



M1 E3A - VOIE ANDRÉ AMPÈRE

411

CONVERSION D'ÉNERGIE

Enseignant:

MOHAMED GABSI & FABIEN
ADAM & JAVIER OJEDA

Rédigé par:

PIERRE-ANTOINE COMBY

école _____
normale _____
supérieure _____
paris—saclay _____

université
PARIS-SACLAY

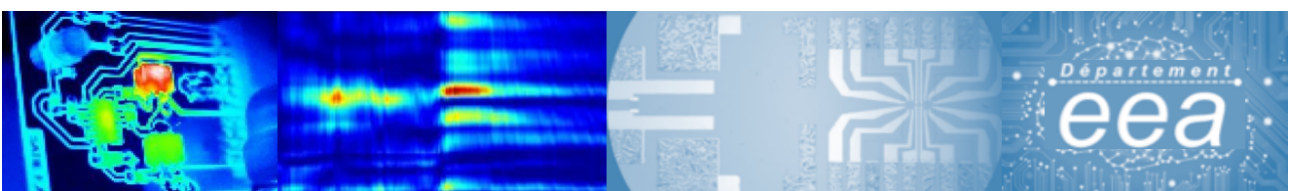


Table des matières

1	Machine Synchrone	2 5	Conversion DC-AC : onduleur de tension	7
1	Principe fondamentaux : de la cellule de commutation au bras d'onduleur			7
1.1	Principes			7
1.2	Sources d'alimentation électrique			7
1.3	Interrupteur de puissance			9
1.4	Règle d'association des sources			10
2	Conversion DC- AC			10
2.1	Introduction			10
2.2	Structure d'onduleur monophasé			12
3	Onduleur de tension triphasé			15
3.1	Structure			15
3.2	Commande			15
3.3	Vue de la charge triphasé équilibrée, neutre non relié			15
3	Modélisation des alternateurs synchrones en vue de la commande			17
1	Intro			17
2	Modèle de commande			17
3	Couplage réseau			17
4	Schéma équivalent Behn-Eschenburg			17
4.1	Diagramme de Fresnel			17
4	Puissance à la sortie d'un alternateur synchrone et pont de diode			519
	Onduleur de tension piloté en courant et échange de puissance dans le repère de Park			21

Chapitre 1

Machine Synchrone

Mohamed Gabsi, beaucoup trop de figure pour se faire en \LaTeX

Chapitre 2

Conversion DC-AC : onduleur de tension

1 Principe fondamentaux : de la cellule de commutation au bras d'onduleur

1.1 Principes

- Conversion statique (Énergie électrique \rightarrow Énergie électrique) : adapter les tensions, les courants (mettre en forme, modifier les amplitudes) pour gérer les transferts de puissances.
- Connexion séquentielle en commutation

Entrée \ Sortie	DC	AC
	DC	AC
AC	Redresseur (non) commandés	Gradateurs Cyclo-convertisseurs
DC	Hacheurs alimentation à découpage	Onduleurs de tension commutateur de courant

- Composants
 - Sources d'alimentation électrique (tension et courant)
 - Éléments passifs (Inductance, transformateur, condensateur, PAS de résistances)
 - Interrupteur de puissance

1.2 Sources d'alimentation électrique

Il existe théoriquement 2 type de sources :

- source de tension
- source de courant

pour deux régimes de fonctionnement

- régime statique
- régime dynamique/ instantanée.

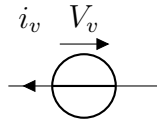
1.2.1 Régime statique

source de tension

Définition

Une source de tension impose la tension quelque soit le courant et on a

$$\lim_{f \rightarrow 0} \left| \frac{\delta V}{V_0} \right| \ll \lim_{f \rightarrow 0} \left| \frac{\delta I}{I_0} \right|$$

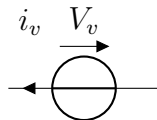


Source de courant

Définition

Une source de courant impose le courant quelque soit la tension à ses bornes à puissance limitée et on a

$$\lim_{f \rightarrow 0} \left| \frac{\delta I}{I_0} \right| \ll \lim_{f \rightarrow 0} \left| \frac{\delta V}{V_0} \right|$$



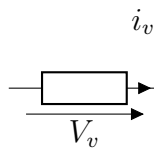
Source instantanées

de tension

Définition

une source instantanée de tension est un dipôle capable de limiter les variations de tension en présence de variation instantanée de courant.

$$\lim_{f \rightarrow \infty} \left| \frac{\partial V_v}{\partial I_v} \right|_{V_0, I_0} \ll \left| \frac{V_0}{I_0} \right|$$

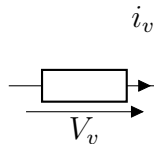


De courant

Définition

une source instantanée de courant tension est un dipôle capable de limiter les variations de tension en présence de variation instantanée de courant.

$$\lim_{f \rightarrow \infty} \left| \frac{\partial V_v}{\partial I_v} \right|_{V_0, I_0} \ll \left| \frac{V_0}{I_0} \right|$$



Remarque Toutes les sources "réelles" sont limitées en puissance.

1.2.2 Règle d'association

Pour une source de tension

- jamais en court-circuit
- peut être ouverte

Pour une source de courant

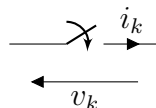
- jamais ouverte
- peut être court-circuitée

Exemple de sources Statique selon leur réversibilité

	réversible en tension	irréversible en tension
réversible en courant	machine électrique	batterie
irréversible en courant		pile

1.3 Interrupteur de puissance

On utilise des semi-conducteur de puissance pour construire des interrupteurs de puissances.



K fermé : $v_k = 0, i_k \neq 0$,
 K ouvert $v_k \neq 0, i_k = 0$

Proposition

C'est la commutation qui dissipe de la puissance :

$$w_k = \int_{t_{comg}} v_k(t) i_k(t) \geq 0$$

Exemple d'interrupteur de puissance

diode , transistor IGBT, mosfet

à chaque fois , caractéristique statique, symbole , convention fléchage

Le transistor IGBT fonctionnent aux alentours de 10kHz

1.4 Règle d'association des sources

Définition

un interrupteur:

- ne doit jamais court-circuiter une source de tension
- peut ouvrir une source de tension
- ne doit jamais ouvrir une source de courant
- peut court-circuiter une source de courant

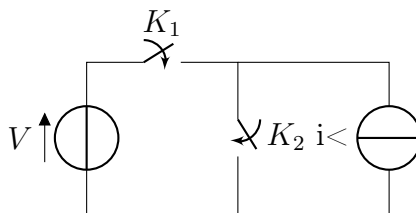


FIGURE 2.1 – Cellule de Commutation

Exemple Les deux interrupteurs fonctionnent en opposition pour respecter les règles d'associations.

C'est la structure de base d'association de source !

2 Conversion DC- AC

2.1 Introduction

Les onduleurs de tension sont très variés (large plage de fréquence, fréquence, et/ou tension variable ...)

2.1.1 Modulation de largeur d'impulsion

on controle la structure suivante :

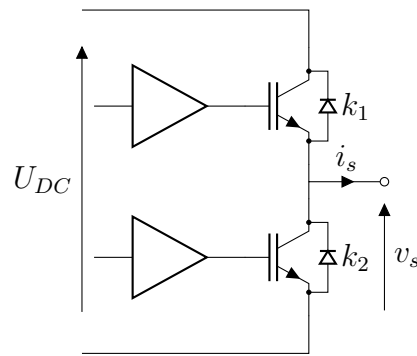


FIGURE 2.2 – Cellule de commutation commandée

Définition

On définit une fonction de modulation tel que :

$$f_m(t) = \begin{cases} 1 & \Rightarrow v_s = U_{DC} \\ 0 & \Rightarrow v_s = 0 \end{cases}$$

Proposition

On a en sortie

$$\{ i_s = f_m I_{DC} v_s = f_m U_{DC}$$

MLI naturelles Hysterisis

MLI calculée, répétée Lecture de table, MLI vectorielle, comparaison avec triangle.

2.1.2 Grandeur filtrée et moyennée

On rappelle la définition d'une valeur moyenne :

Définition

$$X = \langle x(t) \rangle = \frac{1}{T_{dec}} \int_{T_{dec}} x(t) dt$$

Proposition (Cas de la MLI)

On a le rapport cyclique

$$\alpha = \frac{m(t)}{A}$$

alors :

$$V_S = \langle v_s(t) \rangle = U_{DC} \langle f_m(t) \rangle = \alpha U_{DC} = \frac{m(t)}{A} U_{DC}$$

2.2 Structure d'onduleur monophasé

objectif : Piloter $v_s(t)$,avec les contraintes suivantes :

- $\alpha \in [0, 1]$
- $A = 1$
- $m(t) = \frac{1}{2} + \frac{m_0}{2} \sin(\omega_0 t)$

On a alors :

$$V_s(t) = \frac{U_{DC}}{2} + \frac{U_{DC}}{2} m_0 \sin(\omega_0 t)$$

2.2.1 Montage en demi-pont

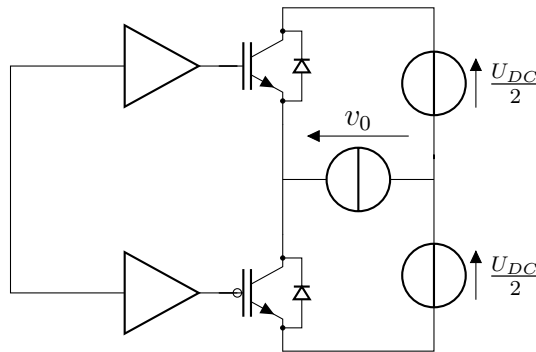
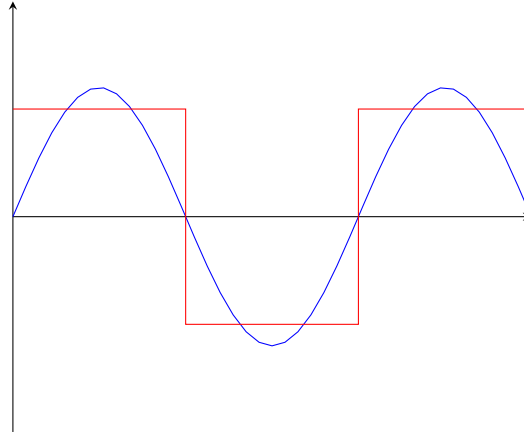


FIGURE 2.3 – Structure en demi-pont

La tension est sinusoïdale pure dans la charge :

$$v_o(t) = (2f_m - 1) \frac{U_{DC}}{2} = \pm \frac{U_{DC}}{2}$$

a) pleine onde :



Proposition

On a $V_{oeff} = \frac{U_{DC}}{2}$ et $V'_{oeff} = \frac{4}{\pi} \frac{U_{DC}}{2\sqrt{2}} \simeq 48\% U_{DC}$
 On a un THD de 48%.

b) MLI :

$$V_0(t) = V_0 \sin(\omega t) \text{ et } f_0 \ll f_{dec}$$

$$m(t) = \frac{A}{2} + \frac{V_0}{U_{DC}} \sin(\omega_0 t)$$

$$\alpha(t) = \frac{1}{2} + \frac{V_0}{U_{DC}} \sin(\omega_0 t)$$

On définit :

Définition

N Indice de modulation $\frac{f_{dec}}{f_0} > 1$

r taux de modulation $\frac{2V_0}{U_{DC}} < 1$

l'analyse spectrale de $v_0(t)$ donne :



FIGURE 2.4 – On a tout interet à prendre $N \gg 1$

2.2.2 Montage en pont complet

cette fois ci on a le montage :

Proposition

$$v_{s1} = f_{m1} U_{DC} \text{ et } v_{s2} = f_{m2} U_{DC}$$

$$v_0 = (f_{m1} - f_{m2}) U_{DC}$$

a) Commande bipolaire

Définition

Pour une commande bipolaire on a besoin que d'une fonction de modulation:

$$f_{m2} = 1 - f_{m1} = \overline{f_{m1}}$$

b) Commande unipolaire

- pleine onde

Proposition

Avec une commande bipolaire sur un pont complet on a :

- amplitude $2\times$ plus grande qu'en $1/2$ pont.
- courant non sinus
- pas de réglage d'amplitude

- MLI

c) Commande unipolaire (3 états)

Définition

En commande unipolaire, $f_{m1} \neq f_{m2}$ et on peut avoir trois états pour la charge.

3 Onduleur de tension triphasé

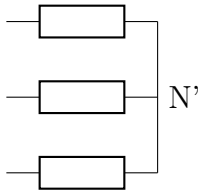
3.1 Structure

[Schéma]

3.2 Commande

- pleine onde *cf TD3*
- MLI

3.3 Vue de la charge triphasé équilibrée, neutre non relié



On a les équations :

$$\begin{bmatrix} v_{1N'} \\ v_{2N'} \\ v_{3N'} \end{bmatrix} = \frac{U_{DC}}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{m1} \\ f_{m2} \\ f_{m3} \end{bmatrix}$$

et :

$$m_i = \frac{A}{2} + \frac{Ar}{2} \sin \left(\omega_0 t - (i-1) \frac{2\pi}{3} \right)$$

puis :

$$v_{iN'} = r \frac{U_{DC}}{2} \sin \left(\omega_0 t - (i-1) \frac{2\pi}{3} \right)$$

Alors :

$$\begin{aligned} V_{0fonda}^{eff} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{2}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_0(\theta + \beta/2) \cos(\theta) d\theta \\ &= \frac{4U_{DC}}{\sqrt{2}\pi} \int_0^{\beta/2} \cos(\theta) d\theta \\ &= \frac{4U_{DC}}{\sqrt{2}\pi} \sin(\beta/2) \end{aligned}$$

MLI : 1 porteuse, 2 modulantes

Chapitre 3

Modélisation des alternateurs synchrones en vue de la commande

1 Intro

2 Modèle de commande

3 Couplage réseau

$$\frac{d(i)}{dt} = -[L]^{-1}[R](i) - [L]^{-1} \left\{ (v) - p\Omega \frac{d(\Phi_0)}{dt} \right\}$$

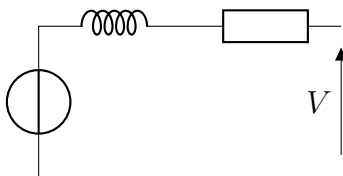
On a donc égalité des amplitudes et des phases pour la vitesse :

$$(v) = p\Omega \frac{d(\Phi_0)}{dt}$$

4 Schéma équivalent Behn-Eschenburg

Hypothèse :

- RPS sinus
- MS non saturé , pole lisse , équilibré



$$\underline{E} = (j\mathcal{L}\omega + R)\underline{I} + \underline{V}$$

4.1 Diagramme de Fresnel

On considère l'origine de phase sur V et on se place en alternateur ie $\delta = \text{Arg}(E) - \text{Arg}(V) > 0$

4.1.1 Surexcitation

[schema fresnel]

Proposition

$\ E\ > \ V\ $ on a alors :	$\begin{cases} P > 0 \\ Q > 0 \end{cases}$
------------------------------	--

4.1.2 Sousexcitation

[schema fresnel]

Proposition

$\ E\ < \ V\ $ on a alors :	$\begin{cases} P > 0 \\ Q > 0 \end{cases}$
------------------------------	--

Chapitre 4

Puissance à la sortie d'un alternateur synchrone et pont de diode

Chapitre 5

Onduleur de tension piloté en courant et échange de puissance dans le repère de Park