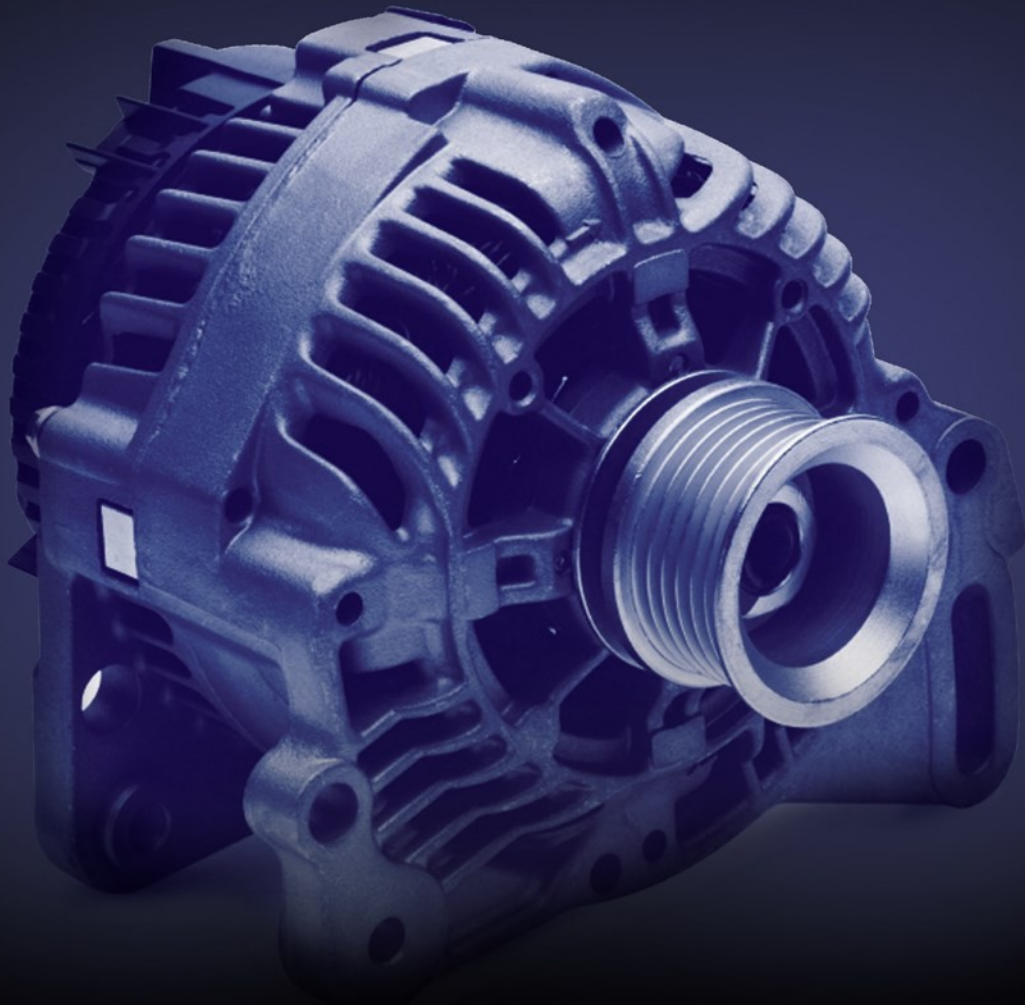


locktronics

Simplifying Electricity

Introduction aux moteurs, générateurs et hybrides



CP8822

MATRIX
www.matrixmultimedia.com

Copyright © 2009 Matrix Multimedia Limited

Fiche de travail 1 - Principes du moteur	3
Fiche de travail 2 - Le moteur électrique	5
Fiche de travail 3 - Principes des générateurs	7
Fiche de travail 4 - Principes hybrides	9
Fiche de travail 5 - Produire de l'électricité - un regard plus approfondi	11
Fiche de travail 6 - Transformateurs	13
Fiche de travail 7 - Transformateurs pratiques	15
Fiche de travail 8 - Redresseur demi-onde	17
Fiche de travail 9 - Redresseur à onde entière	19
Fiche de travail 10 - La diode zener	21
Guide de l'instructeur	23
Aide Picoscope	31



Les moteurs électriques sont de toutes formes et de toutes tailles. Certains fonctionnent en courant continu, d'autres en courant alternatif.

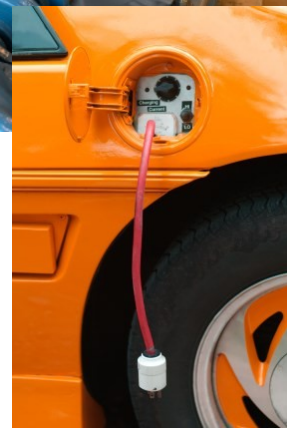
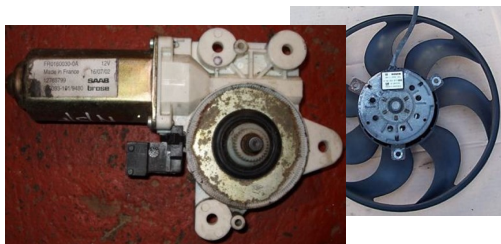


Il existe des moteurs à balais et sans balais, monophasés et triphasés, à induction, synchrones, pas à pas, servo, et bien d'autres encore.



Dans la voiture, ils :

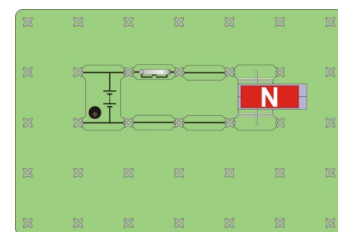
- démarrer le moteur,
- actionner les fenêtres,
- essuyer le pare-brise,
- faire fonctionner le ventilateur,
- Pomper les rondelles, relever l'antenne radio, régler le siège du conducteur



Ils peuvent même alimenter toute la voiture. Tous reposent sur le même principe physique, étudié ici



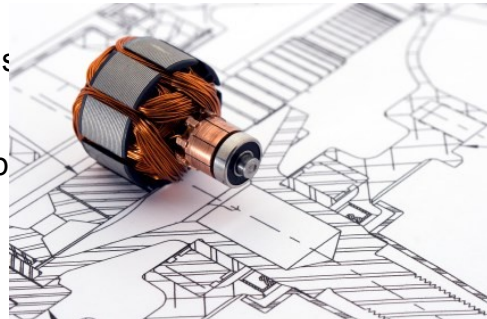
- Cette étude utilise le support à effet moteur illustré ci-contre. Il comporte deux conducteurs fixes, traversés par une tige métallique mobile posée sur le dessus.
- Construisez le système illustré dans la deuxième image. Pour plus de clarté, l'aimant n'a pas été poussé au-dessus de la tige métallique.
- Poussez-le en travers, de façon à ce que la tige mobile se trouve au milieu du champ magnétique.
- L'alimentation est réglée sur 3V.
- Appuyez sur l'interrupteur et observez ce qui se passe.
- Retournez ensuite l'aimant de façon à ce que le pôle sud soit en haut.
- Appuyez à nouveau sur l'interrupteur. Quelle est la différence ?
- Inverser le sens du courant en tournant le support d'alimentation de manière à ce que l'extrémité négative (ligne courte sur le symbole) se trouve en haut.
- Que se passe-t-il maintenant lorsque vous appuyez sur l'interrupteur ?
- Modifiez la tension d'alimentation en la portant à 13,5 V. Cela devrait augmenter le courant circulant dans la tige.
- Voyez-vous une différence lorsque vous fermez l'interrupteur ?



Et alors ?

Voici la théorie sous-jacente :

- Un courant est un flux d'électrons, de minuscules électrons "particules" présentes dans tous les atomes ;
- Lorsque les électrons se déplacent, ils génèrent un champ magnétique ;
- Il interagit avec le champ des aimants céramiques, provoquant attraction / répulsion, sauf qu'il agit à angle droit par rapport à la direction du courant et au champ magnétique.

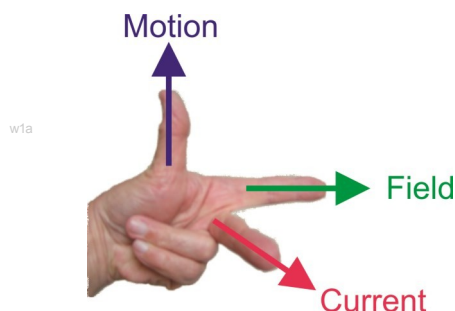


Règle de la main gauche de Fleming :

John Ambrose Fleming a mis au point un moyen de déterminer la direction dans laquelle un fil se déplacera (également connu sous le nom de *règle du moteur*) :

Fixez votre **main gauche** au coin d'une boîte imaginaire, de sorte que le pouce, l'index et le majeur soient tous à angle droit l'un par rapport à l'autre. Ensuite, alignez les points de l'index le long du champ magnétique (du pôle Nord au pôle Sud) et alignez le doigt central avec le courant (de la borne positive de la batterie à la borne négative).

Le thumb pointe maintenant dans la direction du mouvement qui en résulte.



Pour mémoire :

Recopiez et complétez le texte suivant en vous basant sur les observations faites lors de l'enquête :

- Le champ magnétique exerce une force sur un conducteur qui est à ... par rapport à la direction du champ magnétique.
le et dans la direction du
- Lorsque le champ magnétique est inversé, leest inversé.
- Lorsque le courant est inversé, leest inversé.
- L'augmentation du courant entraîne l'augmentation de

Complétez la version suivante de la règle du moteur de Fleming :

- Avec la main, maintenez le pouce, l'index et le majeur àl'un par rapport à l'autre.
- En gardant cette forme, déplacez la main jusqu'à ce que l'index pointe dans la direction du , (de à) et le doigt central pointe en direction de (de à)
- Le pouce pointe maintenant en direction de

Fiche de travail 2

Le moteur électrique

Les moteurs électriques sont généralement constitués d'une bobine tournant dans le champ magnétique d'un aimant permanent ou d'un électro-aimant. Ils tournent parce que le courant s'inverse au bon moment.

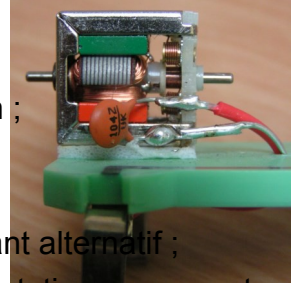
Il y a donc deux problèmes à résoudre :

- établir des connexions électriques avec une bobine en rotation ;
- inverser le courant au bon moment. Il

existe deux solutions :

- utiliser des bagues collectrices avec une alimentation en courant alternatif ;
- utiliser un collecteur et des balais en carbone avec une alimentation en courant

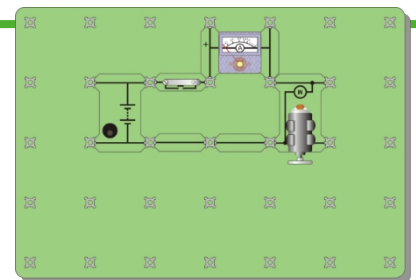
à vous de jouer.



w2a

Cette étude utilise l'un des trois moteurs à courant continu de Locktronics. Ils utilisent un collecteur et des balais de carbone.

- Construisez le système ci-contre avec une alimentation de 6V. Appuyez sur l'interrupteur et observez la lecture de l'ampèremètre.
- Ensuite, maintenez l'interrupteur fermé et appuyez doucement sur l'arbre du moteur ou sur la roue en plastique qui y est attachée, pour ralentir le moteur. Surveillez la valeur de l'ampèremètre.
- Appuyez à nouveau sur l'interrupteur. Appuyez sur l'arbre ou sur la roue pour arrêter la rotation du moteur pendant un moment. Observez à nouveau la valeur de l'ampèremètre.
- Copiez le tableau et complétez-le avec vos mesures.



w2b

Vitesse du moteur	Courant en A
Maximum	
Lentement	
Zéro	

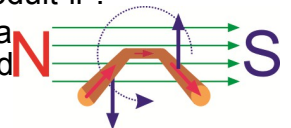
Et alors ?



w2c

La plupart des moteurs tournent, comment cela se produit-il ?

Le schéma du haut montre une bobine de fil coupée, a dans la feuille de papier. Il y a un champ magnétique d N à droite. Le courant circule dans la pa-



w2d

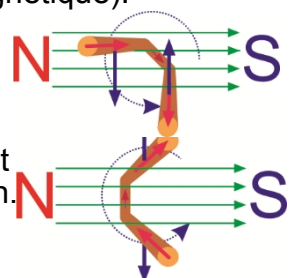
par le côté gauche de la bobine, et hors du papier par le côté droit.

En utilisant la règle de la main gauche, les côtés de la bobine se déplacent dans les directions indiquées par les flèches bleues, et la bobine commence donc à tourner. (Il n'y a pas de force à l'arrière de la bobine, parce que le courant circule parallèlement, et non perpendiculairement, au champ magnétique).

Lorsque la bobine atteint la position indiquée dans le deuxième diagramme, il n'y a pas d'effet de torsion car les forces sur les côtés sont alignées, mais en directions opposées.

L'élan l'amène à dépasser cette position.

Nous inversons maintenant le courant, de sorte que lorsque la bobine atteint indiquée dans le troisième diagramme, les forces la maintiennent en rotation. Si le courant s'inverse à nouveau au bon moment, la rotation se poursuit.



Et alors ?

Il y a deux façons d'inverser le courant :

1. utiliser des **bagues collectrices** avec des brosses :

L'illustration montre une forme de bague collectrice.

Chaque extrémité de la bobine est connectée à son propre anneau en laiton. Le contact électrique est établi sur chaque anneau à l'aide d'un pinceau en carbone,

qui se moule à la forme de l'anneau, réduisant ainsi la résistance de contact.

La bobine est alimentée en courant alternatif, le courant est donc automatiquement change de direction en même temps que le réseau électrique.

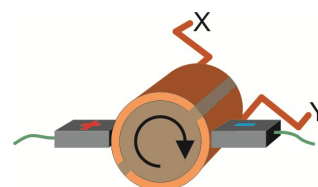


2. utiliser un **collecteur** avec des brosses :

Le schéma montre la conception d'un collecteur simple, un tambour en laiton, divisé en deux moitiés, séparées par un isolateur. Le contact électrique est assuré par des balais de carbone.

La bobine est connectée aux deux moitiés en X et Y.

Lorsque la bobine tourne, X est connecté à l'alimentation positive pendant environ la moitié du temps, puis à l'alimentation négative. À tout moment, Y est connecté à l'alimentation opposée à celle de X.



Les photos montrent un modèle typique de balai en carbone et un moteur électrique. Son rotor contient un

Le nombre de bobines est important, ce qui nécessite un collecteur plus compliqué.



Le courant est minimal lorsque le moteur tourne le plus vite - pourquoi ?

Nous verrons que lorsqu'une bobine tourne à l'intérieur d'un champ magnétique, elle génère une tension. Plus elle tourne vite, plus la tension est élevée et cette tension s'oppose à la tension externe qui produit le mouvement. Sinon, nous pourrions couper la tension externe et avoir un mouvement perpétuel !

Par conséquent, à pleine vitesse, la tension globale, et donc le courant, est réduite.

En d'autres termes, lorsque nous demandons au moteur d'effectuer un travail plus important, il tourne contre le supplément de puissance.

Le frottement de nous appuyant sur l'axe, il a besoin de plus de courant.

Pour mémoire :

- Lorsque le travail effectué par le moteur augmente, le courant qu'il tire de l'alimentation augmente.
- Lorsqu'il fonctionne librement, à la vitesse maximale, le courant est au minimum car la bobine en rotation génère une tension qui s'oppose à la tension appliquée extérieurement.



L'énergie électrique est très polyvalente. Nous l'utilisons pour produire de la chaleur, de la lumière, des mouvements et des réactions chimiques dans la voiture, et nous la stockons dans la batterie de la voiture.

Elle est généralement générée dans un dispositif appelé alternateur, une application de l'induction électromagnétique. Pour générer une tension, il faut un champ magnétique, un fil conducteur et un mouvement relatif entre eux.

Dans cette étude, le conducteur se présente sous la forme d'une bobine de fil. Il est possible d'utiliser un seul fil, mais la tension produite est très difficile à détecter.

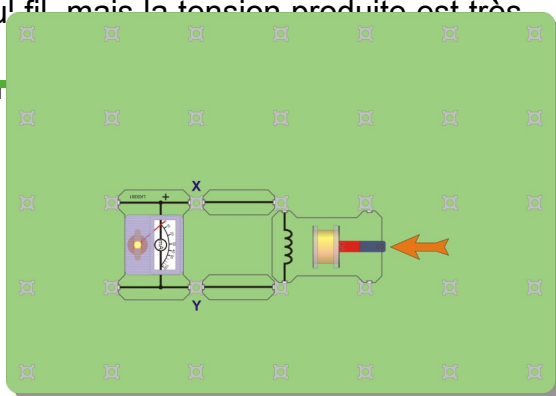
À vous de jouer :

- Mettez en place l'arrangement illustré dans le diagramme

- La quantité d'électricité produite sera minime.

Nous pouvons l'observer en utilisant :

- le module milliampèremètre de Locktronics, connecté comme indiqué ;
- un multimètre, connecté aux points X et Y ;
- un oscilloscope, connecté aux points X et Y.



- Si vous utilisez un multimètre, réglez-le sur son échelle de courant continu la plus sensible. Cependant, cela *échantillonne* le

Le compteur peut manquer un événement qui se produit entre les deux. Le compteur peut manquer un événement qui a lieu entre

Il se peut donc que vous deviez faire plusieurs tentatives avant d'obtenir des résultats convaincants.

- Pour l'oscilloscope, les réglages appropriés sont indiqués en bas de page.

- Déplacez l'aimant dans la bobine aussi vite que possible. Observez ce qui se passe au niveau de la sortie.

- Inversez ensuite le sens du mouvement et tirez sur l'aimant, en observant ce qui se passe.

Extension optionnelle :

- Étudier l'effet de la vitesse du mouvement sur la tension produite.

Réglages typiques d'un

oscilloscope : Base de temps

Plage de tension : Entrée A +200mV DC (multiplicateur
1s/div (multiplicateur Y x1)

X x1) Entrée B Arrêt

Mode de déclenchement Auto **Canal de déclenchement**

Direction du déclenchement En **Canal A**

Seuil de déclenchement hausse 10mV **Seuil de déclenchement**

Fiche de travail 3

Principes du générateur

Et alors ?

D'après les résultats, le courant et la tension générés ont :

- une **grandeur** qui dépend de la vitesse du mouvement ;
- une **polarité** qui dépend de la direction du

mouvement. Des résultats typiques pour l'oscilloscope sont présentés ici.

L'insertion de l'aimant génère une impulsion de courant dans une direction.

Le fait de la retirer produit une impulsion de polarité opposée. (Il se peut que vous deviez expérimenter d'autres réglages de la base de temps).

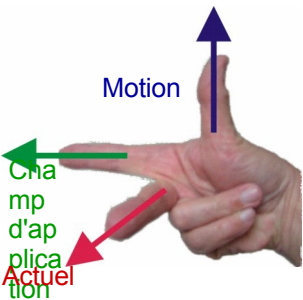
Voici la physique sous-jacente :

- Lorsque le fil se déplace perpendiculairement au champ magnétique, les électrons se déplacent avec lui.
- Chaque fois que les électrons se déplacent, ils génèrent un champ magnétique.
- Celui-ci interagit avec le champ de l'aimant, exerçant une force sur les électrons perpendiculairement à la direction du mouvement et au champ magnétique.
- Cette force pousse les électrons le long du fil, générant une tension et un courant s'il y a un circuit électrique.
- L'utilisation d'une bobine de fil augmente la taille de la tension et du courant générés parce que chaque tour de fil se déplace à l'intérieur du champ magnétique et génère ainsi de l'électricité.

Les effets de tous les virages s'additionnent, ce qui augmente la quantité d'électricité produite.

Règle de la "dynamo" de Fleming pour la main droite :

Fleming a mis au point une méthode douloureuse pour prédire la direction du courant généré.



Utilisez votre **main** droite pour faire le geste indiqué sur l'image.

Le doigt avant, le doigt central et le pouce sont tous à angle droit l'un par rapport à l'autre ! Lorsque l'**index pointe dans la direction du** champ magnétique (du pôle Nord au pôle Sud) et que le **pouce** pointe dans la direction du mouvement, le doigt central pointe dans la direction du courant qui en résulte. C'est ce qu'on appelle la *règle de la dynamo*.

Extension optionnelle :

Si vous disposez d'autres bobines et d'autres aimants, vous pouvez montrer que la magnitude dépend également du nombre de tours de fil dans la bobine et de l'intensité du champ magnétique.

Pour mémoire :

Copiez et complétez ce qui suit :

- L'importance de la tension et du courant générés dépendent du et du.....et de leur direction qui dépend de

La règle de la dynamo de Fleming :

- Avec la main, maintenez le pouce, l'index et le majeur àl'un par rapport à l'autre.
- En gardant cette forme, déplacez la main jusqu'à ce que l'index pointe dans la direction du , (de à) et le pouce pointe en direction de
- Le doigt central pointe maintenant en direction de



Fiche de travail 4

Principes hybrides



Une voiture roulant à la vitesse limite dispose d'environ 140000J d'énergie cinétique, ce qui est suffisant pour faire bouillir une bouilloire ordinaire remplie d'eau. Lorsque la voiture est freinée jusqu'à l'arrêt, une voiture conventionnelle perd toute cette énergie sous forme de chaleur dans les freins. Quel gâchis !

La réponse évidente est de stocker cette énergie



et de l'utiliser plus tard pour accélérer la voiture, mais ce n'est pas facile. L'une des façons d'y parvenir est de la convertir en énergie électrique, de la stocker et de l'utiliser plus tard lorsque la voiture démarre. Elle peut être stockée dans des batteries et dans des composants appelés condensateurs, comme le montre l'image ci-contre.

À vous de jouer :

1. Stockez-le :

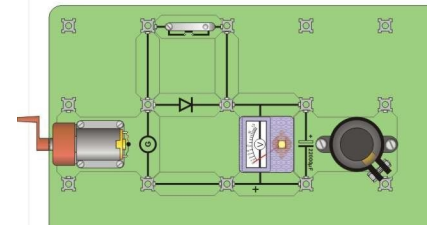
- Mettre en place le dispositif ci-contre.
- Tournez la poignée du générateur à manivelle d'abord dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, puis dans le sens des aiguilles d'une montre.

Notez qu'un certain effort est nécessaire pour tourner la poignée, et que le voltmètre n'affiche une valeur que lorsque vous tournez la poignée dans le sens des aiguilles d'une montre.

- Tournez ensuite la poignée dans le sens des aiguilles d'une montre pendant environ une minute, puis faites une pause.

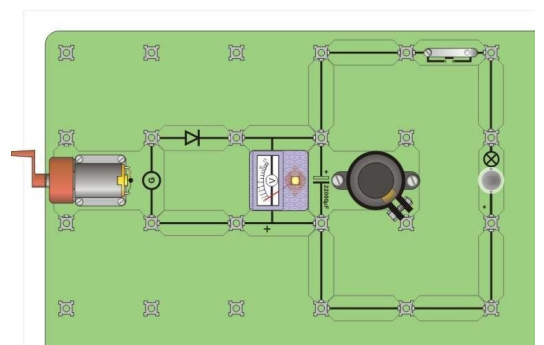
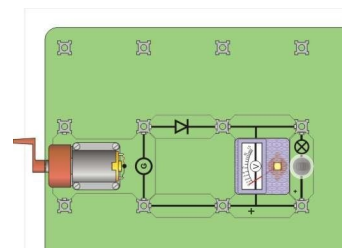
Remarquez que le condensateur se charge et reste chargé lorsque vous vous arrêtez. (Si vous regardez attentivement le voltmètre, vous verrez l'aiguille du voltmètre revenir lentement vers zéro volt. Ce type de condensateur perd lentement sa charge).

- Appuyer sur l'interrupteur avant que la valeur du voltmètre ne tombe à zéro. Remarquez l'effet sur le générateur et le voltmètre.



2. Utilisez-le :

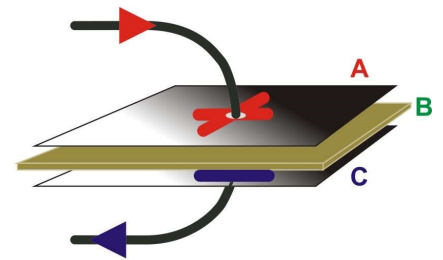
- Construisez maintenant le circuit illustré dans le deuxième diagramme.
- Tournez la poignée du générateur à manivelle dans le sens des aiguilles d'une montre, suffisamment vite pour allumer l'ampoule. N'oubliez pas la vitesse à laquelle vous devez tourner la poignée !
- Construisez maintenant le circuit illustré dans le troisième diagramme.
- L'interrupteur étant ouvert (éteint), tournez la poignée à la même vitesse que dans le circuit précédent jusqu'à ce que le voltmètre indique que le condensateur est chargé à environ 10V.
- Arrêtez le bobinage et appuyez sur l'interrupteur.
- Observez l'effet sur l'ampoule et sur le voltmètre.



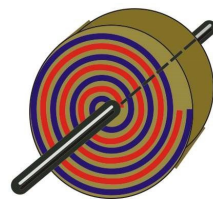
Et alors ?

Qu'est-ce qu'un condensateur ?

- Il se compose de trois feuilles (A, B et C dans le schéma).
- Les plaques A et C sont en métal, généralement en aluminium.
- La feuille B est un isolant qui empêche A et C de se toucher.
- Les trois sont généralement enroulés dans un "rouleau suisse", avec des fils connectés à chaque plaque métallique (schéma du milieu).
- Il est ensuite recouvert d'une enveloppe protectrice (schéma du bas). Normalement, les plaques métalliques ne sont pas chargées. Un courant électrique charge une plaque **positivement** et l'autre **négativement**.



nw4f



Ce stockage de charge est la façon dont le condensateur stocke l'énergie.

L'utilisation de condensateurs pour stocker de l'énergie pose deux problèmes :

- ils ne sont pratiques que pour stocker de petites quantités d'énergie ;
- ils présentent des "fuites" de charge et peuvent donc stocker de durée limitée.



nw4g

Partie 1 : Le générateur à manivelle représente le système de freinage. Il faut un effort et de l'énergie pour tourner la poignée du générateur. Une partie de cette énergie est stockée dans le condensateur. Le freinage fait tourner le générateur et une partie de l'énergie cinétique du véhicule est stockée sous forme d'énergie électrique. Lentement, le condensateur perd sa charge et l'énergie stockée, bien que les condensateurs modernes soient capables de conserver leur charge pendant de longues périodes.

Appuyez sur l'interrupteur, et le générateur se transforme en moteur électrique. C'est très pratique : cela signifie que le même appareil peut être utilisé à la fois comme générateur et comme moteur dans un véhicule hybride.

Partie 2 : montre que ce processus n'est pas totalement efficace sur le plan énergétique. Dans le deuxième circuit, le générateur est connecté directement à l'ampoule. Dans le troisième, il charge le condensateur, qui est ensuite connecté à l'ampoule.

Le deuxième circuit produit beaucoup plus de lumière que le troisième pour un apport d'énergie similaire de la part du générateur. Néanmoins, ce système est bien meilleur que le système de freinage conventionnel où toute l'énergie cinétique est perdue sous forme de chaleur.

Pour mémoire :

- Répondez aux questions 1 à 3 par des explications claires, mais aussi brèves que possible.
 1. Pourquoi la diode a-t-elle été utilisée dans les trois circuits ?
 2. Comment l'énergie est-elle stockée dans un condensateur ?
 3. En quoi une batterie est-elle différente d'un condensateur chargé ?
- Utilisez l'internet pour trouver le maximum d'informations sur les supercondensateurs. Présentez vos résultats au reste de la classe sous la forme d'un affichage.



La fiche de travail n° 3 portait sur la physique de la production d'électricité. Celle-ci porte sur la façon de produire plus d'électricité et sur une application importante.

Dans la technologie automobile, le système électrique tire son énergie de la combinaison de la batterie et de l'alternateur. La sortie de l'alternateur est redressée et régulée, et utilisée pour fournir de l'énergie électrique aux unités périphériques, comme les phares, et pour maintenir la batterie plomb-acide chargée.

Par ailleurs, le freinage par courants de Foucault utilise ces mêmes principes pour ralentir les véhicules sans recourir au freinage par friction.

A vous de jouer (enquêtes facultatives) :

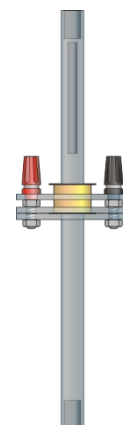
1. Produire plus d'électricité :

L'électricité produite dépend de facteurs tels que le nombre de tours de fil et la vitesse de déplacement de l'aimant.

- Connectez l'appareil de la loi de Faraday, illustré ci-contre, à un oscilloscope, afin de surveiller toute production d'électricité. (Des réglages typiques sont donnés ci-dessous).
- Faites tomber l'aimant à travers la bobine et enregistrez le résultat sur l'oscilloscope.
- Inversez l'aimant et refaites la même chose.

(Extension facultative :)

- Étudiez le lien entre la vitesse du mouvement et la quantité d'électricité produite à l'aide de ce kit. Pour cela, il faut pouvoir faire varier la vitesse et la mesurer !



nw5a

nw5b

2. La magie des courants de Foucault :

Le kit de la loi de Lenz se compose d'un tube de cuivre et de deux projectiles d'apparence identique.

- Tenir le tube de cuivre en position verticale.
- Lâchez le premier projectile dans le tube.
- Lâchez maintenant le deuxième projectile. Quelle est la différence ?
- Regardez les deux projectiles. L'un est un aimant, l'autre non. Trouvez lequel est le bon - vous aurez peut-être besoin d'un objet comme un trombone pour vous aider à décider.
- Lequel est tombé le plus rapidement ? Pourquoi ?



nw5c

Réglages typiques de l'oscilloscope :

Base de temps 1s/div (multiplicateur X x1)

Plage de tension Entrée A $\pm 500\text{mV DC}$ (multiplicateur Y x1)
Entrée B Désactivée

Mode de déclenchement Auto **Canal de déclenchement** Canal A

Direction du déclenchement En hausse **Seuil de déclenchement** 10mV

Fiche de travail 5

La production d'électricité - un regard plus approfondi

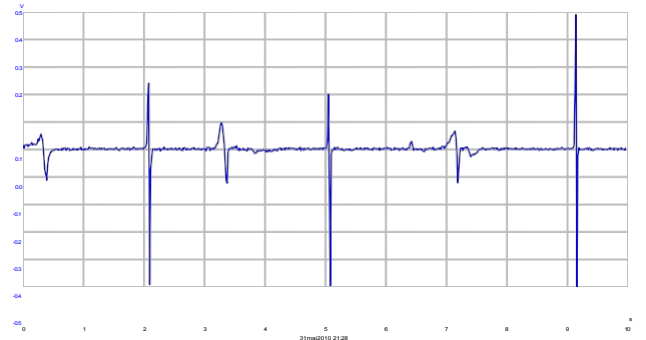
Et alors ?

Une trace typique de la première enquête est présentée ci-contre.

Les pointes sont produites par des impulsions de courant gen-

éré lorsqu'un aimant tombe à travers la bobine.

La nature bipolaire des impulsions (au-dessus et au-dessous de l'axe central) résulte du fait que l'aimant s'approche puis se retire de la bobine, générant un courant d'abord dans un sens puis dans l'autre.



nw5d

Il s'agit d'une démonstration de la loi de Faraday sur l'induction électromagnétique.

Magie des courants de Foucault -

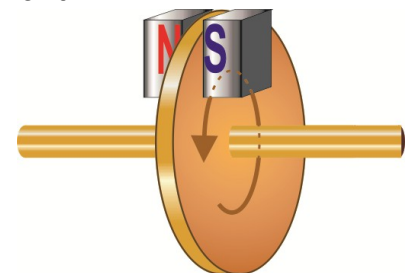
Le projectile non magnétisé a fait exactement ce que l'on attendait de lui : il est tombé sous l'effet de la gravité.

L'aimant est tombé beaucoup plus lentement. Son champ magnétique en mouvement a interagi avec le conducteur, le tuyau de cuivre, et des courants aléatoires ont été générés en conséquence. Ceux-ci ont produit un champ magnétique qui s'est opposé au mouvement, le ralentissant, comme le prévoit la loi de Lenz.

Cet effet est utilisé dans les systèmes de freinage de certains bus et trains. Un disque fixé aux roues tournantes du véhicule est placé entre les pôles d'un électro-aimant.

Normalement, il n'y a pas d'effet sur le disque en rotation.

Cependant, lorsque l'électro-aimant est alimenté, le champ magnétique qui en résulte induit des courants de Foucault dans le disque en rotation. Ceux-ci produisent à leur tour un champ magnétique qui s'oppose au mouvement, ralentissant le disque et convertissant son énergie de rotation en chaleur.



nw5e

L'effet de freinage est modifié en ajustant le courant de l'électro-aimant. Lorsque le disque en rotation ralentit, les courants de Foucault induits diminuent, ce qui réduit l'effet de freinage. Le véhicule est ainsi freiné en douceur.

Pour mémoire :

- Rédigez un compte rendu, en moins de cinquante mots, pour **expliquer** à un collègue ce qui s'est passé lors de la démonstration de la loi de Lenz.
- Utilisez l'internet pour en savoir le plus possible :
 - les applications de la loi de Faraday sur l'induction électromagnétique (telles que les chauffages à induction)
 - les applications de la loi de Lenz (telles que la lévitation magnétique pour le transport).
 - Présentez vos résultats au reste de la classe sous la forme d'un affichage.

Fiche de travail 6

Transformateurs



L'un des grands avantages de la production d'électricité en courant alternatif est qu'elle permet d'utiliser des transformateurs pour élever ou abaisser la tension en courant alternatif à la valeur souhaitée.

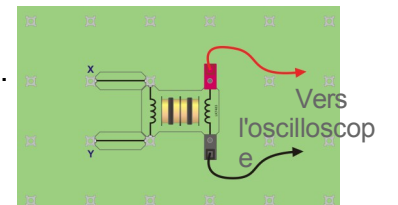
Notre traitement du transformateur le relie, en quatre étapes, aux principes que nous avons rencontrés précédemment, où nous avons vu qu'un courant électrique est généré lorsqu'un champ magnétique se déplace sur un conducteur. Dans le transformateur, le champ magnétique mobile est produit par un électroaimant alimenté en courant alternatif.



À vous de jouer:

Étape 1 - Déplacement de l'aimant :

- Construire l'arrangement ci-contre.
- Les réglages appropriés de l'oscilloscope sont indiqués ci-dessous.
- Plongez un aimant dans la bobine, puis retirez-le en observant l'oscilloscope.



Étape 2 - Électroaimant, et non aimant :

- Reliez maintenant la deuxième bobine, aux points X et Y, à une alimentation en courant continu, réglée sur 3V.
- Allumez et éteignez l'alimentation en courant continu, en observant le tracé.

Étape 3 - AC et non DC :

- Créez maintenant un champ magnétique mobile en reliant les points X et Y à un générateur de signaux, réglé sur une amplitude de 3V et une fréquence d'environ 1kHz.
- Allumez le générateur de signaux et observez la trace.

Étape 4 - Intensifier le champ :

- Glissez un noyau de ferrite au milieu des deux bobines et observez l'effet produit.
- Nous avons maintenant un transformateur simple mais très inefficace !

Extension optionnelle :

Étudier l'effet de :

- en modifiant l'amplitude de l'alimentation en courant alternatif du générateur de signaux ;
- changer la fréquence de l'alimentation en courant alternatif du générateur de signaux ;
- relier les bobines avec des noyaux fabriqués à partir d'autres matériaux, comme l'acier, au lieu de la ferrite.

Réglages typiques de l'oscilloscope :

Base de temps **étapes 1 et 2** : 1s/div (X multiplicateur x1)

Étapes 3 et 4 : 1ms /div (X multiplicateur x1)

Plage de tension Entrée A - $\pm 500\text{mV}$ DC (multiplicateur Y x1) **(doit être augmenté pour**

l'étape 4.)

Entrée B - Désactivée

Mode de déclenchement Auto **Canal de déclenchement** - Ch.A

Direction du déclenchement Montée **Seuil de déclenchement** - 10mV

Et alors ?

Les images montrent des traces typiques de cette enquête :

- la partie supérieure montre les pointes de courant générées lorsque l'alimentation en courant continu de la deuxième bobine est activée et désactivée.
- la partie inférieure montre le courant généré lorsque la deuxième bobine est connectée à l'alimentation en courant alternatif.

Nous avons vu précédemment que les ingrédients essentiels pour produire de l'électricité sont un aimant, un fil et un mouvement. Ici, nous avons remplacé l'aimant par un électro-aimant (deuxième bobine) et produit un mouvement en utilisant un champ magnétique alternatif.

Une bobine, appelée **primaire**, est alimentée en courant alternatif et génère un champ magnétique alternatif. Celui-ci est relié à l'autre bobine, appelée **secondaire**. Il en résulte une tension alternative dans le secondaire. C'est le principe du transformateur.

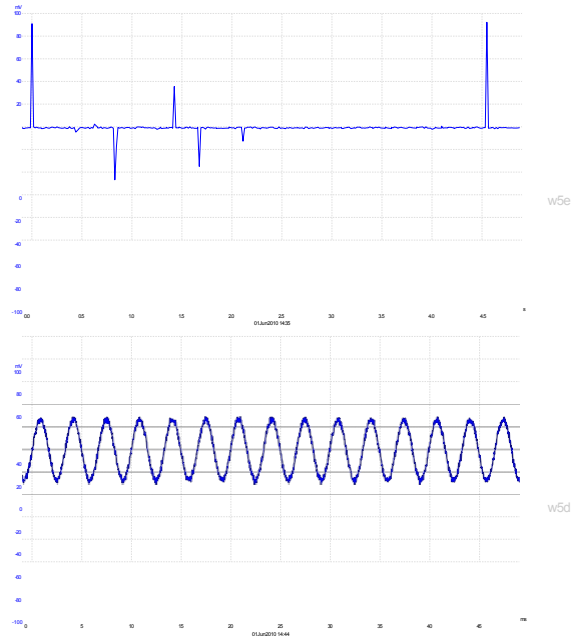
Quelques améliorations :

- L'*intensité* du champ magnétique dans le primaire dépend de facteurs tels que
 - le nombre de tours de fil dans la bobine primaire
 - le courant qui le traverse, lequel dépend à son tour de la tension qui lui est appliquée.
- La *tension* générée dans la bobine secondaire dépend de facteurs tels que
 - l'intensité du champ magnétique généré par le primaire
 - le nombre de tours de fil dans la bobine secondaire
 - l'efficacité avec laquelle le champ magnétique du primaire se lie à lui.

En d'autres termes, la tension générée dans le secondaire dépend du nombre de tours dans le primaire et du nombre de tours dans le secondaire. La feuille de travail suivante explore ce lien.

Pour mémoire :

- Copiez le symbole du circuit du transformateur, donné en haut de la page précédente.
- Décrivez le rôle joué par chacun des trois composants dans le transformateur :
 - la bobine primaire,
 - la bobine secondaire,
 - le cœur.



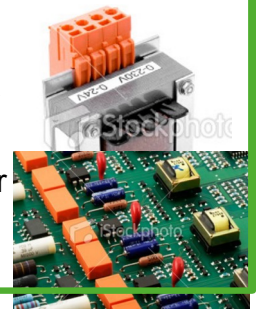
Fiche de travail 7

Transformateurs pratiques



Les transformateurs jouent un rôle important dans de nombreuses applications électriques et électroniques, car ils permettent d'élever ou de réduire efficacement la tension alternative à n'importe quel niveau. valeur souhaitée.

Ici, vous étudiez un petit transformateur utilisé en mode abaisseur puis en mode élévateur.



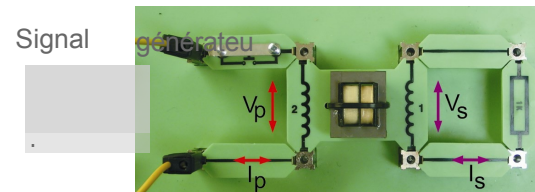
À vous de jouer :

Transformateur abaisseur :

Dans un transformateur abaisseur, la bobine primaire, celle qui est alimentée en courant alternatif, comporte plus de tours de fil que la bobine secondaire, celle qui génère la tension de sortie du transformateur.

Nous utilisons ici un transformateur commercial avec un rapport de tours de 2:1, ce qui signifie qu'une bobine a deux fois plus de tours que l'autre. Le primaire sera la bobine "2" et le secondaire la bobine "1". Le noyau magnétique est stratifié, c'est-à-dire qu'il est fabriqué par "collage ensemble de feuilles (= lamina en latin) de matériau magnétique.

- Construisez le système illustré, qui alimente une charge de $1k\Omega$.



- Connectez un générateur de signaux à la bobine '2' (primaire). Utilisez la sortie basse impédance (typiquement 50Ω .) Réglez-le pour qu'il émette un signal sinusoïdal, onde d'une fréquence de 1kHz et d'une amplitude de 6,0V. (En cas de doute, vérifiez ces données avec votre instructeur).
- Branchez un multimètre numérique, réglé sur la plage de tension 20 V CA, pour mesurer la tension V_P aux bornes de la bobine primaire (la bobine "2"), puis V_S aux bornes de la bobine secondaire (la bobine "1").

- Réglez le multimètre sur la gamme de courant alternatif 20mA et connectez-le pour remplacer le lien sous la bobine '2', pour lire le courant primaire I_P .

- Remplacer le maillon de liaison.

- De la même manière, mesurez le courant, I_S , dans la bobine secondaire.

- Enregistrez toutes les mesures dans un tableau, comme celui présenté ci-contre.

Lecture	Étape. vers le bas	Étape -Haut de page
V_P		
V_S		
I_P		
I_S		

Transformateur élévateur :

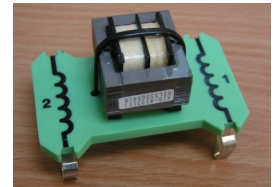
Dans un transformateur élévateur, la bobine primaire a moins de tours que la bobine secondaire. Dans ce cas, le primaire sera la bobine "1" et le secondaire la bobine "2".

- Le système est le même que ci-dessus, sauf que le support du transformateur est maintenant à l'envers.
- Branchez le multimètre pour mesurer la tension secondaire V_S . Ajustez l'amplitude du signal provenant du générateur de signaux jusqu'à ce que V_S soit la même que dans l'étude précédente.
- Mesurez et enregistrez maintenant V_P , I_P et I_S .

Et alors ?

La dernière feuille de travail portait sur les principes des transformateurs, mais le dispositif final était très inefficace.

Il s'agit d'une version améliorée - deux bobines, côte à côte, comme auparavant, mais reliées par un noyau beaucoup plus élaboré, passant par le centre des bobines et s'enroulant également autour de l'extérieur. Le résultat est une liaison plus efficace entre le champ magnétique généré dans la bobine primaire et la bobine secondaire.



Ce que les résultats montrent :

- Examinez le rapport $V_P : V_S$ pour les transformateurs éleveurs et abaisseurs. L'équation du transformateur dit que, pour un transformateur idéal :

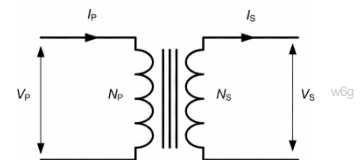
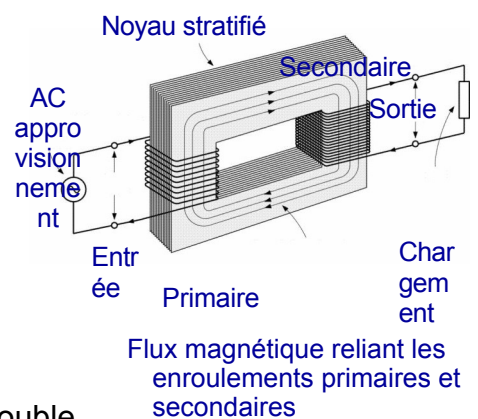
$$V_P / V_S = N_P / N_S$$

où N_P et N_S sont les nombres de tours des deux bobines.

- Examinez ensuite le rapport $I_P : I_S$ pour les deux transformateurs.

D'une manière générale :

- un transformateur éleveur "augmente" la tension (la double pratiquement) mais "diminue" le courant - I_P , est beaucoup plus grand que I_S .
- un transformateur abaisseur de tension "abaisse" la tension, mais délivre le même courant secondaire pour un courant primaire beaucoup plus faible.
- Tous deux délivrent la même tension, V_S , à la charge de $1k\Omega$, et donc I_S , le courant secondaire, est très similaire dans les deux cas.



L'épreuve de vérité :

Qu'en est-il du pouvoir ? A-t-il été augmenté ou diminué ?

En utilisant la formule :

Puissance = Courant x Tension :

Puissance délivrée à la bobine primaire,

$$P_P = I_P \times V_P = \dots\dots\dots \text{mW}$$

Puissance délivrée par le secondaire,

$$P_S = I_S \times V_S = \dots\dots\dots \text{mW}$$

Pour un transformateur idéal (100 % d'efficacité) : $P_P = P_S$

$$\text{et } I_S / I_P = N_P / N_S$$

Extension optionnelle :

Étudiez l'effet de la fréquence appliquée sur la sortie du transformateur. Faites des recherches sur le thème de l'adaptation de puissance pour expliquer vos résultats.

Pour mémoire :

- Copiez la relation du transformateur et expliquez ce qu'elle signifie, avec des mots.
- Expliquez ce que signifient les termes "augmentation" et "diminution" lorsqu'ils s'appliquent aux transformateurs. Expliquez clairement le rôle du nombre de tours de fil, ainsi que ce qui est augmenté et ce qui est réduit dans chaque cas.

Fiche de travail 8

Redresseur demi-onde



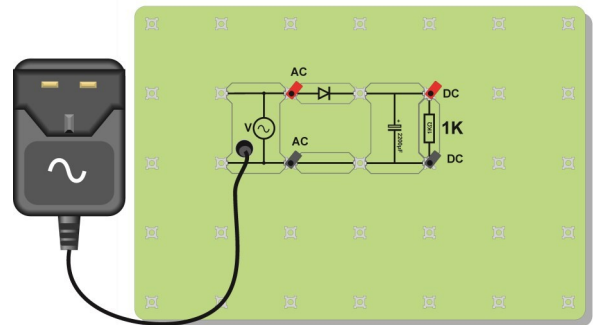
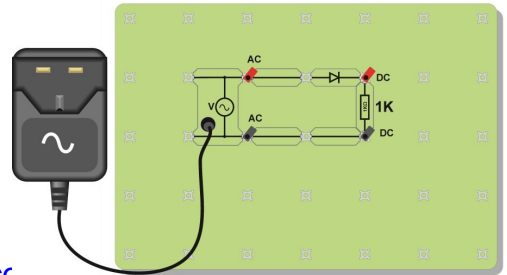
La majeure partie du système électrique de l'automobile fonctionne en courant continu (DC). L'alternateur, quant à lui, génère du courant alternatif (AC).

Nous devons transformer le courant alternatif en courant continu pour que l'alternateur puisse répondre aux besoins du système. Ce processus est appelé rectification et le dispositif utilisé est la diode.

Il existe plusieurs façons d'utiliser les diodes comme redresseurs. Cette feuille de travail se penche sur la plus simple d'entre elles, le redresseur demi-onde.

À vous de jouer :

- Montez le circuit illustré dans le diagramme du haut, en utilisant l'alimentation en courant alternatif. La résistance de $1k\Omega$ représente tous les dispositifs du système électrique de l'automobile.
- Il y a deux positions pour l'oscilloscope - connecté au **courant alternatif** ou connecté au **courant cc**.....
- Si votre oscilloscope possède deux voies d'entrée, connectez-en une au **courant alternatif** et l'autre au **courant continu**.
- Si votre oscilloscope n'a qu'une seule voie d'entrée, connectez-le pour mesurer chacun des signaux à tour de rôle. Les réglages de l'oscilloscope sont indiqués en bas de page (identiques pour les deux méthodes). Enregistrez la trace observée à l'écran avant et après la diode.
- Vous devriez constater que le courant qui traverse la résistance de $1k\Omega$ est un courant continu - il ne change pas de direction. Cependant, il ne s'agit pas d'un courant continu lisse.
- Les performances de ce redresseur peuvent être améliorées par l'ajout d'un condensateur. Montez le circuit illustré dans le deuxième diagramme, où un condensateur de grande valeur ($2200\mu F$), connu sous le nom de condensateur de lissage, a été ajouté.
- En utilisant les mêmes paramètres que précédemment, utilisez un oscilloscope pour enregistrer la forme d'onde aux bornes de $1k\Omega$ (en se connectant à nouveau aux points marqués **DC**).



Réglages typiques de l'oscilloscope :

Base de temps 10ms/div (multiplicateur X x1)

Plage de tension Entrée A $\pm 10V$ DC (multiplicateur Y x1)

Entrée B même réglage si utilisé

Mode de déclenchement Auto

Canal de déclenchement Canal A

Direction de déclenchement Montée **Seuil de déclenchement** 200mV

Et alors ?

La diode permet au courant de la traverser, ainsi que la charge de $1k\Omega$, dans une seule direction. Elle agit comme une petite résistance pour les courants qui tentent de circuler dans une direction (lorsqu'elle est polarisée vers l'avant) et comme une très grande résistance pour les courants qui tentent de circuler dans l'autre direction (lorsqu'elle est polarisée vers l'arrière).

L'image du haut montre une trace typique obtenue à partir de l'outil premier circuit. L'entrée AC est transformée en DC (redressée).

Remarquez que si la sortie est en courant continu (puisque'elle ne franchit jamais la ligne 0V), il ne s'agit pas d'un courant continu stable. La deuxième image montre le même signal, en utilisant un réglage différent de la base de temps de l'oscilloscope (2ms/div.)

Ceci montre le redressement de manière plus détaillée. Remarquez en particulier que la sortie CC, en rouge, est inférieure d'environ 0,7 V à l'entrée CA. La diode n'est pas réellement conductrice tant que la tension qui la traverse n'atteint pas 0,7 V.

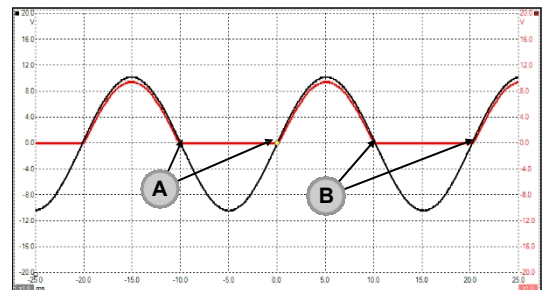
Une fois qu'elle commence à conduire, il y a une chute de 0,7V à travers la diode, laissant la sortie DC 0,7V en dessous de l'entrée AC en tout point.

La troisième image montre l'effet de l'ajout d'un condensateur de lissage. La tension de sortie est maintenant à la fois continue et stable. La taille du condensateur pose problème. Nous y reviendrons plus tard.

Pour mémoire :

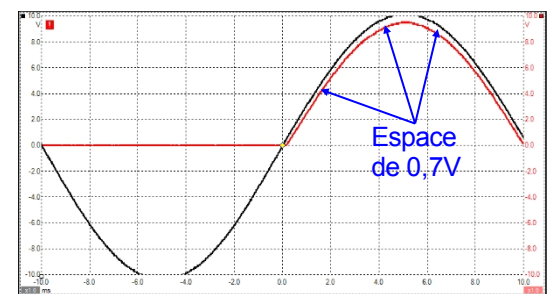
- Le processus de transformation du courant alternatif en courant continu est appelé rectification.
- Le redressement semi-onde n'utilise qu'une seule diode, mais seule la moitié du signal alternatif est transformée en courant continu. Pendant la moitié du temps, aucun courant ne circule.
- La diode au silicium ne conduit que lorsqu'elle est orientée vers l'avant et qu'elle est traversée par une tension d'au moins 0,7V.
- La sortie de ce redresseur demi-onde est inférieure de 0,7 V à l'entrée CA et n'est pas un courant continu lisse.
- Un grand condensateur peut être connecté à la sortie du redresseur demi-onde pour atténuer le signal continu produit.

Rectification simple

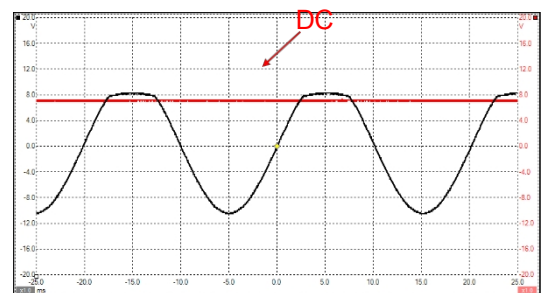


AC — A - Le courant alternatif change de sens ici
DC — B - Le courant continu ne change pas de direction

Une vue plus précise



Utilisation d'un condensateur de lissage



Fiche de travail 9

Redresseur pleine onde

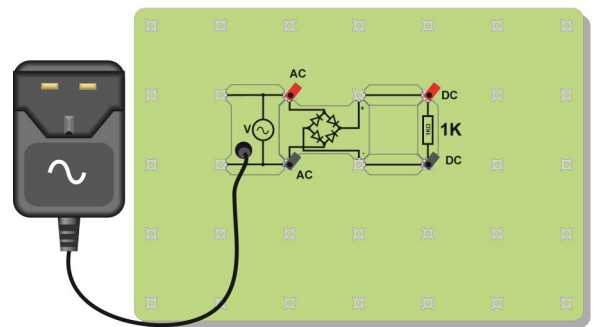


Un circuit redresseur demi-onde n'utilise qu'une seule diode, mais il n'exploite pas efficacement l'énergie électrique disponible. Pendant la moitié du temps, aucun courant ne circule dans la charge.

Un redresseur pleine onde surmonte cette limitation, mais utilise un certain nombre de diodes pour ce faire, et fait chuter une plus grande partie de la tension alternative à travers elles en conséquence. Néanmoins, il s'agit de la solution la plus courante pour convertir la sortie CA de l'alternateur en CC.

À vous de jouer :

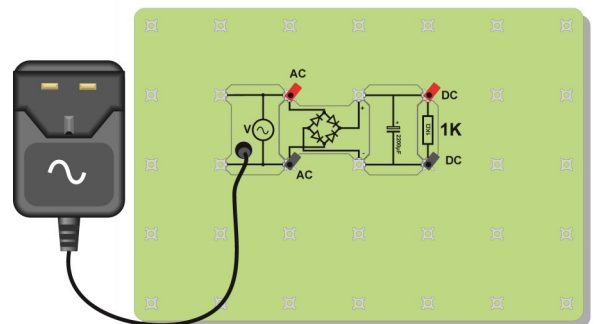
- Montez le circuit illustré dans le diagramme, en utilisant l'alimentation en courant alternatif. Une fois encore, la résistance de 1kΩ représente la charge - tous les appareils du système électrique de la voiture.



Important :

Si votre oscilloscope dispose de deux voies d'entrée, n'en connectez pas une au courant alternatif et l'autre au courant continu. Cela court-circuiterait l'une des diodes. (La raison est donnée à la page suivante).

- N'utilisez qu'une seule voie de votre oscilloscope. Connectez-le d'abord pour mesurer l'entrée du signal CA. Ensuite, connectez-le pour mesurer la sortie du signal DC. Les réglages de l'oscilloscope sont indiqués ci-dessous.
- Enregistrez les traces de courant alternatif et de courant continu.
- La sortie DC varie moins que pour le redressement semi-onde, mais ce n'est toujours pas une tension stable. Connectez un grand condensateur à la sortie du redresseur pleine onde. Ceci est illustré ci-contre.
- Avec les mêmes réglages que précédemment, utilisez l'oscilloscope pour enregistrer la forme d'onde de sortie.



Réglages typiques de l'oscilloscope :

Base de temps 10ms/div (multiplicateur X x1)
Plage de tension Entrée A ±10V DC (multiplicateur Y x1)
Entrée B Désactivée

direction de déclenchement Montée **Seuil de déclenchement** 200mV

Et alors ?

Le schéma du redresseur à onde pleine est représenté ci-contre.

Il a été souligné précédemment que, dans ce circuit, il n'est pas possible de mesurer simultanément le courant alternatif et le courant continu à l'aide de deux canaux d'oscilloscope.

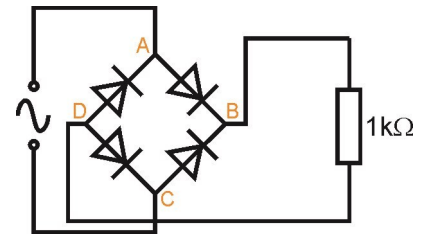
Pour cela, il faudrait connecter un canal aux points **A** et **C**, pour le signal CA, et l'autre aux points **B** et **D**, pour les signaux CA. mesure DC.

Cependant, les oscilloscopes ont une connexion 0V commune entre les deux canaux. Cela signifie que vous relieriez les points **C** et **D**, par exemple, par la connexion commune de l'oscilloscope, en court-circuitant l'une des diodes.

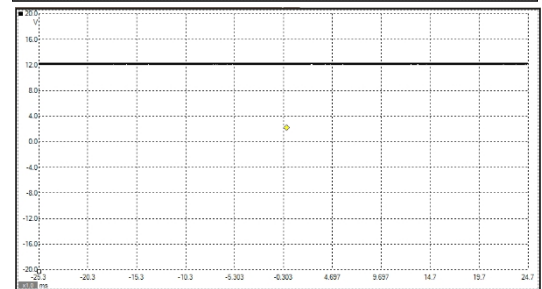
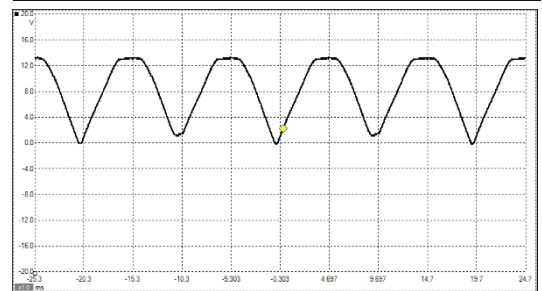
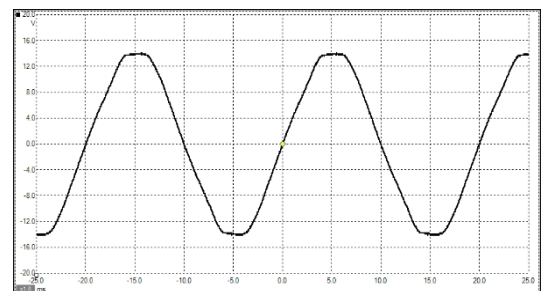
Les trois tracés montrent le signal alternatif entrant dans le redresseur pleine onde, la sortie en courant continu et l'effet de l'ajout d'un condensateur pour lisser la sortie.

La sortie en courant continu, sur la trace du milieu, est une amélioration de la sortie demi-onde, en ce sens que le courant circule dans la charge tout au long du cycle de courant alternatif.

Là encore, il s'agit d'un courant continu, car la trace ne traverse jamais la ligne 0V. Cependant, une fois de plus, un condensateur de lissage est nécessaire pour fournir un courant continu stable.



Redressement à ondes pleines



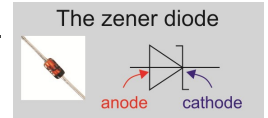
Pour mémoire :

- Le redressement pleine onde utilise au moins quatre diodes, mais permet au courant de circuler dans la charge tout au long du cycle d'alimentation en courant alternatif.
- La sortie de ce redresseur pleine onde, qui utilise quatre diodes, est inférieure de 1,4 V à l'entrée en courant alternatif et n'est pas un courant continu lisse.
- Là encore, un grand condensateur peut être connecté à la sortie du redresseur pour lisser le signal continu produit.

Fiche de travail 10

La diode zener

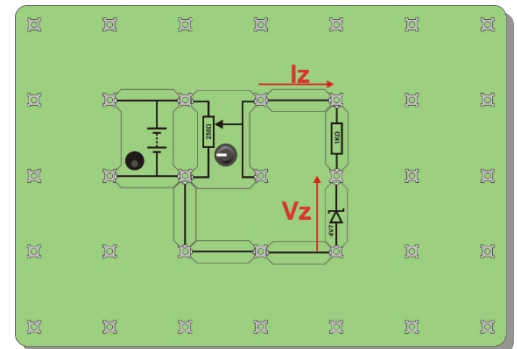
Il s'agit d'une diode, qui conduit donc dans une seule direction, lorsqu'elle est polarisée vers l'avant. Elle est toutefois utilisée lorsqu'elle est connectée en polarisation inverse, dans ce que l'on appelle le claquage de Zener, pour contrôler la tension envoyée à un circuit. C'est un régulateur de tension. Cette feuille de travail étudie son comportement, d'abord en polarisation directe, puis en polarisation inverse.



À vous de jouer :

1. Biais avant :

- Montez le circuit ci-contre. L'anode de la diode zener est connectée plus près de l'extrémité positive de l'alimentation que de l'extrémité négative. Elle est **polarisée vers l'avant**.
- L'alimentation est réglée sur 6V DC. Une résistance de 1kΩ est connectée en série avec la diode zener.
- Branchez un multimètre, réglé sur la plage de 2 V CC, pour lire la tension V_Z aux bornes de la diode zener.
- Retirer le connecteur entre le "pot" et le connecteur 1kΩ et remplacez-le par un second multimètre, réglé sur la plage 20 mA, pour lire le courant de la zénératrice I_Z .
- Le "pot" nous permet de faire varier la tension appliquée à la diode zener.
- Tournez le bouton du "pot" à fond dans le sens inverse des aiguilles d'une montre pour mettre la tension d'alimentation à zéro.
- Tournez lentement le bouton dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à ce que le courant traversant la diode atteigne 0,2 mA. Relevez ensuite la tension aux bornes de la diode.
- Copiez le tableau et utilisez-le pour enregistrer vos résultats.
- Continuez à augmenter le courant par paliers de 0,2 mA, jusqu'à 2,0 mA, en relevant la tension à chaque fois.



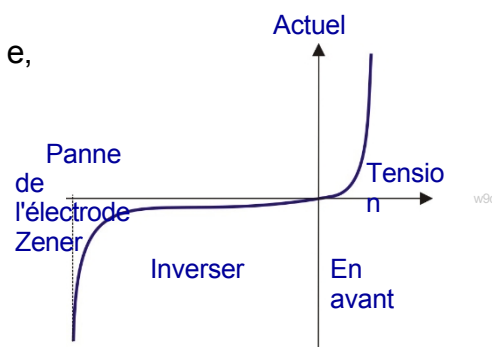
I_Z en mA	V_Z dans V
0.2	
0.4	
0.6	
0.8	
1.0	
1.2	
1.4	
1.6	
1.8	
2.0	

2. Biais inverse :

- Changez le réglage de l'alimentation en 9V DC.
- Remplacer la résistance de 1kΩ par une résistance de 270Ω.
- Inversez le sens de la diode Zener, de manière à ce qu'elle soit polarisée à l'envers.
- Répétez la procédure décrite ci-dessus, en augmentant le courant à travers la zener par étapes de 0,2 mA, jusqu'à 5,0 mA, en mesurant à chaque fois la tension aux bornes de la zener ableau, comme le premier..

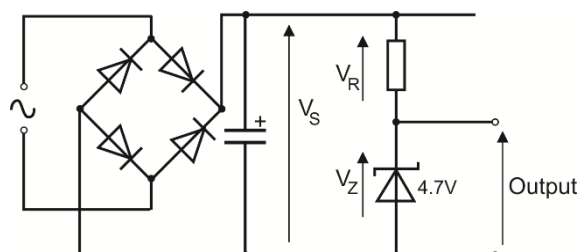
Et alors ?

- Tracez un graphique de vos résultats pour le comportement de la diode zener avec le courant sur l'axe vertical et la tension sur l'axe horizontal.
- Tracez une courbe régulière à partir des points expérimentaux. Le résultat doit ressembler au graphique ci-contre.
- Les résultats montrent qu'une fois que la tension de claquage de la diode zener est atteinte, la tension à travers la diode zener ne change pratiquement pas lorsque le courant augmente. Il s'agit d'un comportement idéal pour une source d'énergie.



Un régulateur de tension à zéner :

Le régulateur de tension idéal offre une tension de sortie stable, quelles que soient les variations du courant de sortie ou de la tension d'alimentation. Nous avons vu qu'une diode zener se rapproche de ce comportement. Le schéma du circuit montre un simple régulateur de tension à zéner.



Lorsque la tension d'alimentation V_S varie, la tension V_Z aux bornes de la Zener reste stable et la tension V_R aux bornes de la résistance varie.

Par exemple, lorsque $V_S = 8,5V$, $V_Z = 4,7V$ et donc $V_R = 3,8V (= 8,5 - 4,7)$. Si V_S passe ensuite à $8,8V$, $V_Z = 4,7V$ et $V_R = 4,1V (= 8,8 - 4,7)$.

Lorsque le courant consommé par la sortie varie, la tension aux bornes de la zéner reste stable, comme le montre le graphique en haut de la page.

Extension optionnelle :

- Construisez le circuit illustré ci-dessus.

Pour mémoire :

- Copiez le schéma donné en haut de la page précédente montrant le symbole du circuit pour une diode zener et les étiquettes pour identifier l'anode et la cathode.
- Copiez le graphique ci-dessus montrant le comportement I/V d'une diode Zener.
- Dessinez le schéma d'un régulateur de tension basé sur une diode zener.
- Expliquez pourquoi la production reste stable :
 - lorsque la tension d'alimentation change ;
 - lorsque le courant de sortie change.

A propos de ce cours

Introduction

Le cours est essentiellement pratique. L'équipement Locktronics permet de construire et d'étudier des circuits électriques de manière simple et rapide. Le résultat final peut ressembler exactement au schéma du circuit, grâce aux symboles imprimés sur chaque support de composant.

Objectif

Le cours introduit les étudiants aux principes des moteurs et des générateurs, dans un contexte automobile, à travers une série d'expériences pratiques qui permettent aux étudiants d'unifier le travail théorique avec la pratique.

Connaissances préalables

Il est recommandé que les étudiants aient suivi les cours "L'électricité en questions 1" et "L'électricité en questions 2", ou qu'ils aient une connaissance et une expérience équivalentes de la construction de circuits simples et de l'utilisation de multimètres.

Objectifs d'apprentissage

À l'issue de ce cours, l'étudiant sera capable de :

- identifier cinq utilisations des moteurs électriques dans une voiture ;
- rappeler que la force agissant sur un fil conducteur agit perpendiculairement au courant et au champ magnétique ;
- rappeler la règle de la main gauche de Fleming ;
- expliquer la nécessité d'inverser le courant dans le rotor d'un moteur électrique ;
- citer les collecteurs et les bagues collectrices, utilisés en courant alternatif, comme deux moyens d'inverser le courant dans un rotor ;
- faire le lien entre le courant tiré d'une source d'énergie et le travail effectué par un moteur électrique en rotation ;
- identifier l'alternateur comme le moyen de produire de l'électricité dans l'équipement automobile ;
- affirmer que le courant induit dans un fil se déplaçant dans un champ magnétique circule perpendiculairement au mouvement et au champ ;
- établir un lien entre l'importance du courant induit et la vitesse du mouvement, l'intensité du champ et le nombre de conducteurs présents ;
- expliquer la forme d'un graphique tension/temps montrant la tension induite dans un fil se déplaçant dans un champ magnétique ;
- indiquer qu'un générateur électrique peut également faire office de moteur ;
- décrire comment un système de freinage peut conserver l'énergie en la stockant dans un système de condensateurs ;
- décrire la structure générale des condensateurs et des supercondensateurs ;
- expliquer comment la production de courants de Foucault peut être exploitée pour produire un effet de freinage ;
- décrire l'utilisation de collecteurs et de bagues collectrices pour extraire l'énergie électrique d'un générateur ;
- dessiner le symbole du circuit et décrire les caractéristiques générales d'un transformateur ;
- faire le lien entre ces caractéristiques et les principes de la production d'électricité ;
- distinguer le comportement des transformateurs élévateurs et des transformateurs abaisseurs ;
- définir et utiliser la relation de transformation ;
- expliquer la relation entre le courant et la tension dans la bobine primaire et les bobines secondaires d'un transformateur ;
- rappeler que les transformateurs pratiques gaspillent de l'énergie ;
- calculer la puissance délivrée au primaire et disponible au secondaire d'un transformateur ;
- définir la rectification comme le processus de transformation du courant alternatif en courant continu ;
- Indiquer que le redressement demi-onde n'utilise qu'une seule diode, mais ne produit un courant continu que pendant la moitié du temps ;
- Rappelez-vous que le redressement demi-onde produit une tension de sortie continue qui est inférieure d'environ 0,7 V à la tension alternative de crête ;
- Indiquer que le redressement à ondes pleines utilise au moins quatre diodes, mais produit un courant continu tout au long du cycle alternatif ;
- Rappelez-vous que le redressement pleine onde produit une tension de sortie continue qui est inférieure d'environ 1,4 V à la tension alternative de crête ;
- Dessinez le symbole du circuit d'une diode Zener et identifiez l'anode et la cathode ;
- esquisser et décrire les implications de la caractéristique I/V d'une diode zener ;
- décrire les caractéristiques d'une diode zener qui la rendent utile en tant que régulateur de tension ;
- expliquer comment la sortie d'un régulateur de tension à base de zener résiste aux variations de la tension d'entrée et du courant de sortie.

Ce dont l'étudiant aura besoin :

Pour terminer le cours sur les moteurs et les générateurs, l'étudiant aura besoin des pièces indiquées dans le tableau de droite, qui sont toutes incluses dans notre solution Locktronics LK7445.

En outre, l'étudiant aura besoin de

- Générateur de fonctions unique, capable de générer des signaux sinusoïdaux AC avec des fréquences allant jusqu'à 10kHz. Pour cela, nous recommandons la pièce HP8990.
- Un oscilloscope avec deux traces. Vous avez le choix entre un oscilloscope conventionnel et un oscilloscope sur PC. Pour le premier, nous recommandons la pièce LK4679 qui est un oscilloscope conventionnel. Pour le second, nous recommandons le Picoscope HP4679 qui est un oscilloscope PC à deux traces de 5MHz.
- Deux multimètres, capables de mesurer des courants alternatifs dans la plage de 0 à 20 mA et des tensions alternatives dans la plage de 0 à 15 V. Nous recommandons notre multimètre LK1110.

Qty	Code	Description
1	LK8900	7 × 5 locktronics baseboard
8	LK5250	Lien de connexion
1	LK6482	L'appareil de Fleming
1	LK7487	Kit de la loi de Lenz
1	LK7489	Kit loi de Faraday
1	LK7485	Aimant à tige Alnico
1	LK9998	Porte-bobine 400 tours
1	LK7483	Transformateur 1:1 avec noyau rétractable
1	LK4123	Transformateur, rapport des tours 2:1
1	LK6706	Moteur, 3-12V dc, 0.7A
1	LK4893	Générateur à manivelle
1	LK3662	Condensateur, 22 000uF, électrolytique
1	LK6203	Condensateur, 2 200uF, électrolytique
1	LK5202	Résistance, 1k, 1/4W, 5%
1	LK5205	Résistance, 270ohm, 1/4W, 5%
1	LK5208	Potentiomètre, 250 ohms
1	LK5243	Diode de puissance, 1A, 50V
1	LK5247	Diode Zener, 4,7V
1	LK5266	Pont redresseur
1	LK3982	Voltmètre, 0V à 15V
1	LK8397	Ampèremètre, 0A à 1A
1	LK9381	Ampèremètre, 0mA à 100mA
1	LK6207	Interrupteur, pousser pour faire
1	LK2340	Porteuse d'une source de tension alternative
1	LK8275	Support d'alimentation avec symbole de batterie
1	LK5570	Paire de fils, rouge et noir, 4mm à clips croco
1	LK5603	Cordon, rouge, 500mm, prise 4mm à 4mm
1	LK5604	Cordon, noir, 500mm, prise 4mm à 4mm
1	HP5529	Adaptateur BNC mâle vers deux douilles de 4 mm

Sources d'énergie :

Les recherches effectuées dans ce module nécessitent deux sources d'alimentation, l'une en courant alternatif et l'autre en courant continu. Ces deux sources sont disponibles sous forme de blocs d'alimentation "plug-top".

Le HP2666 est un bloc d'alimentation CC réglable offrant des tensions de sortie de 3V, 4,5V, 6V, 7,5V, 9V ou 12V, avec des courants allant jusqu'à 1A. Des adaptateurs sont également inclus pour s'adapter à la majorité des prises électriques internationales.

La tension est modifiée en tournant le cadran de sélection juste au-dessus de la broche de terre jusqu'à ce que la flèche pointe vers la tension requise. (L'instructeur peut décider d'effectuer tout

ajustement nécessaire à la tension d'alimentation, ou permettre aux étudiants d'effectuer ces changements).

Il existe trois versions de notre alimentation 12V AC disponible-

s'adapter aux prises de courant de différents pays

HP372812V Alimentation AC, connecteur UK
 HP442912V Alimentation AC, connecteur Euro
 HP469912V Alimentation AC, connecteur USA

Utiliser ce cours :

Il est prévu que la série d'expériences présentées dans ce cours soit intégrée à un enseignement ou à des travaux dirigés en petits groupes qui introduisent la théorie sous-jacente aux travaux pratiques et la renforcent par des exemples écrits, des devoirs et des calculs.

Les feuilles de travail doivent être imprimées / photocopiées / plastifiées, de préférence en couleur, pour l'usage des étudiants. Les élèves doivent être encouragés à prendre leurs propres notes et à copier les tableaux de résultats et les sections marquées "Pour mémoire". Il est peu probable qu'ils aient besoin de leur propre copie permanente de chaque feuille de travail.

Chaque feuille de travail comporte

- une introduction au sujet étudié ;
- des instructions étape par étape pour l'enquête qui suit ;
- une section intitulée "Et alors ?", qui vise à rassembler et à résumer les résultats et à proposer un travail d'approfondissement. Elle vise à encourager le développement d'idées, par le biais d'une collaboration avec des partenaires et avec l'instructeur.
- une section intitulée "Pour mémoire", qui peut être copiée et complétée dans les cahiers d'exercices des élèves.

Ce format encourage l'auto-apprentissage, les étudiants travaillant à un rythme adapté à leurs capacités. Il appartient à l'enseignant de s'assurer que la compréhension de l'élève progresse au même rythme que les fiches de travail. Pour ce faire, il peut par exemple "signer" chaque fiche de travail au fur et à mesure que l'élève la remplit et, à cette occasion, discuter brièvement avec lui pour évaluer sa compréhension des idées impliquées dans les exercices qu'elle contient.

Le temps :

Il faut compter entre sept et neuf heures pour remplir les feuilles de travail.

On s'attend à ce qu'une durée similaire soit nécessaire pour soutenir l'apprentissage qui en résulte.

Feuille de travail	Notes pour l'instructeur	Calendrier
1	<p>Les moteurs sont nombreux dans les systèmes automobiles et se présentent sous différentes formes et tailles. Il est utile de disposer d'une présentation d'exemples pour introduire ce sujet.</p> <p>L'expérience elle-même ne dure que quelques minutes, mais les élèves doivent être autorisés à "jouer" avec le kit jusqu'à ce qu'ils soient sûrs de ce qui se passe.</p> <p>Les instructions leur indiquent comment inverser le champ magnétique et le sens du courant, afin d'observer les effets de ces changements. En fin de compte, l'effet est assez mystérieux et commence par les propriétés des électrons eux-mêmes. Le degré d'approfondissement de l'explication dépend de l'expérience antérieure des étudiants et de l'instructeur. Les électrons sont "magiques" et leur comportement dépasse notre expérience quotidienne.</p> <p>Par exemple, si un électron passe devant nous, nous ressentons un champ magnétique. De même, si l'électron est au repos et que nous nous déplaçons devant lui, le résultat est le même. Si nous nous déplaçons à la même vitesse qu'un électron, nous ne ressentons aucun champ magnétique. Les électrons en mouvement sont la source de tous les effets magnétiques, même ceux des aimants "permanents", où il n'y a pas de flux évident d'électrons.</p> <p>Il est important que les élèves apprennent à utiliser la règle de la main gauche (moteur) pour relier la direction de la force sur un conducteur aux directions du courant et du champ magnétique. Ils auront besoin de beaucoup de pratique pour appliquer cette règle.</p>	20 - 30 minutes
2	<p>Dans la feuille de travail 1, le mouvement était linéaire. Les élèves ont besoin de beaucoup de temps pour comprendre le passage à un mouvement rotatif.</p> <p>Les diagrammes doivent être étudiés attentivement, en appliquant largement la règle de la main gauche. Les étudiants doivent comprendre que lorsque le rotor est une simple bobine, le mouvement sera "irrégulier". Le couple maximal est obtenu lorsque le plan de la bobine est parallèle au champ, comme dans les premier et troisième diagrammes. Lorsque la bobine est verticale, il y a toujours une force sur les deux côtés, mais elle n'a pas d'effet de rotation.</p> <p>Heureusement, l'élan accumulé portera la bobine dans cette position.</p> <p>Les élèves doivent comprendre que la rotation peut se poursuivre s'il existe un moyen d'inverser le sens du courant. Dans un moteur à courant continu, cela peut être réalisé grâce à l'utilisation d'un collecteur. Pour une bobine simple, il s'agit d'un tambour divisé en deux.</p> <p>Pour les rotors à plusieurs bobines, le collecteur est plus compliqué, mais fait le même travail.</p> <p>Pour les moteurs à courant alternatif, le courant s'inverse automatiquement à chaque cycle de l'alimentation en courant alternatif. Il peut être délivré à la bobine par deux bagues collectrices, des anneaux en laiton connectés à chaque extrémité de la bobine.</p> <p>Une cause fréquente de difficulté est la relation entre la vitesse de rotation et le courant demandé à la source d'alimentation. Si le moteur tourne à sa vitesse maximale, il ne doit travailler que contre les forces de frottement des roulements et la résistance de l'air. Par conséquent, il ne consomme qu'un faible courant. Lorsqu'il doit effectuer un travail supplémentaire, le moteur consomme une plus grande quantité de courant pour lui fournir une énergie supplémentaire.</p>	20 - 30 minutes



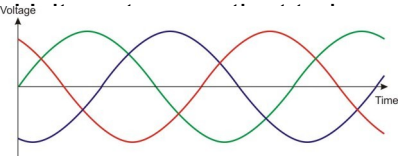
Feuille de travail	Notes pour l'instructeur	Calendrier
3	<p>Les exercices pratiques doivent faire l'objet d'une attention particulière. Les effets étudiés sont faibles et peuvent facilement passer inaperçus. Si les élèves utilisent des multimètres numériques, ils doivent savoir que ces appareils échantillonnent périodiquement le signal d'entrée et que des impulsions de courte durée peuvent être manquées. Traditionnellement, les étudiants sont toujours nerveux à l'idée d'utiliser des multimètres, de sélectionner la bonne gamme et d'utiliser les bonnes prises. Les instructeurs peuvent avoir besoin d'organiser une brève session de révision au préalable, ou d'être prêts à aider à la mesure. Une autre complication est que de nombreux multimètres ont un fusible interne pour se protéger contre les surcharges sur les gammes de courant continu. Ces fusibles "sautent" très facilement, mais ils ne sont pas visibles, ce qui laisse l'étudiant perplexe quant à l'absence d'activité sur le multimètre. Les instructeurs devront vérifier régulièrement les multimètres et disposer d'une réserve de fusibles neufs. Comme pour un oscilloscope numérique, l'entrée est échantillonnée. En répétant l'action plusieurs fois, l'élève sera convaincu de ce qui se passe et pourra éventuellement produire un bon tracé d'oscilloscope. La règle de la main droite (dynamo) de Fleming devra être expliquée avec soin et faire l'objet d'une longue pratique si l'on veut que les élèves se sentent à l'aise avec son utilisation. Certains confondront l'utilisation des règles de la main gauche et de la main droite. Une explication est donnée en termes de comportement des électrons. L'instructeur doit juger jusqu'où il peut aller avec une classe d'étudiants donnée.</p>	30 - 40 minutes
4	<p>Dans les véhicules routiers classiques, la propulsion est assurée par le seul moteur à combustion interne. Un véhicule hybride est équipé d'un moteur électrique et d'un générateur. Cela permet d'utiliser le freinage par récupération, où une partie de l'énergie cinétique du véhicule en mouvement est stockée pendant le freinage et utilisée pour faciliter l'accélération ultérieure. Cette feuille de travail explore les principes impliqués. Elle démontre qu'un moteur électrique et un générateur peuvent être le même dispositif, dont le comportement dépend du flux d'énergie qu'il contient. L'étude utilise un condensateur électrolytique de grande valeur, et les instructeurs doivent être conscients des pratiques de sécurité, en ce qui concerne la polarité correcte et la limitation de l'utilisation à la tension de fonctionnement du condensateur. Dans ce cas, les instructeurs doivent vérifier que la diode est connectée dans le bon sens, que la polarité du condensateur correspond et que le voltmètre est connecté correctement. La première partie de l'étude démontre que l'énergie peut être stockée dans le condensateur et que le générateur à manivelle peut également être un moteur. La deuxième partie démontre que, comme dans tous les processus physiques, l'efficacité est inférieure à 100 %, mais que le processus reste intéressant par rapport au freinage conventionnel, où toute l'énergie est perdue sous forme de chaleur. La section "Et alors ?" décrit la structure générale du condensateur. L'instructeur peut souhaiter développer cette brève description et l'explication suivantes des deux parties de l'enquête. Enfin, les étudiants sont invités à faire des recherches sur les supercondensateurs, une technologie en plein essor qui présente un grand potentiel pour les véhicules hybrides.</p>	25 - 40 minutes



Feuille de travail	Notes pour l'instructeur	Calendrier
5	<p>La première partie de cette enquête est facile à réaliser mais peut être difficile à interpréter. Les résultats des feuilles de travail précédentes devraient donner des indices sur ce qui se passe.</p> <p>Les élèves les plus doués peuvent être invités à étudier l'effet de la vitesse du mouvement sur la taille du courant induit.</p> <p>La deuxième partie est rapide à réaliser, mais doit être répétée plusieurs fois pour convaincre les élèves. Ils doivent examiner attentivement les deux projectiles. La tâche est courte, mais l'explication ne l'est pas. Les instructeurs doivent demander des explications sur chaque étape de l'expérience et être prêts à répondre à des questions détaillées sur le courant et la direction de la force résultante.</p> <p>La règle de Fleming doit être appliquée, ainsi que l'argument de la reductio ad absurdum sur les conséquences de la force agissant dans l'autre sens.</p> <p>L'importance pratique de cet effet comprend les ralentisseurs électriques pour les véhicules lourds tels que les autocars et les trains, et la lévitation magnétique. Le freinage par courants de Foucault produit de l'énergie thermique. Une alternative est le freinage par récupération, où l'énergie du mouvement est stockée sous une autre forme - sous forme d'énergie de rotation dans un volant d'inertie ou sous forme d'énergie électrique dans une batterie.</p> <p>Les élèves pourraient se voir confier la tâche de rechercher ces options. Par exemple, la Formule 1 a expérimenté les systèmes de récupération de l'énergie cinétique (KERS).</p>	30 - 40 minutes
6	<p>Les transformateurs peuvent apparaître comme des objets mystérieux. L'objectif de cette feuille de travail est de les présenter comme une extension de ce qui a été fait précédemment. Si les élèves peuvent admettre que l'électricité est générée lorsqu'un aimant est plongé dans une bobine, ils ne devraient avoir aucune difficulté avec le transformateur. L'aimant est remplacé par un électro-aimant et le mouvement par un champ magnétique mobile généré par un courant alternatif.</p> <p>Cependant, l'utilisation d'un oscilloscope et de générateurs de signaux peut poser des problèmes et brouiller la séquence des événements lorsque les étudiants ne sont pas familiarisés avec ces instruments. Les instructeurs peuvent souhaiter donner une brève présentation de ces instruments afin de réduire ces difficultés.</p> <p>Il n'est peut-être pas évident pour certains que la mise en marche et l'arrêt d'un électro-aimant à courant continu provoque un champ magnétique mobile et induit donc un courant dans la bobine secondaire. Les instructeurs peuvent souhaiter développer la compréhension de ce point en les interrogeant.</p>	30 - 40 minutes

Feuille de travail	Notes pour l'instructeur	Calendrier
7	<p>L'essentiel du développement consiste ici à faire la distinction entre les transformateurs élévateurs et les transformateurs abaisseurs. Certains élèves acceptent facilement le terme "abaisseur", mais considèrent que le terme "élevateur" défie les lois de la nature. On dirait qu'il y a quelque chose pour rien. C'est pourquoi l'étude se poursuit en examinant l'effet sur le courant et sur les questions de puissance globale.</p> <p>Le transformateur utilisé est beaucoup plus efficace que le dispositif primitif utilisé dans la feuille de travail 5, mais il est loin d'être idéal. Un transformateur idéal ne gaspille pas d'énergie et se comporte donc comme la relation entre le transformateur et la relation entre le rapport de courant et le rapport des spires. La présence d'ailettes de refroidissement et la circulation du liquide de refroidissement dans les transformateurs de substitution montrent qu'il est difficile de concevoir des transformateurs idéaux.</p> <p>Les difficultés se situent probablement encore une fois au niveau de l'utilisation des générateurs de signaux et des multimètres numériques. Le choix de 300 Hz pour la fréquence du signal est purement pragmatique - il produit une transformation plus efficace. Les étudiants les plus rapides pourraient se voir confier la tâche d'étudier l'effet de la fréquence. Dans les alternateurs automobiles, la situation est rendue plus compliquée par l'utilisation d'alternateurs multiphasés. Tout n'est pas simplement 50Hz !</p> <p>Le traitement des résultats introduit la relation du transformateur, qui fonctionne assez bien, et la question de l'augmentation et de la diminution du courant, qui est plus problématique. Les élèves devraient être invités à comparer l'utilisation d'un transformateur pour réduire la tension avec l'utilisation d'une résistance en série pour réduire une partie de la tension. Le transformateur gagne à tous les coups !</p>	25 - 40 minuscules
8	<p>Cette feuille de travail présente le processus de conversion du courant alternatif en courant continu, appelé redressement. Il existe plusieurs façons de mettre en œuvre le redressement. Nous en examinerons deux, connues sous le nom de redressement à demi-onde et de redressement à onde pleine. Le redressement pleine onde est le sujet de la fiche de travail 8. Ici, nous examinons le redressement à demi-onde.</p> <p>Il faut rappeler aux élèves la signification des graphiques tension/temps. Le courant ne change de direction que lorsque la trace traverse la ligne 0V. S'il ne la croise jamais, le courant est continu, mais pas nécessairement stable.</p> <p>Le redressement demi-onde utilise la conduction unidirectionnelle d'une diode pour garantir que le courant traversant la charge ne s'inverse jamais, c'est-à-dire qu'il est toujours continu. Le circuit de redressement est simple : il suffit d'ajouter une diode en série avec la charge. Cependant, il n'est pas très efficace, car aucun courant ne circule pendant le demi-cycle négatif du courant alternatif. Un redresseur demi-onde ne redresse que la moitié de la "vague" de courant alternatif. Lorsque cela ne pose pas de problème, il convient d'utiliser le redressement demi-onde. L'un de ces cas est le simple chargeur de batterie au plomb-acide, où il est admis que le processus de charge prendra un certain temps avant de se terminer.</p> <p>Le redresseur demi-onde ne fournit pas un courant continu régulier. Il y a une forte ondulation de la tension (variation de la tension de sortie). Celle-ci peut être considérablement réduite en ajoutant un condensateur de grande valeur en parallèle avec la charge. Pour réduire la taille, il s'agit généralement d'un condensateur électrolytique, et il faut donc veiller à ce qu'il soit branché dans le bon sens, comme le montre le diagramme de la page 14. Les résultats montrent également que la sortie est inférieure de 0,7V parce que la tension disponible est partagée entre la diode conductrice et la charge.</p>	25 - 40 minuscules



Travailler... feuille	Notes pour l'instructeur	Calendrier
9	<p>L'étudiant étudie maintenant le redressement pleine onde. Comme son nom l'indique, il utilise les demi-cycles positifs et négatifs de l'alimentation en courant alternatif. Un courant continu peut circuler en permanence dans la charge, ce qui permet une utilisation plus efficace de l'alimentation.</p> <p>Cette amélioration de l'efficacité se fait au prix d'une plus grande complexité des circuits. Au moins quatre diodes sont utilisées pour redresser l'alimentation en courant alternatif.</p> <p>Souvent, les alternateurs automobiles émettent ce que l'on appelle un courant alternatif triphasé, c'est-à-dire trois signaux alternatifs superposés, mais décalés dans le temps. L'électroaimant semble indépendant de bobines. L'électroaimant CA distinct dans chaque jeu de bobines. Cette in- amme suivant.</p>  <p>Dans ce cas, le redressement pleine onde nécessite six diodes.</p> <p>Il est important que les étudiants n'essaient pas d'utiliser deux canaux d'entrée de l'oscilloscope pour capturer deux signaux en même temps. Les boîtiers extérieurs des connecteurs BNC sont généralement reliés entre eux. L'utilisation de deux entrées, connectées à différentes parties d'un circuit, peut court-circuiter ces parties. Ce point est abordé dans la feuille de travail, à l'aide d'un schéma de circuit du redresseur pleine onde pour rendre le problème plus clair. Cependant, les instructeurs peuvent souhaiter discuter de ce problème avec les étudiants en raison de ses implications plus larges pour l'utilisation des instruments de test.</p>	30 - 45 minuscules
10	<p>Jusqu'à présent, nous avons traité de la production d'électricité, de la transformation de la tension et de son redressement. Il ne reste plus qu'à examiner le contrôle de la fourniture de la tension. Dans de nombreuses situations, nous avons besoin d'une tension d'alimentation constante. L'entrée du générateur peut changer. La demande de sortie (courant) peut changer. La tension de sortie ne doit pas changer. C'est ce qui explique la nécessité d'un régulateur de tension.</p> <p>La feuille de travail explore le comportement de la diode Zener. En fait, toutes les diodes semi-conductrices ont le même comportement - elles conduisent librement lorsqu'elles sont polarisées vers l'avant, mais ne conduisent pas lorsqu'elles sont polarisées vers l'arrière - enfin, pas au début ! Toutes les diodes semi-conductrices ont une tension inverse maximale. Au-delà, elles se désintègrent et conduisent. La différence avec les diodes Zener est qu'elles sont conçues pour faire exactement cela, à des tensions relativement faibles, mais soigneusement définies.</p> <p>Pour commencer, les étudiants étudient le comportement du courant et de la tension de l'électrode de zirconium.</p> <p>ner diode. Lorsqu'elle est polarisée vers l'avant, le résultat est le même que pour n'importe quelle diode au silicium</p> <ul style="list-style-type: none"> - une chute de tension de 0,7 V dans le sens direct. En polarisation inverse, les choses commencent de manière très prévisible - pas de courant. Lorsque la tension appliquée s'approche de la valeur de claquage de la zener, 4,7V dans ce cas, la diode commence à conduire. Très vite, elle conduit librement et la chute de tension à son niveau varie très peu au fur et à mesure que le courant augmente. C'est exactement le comportement que nous souhaitons pour un régulateur de tension. <p>La section suivante examine un circuit régulateur de tension connecté à</p>	25 - 40 minuscules



Utilisation du Picoscope



Le Picoscope utilise les mêmes commandes qu'un oscilloscope :

Base temporelle :

- contrôle l'échelle sur l'axe du temps (horizontal) ;
- étale la trace horizontalement si un nombre inférieur est utilisé. Sensibilité à la tension :

- contrôle l'échelle sur l'axe de tension (vertical) ;
- étale la trace verticalement si un nombre inférieur est utilisé. AC ou DC :

- ne montre que les tensions variables si l'on choisit AC (donc centre la trace sur 0V verticalement) ;

- indique les niveaux de tension réels si l'on opte pour le courant continu. Déclenchement :

- examine le signal sélectionné pour décider quand passer à la trace suivante ;
- attend que ce signal atteigne le niveau de tension sélectionné avant de démarrer ;
- peut se faire lorsqu'un signal ascendant ou descendant atteint ce

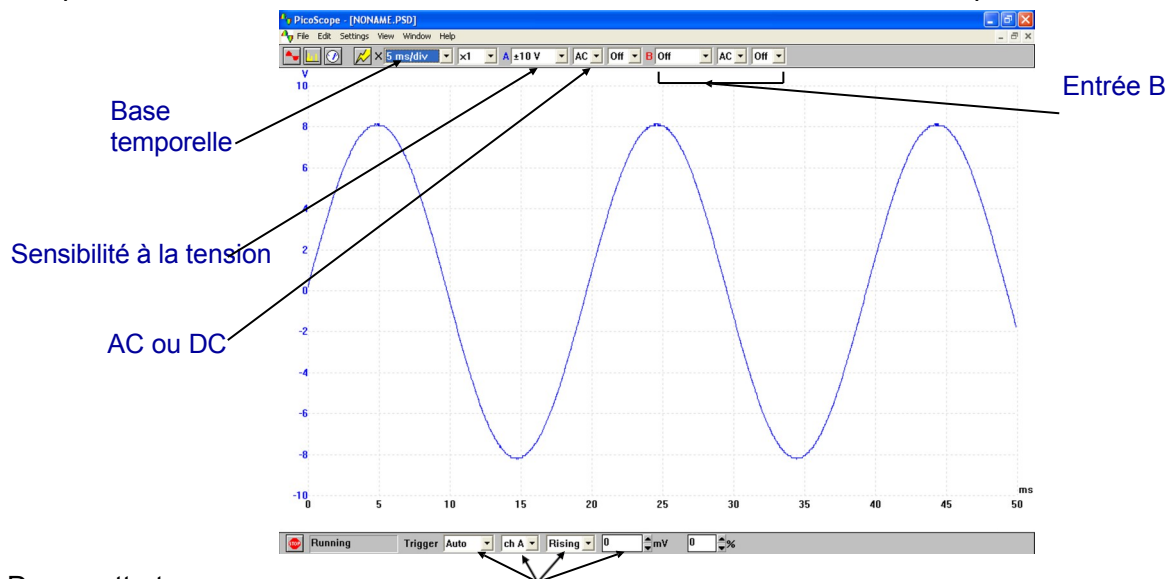
Stop / Go :

- **Stop** indique que la trace est "gelée" (c'est-à-dire qu'elle montre un événement stocké).
- La mention "Go" indique que la trace montre les événements en temps réel ;
- Cliquez sur la case pour passer de l'un à l'autre.

Les paramètres sont sélectionnés à l'écran à l'aide des cases déroulantes prévues à cet effet.



pico1



PH1

Dans cette trace :

Déclenchement - quand / comment la trace commence.

Timebase = 5 ms/div, donc le

L'échelle de temps (axe horizontal) est marquée par des divisions de 5 ms.

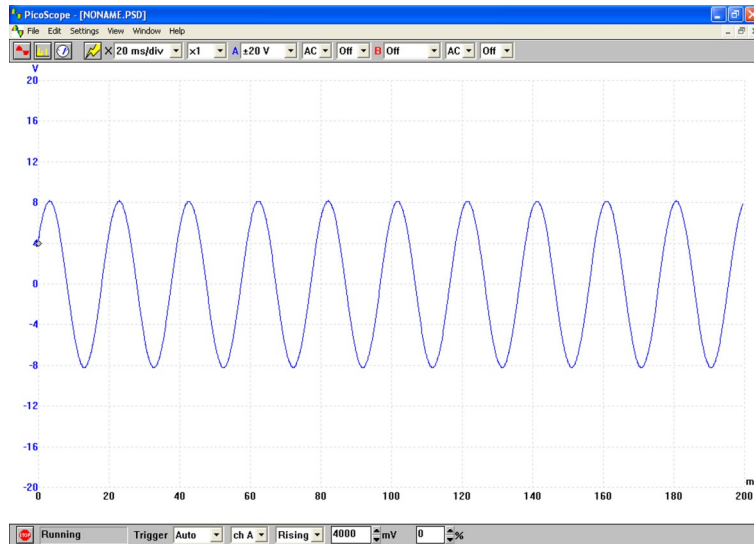
Sensibilité à la tension = ± 10 V, de sorte que la plage de tension maximale possible (axe vertical) est de +10 V à -10 V. Déclenchement - Auto - ce qui permet d'afficher tout changement dans le signal au fur et à mesure qu'il se produit ;

Ch A - regarde le signal sur le canal pour décider quand démarrer la trace ;

Rising - attend qu'une tension croissante atteigne le seuil ;

Seuil - 0 mV - démarre la trace lorsque le signal sur le canal A passe par 0V.

Plus de traces Picoscope pour le même signal :



Dans cette trace :

Base de temps = 20ms/

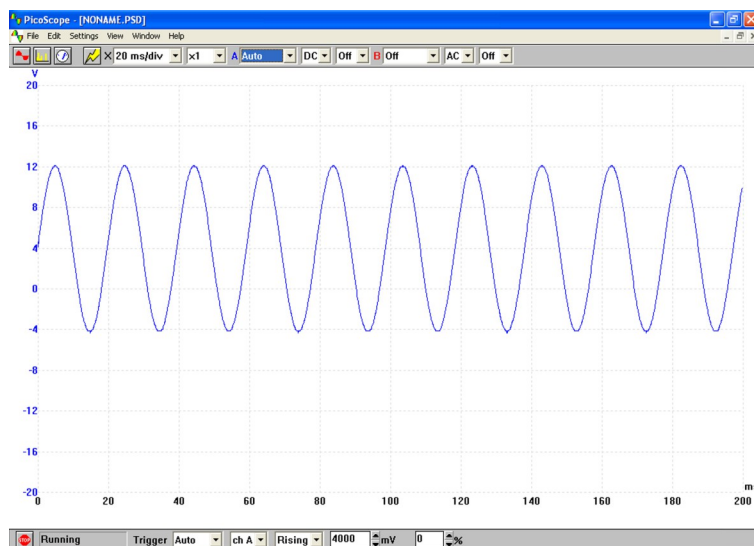
div,

- l'échelle de temps (axe horizontal) est divisée en 20 ms ;
- la trace est "écrasée" horizontalement, mais montre une durée plus longue.

Sensibilité à la tension = ± 20 V,

- la plage de tension maximale possible (axe vertical) est de +20V à -20V ;
- la trace est "écrasée" verticalement, mais montre une plus grande plage de tension possible.

Déclenchement - maintenant 4000 mV, et donc la trace ne commence pas avant que le signal sur le canal A n'atteigne 4000 mV (4V).



Dans cette trace, les réglages sont identiques, sauf que l'option DC est choisie. La courbe révèle maintenant qu'en plus du signal alternatif, il y a une composante continue stable de +4V. La trace est centrée verticalement sur 4V, et non sur 0V. La composante CA la fait osciller de ± 8 V, c'est-à-dire entre -4V et +12V.

Contrôle des versions



31 10 2012

Adaptation de l'ancien programme d'études LK8821 pour y inclure le programme d'études sur les véhicules hybrides... Nouvelle feuille de travail quatre ajoutée
Feuilles de travail 3,5 modifiées
Mise à jour de la nomenclature avec le nouveau kit LK7445
Détails des alimentations Matrix et multimètre

mis à jour le 03 08 23 Reformaté dans un

nouveau style.