

Cours I

Les 2 types de courant : *continu et alternatif*

Le courant continu et le courant alternatif constituent les 2 types de régime que l'on rencontre dans les installations électriques. Ils sont produits par des générateurs qui ont leur propre mode de fonctionnement. Nous allons passer en revue ces 2 entités :

I.1 Le courant continu

Ce type de courant est délivré par les piles, les batteries ou encore les panneaux photovoltaïques. La tension et l'intensité produites par le générateur sont constantes dans le temps, tant que ce dernier ne se décharge pas. Il est à noter que le courant circule dans le même sens, de la **polarité positive** vers la **polarité négative**, par convention.

Voici les différents types de générateurs délivrant une source de tension continue :

Le générateur électrochimique : la pile ou la batterie d'accumulateurs

Le générateur électronique : le panneau solaire

L'alimentation du secteur, passant par un redresseur, et transformant le courant alternatif en continu.

I.2 Le courant alternatif

Il s'agit du courant qui arrive directement chez vous par le biais du distributeur d'énergie. C'est un type de courant qui change constamment de sens. On dit qu'il est **périodique**. Il change de sens à raison de 100 fois par seconde ; c'est pour cela que notre courant alternatif

a une fréquence de 50Hz (50 alternances / sec.). On ne parle plus de polarité + ou - mais de phase et de neutre. Le générateur délivrant une tension alternative sinusoïdale est un alternateur. C'est une machine comportant une partie magnétique fixe (appelée stator) dans laquelle tourne une bobine de fil (rotor). La rotation de cette bobine à l'intérieur du champ magnétique va générer un courant alternatif. Il existe deux modes de distribution de ce courant alternatif :

le courant monophasé (une phase et un neutre)

le courant triphasé (trois phases et un neutre)

Le transport de l'électricité se fait en courant alternatif à haute tension afin de limiter les pertes d'énergie sur de longues distances et facilite le passage d'un niveau de tension à un autre. Il est aussi beaucoup plus simple de transformer les caractéristiques d'un courant alternatif que celles d'un courant continu. Pour cela, on utilise le transformateur qui permet de passer d'un niveau de tension à un autre, très facilement. Cependant, ce type de conversion n'est pas adapté en courant continu car cela conduirait à la destruction du transformateur, n'étant pas conçu techniquement pour cela.









Cours II

Indices de protection IP *la carapace du matériel électrique !*

Les indices de protection IP définissent le degré de protection du matériel électrique vis à vis des influences externes. En clair, le matériel sera codifié sur sa plaque signalétique en étant pourvu du sigle IP, suivi de 2 chiffres. Ce code IPXX va indiquer à l'utilisateur les conditions dans lesquelles le matériel pourra être exploité en tenant compte des risques éventuels

II.1 Le 1^{er} chiffre

Il définit la protection du matériel en présence de corps solides. Plus ce chiffre est haut (allant de 0 à 6), plus le matériel sera protégé contre leur pénétration. Il est à noter qu'un degré minimal IP2X (X étant un nombre non défini correspondant au 2ème chiffre) est exigé au titre de la protection contre les chocs électriques pour les appareils non enfermés, utilisés dans les locaux non réservés aux électriciens.















IP	TEST	DESCRIPTION	NF EN 60 529 (NFC 20-010)
0		Pas de protection	
1		Protège contre les corps solides supérieurs à 50 mm (ex. dos de la main)	
2		Protège contre les corps solides supérieurs à 12 mm (ex. doigt de la main) - Protection minimale exigée contre les contacts électriques directs	
3		Protège contre les corps solides supérieurs à 2,5 mm (ex. outils, fils...)	
4		Protège contre les corps solides supérieurs à 1 mm	
5		Protège contre les poussières	
6		Totalement protégé contre les poussières	

II.2 Le 2^{ème} chiffre

Il définit la protection du matériel en présence d'eau. Il va de 0 à 8, d'une protection négligeable à la protection contre les effets prolongés de l'immersion sous pression.

Exemple :

un matériel placé dans le volume 1 de la salle d'eau devra obligatoirement avoir un degré IPX5(X étant un nombre non défini correspondant au 1er chiffre).

IP	TEST	DESCRIPTION	NF EN 60 529 (NFC 20-010)
IP x 0		Pas de protection	
IP x 1		Protège contre les chutes verticales de gouttes d'eau (condensation)	
IP x 2		Protège contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 15° de la verticale	
IP x 3		Protège contre l'eau en pluie jusqu'à 60° de la verticale	
IP x 4		Protège contre les projections d'eau en toutes directions	
IP x 5		Protège contre les jets d'eau de toutes directions à la lance	
IP x 6		Protège contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer	
IP x 7		Protège contre les effets de l'immersion	
IP x 8		Protège contre les effets prolongés de l'immersion sous pression	 (*) m

Voici maintenant quelques exemples d'indice de protection de matériels et appareils électriques utilisés dans divers endroits :

- Prise de courant dans un salon, séjour ou cuisine : **IP20**
- Matériel situé en emplacement extérieur : **IP34**
- Pompe immergée : **IP68**
- Appareil d'éclairage dans un local poussiéreux comme une menuiserie : **IP50**

Cours III

Un moteur électrique, *comment ça marche ?*

Un moteur électrique est une machine tournante qui permet de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique. De nos jours, il est omniprésent et constitue l'outil électromécanique indispensable pour diverses applications industrielles et tertiaires.

Voici le détail de ses principaux composants et l'explication de son fonctionnement : (Dans cet document, nous ne traiterons que des moteurs électriques alternatifs, étant les moteurs les plus employés).

III.1 Les types de moteurs

On distingue les moteurs à courant continu et ceux à courant alternatif.

III.1.1 Courant continu

1. Moteur à excitation série : Ce type de moteur est caractérisé par le fait que le stator (inducteur) est raccordé en série avec le rotor (induit). Donc le même courant traverse le rotor et le stator.
2. Moteur à excitation parallèle ou *shunt* : Dans le moteur shunt, le stator est câblé en parallèle avec le rotor. La tension aux bornes du rotor est la même que celle aux bornes du stator.
3. Moteur à excitation composée ou *compound* : Dans le moteur compound une partie du stator est raccordé en série avec le rotor et une autre est de type parallèle ou shunt. Ce moteur réunit les avantages des deux types de moteur : le fort couple à basse vitesse du moteur série et l'absence d'emballement (survitesse) du moteur shunt.

4. Moteur à excitation séparée : Lorsque ce courant est fourni par une source indépendante de la génératrice, on dit que cette génératrice est à excitation indépendante ou à excitation séparée.

5. Avantages et inconvénients :

L'avantage principal des machines à courant continu réside dans leur commande simple de faire varier leur vitesse, leur couple et leur sens de rotation.

Le principal problème de ces machines vient de la liaison entre les balais, ou *charbons* et le collecteur rotatif. De plus il faut signaler que :

- Plus la vitesse de rotation est élevée, plus la pression des balais doit augmenter pour rester en contact avec le collecteur donc plus le frottement est important.
- Aux vitesses élevées les balais doivent donc être remplacés très régulièrement.
- Le collecteur imposant des ruptures de contact provoque des arcs, qui usent rapidement le commutateur et gênent des parasites dans le circuit d'alimentation, ainsi que par rayonnement électromagnétique.

III.1.2 Courant alternatif

1. Moteur synchrone (monophasé ou triphasé)
2. Moteur asynchrone (monophasé ou triphasé)

III.1.3 Les principaux composants

Voici la description d'un moteur électrique asynchrone triphasé :

Il est constitué d'une partie fixe, que l'on appelle le **stator**. Il est également équipé d'une partie mobile : c'est le **rotor**.

Le **stator** est constitué d'une partie magnétique sur laquelle sont placées **trois bobines** de fil de cuivre, géométriquement décalées de 120° et parcourues par des courants alternatifs présentant le même **déphasage électrique**. Le stator produit donc un **champ tournant** créé par les bobines, à mesure qu'elles sont parcourues par le courant, l'une après l'autre.

Le **rotor**, quant à lui, est constitué par un cylindre en aluminium. Sous l'effet du champ tournant, il est à son tour induit par des courants. L'interaction de ces courants et du champ électromagnétique crée un couple moteur mettant en rotation le rotor. Il est aussi constitué de bobinages, mais ils sont en court-circuit (**rotor à cage d'écureuil**)

III.2 Synchrone ou asynchrone ?

Pour les machines synchrones, la vitesse du rotor est égale à celle du champ tournant, créé par le réseau.

- Le rotor est constitué d'**aimants permanents** ou d'**électro-aimants**.
- La machine a un bon rendement et un facteur de puissance réglable en fonction des courants d'excitation (alimentant les électro-aimants).
- Par contre, ce type de moteur ne permet pas un démarrage en direct sur le réseau. Si on lui demande trop de couple, le moteur décrochera.

Pour les machines asynchrones, la vitesse du rotor est inférieure à celle du champ tournant (notion de glissement).

- Plus la charge augmente, et plus le glissement augmente, ce qui a pour effet de faire diminuer la vitesse de rotation
- Le moteur nécessitera peu d'entretien et pourra démarrer directement sur le réseau (grand **couple de démarrage**).
- Par contre, le **facteur de puissance** à vide est relativement faible et il faudra gérer la pointe de courant au démarrage sur les moteurs ayant une grosse inertie (moyenne et grosse puissance).

Cours IV

Promenade électrique dans une entreprise

IV.1 L'ordinateur

IV.1.1 ordinateur d'aujourd'hui

L'ordinateur est devenu un support indispensable à la vie économique et sociale pour communiquer, créer des documents gérer l'activité d'une entreprise, avoir accès à des services en ligne. De plus puissant, il est parfois difficile de suivre son évolution tant elle est rapide et permanente. Demain, l'ordinateur sera peut être sans clavier, sans souris et pourra interagir avec le monde réel.

IV.1.2 Comment ça marche ?

Un ordinateur fonctionne par la lecture séquentielle d'un ensemble d'instructions qui lui exécuter des opérations logiques et arithmétiques sur des chiffres binaires. Les données, introduites par un organe d'entrée (clavier, disques, souris,...), sont traités dans l'unité centrale par un programme qui fournit des résultats à un organe de sortie (écran, imprimante).

IV.2 Ascenseur

Dans un ascenseur à traction électrique, un moteur actionne une poulie qui entraîne des câbles auxquels sont suspendus la cabine et son contrepoids. Dans un ascenseur hydraulique, la cabine est propulsée directement par le piston d'un vérin alimenté par de l'huile sous pression. Une cabine circule le long de rails verticaux devant des paliers fermés par des

portes coulissantes, automatiquement commandées par la porte de la cabine. Un système de commande électrique gère les mouvements sous le contrôle de nombreux dispositifs de sécurité.

IV.3 Moteur électrique

IV.3.1 Moteur électrique d'aujourd'hui

Pour les machines outils industrielles, on utilise le plus souvent le moteur asynchrone, simple de traction, très robuste et peu coûteux. Il représente près de 80% du parc de moteurs électriques. Le pilotage de sa vitesse se fait électroniquement grâce à des variateurs. Mais, il existe des moteurs dits universels essentiellement utilisés dans le petit électroménager, et des moteurs synchrones, souvent utilisés pour la traction ferroviaire.

IV.3.2 Comment ça marche ?

Le moteur électrique sert à transformer l'énergie électrique en énergie mécanique grâce à des phénomènes électromagnétiques. Il est constitué d'une partie fixe, le stator qui comporte un bobinage et d'une partie mobile, le rotor.

IV.4 Congélateur

Le principe général d'un congélateur est le même d'un réfrigérateur : faire du froid en retirant du chaud. Le congélateur est cependant plus puissant et dispose d'une isolation renforcée. Il permet ainsi de geler l'eau contenue dans les aliments en un temps relativement court pour la maintenir au alentours de -18°C

IV.5 Climatiseur

Comme le réfrigérateur, le climatiseur procède au rafraîchissement par élimination de chaleur. L'air chaud d'une pièce est aspiré et la chaleur absorbée par un fluide réfrigérant, qui, par transfert de chaleur, évacue les calories à l'extérieur.

IV.6 Recyclage de chaleur

La technologie de valorisation et de recyclage de la chaleur émise fonctionne avec un simple récupérateur de chaleur (échangeur de chaleur) , souvent couplé avec une pompe à chaleur.

Cours V

Promenade électrique *Mobilité*

V.1 Vélo à Assistance Électrique (VAE)

Vélo à assistance électrique à un objectif d'amplifier le mouvement du pédalier. Des capteurs détectent pédalage, sa fréquence, l'effort exercé, l'accélération et le freinage. Ces informations sont transmises à un contrôleur qui règle la consommation de courant et pilote un moteur dans un différentes phases de fonctionnement. Sur certaines modèles, l'utilisateur peut couper ou doser le niveau d'assistance par l'intermédiaire d'un sélecteur ou d'accélérateur.

V.1.1 Constitution

C'est un vélo classique auquel sont ajoutés :

- un moteur électrique qui peut être situé dans la roue avant ou arrière, dans le pédalier et quelquefois déporté par courroie. La loi limite sa puissance à 250 W et sa vitesse à 25 km/h.
- une batterie qui, selon la technologie utilisée, apporte une autonomie plus ou moins importante. Un chargeur est fourni pour l'alimenter sur le secteur.
- un contrôleur électronique qui permet de réguler les différents composants (intégré dans le bloc batterie) - un boîtier de commande au guidon, qui n'est pas forcément présent selon les modèles, et qui permet à l'utilisateur de moduler son assistance, de connaître son kilométrage...

V.1.2 Les vélos électriques fonctionnent-ils tous de la même façon ?

Non, il existe différents types d'assistance électrique :

assistance par rotation du pédalier : c'est le système le moins coûteux et le plus courant. Situé au niveau du pédalier, un capteur détecte la rotation de celui-ci et donc le pédalage mais non la pression exercée sur la pédale. Le moteur libère la totalité de son énergie instantanément. Un tour de pédalier est souvent nécessaire pour assurer la mise en marche du moteur. On y adjoint, sur certains modèles, une aide au démarrage par poignée qui déclenche l'assistance sans la nécessité de pédaler ;

assistance par capteur de pression le moteur démarre dès qu'il sent la pression exercée sur la pédale. Plus l'utilisateur appuie sur les pédales, plus le moteur l'aide, même si sa cadence de pédalage est faible. Ce système est particulièrement apprécié des sportifs qui ont la sensation de garder le contrôle du cycle et d'imprimer les accélérations mais il nécessite de maintenir une pression continue sur les pédales qui n'est pas toujours à la portée des cyclistes amateurs ;

assistance par capteur d'effort c'est le pédalage et sa cadence qui commandent la puissance du moteur. Plus le cycliste pédale à une cadence élevée, plus il bénéficie d'une assistance. Ce système rend les démarrages en côtes plus aisés. C'est un système au coût équivalent à celui du capteur de pression ;

assistance par tension de la chaîne ou du cardan : l'assistance se met en marche par tension de la chaîne. Ce système est très réactif puisque la chaîne se tend dès que le pied est posé sur la pédale. Il favorise donc les démarrages en côte mais présente l'inconvénient de toujours devoir appuyer sur les pédales pour avancer. Le positionnement central du moteur équilibre le vélo.

V.2 Voiture électrique

V.2.1 La voiture électrique d'aujourd'hui

Le contexte environnemental a changé la donne. Pour lutter contre le changement climatique et la raréfaction des ressources énergétiques, le véhicule électrique redevient une priorité. L'objectif : remplacer à terme les véhicules à essence. Trop émetteurs de gaz à effet de serre, trop polluants et trop consommateurs d'une énergie dont le prix ne cesse de grimper dans le monde, de multiples expérimentations de Véhicules Hybrides Rechargeables (VHR) sont en cours dans plusieurs villes et les constructeurs développent désormais des gammes spécifiques pour mettre ces véhicules de demain à disposition des particuliers, professionnels et collectivités.

V.2.2 Comment ça marche ?

Le Véhicules Hybrides Rechargeables (VHR) se recharge comme un appareil électrique quotidien, il suffit de brancher son câble sur la prise d'un point de charge pendant 1h30 pour une charge complète. Dès que le véhicule est branché, la borne communicante intégrée dans le point de charge et la voiture lance le transfert d'électricité. Les informations sont ensuite transmises de façon sécurisée par un modem 3G à un système de supervision centralisée pour connaître en temps réel l'état des points de charge, gérer leur entretien et quantifier l'énergie consommé.

V.3 air bag

En cas de choc, des capteurs mesurent la décélération du véhicule et transmettent l'information à un boîtier électronique. En fonction de la mesure, un signal électrique est envoyé à un générateur de gaz qui par réaction chimique explosive déclenche la production de gaz dans un coussin en toile épaisse plié de façon très spécifique pour se déployer en quelques millisecondes.

V.4 Tramway

Comme le train électrique, le tramway capte le courant électrique grâce à des pantographes reliés à des caténaires, eux-mêmes alimentés par des sous-stations électriques en 750 V. La

voie est le plus souvent encastrée dans la chaussée . Aujourd'hui, les politiques urbaines s'attachent à protéger les zones historiques en développant des lignes alimentées par 3^e rail central.

V.5 Le TGV (Train à Grande Vitesse)

V.5.1 Le TGV d'aujourd'hui

Aujourd'hui un train à grande vitesse est un train roulant à des vitesses supérieures à 250Km/h sur des lignes spécialisées et à 200Km/h sur des lignes standards adaptés. Grâce au TGV, on peut maintenant relier PARIS à MARSEILLE en 3h20' alors qu'au début de 19^e siècle, il fallait 5 jours! un TGV duplex peut transporter plus de 500 personnes jusqu'au coeur des villes en un seul voyage, dans des conditions de confort inégalées.

V.5.2 Comment ça marche ?

Le TGV fait partie des trains dit "automoteurs" , dont la motorisation est située dans les voitures elles mêmes (par opposition aux tractées par une locomotive), contact avec les pantographes, des caténaires reliées au réseau fournissent de l'électricité aux moteurs des TGV. Depuis les années 1990, les TGV sont équipés des moteurs à courant continu, de moteurs synchrones autopilotés ou pour certains de moteurs asynchrones.

Bibliographie

- [1] Charles HAREL. *"Machines électriques et essais de Machines"*. Société française des électriciens - École supérieure d'électricité, Paris, 1960.
- [2] A. FOUILLÉ. *"Électrotechnique à l'usage des ingénieurs"*, volume T.2 of *Machines électriques*. Dunod, Paris, 1969.
- [3] M. POLOUJADOFF. *Conversions électromécaniques : maîtrise d'EEA et C3*. Électrotechnique, . Dunod, Paris, 1969.
- [4] Mikhail KOSTENKO and Ludvik PIOTROVSKI. *"Machines électriques"*, volume T.1 of *Machines à courant continu, transformateurs*. Moscou (MIR), 3 edition, 1979.
- [5] J. CHATELAIN. *"Machines électriques "*, volume X of *du traité d'électricité, d'électronique et d'électrotechnique*. Presse polytechnique romande, georgi edition, 1993.
- [6] Ahmed CHOUYA. *"Contribution à l'Observation de la Machine Asynchrone"*. Editions Universitaires Européennes, 18-4- 2019. ISBN-13 : 978-3-639-54522-7.
- [7] Ahmed CHOUYA. *"Observation de la Machine Asynchrone : Observabilité et observateurs linéaires et non linéaires"*. Editions Universitaires Européennes, 13.11. 2019. ISBN- : 978-613-9-52913-1.
- [8] P.VANDEPLANQUE. *"L'éclairage : notions de base-projets d'installations"*. Technique et Documentation, 11, rue Lavoisier Paris, 1981.
- [9] R.ANTOINE J. NIARD and R. MÉRAT. *"Courants variables : Régime sinusoïdal et régimes transitoires"*. Nathan technique, 18, rue Monsieur-le-Prince, Paris VI, 2 edition, 1981.