
Réponse temporelle des systèmes du 1er et du 2e ordre

GUIDE DE L'ÉTUDIANT
S1- APP6 GEGIGRO

Automne 2022

Département de génie électrique, génie informatique et génie robotique
Faculté de génie
Université de Sherbrooke

Note : En vue d'alléger le texte, le masculin est utilisé pour désigner les femmes et les hommes.

Auteur : Noël Boutin et André Clavet

Modifié par Cétin Aktik, Jean-Philippe Gouin, Ahmed Khoumsi et Abdelaziz Ramzi

Mis à jour 2017 par Cétin Aktik, Jean-Philippe Gouin, Yves Bérubé-Lauzière, Claudette Légaré et Charles Richard

Mis à jour 2018 par Jean-Philippe Gouin, Alexandre Tessier, Claudette Légaré et Cétin Aktik

Mis à jour 2019 par Jean-Philippe Gouin, Claudette Légaré, Charles Richard, Haithem Bouziri et Abdelaziz Ramzi

Mis à jour 2020 par Jean-Philippe Gouin, Claudette Légaré, Jan Dubowski et Abdelaziz Ramzi

Modifié par 2021 par Jean-Philippe Gouin, Charles Richard, Jan Dubowski et Roch Lefebvre

Version : 17 novembre 2022

©2021 Tous droits réservés. Département de génie électrique et de génie informatique, Université de Sherbrooke.

TABLE DES MATIÈRES

1	ACTIVITÉ PÉDAGOGIQUE ET COMPÉTENCES.....	4
2	Synthèse de l'évaluation	5
3	Qualités de l'ingénieur.....	5
4	Énoncé de la problématique.....	6
5	Connaissances nouvelles.....	9
6	Guide de lecture	12
6.1	Références essentielles	12
6.2	Documents complémentaires	12
7	Logiciels et matériel.....	13
8	Santé et sécurité.....	13
8.1	Dispositions générales.....	13
8.2	Dispositions particulières	13
9	Sommaire des activités	14
10	Production à remettre	14
10.1	Schémas.....	14
10.2	Livrables.....	15
11	Évaluations.....	16
11.1	Production à remettre	16
11.2	Évaluation sommative de l'unité	22
11.3	Évaluation sommative finale	22
12	Politiques et règlements	22
13	Intégrité, plagiat et autres délits	23
14	Pratique procédurale 1	23
14.1	Exercices préparatoires	23
14.2	Exercices	24
15	Pratique en laboratoire 1	28
16	pratique procédurale 2	32
16.1	Exercices préparatoires	32
16.2	Exercices	32
17	Solutions exercices de lecture	34
17.1	Exercices à faire avant le procédural 1 :	35
17.2	Exercices à faire avant le procédural 2 :	36

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Circuit de la télécommande ROBUS6

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse de l’évaluation de l’unité.....5
Tableau 2 : Tableau des qualités de l’ingénieur5
Tableau 3 : Grille d’évaluation de l’oral..... 16
Tableau 4 : Tableau des critères d’évaluation de l’oral..... 18

1 ACTIVITÉ PÉDAGOGIQUE ET COMPÉTENCES

GEN111 – La communication et le travail en équipe

1. Communiquer en français, oralement et par des écrits de diverses formes, dans le respect des exigences formulées et en utilisant les outils appropriés.

Description officielle : <https://www.usherbrooke.ca/admission/fiches-cours/gen111/>

GEN122 – Équations différentielles linéaires

1. Modéliser un phénomène physique par un système d'équations différentielles linéaires dans le contexte d'un problème d'ingénierie.
2. Solutionner analytiquement un système d'équations différentielles linéaires. Valider le sens physique du modèle et le résultat de la solution dans le contexte du problème d'ingénierie d'où elles ont émergé.

Description officielle : <https://www.usherbrooke.ca/admission/fiches-cours/gen122/>

GEN136 – Circuits électriques II

1. Représenter les composants usuels d'un circuit électrique par des éléments de modélisation pour constituer un schéma de circuit électrique.
2. Appliquer les lois de circuits électriques pour mettre en équations et déterminer, analytiquement et par calcul à la main ou à l'aide d'un logiciel, selon les exigences formulées, les réponses temporelles de circuits R, RC, RL ou RLC jusqu'au 2e ordre, soumis subitement à une excitation continue.

Description officielle : <https://www.usherbrooke.ca/admission/fiches-cours/gen136/>

2 SYNTHÈSE DE L'ÉVALUATION

Tableau 1 : Synthèse de l'évaluation de l'unité

Évaluation	GEN111-1	GEN122-1	GEN122-2	GEN136-1	GEN136-2
Présentation orale et livrables associés	30	20	50	10	25
Évaluation formative théorique					
Évaluation formative pratique					
Évaluation sommative théorique		50	200		45
Évaluation sommative pratique				20	40
Évaluation finale théorique		80	200		60
Total	30	150	450	30	170

3 QUALITÉS DE L'INGÉNIEUR

Les qualités de l'ingénieur visées par cette unité d'APP sont les suivantes. D'autres qualités peuvent être présentes sans être visées ou évaluées dans cette unité d'APP. Pour une description détaillée des qualités et leur provenance, consultez le lien suivant :

<https://www.usherbrooke.ca/genie/etudiants-actuels/au-baccalaureat/bcapg/>

Tableau 2 : Tableau des qualités de l'ingénieur

Numéro	Libellé	Touchée	Évaluée
Q01	Connaissances en génie	✓	✓
Q02	Analyse de problèmes	✓	✓
Q03	Investigation	✓	
Q04	Conception		
Q05	Utilisation d'outils d'ingénierie	✓	✓
Q06	Travail individuel et en équipe	✓	
Q07	Communication	✓	✓
Q08	Professionnalisme		
Q09	Impact du génie sur la société et l'environnement		
Q10	Déontologie et équité		
Q11	Économie et gestion de projets		
Q12	Apprentissage continu		

4 ÉNONCÉ DE LA PROBLÉMATIQUE

Télécommande infrarouge ROBUS

L'année passée, monsieur Bric Oleur est venu visiter l'exposition des robots de S1 à l'Université de Sherbrooke. Impressionné par les prouesses de ces robots, lui-même amateur d'électronique et de programmation, il a débuté la conception d'une **télécommande infrarouge** dans son sous-sol, voir la Figure 1. Dernièrement, il s'est entretenu avec l'équipe professorale de S1 afin de savoir si celle-ci pouvait l'aider avec la conception de sa télécommande pouvant contrôler la plate-forme ROBUS. L'équipe professorale a donc décidé de vous soumettre ce projet au cours de cet APP. Il semblerait que certaines valeurs de résistances soient erronées. Nous vous demandons donc de valider la conception du circuit et de proposer des modifications de résistances, le cas échéant.

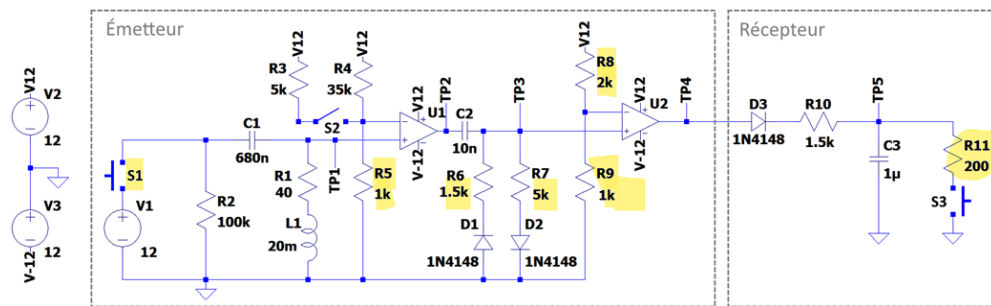


Figure 1 : Circuit de la télécommande ROBUS

Le circuit devrait idéalement fonctionner de la façon suivante. Lorsqu'on appuie sur le bouton poussoir **S1**, le **circuit RLC du 2^{ème} ordre** formé par **R1, R2, C1 et L1** commence à se charger à l'aide de la source **V1**. La résolution de l'**équation différentielle linéaire du 2^{ème} ordre**, à coefficients constants et forcée, associée à ce circuit permet de déduire que sa **fréquence de résonance amortie est d'environ 1356 Hz**, voir la Figure 2. Cette équation est non forcée dans la condition où la source **V1** est continue. Puisque le rapport d'amortissement ayant une très faible valeur par rapport à l'unité, la **réponse transitoire** du **circuit RLC** ainsi formé devrait être une **sinusoïde dont l'amplitude décroît de façon exponentielle avec le temps pour tendre vers zéro après environ 5 msec**. Cette sinusoïde est appliquée à l'**entrée positive de l'ampli-op U1** pour générer un nombre d'impulsions qui dépendra de la **position de l'interrupteur S2**. Notez que cet interrupteur devra être fait à l'aide d'**un bout de fil** qu'on déplace sur la plaquette de montage.

Lorsque l'on relâche le **bouton poussoir S1**, un nouveau circuit **RLC** est formé impliquant **R2, R1, C1 et L1**. Le rapport d'amortissement ayant une valeur très supérieure à l'unité, la réponse transitoire du circuit RLC ainsi formé devrait en être une exponentielle dont l'amplitude décroît avec le temps pour tendre vers zéro après **environ 1 μsec**. Cette fois-ci le circuit est défini par une **équation différentielle linéaire d'ordre 2 à coefficients constants, mais non forcée**.

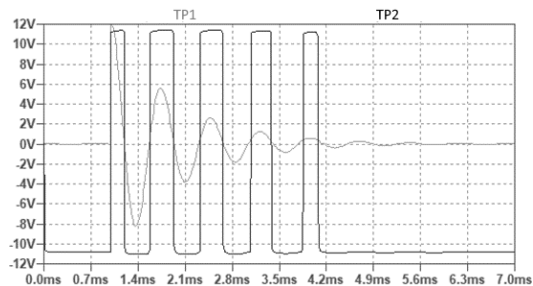


Figure 2 : Tension de TP1 et TP2 en fonction du temps

L'ampli-op U1 en configuration de comparateur produit des impulsions de durée non identique, voir la Figure 2. Les résistances R3 et R4 en série avec R5 permettent de fixer les seuils de tension de l'entrée négative de U1 qui génère respectivement deux et cinq impulsions. L'équipe professorale vous demande dans un premier temps, d'écrire les équations différentielles découlant du circuit de charge ainsi que celles provenant du circuit de décharge et de les résoudre à la main afin de valider la conception de cette partie du circuit. Dans un premier temps, il faudra simuler le circuit à l'aide de l'outil de simulation LTspice qui vous servira essentiellement à valider les spécifications du circuit et par la suite, vos réponses obtenues par vos calculs à la main.

Le circuit composé par D1, D2, C2, R6, R7 et U2 permet quant à lui de rendre ces impulsions identiques. On vous demande donc d'analyser le circuit RC du 1^{er} ordre en charge et en décharge. Il paraît évident que la largeur des impulsions doit être maximisée à $150\text{ }\mu\text{s} \pm 10\%$, afin que la communication soit plus résistante aux erreurs. La largeur des impulsions est réglée par la résistance R7, qui rend les impulsions de longueurs identiques en sortie de U2. Après une impulsion, le condensateur C2 doit décharger de $+12\text{ V}$ à -12 V avant la prochaine impulsion. On estime qu'une perte de 63.7% de sa tension en $15\text{ }\mu\text{s} \pm 10\%$ est suffisante, voir la Figure 3. Vous devez faire la mise en équation complète du circuit en charge et en décharge, en extraire les équations différentielles et les résoudre afin de valider la conception de cette partie du circuit. De plus, la simulation du circuit complet sur LTspice permettra de bien prendre en compte les caractéristiques non linéaires des diodes D1 et D2 ainsi que les valeurs de tension de sortie de l'ampli-op U1.

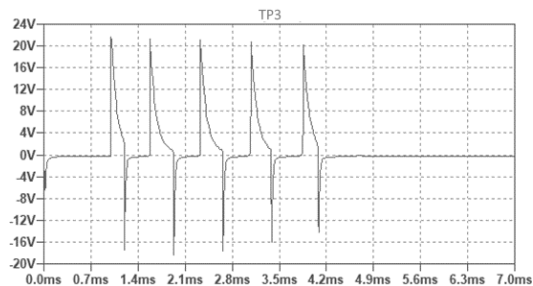


Figure 3 : Tension de TP3 en fonction du temps

Un circuit de réception a aussi été proposé. Il s'agit encore une fois d'un circuit RC composé de S3, D3, C3 et R10 ou R11. Le message transmis au robot par le module de réception sera la tension du condensateur C3, cette dernière pourra être lue par une entrée analogique du robot. Dans le cas, de l'envoi de 2 impulsions, la tension de C3 devra être entre 2 V et 3 V, tandis que pour 5 impulsions, la tension devra être de $5\text{ V} \pm 10\%$, voir la

Figure 4. Le bouton poussoir *S3* et la résistance *R11* permettent de vider rapidement la tension du condensateur après une lecture. Cette décharge de *C3* doit se faire en 1 ms pour 99.3% de décharge soit 5τ . Encore une fois, vous devez faire la mise en équation complète des circuits de charge et de décharge, en extraire l'équation différentielle et la résoudre afin de valider la conception de cette partie du circuit. De plus, la simulation du circuit complet sur *LTspice* permettra de bien prendre en compte les caractéristiques non linéaires de la diode *D3* ainsi que les valeurs de tension de sortie de l'ampli-op *U2*.

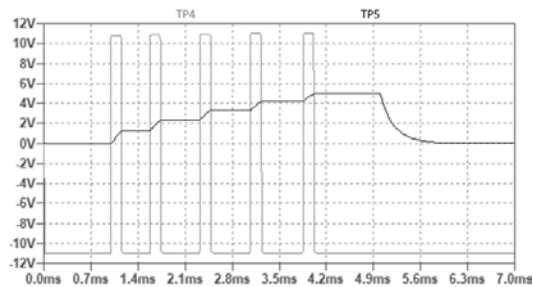


Figure 4 : Tension de TP4 et TP5 en fonction du temps

Vous devrez défendre, sous forme d'une présentation orale, votre solution en présentant vos calculs et explications devant l'équipe professorale. Vous devrez y inclure des images ou photos de vos résultats par simulations et vos résultats pratiques. Cette présentation devra être appuyée par un support technique et une annexe avec les résolutions mathématiques adéquates et professionnelles.

Notes complémentaires de la problématique :

- Vous devez assembler sur *breadboard* le circuit de télécommande par groupe de deux.
- Vous devez utiliser des résistances de 5% $\frac{1}{4}$ W qui sont disponibles dans les laboratoires C1-3018, C1-3024 et C1-4028 (GRO).
- Les résistances *R5*, *R8* et *R9* ne sont pas erronées et ne peuvent pas être changées.
- Dans vos calculs mathématiques, vous devez considérer les diodes comme idéales, mais vous devrez valider les tensions de sorties des ampli-op en pratique ou par simulation.
- Vous devez faire une simulation sur *LTspice* de tout le circuit avec 5 impulsions. Pour ce faire, prendre l'ampli-op *ADA4000-2*.
- Les composants sont disponibles dans le sac de pièces de l'APP6. Voir site web pour l'horaire de la distribution. Vous devez impérativement vous inscrire en équipe sur la page web pour avoir vos pièces.

5 CONNAISSANCES NOUVELLES

GEN122-GEN136 Connaissances déclaratives (QUOI ?) :

- Notion d'intégrale indéfinie de $f(t)$.
- Notion d'intégrale définie de $f(t)$ entre deux limites.
- Distinction entre la solution particulière ou réponse forcée et la solution complémentaire ou réponse naturelle d'une équation différentielle linéaire à coefficients constants.
- Forme générale de la solution complémentaire ou réponse naturelle d'une équation différentielle homogène à coefficients constants du 1er ordre.
- Solution particulière ou réponse forcée d'une équation différentielle forcée à coefficients constants du 1er ordre.
- Condition initiale dans le contexte d'une équation différentielle à coefficients constants du 1er ordre.
- Relations V-I aux bornes d'un condensateur ou d'une inductance.
- Énergie emmagasinée dans un condensateur ou une inductance.
- Continuité de la tension aux bornes d'un condensateur et du courant circulant dans une inductance.
- Combinaison série et parallèle de condensateurs ou d'inductances.
- Circuits RC et circuits RL.
- Signification de « constante de temps », « réponse transitoire », « réponse en régime permanent ».
- Circuit équivalent d'un condensateur ou d'une inductance, en régime permanent, vu par une source continue.
- Les nombres complexes.
- Significations physique et mathématique de :
 - une équation différentielle linéaire, du 2ième ordre, à coefficients constants,
 - l'équation caractéristique,
 - le rapport d'amortissement,
 - la fréquence de résonance non-amortie.
- Les différentes formes générales de la solution complémentaire ou réponse naturelle d'une équation différentielle homogène à coefficients constants du 2ième ordre.
- Solution particulière ou réponse forcée d'une équation différentielle forcée à coefficients constants du 2ième ordre.
- Condition initiale dans le contexte d'une équation différentielle à coefficients constants du 2ième ordre.
- Distinction entre éléments de modélisation et composants réels pour le condensateur et l'inductance.
- L'inductance mutuelle.
- Circuit RLC série et parallèle.

GEN122-GEN136 Connaissances procédurales (COMMENT?) :

- Évaluer les intégrales indéfinies et définies de fonctions simples.
- Obtenir la dérivée par rapport à x de fonctions simples $y = f(t)$.
- Vérifier qu'une fonction $x(t)$ est, ou n'est pas, une solution valable pour une équation différentielle donnée.
- Obtenir la solution complémentaire d'une équation différentielle à coefficients constants homogène du 1er ordre.
- Prédire l'ordre de grandeur et l'allure de la réponse d'un circuit linéaire du 1er ordre soumis subitement à un changement tel, la fermeture ou l'ouverture d'un commutateur ou, une variation subite d'une excitation « continue ».
- Déterminer la réponse naturelle, la réponse forcée et la réponse complète d'un circuit linéaire du 1er ordre, soumis à un échelon ou autre excitation :
 - de façon manuelle ;
 - à l'aide du logiciel de simulation *LTspice* .
- Mettre en équations un circuit contenant un condensateur ou une inductance.
- Déterminer rapidement la réponse en régime permanent d'un circuit, contenant des condensateurs ou des inductances, excité par une source continue.
- Obtenir en laboratoire la réponse à un échelon d'un circuit du 1er ordre.
- Déterminer en laboratoire la résistance série d'une inductance non idéale.
- Obtenir la solution complémentaire d'une équation différentielle à coefficients constants homogène du 2ième ordre.
- Prédire l'ordre de grandeur et l'allure de la réponse d'un circuit linéaire de 2ième ordre soumis subitement à un changement tel, la fermeture ou l'ouverture d'un commutateur ou, une variation subite d'une excitation « continue ».
- Déterminer la réponse naturelle, la réponse forcée et la réponse complète d'un circuit linéaire du 2ième ordre, soumis à un échelon ou autre excitation :
 - de façon manuelle ;
 - à l'aide du logiciel *LTspice* de simulation de circuit.

GEN122-GEN136 Connaissances conditionnelles (QUAND?) :

- Remplacer un condensateur par un circuit ouvert ou une inductance par un court-circuit.
- Négliger la réponse naturelle d'un circuit du 1er ordre.
- Négliger la réponse naturelle d'un circuit du 2ième ordre.
- Négliger les imperfections d'un condensateur ou d'une inductance.
- Remplacer un condensateur par un circuit ouvert et une inductance par un court-circuit.

GEN111 Connaissances déclaratives (QUOI ?) :

- Diverses formes de communications écrites en génie
 - Rapport
 - Dessin
 - Schéma de concepts
- Outils de communication écrite
 - Logiciels de traitement de texte, de validation de grammaire et d'orthographe, de dessin, chiffrier

GEN111 Connaissances procédurales (COMMENT?) :

- Procédure de rédaction d'une lettre de transmission et d'un rapport
- Communiquer en français, oralement et par des écrits de diverses formes, dans le respect des exigences formulées et en utilisant les outils appropriés.

GEN111 Connaissances conditionnelles (QUAND?) :

- Choix d'un niveau de langage approprié (vulgarisé, technique, mathématique). Les compétences et les connaissances à acquérir ne sont pas limitées à la problématique à résoudre. Les examens sommatif et final couvrent l'ensemble de la matière et non pas uniquement ce qui est vu dans la problématique.

6 GUIDE DE LECTURE

6.1 Références essentielles

Procédural 1

- Volume « Electrical Engineering – Principles and Applications », 7ième édition, de A.R. Hambley
 - Chap. 3 Sections 3.1 à 3.7 (15 pages)
 - Chap. 4 Sections 4.1 à 4.4 (20 pages)
- Équations différentielles linéaires du 1er et 2ème ordre
 - Page 1 à 35 (35 pages)

Séminaire de mathématiques

- Notes de cours sur les nombres complexes de Y. Bérubé-Lauzière (30 pages)
 - Avant le séminaire de mardi, il faut lire tout hormis la section 1.7.3. Également, la section 1.1 sur l'histoire des nombres est facultative, mais la lire vous donnera une meilleure préparation pour accepter les nombres complexes (en outre, elle n'est pas longue à lire, car elle n'a aucun contenu technique). Essayer autant que possible de faire les exercices de lecture au fur et à mesure de la lecture. On y reviendra toutefois lors du séminaire. Il n'est pas nécessaire de faire les exercices à la fin.

Laboratoire

- Tutoriel *LTspice*
- Énoncé du laboratoire

Procédural 2

- Volume « Electrical Engineering – Principles and Applications », 7ième édition, de A.R. Hambley
 - Chap. 4 Sections 4.5 (20 pages)
- Équations différentielles linéaires du 1er et 2ème ordre
 - Pages 36 - 53 (18 pages)

6.2 Documents complémentaires

- Fiches techniques des pièces utilisées dans l'unité (voir les fiches techniques publiées sur le site web de la S1 dans la section de l'APP 6)
- Réviser au besoin les références de l'APP3 GEGI / APP5 GRO.

7 LOGICIELS ET MATÉRIEL

- Des kits de composants électroniques seront distribués pour l'APP. Ces kits contiennent l'ensemble des composants dont vous aurez besoin à l'exception des résistances qui sont en libre-service dans les laboratoires.
- Le logiciel *LTspice* est un logiciel de design et de simulation. Celui-ci est disponible gratuitement via le site de la compagnie (voir tutoriel). Il est également installé sur l'ensemble des postes informatiques du département.

8 SANTÉ ET SÉCURITÉ

8.1 Dispositions générales

Dans le cadre de la présente activité, vous êtes réputés avoir pris connaissance des politiques et directives concernant la santé et la sécurité. Ces documents sont disponibles sur les sites web de l'Université de Sherbrooke, de la Faculté de génie et du département. Les principaux sont mentionnés ici et sont disponibles dans la section Santé et sécurité du site web du département:

<https://www.gegi.usherbrooke.ca/santesecurite/>.

- Politique 2500-004 : Politique de santé et sécurité en milieu de travail et d'études
- Directive 2600-04 : Directive relative à la santé et à la sécurité en milieu de travail et d'études
- Sécurité en laboratoire et atelier au département de génie électrique et de génie informatique

8.2 Dispositions particulières

Si nécessaire, il faut mettre les dispositions spécifiques à l'unité APP pour les questions de santé et sécurité. Sinon, cette section peut être omise et il n'est pas nécessaire de numéroter et de titrer la section précédente, celle des dispositions générales.

9 SOMMAIRE DES ACTIVITÉS

Semaine 1

- Première rencontre de tutorat
- Étude personnelle et exercices
- Séminaire de mathématiques
- Formation à la pratique procédurale 1
- Étude personnelle et exercices
- Formation à la pratique en laboratoire
- Formation à la pratique procédurale 2

Semaine 2

- Étude personnelle et exercices
- Rédaction du rapport (annexe) d'APP et préparation de la présentation
- Remise des livrables d'APP
- Présentation orale
- Évaluation formative théorique et pratique
- Deuxième rencontre de tutorat
- Évaluation sommative théorique et pratique

10 PRODUCTION À REMETTRE

10.1 Schémas

À faire pour la deuxième semaine, lors de la deuxième rencontre de tutorat :

Schéma de concepts suggéré répondant à la question suivante :

- Quels sont les concepts (et les liens qui les unissent) se rapportant aux systèmes linéaires du 1er et du 2ième ordre ainsi qu'à leur résolution mathématique et comment cela se traduit-il pour les circuits électriques ?

Schémas de procédure suggérés pour faciliter vos apprentissages :

- Schéma de procédure pour la détermination de la réponse complète d'un circuit linéaire du 1er ordre avec conditions initiales non nulles.
- Schéma de procédure pour la détermination de la réponse complète d'un circuit linéaire du 2ième ordre avec conditions initiales non nulles.

Note : Bien que non à remettre, ces schémas sont sujets d'examen.

10.2 Livrables

- La problématique, le rapport et la présentation orale se font en équipe de deux. Vous devez vous inscrire en équipe sur la page web avant la remise de pièces.
- Vous devez préparer une **présentation orale de huit minutes** décrivant les étapes suivies pour résoudre la problématique.
- Voir l'horaire sur le site web pour connaître votre heure de passage.
- Il y aura **cinq minutes de questions** après votre présentation.

Présentation

Les éléments suivants doivent être présentés selon l'ordre de votre choix :

Vous devez expliquer et comparer vos résultats :

- **Les analyses mathématiques des charges et décharges des circuits** (mise en équation, type d'équation, solutions finales et calcul de pièces);
- Présenter votre **analyse du circuit et expliquer vos modifications de résistances** s'il y a lieu.
- Présenter et **comparer les graphiques de vos démarches à la main de TP1, TP3 et TP5, des simulations LTspice de tous les TP et les résultats d'expérimentation pratique (photos d'oscilloscope) de tous les TP;**

Annexe

Document à pars

- Vous devez faire la résolution étape par étape des équations découlant des circuits d'ordre 1 et 2 pour la charge et la décharge. Il n'est pas nécessaire de mettre des explications, seulement la démarche mathématique qui est évaluée.
 - Mise en équation du circuit d'ordre 2 RLC $V_{L1RL1}(t)$
 - Solution pour la charge $V_{L1RL1}(t)$
 - Solution pour la décharge $V_{L1RL1}(t)$
 - Mise en équation des circuits d'ordre 1 C2R6/R7 $V_{R6/7}(t)$
 - Solution pour la charge de C2R6 $V_{R6}(t)$
 - Solution pour la décharge de C2R7 $V_{R7}(t)$
 - Mise en équation des circuits d'ordre 1 C3R10/R11 $V_{C3}(t)$
 - Solution pour la charge de C3R10 $V_{C3}(t)$
 - Solution pour la décharge de C3R11 $V_{C3}(t)$
- Ce document doit être fait à l'aide d'un **logiciel de traitement de texte (6 à 8 pages)** et remis en format PDF.
- Il n'est pas permis d'utiliser les solutions complémentaires connues, vous devez faire la **démarche au complet**.

Procédure de dépôt

Vous devez déposer un fichier **CIP1-CIP2-Presentation.PDF** contenant votre présentation orale avant **8h30 le mardi** matin de la deuxième semaine (jour des présentations orales pour la validation).

- Fichier de présentation (PPTX ou PDF).

Vous devez déposer un fichier **CIP1-CIP2-Calculs.PDF** contenant votre annexe avant **8h30 le mardi** matin de la deuxième semaine (jour des présentations orales pour la validation)

- L'annexe en format PDF des résolutions d'équation (charge/décharge) des circuits d'ordre 1 et 2.

11 ÉVALUATIONS

11.1 Production à remettre

L'évaluation des productions à remettre portera sur les compétences figurant dans la description des activités pédagogiques. La pondération des différents éléments est indiquée au tableau suivant. L'évaluation est directement liée aux livrables demandés à la section 10 et le tableau suivant y réfère à l'aide d'une courte description.

Tableau 3 : Grille d'évaluation de l'oral

Item	Points	
GEN111-1	/30	
C1 - Organiser l'information	0-1-2-3-4	Q7
C2 - Recourir à un support visuel de qualité	0-3-6-8-10	Q7
C3 - Communiquer un message central	0-1-2-3-4	Q7
C4 - Employer un langage approprié	0-1-2-3-4	Q7
C5 - Capter l'attention de son auditoire	0-1-2-3-4	Q7
C6 - Répondre aux questions	0-1-2-3-4	Q7
GEN136-1	/10	
Validation des résistances R4 et R5 avec un graphique de TP1	0-3-6-8-10	Q2
GEN136-2	/25	
5 graphiques des TP1 à TP5 des simulations sur LTspice et valeurs expérimentales	0-5-9-12-15	Q5
Validation des résistances R6, R7, R10 et R11	0-3-6-8-10	Q2
GEN122-1	/20	
Mise en équation des circuits équivalents, équations résolues et présentation des types d'équation (charge / décharge du circuit R1 L1 C1)	0-4-8-10-12	Q1
Mise en équation des circuits équivalents, équations résolues et présentation des types d'équation (charge C2R7/décharge C2R6 et charge C3R10/décharge C3R11)	0-3-5-7-8	Q1
GEN122-2 (Annexe)	/50	
Solutions des modèles mathématiques des circuits (circuit ordre 2).	0-8-16-21-25	Q1
Solutions des modèles mathématiques des circuits (circuit ordre 1).	0-8-16-21-25	Q1

Quant à la qualité de la communication technique, elle ne sera pas évaluée de façon sommative, mais si votre présentation est fautive sur le plan de la qualité de la communication et de la présentation, elle vous sera retournée et vous devrez la reprendre pour être noté.

Tableau 4 : Tableau des critères d'évaluation de l'oral

Présentation ORALE	Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
GEN111-1					
C1 - Organiser l'information	Les étudiants n'organisent pas l'information.	Les étudiants ne sont pas en mesure d'organiser l'information pour en permettre la compréhension chez leur auditoire. Abordent quelques-uns des points qui doivent l'être.	Les étudiants organisent minimalement l'information pour en permettre la compréhension chez leur auditoire. Abordent quelques-uns des points qui doivent l'être.	Les étudiants organisent adéquatement l'information pour en permettre la compréhension chez leur auditoire. Abordent de façon cohérente la majorité des points qui doivent l'être.	Les étudiants organisent efficacement l'information pour en faciliter la compréhension chez leur auditoire. Abordent de façon cohérente tous les points qui doivent l'être.
C2 - Recourir à un support visuel de qualité	Les étudiants n'utilisent pas de support visuel.	Les étudiants recourent à un support visuel dont l'allure devrait être améliorée, puisqu'elle détourne l'attention.	Les étudiants recourent à un support visuel qui appuie minimalement le contenu de sa présentation.	Les étudiants recourent à un support visuel qui appuie bien le contenu de sa présentation et veille à ce que son support soit sobre, visible et équilibré (pas seulement du texte).	Les étudiants recourent à un support visuel qui appuie efficacement le contenu de sa présentation et veille à ce que son support soit sobre, visible, équilibré (pas seulement du texte) et d'allure professionnelle.
C3 - Communiquer un message central	Les étudiants ne communiquent pas un message central.	Les étudiants ont de la difficulté à communiquer le message central de sa présentation (ce message peut être déduit, mais il n'est pas explicite).	Les étudiants communiquent assez bien le message central de sa présentation, sans toutefois rappeler les éléments importants en conclusion.	Les étudiants communiquent adéquatement le message central de sa présentation en rappelant quelques-uns des éléments importants en conclusion.	Les étudiants communiquent clairement le message central de sa présentation en rappelant et en synthétisant les éléments importants en conclusion.

C4 - Employer un langage approprié	Les étudiants n'emploient pas un langage adéquat.	Les étudiants emploient un niveau de langue, une terminologie et un vocabulaire qui ne sont pas appropriés à leur auditoire.	Les étudiants emploient un niveau de langue, une terminologie et un vocabulaire minimalement appropriés à leur auditoire.	Les étudiants emploient un niveau de langue, une terminologie et un vocabulaire généralement appropriés à leur auditoire.	Les étudiants emploient un niveau de langue, une terminologie et un vocabulaire parfaitement appropriés à leur auditoire.
C5 - Capter l'attention de son auditoire	Les étudiants ne captent pas l'attention de l'auditoire.	Les étudiants ont de la difficulté à capter l'attention de son auditoire. Son débit et la portée de sa voix pourraient être améliorés.	Les étudiants captent minimalement l'attention de son auditoire. Son débit ou la portée de sa voix pourrait être amélioré(e).	Les étudiants captent et maintiennent généralement l'attention de son auditoire. La présentation est assez fluide et dynamique.	Les étudiants captent et maintiennent efficacement l'attention de son auditoire en interagissant avec lui. La présentation est très fluide et dynamique.
C6 - Répondre aux questions	Les étudiants ne répondent pas aux questions.	Les étudiants ne sont pas en mesure de répondre de façon satisfaisante aux questions posées.	Les étudiants éprouvent de la difficulté à répondre de façon satisfaisante aux questions posées, mais tentent d'y répondre au meilleur de sa connaissance.	Les étudiants répondent de façon satisfaisante aux questions posées.	Les étudiants répondent de façon satisfaisante aux questions posées et sont capable d'en anticiper d'autres.

GEN136-1

Validation des résistances R4 et R5 avec graphique de TP1	Les étudiants ne présentent pas et n'expliquent pas les valeurs des résistances.	Les étudiants présentent et expliquent de manière désordonnée quelques valeurs des résistances.	Les étudiants présentent et expliquent de manière un peu floue plusieurs valeurs des résistances.	Les étudiants présentent et expliquent de manière telle qu'attendu la majorité des valeurs des résistances.	Les étudiants présentent et expliquent de manière concise toutes les valeurs des résistances.
---	--	---	---	---	---

Commenté [CR1]: Modifié selon le tableau 3.

GEN136-2

Simulations sur LTspice (sous-circuits charge/décharge TP1 à TP5)	Les étudiants ne présentent pas les simulations.	Les étudiants présentent de manière désordonnée quelques	Les étudiants présentent de manière un peu floue plusieurs éléments des simulations.	Les étudiants présentent de manière telle qu'attendu la majorité	Les étudiants présentent de manière concise tous les
---	--	--	--	--	--

Commenté [CR2]: Modifié selon le tableau 3.

		éléments des simulations.		des éléments des simulations.	éléments des simulations.
Valeurs expérimentales (validation des résistances R6, R7, R10 et R11)	Les étudiants ne présentent pas les valeurs expérimentales.	Les étudiants présentent de manière désordonnée quelques valeurs expérimentales.	Les étudiants présentent de manière un peu floue plusieurs valeurs expérimentales.	Les étudiants présentent de manière telle qu'attendu la majorité des valeurs expérimentales.	Les étudiants présentent de manière concise toutes les valeurs expérimentales.
GEN122-1					
Mise en équation des circuits équivalents et présentation du type d'équation (charge/décharge circuit ordre 2).	Les étudiants ne présentent pas la mise en équation des circuits équivalents et le type d'équation.	Les étudiants présentent de manière désordonnée quelques éléments de la mise en équation des circuits équivalents et le type d'équation.	Les étudiants présentent de manière un peu floue plusieurs éléments de la mise en équation des circuits équivalents et le type d'équation.	Les étudiants présentent de manière telle qu'attendu la majorité des éléments de la mise en équation des circuits équivalents et le type d'équation.	Les étudiants présentent de manière concise tous les éléments de la mise en équation des circuits équivalents et le type d'équation.
Mise en équation des circuits équivalents et présentation du type d'équation (charge/décharge circuit ordre 1).					

GEN122-2

Solutions des modèles mathématiques des circuits (circuit ordre 2).

Solutions des modèles mathématiques du circuit (circuit ordre 1).

Les étudiants ne solutionnent pas le modèle mathématique.

Les étudiants solutionnent de manière désordonnée quelques éléments du modèle mathématique.

Les étudiants solutionnent de manière un peu floue plusieurs éléments du modèle mathématique.

Les étudiants solutionnent de manière telle qu'attendu la majorité des éléments du modèle mathématique.

Les étudiants solutionnent de manière concise toutes les parties du modèle mathématique.

11.2 Évaluation sommative de l'unité

L'évaluation sommative est un examen écrit qui porte sur tous les éléments de compétences et de contenus de l'unité. C'est un examen qui se fait sans documentation (donc à livre fermé); toute la documentation nécessaire sera fournie lors de l'examen s'il y a lieu. Vous devez vérifier si vous avez droit à votre calculatrice.

Dans le cadre de l'APP6, l'évaluation des compétences exige 2 examens, l'un pratique et l'autre théorique. Ces 2 examens seront dans des plages horaires différentes. Regardez votre horaire pour connaître les dates et heures de ces 2 examens.

Le contenu des procéduraux et du laboratoire fait partie de l'examen sommatif (car on ne peut incorporer tous les contenus pédagogiques (voir annuaire) dans la formulation de la problématique), de plus, les schémas de concepts sont sujets à examen.

11.3 Évaluation sommative finale

L'évaluation finale théorique est un examen écrit qui porte sur tous les éléments de compétences de l'unité. C'est un examen qui se fait sans documentation. L'évaluation finale porte sur GEN122 et GEN136 tels que vu pendant l'unité.

12 POLITIQUES ET RÈGLEMENTS

Dans le cadre de la présente activité, vous êtes réputés avoir pris connaissance des politiques, règlements et normes d'agrément suivants.

Règlements et politiques de l'Université de Sherbrooke

- Règlement des études
<https://www.usherbrooke.ca/registraire/>

Règlements facultaires

- Règlement facultaire d'évaluation des apprentissages / Programmes de baccalauréat
- Règlement facultaire sur la reconnaissance des acquis

Norme d'agrément

- Informations pour les étudiants au premier cycle :
<https://www.usherbrooke.ca/genie/etudiants-actuels/au-baccalaureat/bcapg>
- Informations sur l'agrément:
<https://engineerscanada.ca/fr/agrement/a-propos-de-l-agrement>

Si vous êtes en situation de handicap, assurez-vous d'avoir communiqué avec le Programme d'intégration des étudiantes et étudiants en situation de handicap à l'adresse de courriel prog.integration@usherbrooke.ca.

13 INTÉGRITÉ, PLAGIAT ET AUTRES DÉLITS

Dans le cadre de la présente activité, vous êtes réputés avoir pris connaissance de la déclaration d'intégrité relative au plagiat :

<https://www.usherbrooke.ca/ssf/antiplagiat/ienseigne/declaration-dintegrite/>

14 PRATIQUE PROCÉDURALE 1

Buts de l'activité

- Mettre en équation un circuit d'ordre 1.
- Solutionner un système d'équation mathématique d'ordre 1.
- Comprendre le comportement et la relation tension-courant dans un circuit comprenant un condensateur ou une inductance.

14.1 Exercices préparatoires

Les réponses se trouvent à la fin du document.

1. Condensateurs

Un condensateur de $0.01 \mu\text{F}$ est branché en série avec un condensateur de 10 pF .

- Sans faire aucun calcul, estimer l'ordre de grandeur du condensateur résultant.
- Calculer de façon formelle la valeur du condensateur résultant.

2. Inductances

Quatre inductances de 10 H sont branchées en parallèle.

- Sans faire aucun calcul, estimer l'ordre de grandeur de l'inductance résultante.
- Calculer de façon formelle la valeur de l'inductance résultante.

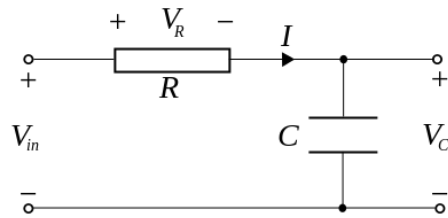
3. Relation tension-courant

- Donnez la relation du courant en fonction de la tension dans une inductance, puis dans un condensateur.
- Donnez la relation de la tension en fonction du courant dans une inductance, puis dans un condensateur.

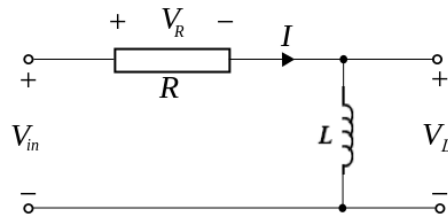
14.2 Exercices

1. Mise en équation de circuits en série (total 25 min)

- a) Mettre en équation le circuit suivant en utilisant la loi des nœuds. Note : on cherche une équation différentielle de $V_C(t)$. (10 min)



- b) Mettre en équation le circuit suivant en utilisant la loi des boucles. Note : on cherche une équation différentielle de $V_L(t)$. (10 min)



- c) Donner les noms (type) des équations obtenues en a) et b). (5 min)

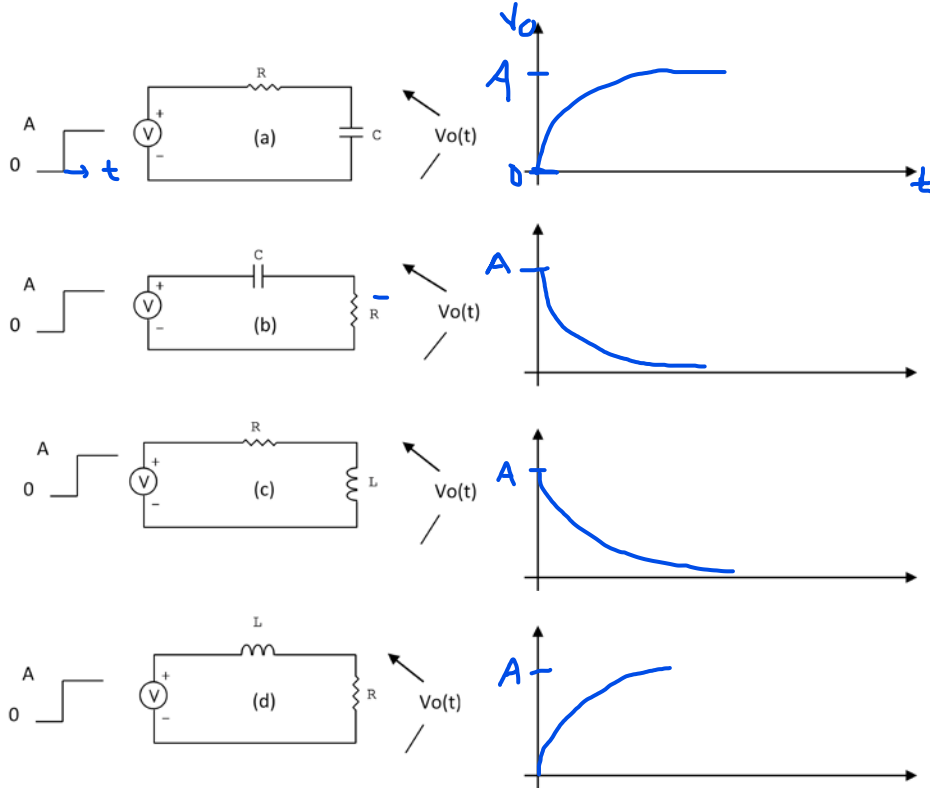
2. Équation différentielle (total 15 min)

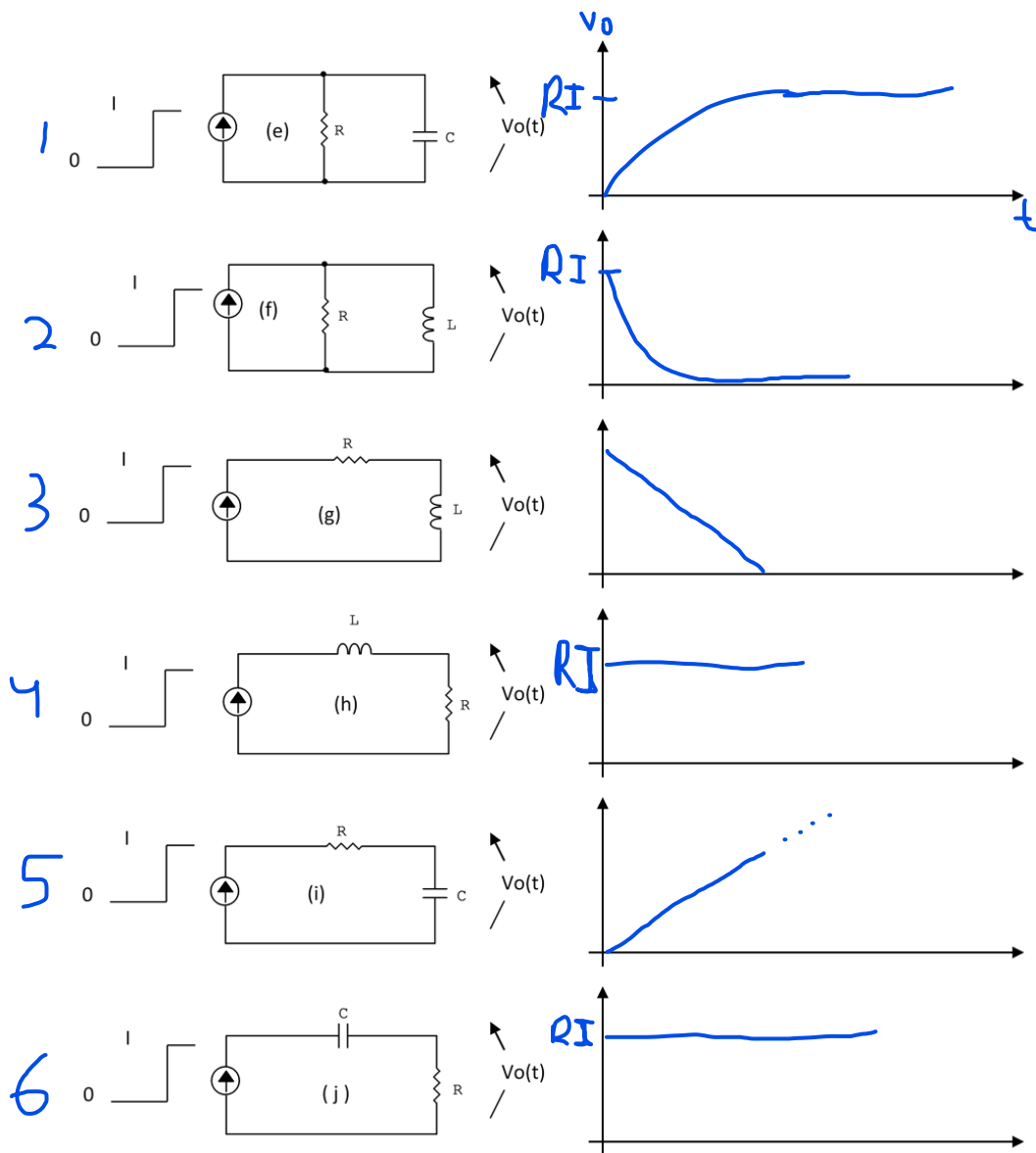
- a) Déterminer l'expression de la fonction $f(t)$ dont la dérivée de $f(t)$ vaut $5 \cdot f(t)$. (5 min)
- b) Déterminer la fonction possible que pourrait être $f(t)$ afin de résoudre l'équation trouvée en (a). (10 min)

3. Relation tension-courant (10*5min, total 50min)

Pour chacun des circuits suivants, sans aucun calcul, illustrer graphiquement l'allure et les valeurs prises par la réponse du circuit à l'échelon appliqué au temps $t = 0$. Spécifier la durée approximative de la réponse transitoire.

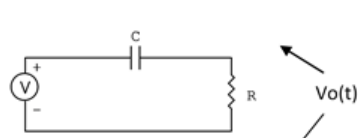
Supposer que le circuit était au repos avant le temps $t = 0$, c'est-à-dire que la tension était nulle aux bornes des condensateurs et qu'aucun courant ne circulait dans les inductances.



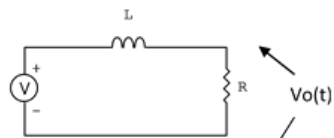


4. Analyse complète de circuits en série et parallèle (3*20 min, total 60 min)

Vous devez faire la mise en équation complète ainsi que la résolution du système d'ordre 1 pour les deux circuits ci-dessous, afin de trouver $V_o(t)$. La tension V est constante.

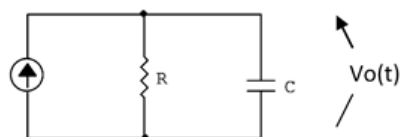


a)



b)

c) Résoudre l'équation différentielle de $i_c(t)$ ensuite trouver $V_o(t)$ I_m est constant



15 PRATIQUE EN LABORATOIRE 1

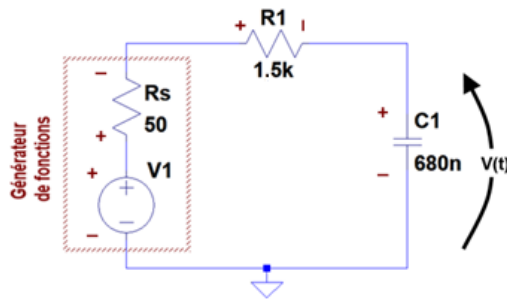
(En groupes collaboratifs de 2)

Objectifs de ce laboratoire :

- 1- Expérimenter avec des circuits RC, RL et RLC pour bien comprendre leur fonctionnement théorique et les calculs mathématiques qui y sont associés.
- 2- Prendre conscience du caractère non idéal d'une inductance réelle.
- 3- Observer quelques conséquences de la continuité du courant dans une inductance.
- 4- Observer quelques conséquences de la charge potentielle dans un condensateur.

1. Circuit RC

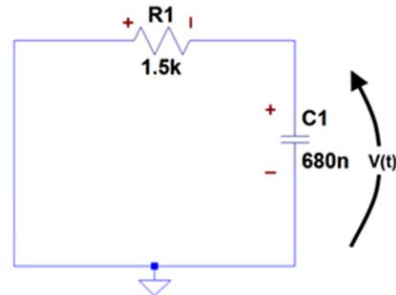
En utilisant votre plaquette de montage « breadboard » et le générateur de fonctions du laboratoire, effectuer le montage suivant. Pour le condensateur prendre votre condensateur de 680 nF fourni dans votre sac de pièce de l'APP.



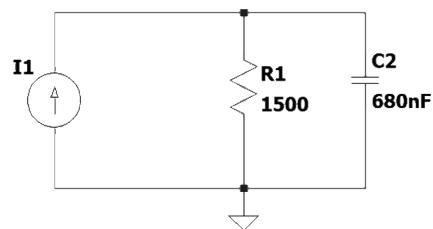
À l'aide de l'oscilloscope, ajuster le générateur de fonction de façon à une forme d'ondes carrées de 10 V_{C-à-G} offset de 5 V, 50 Hz et un rapport cyclique de 50% (la moitié de la période à 10 V et l'autre moitié à 0 V).

1. Faire le circuit et le simuler avec *LTspice*. (Analyse transitoire)
2. Observer le signal $V(t)$ avec l'oscilloscope et représentez-le en fonction du temps.
3. Comparer les résultats obtenus sur *LTspice* et à l'oscilloscope.
4. Répondre aux questions suivantes :
 - a. Quelles sont les constantes de temps du réseau de charge et de décharge du condensateur?
 - b. Calculer la valeur du condensateur à l'aide des constantes de temps, puis comparer celle-ci avec la valeur indiquée sur la pièce.
 - c. Que se passe-t-il si vous changez la valeur de la résistance?
(Ne descendez pas en bas de 500 Ω si vous alimentez votre circuit avec une tension de 10 V. Dans le cas contraire vous devez calculer la puissance dans la résistance et celle-ci ne doit pas dépasser $\frac{1}{4}$ W.)
 - d. Comment expliquez-vous la forme du signal de sortie obtenu?
 - e. Donner l'équation de la valeur de V_{R1} lorsque le condensateur se charge. Vous pouvez trouver cette formule dans Hambley et nous verrons comment écrire cette équation dans le procédural.

5. Faire le circuit de décharge seulement sur *LTspice*. Dans ce cas, il faut mettre les conditions initiales aux bornes du condensateur :



- Quelle est la constante de temps de cette décharge ?
 - Quelle en est la forme d'onde résultante ?
6. Le circuit suivant montre une autre façon de construire un circuit RC, un circuit parallèle avec une source de courant. La source de courant fournit une onde carrée 0-3.33 mA à la fréquence de 50 Hz rapport cyclique de 50%

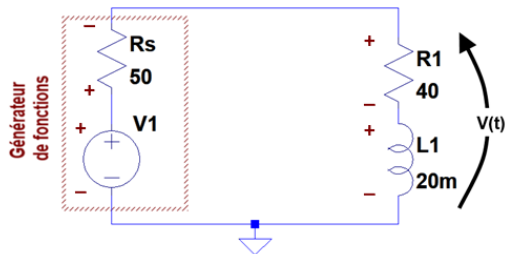


- Simuler sur *LTspice*.
- Faire le montage équivalent en remplaçant la source de courant par une source de tension et une résistance en série avec la source.

2. Circuit RL

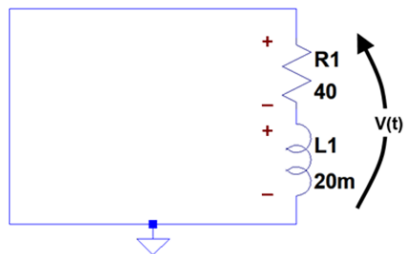
En utilisant votre plaquette de montage « breadboard » et le générateur de fonctions du laboratoire, effectuer le montage suivant. Pour l'inductance prendre votre inductance de 20 mH fourni dans votre sac de pièce de l'APP.

Attention, vous devez mesurer la résistance interne de votre inductance afin de déduire la valeur à la résistance R_1 .



À l'aide de l'oscilloscope, ajuster le générateur de fonction de façon à une forme d'ondes carrées de 10 V_{C-à-C}, offset de 5 V, 50 Hz et un rapport cyclique de 50% (la moitié de la période à 10 V et l'autre moitié à 0 V).

1. Faire le circuit et le simuler avec *LTspice*. (Analyse transitoire)
2. Observez le signal $V(t)$ avec l'oscilloscope et représentez-le en fonction du temps.
3. Répondez aux questions suivantes :
 - a. Le résultat obtenu est-il en accord avec le fait que le courant dans une inductance ne peut pas changer de valeur instantanément ?
 - b. Comment expliquez-vous la forme du signal de sortie obtenu ?
 - c. Déterminez la constante de temps τ .
 - d. Quelle est la valeur de la tension lorsque l'inductance est chargée à son maximum d'énergie?
 - e. Que se passe-t-il si vous changez la valeur de la résistance ?
 - f. Donner l'équation de la valeur de V_L lorsque la bobine se charge. Vous pouvez trouver cette formule dans Hambley et nous verrons comment écrire cette équation dans le procédural
4. Faire le circuit de décharge seulement sur *LTspice*. Dans ce cas, il faut mettre les conditions initiales aux bornes de la bobine :

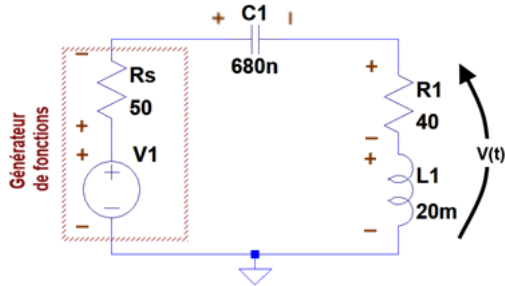


- a. Quelle est la constante de temps de cette décharge ?
- b. Quelle en est la forme d'onde résultante ?

3. Circuit RLC

En utilisant votre plaquette de montage « breadboard » et le générateur de fonctions du laboratoire, effectuer le montage suivant. Pour l'inductance prendre les pièces fournies dans votre sac de pièce de l'APP.

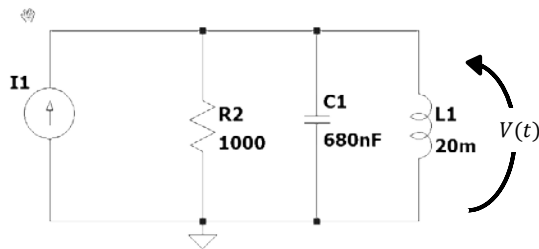
Attention, vous devez mesurer la résistance interne de votre inductance afin de déduire la valeur de la résistance R_1 .



À l'aide de l'oscilloscope, ajuster le générateur de fonction de façon à une forme d'ondes carrées de 10 V_{C-à-C} offset de 5 V, 100 Hz et un rapport cyclique de 50% (la moitié de la période à 10 V et l'autre moitié à 0 V).

1. Faire le circuit avec le condensateur de 680 nF et le simuler avec *LTspice*. (Analyse transitoire)
2. Observez le signal $V(t)$ avec l'oscilloscope et représentez-le en fonction du temps.
3. Répondre aux questions suivantes :
 - a. Le résultat obtenu est-il en accord avec le fait que la bobine et le condensateur vont créer une oscillation amortie dans le temps à la sortie?
 - b. Comment expliquez-vous la forme du signal de sortie obtenu quand le signal d'entrée est à son niveau haut?
 - c. Comment expliquez-vous la forme du signal de sortie obtenu quand le signal d'entrée est à son niveau bas?
 - d. Observer ce qui se passe si vous changez la résistance ou changez le condensateur pour celui de 10 nF.
 - e. Est-ce que α et ω_0 sont les mêmes pour un circuit RLC en parallèle?

Le circuit suivant montre un circuit RLC, en parallèle avec une source de courant. La source fournit une onde carrée 0-5 mA à la fréquence de 100 Hz rapport cyclique de 50%



- a. Simuler sur *LTspice* et observer le signal $V(t)$ aux bornes des éléments du circuit.

16 PRATIQUE PROCÉDURALE 2

Buts de l'activité

- Mettre en équation un circuit d'ordre 2.
- Solutionner un système d'équation mathématique d'ordre 2.
- Comprendre le comportement et la relation tension-courant dans un circuit comprenant un condensateur et une inductance.

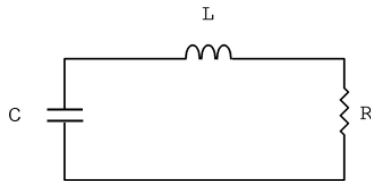
16.1 Exercices préparatoires

1. Décharge dans le circuit RLC en série

Le circuit RLC en série sans excitation (régime libre), R est la résistance totale du circuit, est modélisé par l'équation différentielle du second ordre à coefficient constant de la forme :

$$\frac{d^2 V_c(t)}{dt^2} + 2\alpha \frac{dV_c(t)}{dt} + \omega_0^2 V_c(t) = 0$$

$V_c(t)$ est la tension aux bornes du condensateur, $V_c(0) = A$.



- Donner la formule du coefficient d'amortissement, α , et de la pulsation propre, ω_0 .
- Déduire le rapport d'amortissement $\xi = \frac{\alpha}{\omega_0}$
- Trouver le polynôme caractéristique de l'équation
- Donner les racines et illustrer graphiquement les trois régimes possibles :
 - Régime apériodique $\xi > 1$
 - Pseudo-période des oscillations $\xi < 1$
 - Régime critique $\xi = 1$
- Comment R varie lorsque le régime pseudo-période passe au régime apériodique, C et L considérés constants?

16.2 Exercices

1. Questions préliminaires – nombres complexes (5*3 min, total 15 min)

- Qu'est-ce qu'un nombre complexe et à quoi cela sert?
- Calculer les racines du polynôme suivant : $x^2 + x + 1.25 = 0$
- Dessiner les deux racines dans le plan complexe.
- Calculer le module et la phase de ces nombres complexes.
- Donner la forme d'Euler.

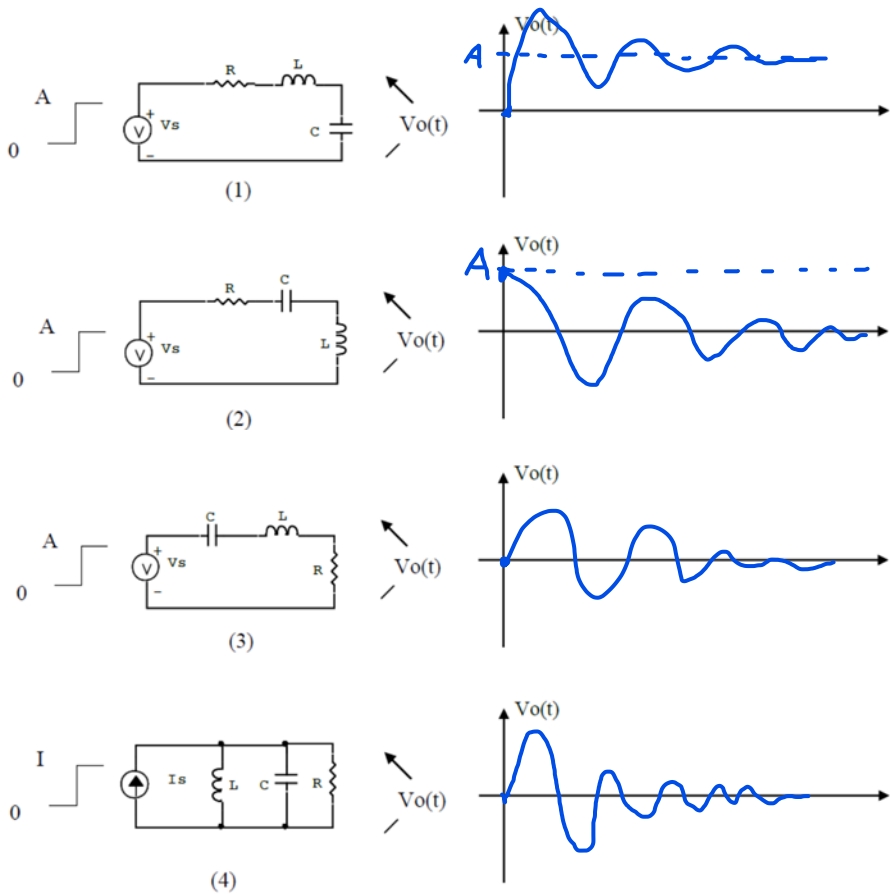
2. Solution d'équation différentielle (35 min)

Résoudre l'équation différentielle ayant comme conditions initiales $y(0) = 1$ et $\frac{dy}{dt}(0) = 2$.

$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2\frac{dy}{dt} + 2y = 2t^2 + 4$$

3. Relation tension-courant (4*5 min, total 20 min)

Pour chacun des circuits suivants, sans aucun calcul, illustrer graphiquement l'allure et les valeurs prises par la réponse du circuit à l'échelon appliqué au temps $t = 0$. Supposer que le circuit était au repos avant le temps $t = 0$, c'est-à-dire que la tension était nulle aux bornes des condensateurs et qu'aucun courant ne circulait dans les inductances. Supposer de plus que la condition suivante prévaut : $\alpha < \omega_0$



4. Analyse circuits en série avec conditions initiales (2*35 min)

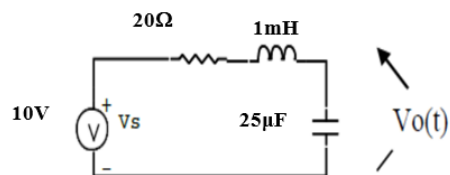
Pour chacun des circuits illustrés ci-dessous, obtenir, sous sa forme standard, l'équation différentielle permettant de déterminer la valeur de $V_o(t)$ selon sa forme standard :

$$\frac{d^2 V_o(t)}{dt^2} + 2 \cdot \alpha \cdot \frac{dV_o(t)}{dt} + \omega^2 \cdot V_o(t) = f(t)$$

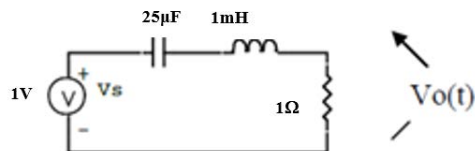
Par la suite, obtenir la solution complète $V_o(t)$ pour les circuits ci-dessous, si à $t=0$, on observe les conditions initiales suivantes :

- Il circule un courant de 0.5 A dans l'inductance L. Ce courant circule dans le circuit dans le sens horaire, donc de la gauche vers la droite ou encore du haut vers le bas.
- Il existe une tension de 2 V aux bornes du condensateur C. Cette tension est orientée de façon telle que la borne de gauche du condensateur est la borne (+), c'est-à-dire que la tension mesurée à cette borne est de 2 Volts supérieure à la tension mesurée à sa borne de droite.

A)



B)



17 SOLUTIONS EXERCICES DE LECTURE

17.1 Exercices à faire avant le procédural 1 :

Solution 1 :

- a) Le condensateur résultant d'un branchement série de deux condensateurs a une valeur toujours plus petite que la plus petite des deux valeurs des condensateurs branchés en série. Cette valeur est d'autant plus petite que les valeurs des condensateurs sont près l'une de l'autre. Comme ici, il y a une grosse différence entre les valeurs des condensateurs, la valeur résultante devrait être voisine de la valeur la plus petite, soit légèrement inférieure à 10 pF.

b) $\frac{1}{C_{Total}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ ou encore $C_{Total} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{10000pF \cdot 10pF}{10000pF + 10pF} \approx 10pF$, Précisément 9.99 pF

Solution 2 :

- a) L'inductance résultante d'un branchement en parallèle d'inductances a une valeur toujours plus petite que la plus petite des deux valeurs des inductances branchées en parallèle. Cette valeur est d'autant plus petite que les valeurs des inductances sont près les unes des autres. Comme ici, les quatre valeurs d'inductances sont identiques, la valeur de l'inductance résultante est 0,25 H.

b) Comme pour la question 1 a) $\frac{1}{1/10H + 1/10H + 1/10H + 1/10H} = 2.5H$

Solution 3 :

- a) Donnez la relation du courant en fonction de la tension dans une inductance, puis dans un condensateur.

$$I_C = C \cdot \frac{dV_C(t)}{dt} \quad I_L = \frac{1}{L} \cdot \int V_L(t) dt$$

- b) Donnez la relation de la tension en fonction du courant dans une inductance, puis dans un condensateur.

$$V_C = \frac{1}{C} \cdot \int I_C(t) dt \quad V_L = L \cdot \frac{dI_L(t)}{dt}$$

17.2 Exercices à faire avant le procédural 2 :

Solution 1 :

a) $\alpha = \frac{R}{2L}$ et $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$
 b) $\xi = \frac{\alpha}{\omega_0} = \frac{R}{2L} \sqrt{LC}$

Note : l'intérêt de ces variables est d'utiliser des variables de même dimension dans la résolution de l'équation.

On peut donc appliquer sa résolution dans n'importe quel système d'unité.

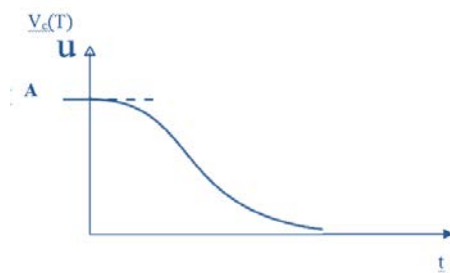
c) $\lambda^2 + 2\alpha\lambda + \omega_0^2 = 0$

d)

1 - Régime apériodique $\xi > 1$

$$\lambda_1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$$

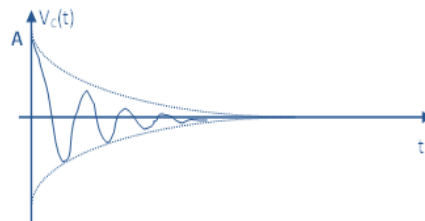
$$\lambda_2 = -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$$



2 - Pseudo-période des oscillations $\xi < 1$

$$\lambda_1 = -\alpha + j\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$$

$$\lambda_2 = -\alpha - j\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$$



3 - Régime critique $\xi = 1$

$$\lambda = -\alpha$$



e) R augmente