

# Comment fonctionne un transformateur électrique?

## Principe de fonctionnement du transformateur

Un transformateur fonctionne selon le principe de l'induction électromagnétique, qui stipule qu'un conducteur porteur de courant produit un champ magnétique autour de lui et vice-versa. Un transformateur est constitué de deux ensembles de fils (voir figure 2) :

- **Enroulement primaire (A)** : collecte la puissance
- **Enroulement secondaire (B)** : fournit l'énergie

Les enroulements primaire et secondaire sont enroulés ensemble sur un noyau de circuit magnétique en fer, mais ces bobines ne sont pas en contact l'une avec l'autre, comme le montre la figure 2. Le noyau est constitué d'un matériau magnétique doux composé de tôles (figure 2 étiquetée C) reliées entre elles afin de réduire les pertes du noyau. La perte dans le noyau est la perte d'énergie dans le noyau causée par un flux magnétique alternatif. Un champ magnétique instable finit par détruire le fonctionnement du matériau du noyau.

Lorsque l'enroulement primaire (figure 2 étiquetée A) est connecté à une alimentation électrique alternative, le courant circule dans la bobine et un flux magnétique est induit. Une partie de ce champ magnétique se lie aux enroulements secondaires (figure 2 étiquetée B) par induction mutuelle, produisant ainsi un flux de courant et une tension du côté secondaire (charge). La tension produite du côté de la charge est proportionnelle au nombre de tours de l'enroulement secondaire par rapport à celui de l'enroulement primaire. La transformation de la tension et du courant est donnée par

$$V1 / V2 = N1 / N2 = I2 / I1$$

- **V1** : Tension appliquée à l'enroulement primaire du transformateur
- **V2** : Tension produite au niveau de l'enroulement secondaire (de charge) du transformateur
- **N1** : Nombre de tours dans l'enroulement primaire
- **N2** : Nombre de tours dans l'enroulement secondaire
- **I1**: Courant dans l'enroulement primaire

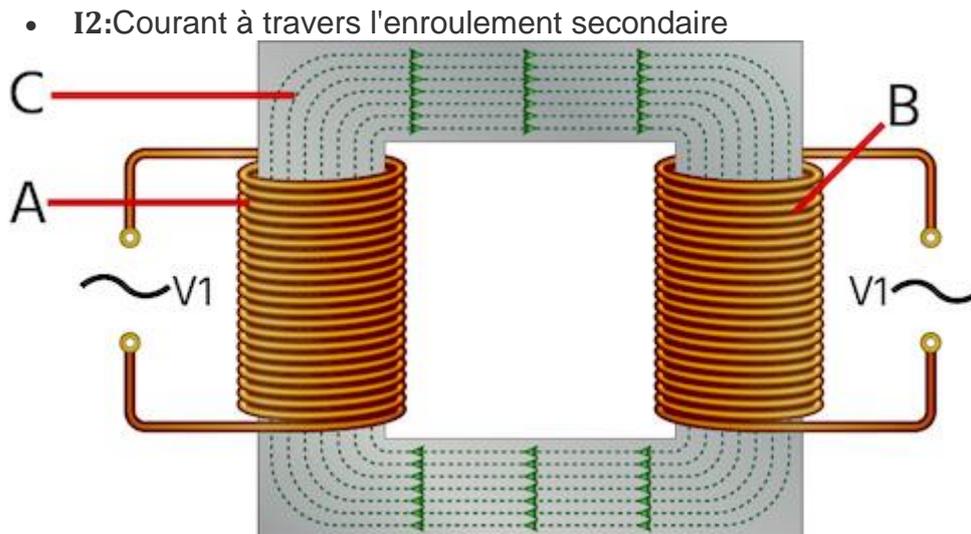


Figure 2 : Enroulements primaires (A) et secondaires (B) d'un transformateur enroulé sur un noyau magnétique (C)

## Construction du transformateur

Selon la manière dont les enroulements primaires et secondaires sont enroulés autour du noyau central en acier laminé ou en fer, il existe deux types de transformateurs :

- **Transformateur à noyau** : Dans un transformateur à noyau, les bobines primaires et secondaires sont enroulées à l'extérieur et entourent l'anneau du noyau, comme le montre la figure 3.
- **Transformateur à coquille** : Dans un transformateur à coquille, les enroulements primaires et secondaires passent à l'intérieur du noyau magnétique en acier, formant une coquille autour des enroulements, comme le montre la figure 4.

Lisez notre article sur les transformateurs monophasés pour obtenir la liste complète des pièces des transformateurs et de leurs fonctions.

## Construction du noyau du transformateur

### Transformateurs à noyau

Dans la construction d'un transformateur à noyau, la moitié de l'enroulement est enroulée autour de chaque branche du circuit magnétique du transformateur (figure 3 étiquetée B). La moitié de l'enroulement secondaire et la moitié de l'enroulement primaire sont placés l'un sur l'autre de manière concentrique sur chaque jambe. Cela permet d'augmenter le couplage magnétique entre les enroulements (figure 3 étiquetée A). Cela permet à pratiquement toutes les lignes de force magnétiques de passer simultanément par les enroulements primaire et secondaire. Cependant, avec ce type de construction de transformateur, un petit pourcentage des lignes de force magnétiques circule à l'extérieur du noyau (connu sous le nom de flux de fuite).

Les bobines cylindriques sont composées de différentes couches, chacune étant isolée de l'autre. Des matériaux tels que le papier, le tissu ou le mica sont couramment utilisés pour l'isolation. Les enroulements basse tension sont placés à côté du noyau, car ils sont plus faciles à isoler.

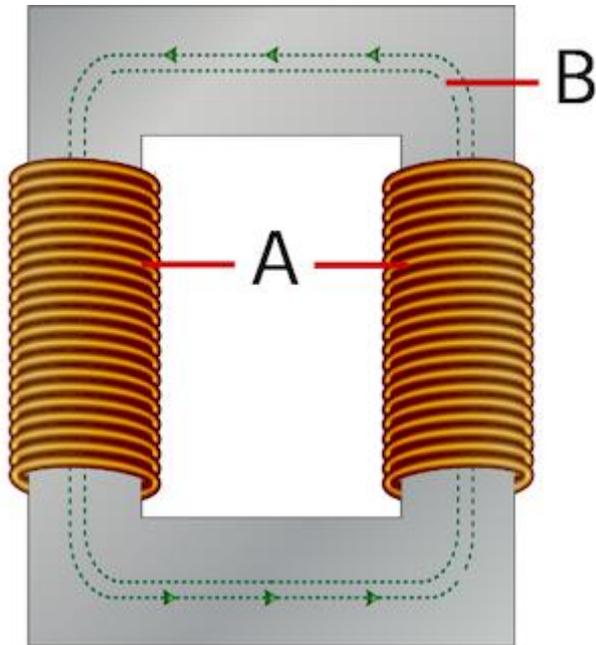


Figure 3 : Transformateur à noyau

### Transformateurs à coque

Dans un transformateur à coque, les bobines primaires et secondaires sont enroulées et montées en couches empilées avec de l'isolant entre elles (figure 4 étiquetée A). Les enroulements primaire et secondaire sont enroulés sur la même branche centrale, dont la section est deux fois plus grande que celle des deux branches extérieures. Un milieu isolant approprié sépare les deux enroulements. Comme les bobines primaires et secondaires sont enroulées à proximité les unes des autres, un transformateur à coque présente l'avantage de réduire les pertes dans le noyau et d'augmenter le rendement global.

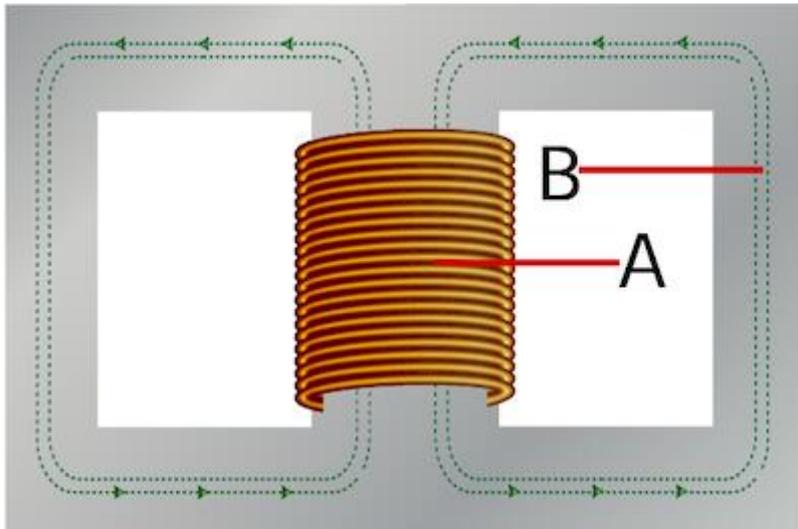


Figure 4 : Transformateur à enveloppe avec couches d'enroulements primaires et secondaires (A) et noyau (B)

### Tôles de transformateur

Les tôles utilisées dans la construction des transformateurs sont de fines bandes de métal isolées qui sont assemblées pour former un noyau solide mais stratifié. Le fait d'avoir un gros noyau de fer solide comme matériau magnétique du transformateur entraîne des problèmes au niveau du noyau, tels que des pertes par courant de Foucault. Il est donc essentiel de diviser le trajet magnétique en plusieurs formes minces d'acier pressé appelées "tôles".

Les bobines primaires et secondaires sont d'abord enroulées sur un formeur de bobine ayant une section rectangulaire, cylindrique ou ovale adaptée à la construction du noyau stratifié. La forme du serpentín détermine l'espace de travail, les voies de raccordement et la direction du flux de chaleur. Les différentes tôles sont découpées dans de grandes tôles d'acier et formées en fines bandes d'acier ressemblant aux lettres "L", "E", "U" et "I", comme le montre la figure 6.

### Types de noyaux de transformateurs

Les estampes de laminage, une fois reliées entre elles, forment la forme requise pour le noyau. Par exemple, les estampilles "E" plus une extrémité fermant les estampilles "E" donnent un noyau E-E, formant un élément d'un noyau de transformateur standard à coquille, comme le montre la figure 5. Les tôles individuelles sont étroitement assemblées pendant la phase de construction afin de réduire la réluctance de l'entrefer au niveau des joints, ce qui permet de produire une densité de flux magnétique hautement saturée.

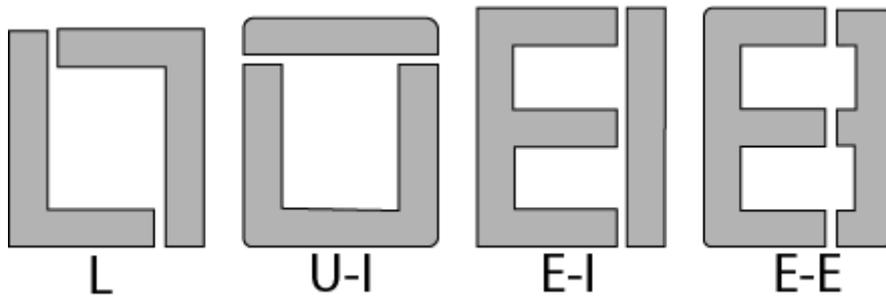


Figure 5 : Types de noyaux de transformateurs

## Types de transformateurs électriques

### Transformateur à noyau et transformateur à enveloppe

En fonction de leur construction, les transformateurs sont classés en deux catégories : les transformateurs à noyau et les transformateurs à coque.

### Transformateur élévateur et transformateur abaisseur

En fonction de leur fonction, les transformateurs sont classés en transformateurs élévateurs et transformateurs abaisseurs.

- Un transformateur élévateur augmente la tension au niveau des enroulements secondaires par rapport à celle du côté primaire (avec une diminution subséquente du courant).
- Un transformateur abaisseur de tension diminue la tension au niveau des enroulements secondaires par rapport à celle du côté primaire (avec une augmentation subséquente du courant).

### Transformateur monophasé et transformateur triphasé

En fonction de l'alimentation électrique, les transformateurs sont classés en transformateurs monophasés et transformateurs triphasés. Les transformateurs monophasés fonctionnent sur une alimentation monophasée, tandis que les transformateurs triphasés fonctionnent sur une alimentation triphasée.

### Transformateur de puissance, transformateur de distribution et transformateur d'instrumentation

En fonction de leur utilisation, les transformateurs sont classés en plusieurs catégories :

- **Transformateur de puissance** : Un transformateur de puissance est un transformateur conventionnel de forte puissance utilisé dans les réseaux de transmission.

- **Transformateur de distribution** : Un transformateur de distribution ou transformateur de service est un transformateur qui assure la transformation finale de la tension dans le système de distribution de l'énergie électrique. Ces transformateurs abaissent la tension utilisée dans les lignes de distribution au niveau utilisé par le client.
- **Transformateur d'instrumentation** : Les transformateurs de mesure assurent l'isolation et la protection des relais et des appareils de mesure commerciaux. Ces transformateurs mesurent également une tension très élevée qui ne peut pas être mesurée par un voltmètre conventionnel. Il existe deux types de transformateurs de mesure : le transformateur de courant et le [transformateur de tension](#).

## Câblage et symbole du transformateur

Les schémas de câblage des transformateurs sont généralement imprimés sur la plaque signalétique du transformateur, traditionnellement apposée sur la surface du boîtier du transformateur ou imprimée à l'intérieur du couvercle des compartiments de câblage. Les fils conducteurs sont marqués "H" (fils primaires) et "X" (fils secondaires). Les enroulements H sont connectés à l'alimentation et les enroulements X à la charge, comme le montre la figure 6.



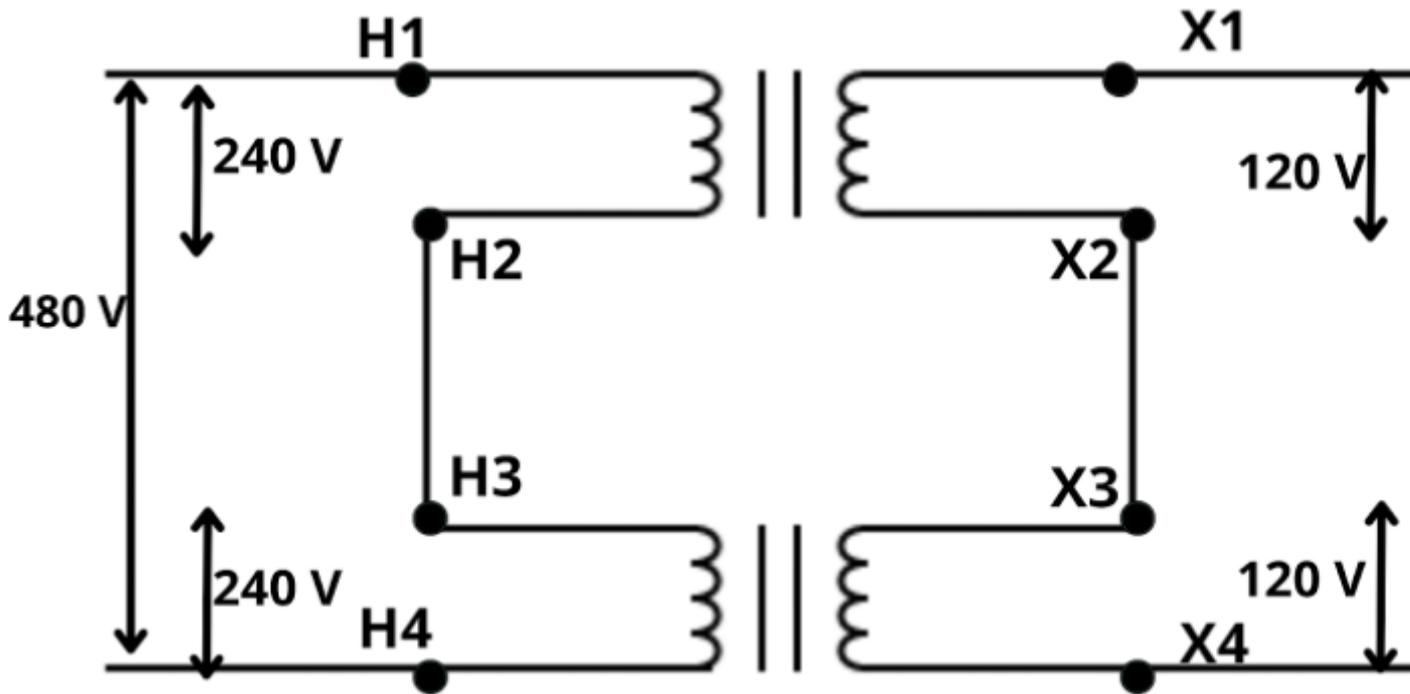
*Figure 6 : Symbole du transformateur*

Certains transformateurs ont deux enroulements, l'un primaire et l'autre secondaire. Ces transformateurs sont appelés transformateurs à double tension, et les enroulements multiples permettent de créer plusieurs tensions pour différentes applications.

Considérons un transformateur à double tension de 240/480 V sur le côté primaire et de 120/240 V sur le côté secondaire. Chacun des deux enroulements primaires est calibré à 240V. Chacun des deux enroulements secondaires a une tension nominale de 120 V. La tension nominale du côté primaire de 240/480 V signifie que chacune des combinaisons de 240 V peut être utilisée pour obtenir une tension nette du côté primaire de 240 V ou 480 V. De même, la valeur nominale du côté primaire de 120/240V signifie que chacune des combinaisons de 120V peut être utilisée pour obtenir une tension nette du côté secondaire de 120V ou 240V.

Pour concevoir un transformateur de 480 V à 240 V (480 V du côté primaire et 240 V du côté secondaire), les enroulements primaires sont connectés en série, H1 et H4 étant connectés à une alimentation de 480V. La tension aux bornes de H1 et H2 est de 240 V, et celle aux bornes de H3 et H4 est de 240 V. En les connectant en série, on obtient donc une tension primaire nette de 480 V. Chaque enroulement primaire

reçoit le 240V approprié, chaque enroulement secondaire reçoit le 120V. En connectant les enroulements secondaires en série, on obtient 240 V aux bornes de X1 et X4, comme le montre la figure 7.



*Figure 7: Création de connexions en série dans les enroulements primaires et secondaires d'un transformateur*

Si nécessaire, le côté primaire peut également être connecté à une alimentation de 240 V. Pour cela, connectez H1 et H3 ou H2 et H4 à une alimentation de 240V. Pour concevoir un transformateur de 480 V à 120 V (480 V sur le côté primaire et 120 V sur le côté secondaire), les enroulements primaires sont connectés en série, avec H1 et H4 connectés à une alimentation de 480V. Les enroulements secondaires sont connectés en parallèle (X1 à X3 et X2 à X4), comme le montre la figure 8.

**Note :** La connexion des enroulements en parallèle doit être effectuée avec la prudence nécessaire pour éviter un court-circuit mort qui ruinerait le transformateur lorsqu'il est alimenté. Utilisez un voltmètre pour vous assurer que la connexion est correcte. Connectez X1 à X3, puis connectez un voltmètre entre X2 et X4. Mettez le primaire sous tension et lisez le voltmètre. Si la connexion est correcte, le voltmètre indiquera zéro. Si le voltmètre indique autre chose que zéro, vérifiez toutes les connexions primaires et secondaires pour vous assurer qu'elles sont connectées exactement comme indiqué par le fabricant.

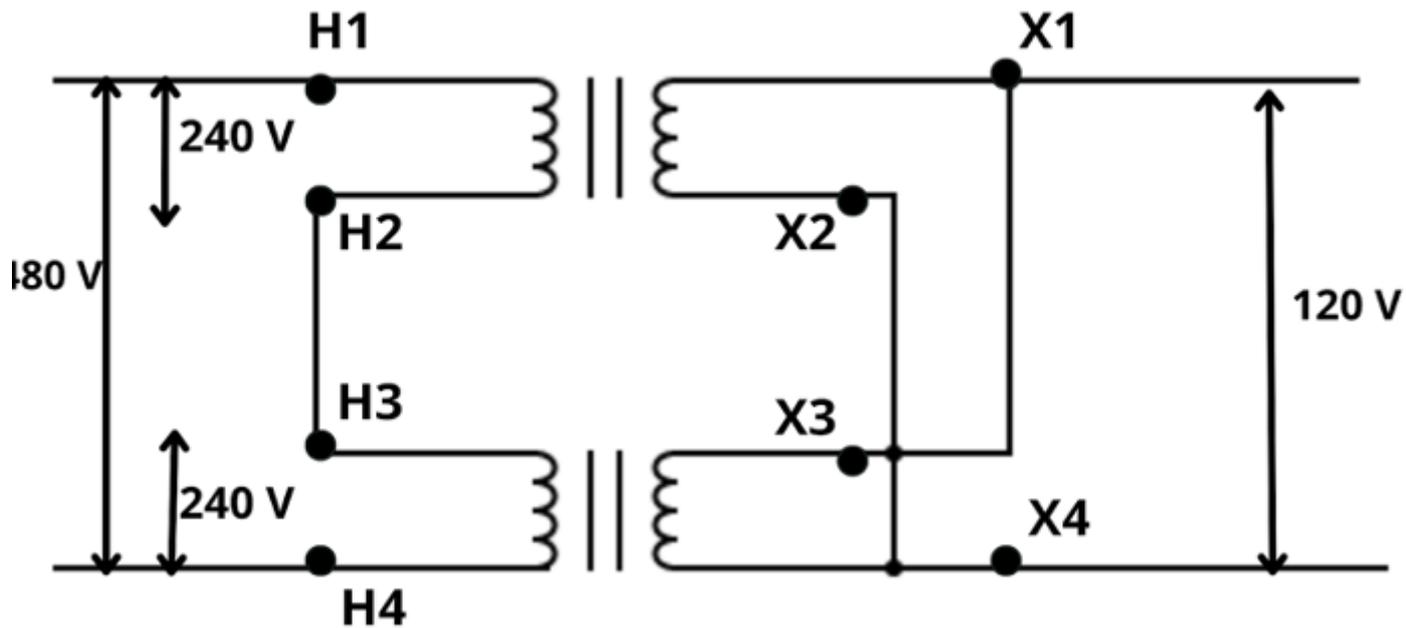


Figure 8 : Connexion en série à travers les enroulements primaires et connexion en parallèle à travers les enroulements secondaires du transformateur

## Transformateurs de courant alternatif en courant continu

Un transformateur est un dispositif statique qui fonctionne selon le principe de l'induction mutuelle. Une tension alternative doit être appliquée aux enroulements primaires du transformateur pour créer un flux magnétique alternatif du côté primaire qui se lie aux enroulements secondaires pour créer une tension de charge proportionnelle. Une tension continue ne produit pas de champ ou de flux magnétique alternatif ; c'est pourquoi un transformateur ne fonctionne pas avec une alimentation en courant continu. Toutefois, la tension de sortie alternative peut être convertie en une tension continue correspondante en ajoutant des composants semi-conducteurs appropriés, tels qu'une diode et un condensateur, à la sortie du transformateur.

Un redresseur est un circuit qui convertit le courant alternatif (CA) en courant continu (CC). Un redresseur demi-onde ou un redresseur pleine onde peut être utilisé pour convertir une tension alternative en tension continue. Une tension alternative (Figure 9 étiquetée A) est appliquée aux enroulements primaires du transformateur abaisseur (Figure 9 étiquetée B). Une tension correspondante est induite dans les enroulements secondaires. La diode (Figure 9 étiquetée D) devient polarisée vers l'avant (état ON) et conduit le courant, ce qui initie le flux de courant à travers la résistance de charge (Figure 9 étiquetée R).

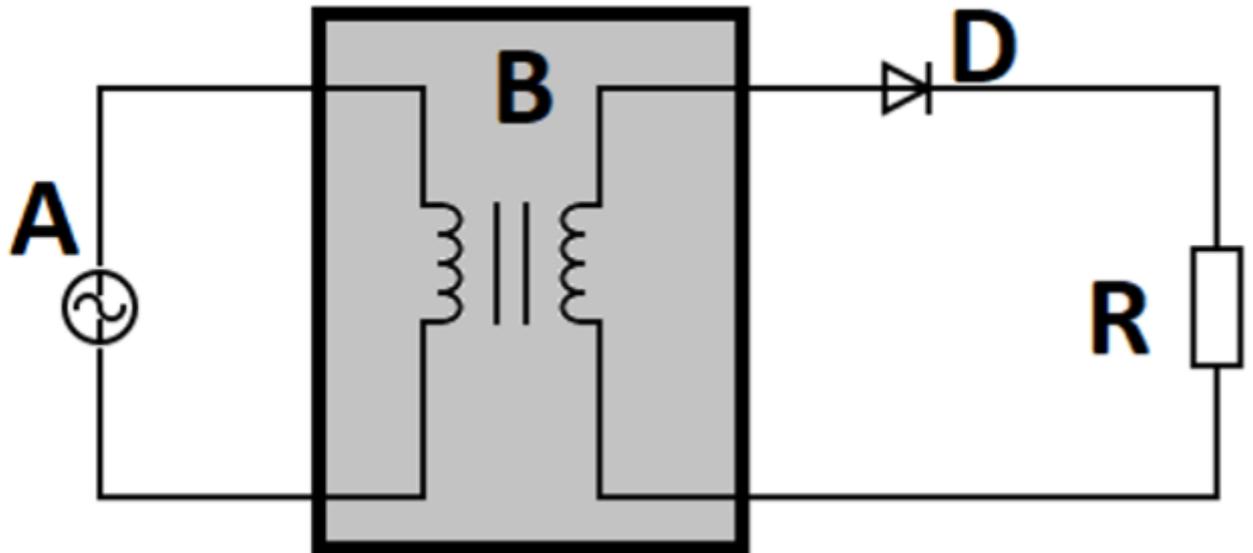


Figure 9 : Un redresseur demi-onde

Une diode permet au courant de circuler dans un seul sens. Pendant le cycle négatif de la tension d'entrée, une tension négative correspondante est induite dans le côté secondaire, et la diode ne conduit pas. Par conséquent, aucun flux ne traverse la résistance de sortie pendant le cycle négatif de la tension d'entrée, car la diode se comporte comme un circuit ouvert (voir figure 10). Par conséquent, la sortie ne donne que des cycles positifs alternés.

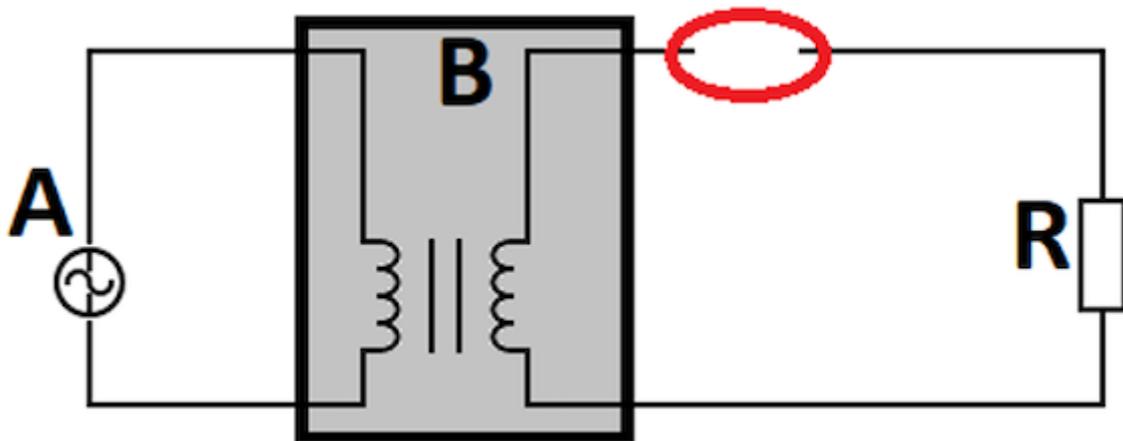


Figure 10 : La diode agit comme un circuit ouvert pendant le demi-cycle négatif de la tension d'entrée.

Pour les applications pratiques, un condensateur est connecté à la sortie en parallèle avec la résistance (voir figure 11). Le condensateur agit comme un filtre qui lisse la tension de sortie pulsée jusqu'au niveau de courant continu approprié (voir figure 12).

Lisez notre article sur les transformateurs de courant alternatif en courant continu pour plus de détails.

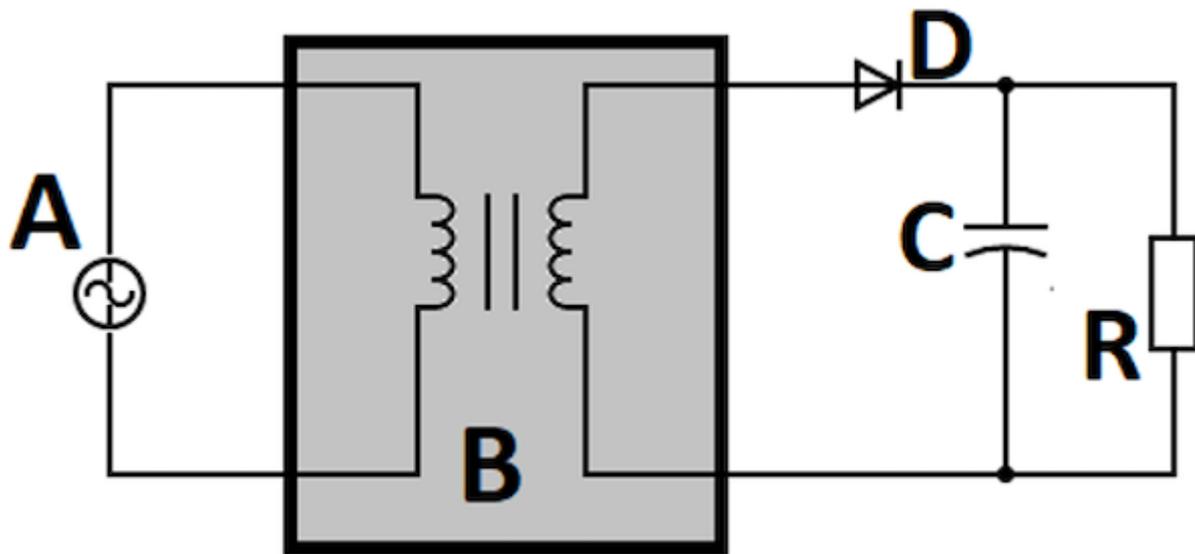


Figure 11 : Redresseur demi-onde avec filtre à condensateur

Les formes d'onde en différents points du redresseur sont illustrées à la figure 12.

- $V_i$ : Tension d'entrée alternative appliquée
- $V_{o1}$ : Sortie de la diode constituée de demi-cycles positifs alternés
- $V_{o2}$ : La sortie par condensateur est une version plus douce de la sortie par diode, créant une tension continue précise.

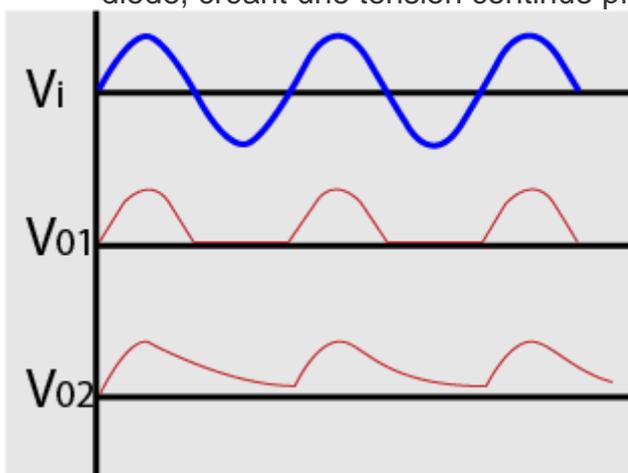


Figure 12 : Formes d'ondes du redresseur demi-onde

## Transformateur d'isolement

Les transformateurs d'isolement sont utilisés pour isoler deux circuits électriques dans un système électrique. Un transformateur d'isolement est similaire à un transformateur conventionnel avec un nombre égal de tours dans les enroulements primaires et secondaires, créant ainsi une tension égale dans les côtés primaire et secondaire. Les transformateurs d'isolement sont utilisés dans les appareils électriques tels que les ordinateurs, les téléviseurs, les circuits de relais à semi-conducteurs et les appareils électroniques de puissance industriels.

Pour isoler physiquement deux circuits, "A" et "B", les enroulements primaires du transformateur d'isolement sont connectés au circuit "A" et les enroulements secondaires au circuit "B". L'alimentation électrique du premier circuit alimente l'enroulement primaire du transformateur d'isolement, qui crée à son tour une tension et un courant dans l'enroulement secondaire par induction mutuelle. Comme un transformateur d'isolement ne modifie pas la valeur du courant et de la tension au niveau des enroulements secondaires, le circuit "B" reçoit la même ampleur de courant et de tension secondaires. Les circuits A et B sont donc isolés électriquement, mais l'énergie est transférée entre eux, le transformateur d'isolement jouant le rôle de médium entre eux.



Figure 13 : Un transformateur d'isolement reliant deux circuits, A et B

## Applications des transformateurs

1. Les transformateurs abaisseurs sont utilisés dans les appareils ménagers, les onduleurs, les réseaux de distribution d'électricité et les lignes de transmission pour abaisser la tension au niveau souhaité.
2. Les transformateurs élévateurs sont utilisés pour distribuer l'énergie électrique. Ces transformateurs sont également utilisés pour faire fonctionner les moteurs électriques, les appareils à rayons X et les fours à micro-ondes.
3. Les transformateurs de mesure, tels que les [transformateurs de courant](#) et les transformateurs de tension, sont utilisés pour mesurer des tensions extrêmement élevées dans les lignes de transmission, ainsi que comme dispositifs d'isolation dans les appareils de mesure commerciaux.
4. Les transformateurs monophasés sont utilisés pour augmenter la puissance des onduleurs domestiques ou pour diminuer les signaux longue distance afin de soutenir les appareils électroniques résidentiels et commerciaux légers.
5. Les transformateurs triphasés sont utilisés pour la production d'électricité et les réseaux de distribution. On les trouve dans les charges industrielles de forte puissance telles que les moteurs, les redresseurs et d'autres équipement