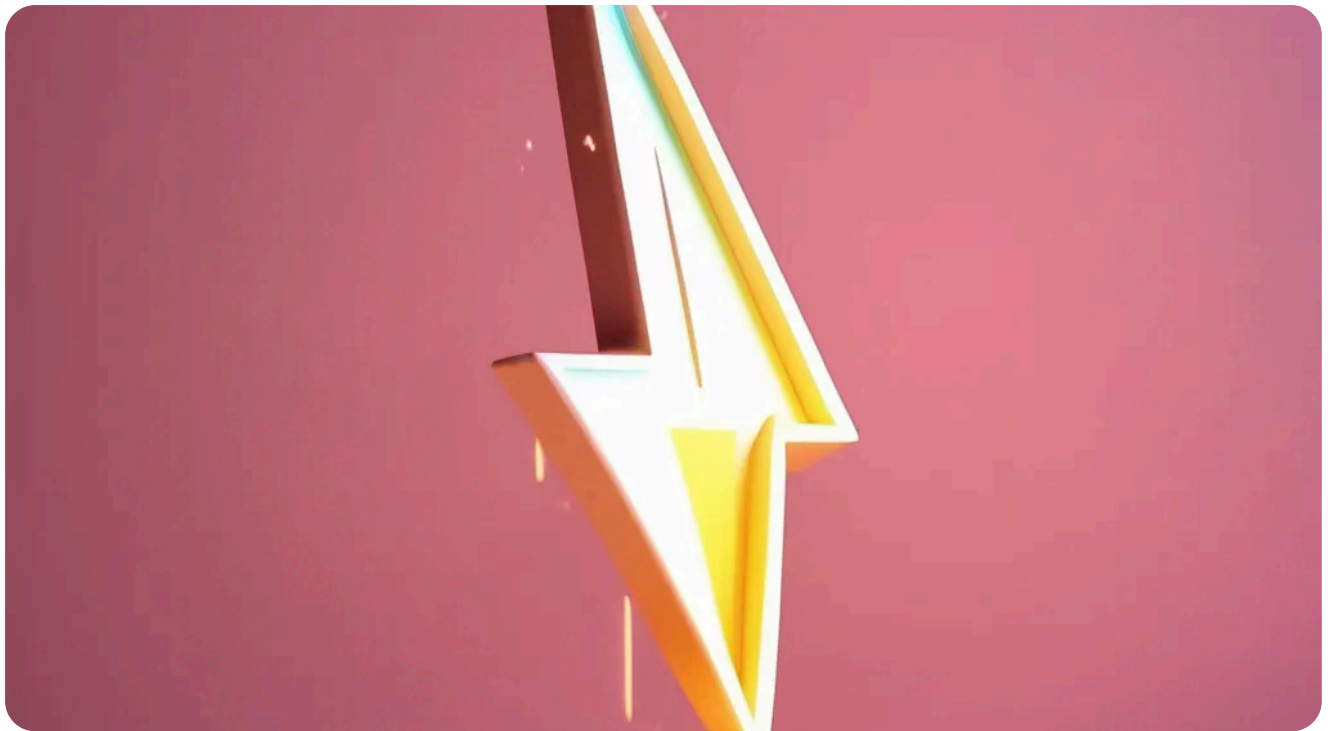




4EELE

Electricité

Sylvain Léonis

26 chapitres

SUPPORTS DE COURS

<https://cours.tsix.be/cours/electricite>

Version 1 · 12/09/2026

PRÉSENTATION

Programme du cours

1. ACQUIS D'APPRENTISSAGE Pour atteindre le seuil de réussite, l'étudiant sera capable de :

- Analyser le plan d'ensemble d'un équipement automatisé, extraire le croquis à main levée d'un élément et le coter.
- Établir le plan de pose des éléments électriques et ensembles électroniques dans les armoires.
- Exploiter des documents techniques et des dossiers industriels relatifs à un dépannage ou un remplacement à effectuer.
- Choisir un composant électrique de base correspondant à une fonction précise demandée dans un circuit.
- Établir un schéma mécanique simple en vue de corrections ou modifications d'éléments de l'ensemble.

Pour la détermination du degré de maîtrise, il sera tenu compte des critères suivants :

- La pertinence et la justification de ses choix.
- L'exploitation de ses connaissances théoriques.
- L'utilisation judicieuse de la documentation technique.

2. PROGRAMME L'étudiant sera capable de :

- Définir et appliquer les lois de base de l'électrostatique : loi de Coulomb, champ électrique.
- Définir et appliquer les lois de base de l'électrocinétique : loi de Pouillet, loi de Mathiessen (résistivité, courant électrique, groupement de résistances).
- Définir et appliquer les lois du magnétisme et de l'électromagnétisme.
- Exploiter les principaux phénomènes électriques qui interviennent dans les composants et machines électriques courants et d'identifier les lois générales de l'électricité qui s'y rapportent.
- Appliquer la loi qui régit la production de chaleur provoquée par un courant électrique.
- Définir les grandeurs relatives au courant alternatif monophasé, la puissance (active, réactive, apparente), l'énergie.

EQUIPEMENTS AUTOMATISES : ELECTRICITE ET DESSIN

- Appliquer les règles qui relient tension et courant dans les circuits résistifs, selfiques et capacitifs en alternatif.
- Apporter des solutions à des problèmes de branchement en triphasé (équilibré ou non), de résistances, de condensateurs, de moteurs (en étoile ou triangle).
- Choisir un composant électrique correspondant à une application précise en utilisant des catalogues techniques ou des sites Internet de fabricants.

4.2. Electronique face à une application pratique ou un phénomène observable,

- Décrire chacun des composants de base suivants en utilisant le vocabulaire adéquat :
 - Diode à jonction.
 - Transistor bipolaire.
 - Thyristor.
 - Triac.
 - Photodiodes, photorésistances, leds, afficheurs, optocoupleurs.
 - Micro processeurs, Micro contrôleurs.
- Interpréter les principales caractéristiques du fonctionnement de chacun de ces composants.

4.3. Travaux pratiques de mécanique

- Effectuer des mesures à l'aide du pied à coulisse, du micromètre, du comparateur.
- Identifier un filet.
- Déterminer le matériel nécessaire au forage, au filetage, au taraudage.
- Réaliser un filetage, un taraudage.
- Tracer, cisailer, plier, cintrer des tôles de faible épaisseur.
- Monter et démonter des assemblages boulonnés.
- Effectuer des montages par clavetage.

Sommaire

- Programme du cours
- 1 Electrostatique**
 - 1.1 La charge électrique
 - 1.2 La force de coulomb
 - 1.3 Le champ électrique
 - 1.4 Le théorème de Gauss
 - 1.5 Le potentiel électrique
 - 1.6 La capacité
- 2 Circuit électrique**
 - 2.1 Introduction
 - 2.2 Générateurs
 - 2.3 Résistances
 - 2.4 Condensateurs
 - 2.5 Récepteurs
- 3 Électromagnétisme**
 - 3.1 Pôles et champ magnétique
 - 3.2 La force magnétique
 - 3.3 Interaction entre électricité et magnétisme
 - 3.4 L'induction électromagnétique
 - 3.5 Les courants de Foucault
 - 3.6 L'auto-induction
- 4 Courant Alternatif**
 - 4.1 Tension et intensité
 - 4.2 Courants mono et triphasé
 - 4.3 Circuits et composants
 - 4.4 Circuits RLC
 - 4.5 Puissance

CHAPITRE 1

Electrostatique

L'électrostatique est une branche de la physique qui s'intéresse aux charges électriques au repos et aux interactions entre elles. Ce domaine examine les forces qui opèrent entre les charges statiques ainsi que les champs et potentiels électriques qui en découlent. Dans ce cours, nous explorerons les principes de base de l'électrostatique, en commençant par la nature des charges électriques et en progressant vers des concepts plus complexes comme le potentiel électrique et l'énergie potentielle électrostatique.

La charge électrique

La charge électrique est une propriété intrinsèque de la matière, se manifestant sous deux formes: positive et négative. Les charges de signes opposés s'attirent, tandis que celles de même signe se repoussent. Nous aborderons la quantification et la conservation de la charge, ainsi que la distinction entre conducteurs et isolants. Nous verrons également comment les charges peuvent être transférées entre objets par frottement, contact ou induction.

La force de Coulomb

La force de Coulomb décrit l'interaction entre deux charges ponctuelles. Elle est directement proportionnelle au produit des charges et inversement proportionnelle au carré de la distance les séparant. Nous étudierons la loi de Coulomb et son principe de superposition, et nous appliquerons ces connaissances pour calculer la force dans des systèmes de charges multiples.

Le champ électrique

Le champ électrique représente l'effet d'une charge sur l'espace environnant. Nous définirons le champ électrique, apprendrons à le représenter par des lignes de champ et à calculer l'effet d'une charge ponctuelle ainsi que celui de distributions continues de charges.

Le théorème de Gauss

Le théorème de Gauss est un principe fondamental en électrostatique qui relie le flux du champ électrique à travers une surface fermée à la charge électrique totale qu'elle contient. Il est essentiel pour calculer les champs électriques dans des configurations symétriques, telles que celles autour de charges ponctuelles, de lignes de charge infinies ou de plans infinis de charge. Grâce à sa capacité à exploiter la symétrie, le théorème simplifie grandement l'analyse des champs électriques en permettant de déterminer facilement le champ en divers points de l'espace.

Le potentiel électrique

Le potentiel électrique permet de comprendre l'énergie potentielle électrostatique par unité de charge dans un champ électrique. Ce concept scalaire simplifie l'analyse des systèmes électrostatiques. Nous explorerons la relation entre le champ et le potentiel électrique, et nous apprendrons à calculer le potentiel généré par une charge ponctuelle et par des distributions de charges.

Nous poursuivrons par l'étude de l'énergie potentielle électrostatique, qui est l'énergie stockée par une charge due à sa position dans un champ électrique. Nous analyserons comment cette énergie peut être calculée pour des configurations de charges multiples et comment elle se conserve dans des systèmes électrostatiques.

La capacité

Nous allons étudier un composant électronique très important appelé condensateur, analogue à une petite réserve d'énergie électrique. Il s'agit d'un système capables de garder les charges. La quantité d'électricité qu'elles peuvent retenir est ce qu'on appelle leur capacité. Nous allons explorer comment ces condensateurs fonctionnent, comment on les utilise dans les circuits, et pourquoi ils sont si essentiels dans le monde de l'électronique.

Ce cours met en lumière les fondements de l'électrostatique, préparant le terrain pour des études plus approfondies des phénomènes électriques et de leurs applications pratiques qui seront abordées dans les chapitres suivants.

1.1 La charge électrique

La charge électrique est l'un des concepts fondamentaux de la physique, présente dans chaque particule de matière. Elle est à la base de nombreux phénomènes physiques et technologiques qui nous entourent, de l'électricité statique que l'on ressent parfois en touchant un objet à la transmission de l'énergie électrique qui alimente nos maisons et nos appareils.

Nature et types de charges électriques

Tout d'abord, il est essentiel de comprendre que la charge électrique se présente sous deux formes: positive et négative. Ces charges sont souvent représentées par les protons (positifs) et les électrons (négatifs). Un atome est considéré comme neutre s'il contient le même nombre de protons et d'électrons. Cependant, si un atome gagne ou perd des électrons, il devient un ion et porte une charge nette, soit positive, soit négative.

Un principe clé de l'électrostatique est que les charges de signes opposés s'attirent, tandis que les charges de même signe se repoussent.

Quantification de la charge

La charge électrique est quantifiée en coulombs (C). La charge d'un seul électron est très petite, environ $-1,6 \times 10^{-19}$ coulombs, et celle d'un proton est égale en grandeur mais positive. Dans les calculs pratiques, les charges en jeu sont nombreuses et nous pouvons considérer n'importe quelle valeurs sans nous préoccuper de l'adéquation avec les protons et électrons.

Conservation de la charge

La charge électrique est conservée dans un système isolé. Cela signifie que la quantité totale de charge dans un système fermé ne change pas. Lorsque les charges sont transférées entre objets, elles ne sont ni créées ni détruites, mais simplement déplacées d'un endroit à un autre.

Il est cependant à noter que les charges positives et négatives peuvent se neutraliser par paires. La charge totale reste constante, mais la charge positive et la charge négatives changent chacune de manière synchronisée.

Conducteurs et isolants

Les matériaux à travers lesquels les charges peuvent se déplacer facilement sont appelés conducteurs. Les métaux, comme le cuivre ou l'argent, sont de bons exemples de conducteurs. À l'opposé, les isolants sont des matériaux qui ne permettent pas aux charges de se déplacer librement. Le verre, le plastique et le caoutchouc sont des exemples d'isolants.

En réalité, il s'agit plutôt d'une échelle avec les conducteurs d'un côté et les isolants de l'autre. Les matériaux sont placés sur cette échelle en fonction de leur facilité à conduire le courant. Il y a des conducteurs plus ou moins bons, et des isolants plus ou moins forts.

Transfert de charge

Les charges peuvent être transférées de plusieurs manières:

Par frottement

Le transfert de charge par frottement, également connu sous le nom d'électricité statique, se produit lorsque deux matériaux sont frottés l'un contre l'autre, entraînant un transfert d'électrons et laissant derrière eux une charge nette.

Par contact

Le transfert de charge par contact se produit lorsqu'un objet chargé touche un autre objet. Les charges peuvent se déplacer de l'objet chargé à l'autre, en particulier si les objets sont conducteurs.

Par induction

Enfin, le transfert de charge par induction se produit sans contact direct. Lorsqu'un objet chargé est amené près d'un conducteur isolé, il peut provoquer une redistribution des charges à l'intérieur du conducteur, créant ainsi une région chargée sans qu'il y ait transfert de charge direct.

1.2 La force de Coulomb

La force de Coulomb est une force fondamentale en électrostatique qui décrit l'interaction entre deux charges électriques ponctuelles. Cette force est quantifiée par la loi de Coulomb, qui s'énonce comme suit :

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Où :

- (F) est la magnitude de la force entre les deux charges, en Newton (N)
- (q_1) et (q_2) sont les valeurs des charges électriques, en Coulomb (C)
- (r) est la distance entre les centres des deux charges, en mètre (m)
- (k) est la constante de Coulomb, dont la valeur dépend du milieu dans lequel les charges sont placées. Dans le vide, (k) vaut ($8,9875 \times 10^9$) N·m²/C².

Explication des termes

- **Magnitude de la force ((F))** : C'est la grandeur de la force exercée entre les deux charges. Elle est mesurée en Newtons (N).
- **Charges électriques ((q_1) et (q_2))** : Ce sont les quantités d'électricité présentes sur les objets. Les charges peuvent être positives ou négatives, mesurées en Coulombs (C).
- **Distance ((r))** : C'est la distance séparant les centres des deux charges. Plus cette distance est grande, plus la force exercée diminue rapidement.
- **Constante de Coulomb ((k))** : Elle permet de prendre en compte l'influence du milieu ambiant sur la force de Coulomb. Dans le vide, sa valeur maximise la force entre les charges.

Constante de Coulomb et permittivité du vide

La constante de Coulomb (k), également connue sous le nom de constante électrostatique, et la permittivité du vide (ϵ_0) sont liées par l'équation suivante :

$$k = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0}$$

Où :

- (k) est la constante de Coulomb, avec une valeur de $(8,9875 \times 10^9) \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$ dans le vide,
- (ϵ_0) est la permittivité du vide, aussi appelée constante électrique, avec une valeur de $(8,854187817 \times 10^{-12}) \text{ C}^2/(\text{N}\cdot\text{m}^2)$.

La permittivité du vide (ϵ_0) est une mesure de la capacité du vide à permettre l'existence de champs électriques. Plus précisément, elle décrit la quantité de résistance rencontrée lorsqu'un champ électrique est formé dans le vide.

Propriétés de la force de Coulomb

La loi de Coulomb reflète plusieurs principes fondamentaux de l'électrostatique :

- **Proportionnalité directe avec le produit des charges** : Si l'une des charges ou les deux augmentent, la force entre elles augmente également. C'est une proportion directe. C'est-à-dire que si une charge double, la force double également.
- **Inversion proportionnelle avec le carré de la distance** : Lorsque la distance entre les charges double, la force entre elles est divisée par quatre. Cela illustre le principe d'inverse du carré, commun à plusieurs forces fondamentales en physique.
- **Nature de la force** : La force peut être répulsive si les charges sont de même signe, et attractive si elles sont de signes opposés. Elle est toujours orientée selon la ligne joignant les deux charges.

Principe de superposition

Le principe de superposition est crucial en électrostatique. Il stipule que la force totale exercée sur une charge est la somme vectorielle de toutes les forces individuelles exercées sur cette charge par les autres charges présentes dans le système. Si nous avons plusieurs charges, la force sur une charge donnée peut être calculée en additionnant les forces dues à chaque autre charge :

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$$

Ce principe nous permet de traiter des systèmes complexes de charges multiples en les décomposant en paires de charges et en additionnant les forces dues à chaque paire.

1.3 Le champ électrique

Le concept de champ électrique est fondamental en électrostatique. Il décrit l'influence qu'une charge électrique exerce sur l'espace qui l'entoure. Ce champ est une grandeur vectorielle, ce qui signifie qu'il a une direction ainsi qu'une magnitude. Contrairement à la force de Coulomb, qui

nécessite deux charges pour exister, le champ électrique existe autour de toutes les charges, même seules.

Définition du champ électrique

Le champ électrique $\mathbf{E}$ en un point de l'espace est défini comme la force électrostatique $\mathbf{F}$ qu'une charge de test positive q subirait, divisée par la valeur de cette charge :

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Les unités du champ électrique dans le Système international sont des newtons par coulomb (N/C).

Représentation par des lignes de champ

Les lignes de champ électrique sont des lignes imaginaires qui représentent la direction et l'intensité du champ électrique. Elles sont dessinées de telle sorte que la tangente à une ligne en un point donné est dans la direction du champ électrique en ce point, et l'espacement entre les lignes indique l'intensité du champ : un espacement rapproché indique un champ plus fort.

Champ électrique d'une charge ponctuelle

Le champ électrique créé par une charge ponctuelle Q à une distance r est donné par la loi de Coulomb :

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

où

ϵ_0 est la permittivité du vide.

Le champ est orienté radialement à partir de la charge. Il est vers l'extérieur pour une charge Q positive et vers l'intérieur pour une charge Q négative.

Superposition des champs électriques de charges ponctuelles

Le principe de superposition est un outil puissant en électrostatique. Il stipule que le champ électrique total en un point est la somme vectorielle des champs électriques créés par chaque charge ponctuelle individuellement. Si nous avons un ensemble de n charges ponctuelles

$Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ situées aux points

$\vec{r}_1,$

$\vec{r}_2, \dots,$

$\vec{r}_n$, le champ électrique total
 $\vec{E}$ en un point
 $\vec{r}$ est donné par :

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$

Exemples de champ électrique pour des distributions de charges

Champ électrique d'une ligne de charge uniforme

Pour une ligne de charge infinie avec une densité linéique de charge λ (C/m), le champ électrique à une distance r de la ligne est :

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

Champ électrique d'un anneau de charge

Considérons un anneau de rayon R portant une charge totale Q répartie uniformément. Le champ électrique sur l'axe de l'anneau à une distance x du centre de l'anneau est :

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qx}{(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

Champ électrique d'un disque de charge

Pour un disque de rayon R avec une densité surfacique de charge uniforme σ (C/m²), le champ électrique à une distance x sur l'axe perpendiculaire au centre du disque est :

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}}\right)$$

Champ électrique d'un plan infini de charge

Pour un plan infini avec une densité surfacique de charge uniforme σ (C/m²), le champ électrique est constant en magnitude et direction à n'importe quelle distance du plan. Il est donné par :

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

Le champ électrique pointe perpendiculairement loin du plan si la charge est positive, et vers le plan si la charge est négative.

Champ électrique entre deux plans infinis parallèles

Lorsque nous avons deux plans infinis parallèles portant des charges de densités surfaciques uniformes

σ_1 et

σ_2 (C/m²), le champ électrique entre les deux plans est la somme des champs créés par chaque plan.

Si les charges sont de même signe, le champ résultant est nul. Si les charges sont de signes opposés, le champ résultant est :

$$E = \frac{|\sigma_1 - \sigma_2|}{2\epsilon_0}$$

Le champ pointe dans la direction allant du plan positivement chargé vers le plan négativement chargé.

Champ électrique d'une sphère chargée

Sphère chargée uniformément (charge volumique)

Pour une sphère de rayon R avec une densité volumique de charge uniforme ρ (C/m³), le champ électrique à une distance r de son centre (avec $r \geq R$) est :

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

où Q est la charge totale de la sphère. À l'intérieur de la sphère ($r < R$), le champ électrique est :

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\rho}{3} r$$

Sphère conductrice chargée (charge surfacique)

Pour une sphère conductrice chargée avec une charge totale Q répartie uniformément sur sa surface, le champ électrique à l'extérieur de la sphère (à une distance $r \geq R$) est le même que pour une charge ponctuelle :

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

À l'intérieur de la sphère conductrice ($r < R$), le champ électrique est nul :

$$E = 0$$

Ces exemples illustrent comment le champ électrique peut être calculé pour différentes configurations de charge en utilisant les principes de l'électrostatique et les symétries des problèmes. Ils sont obtenus à l'aide du théorème de Gauss, que nous verrons à la section suivante.

1.4 Théorème de Gauss

Le théorème de Gauss est un principe fondamental en électrostatique qui relie le flux du champ électrique à travers une surface fermée à la charge électrique totale enfermée dans cette surface.

Flux du champ électrique

Le flux

Φ_E du champ électrique à travers une surface est une mesure de la quantité de champ électrique qui traverse cette surface. Il est défini comme le produit scalaire du champ électrique $\mathbf{E}$ et de la surface $\mathbf{S}$:

$$\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{S}$$

où $\mathbf{S}$ est le vecteur dont la magnitude est égale à la surface et dont la direction est perpendiculaire à cette surface, pointant vers l'extérieur.

Énoncé du théorème de Gauss

Le théorème de Gauss stipule que le flux total du champ électrique à travers une surface fermée est égal à la charge totale Q_{int} enfermée par la surface, divisée par la permittivité du vide ϵ_0 :

$$\Phi_E = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

Ce théorème est particulièrement utile pour calculer le champ électrique dans des situations où il existe une grande symétrie, comme la symétrie sphérique, cylindrique ou plane.

Exemples d'application du théorème de Gauss

Champ électrique d'une charge ponctuelle

Considérons une charge ponctuelle Q entourée par une surface sphérique de rayon r . Le flux à travers la surface est :

$$\Phi_E = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Le champ électrique étant radialement symétrique et pointant vers l'extérieur, on a :

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Champ électrique d'une ligne de charge infinie

Pour une ligne de charge infinie avec une densité linéique de charge λ , on utilise une surface cylindrique coaxiale avec la ligne de charge comme axe. Le flux à travers la surface latérale du cylindre est :

$$\Phi_E = \frac{\lambda L}{\epsilon_0}$$

où L est la longueur du cylindre. Le champ électrique est alors :

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

Champ électrique d'un plan infini de charge

Pour un plan infini avec une densité surfacique de charge σ , on choisit une surface en forme de boîte dont l'une des faces est parallèle au plan. Le flux à travers cette surface est :

$$\Phi_E = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$$

où A est l'aire de la face de la boîte parallèle au plan. Le champ électrique est constant et vaut :

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

Ces exemples illustrent comment le théorème de Gauss peut simplifier le calcul du champ électrique dans des configurations où la symétrie permet de déterminer facilement la forme de la surface gaussienne à utiliser.

1.5 Le potentiel électrique

Le potentiel électrique, souvent désigné par la lettre (V), est une mesure de l'énergie potentielle électrostatique qu'une charge électrique subirait en présence d'un champ électrique. Il est défini comme l'énergie potentielle par unité de charge, et son unité de mesure dans le Système international est le volt (V).

Définition du potentiel électrique

Le potentiel électrique en un point est le travail (W) qu'il faut effectuer pour amener une charge (q) depuis l'infini jusqu'à ce point, sans accélération, divisé par la valeur de cette charge:

$$[V = \frac{W}{q}]$$

Potentiel électrique dû à une charge ponctuelle

Le potentiel électrique (V) créé par une charge ponctuelle (Q) à une distance (r) est donné par la formule:

$$[V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r}]$$

où (ϵ_0) est la permittivité du vide.

Potentiel électrique et champ électrique

Le champ électrique ($\vec{E}$) et le potentiel électrique (V) sont liés par la relation suivante:

$$[\vec{E} = -\nabla V]$$

où (∇V) représente le gradient de (V). Cette équation indique que le champ électrique est la variation spatiale du potentiel électrique et pointe dans la direction de la plus grande diminution de potentiel.

Un potentiel électrique constant ne crée donc pas de champ électrique (la variation de V est nulle).

Superposition des potentiels

Le principe de superposition s'applique aussi au potentiel électrique. Pour un système de charges, le potentiel total en un point est égal à la somme des potentiels créés par chaque charge individuellement:

$$[V_{\text{total}} = \sum_i V_i = V_1 + V_2 + \dots]$$

où (V_i) est le potentiel créé par la charge (i) .

L'énergie potentielle électrostatique

L'énergie potentielle électrostatique est l'énergie emmagasinée par un système de charges électriques en raison de la configuration de leurs positions mutuelles dans un champ électrique. Elle est une forme d'énergie potentielle qui dépend de la position relative des charges et de la force électrostatique qui les influence.

Définition de l'énergie potentielle électrostatique

Pour une charge ponctuelle (q) située dans un champ électrique $(\vec{E})$, l'énergie potentielle électrostatique (E_{pot}) est définie comme le travail nécessaire pour amener la charge de l'infini à sa position actuelle sans produire d'accélération. Elle est donnée par:

$$[E_{pot} = qV]$$

où (V) est le potentiel électrique au point où se trouve la charge.

Énergie potentielle d'un système de deux charges

Pour deux charges ponctuelles (q_1) et (q_2) séparées par une distance (r) , l'énergie potentielle électrostatique du système est:

$$[E_{pot} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r}]$$

Énergie potentielle d'une distribution de charges

Pour un système de plusieurs charges, l'énergie potentielle totale est la somme des énergies potentielles de toutes les paires de charges. Pour trois charges il y a donc trois paires de charge (1 et 2 ; 1 et 3 ; 2 et 3). Pour quatre charges, il y a 6 paires (1 et 2 ; 1 et 3 ; 1 et 4 ; 2 et 3 ; 2 et 4 ; 3 et 4) et ainsi de suite.

Conservation de l'énergie potentielle électrostatique

Dans un système électrostatique isolé, où aucune charge externe n'effectue de travail et où les charges ne se déplacent pas, l'énergie potentielle électrostatique est conservée. Cela signifie que la somme de l'énergie potentielle électrostatique et de l'énergie cinétique des charges reste constante.

1.6 La capacité

Le condensateur est un composant fondamental en électronique avec des applications variées, allant du simple filtrage de signal à la conservation d'énergie dans des systèmes comme les flashes d'appareils photo ou les mémoires de sauvegarde.

Définition de la capacité

La capacité (C) d'un condensateur est définie comme le rapport de la quantité de charge (Q) qu'il peut stocker à la différence de potentiel (V) à ses bornes. Cette relation est exprimée par la formule suivante :

$$[C = \frac{Q}{V}]$$

où :

- (C) est la capacité, mesurée en farads (F),
- (Q) est la charge électrique stockée, mesurée en coulombs (C),
- (V) est la tension ou différence de potentiel électrique, mesurée en volts (V).

Un farad est une unité très grande, donc les condensateurs sont souvent mesurés en microfarads (μF , (10^{-6}) F), nanofarads (nF, (10^{-9}) F), ou picofarads (pF, (10^{-12}) F). Dans des machines de taille industrielle, il est possible de croiser des capacités plus importantes.

Construction d'un condensateur

Un condensateur est généralement composé de deux plaques conductrices et d'un matériau isolant nommé diélectrique, qui se situe entre ces plaques. Voici une description plus détaillée de la composition et de l'organisation interne d'un condensateur :

Plaques conductrices

Les plaques d'un condensateur sont généralement faites de métal ou d'un matériau conducteur d'électricité. Ces plaques peuvent être de différentes formes et tailles selon le type et l'application du condensateur. Dans un condensateur plan, par exemple, les plaques sont souvent des feuilles plates et parallèles.

Diélectrique

Le diélectrique est un matériau isolant qui se situe entre les plaques conductrices. Son rôle est d'augmenter la capacité du condensateur sans permettre le passage du courant électrique entre les plaques. Le diélectrique peut être de l'air, du papier, du plastique, de la céramique, du mica, ou tout autre matériau non conducteur ayant des propriétés isolantes. La nature et l'épaisseur du diélectrique influencent directement la valeur de la capacité et la tension maximale que le condensateur peut supporter.

Types de condensateurs

Il existe différents types de condensateurs, classés selon leur matériau diélectrique (l'isolant entre les plaques conductrices) ou leur construction :

- Condensateurs à film : utilisent un film plastique comme diélectrique.
- Condensateurs électrolytiques : utilisent un électrolyte comme diélectrique et sont souvent utilisés lorsque de grandes capacités sont nécessaires.
- Condensateurs en céramique : utilisent un matériau céramique comme diélectrique et sont couramment utilisés pour des applications à haute fréquence.

Organisation interne

L'organisation des composants internes d'un condensateur peut varier en fonction de son type et de son usage. Dans les condensateurs à film ou en céramique, les plaques sont souvent des feuilles ou des couches de matériau conducteur appliquées directement sur le diélectrique. Dans les condensateurs électrolytiques, l'une des "plaques" est en fait un électrolyte liquide ou en gel qui agit comme cathode, tandis que l'anode est une feuille de métal.

Pour les condensateurs de plus grande capacité, les plaques conductrices peuvent être enroulées en spirale avec le diélectrique entre elles pour créer un condensateur cylindrique, permettant ainsi de maximiser la surface de contact entre les plaques et donc d'augmenter la capacité, tout en minimisant l'espace physique occupé par le composant.

Les terminaux ou les bornes du condensateur sont connectés à chacune des plaques conductrices et permettent d'intégrer le condensateur dans un circuit électrique. Lorsque le condensateur est chargé, une borne accumule une charge positive et l'autre une charge négative.

Fonctionnement d'un condensateur

Le principe de fonctionnement d'un condensateur repose sur la capacité de deux plaques conductrices à stocker des charges électriques opposées lorsqu'elles sont séparées par un isolant, appelé diélectrique. Lorsqu'une tension est appliquée aux bornes du condensateur, des charges

électriques de signes opposés s'accumulent sur chaque plaque, créant ainsi un champ électrique entre elles. Ce champ est la manifestation de la force électrostatique, mieux connue sous le nom de force de Coulomb.

Dans un condensateur, les forces de Coulomb agissent pour attirer les charges opposées l'une vers l'autre à travers le diélectrique, ce qui a pour effet de "maintenir" les charges en place. Cela crée une sorte de "pression" électrique, connue sous le nom de différence de potentiel ou tension. La capacité du condensateur à maintenir cette tension est ce qui permet de stocker de l'énergie potentielle électrostatique.

Lorsque la tension appliquée cesse, la charge accumulée sur les plaques ne peut pas s'échapper instantanément car le diélectrique empêche le passage du courant électrique entre les plaques. Le condensateur conserve donc cette charge jusqu'à ce qu'un chemin soit fourni pour que le courant s'écoule, comme lorsqu'il est connecté dans un circuit. À ce moment-là, les charges peuvent se déplacer et le condensateur commence à se décharger, libérant l'énergie stockée dans le circuit.

Les forces de Coulomb sont donc essentielles au fonctionnement d'un condensateur, car elles déterminent la quantité de charge que peut stocker un condensateur et la tension à laquelle le condensateur peut être chargé. Elles jouent un rôle clé dans la capacité du condensateur à stocker et à libérer de l'énergie, ce qui en fait un composant indispensable dans de nombreux circuits électroniques.

Utilisation des condensateurs

Les condensateurs sont utilisés dans les circuits électroniques pour :

- Stocker et libérer de l'énergie électrique.
- Filtrer les signaux, en laissant passer les changements de tension rapides tout en bloquant les changements lents (comme dans les circuits de lissage de l'alimentation).
- Créer des oscillateurs avec des résistances et des inductances pour générer des signaux périodiques. Nous en reparlerons plus tard.

CHAPITRE 2

Circuit électrique

Introduction aux circuits électriques

Dans cette section, nous introduirons les concepts de base des circuits électriques, y compris leur définition, la circulation du courant électrique et les différents types de circuits (séries, parallèles et mixtes).

Définition et composants d'un circuit

Explication de ce qu'est un circuit électrique et de ses composants essentiels : sources d'énergie, conducteurs, charges, etc.

Types de circuits électriques

Discussion sur les circuits en série, en parallèle et mixtes, avec des exemples de chacun et leurs caractéristiques uniques.

Générateurs de tension et de courant

Ici, nous aborderons les dispositifs qui fournissent de l'énergie électrique aux circuits : les générateurs de tension et de courant.

Générateurs de tension

Description des générateurs de tension, tels que les piles et les batteries, et comment ils maintiennent une différence de potentiel constante.

Générateurs de courant

Explication des générateurs de courant, qui fournissent un courant électrique constant, et discussion sur leurs applications pratiques.

Résistances

Cette section couvrira la résistance électrique, un concept clé pour comprendre comment l'énergie est gérée dans les circuits.

Définition et loi d'Ohm

Présentation de la résistance et de la loi d'Ohm, une relation fondamentale entre tension, courant et résistance.

Assemblage de résistance

Assemblage de plusieurs résistances dans des circuits en parallèle, en série et mixte. Calcul des résistances équivalentes.

Effet Joule

Une résistance parcourue par un courant électrique chauffe. Nous verrons comment cet effet apparaît et son impact sur le circuit.

Types de résistances et applications

Examen des différents types de résistances et de leur rôle dans la régulation du courant dans les circuits.

Condensateurs

Les condensateurs sont des composants cruciaux pour le stockage de l'énergie dans les circuits électriques.

Assemblage de condensateur

Assemblage de plusieurs condensateurs dans des circuits en parallèle, en série et mixte. Calcul des capacités équivalentes.

Récepteurs

Les récepteurs sont les composants qui consomment de l'énergie dans un circuit.

Rôle et exemples de récepteurs

Clarification du rôle des récepteurs et présentation d'exemples courants, tels que les ampoules et les moteurs.

Interaction des récepteurs avec le circuit

Analyse de la façon dont les récepteurs interagissent avec les autres composants du circuit et affectent le comportement global du circuit.

2.1 Introduction aux circuits électriques

Un circuit électrique est un ensemble de composants électriques interconnectés qui permettent le passage du courant électrique. Cette section vise à vous familiariser avec les notions essentielles des circuits électriques, leur fonctionnement et leur utilité dans diverses applications.

Définition d'un circuit électrique

Un circuit électrique est composé d'une source d'énergie, telle qu'une pile ou un générateur, de conducteurs (fils électriques) et de composants électriques ou électroniques comme des résistances, des condensateurs ou des inductances (selfs). Le but principal d'un circuit est de permettre le flux d'électricité d'une manière contrôlée pour réaliser une tâche spécifique, comme allumer une ampoule ou alimenter un ordinateur.

Insérer schéma 1: Représentation simplifiée d'un circuit électrique de base avec une source de tension, un conducteur et une charge.

Courant électrique et mouvement de charge

Le courant électrique est défini comme un flux de charges électriques à travers un matériau conducteur, tel que le cuivre ou l'aluminium. Ce flux est généralement généré par la différence de potentiel électrique (tension) entre deux points du conducteur.

Courant conventionnel

Le courant conventionnel est basé sur une convention datant du XVIIIe siècle, époque où les scientifiques ne comprenaient pas encore la structure de l'atome ni la nature des charges électriques. Ils ont supposé que le courant était porté par des charges positives qui se déplaçaient du pôle positif vers le pôle négatif de la source de tension. Ainsi, le courant conventionnel est défini comme se déplaçant du potentiel positif vers le potentiel négatif.

Mouvement des électrons

Avec la découverte de l'électron et la compréhension de sa charge négative, les scientifiques ont réalisé que, dans les matériaux conducteurs, ce sont en réalité les électrons qui se déplacent et non des charges positives. Les électrons, étant attirés par le potentiel positif, se déplacent donc du pôle négatif vers le pôle positif de la source de tension. Ce mouvement des électrons est appelé courant électronique.

Relation entre courant conventionnel et mouvement des électrons

Malgré cette compréhension moderne, le concept de courant conventionnel reste utilisé pour la plupart des analyses de circuits électriques, car il simplifie les calculs et les théories sans affecter le résultat final. Dans la pratique, que l'on considère le courant comme un flux de charges positives ou négatives n'a pas d'importance pour le fonctionnement des circuits électriques.

En résumé, le courant conventionnel et le mouvement réel des électrons vont dans des directions opposées dans un circuit. Cependant, pour les calculs et les schémas de circuits, on utilise toujours la direction du courant conventionnel, qui va du plus vers le moins.

Types de circuits électriques

Il existe trois configurations principales de circuits électriques: en série, en parallèle et mixtes.

Circuits en série

Dans un circuit en série, les composants sont reliés bout à bout, formant une seule boucle. Le courant qui circule est le même à travers chaque composant, mais la tension est répartie entre eux.

Insérer schéma 2: Exemple de circuit en série avec plusieurs résistances.

Circuits en parallèle

Un circuit en parallèle a ses composants connectés aux mêmes points de jonction, formant des branches séparées. Ici, la tension est la même à travers tous les composants, mais le courant peut varier dans chaque branche.

Insérer schéma 3: Exemple de circuit en parallèle avec plusieurs résistances.

Circuits mixtes

Les circuits mixtes combinent des éléments de circuits en série et en parallèle. Ils sont plus complexes, avec des tensions et des courants qui peuvent varier considérablement à travers le circuit.

Insérer schéma 4: Exemple de circuit mixte avec des composants en série et en parallèle.

2.2 Générateurs de tension et de courant

Dans ce chapitre, nous étudierons les composants essentiels des circuits électriques qui fournissent de l'énergie : les générateurs de tension et de courant. Nous nous concentrerons en particulier sur le concept de force électromotrice (f.é.m.) qui est central pour comprendre le fonctionnement de ces dispositifs.

Générateurs de tension

Les générateurs de tension, tels que les piles et les batteries, sont conçus pour maintenir une différence de potentiel constante entre leurs bornes, indépendamment du courant qu'ils délivrent. La force électromotrice, souvent abrégée f.é.m., est la tension que le générateur fournirait en l'absence de charge électrique. Elle est représentée par la lettre grecque (ϵ) et s'exprime en volts (V).

La f.é.m. peut être définie par l'équation suivante :

$$\epsilon = \frac{W}{Q}$$

où (W) est l'énergie électrique (en joules, J) fournie pour déplacer une charge (Q) (en coulombs, C) à travers le générateur, de la borne négative à la borne positive.

Il est important de noter que la f.é.m. n'est pas une force au sens classique, mais une tension, c'est-à-dire une énergie par unité de charge (en Volt, V).

Insérer schéma: Un diagramme d'un générateur de tension, avec les bornes positives et négatives étiquetées, et une représentation de la f.é.m. comme une différence de potentiel.

Générateur idéal et réel

Un générateur de tension idéal est un concept théorique utilisé pour simplifier l'analyse des circuits électriques. Il est défini comme une source de tension qui fournit une tension constante indépendamment du courant qui circule à travers lui. En d'autres termes, la tension aux bornes du générateur reste invariable quelle que soit la charge connectée au circuit.

En notation mathématique, un générateur de tension idéal est représenté par l'équation suivante :

$$V = \epsilon$$

où (V) est la tension aux bornes du générateur et (ϵ) est la force électromotrice (f.é.m.) du générateur.

Insérer schéma: Un circuit simple avec un générateur de tension idéal connecté à une résistance, montrant que la tension aux bornes de la résistance est égale à la f.é.m. du générateur.

En réalité, toutefois, tous les générateurs de tension réels possèdent une résistance interne, ce qui fait que la tension aux bornes diminue lorsque le courant augmente. Cela est dû à la chute de tension qui se produit à travers la résistance interne du générateur. La relation entre la tension aux

bornes (V), la f.é.m. (ϵ), le courant (I), et la résistance interne (r) d'un générateur de tension réel est donnée par l'équation :

$$V = \epsilon - Ir$$

où (I) est le courant circulant à travers le générateur et (r) est la résistance interne.

Insérer schéma: Un circuit avec un générateur de tension réel connecté à une charge, incluant la résistance interne dans le modèle du générateur, montrant la chute de tension causée par cette résistance interne.

Cette équation montre que si le courant (I) augmente, la chute de tension (Ir) à travers la résistance interne (r) augmente également, ce qui entraîne une diminution de la tension (V) aux bornes du générateur.

La différence principale entre un générateur de tension idéal et un générateur de tension réel réside donc dans l'effet de la résistance interne sur la tension délivrée par le générateur. Un générateur idéal n'a pas de résistance interne (ou on la considère comme négligeable), tandis qu'un générateur réel en a une, ce qui affecte la tension en fonction du courant délivré.

Générateurs de courant

Les générateurs de courant sont conçus pour fournir un courant électrique constant. Contrairement aux générateurs de tension, ils maintiennent le courant à une valeur fixe, même si la tension aux bornes peut varier en fonction de la charge connectée au circuit.

La relation entre le courant (I) (en ampères, A), la f.é.m. (ϵ) et la résistance interne (r) du générateur peut être exprimée par l'équation :

$$I = \frac{\epsilon}{R + r}$$

où (R) représente la résistance totale du circuit externe (en ohms, Ω).

Cette équation montre que le courant dépend de la force électromotrice et de la somme des résistances interne et externe.

Insérer schéma: Un schéma d'un générateur de courant avec une charge connectée, illustrant le courant constant fourni et la variation de la tension en fonction de la charge.

2.3 Résistances

La résistance électrique est une propriété fondamentale des matériaux qui s'oppose au passage du courant électrique. Elle est au cœur de nombreux dispositifs et joue un rôle crucial dans la conception et l'analyse des circuits électriques.

Définition et loi d'Ohm

La résistance électrique, notée (R), est définie comme le rapport entre la tension (U) aux bornes d'un conducteur et le courant (I) qui le traverse, conformément à la loi d'Ohm :

$$[R = \frac{U}{I}]$$

Dans cette équation, la tension (U) est mesurée en volts (V), le courant (I) en ampères (A), et la résistance (R) en ohms (Ω). La loi d'Ohm stipule que pour un conducteur ohmique, la résistance est constante, indépendamment de la tension appliquée ou du courant qui circule.

Insérer un schéma d'un circuit simple avec une résistance, une source de tension et l'indication des points de mesure de la tension et du courant.

Assemblage de résistances

Les résistances peuvent être assemblées de différentes manières dans un circuit : en série, en parallèle, ou en une combinaison des deux (montage mixte).

- **En série** : Les résistances sont disposées les unes à la suite des autres, et le même courant les traverse toutes. La résistance équivalente (R_{eq}) est la somme des résistances individuelles :

$$[R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n]$$

- **En parallèle** : Les résistances sont connectées aux mêmes points de tension, et la tension est la même aux bornes de chaque résistance. La résistance équivalente est donnée par :

$$[\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}]$$

Insérer un schéma illustrant des résistances en série et en parallèle.

Résistivité et loi de Pouillet

La résistivité d'un matériau, notée (ρ) (ρ), est une propriété physique qui quantifie la résistance qu'un matériau offre à l'écoulement du courant électrique. Elle dépend de la nature du matériau et de la température. La résistance (R) d'un composant est directement liée à sa résistivité ainsi qu'à sa géométrie, c'est-à-dire sa longueur (L) et sa section transversale (A).

La relation entre ces grandeurs est donnée par la formule suivante :

$$[R = \rho \cdot \frac{L}{A}]$$

Dans cette formule :

- (R) est la résistance en ohms (Ω),
- (ρ) est la résistivité du matériau en ohm-mètre ($\Omega \cdot m$),
- (L) est la longueur du composant en mètres (m),
- (A) est l'aire de la section transversale en mètres carrés (m^2).

Cette équation montre que la résistance est proportionnelle à la longueur du composant : plus le composant est long, plus sa résistance est grande. Inversement, la résistance est inversement proportionnelle à la section transversale : plus la section est grande, plus la résistance est faible.

Insérer un schéma d'un cylindre représentant un conducteur avec les notations de la longueur (L) et de la section transversale (A), et indiquer la direction du courant traversant le conducteur.

Cette relation est cruciale dans la conception de composants électriques et électroniques, car elle permet de prédire comment la résistance d'un composant changera avec ses dimensions et le matériau choisi.

Effet Joule

L'effet Joule décrit la conversion de l'énergie électrique en énergie thermique (chaleur) lorsqu'un courant électrique traverse une résistance. La puissance dissipée (P) sous forme de chaleur est donnée par la relation :

$$[P = I^2 \cdot R]$$

où (P) est la puissance en watts (W), (I) le courant en ampères (A), et (R) la résistance en ohms (Ω).

Types de résistances et applications

Il existe plusieurs types de résistances, chacune adaptée à des applications spécifiques. Les résistances à couche de carbone sont courantes pour des applications générales, tandis que les résistances à couche métallique offrent une meilleure stabilité et précision. Les résistances variables, telles que les potentiomètres, permettent d'ajuster la résistance dans un circuit.

Les résistances sont utilisées dans une multitude d'applications, comme le contrôle de courant dans les circuits, la division de tension, ou encore comme éléments chauffants dans les dispositifs de chauffage.

2.4 Condensateurs

Les condensateurs sont des composants essentiels dans les circuits électriques, utilisés pour stocker de l'énergie sous forme de champ électrique. Ils sont particulièrement importants dans les applications nécessitant un stockage temporaire de l'énergie, comme le lissage de la tension dans les alimentations électriques ou dans les circuits de temporisation.

Fonctionnement des condensateurs

Un condensateur plan est constitué de deux plaques conductrices parallèles, séparées par un isolant (ou diélectrique).

Mouvement de charge

Lorsqu'un condensateur plan est connecté à une source de tension, des charges électriques s'accumulent sur les plaques : des charges positives sur une plaque et des charges négatives sur l'autre. Ce processus est appelé la charge du condensateur. La quantité de charge accumulée dépend de la capacité du condensateur et de la tension appliquée, selon la relation $(Q = C \cdot V)$, où (Q) est la charge, (C) la capacité et (V) la tension.

Champ électrique

L'accumulation de charges opposées sur les deux plaques crée un champ électrique uniforme (E) dans l'espace entre les plaques. Ce champ est dirigé de la plaque positive vers la plaque négative. Dans un condensateur plan idéal, le champ électrique à l'intérieur du condensateur est donné par $(E = \frac{V}{d})$, où (d) est la distance entre les plaques.

Forces en jeu

Le champ électrique généré exerce une force sur les charges présentes dans le condensateur. Cette force est responsable de l'attraction des charges opposées sur les deux plaques, ce qui maintient le champ électrique stable tant que le condensateur est chargé et que la tension est appliquée.

Lorsque le condensateur est déconnecté de la source de tension, il conserve la charge et le champ électrique reste présent entre les plaques. Si un circuit est formé permettant aux charges de se déplacer (c'est-à-dire si le condensateur est déchargé), les charges se déplaceront à travers le circuit jusqu'à ce que la différence de potentiel entre les plaques soit nulle, éliminant ainsi le champ électrique.

Le fonctionnement d'un condensateur plan est donc caractérisé par ces mouvements et accumulations de charge, ainsi que par le champ électrique qui en résulte.

Assemblage de condensateur

L'assemblage de condensateurs peut se faire de deux manières principales : en série ou en parallèle. Chaque configuration a un effet différent sur la capacité totale du système.

En série

Lorsque des condensateurs sont connectés en série, la capacité équivalente est inférieure à celle de chacun des condensateurs pris individuellement. L'équation pour la capacité équivalente (C_{eq}) de (n) condensateurs connectés en série est :

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Où ($C_1, C_2, \dots, C_n$) sont les capacités des condensateurs individuels.

Insérer un schéma de condensateurs en série.

En parallèle

Dans le cas d'un montage en parallèle, la capacité équivalente est la somme des capacités des condensateurs individuels. L'équation est :

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Insérer un schéma de condensateurs en parallèle.

Charge et décharge du condensateur

La charge et la décharge d'un condensateur sont des processus dynamiques qui dépendent de la résistance et de la capacité du circuit.

Charge

L'équation qui décrit la tension ($V(t)$) aux bornes d'un condensateur en fonction du temps (t) pendant la charge est :

$$V(t) = V_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

Où (V_0) est la tension de la source, (R) la résistance et (C) la capacité du condensateur. Le produit (RC) est appelé constante de temps du circuit et détermine la vitesse de charge du condensateur.

Insérer un schéma du circuit de charge d'un condensateur et le graphique de $V(t)$.

Décharge

Pour la décharge, la tension aux bornes du condensateur diminue selon la loi :

$$[V(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}]$$

Insérer un schéma du circuit de décharge d'un condensateur et le graphique de $V(t)$.

Dans les deux cas, la charge (Q) stockée dans le condensateur et le courant (I) circulant dans le circuit sont également des fonctions du temps, liées à la tension par les relations ($Q(t) = C \cdot V(t)$) et ($I(t) = C \cdot \frac{dV(t)}{dt}$).

Pour un condensateur en charge, la quantité de charge ($Q(t)$) stockée à un instant (t) est donnée par l'équation :

$$[Q(t) = Q_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)]$$

Et le courant ($i(t)$) dans le circuit pendant la charge est :

$$[i(t) = i_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}]$$

Pendant la décharge d'un condensateur, la quantité de charge diminue selon la relation :

$$[Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}]$$

Le courant ($i(t)$) dans le circuit pendant la décharge est :

$$[i(t) = -i_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}]$$

Notez que le signe négatif dans l'équation du courant pendant la décharge indique que le courant circule dans la direction opposée par rapport au processus de charge.

Insérer les graphiques des différentes fonctions.

Ces équations permettent de comprendre comment l'énergie est stockée et libérée dans les circuits électriques impliquant des condensateurs, et elles sont fondamentales pour la conception et l'analyse de tels circuits.

2.5 Récepteurs

Les récepteurs sont des éléments fondamentaux dans les circuits électriques, car ils sont les composants qui consomment de l'énergie électrique pour effectuer un travail, que ce soit sous forme de chaleur, de lumière, de mouvement ou d'autres formes d'énergie.

Rôle et exemples de récepteurs

Le rôle principal d'un récepteur est de convertir l'énergie électrique en une autre forme d'énergie. Par exemple, une ampoule convertit l'énergie électrique en lumière et en chaleur, tandis qu'un moteur électrique la convertit en énergie mécanique.

Exemples de récepteurs :

- Ampoules
- Moteurs électriques
- Résistances chauffantes
- Haut-parleurs

Équation de la puissance consommée par un récepteur : $[P = U \times I]$ où (P) est la puissance en watts (W), (U) est la tension aux bornes du récepteur en volts (V), et (I) est le courant traversant le récepteur en ampères (A).

Insérer un schéma d'un circuit simple avec un récepteur, comme une ampoule, indiquant la tension (U) et le courant (I) .

Force contre électromotrice

La chute de tension aux bornes d'un récepteur est une considération importante, car elle détermine la quantité d'énergie que le récepteur peut convertir.

La force contre électromotrice (f.c.é.m) est une tension qui s'oppose à la tension d'alimentation d'un circuit. Elle est générée par les récepteurs qui convertissent l'énergie électrique en une autre forme d'énergie, comme les moteurs électriques. Lorsqu'un moteur tourne, il agit comme un générateur produisant une tension qui s'oppose à la tension qui le fait tourner. Cette tension opposée est la force contre électromotrice.

La f.c.é.m est importante car elle limite le courant qui peut traverser le récepteur. Plus la f.c.é.m est grande, plus le courant effectif est réduit, ce qui affecte la performance du récepteur.

Comparaison entre un récepteur idéal et un récepteur réel

Récepteur idéal :

- Ne possède aucune résistance interne, donc ne dissipe pas d'énergie sous forme de chaleur.
- Convertit toute l'énergie électrique qu'il reçoit en travail utile sans pertes.
- La tension aux bornes est égale à la f.c.é.m, et la puissance consommée est simplement $(P = U \times I)$.

Récepteur réel :

- Possède une résistance interne non négligeable, ce qui entraîne une dissipation d'énergie sous forme de chaleur. Une partie de l'énergie électrique est donc perdue.
- La tension aux bornes du récepteur est réduite par la chute de tension due à la résistance interne, donc la puissance consommée est inférieure à celle d'un récepteur idéal.

Équation de la puissance consommée par un récepteur réel : $[U = \varepsilon + r_m I]$ où (U) est la tension d'alimentation, (ε) est la f.c.é.m, (I) est le courant traversant le récepteur, et (r_m) est la résistance interne du récepteur.

CHAPITRE 3

Magnétisme

Pôles et champ magnétique

Introduction aux pôles magnétiques

Cette section présente les fondements du magnétisme, en commençant par l'explication des pôles magnétiques. Nous explorerons les concepts de pôles nord et sud, leur interaction, et comment ils donnent naissance à des champs magnétiques autour des aimants.

Le champ magnétique

Ici, nous définissons ce qu'est un champ magnétique et discutons de ses propriétés caractéristiques, telles que la direction et la magnitude. Les élèves apprendront à décrire un champ magnétique en termes de lignes de champ et à comprendre l'influence des matériaux magnétiques sur le champ.

La force magnétique

La loi de Lorentz

Nous introduisons la loi de Lorentz, qui décrit la force exercée sur une particule chargée se déplaçant dans un champ magnétique, et discutons de son importance fondamentale dans l'étude du magnétisme.

Mouvement des charges dans un champ magnétique

Dans cette section, les étudiants exploreront comment les charges électriques se déplacent dans un champ magnétique et comment cela affecte leur trajectoire. Des exemples pratiques incluront le fonctionnement des accélérateurs de particules et des écrans de télévision cathodiques.

Applications pratiques de la force magnétique

Nous examinerons comment la force magnétique est exploitée dans diverses applications, telles que les moteurs électriques, les haut-parleurs et les dispositifs de stockage magnétique.

Interaction entre électricité et magnétisme

Loi d'Ampère et solénoïdes

Cette partie aborde la loi d'Ampère et la manière dont elle relie le courant électrique au champ magnétique qu'il produit. L'accent sera mis sur les solénoïdes et leur rôle dans la création de champs magnétiques contrôlés.

Force entre deux courants parallèles

Les étudiants apprendront comment deux courants parallèles s'attirent ou se repoussent en fonction de la direction du flux de courant, un principe fondamental pour comprendre la force magnétique dans les circuits électriques.

Le phénomène de magnétorésistance

Nous explorerons le phénomène de magnétorésistance, où la résistance d'un matériau change en présence d'un champ magnétique, et comment cela est utilisé dans les capteurs magnétiques et les disques durs.

L'induction électromagnétique

La loi de Faraday-Lenz

Cette section explique la loi de Faraday-Lenz, qui décrit comment un changement dans le champ magnétique peut induire un courant électrique, un concept clé pour la génération d'électricité.

Générateurs et transformateurs

Nous discuterons du fonctionnement des générateurs et des transformateurs, qui utilisent l'induction électromagnétique pour convertir l'énergie mécanique en électricité et pour modifier les niveaux de tension dans les circuits électriques.

Applications de l'induction électromagnétique

Les étudiants découvriront les applications pratiques de l'induction électromagnétique, telles que la recharge sans fil, les cartes à puce et la production d'électricité dans les centrales électriques.

Les courants de Foucault

Génération des courants de Foucault

Cette section décrit comment les courants de Foucault sont générés par des changements de champ magnétique dans les conducteurs, et les effets thermiques et magnétiques qui en résultent.

Effets et applications des courants de Foucault

Nous examinerons les effets des courants de Foucault, tels que le chauffage par induction et le freinage magnétique, et comment ils sont exploités dans diverses technologies.

Méthodes de réduction des courants de Foucault

Les étudiants apprendront différentes techniques pour minimiser les courants de Foucault indésirables, essentielles pour améliorer l'efficacité des transformateurs et des moteurs électriques.

L'auto-induction

Définition et principes de base

Nous introduirons le concept d'auto-induction, un phénomène où un changement de courant dans un circuit crée un champ magnétique qui, à son tour, induit une tension dans le même circuit.

La self-inductance

Cette partie approfondit la self-inductance, la propriété d'un circuit qui détermine la magnitude de l'auto-induction, et comment elle est caractérisée dans différents types de bobines et de circuits.

3.1 Pôles et champ magnétique

Introduction aux pôles magnétiques

Les aimants sont des objets qui peuvent attirer ou repousser d'autres matériaux magnétiques. Cette capacité est due à la présence de pôles magnétiques, appelés pôles nord et pôles sud. Chaque aimant possède au moins un pôle nord et un pôle sud. Les pôles opposés s'attirent, tandis que les pôles identiques se repoussent.

Insérer un schéma montrant un aimant avec ses deux pôles et les forces d'attraction et de répulsion entre deux aimants.

Le champ magnétique

Le champ magnétique est une représentation de l'influence magnétique d'un matériau magnétique ou d'un courant électrique. Il est défini par des lignes de champ qui partent du pôle nord pour rejoindre le pôle sud. La direction du champ magnétique en un point est donnée par la direction que prendrait une boussole placée en ce point, et sa magnitude est proportionnelle à la densité des lignes de champ.

La formule du champ magnétique ($\vec{B}$) autour d'un aimant droit est donnée par:

$$[\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\vec{m}}{r^3}]$$

où:

- (μ_0) est la perméabilité magnétique du vide,
- ($\vec{m}$) est le moment magnétique de l'aimant,
- (r) est la distance du point au centre de l'aimant.

La direction du vecteur ($\vec{B}$) est radiale par rapport à l'aimant et pointe du nord vers le sud.

Insérer un schéma représentant les lignes de champ magnétique autour d'un aimant en barreau.

3.2 La force magnétique

La loi de Lorentz

La loi de Lorentz est une formule fondamentale en électromagnétisme qui décrit la force exercée sur une particule chargée en mouvement dans un champ magnétique. Elle est exprimée par l'équation suivante:

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

où :

- ($\vec{F}$) est la force magnétique (en Newtons, N),
- (q) est la charge de la particule (en Coulombs, C),
- ($\vec{v}$) est la vitesse de la particule (en mètres par seconde, m/s),
- ($\vec{B}$) est l'induction magnétique, également appelée densité de flux magnétique (en Teslas, T).

Le symbole ($\times$) représente le produit vectoriel, indiquant que la direction de la force magnétique est perpendiculaire à la fois à la vitesse de la particule et au champ magnétique.

Insérer un schéma montrant une particule chargée se déplaçant dans un champ magnétique avec les vecteurs vitesse, champ magnétique et force magnétique clairement indiqués.

Mouvement des charges dans un champ magnétique

Lorsqu'une charge se déplace dans un champ magnétique, elle subit une force qui altère sa trajectoire. Si la vitesse de la particule est perpendiculaire au champ magnétique, la charge se déplacera en suivant une trajectoire circulaire, dont le rayon est déterminé par l'équation :

$$r = \frac{mv}{qB}$$

où :

- (r) est le rayon de la trajectoire circulaire (en mètres, m),
- (m) est la masse de la particule (en kilogrammes, kg),
- (v) est la vitesse perpendiculaire de la particule par rapport au champ magnétique,
- ($|q|$) est la valeur absolue de la charge de la particule,
- (B) est l'intensité du champ magnétique.

Insérer un schéma illustrant la trajectoire circulaire d'une charge dans un champ magnétique uniforme.

Applications pratiques de la force magnétique

La force magnétique est à la base du fonctionnement de nombreux dispositifs. Par exemple, dans les moteurs électriques, elle est utilisée pour convertir l'énergie électrique en énergie mécanique. La formule générale qui décrit la force sur un conducteur de longueur (l) portant un courant (I) dans un champ magnétique (B) est :

$$\vec{F} = I(\vec{l} \times \vec{B})$$

où :

- ($\vec{F}$) est la force magnétique,

- (I) est l'intensité du courant (en ampères, A),
- $(\vec{l})$ est le vecteur longueur du conducteur (en mètres, m),
- $(\vec{B})$ est le champ magnétique.

Insérer un schéma montrant un conducteur parcouru par un courant plongé dans un champ magnétique et la force résultante.

Ces principes sont également appliqués dans les haut-parleurs, où les variations de courant dans une bobine génèrent des mouvements mécaniques grâce à l'interaction avec un champ magnétique, produisant ainsi du son. En outre, les dispositifs de stockage magnétique, tels que les disques durs, utilisent des champs magnétiques pour enregistrer et lire des informations sous forme de bits magnétiques.

3.3 Interaction entre électricité et magnétisme

Champ magnétique créé par un courant électrique

Le champ magnétique généré par un fil droit infini parcouru par un courant constant (I) peut être décrit par la loi de Biot-Savart. A une distance (r) du fil on obtient :

$$[B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}]$$

où (B) est le champ magnétique créé, (μ_0) est la perméabilité magnétique du vide, (r) est la distance entre le fil et le point de mesure et (I) est l'intensité de courant dans le fil.

Le champ magnétique (B) est perpendiculaire à la fois au fil et à la ligne joignant le fil au point de mesure, et il a une direction qui est donnée par la règle de la main droite : si vous pointez le pouce de la main droite dans la direction du courant (I) , vos doigts courbés indiqueront la direction du champ magnétique autour du fil.

Insérer un schéma d'un fil droit avec le courant (I) et les cercles représentant les lignes de champ magnétique qui l'entourent, ainsi que la direction du champ magnétique à un point donné à une distance (r) du fil.

Loi d'Ampère et solénoïdes

La loi d'Ampère établit une relation entre le courant électrique et le champ magnétique créé autour de celui-ci. Elle peut s'écrire sous la forme intégrale suivante :

$$[\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{\text{enc}}]$$

où $(\vec{B})$ représente le champ magnétique, $(d\vec{l})$ est un élément infinitésimal du chemin d'intégration fermé, (μ_0) est la perméabilité du vide et (I_{enc}) est le courant électrique total qui traverse la surface délimitée par le chemin d'intégration.

La loi d'Ampère est particulièrement utile pour calculer le champ magnétique dans les solénoïdes, qui sont des bobines de fil conducteur enroulées de manière à former un cylindre. Lorsqu'un courant électrique traverse un solénoïde, il génère un champ magnétique à l'intérieur de la bobine qui est uniforme et parallèle à l'axe du solénoïde. Ce champ peut être exprimé par :

$$[B = \mu_0 n I]$$

Ici, (n) représente le nombre de spires par unité de longueur du solénoïde, et (I) est l'intensité du courant qui le traverse.

Insérer un schéma d'un solénoïde avec les lignes de champ magnétique et la direction du courant.

Force entre deux courants parallèles

Lorsque deux fils conducteurs parallèles sont parcourus par des courants, ils exercent une force l'un sur l'autre. Si les courants sont dans la même direction, les fils s'attirent, tandis qu'ils se repoussent si les courants sont en sens opposé. Cette interaction est décrite par la loi de la force de Laplace, qui pour deux courants parallèles s'écrit comme :

$$[F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d}]$$

où (F) est la force par unité de longueur exercée entre les fils, (I_1) et (I_2) sont les intensités des courants dans les fils, (l) est la longueur des fils, et (d) est la distance qui les sépare.

Insérer un schéma montrant deux fils parallèles avec les directions des courants et la force résultante.

Le phénomène de magnétorésistance

La magnétorésistance est un effet dans lequel la résistance électrique d'un matériau change lorsqu'il est soumis à un champ magnétique. Cet effet est souvent représenté par la relation :

$$[R(B) = R_0 (1 + \alpha B^2)]$$

où $(R(B))$ est la résistance du matériau dans un champ magnétique (B) , (R_0) est la résistance sans champ magnétique, et (α) est une constante qui dépend du matériau.

Cet effet est exploité dans les capteurs magnétiques, tels que les capteurs à effet Hall, et dans les technologies de stockage de données comme les disques durs.

3.4 L'induction électromagnétique

La loi de Faraday-Lenz

La loi de Faraday-Lenz est une des pierres angulaires de l'électromagnétisme et forme la base de nombreux dispositifs électriques modernes. Selon cette loi, un courant électrique est induit dans un circuit lorsqu'il est soumis à un champ magnétique variable. La force électromotrice (f.é.m.) induite dans le circuit est directement proportionnelle à la vitesse de changement du flux magnétique à travers le circuit. La loi de Faraday-Lenz peut être exprimée mathématiquement comme suit:

$$[\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}]$$

où:

- $(\mathcal{E})$ est la force électromotrice induite (en volts),
- (Φ_B) est le flux magnétique (en webers),
- $(\frac{d\Phi_B}{dt})$ représente la dérivée du flux magnétique par rapport au temps, indiquant la vitesse de changement du flux magnétique.

Le signe négatif dans cette équation est une conséquence de la loi de Lenz, qui stipule que la f.é.m. induite va toujours dans le sens qui s'oppose au changement qui l'a produite.

Insérer un schéma illustrant un circuit avec un flux magnétique variable traversant une boucle conductrice, générant une f.é.m. induite.

Générateurs et transformateurs

Les générateurs électriques et les transformateurs sont deux dispositifs qui exploitent le principe de l'induction électromagnétique.

Un générateur convertit l'énergie mécanique en énergie électrique grâce à la rotation d'une bobine dans un champ magnétique, induisant ainsi une f.é.m. selon la loi de Faraday-Lenz. La relation fondamentale pour un générateur est la même que celle décrite précédemment, où la variation du flux magnétique est provoquée par le mouvement mécanique.

Les transformateurs, d'autre part, sont des dispositifs utilisés pour augmenter ou diminuer les niveaux de tension dans un circuit électrique. Ils se composent de deux bobines, primaire et secondaire, enroulées autour d'un noyau de fer. La relation entre les tensions et les nombres de spires des bobines dans un transformateur idéal est donnée par l'équation:

$$[\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}]$$

où:

- (V_p) et (V_s) sont les tensions aux bornes des bobines primaire et secondaire, respectivement,
- (N_p) et (N_s) sont les nombres de spires des bobines primaire et secondaire, respectivement.

Insérer un schéma d'un transformateur montrant les bobines primaire et secondaire ainsi que le noyau de fer.

Applications de l'induction électromagnétique

L'induction électromagnétique a une multitude d'applications dans la technologie moderne. Quelques exemples incluent:

- **La recharge sans fil**, où l'énergie est transférée par induction électromagnétique entre deux objets, typiquement un pad de recharge et un dispositif électronique.
- **Les cartes à puce**, qui peuvent communiquer avec un lecteur à travers un champ magnétique induit.
- **La production d'électricité dans les centrales électriques**, où des générateurs à grande échelle convertissent l'énergie mécanique (souvent générée par de la vapeur ou de l'eau en mouvement) en électricité grâce à l'induction électromagnétique.

Insérer des schémas illustrant chacune de ces applications pour renforcer la compréhension des étudiants.

3.5 Les courants de Foucault

Génération des courants de Foucault

Les courants de Foucault, également connus sous le nom de courants induits, se produisent dans les conducteurs électriques lorsqu'ils sont exposés à un champ magnétique variable dans le temps. Ces courants sont générés en raison de la loi de Lenz-Faraday qui décrit l'induction électromagnétique. La loi de Faraday s'exprime par l'équation suivante :

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

où ($\mathcal{E}$) représente la force électromotrice induite (en volts), (Φ_B) est le flux magnétique à travers la surface (en webers), et (t) est le temps (en secondes). Le signe négatif indique que la force électromotrice créée par les courants de Foucault s'oppose à la variation du flux magnétique, conformément à la loi de Lenz.

Insérer un schéma montrant un conducteur avec des lignes de champ magnétique qui varient dans le temps, induisant des courants de Foucault.

Effets et applications des courants de Foucault

Les courants de Foucault peuvent causer un échauffement dans les matériaux conducteurs, ce qui est un principe fondamental dans les applications de chauffage par induction. Par exemple, dans les plaques de cuisson à induction, les courants de Foucault générés dans le fond métallique des casseroles produisent de la chaleur par effet Joule, qui est donné par la relation :

$$[P = I^2 R]$$

où (P) est la puissance dissipée sous forme de chaleur (en watts), (I) est le courant induit (en ampères), et (R) est la résistance électrique du matériau (en ohms).

Les courants de Foucault sont également utilisés dans les systèmes de freinage magnétique, où ils sont exploités pour générer une force opposée au mouvement, permettant de ralentir ou d'arrêter un objet en mouvement.

Insérer un schéma illustrant le freinage magnétique, avec des courants de Foucault induits dans une roue métallique passant à travers un champ magnétique.

Méthodes de réduction des courants de Foucault

Pour réduire les courants de Foucault indésirables, plusieurs techniques peuvent être utilisées, notamment :

- L'utilisation de matériaux avec une résistivité élevée, ce qui diminue l'amplitude des courants induits.
- La construction de noyaux de transformateurs et de moteurs avec des feuilles de métal laminées isolées les unes des autres, ce qui limite les chemins des courants de Foucault.
- L'augmentation de l'entrefer dans les circuits magnétiques, ce qui réduit le couplage magnétique et donc la magnitude des courants induits.

Ces méthodes contribuent à améliorer l'efficacité énergétique et les performances des dispositifs électromagnétiques.

3.6 L'auto-induction

Définition et principes de base

L'auto-induction est le phénomène par lequel un circuit électrique produit un champ magnétique en réponse à un changement de courant électrique qui le traverse. Ce champ magnétique variable peut ensuite induire une force électromotrice (f.é.m.) dans le circuit lui-même, un effet connu sous le nom de f.é.m. d'auto-induction. Cette f.é.m. est toujours dirigée de manière à s'opposer au changement de courant qui l'a produite, conformément à la loi de Lenz.

La formule de base de la force électromotrice induite par auto-induction est donnée par la loi de Faraday pour l'induction électromagnétique :

$$[\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}]$$

où :

- ($\mathcal{E}$) est la force électromotrice induite (en volts),
- (Φ_B) est le flux magnétique (en webers),
- ($\frac{d\Phi_B}{dt}$) représente la variation temporelle du flux magnétique.

Insérer un schéma illustrant un circuit avec un changement de courant et le champ magnétique induit.

La self-inductance

La self-inductance, souvent représentée par la lettre (L), est une mesure de la capacité d'un circuit à induire une f.é.m. en lui-même en réponse à un changement de courant. Elle dépend de la géométrie du circuit et de la perméabilité magnétique des matériaux environnants. La self-inductance est une propriété intrinsèque du circuit, tout comme la résistance ou la capacité.

Pour un circuit donné, la self-inductance est définie par la relation :

$$[\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt}]$$

où :

- (L) est la self-inductance (en henrys, H),
- (I) est le courant électrique (en ampères),
- ($\frac{dI}{dt}$) est la variation temporelle du courant.

Dans le cas d'une bobine de fil, qui est un exemple classique de dispositif présentant une self-inductance significative, la self-inductance peut être calculée par :

$$[L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{l}]$$

où :

- (N) est le nombre de spires de la bobine,
- (μ) est la perméabilité magnétique du matériau (en henrys par mètre),
- (A) est l'aire de la section transversale du noyau de la bobine (en mètres carrés),
- (l) est la longueur de la bobine (en mètres).

Insérer un schéma d'une bobine avec ses différentes caractéristiques géométriques et matérielles.

Les bobines avec un noyau de matériau ferromagnétique peuvent avoir une self-inductance beaucoup plus grande en raison de la perméabilité magnétique élevée du ferromagnétique par rapport à l'air ou au vide.

La self-inductance joue un rôle crucial dans le fonctionnement des circuits électriques, en particulier dans les applications de filtrage, les transformateurs, les relais, et dans la conception des circuits de transmission de signaux et d'alimentation électrique.

CHAPITRE 4

Courant Alternatif

Le courant alternatif (CA) est un type de courant électrique où la grandeur et la direction changent cycliquement, contrairement au courant continu (CC) où elles sont constantes. Le courant alternatif est le type de courant le plus couramment distribué dans les réseaux électriques mondiaux pour le transport et la distribution de l'électricité. Ce chapitre explore les principes fondamentaux du courant alternatif.

Évolution de la tension et de l'intensité au cours du temps

Le courant alternatif est caractérisé par une tension et une intensité qui varient sinusoïdalement avec le temps. Cette section abordera les concepts de valeur maximale (amplitude), de valeur efficace, de période et de fréquence, ainsi que la représentation graphique de ces variations.

- Formules de base de la tension et de l'intensité
- Représentation graphique des signaux alternatifs
- Déphasage entre tension et intensité

Courants mono et triphasé

Le courant alternatif peut être distribué en mono ou en triphasé. Cette partie expliquera la différence entre ces deux systèmes, leur utilisation et leur avantage.

- Explication du courant monophasé
- Explication du courant triphasé
- Avantages du système triphasé
- Connexion étoile et triangle

Comportement des composants dans un circuit CA

Dans cette section, nous étudierons comment les différents composants électriques se comportent lorsqu'ils sont soumis à un courant alternatif.

Résistances

- Loi d'Ohm pour le courant alternatif
- Puissance dissipée par une résistance en CA

Condensateurs

- Réactance capacitive et son effet sur la phase du courant
- Formules et graphiques de la tension et du courant pour un condensateur

Self-inductance (Bobines)

- Réactance inductive et son effet sur la phase du courant
- Formules et graphiques de la tension et du courant pour une bobine

Circuits RLC en courant alternatif

Un circuit RLC est un circuit électrique composé d'une résistance (R), d'une inductance (L) et d'un condensateur (C). Nous analyserons le comportement d'un tel circuit en courant alternatif.

- Équations différentielles du circuit RLC
- Résonance dans les circuits RLC
- Impédance des circuits RLC

Puissance en courant alternatif

Cette section couvrira les concepts de puissance active, réactive et apparente dans les circuits en courant alternatif.

- Formules de la puissance en CA
- Facteur de puissance et son importance
- Méthodes de mesure de la puissance en CA

4.1 Évolution de la tension et de l'intensité au cours du temps

Le courant alternatif (CA) se distingue du courant continu (CC) par ses grandeurs électriques qui varient avec le temps selon une fonction périodique, le plus souvent sinusoïdale. Dans cette section, nous étudierons l'évolution temporelle de la tension ($U(t)$) et de l'intensité ($I(t)$) dans un circuit électrique alimenté en courant alternatif.

Formules de base de la tension et de l'intensité

La tension ($U(t)$) et l'intensité ($I(t)$) dans un circuit CA peuvent être exprimées par les équations suivantes, où les grandeurs varient sinusoïdalement avec le temps :

$$[U(t) = U_m \cdot \sin(2\pi f t + \varphi_U)] [I(t) = I_m \cdot \sin(2\pi f t + \varphi_I)]$$

- (U_m) et (I_m) sont les valeurs maximales, ou amplitudes, de la tension et de l'intensité respectivement.
- (f) est la fréquence du signal, qui représente le nombre de cycles par seconde.
- (t) est le temps.
- (φ_U) et (φ_I) sont les phases initiales de la tension et de l'intensité, qui déterminent le décalage initial des ondes sinusoïdales par rapport à l'origine des temps.

La **valeur efficace** d'une grandeur sinusoïdale est la valeur équivalente de cette grandeur qui produirait la même puissance dans une charge résistive si elle était appliquée sous forme de courant continu. Les valeurs efficaces de la tension et de l'intensité sont données par :

$$[U_{\text{eff}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}] [I_{\text{eff}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}]$$

Représentation graphique des signaux alternatifs

Il est utile d'insérer ici un schéma illustrant la forme d'onde sinusoïdale de la tension et de l'intensité en fonction du temps. Ce schéma devrait mettre en évidence les amplitudes (U_m) et (I_m) , ainsi que la période (T) des signaux, qui est l'inverse de la fréquence (f) (i.e., $(T = \frac{1}{f})$).

Déphasage entre tension et intensité

Le déphasage est la différence de phase entre la tension et l'intensité. Il est représenté par l'angle (φ) , qui est la différence entre (φ_U) et (φ_I) :

$$[\varphi = \varphi_U - \varphi_I]$$

Ce déphasage est particulièrement important dans les circuits contenant des éléments réactifs tels que les inductances et les condensateurs, car il affecte la puissance réactive du circuit.

Un schéma montrant deux ondes sinusoïdales déphasées serait pertinent ici pour illustrer visuellement le concept de déphasage.

4.2 Courants mono et triphasé

Le courant alternatif (CA) peut être distribué sous deux formes principales : monophasé et triphasé, chacune ayant ses applications et avantages spécifiques.

Explication du courant monophasé

Le courant monophasé est le type de courant alternatif le plus simple et le plus répandu, en particulier dans les applications résidentielles. Il est caractérisé par une unique onde sinusoïdale de tension et de courant. La tension varie de manière sinusoïdale avec le temps et est décrite par l'équation :

$$[V(t) = V_{\max} \cdot \sin(\omega t + \phi)]$$

où ($V(t)$) est la tension instantanée, ($V_{\max}$) est l'amplitude maximale de la tension, (ω) est la vitesse angulaire (2π fois la fréquence), (t) est le temps et (ϕ) est le déphasage.

Insérer schéma d'une onde sinusoïdale représentant le courant monophasé.

Explication du courant triphasé

Le courant triphasé est constitué de trois ondes sinusoïdales de tension et de courant, déphasées entre elles de 120° . Ce système est largement utilisé dans les applications industrielles en raison de sa capacité à transporter plus de puissance. Les équations des tensions dans un système triphasé sont :

$$[V_1(t) = V_{\max} \cdot \sin(\omega t)] [V_2(t) = V_{\max} \cdot \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})] [V_3(t) = V_{\max} \cdot \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3})]$$

Chaque tension ($V_i(t)$) correspond à l'une des trois phases et ($\frac{2\pi}{3}$) représente le déphasage de 120° entre chaque phase.

Insérer schéma de trois ondes sinusoïdales déphasées de 120° représentant le courant triphasé.

Avantages du système triphasé

Le système triphasé présente plusieurs avantages par rapport au système monophasé :

- **Distribution de puissance plus efficace** : Avec trois phases, la puissance totale fournie est constante, contrairement au courant monophasé où elle fluctue avec le temps.
- **Réduction de la taille des conducteurs** : Pour une même puissance transmise, les conducteurs peuvent être plus petits car le courant est réparti sur trois phases.
- **Moteurs plus efficaces** : Les moteurs triphasés sont généralement plus compacts, ont un meilleur facteur de puissance et sont plus efficaces que les moteurs monophasés.

Connexion étoile et triangle

Dans un système triphasé, il existe deux manières principales de connecter les charges : en étoile (Y) ou en triangle (Δ). Chaque configuration a ses propres caractéristiques de tension et de courant :

- **Connexion en étoile (Y)** : Les points de fin de chaque phase sont connectés à un point commun appelé neutre. Les tensions de ligne sont égales aux tensions de phase et les courants de ligne sont liés aux courants de phase par la relation :

$$[I_{\text{ligne}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{phase}}]$$

Insérer schéma d'une connexion en étoile.

- **Connexion en triangle (Δ)** : Les extrémités de chaque phase sont connectées l'une à l'autre, formant un circuit fermé. Les tensions de ligne sont liées aux tensions de phase par la relation :

$$[V_{\text{ligne}} = \sqrt{3} \cdot V_{\text{phase}}]$$

et les courants de ligne sont égaux aux courants de phase.

Insérer schéma d'une connexion en triangle.

Ces configurations influencent la manière dont la puissance est distribuée et utilisée dans les systèmes électriques triphasés.

4.3 Comportement des composants dans un circuit CA

Dans cette section, nous étudierons comment les différents composants électriques se comportent lorsqu'ils sont soumis à un courant alternatif (CA).

Résistances

La résistance est un composant qui s'oppose au passage du courant électrique. Dans un circuit CA, la loi d'Ohm reste valable, mais elle doit être appliquée à l'instant t .

- **Loi d'Ohm pour le courant alternatif** : $(V(t) = R \cdot I(t))$

Où $(V(t))$ est la tension à l'instant t , (R) est la résistance et $(I(t))$ est le courant à l'instant t . Pour une résistance pure, la phase du courant et de la tension reste la même.

- **Puissance dissipée par une résistance en CA** : $(P = V_{\text{rms}} \cdot I_{\text{rms}})$

Avec (V_{rms}) étant la valeur efficace de la tension et (I_{rms}) la valeur efficace du courant. La puissance dissipée est convertie en chaleur.

Insérer un schéma d'un circuit résistif soumis à une tension alternative avec les courbes de tension et de courant.

Condensateurs

Les condensateurs stockent l'énergie sous forme de champ électrique et présentent une opposition au changement de tension, ce qui entraîne un déphasage entre le courant et la tension.

- **Réactance capacitive** : $(X_C = \frac{1}{\omega C})$

Où (ω) est la vitesse angulaire de la source de courant alternatif et (C) est la capacité du condensateur. La réactance capacitive (X_C) diminue avec l'augmentation de la fréquence et est mesurée en ohms.

- L'effet sur la phase du courant est que le courant dans un circuit capacitif avance de 90 degrés sur la tension.

Insérer un schéma d'un circuit capacitif soumis à une tension alternative avec les courbes de tension et de courant en indiquant le déphasage.

Self-inductance (Bobines)

Les bobines (ou selfs) stockent l'énergie sous forme de champ magnétique et présentent une opposition au changement de courant, ce qui provoque également un déphasage entre le courant et la tension.

- **Réactance inductive** : $(X_L = \omega L)$

Où (L) est l'inductance de la bobine. La réactance inductive (X_L) augmente avec l'augmentation de la fréquence et est mesurée en ohms.

- L'effet sur la phase du courant est que le courant dans un circuit inductif retarde de 90 degrés par rapport à la tension.

Insérer un schéma d'un circuit inductif soumis à une tension alternative avec les courbes de tension et de courant en indiquant le déphasage.

Dans chaque cas, les graphiques de la tension et du courant illustrent la relation de phase entre ces deux grandeurs et montrent comment la réactance (capacitive ou inductive) affecte le comportement du circuit.

4.4 Circuits RLC en courant alternatif

Dans un circuit RLC en courant alternatif, la résistance (R), l'inductance (L) et le condensateur (C) interagissent pour influencer le courant, la tension et la phase du signal électrique.

Comportement des composants dans un circuit RLC

La Résistance (R)

La résistance est le composant qui s'oppose au passage du courant électrique. Elle dissipe de l'énergie sous forme de chaleur et ne dépend pas de la fréquence du courant alternatif. Dans un circuit RLC, la résistance va atténuer l'amplitude du courant sans affecter sa phase.

L'Inductance (L)

L'inductance, quant à elle, a tendance à s'opposer aux changements de courant dans le circuit en raison de l'énergie stockée dans son champ magnétique. Cela a pour effet de retarder la phase du courant par rapport à la tension. Plus la fréquence du signal est élevée, plus l'inductance présente une opposition importante.

Le Condensateur (C)

Le condensateur stocke l'énergie sous forme de champ électrique. Il a l'effet inverse de l'inductance : il avance la phase du courant par rapport à la tension. L'opposition d'un condensateur au passage du courant augmente avec la diminution de la fréquence.

Résonance dans les circuits RLC

Le phénomène de résonance se manifeste dans un circuit RLC lorsque la capacité du condensateur à stocker de l'énergie et la capacité de l'inducteur à faire de même s'équilibrent parfaitement. À la fréquence de résonance, le circuit peut osciller avec une efficacité maximale, ce qui se traduit par une amplitude maximale du courant (pour un circuit en série) ou de la tension (pour un circuit en parallèle).

Impédance des circuits RLC

L'impédance est une mesure qui combine les effets de la résistance, de l'inductance et du condensateur. Elle est un indicateur de la façon dont le circuit RLC réagit globalement au passage du courant alternatif. L'impédance affecte à la fois l'amplitude et la phase du courant dans le circuit.

Dans un circuit RLC série, la résistance, l'inductance et le condensateur travaillent de concert pour déterminer l'impédance totale, qui à son tour influence la manière dont le courant et la tension varient avec le temps.

Pour un circuit RLC parallèle, l'interaction entre les trois composants est différente mais l'objectif reste le même : déterminer comment le courant et la tension sont affectés par les propriétés combinées de la résistance, de l'inductance et du condensateur.

Insérer ici un schéma illustrant un circuit RLC avec les vecteurs de tension et de courant pour montrer la phase.

En comprenant l'impact de chacun de ces composants sur le courant et la tension, ainsi que leur interaction à différentes fréquences, on peut prédire le comportement d'un circuit RLC en courant alternatif et concevoir des systèmes électriques pour des applications spécifiques telles que la filtration de signal, la syntonisation de fréquence et la gestion de la puissance.

Circuit RLC en série

La réactance dans un circuit RLC en série est la partie de l'impédance qui prend en compte les effets des composants réactifs, c'est-à-dire l'inductance (L) et le condensateur (C). Contrairement à la résistance, qui a une impédance réelle et constante, la réactance varie avec la pulsation (ω) du signal alternatif.

La réactance inductive (X_L) est directement proportionnelle à la pulsation et est donnée par la formule :

$$[X_L(\omega) = \omega L]$$

La réactance capacitive (X_C), quant à elle, est inversement proportionnelle à la pulsation et est exprimée par :

$$[X_C(\omega) = -\frac{1}{\omega C}]$$

La réactance totale (X) du circuit RLC en série est la différence entre la réactance inductive et la réactance capacitive :

$$[X(\omega) = X_L(\omega) + X_C(\omega)] \quad [X(\omega) = \omega L - \frac{1}{\omega C}]$$

À basse fréquence, la réactance capacitive domine, car elle augmente à mesure que la pulsation diminue. À haute fréquence, c'est la réactance inductive qui devient plus importante, car elle augmente avec la pulsation.

À la fréquence de résonance ($\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$), les réactances inductive et capacitive sont égales en magnitude mais opposées en signe, ce qui les annule :

$$[X(\omega_0) = \omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0]$$

À cette fréquence de résonance, le circuit ne présente aucune réactance, et l'impédance totale est purement résistive. La variation de la réactance avec la pulsation est un facteur clé dans la conception de circuits pour des applications telles que les filtres électroniques et les systèmes de syntonisation.

Circuit RLC en parallèle

Dans un circuit RLC en parallèle, la réactance varie également avec la pulsation (ω), mais la relation entre la réactance et la pulsation est différente de celle d'un circuit en série.

Pour un circuit RLC en parallèle, la réactance inductive (X_L) et la réactance capacitive (X_C) sont définies de la même manière que pour un circuit en série :

$$[X_L(\omega) = \omega L] [X_C(\omega) = -\frac{1}{\omega C}]$$

Cependant, dans un circuit en parallèle, les composants ne s'additionnent pas directement comme dans le cas d'un circuit en série. Au lieu de cela, les admittances (l'inverse de l'impédance) des composants inductifs et capacitifs s'additionnent.

L'admittance inductive (Y_L) est l'inverse de la réactance inductive :

$$[Y_L(\omega) = \frac{1}{\omega L}]$$

Et l'admittance capacitive (Y_C) est l'inverse de la réactance capacitive :

$$[Y_C(\omega) = \omega C]$$

La réactance totale d'un circuit RLC en parallèle est donc déterminée par la somme des admittances :

$$[Y_{\text{total}}(\omega) = Y_L(\omega) + Y_C(\omega)]$$

$$[Y_{\text{total}}(\omega) = \frac{1}{\omega L} + \omega C]$$

Pour obtenir la réactance totale (X_{total}) du circuit en parallèle, on prend l'inverse de l'admittance totale.

À la fréquence de résonance, les effets de l'inductance et du condensateur se compensent également dans un circuit en parallèle, ce qui conduit à une admittance infinie (ou une réactance nulle) pour la partie réactive du circuit. Cela signifie que le circuit se comporte comme s'il n'y avait que la résistance pure, tout comme dans le cas d'un circuit en série à la résonance.

4.5 Puissance en courant alternatif

Le courant alternatif (CA) est la forme d'électricité la plus répandue dans les applications résidentielles, commerciales et industrielles. Contrairement au courant continu (CC), le courant alternatif varie avec le temps, changeant de direction et d'amplitude. Cette variation a un impact significatif sur la façon dont la puissance est calculée et gérée dans les systèmes électriques. Dans ce chapitre, nous allons explorer les différentes formes de puissance en CA et leur importance dans les circuits électriques.

Formules de la puissance en CA

En courant alternatif, il existe trois types de puissance: la puissance active (P), la puissance réactive (Q), et la puissance apparente (S). Chacune joue un rôle dans le transfert d'énergie dans les circuits électriques.

Puissance active (P)

La puissance active est la puissance réellement consommée ou produite par un circuit électrique. Elle est mesurée en watts (W) et est donnée par la formule:

$$[P = VI\cos(\phi)]$$

où (V) est la tension efficace, (I) est le courant efficace, et (ϕ) est le déphasage entre la tension et le courant.

Insertion d'un schéma: Diagramme phasorial illustrant la tension et le courant avec leur déphasage (ϕ).

Puissance réactive (Q)

La puissance réactive est la puissance qui va et vient entre la source et la charge en raison de la présence de composants réactifs comme les inductances et les condensateurs. Elle est mesurée en volt-ampères réactifs (VAR) et est donnée par la formule:

$$[Q = VI\sin(\phi)]$$

Insertion d'un schéma: Diagramme phasorial montrant une charge inductive ou capacitive avec le déphasage (ϕ) entre la tension et le courant.

Puissance apparente (S)

La puissance apparente est la combinaison de la puissance active et réactive dans un circuit. Elle est mesurée en volt-ampères (VA) et est donnée par la formule:

$$[S = VI]$$

où (V) et (I) sont toujours les valeurs efficaces de la tension et du courant.

Insertion d'un schéma: Triangle des puissances illustrant la relation entre P, Q, et S.

Facteur de puissance et son importance

Le facteur de puissance est un indicateur de l'efficacité avec laquelle la puissance est utilisée dans un circuit électrique. Il est défini comme le rapport de la puissance active à la puissance apparente:

$$[\text{Facteur de puissance} = \frac{P}{S} = \cos(\phi)]$$

Un facteur de puissance proche de 1 indique que la puissance est utilisée efficacement, tandis qu'une valeur inférieure suggère la présence d'une puissance réactive importante, ce qui peut entraîner des pertes d'énergie et des coûts supplémentaires pour les consommateurs et les fournisseurs d'électricité.

Méthodes de mesure de la puissance en CA

La mesure de la puissance en courant alternatif peut être réalisée à l'aide de divers instruments, tels que les wattmètres, les varmètres, et les analyseurs de puissance. Ces instruments permettent de mesurer les différentes formes de puissance, de surveiller le facteur de puissance et d'optimiser la consommation d'énergie.

Insertion d'un schéma: Exemple d'un wattmètre et d'un varmètre avec une brève description de leur fonctionnement.