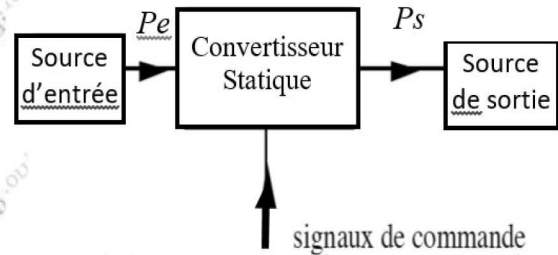


Chapitre-II

Eléments constitutifs et Synthèse des convertisseurs statiques

II-1 Introduction

La synthèse ou la conception des convertisseurs statiques repose sur les seuls éléments connus que sont les sources d'entrée et de sortie.



II-2 Sources et charges

La source est le dispositif qui va apporter l'énergie électrique. La charge est le dispositif qui va utiliser cette énergie.

A) Sources :

- Les principales sources alternatives sont : le réseau électrique triphasé, les alternateurs, les onduleurs...
- Les principales sources continues sont : Les dispositifs électrochimiques (piles, batteries), les génératrices à courant continu, les sorties des redresseurs et des hacheurs...

B) Charges :

Il s'agira de moteurs électriques et de divers appareils électriques...

II-3 Modélisation par des sources de courant et de tension

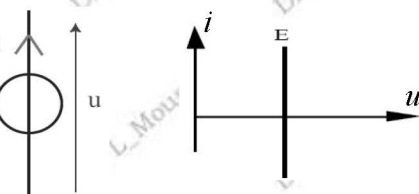
II-3-1 Sources idéales (Statiques)

A) Source idéale de tension

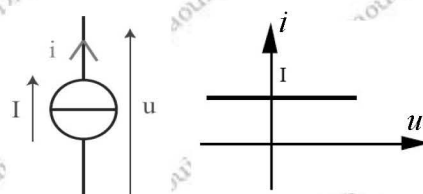
Une source idéale de tension impose à ses bornes une tension constante quelle que soit l'intensité du courant qui la traverse.

B) Source idéale de courant

Une source idéale de courant impose entre ses bornes un courant constant quelle que soit la tension appliquée à ses bornes.



Symbole et caractéristique d'une source de tension idéale



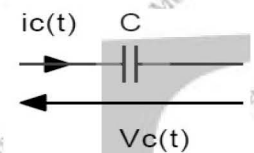
Symbole et caractéristique d'une source de courant idéale

II-3-2 Sources instantanées (dynamiques)

En présence de commutations dans les interrupteurs on peut avoir deux types de sources dynamiques:

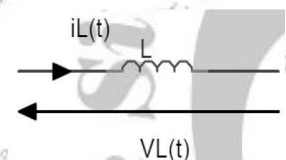
A) Source de tension dynamique

Le condensateur (ou une capacité) se comporte au moment des commutations comme une source de tension car la tension à ses bornes ne peut pas subir de discontinuité.



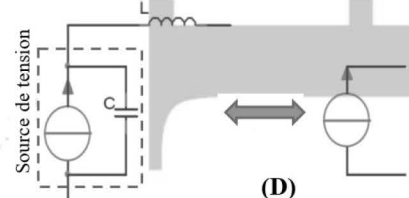
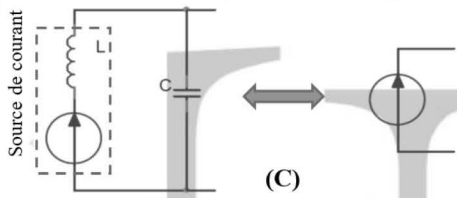
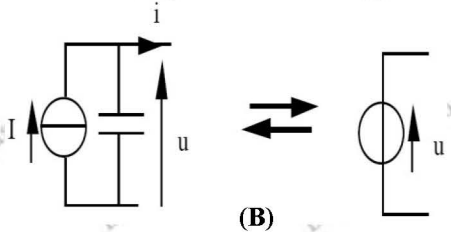
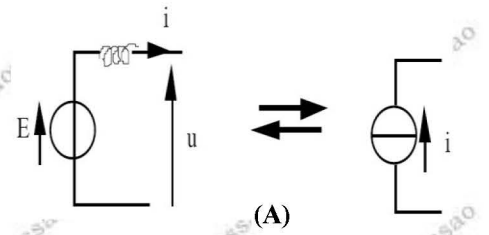
B) Source de courant dynamique

Pratiquement, l'inductance se comporte au moment des commutations comme une source de courant car le courant ne peut pas subir de discontinuité.



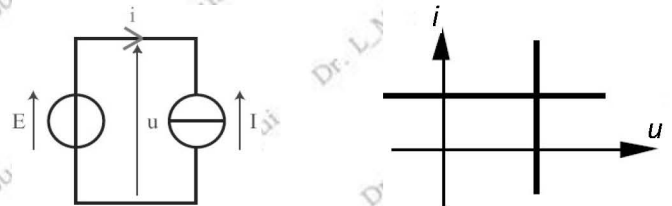
II-3-3 Changement de nature des sources (en présence de commutations)

- A) Une source de tension voit sa nature modifiée si on la place en série avec une bobine (dont son inductance est suffisamment grande) : **en présence de commutations, l'ensemble est équivalent à une source de courant.**
- B) Une source de courant voit sa nature modifiée si on la place en parallèle d'un condensateur (avec une capacité suffisamment grande) : **en présence de commutations, l'ensemble est équivalent à une source de tension.**
- C) On peut assurer une source de tension ; **en disposant d'un condensateur en parallèle d'une source de courant.**
- D) De même, pour assurer une source de courant ; **on disposera d'une inductance en série d'une source de tension.**

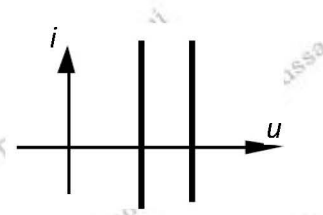
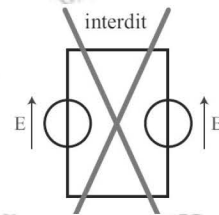


II-4 Règles d'association des sources

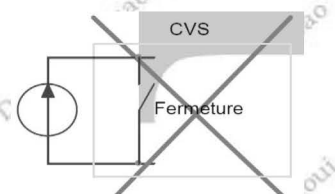
- 1) On peut interconnecter une source de tension et une source de courant :



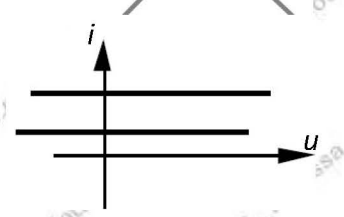
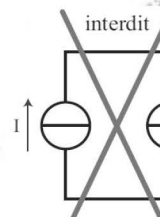
On ne peut pas (et ne doit pas !) interconnecter en série deux sources de tension différentes (Le courant échangé deviendrait alors très grand)



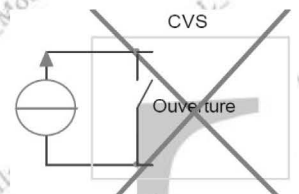
En particulier, **il ne faut donc jamais court-circuiter une source de tension.**



- 2) On ne peut pas (et ne doit pas !) interconnecter en parallèle deux sources de courant différentes. La tension à leurs bornes deviendrait alors très grande.

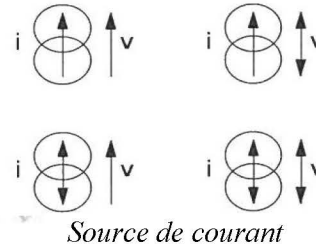
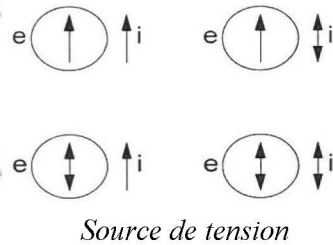


En particulier, **il ne faut donc jamais laisser une source de courant en circuit ouvert.**



II-5 Réversibilité des sources

- Un générateur ou un récepteur est réversible en tension si la valeur instantanée de la tension u à ses bornes peut changer de signe.
- Il est réversible en courant si la valeur instantanée du courant i qui le traverse peut s'inverser.
- Les sources pour lesquelles la réversibilité n'est pas possible sont dites unidirectionnelles.



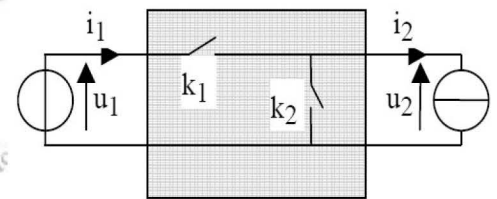
Exemples de sources réversibles

- Une batterie ou un accumulateur électrochimique est une source de tension réversible en puissance (le courant peut être bidirectionnel 'charge et décharge') mais évidemment unidirectionnelle en tension,
- Toutes les machines tournantes (MCC, machine synchrone et asynchrone) possèdent une réversibilité en puissance (réversibilité en tension et en courant)...

II-6 Méthode de synthèse d'un convertisseur

II-6-1 Cellule de commutation

La structure de conversion la plus simple met en œuvre obligatoirement 2 interrupteurs dont leurs états sont nécessairement complémentaires. L'ensemble de ces deux interrupteurs k_1 et k_2 constitue la structure nommée « cellule de commutation ». Dans cette structure :

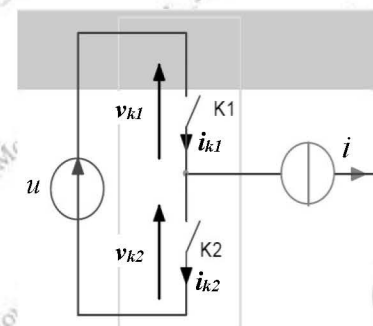


- Si $u_1 \neq 0$: k_1 et k_2 ne doivent pas être fermés en même temps (pour éviter le court-circuit de la source de tension ' u_1 ').
- Si $i_2 \neq 0$: k_1 et k_2 ne doivent pas être ouverts en même temps (pour que la source de courant ' i_2 ' ne soit pas ouverte).
- Donc, la loi de commande de cette cellule de commutation est : $k_2 = \overline{k_1}$.

II-6-2 Elaboration des règles de fonctionnement de la cellule de commutation

Pour cette cellule de commutation, on peut établir les relations suivantes :

$$\begin{aligned}
 v_{k1} + v_{k2} &= u \\
 v_{k2} &= u : \text{si } K_1 \text{ est passant ou ON} \\
 v_{k1} &= u : \text{si } K_2 \text{ est passant ou ON} \\
 i_{k1} - i_{k2} &= i \\
 i_{k1} &= i : \text{si } K_1 \text{ est passant ou ON} \\
 i_{k2} &= -i : \text{si } K_2 \text{ est passant ou ON}
 \end{aligned}$$



Alors, dans une cellule de commutation :

- La tension aux bornes d'un interrupteur bloqué est égale à la tension de la source de tension.
- Le courant dans un interrupteur qui conduit est égal au courant de la source de courant.

Ainsi, la connaissance de ces deux grandeurs (tension et courant des deux sources) permet de caractériser entièrement le fonctionnement de la cellule.

En fait, pour déterminer la nature d'un interrupteur K_i (constituant la cellule), on peut prendre en considération les constatations suivantes :

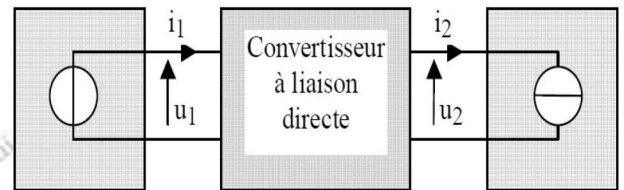
- (1) Si les signes de i_{ki} et v_{ki} sont non-identiques avant et après la commutation, on a affaire à la commutation spontanée de cet interrupteur.
- (2) Dans le cas contraire, on a affaire à la commutation commandée de cet interrupteur.
- (3) Par ailleurs, l'observation de la réversibilité des sources d'entrée et de sortie permet de déterminer le nombre de segments des interrupteurs.

II-6-3 Synthèse des convertisseurs statiques

1) Convertisseur à liaison directe

Ce type de convertisseur « *convertisseur à liaison directe* » est réalisé seulement par des interrupteurs reliant *des sources de natures différentes*.

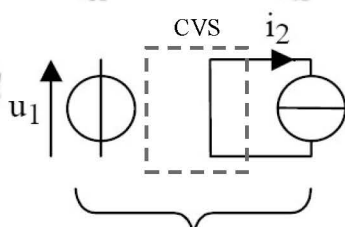
Dans ce cas, *le convertisseur ne comporte aucun élément de stockage d'énergie* (tel qu'un condensateur ou une inductance).



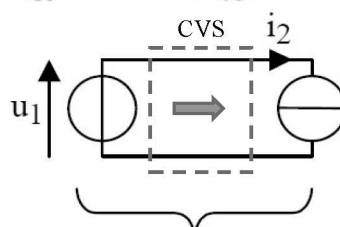
Le convertisseur n'ayant accumulé ou dissipé aucune énergie (interrupteurs sont supposés idéaux), on en déduit par la loi de conservation de l'énergie que : $u_1 \cdot i_1 = u_2 \cdot i_2$

1-1) Convertisseur direct tension-courant

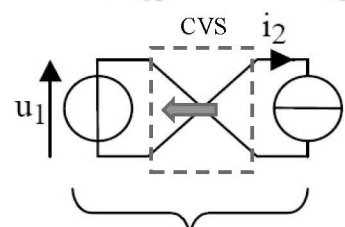
Lorsqu'on associe une source « tension » et une source « courant » avec un convertisseur à liaison directe, trois situations sont possibles (dépendant de la réversibilité de ces deux sources) :



*Pas d'échange d'énergie
Situation N°1 (P=0)*



*Echange d'énergie
Situation N°2 (P > 0)*



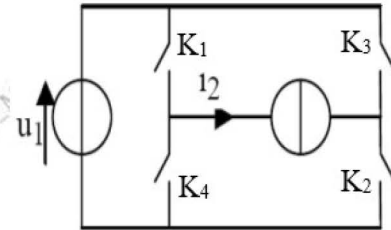
*Echange d'énergie
Situation N°3 (P < 0)*

Configuration de base d'un convertisseur direct tension- courant

Un convertisseur qui permet de réaliser les trois situations précédentes est constitué au minimum de 4 interrupteurs. Cette structure dite « *convertisseur en pont* » est la structure la plus générale d'un convertisseur à liaison directe tension-courant.

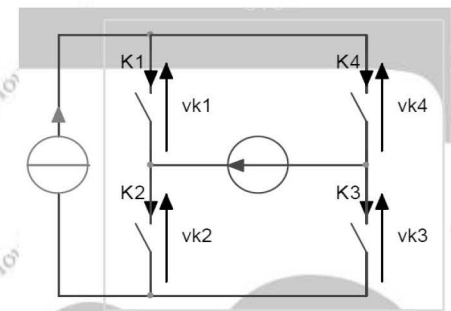
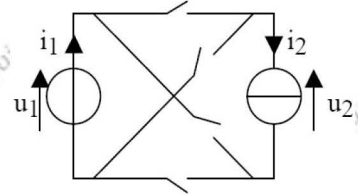
On peut noter ici que :

- Lorsque K_1 et K_2 sont fermés, on retrouve la situation N°2.
- Lorsque K_3 et K_4 sont fermés, on retrouve la situation N°3.
- Lorsque K_1 et K_3 sont fermés ou K_2 et K_4 sont fermés, on retrouve la situation N°1.



Configuration de base d'un
Convertisseur direct tension – courant

Appl₁. : Si $i_2 \neq 0$, il y a obligatoirement deux interrupteurs et deux seuls d'eux fermés. En déduire les trois seules valeurs que peut prendre u_2 et les trois seules valeurs que peut prendre i_1 .



Configuration de base d'un
Convertisseur direct courant – tension

1-2) Convertisseur direct courant-tension

Afin de réaliser les trois situations d'échange d'énergie, ce convertisseur doit être constitué au minimum de 4 interrupteurs. Ce qui représente la structure la plus générale d'un convertisseur à liaison directe courant-tension « *convertisseur en pont* ».

Appl₂. : Déterminer les cellules de commutation dans cette structure.

2) Convertisseur à liaison indirecte

Dans le cas où les sources d'entrée et de sortie sont de même nature, les phases d'interconnexion sont interdites. On peut toutefois transférer de la puissance de l'une à l'autre en utilisant deux méthodes.

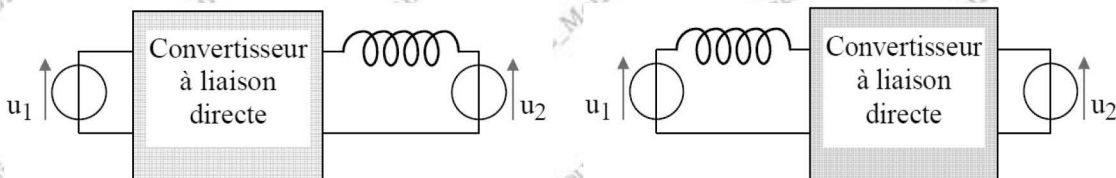
2-1) Convertisseur indirect tension-tension

Pour accomplir cette conversion, trois solutions sont possibles :

1^{ère} méthode : \Leftrightarrow *Convertisseur à liaison directe*

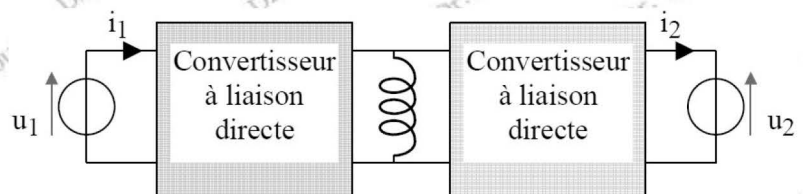
Solution-1 : Changement de la source de tension « u_1 » en une source de courant par l'adjonction d'une inductance.

Solution-2 : Changement de la source de tension « u_2 » en une source de courant par l'adjonction d'une inductance.



2^{ème} méthode :

La troisième solution consiste à associer un convertisseur tension-courant avec un convertisseur courant-tension par l'intermédiaire d'un élément de stockage (inductance) représentant une source de courant dynamique.



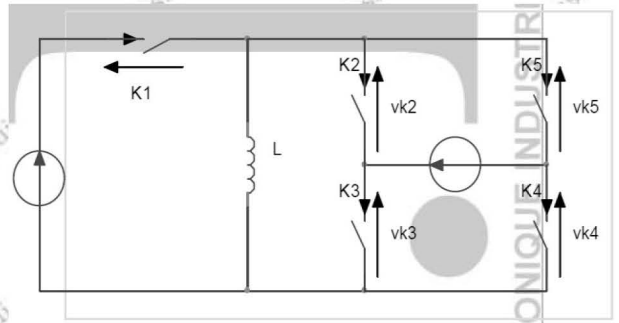
Association en cascade de deux convertisseurs à liaison directe avec un élément de stockage intermédiaire (une inductance).

Configuration de base d'un convertisseur indirect tension- tension

Dans ce type de convertisseur, *il n'est pas possible de relier simultanément l'inductance avec les deux sources de tension u_1 et u_2* , car si $u_1 \neq u_2$, cela engendre une discontinuité de ces tensions "surintensité".

Avec cette configuration de base :

- l'inductance stocke l'énergie fournie par la source de tension ($K1$, « $K2, K3, K4, K5$ »).
- l'inductance restitue son énergie à l'autre source de tension ($K1$, « $K2, K4$ » ou « $K3, K5$ »).



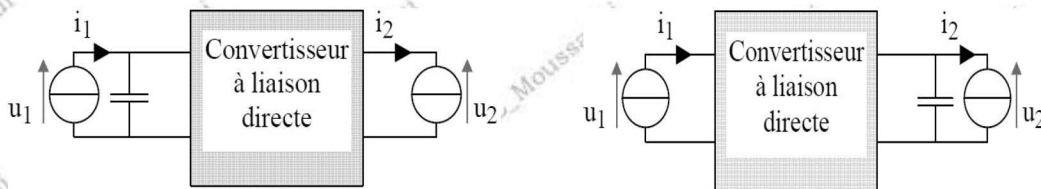
2-2) Convertisseur indirect courant – courant

Pour effectuer cette conversion, trois solutions sont possibles :

1^{ère} méthode : \Leftrightarrow *Convertisseur à liaison directe*

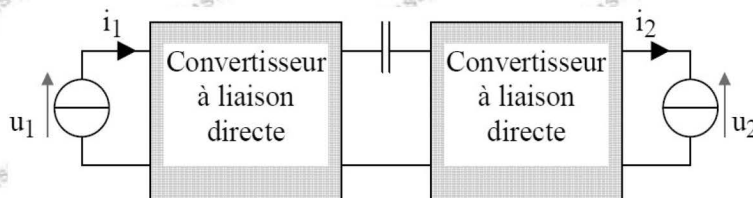
Solution-1 : Changement de la source de courant « i_1 » en une source de tension par l'adjonction d'un condensateur.

Solution-2 : Changement de la source de courant « i_2 » en une source de tension par l'adjonction d'un condensateur.



2^{ème} méthode :

La troisième solution consiste à associer un convertisseur courant-tension avec un convertisseur tension-courant par l'intermédiaire d'un élément de stockage (condensateur) représentant le cas d'une source de tension dynamique.



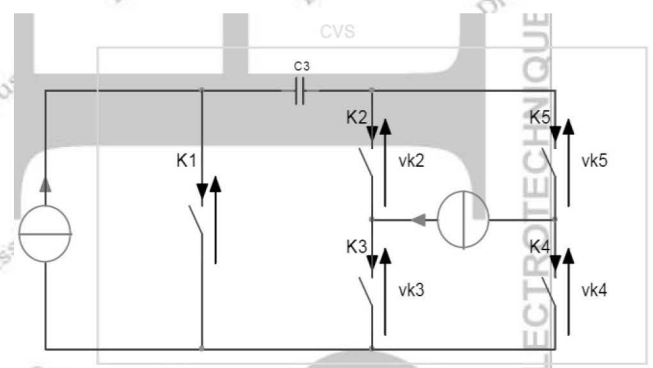
Association en cascade de deux convertisseurs à liaison directe avec un élément de stockage intermédiaire (un condensateur).

Configuration de base d'un convertisseur indirect courant- courant

Avec cette structure, *il n'est pas possible de relier simultanément la capacité avec les deux sources de courant i_1 et i_2* , car si $i_1 \neq i_2$, cela produit une discontinuité de ces courants "surtension".

Dans cette structure :

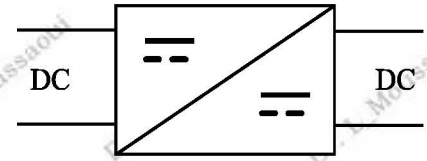
- le condensateur stocke l'énergie fournie par une source de courant (pendant une phase de fonctionnement);
- pendant une autre phase de fonctionnement, le condensateur restitue son énergie à l'autre source de courant soit dans un sens ou dans l'autre.



II-7 Fonctions principales réalisées (pour la modification ou la conversion d'énergie)

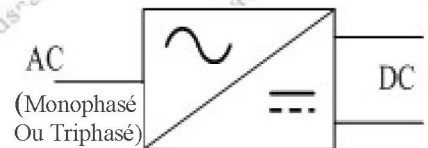
Conversion DC-DC : les hacheurs

Les hacheurs sont des convertisseurs directs du type continu-continu. Ils permettent d'obtenir une tension continue réglable à partir d'une tension continue fixe.



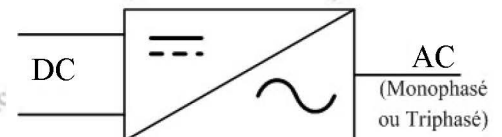
Conversion AC-DC : les redresseurs

Les redresseurs permettent d'obtenir une tension de valeur moyenne non nulle à partir d'une tension alternative (monophasée ou triphasée) de valeur moyenne nulle. Les redresseurs commandés permettent de régler la valeur moyenne de la tension redressée.



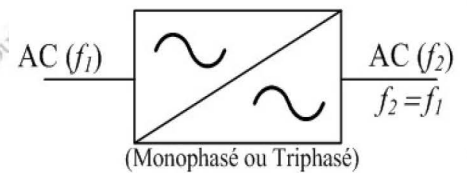
Conversion DC-AC : les onduleurs

Les onduleurs permettent d'obtenir une tension alternative (respectivement un courant) à partir d'une tension continue fixe (respectivement un courant). On peut régler la fréquence de la tension alternative (respectivement du courant) et sa valeur efficace.



Conversion AC-AC (fréquence fixe) : les gradateurs

Les gradateurs permettent d'obtenir une tension alternative de valeur efficace réglable à partir d'une tension alternative de valeur efficace et de fréquence fixes.



Conversion AC-AC (fréquence variable) : les cyclo-convertisseurs

Le cyclo-convertisseur est un montage de l'électronique de puissance qui réalise une conversion directe alternatif/alternatif. Il peut changer la fréquence du signal en sortie.

