

A1-SP-5 Circuits électriques dans l'ARQS

- Charge électrique, intensité du courant.
Justifier que l'utilisation de grandeurs électriques continues est compatible avec la quantification de la charge électrique.
Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charge.
Citer les ordres de grandeur des intensités dans les différents domaines d'application.
- Potentiel, référence de potentiel, tension.
Citer les ordres de grandeur des tensions dans les différents domaines d'application.
- Lois de Kirchhoff (la loi des mailles et la loi des nœuds).
Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence.
Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge.
Utiliser la loi des mailles.
- Représentation générale d'un dipôle, conventions d'orientation.
Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur.
- Puissance électrocinétique reçue par un dipôle, caractère récepteur ou générateur.
- Caractéristique d'un dipôle. Point de fonctionnement.
- Le conducteur ohmique : loi d'Ohm, puissance dissipée (effet Joule), associations en série et en parallèle de deux résistances.
Remplacer une association série ou parallèle de 2 résistances par une résistance équivalente
- Condensateurs et bobines.
Utiliser les relations entre l'intensité et la tension.
Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur ou une bobine.

- Les générateurs linéaires : représentation de Thévenin.
Modéliser une source non idéale en utilisant la représentation de Thévenin.
- Le pont diviseur de tension et le pont diviseur de courant.
Établir et exploiter les relations de diviseurs de tension ou de courants
- Résistance de sortie, résistance d'entrée.
Étudier l'influence de ces résistances sur le signal délivré par un GBF, sur la mesure effectuée par un oscilloscope ou un multimètre.
Évaluer les grandeurs à l'aide d'une notice ou d'un appareil afin d'appréhender les conséquences de leurs valeurs sur le fonctionnement d'un circuit.

A1-SP-6 Circuit linéaire du premier ordre

- Réponse à un échelon de tension et régime libre pour le dipôle RC ou RL série : circuit étudié, mise en équation, résolution, représentation graphique.
Réaliser pour un circuit l'acquisition d'un régime transitoire du premier ordre et analyser ses caractéristiques. Confronter les résultats expérimentaux aux expressions théoriques.
Distinguer, sur un relevé expérimental, régime transitoire et régime permanent au cours de l'évolution d'un système du premier ordre soumis à un échelon de tension.
Interpréter et utiliser les continuités de la tension aux bornes d'un condensateur ou de l'intensité dans une bobine.
Établir l'équation différentielle du premier ordre vérifiée par une grandeur électrique dans un circuit comportant une ou deux mailles.
Prévoir l'évolution du système, avant toute résolution de l'équation différentielle, à partir d'une analyse s'appuyant sur une représentation graphique de la dérivée temporelle de la grandeur en fonction de cette grandeur.
Déterminer analytiquement la réponse temporelle dans le cas d'un régime

libre ou d'un échelon.

Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire.

- Bilan énergétique, stockage et dissipation d'énergie.

Réaliser des bilans énergétiques.

A1-SP-7a Oscillateurs amortis

- Analyser, sur des relevés expérimentaux, l'évolution de la forme des régimes transitoires en fonction des paramètres caractéristiques.
- Écrire sous forme canonique l'équation différentielle afin d'identifier la pulsation propre et le facteur de qualité.
- Connaître la nature de la réponse en fonction de la valeur du facteur de qualité.
- Déterminer la réponse détaillée en cherchant les racines du polynôme caractéristique.
- Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire selon la valeur du facteur de qualité.

A1-SP-7b Oscillateur électrique soumis à une excitation sinusoïdale

- Le régime sinusoïdal forcé : distinguer le régime transitoire du régime forcé.
- Le signal sinusoïdal : amplitude, phase à l'origine, pulsation, fréquence.
- La notation complexe des grandeurs physiques sinusoïdales : signal complexe, amplitude complexe.
- Impédances complexes : $Z = \frac{U}{I}$.
Établir et connaître l'impédance d'une résistance, d'un condensateur, d'une bobine en régime harmonique.
Admittances complexes, lois d'association, ponts diviseur.
- Lois de Kirchhoff avec les amplitudes complexes.

- Oscillateur en régime sinusoïdal forcé : résonance en tension aux bornes de C , rôle du facteur de qualité.
- Oscillateur en régime forcé : résonance en intensité.
- Utiliser la construction de Fresnel et la méthode des complexes pour étudier le régime forcé.
- Relier l'acuité d'une résonance forte au facteur de qualité.
- Déterminer le facteur de qualité et la pulsation propre à partir de graphes expérimentaux d'amplitude et de phase.
- Expliquer la complémentarité des informations présentes sur les graphes d'amplitude et de phase, en particulier dans le cas de résonance en charge aux bornes de C de facteur de qualité modéré.
- À l'aide d'un outil de résolution numérique, mettre en évidence le rôle du facteur de qualité pour l'étude de la résonance en tension aux bornes de C .

A1-SP-8 Filtrage linéaire analogique

- Signaux périodiques.
Savoir que l'on peut décomposer un signal périodique en une somme de fonctions sinusoïdales.
Définir la valeur moyenne et la valeur efficace.
Établir par le calcul la valeur efficace d'un signal sinusoïdal.
Savoir que le carré de la valeur efficace d'un signal périodique est la somme des carrés des valeurs efficaces de ses harmoniques.
- Fonction de transfert harmonique.
- Diagramme de Bode.
Tracer le diagramme de Bode (amplitude et phase) associé à une fonction de transfert d'ordre 1.
Utiliser une fonction de transfert donnée d'ordre 1 ou 2 et ses représentations graphiques pour conduire l'étude de la réponse d'un système linéaire à une

excitation sinusoïdale, à une somme finie d'excitations sinusoïdales, à un signal périodique.

Mettre en œuvre un dispositif expérimental illustrant l'utilité des fonctions de transfert pour un système linéaire à un ou plusieurs étages.

Utiliser les échelles logarithmiques et interpréter les zones rectilignes des diagrammes de Bode d'après l'expression de la fonction de transfert.

- Modèles simples de filtres passifs : passe-bas et passe-haut d'ordre 1, passe-bas et passe-bande d'ordre 2.
 - Fonction de transfert.
 - Comportement asymptotique à haute et à basse fréquence.
 - Diagramme de Bode.
 - Pulsation de coupure à -3 dB.
- Expliciter les conditions d'utilisation d'un filtre afin de l'utiliser comme moyennneur, intégrateur, ou dérivateur.

Choisir un modèle de filtre en fonction d'un cahier des charges.

Expliciter les conditions d'utilisation d'un filtre en tant que moyennneur, intégrateur, ou dérivateur.

Expliquer l'intérêt, pour garantir leur fonctionnement lors de mises en cascade, de réaliser des filtres de tension de faible impédance de sortie et forte impédance d'entrée. Comprendre l'intérêt, pour garantir leur fonctionnement lors de mises en cascade, de réaliser des filtres de tension de faible impédance de sortie et forte impédance d'entrée.

Étudier le filtrage linéaire d'un signal non sinusoïdal à partir d'une analyse spectrale.

Détecter le caractère non linéaire d'un système par l'apparition de nouvelles fréquences.

- Filtres actifs en électronique.
Modèle de l'ALI idéal en régime linéaire.

Identifier la présence d'une rétroaction sur la borne inverseuse comme un indice de fonctionnement en régime linéaire.

Établir la relation entrée-sortie des montages non inverseur, suiveur, inverseur, intégrateur.

Déterminer les impédances d'entrée de ces montages.

B4-Induc-1 **Champ magnétique**

- Sources de champ magnétique ; cartes de champ, ligne de champ.
Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible, et l'emplacement des sources.
Tracer l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue.
Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme.
- Connaître des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.
- Symétries et invariances des distributions de courant.
Exploiter les propriétés de symétrie et d'invariance des sources pour prévoir des propriétés du champ créé.
- Lien entre le champ magnétique et l'intensité du courant.
Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'**expressions fournies**.
Orienter le champ magnétique créé par une bobine « infinie » et connaître son expression.
- Moment magnétique.
Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane.
Par analogie avec une boucle de courant, associer à un aimant un moment magnétique.
Connaître un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel.

B4-Induc-2 **Actions d'un champ magnétique**

- Densité linéique de la force de Laplace dans le cas d'un élément de courant filiforme.
Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant d'un élément de courant filiforme.
- Résultante et puissance des forces de Laplace s'exerçant sur une barre conductrice en translation rectiligne sur deux rails parallèles (rails de Laplace) dans un champ magnétique extérieur uniforme, stationnaire et orthogonal à la barre.
Établir et citer l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire.
Exprimer la puissance des forces de Laplace.
- Couple et puissance des actions mécaniques de Laplace dans le cas d'une spire rectangulaire, parcourue par un courant, en rotation autour d'un axe de symétrie de la spire passant par les deux milieux de côtés opposés et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe.
Établir et exploiter l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique de la spire rectangulaire.
Exprimer la puissance des actions mécaniques de Laplace.
- Action d'un champ magnétique extérieur uniforme sur un aimant.
- Positions d'équilibre et stabilité.
Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'action d'un champ magnétique uniforme sur une boussole.
- Effet moteur d'un champ magnétique tournant.
Créer un champ magnétique tournant à l'aide de deux ou trois

bobines et mettre en rotation une aiguille aimantée.**B4-Induc-3 Lois de l'induction**

- Flux d'un champ magnétique : flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté.

Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.

- Loi de Faraday : Courant induit par le déplacement relatif d'une boucle conductrice par rapport à un aimant ou un circuit inducteur. Sens du courant induit.

Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday.

- Loi de modération de Lenz.

Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.

- Force électromotrice induite, loi de Faraday.

Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algébrisation.

B4-Induc-4 Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps

- Auto-induction.
- Flux propre et inductance propre.

Différencier le flux propre des flux extérieurs.

Utiliser la loi de modération de Lenz.

Évaluer et connaître l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur, le champ magnétique créé par une bobine infinie étant donné.

Mesurer la valeur de l'inductance propre d'une bobine.

- Étude énergétique.

Conduire un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent.

- Cas de deux bobines en interaction.

- Inductance mutuelle entre deux bobines.

Déterminer l'inductance mutuelle entre deux bobines de même axe de grande longueur en « influence totale », le champ magnétique créé par une bobine infinie étant donné.

- Circuits électriques à une maille couplés par le phénomène de mutuelle induction en régime sinusoïdal forcé.

Connaître des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.

Établir le système d'équations en régime sinusoïdal forcé en s'appuyant sur des schémas électriques équivalents.

- Transformateur de tension.

Établir la loi des tensions.

- Étude énergétique.

Réaliser un bilan de puissance et d'énergie.

B4-Induc-5 Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire

- Conversion de puissance mécanique en puissance électrique.

- Rail de Laplace.

Spire rectangulaire soumise à un champ magnétique extérieur uniforme et en rotation uniforme autour d'un axe fixe orthogonal au champ magnétique.

Interpréter qualitativement les phénomènes observés.

Écrire les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de

signe.

Effectuer un bilan énergétique.

Connaître des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.

- Freinage par induction.

Expliquer l'origine des courants de Foucault et en connaître des exemples d'utilisation.

Mettre en évidence qualitativement les courants de Foucault.

- Conversion de puissance électrique en puissance mécanique.
- Moteur à courant continu à entrefer plan.

Analyser le fonctionnement du moteur à courant continu à entrefer plan en s'appuyant sur la configuration des rails de Laplace.

Citer des exemples d'utilisation du moteur à courant continu.

2-Elec Production, acquisition et traitement d'un signal électrique.

- Oscillateur quasi-sinusoidal réalisé en bouclant un filtre passe-bande du deuxième ordre avec un amplificateur.

Mettre en œuvre un oscillateur quasi-sinusoidal et analyser les spectres des signaux générés.

- Échantillonnage. **Expliquer l'influence de la fréquence d'échantillonnage.**
- Condition de Nyquist-Shannon.

Utiliser la condition de Nyquist-Shannon.

Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre au moyen d'un oscilloscope numérique ou d'une acquisition numérique.

- Détection synchrone.

Mettre en œuvre un protocole de détection synchrone.

4-EM1 Sources de champ électromagnétique

- Densité volumique de charges. Charge traversant un élément de surface fixe et vecteur densité de courant. Intensité du courant.

Exprimer la densité volumique de charge ρ et le vecteur densité de courant \vec{j} en fonction de la vitesse moyenne des porteurs de charge, de leur charge et de leur densité volumique.

Relier l'intensité du courant et le flux du vecteur densité de courant \vec{j} .

- Équation locale de conservation de la charge.

Établir l'équation traduisant la conservation de la charge dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne.

Citer et utiliser une généralisation (admise) en géométrie quelconque utilisant

l'opérateur divergence, son expression étant fournie.

- Conséquences en régime stationnaire.

Exploiter le caractère conservatif du vecteur \vec{j} en régime stationnaire. Relier ces propriétés aux lois usuelles de l'électrocinétique.

- Loi d'Ohm locale dans un métal fixe, l'action de l'agitation thermique et des défauts du réseau fixe étant décrite par une force phénoménologique de la forme $-m\vec{v}/\tau$.

Discuter de l'influence de la fréquence sur la conductivité électrique.

- Conductivité électrique. Établir l'expression de la résistance d'une portion de conducteur filiforme.
- Approche descriptive de l'effet Hall. Interpréter qualitativement l'effet Hall dans une géométrie rectangulaire.
- Effet thermique du courant électrique : loi de Joule locale. Exprimer la puissance volumique dissipée par effet Joule dans un conducteur ohmique.

4-EM2 Champ électrostatique

- Loi de Coulomb. Champ et potentiel électrostatiques créés par une charge ponctuelle : relation $\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}}V$. Principe de superposition.

Citer l'ordre de grandeur du champ créé par le noyau sur l'électron dans un atome d'hydrogène.

- Circulation conservative du champ électrique et signification physique : énergie potentielle d'une charge q dans un champ \vec{E} .

Associer la circulation de \vec{E} au travail de la force $q\vec{E}$.

- Équation locale $\overrightarrow{\text{rot}}\vec{E} = \vec{0}$.

Utiliser le théorème de Stokes. Associer les propriétés locales $\overrightarrow{\text{rot}}\vec{E} = \vec{0}$ dans tout l'espace et $\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}}V$.

Associer la relation $\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}}V$ au fait que les lignes de champ sont ortho-

gonales aux surfaces équipotentielles et orientées dans le sens des potentiels décroissants.

- Propriétés de symétrie.

Exploiter les propriétés de symétrie des sources (translation, rotation, symétrie plane, conjugaison de charges) pour prévoir des propriétés du champ créé.

- Théorème de Gauss et équation locale $\text{div}\vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$.

Choisir une surface adaptée et utiliser le théorème de Gauss.

- Propriétés topographiques.

Justifier qu'une carte de lignes de champs puisse ou non être celle d'un champ électrostatique ; repérer d'éventuelles sources du champ et leur signe. Associer l'évolution de la norme de \vec{E} à l'évasement des tubes de champ loin des sources.

Déduire les lignes équipotentielles d'une carte de champ électrostatique, et réciproquement.

Évaluer le champ électrique à partir d'un réseau de lignes équipotentielles.

- Plan infini uniformément chargé en surface : Établir l'expression du champ créé.

- Condensateur plan modélisé par deux plans parallèles portant des densités superficielles de charges opposées et uniformes. Capacité. Densité volumique d'énergie électrostatique.

Établir l'expression du champ créé.

Déterminer la capacité du condensateur.

Citer l'ordre de grandeur du champ disruptif dans l'air.

Associer l'énergie d'un condensateur apparue en électrocinétique à une densité volumique d'énergie.

- Noyau atomique modélisé par une boule uniformément chargée : énergie de constitution de la distribution.

Exprimer l'énergie de constitution du noyau à un préfacteur numérique près

par analyse dimensionnelle.

Obtenir le préfacteur numérique en construisant le noyau par adjonction progressive de charges apportées de l'infini.

Relier les ordres de grandeur mis en jeu : rayons et énergies. Justifier la nécessité de l'interaction forte.

- Analogies formelles entre champ électrostatique et champ gravitationnel.
Mettre en évidence les analogies formelles entre les forces électrostatique et gravitationnelle pour en déduire des propriétés des champs.

4-EM2bis Dipôle électrostatique

- Dipôle électrostatique. Moment dipolaire.
Décrire les conditions de l'approximation dipolaire.
- Potentiel et champ créés.
Établir l'expression du potentiel V . Comparer la décroissance avec la distance du champ et du potentiel dans le cas d'une charge ponctuelle et dans le cas d'un dipôle. Tracer l'allure des lignes de champ.
- Actions subies par un dipôle placé dans un champ électrostatique d'origine extérieure : résultante et moment.
Utiliser les expressions fournies de l'énergie potentielle \mathcal{E}_p , de la résultante \vec{F} et du moment \vec{M} .
- Énergie potentielle d'un dipôle rigide dans un champ électrostatique d'origine extérieure.
- Approche descriptive des interactions ion-molécule et molécule-molécule.
Prévoir qualitativement l'évolution d'un dipôle dans un champ d'origine extérieure \vec{E} .
- Dipôle induit. Polarisabilité.
Expliquer qualitativement la solvation des ions dans un solvant polaire. Expliquer qualitativement pourquoi l'énergie d'interaction entre deux molécules

polaires n'est pas en $1/r^3$.

Exprimer la polarisabilité d'un atome en utilisant le modèle de Thomson. Associer la polarisabilité et le volume de l'atome en ordre de grandeur.

4-EM3 Champ magnétostatique

- Équations locales de la magnétostatique et formes intégrales : flux conservatif et théorème d'Ampère.
Choisir un contour, une surface et les orienter pour appliquer le théorème d'Ampère.
- Linéarité des équations.
Utiliser une méthode de superposition.
- Propriétés de symétrie.
Exploiter les propriétés de symétrie des sources (rotation, symétrie plane, conjugaison de charges) pour prévoir des propriétés du champ créé.
- Propriétés topographiques.
Justifier qu'une carte de lignes de champs puisse ou non être celle d'un champ magnétostatique ; repérer d'éventuelles sources du champ et leur signe/sens. Associer l'évolution de la norme de \vec{B} à l'évasement des tubes de champ.
- Câble rectiligne « infini ». Limite du fil rectiligne infini.
Déterminer le champ créé par un câble rectiligne infini. Calculer et connaître le champ créé par un fil rectiligne infini. Utiliser ces modèles près d'un circuit filiforme réel.
- Solénoïde long sans effets de bords.
Calculer et connaître le champ à l'intérieur, la nullité du champ extérieur étant admise.
- Inductance propre. Densité volumique d'énergie magnétique.
Établir les expressions de l'inductance propre et de l'énergie d'une bobine modélisée par un solénoïde. Associer cette énergie à une densité d'énergie

volumique.

4-EM3bis Dipôle magnétostatique

- Moment magnétique d'une boucle de courant plane.
Utiliser un modèle planétaire pour relier le moment magnétique d'un atome d'hydrogène à son moment cinétique.
- Rapport gyromagnétique de l'électron. Magnéton de Bohr.
Construire en ordre de grandeur le magnéton de Bohr par analyse dimensionnelle. Interpréter sans calculs les sources microscopiques du champ magnétique.
Évaluer l'ordre de grandeur maximal du moment magnétique volumique d'un aimant permanent.
- Ordre de grandeur de la force surfacique d'adhérence entre deux aimants permanents identiques en contact.
Obtenir l'expression de la force surfacique d'adhérence par analyse dimensionnelle.
- Actions subies par un dipôle magnétique placé dans un champ magnétostatique d'origine extérieure : résultante et moment.
Utiliser des expressions fournies.
- Énergie potentielle d'un dipôle magnétique rigide placé dans un champ magnétostatique d'origine extérieure.

4-EM4 Équations de Maxwell

- Force de Lorentz.
- Équations locales de Maxwell.
- Formes intégrales.
- Compatibilité avec les cas particuliers de l'électrostatique et de la magnétostatique ; compatibilité avec la conservation de la charge.

Utiliser les équations de Maxwell sous forme locale ou intégrale. Faire le lien entre l'équation de Maxwell-Faraday et la loi de Faraday étudiée en PCSI.

- Linéarité : utiliser une méthode de superposition.
- Vecteur de Poynting.
- Densité volumique d'énergie électromagnétique.
- Équation locale de Poynting.
Utiliser les grandeurs énergétiques pour faire des bilans d'énergie électromagnétique.
Associer le vecteur de Poynting et l'intensité utilisée en optique.
- Équations de propagation des champs \vec{E} et \vec{B} dans le vide. Caractère non instantané des interactions électromagnétiques. Relation $\epsilon_0\mu_0c^2 = 1$.
Établir les équations de propagation. Interpréter c .
- ARQS « magnétique ».
Discuter la légitimité du régime quasistationnaire.
Simplifier les équations de Maxwell et l'équation de conservation de la charge et utiliser les formes simplifiées.
Étendre le domaine de validité des expressions des champs magnétiques obtenues en régime stationnaire.