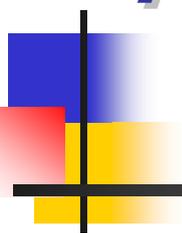
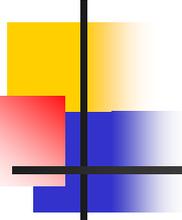


ELECTRONIQUE DE PUISSANCE AVANCEE



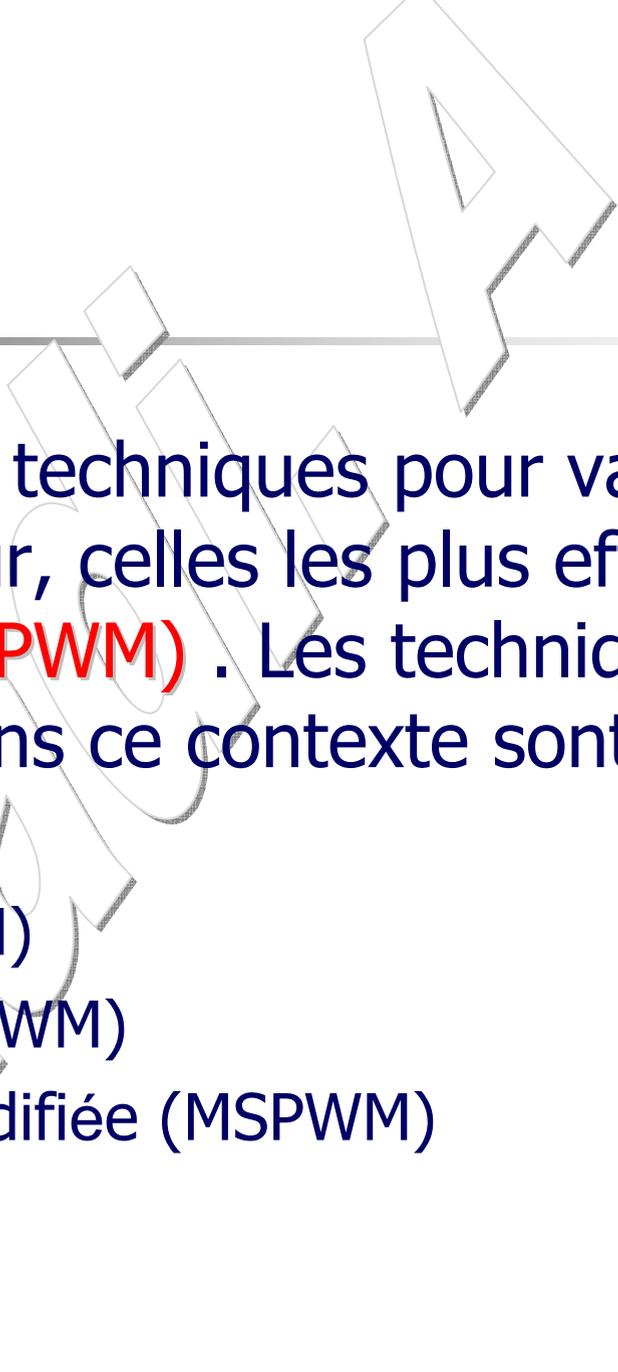
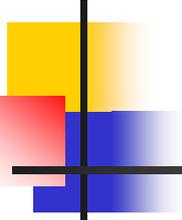
Techniques MLI



Techniques MLI

Dans plusieurs applications industrielles, il est nécessaire de contrôler (varier) la tension de sortie des onduleurs et ce pour:

- compenser les variations de la tension d'entrée continue
- Pour la régulation de la tension de sortie de l'onduleur.
- Pour assurer la condition de réglage $V/f = \text{Const.}$



Il existe plusieurs techniques pour varier le gain d'un onduleur, celles les plus efficaces sont ceux a MLI (PWM) . Les techniques les plus réponde dans ce contexte sont:

MLI Unitaire

MLI Multiple (UPWM)

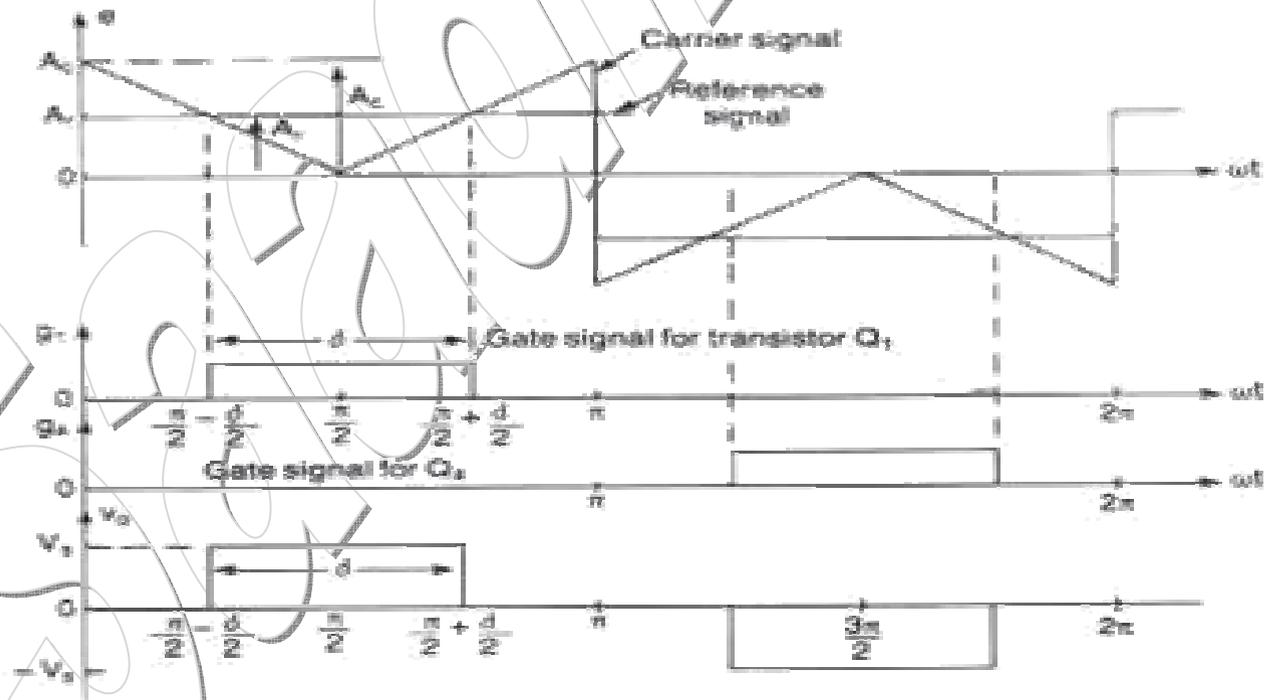
MLI Sinusoïdale (SPWM)

MLI Sinusoïdale Modifiée (MSPWM)

Commande Décalée

MLI Unitaire

Dans ce cas la tension de sortie ne contient qu'une seule impulsion par demi-cycle.



Single-pulse-width modulation.

La variable contrôlable est le rapport:

$$M = \frac{A_r}{A_c} \quad \text{dit Index de Modulation}$$

La Valeur de la tension de sortie est:

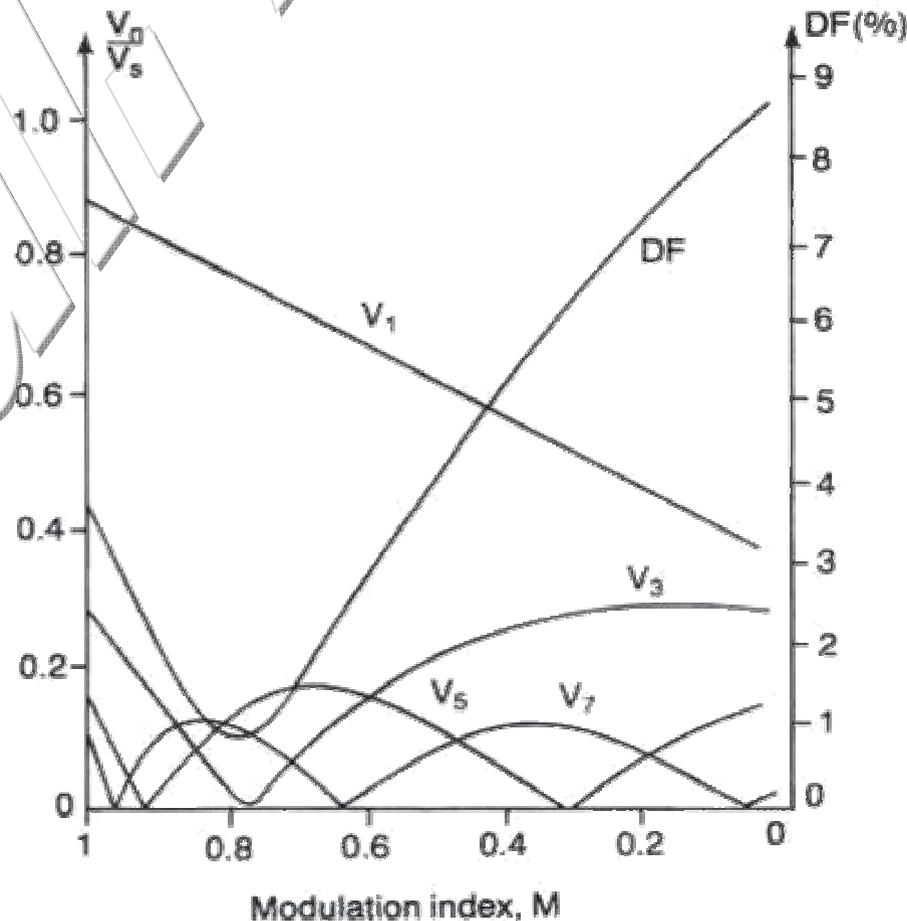
$$V_o = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{(\pi-\delta)/2}^{(\pi+\delta)/2} V_s^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = V_s \sqrt{\frac{\delta}{\pi}}$$

Le développement en série de Fourier donne:

$$V_o(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin \frac{n\delta}{2} \sin n\omega t$$

Techniques MLI

Le profil Harmonique de la tension sus-présenté est illustré dans la figure ci-contre en fonction de l'Index de modulation M . Il est claire que l'Harmonique dominante est celle d'ordre 3. Le facteur de distorsion augmente considérablement pour des tension de sortie faible.



MLI Multiple

Le taux d'Harmonique peut être réduit si on utilise plusieurs impulsion (N) par demi-cycle. Ce dernier est donné par:

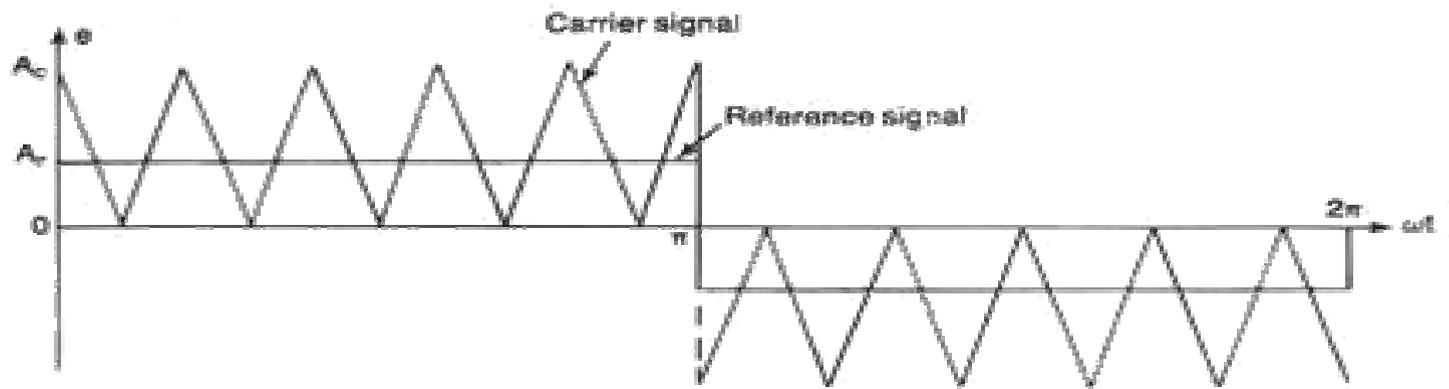
$N = \frac{f_c}{2f_o}$ La variation de M de 0 à 1, provoque la variation de la largeur des impulsion de 0 à π/p et par suite la tension de sortie de 0 à V_s

La tension de sortie est donnée par:

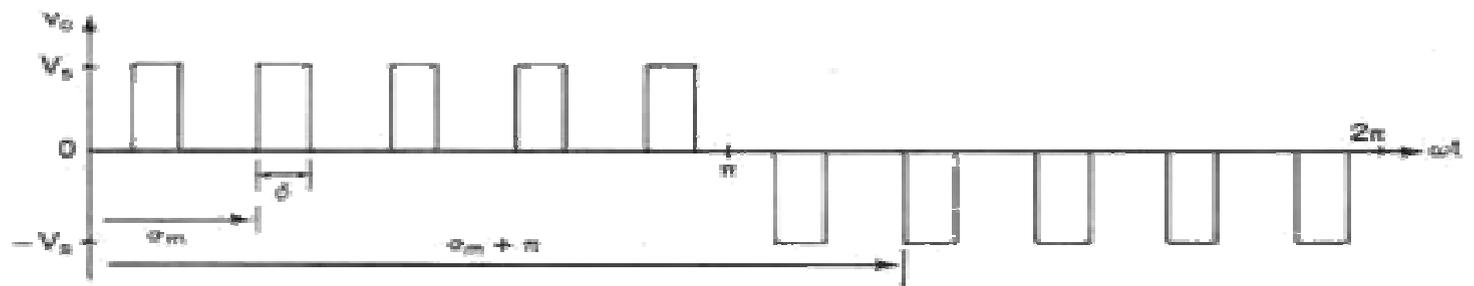
$$V_o = \left[\frac{2p}{2\pi} \int_{(\pi/p-\delta)/2}^{(\pi/p+\delta)/2} V_s^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = V_s \sqrt{\frac{p\delta}{\pi}}$$

La forme générale en série de Fourier de la tension de sortie est:

$$V_o(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} A_n \cos n\omega t + B_n \sin n\omega t$$



(a) Gate signal generation



(b) Output voltage

Multiple-pulse-width modulation.

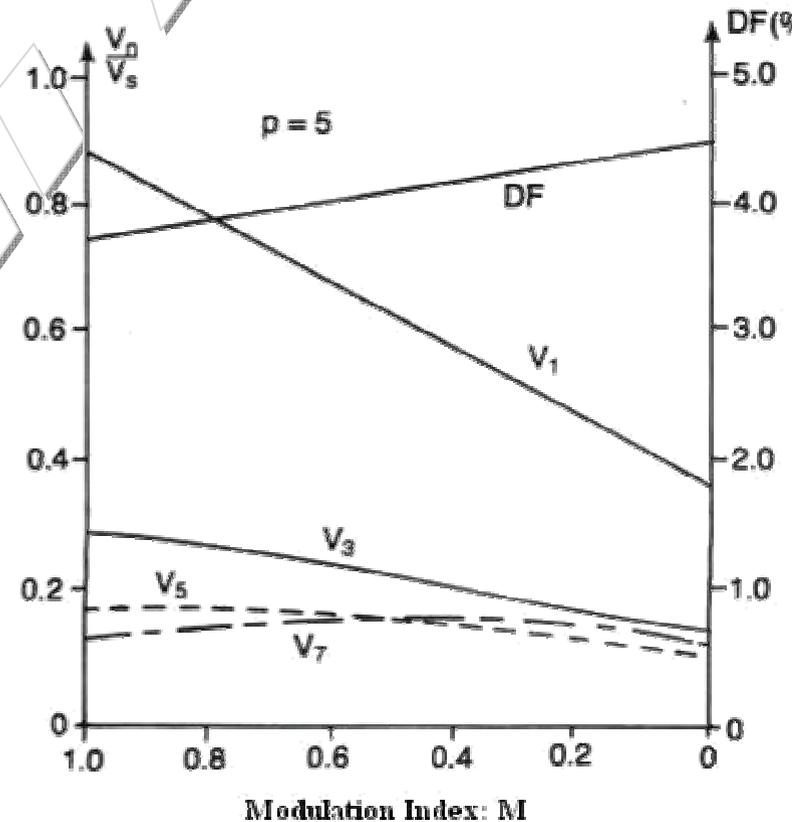
Les coefficients a_n et b_n pour une paire d'impulsion sont donnés par:

$$\begin{aligned}a_n &= \frac{2V_s}{\pi} \int_{\alpha_m}^{\alpha_m + \delta} \cos n\omega t \, d(\omega t) = \frac{2V_s}{n\pi} [\sin n(\alpha_m + \delta) - \sin n\alpha_m] \\ &= \frac{4V_s}{n\pi} \sin \frac{n\delta}{2} \cos n\left(\alpha_m + \frac{\delta}{2}\right) \\ b_n &= \frac{2V_s}{\pi} \int_{\alpha_m}^{\alpha_m + \delta} \sin n\omega t \, d(\omega t) = \frac{2V_s}{n\pi} [\cos n\alpha_m - \cos n(\alpha_m + \delta)] \\ &= \frac{4V_s}{n\pi} \sin \frac{n\delta}{2} \sin n\left(\alpha_m + \frac{\delta}{2}\right)\end{aligned}$$

Pour la tension de sortie , on a:

$$\begin{aligned}A_n &= \sum_{m=1}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin \frac{n\delta}{2} \cos n\left(\alpha_m + \frac{\delta}{2}\right) \\ B_n &= \sum_{m=1}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin \frac{n\delta}{2} \sin n\left(\alpha_m + \frac{\delta}{2}\right)\end{aligned}$$

La figure ci-contre illustre le profile harmonique de la tension de sortie en fonction de M pour le cas de 5 impulsion par demi période. On remarque que le facteur de distorsion est réduit d'une manière considerable mais a cause du processus de commutation (X5), les pertes de commutation seront plus importantes. Plus P est grand, l'amplitude des Harmoniques d'ordre inf. est petite. Mais celle de certaine Harmonique d'ordre sup. est plus importante. Cependant, ceux-ci peuvent être facilement filtrées



MLI Sinusoïdale

Au lieu de garder la largeur des impulsions de la tension de sortie constante, celles-ci peuvent être modulées proportionnellement par une sinusoïde (Cela permettra de réduire le facteur de distorsion des harmoniques d'ordre inférieur).

- $[f_0=f(f_r)]$ et $M=f(A_r)$

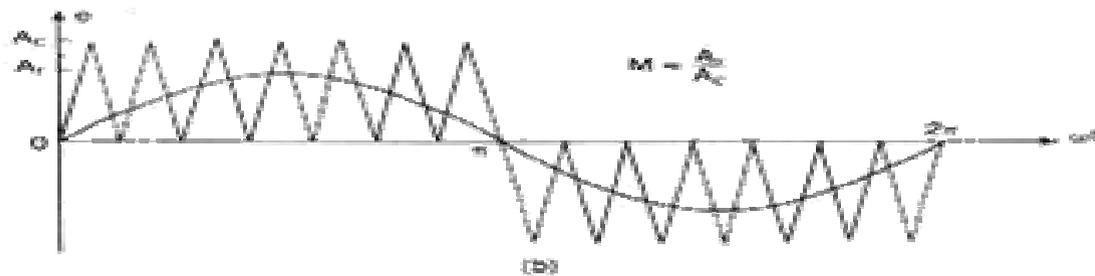
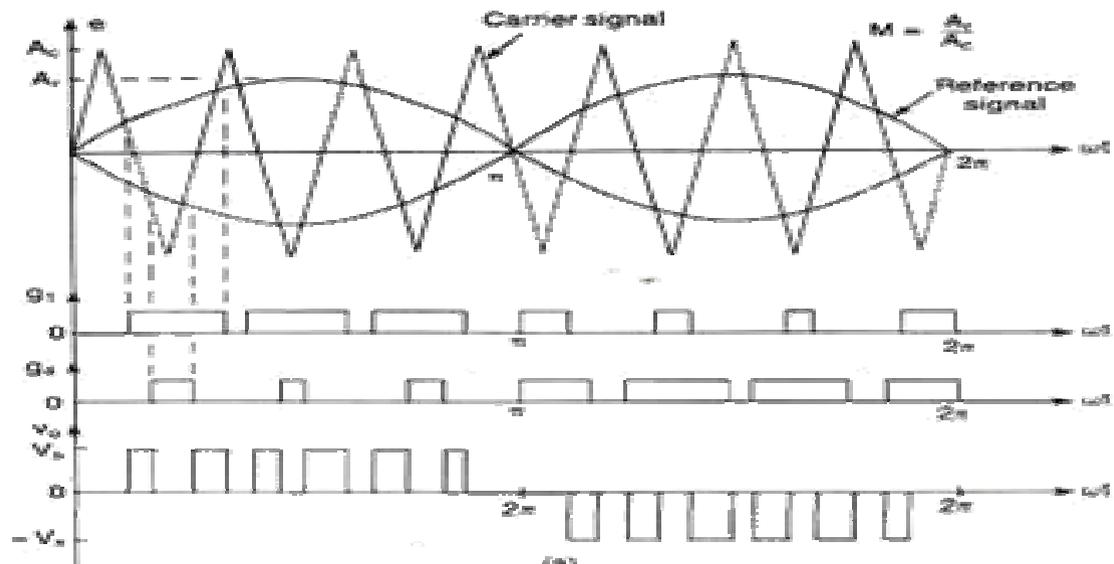
Si δ est la largeur de la $m^{\text{ème}}$ impulsion

$$V_o = \sum_{m=1}^P \frac{\delta_m}{\pi}$$

De même on peut écrire aussi:

$$A_n = \sum_{m=1}^P \frac{2V_s}{n\pi} [\sin n(\alpha_m + \delta_m) - \sin n\alpha_m]$$

$$B_n = \sum_{m=1}^P \frac{2V_s}{n\pi} [\cos n\alpha_m - \cos n(\alpha_m + \delta_m)]$$

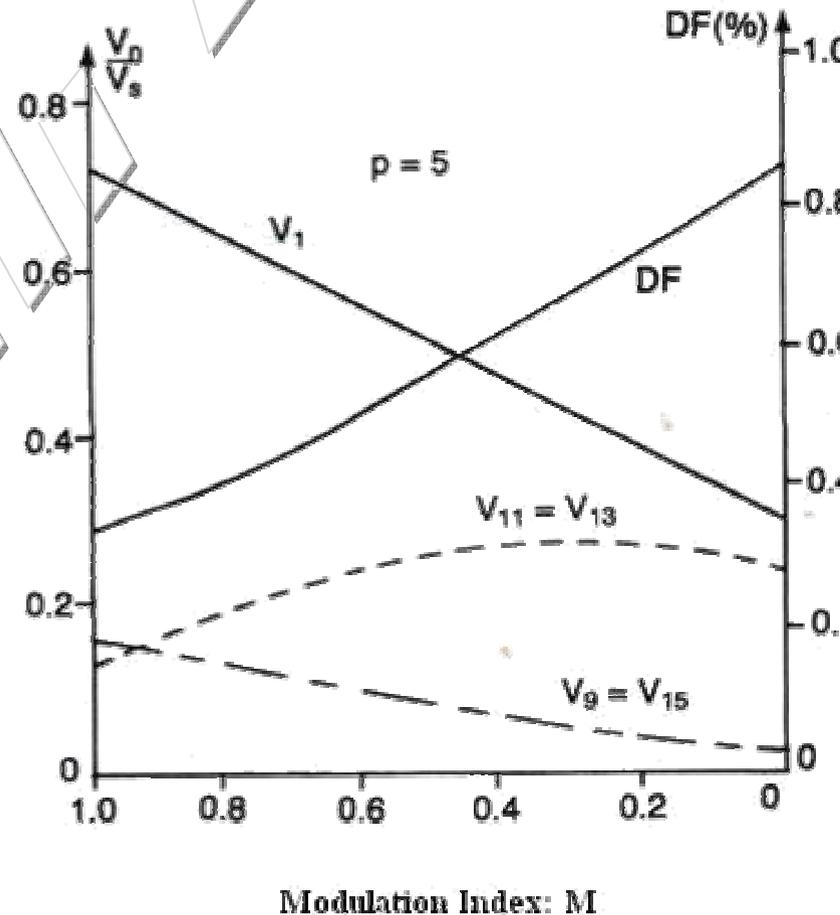


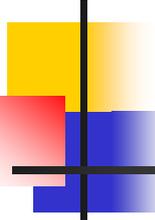
Sinusoidal pulse-width modulation.

La figure ci-contre illustre le profile harmonique de la tension de sortie en fonction de M pour le cas de 5 impulsion par demi période. On remarque que le facteur de distorsion est réduit considérablement par rapport au cas précédent.

Ce type de modulation élimine toutes les harmoniques d'ordre $\leq (2P - 1)$.

Pour $P = 5$, L'harmonique la plus faible est la neuvième 9^{ème}

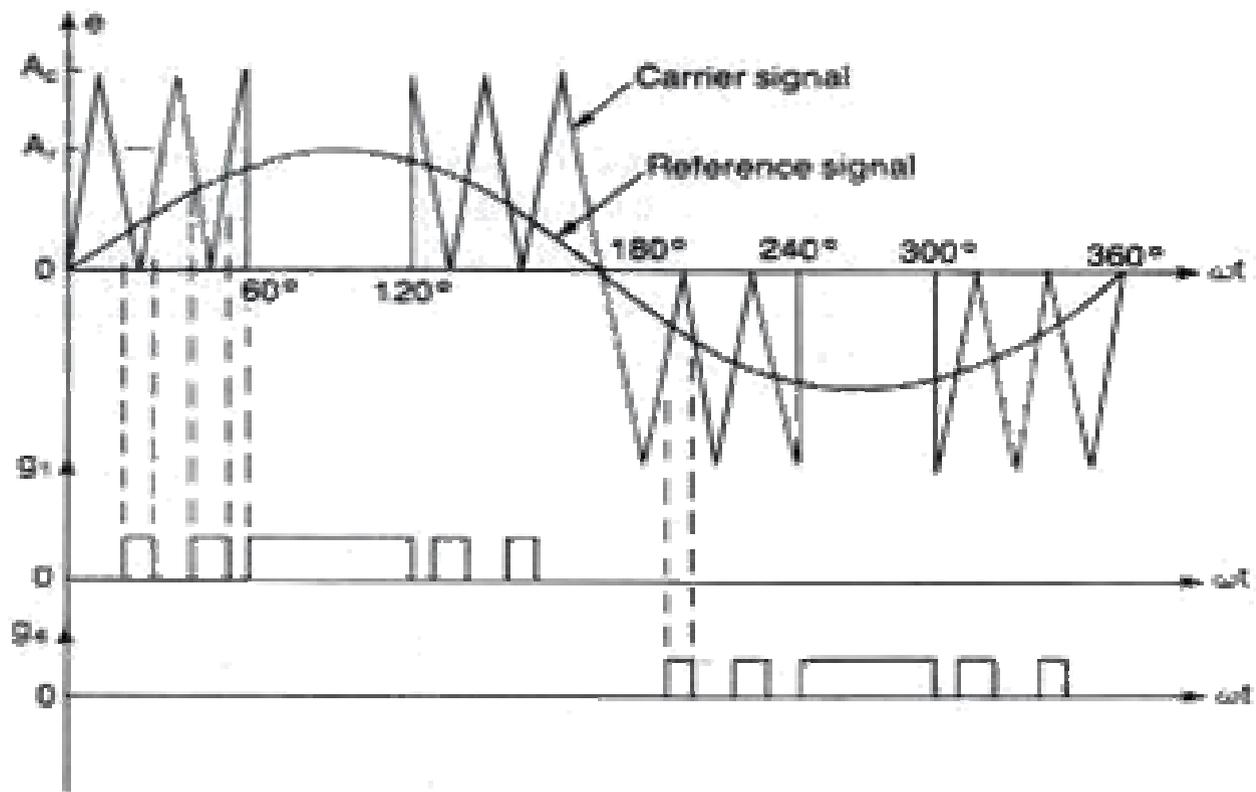




MLI Sinusoïdale Modifiée

DE ce qui précède, on peut remarquer que les impulsions se trouvant au alentours des crêtes de sinusoïde ne varient pas significativement avec les variations de M . Ainsi, la SPWM peut être modifiée de manière à ne moduler la tension qu'au premier et dernier 60° de chaque demi-période (de 0° à 60° et de 120° à 180°)

➤ Cette technique est dite MSPWM. Dans ce cas, la composante fondamentale est augmentée et le spectre d'harmonique est amélioré. De plus on réduit le nombre de commutation

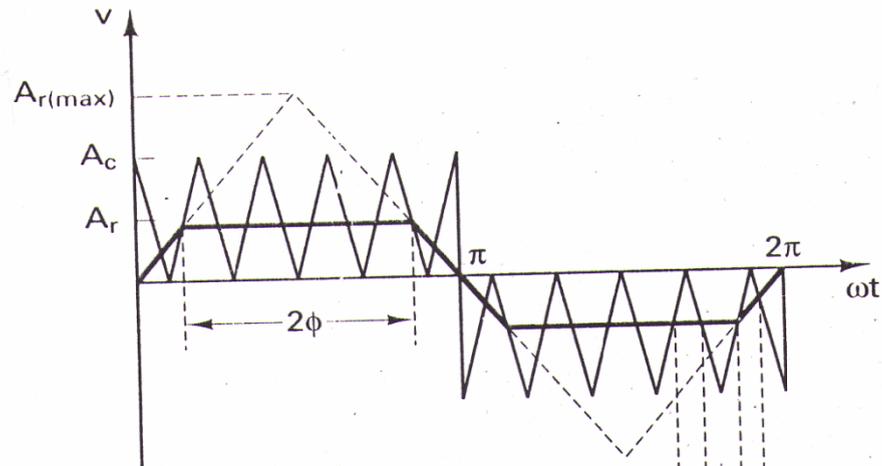


Modified sinusoidal pulse-width modulation.

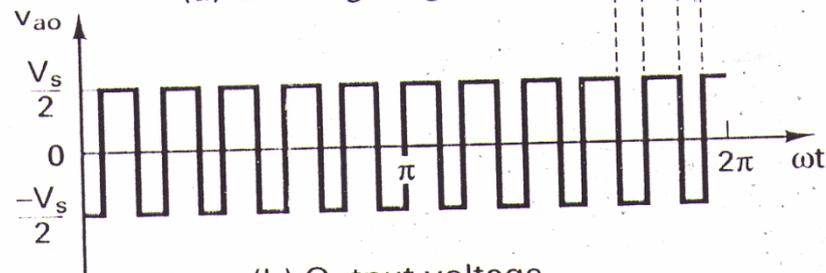
Les techniques de modulation avancées

- Autres techniques avancées existent comme des méthodes de réglages et commande de tension de sortie pour obtenir un grand fondamental de tension et un faible facteur de distorsion, ces sont les suivantes :
- Modulation trapézoïdale
- Modulation en escalier Modulation à pas
- Modulation par injection
- Modulation DELTA

Modulation trapézoïdale

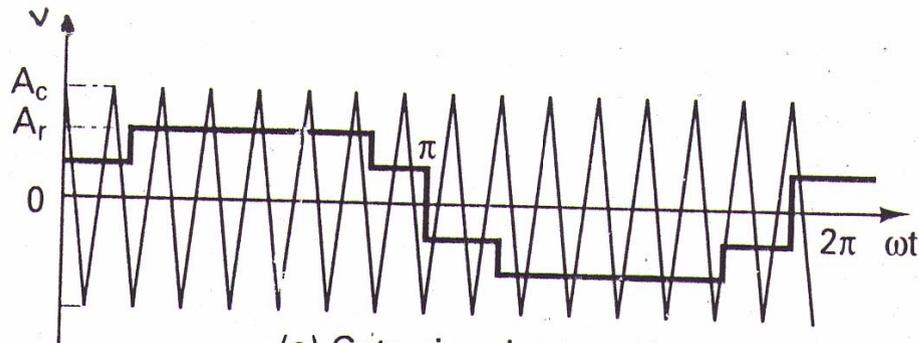


(a) Gate signal generation

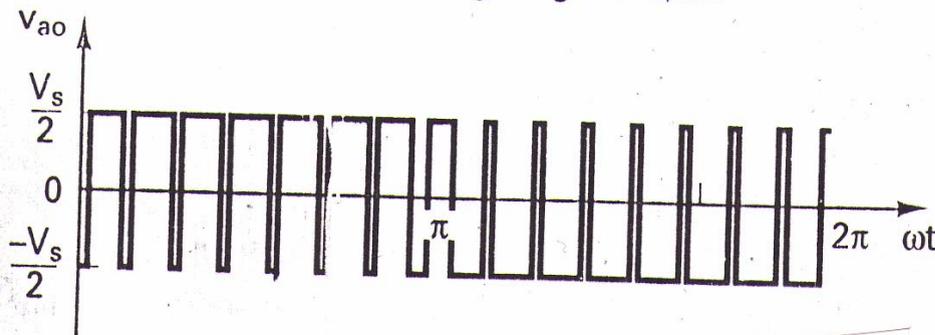


(b) Output voltage

Modulation en escalier

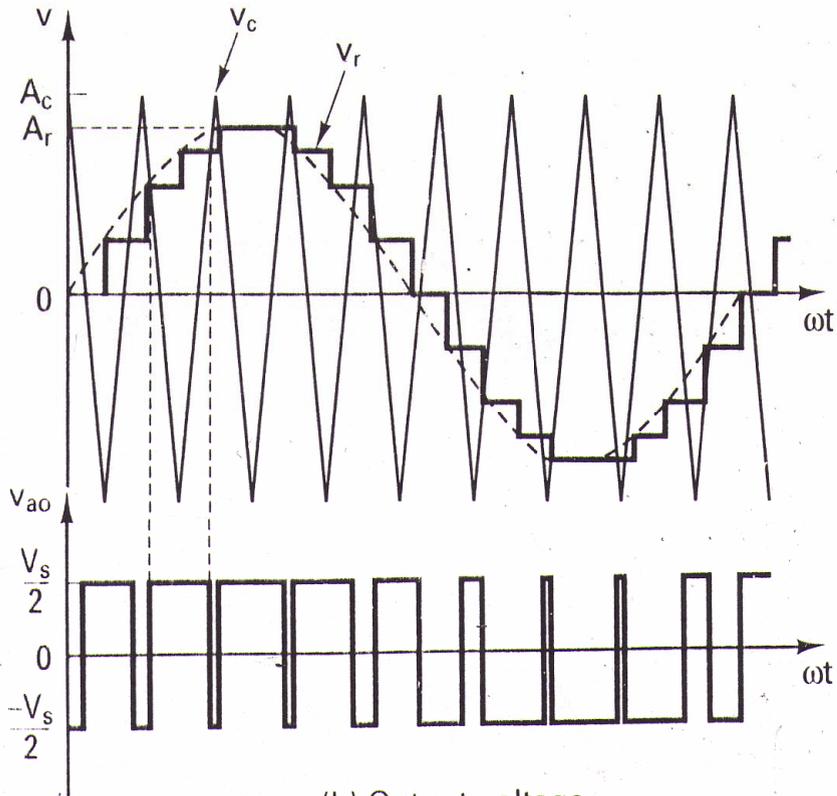


(a) Gate signal generation



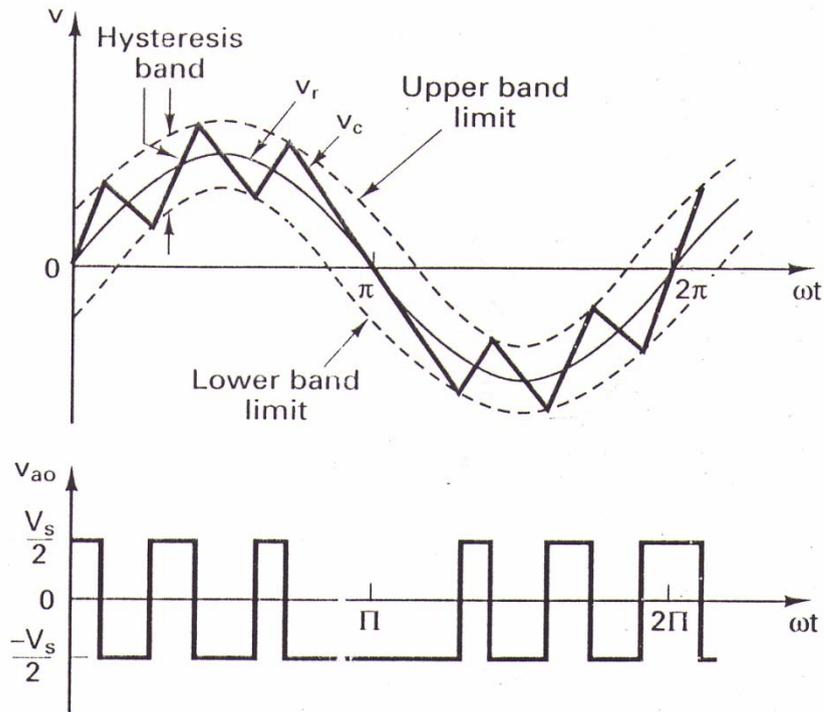
(b) Output voltage

Modulation à pas

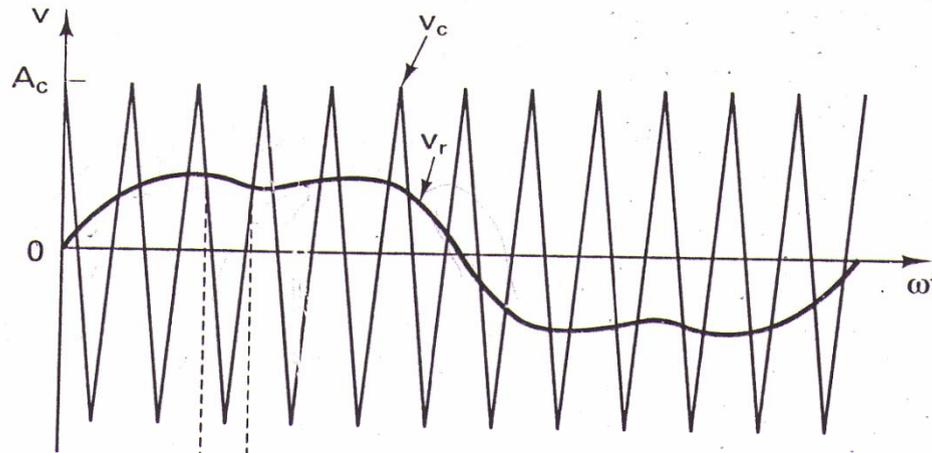


(b) Output voltage

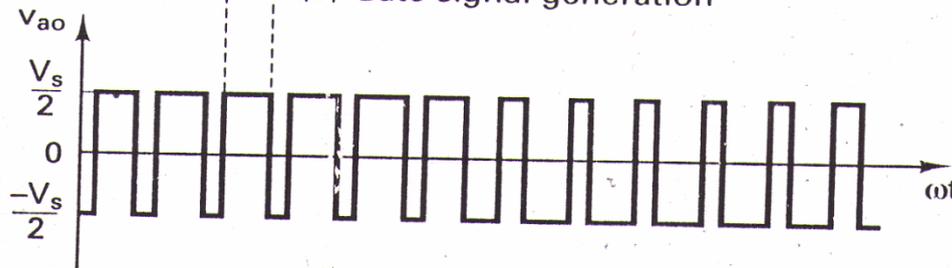
Modulation DELTA



Modulation par injection d'harmonique



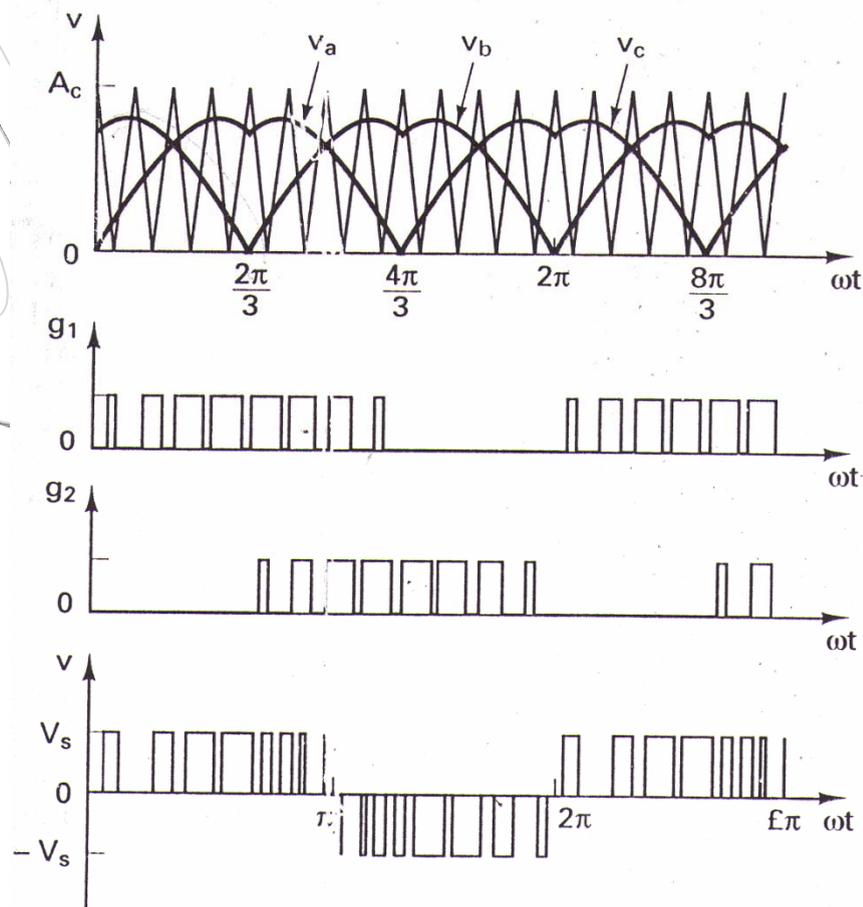
(a) Gate signal generation

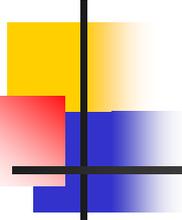


(b) Output voltage

$$V_r = 1.15\sin\omega t + 0.27\sin 3\omega t - 0.0029\sin 9\omega t$$

$$V_r = 1.15 \sin \omega t + 0.27 \sin 3\omega t$$





Références

[1].M.H.Rachid *"Power Electronics, circuits, devices, and applications,"* 1 et 2^{ème} édition. Englewood Cliffs,N.J.,Prentice Hall,1993.

[2].C.Rombaut et G.Segulier *"Les convertisseurs de l'électronique de puissance,"* la conversion continu-alternatif, Technique et documentation Lavoisier,Vol.4, 2e édition, 1991.

Contact

a.saadi@univ-biskra.dz