ou expérimental, le physicien ne peut plus se passer, de nos jours, des outils que nous procure l'électronique. Pour toutes ces raisons, il est très pertinent pour l'étudiant en physique d'acquérir des connaissances de base en électronique.

Nous étudierons dans ce cours un ensemble de dispositifs et de circuits classiques utilisés en électronique analogique et numérique. Ces composants et circuits constituent les éléments de base de l'instrumentation scientifique indispensable pour la physique expérimentale. Le principe de fonctionnement des dispositifs électroniques ainsi que leurs techniques de fabrication seront étudiés. Ce cours pourra rapidement être mis à profit par les étudiants au cours de leur stage dans des laboratoires de recherche ou en milieu industriel. Ce cours sera également utile pour les étudiants qui choisiront la concentration en nanotechnologies et nanosciences ou le module de physique médicale.

OBJECTIF GÉNÉRAL

Le cours PHQ-350 vise à donner aux étudiants : 1^o) les connaissances nécessaires à la compréhension et à la réalisation de circuits classiques utilisés en électronique analogique et numérique ; 2^o) une introduction au domaine de la physique des dispositifs microélectroniques.

PLAN DE LA MATIÈRE ET OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

HEURES	CONTENU	OBJECTIFS SPÉCIFIQUES
1	I. Introduction <i>1.1 L'électronique moderne</i> <i>1.2 Organisation du cours</i>	
2-5	1. Rappels sur les circuits <i>1.1 Symboles et notations</i> <i>1.2 Composants de base</i> <ul style="list-style-type: none"> • Résistance, inductance, condensateur, diode, ampli-op., sources 	<ul style="list-style-type: none"> • Définir les symboles, notations et conventions usuels, utilisés en électronique • Décrire les composants électroniques passifs (condensateurs, résistances,...) • Définir source de tension et source de courant • Écrire les équations de courant et de tension pour un

	<p>1.3 <i>Éléments d'analyse des circuits</i></p> <ul style="list-style-type: none"> analyse des réseaux: équations de Kirchhoff <p>Module 1 Les filtres RC et RLC</p> <ul style="list-style-type: none"> Filtres passe-bas, passe-haut et passe-bande <p>Module 2 L'amplificateur opérationnel idéal</p> <ul style="list-style-type: none"> Ampli. inverseur et non inverseur Ampli. somme Convertisseur courant-tension Intégrateur et différentiateur 	<p><i>réseau de composants électroniques</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Résoudre le système d'équation des courants (ou des tensions) pour un réseau de composants Analyser le comportement en fréquence d'un circuit comportant un condensateur: dériver les expressions des fonctions de transfert d'un filtre passe-haut et d'un filtre passe-bas Énumérer les différentes caractéristiques d'un amplificateur opérationnel idéal Décrire le fonctionnement d'un amplificateur opérationnel et réaliser quelques circuits de base avec celui-ci
6-9	<p>2. Physique des semiconducteurs</p> <p>2.1 <i>Bandes d'énergie des solides cristallins</i></p> <p>2.2 <i>Semiconducteurs intrinsèques et extrinsèques</i></p> <ul style="list-style-type: none"> porteurs de charges impuretés donneurs et accepteurs <p>2.3 <i>Conduction dans les semi-conducteurs</i></p> <ul style="list-style-type: none"> diffusion et dérive 	<ul style="list-style-type: none"> Expliquer l'origine des bandes d'énergie dans un solide cristallin Faire la distinction entre un semiconducteur, un conducteur et un isolant Connaître les différents types de porteurs de charges dans un semiconducteur Expliquer la technique de dopage d'un semiconducteur ainsi que son utilité Énoncer la loi de la conservation de la charge Énoncer les différents mécanismes de conduction dans un semiconducteur Utiliser la condition d'équilibre des courants et les équations de conduction (diffusion et dérive) pour dériver la loi d'action de masse
10-15	<p>3. Jonction p-n</p> <p>3.1 <i>Jonction p-n à l'équilibre</i></p> <ul style="list-style-type: none"> distribution des charges porteurs minoritaires et majoritaires barrière de potentiel <p>3.2 <i>Jonction p-n polarisée</i></p> <ul style="list-style-type: none"> courant de porteurs minoritaires et majoritaires polarisations directe et inverse <p>3.3 <i>Diodes idéales et réelles</i></p> <ul style="list-style-type: none"> caractéristiques tension-courant diode Zener réponse en fréquence <p>Module 3 La diode</p> <ul style="list-style-type: none"> circuits redresseurs circuits limiteurs de tension 	<ul style="list-style-type: none"> Décrire les mécanismes de transport de charge mis en jeu lorsque l'on met en contact un semiconducteur de type n avec un semiconducteur de type p Expliquer le profil de concentration des charges à travers une jonction p-n à l'équilibre Dériver l'expression de la hauteur de barrière de potentiel à travers une jonction p-n, en fonction des concentrations des dopants Expliquer le comportement d'une jonction p-n polarisée en direct et en inverse Faire la distinction entre porteurs majoritaires et porteurs minoritaires Dériver l'équation de la diode en faisant le bilan des courants de porteurs majoritaires et minoritaires Expliquer l'origine du comportement en fréquence des diodes Trouver le point d'opération d'une diode à l'aide de la droite de charge Résoudre les équations de courant et de tension de différents circuits comprenant des diodes

16	Annexe A : Technologie monolithique <ul style="list-style-type: none"> • Étapes de fabrication planaire • Fabrication des transistors • Fabrication des diodes, résistances et condensateurs Film: Technologie silicium en microélectronique	<ul style="list-style-type: none"> • Décrire les étapes importantes de fabrication utilisées en technologie planaire sur silicium • Décrire les techniques de fabrication des composants intégrés de base • Prendre contact avec l'appareillage et l'instrumentation utilisés dans les laboratoires de micro-électronique
17-21	4. Transistor bipolaire à jonctions <p>4.1 Structure et principe de fonctionnement</p> <p>4.2 Configurations de polarisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modes de fonctionnement • Montages <p>4.3 Caractéristiques courant-tension</p> <p>4.4 Analyse statique</p> <p>4.5 Analyse dynamique</p> Annexe B : Dérivation des courbes I-V des transistors bipolaires	<ul style="list-style-type: none"> • Décrire les particularités de chacune des régions de dopage du transistor • Faire le bilan des courants d'injection et de collection dans les différentes régions du transistor • Expliquer le principe de fonctionnement du BJT • Remplacer le transistor par sa représentation équivalente comprenant diodes et sources de courant commandé • Donner la signification des paramètres caractéristiques du transistor: gain de courant émetteur-collecteur en direct (α_F) ou en inverse (α_R), gain du courant commandé par la base (β_F ou β_R), et courant de saturation • Énumérer les différents modes de fonctionnement • Expliquer l'allure des courbes courant-tension • Dessiner les circuits équivalents grands et petits signaux • Trouver le point d'opération d'un transistor placé dans un circuit donné
21-25	5. Transistor à effet de champ <p>5.1 Structure et principe de fonctionnement du JFET</p> <p>5.2 Structure et principe de fonctionnement du MOSFET</p> <p>5.3 Configurations de polarisation</p> <p>5.4 Caractéristiques courant-tension</p> <p>5.5 Analyse statique</p> <p>5.6 Analyse dynamique</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Décrire les structures du JFET et du MOSFET • Expliquer le principe de fonctionnement de ces transistors • Expliquer l'allure des courbes courant-tension • Dessiner les circuits équivalents grands et petits signaux comprenant résistances, condensateurs et sources de courant commandé • Trouver le point d'opération de ce type de transistor placé dans un circuit donné
26-30	Module 4 L'amplificateur analogique à transistors <ul style="list-style-type: none"> • Source de courant • Amplificateur de courant et de tension Annexe C : Circuits numériques Compléments: Les portes logiques <ul style="list-style-type: none"> • Portes logiques élémentaires • Bascules 	<ul style="list-style-type: none"> • Énoncer les différentes applications communes des transistors • Comprendre quelques trucs de régulation et de stabilité appliqués aux sources de tension et de courant • Écrire la table de vérité de différents circuits numériques • Expliquer le principe de fonctionnement de différents circuits numériques (bascules, décodeurs, compteurs, et additionneurs binaires)
30-35	6. Amplificateurs analogiques <p>6.1 Étages d'amplification de base</p> <p>6.2 Caractéristiques des étages d'amplification</p> <ul style="list-style-type: none"> • Impédances d'entrée et de 	<ul style="list-style-type: none"> • À partir du schéma du circuit, reconnaître le type d'étage d'amplification de base • Savoir dériver les expressions des différentes caractéristiques des étages d'amplification de base

	<p>sortie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gains en courant et en tension <p>6.3 Amplificateurs à plusieurs étages</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calcul du gain • Polarisation des étages • Décalage de la tension continue • Structure de l'ampli.-op. • Dispositifs de puissances <p>Annexe D : Amplificateur différentiel</p>	<p>en termes des paramètres du transistor</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calculer le gain en tension d'un amplificateur à plusieurs étages • Connaître quelques règles élémentaires de conception d'un amplificateur à plusieurs étages • Décrire la structure d'un amplificateur commercial idéal soit : l'amplificateur opérationnel • Se familiariser avec deux montages d'amplificateur de puissance : un montage à transistors BJT et un montage à transistor MOSFET
35-39	<p>7. Réponse en fréquence des amplificateurs</p> <p>7.1 Réponse à une excitation sinusoïdale en régime stationnaire</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diagramme de Bode • Fonction de transfert • Superposition de pôles <p>7.2 Influence des condensateurs sur la fonction de transfert des ampli.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Influence sur la réponse en basse et haute fréquences • Concept du pôle dominant • Méthode de détermination des pôles dominants 	<ul style="list-style-type: none"> • Dessiner l'allure des courbes de gain en fréquence d'un étage amplificateur passe-haut et passe-bas (diagramme de Bode) • Définir les points extrêmes d'un diagramme de Bode • Décrire les différents termes de la fonction de transfert d'un système de complexité arbitraire • Trouver les fréquences de coupure haute et basse d'un amplificateur à plusieurs étages à l'aide de l'approximation du pôle dominant • Déterminer le rôle des condensateurs des étages d'amplification sur la fonction de transfert
40-43	<p>Annexe E : Rétroaction et stabilité</p> <p>E.1 Boucle de réaction négative</p> <ul style="list-style-type: none"> • Linéarité • Largeur de bande • Types d'amplificateur <p>E.2 Stabilité</p> <ul style="list-style-type: none"> • Critères de stabilité • Principe de la compensation en fréquence <p>Module 5 Les filtres actifs</p> <ul style="list-style-type: none"> • Filtres du second ordre de type Sallen-Key • Filtres d'ordres supérieurs <p>Module 6 Les oscillateurs</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oscillateurs sinusoïdaux • Bascule de Schmitt 	<ul style="list-style-type: none"> • Expliquer les effets d'une rétroaction négative et d'une rétroaction positive sur les caractéristiques de l'amplificateur • Expliquer ce qui limite la largeur de bande d'un amplificateur • Énumérer quelques types d'amplificateurs • Énoncer le critère de stabilité d'un amplificateur • Expliquer le principe de la compensation en fréquence d'un amplificateur • Se familiariser avec les applications des ampli-op. aux filtres en fréquence • Caractériser la réponse d'un circuit filtre 1^o) en variant la fréquence d'excitation et 2^o) à l'aide d'un oscillateur à transformée de Fourier • Concevoir un filtre passe-bas de Chebyshev du cinquième ordre à l'aide d'étages passe-bas élémentaires • Réaliser des circuits d'oscillations simples : Pont de Wien et Bascule de Schmitt
44	<p>Module 7 Les générateurs de fonctions</p> <ul style="list-style-type: none"> • Générateurs d'onde triangulaire • Générateur d'impulsions • Multivibrateurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Décrire le principe de fonctionnement de divers types de générateurs de fonctions • Réaliser ces générateurs de fonctions à l'aide l'amplificateur de type comparateur
45	CONCLUSIONS ET RÉSUMÉ	

MÉTHODE PÉDAGOGIQUE

- **Cours magistraux.** Le professeur expose les concepts importants du cours. Durant ces périodes, les étudiants sont fortement encouragés à poser des questions et à revenir sur des aspects des cours antérieurs qui ont été moins bien assimilés. Diverses démonstrations et simulations de circuits pratiques viendront animées certaines de ces périodes.
- **Séances d'exercices.** Le professeur ou le moniteur résout au tableau des problèmes types de circuits électroniques. L'objectif de ces séances d'exercices est d'inculquer aux étudiants une méthodologie de résolution de problèmes. Les étudiants devront également résoudre certains problèmes par eux-même.
- **Travaux pratiques en laboratoire.** Ces travaux pratiques permettent aux étudiants de se familiariser avec les composants de base existants sur le marché ainsi qu'avec les instruments de mesure utilisés en électronique. Des séances de simulation de circuits à l'aide du logiciel PSPICE (de ORCAD, Microsim) seront également organisées tout en long de la session.

ÉVALUATION

Les évaluations, détaillées au point 1 ci-dessous, sont sommatives. L'évaluation formative résulte de l'interaction entre le professeur (et/ou le moniteur) et les étudiants lors des travaux pratiques et du retour en arrière fait après chacune des évaluations sommatives.

1. Méthodes d'évaluation :

- Devoirs (5);
- Examen intra
- Examen final

2. Pondération :

- 30% pour les devoirs;
- 25% pour l'examen intra;
- 45% pour l'examen final;

3. Calendrier des activités d'évaluation:

18 sept: Devoir No. 1

2 oct: Devoir No.2

9 oct: Examen Intra

6 nov.: Devoir No. 3

20 nov. : Devoir No. 4

10 dec.: Devoir No. 5

Examen final: Période allant du 11 au 21 dec. 2012

Note: les dates indiquées sur ce calendrier sont sujettes à changement. Toute modification sera annoncée en classe. En particulier, la date de l'intra est sujette à l'approbation de la faculté.

BIBLIOGRAPHIE

- **Notes de cours** du professeur
- Manuel de référence: "*Microélectronique*", Jacob Millmann et Arvin Grabel, TK 7874 M52614 (1988)

Autres manuels suggérés:

- *Fundamentals of microelectronics*, Behzad Razavi, Wiley (2006)
- *Microelectronic Circuits*, 5th edition, Sedra/Smith (2004)
- "*Microelectronics Circuits and devices*", 2^e ed., M.N. Horenstein, Prentice-Hall, 1995
- "*Traité de l'électronique analogique et numérique*", Vol. 1 et Vol. 2, P. Horowitz and W. Hill. TK 7815 H6714 (1996)
- "*Student Reference Manual for Electronic and Instrum. Lab.*", S. Wolf and R.F.M. Smith. TK 7878.4 W65 (1990)
- "*Principes d'électronique*", 3^e Ed., A.P. Malvino. TK 7816 M3414 (1993)
- "*Introduction to Electronic Design*", 2nd Ed., F.H. Mitchell Jr. and Sr. TK 7870 M54 (1992)
- "*Electronic Devices and Circuit Theory*", 5th Ed., R. Boylestad and L. Nashelsky. TK 7867 B66 (1992)
- "*Electronic for scientifics and engineers*", 2nd Ed., R.R. Benedict. TK 7815.B45 (1976)
- "*Physique des Composants et Dispositifs Électroniques*", G. Goureaux. QC 611 G69 (1994)
- "*Les composants*", J.P. Vabre. TK 7868 P8V32 (1991)
- "*Signaux et circuits*", N. Boutin et A. Clavet. TK 454.B68 (1989)
- "*Introduction to electric circuits*", R.C. Dorf. TK 454.D67 (1993)
- *MicroSims with PSPICE vol 1 et 2.*

WEB site: <http://www.us.oup.com/us/companion.websites/0195142519>. Site de Oxford University Press contenant notamment des feuillets de spécifications de composants électroniques.