

L.T. Déodat TS1 Et	PSIM / TP6 Etude de la structure de puissance d'un variateur pour moteur asynchrone	Essais de système
-----------------------	--	-------------------

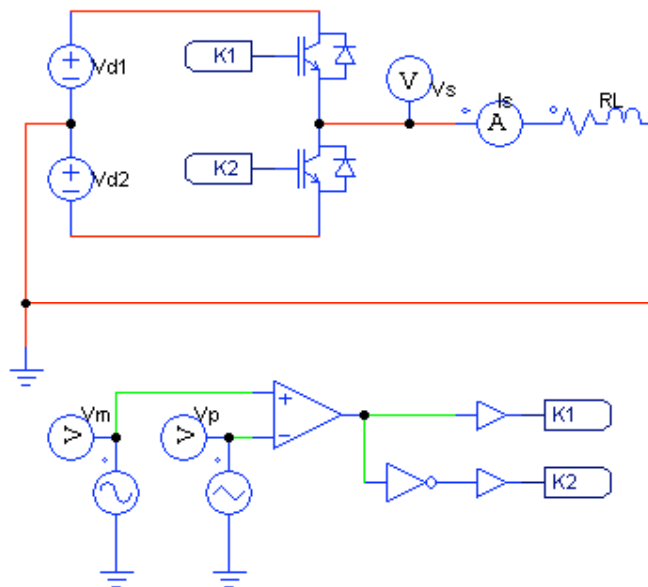
Objectifs de l'activité :

On utilise le logiciel PSIM pour analyser le fonctionnement d'un onduleur de tension à commande MLI (modulation de largeur d'impulsions). Le principe d'une commande MLI est étudiée sur une structure simple (onduleur monophasé 1/2 pont), puis sur un onduleur triphasé. On termine par la simulation de la structure de puissance complète d'un variateur de vitesse pour moteur asynchrone triphasé (redresseur + onduleur).

1 - Etude d'un onduleur monophasé 1/2 pont

Le principe d'une commande MLI est étudiée sur un bras d'onduleur (onduleur monophasé 1/2 pont), avec une charge passive R, L série. Cette structure de base permet de comprendre le fonctionnement d'un onduleur MLI et l'influence des grandeurs réglantes.

Le schéma de simulation est donné ci-dessous :



Le circuit de puissance comprend :

- une source de tension continue à point milieu : **Vd1**, **Vd2** ;
- la cellule onduleur constituée par les interrupteurs **K1** et **K2**, de type IGBT (insulated gate bipolar transistor) ;
- la charge **RL**, connectée entre le point milieu de la cellule onduleur et celui de la source.

Le circuit de commande comprend :

- un générateur sinusoïdal fournissant le signal de modulation **V_m**, de fréquence 50 Hz ;
- un générateur triangulaire fournissant la porteuse **V_p** de fréquence 2000 Hz ;
- un comparateur qui génère les signaux de commande de **K1** et **K2** à partir de **V_m** et **V_p**.

Les commandes de K1 et K2 sont complémentaires.

Données :

$V_{d1} = V_{d2} = 100 \text{ V}$;

$R = 10 \Omega$; $L = 10 \text{ mH}$;

V_m : amplitude $V_{m_{\max}} = 4,5 \text{ V}$, fréquence $f_m = 50 \text{ Hz}$;

V_p : valeur crête à crête = 10 V , offset = -5 V , fréquence $f_p = 2000 \text{ Hz}$.

- ✓ Réaliser la saisie du schéma à simuler (ajouter une sonde pour visualiser le signal de commande de K1).
- ✓ Rentrer les paramètres de simulation :
 - période d'échantillonnage : $1 \cdot 10^{-5} \text{ s}$,
 - durée de simulation : **40 ms** ,
 - visualisation : à partir de **20 ms**.

Résultats de simulation :

1-1 : Etude de la commande des interrupteurs K1, K2

- ✓ Visualiser et relever : V_m , V_p (sur le même graphe) et le signal de commande de **K1**.
- ✓ Faire un zoom sur quelques périodes de découpage (4 ou 5), et relever les graphes.
- ✓ En analysant les formes d'ondes, expliquer le principe de la commande MLI.

1-2 : Etude de la tension et du courant de sortie

- ✓ Visualiser sur 2 graphes séparés et relever :
 - V_s : tension de sortie,
 - I_s : courant dans la charge.Préciser : les niveaux de tension de V_s .
Mesurer la valeur efficace de I_s : $I_{s_{\text{RMS}}}$.
- ✓ Utiliser le module FFT pour réaliser la décomposition spectrale de V_s et I_s .
Visualiser et relever les spectres (entre 0 et 5 kHz). Evaluer les amplitudes et les fréquences du fondamental et des premiers harmoniques présents.
- ✓ Commenter les formes d'ondes et les spectres de V_s et I_s .

1-3 : Etude des paramètres de la MLI

1-31 : Fréquence de découpage : f_p

- Modifier la fréquence de la porteuse : $f_p = 6000 \text{ Hz}$.
- ✓ Visualiser et relever les graphes de V_s et I_s .
- ✓ Quelle modification constatez-vous par rapport aux graphes relevés en **1-2** ? Justifier.

1-32 : Amplitude du signal de modulation V_m

- Avec $f_p = 2000 \text{ Hz}$, modifier l'amplitude du signal de modulation : $V_{m_{\max}} = 3 \text{ V}$.
- ✓ Visualiser et relever les graphes de V_s et I_s . Mesurer la valeur efficace de I_s .

- ✓ Visualiser et relever le spectre de V_s . Mesurer l'amplitude du fondamental de V_s (V_{sfmax}).
- ✓ Comparer les valeurs de V_{sfmax} et I_{sRMS} à celles mesurées en 1-2. Conclure.

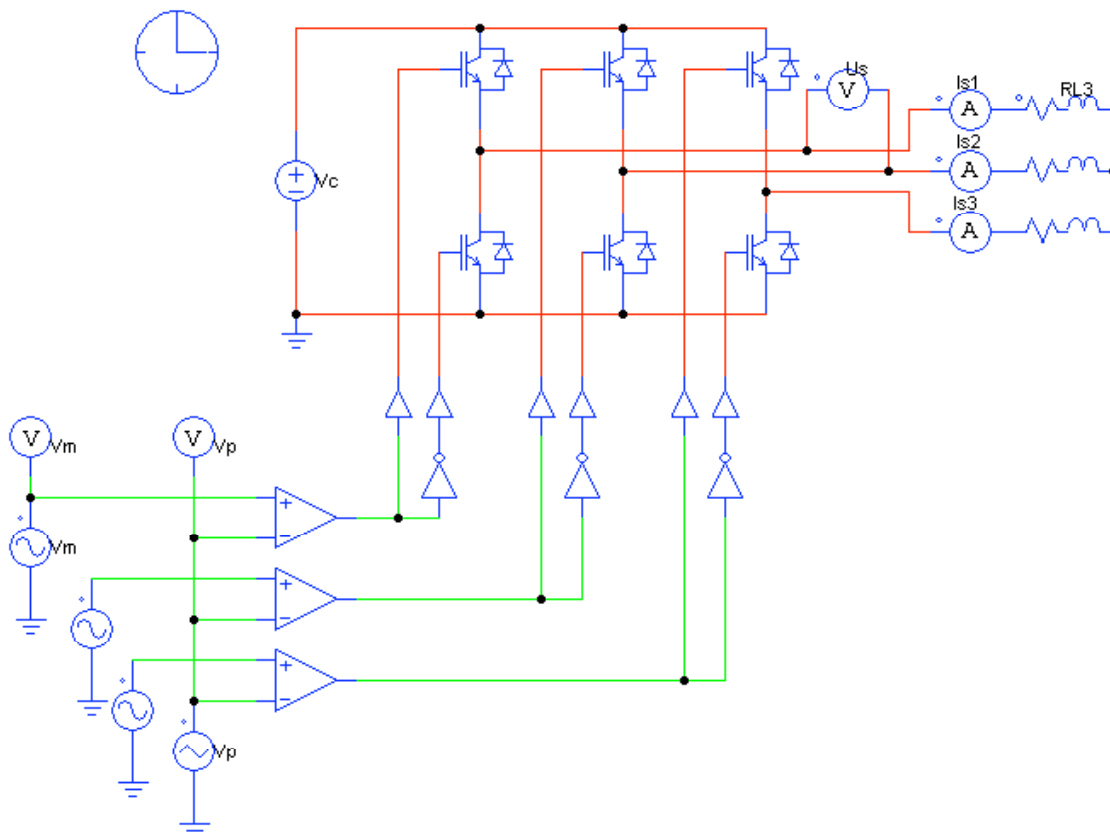
Vérifier la relation :
$$V_{sfmax} = V_d \cdot \frac{V_{mmax}}{V_{pmax}}$$

avec : V_{sfmax} : amplitude du fondamental de V_s ,
 V_{mmax} : amplitude de V_m ,
 V_{pmax} : amplitude de V_p .

2 - Etude d'un onduleur triphasé

Un onduleur triphasé est constituée de 3 cellules identiques à celle étudiée dans la partie 1, les signaux de modulation générant la commande de chaque cellule étant décalés de $2\pi/3$. La porteuse triangulaire est commune aux 3 cellules.

Schéma de l'onduleur triphasé



Données :

$V_c = 450 \text{ V}$;

$R = 5 \ \Omega$; $L = 20 \text{ mH}$;

V_m : amplitude $V_{mmax} = 4,5 \text{ V}$, fréquence $f_m = 50 \text{ Hz}$;

Phase de V_m : $\varphi_1 = 0$, $\varphi_2 = -120^\circ$, $\varphi_3 = -240^\circ$.

V_p : valeur crête à crête = 10 V , offset = -5 V , fréquence $f_p = 2000 \text{ Hz}$.

Simulation :

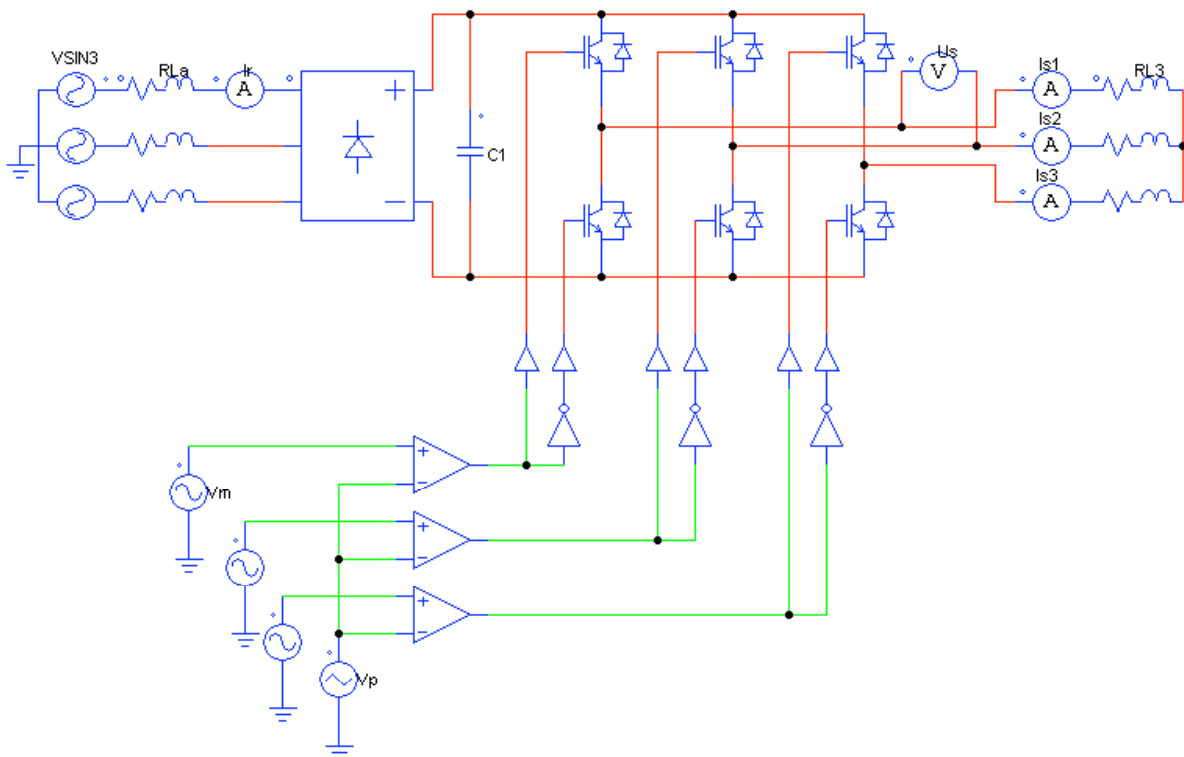
- ✓ Visualiser sur 2 graphes séparés et relever :
 - U_s : tension entre phases, en sortie ;
 - I_{s1} , I_{s2} , I_{s3} : courants dans chaque phase de la charge.Préciser les niveaux de tension de U_s .
- ✓ Visualiser et relever le spectre de U_s ($0 \leq f \leq 5000$ Hz).
- ✓ Commenter les formes d'ondes de U_s et $I_{s1,2,3}$. Comparer la décomposition spectrale de la tension de sortie de l'onduleur triphasé (U_s) avec celle observée sur l'onduleur monophasé 1/2 pont (en 1-2).

3 – Structure de puissance d'un variateur pour moteur asynchrone triphasé

La structure de puissance d'un variateur de vitesse pour moteur asynchrone triphasé comporte :

- un redresseur à diodes à l'entrée ;
- un condensateur de filtrage sur le bus continu ;
- un onduleur triphasé à commande MLI .

Schéma de simulation :



Pour simplifier la simulation, la charge est passive : R,L triphasé.

Les formes d'ondes obtenues sont pratiquement identiques à celles que l'on aurait avec un moteur asynchrone triphasé, en régime permanent.

Données :

- Tension d'alimentation : $U_a = 400 \text{ V}$;
- Impédance du réseau : $R_a = 40 \text{ m}\Omega$; $L_a = 0,2 \text{ mH}$;
- Condensateur de filtrage : $C = 2 \text{ mF}$;
- Charge : $R = 5 \Omega$; $L = 20 \text{ mH}$;
- V_m et V_p : mêmes valeurs qu'en 2.

Simulation :

- ✓ Régler l'horloge de simulation pour pouvoir visualiser 2 périodes en régime permanent établi.
- ✓ Visualiser sur 2 graphes séparés et relever :
 - I_r : courant dans la phase 1 du réseau d'alimentation ;
 - I_{s1} , I_{s2} , I_{s3} : courants dans chaque phase de la charge.

Mesurer $I_{r_{RMS}}$ et $I_{s_{RMS}}$.

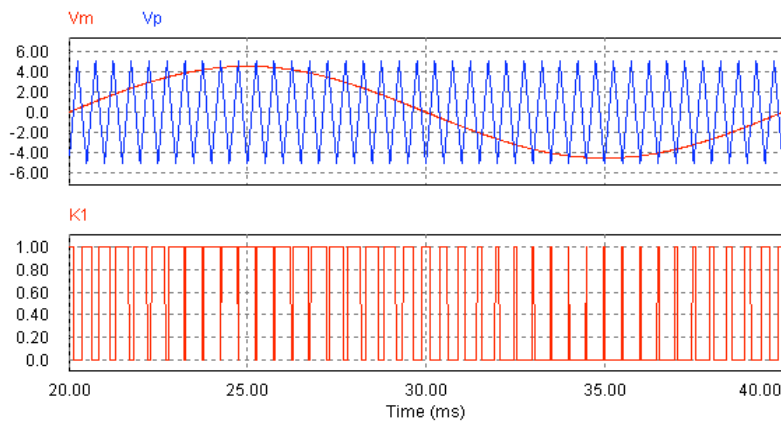
- ✓ Visualiser et relever le spectre de I_r ($0 \leq f \leq 700 \text{ Hz}$). Préciser le rang des composantes harmoniques présentes. Evaluer la valeur efficace du fondamental et des harmoniques. En déduire le **THD** global.
- ✓ Commenter les formes d'ondes et la décomposition spectrale de I_r .

L.T. Déodat TS1 Et	PSIM / TP6 Etude de la structure de puissance d'un variateur pour moteur asynchrone	Compte rendu
-----------------------	--	--------------

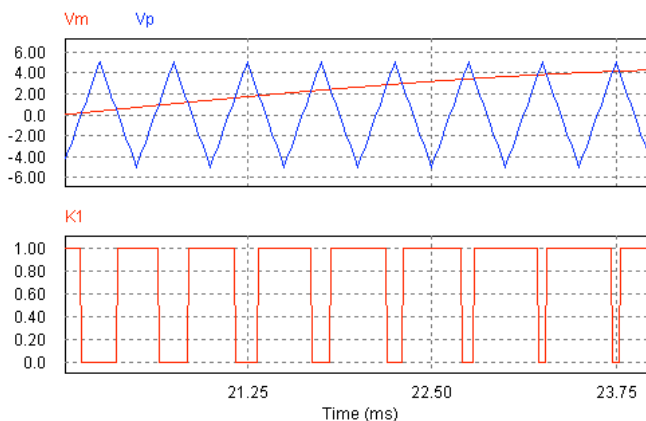
1 – Etude d'un onduleur monophasé ½ pont

1-1: Etude de la commande des interrupteurs K1 et K2

V_m : signal de modulation – V_p : porteuse – K1 : commande de K1



On fait un zoom sur quelques périodes de découpage pour expliquer la génération du signal de commande K1 et l'état des transistors.



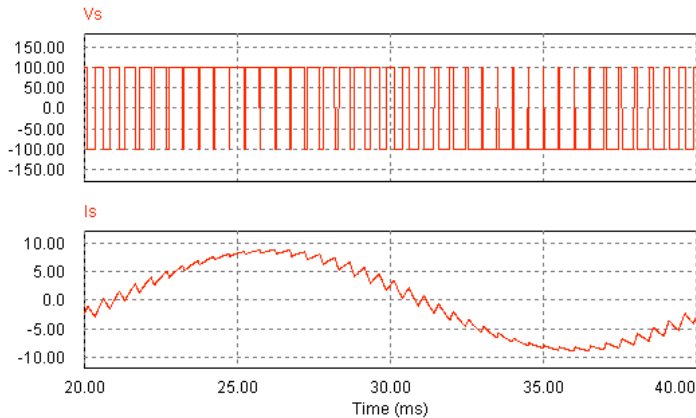
Sur une période de découpage :

- quand l'amplitude de V_m est supérieure à celle de V_p : $K1 = 1$ → le transistor K1 est commandé à l'amorçage : K1 passant, K2 bloqué ;
- quand l'amplitude de V_m est inférieure à celle de V_p : $K1 = 0$ → le transistor K1 est commandé au blocage : K1 bloqué, K2 passant .

Le rapport cyclique de découpage varie sinusoidalement sur la période de modulation.

1-2: Etude de la tension et du courant de sortie

• Graphes de la tension V_s et du courant I_s , de sortie

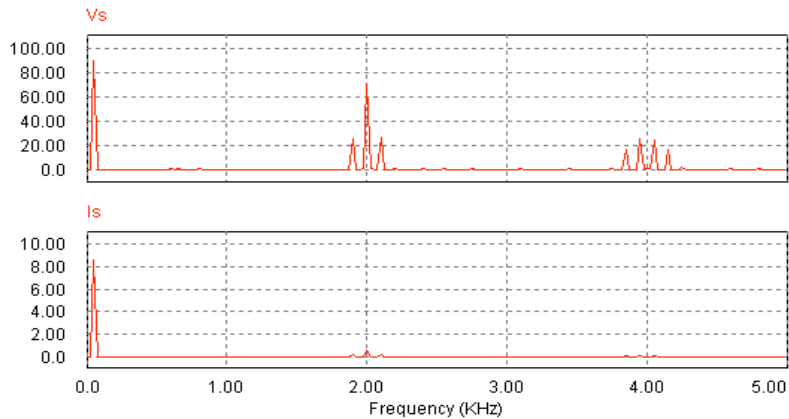


• Mesure : valeur efficace de $I_s \rightarrow I_s = 6 \text{ A}$

Commentaires sur les formes d'ondes :

*La tension est découpée à la fréquence de la porteuse.
Elle comporte 2 niveaux : + 100V / - 100V (+Vd/-Vd).
Le courant est quasisinusoïdal. Il comporte une ondulation à la fréquence de la porteuse (2 kHz). On peut estimer l'ondulation crête à crête à : $\Delta i_{c-c} = 1 \text{ A}$*

• Spectre de la tension et du courant



• Amplitude et fréquence des harmoniques de la tension V_s

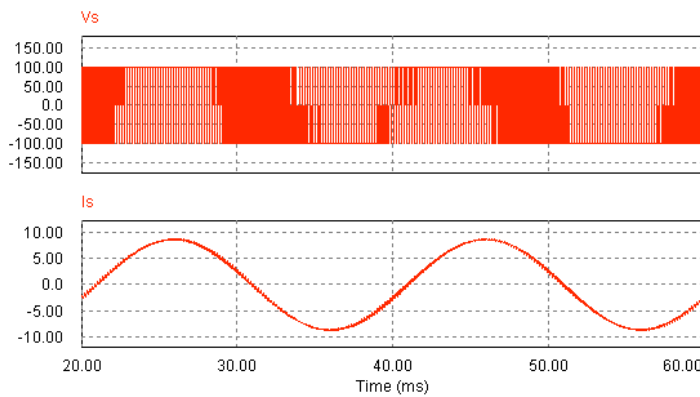
Fréquence	f_m	f_p	$f_p \pm f_m$	$2.f_p \pm f_m$	$2.f_p \pm 3.f_m$
Amplitude	90	72	25	24	18

*La tension V_s ne comporte pas d'harmoniques de rang faible : cela est dû à la MLI sinusoïdale. La décomposition spectrale fait apparaître des familles d'harmoniques centrées sur f_p , $2.f_p$, ...
L'harmonique dont l'amplitude est la plus élevée est à la fréquence de la porteuse. C'est cette composante qui produit, pour l'essentiel, l'ondulation du courant.*

1-3 : Etude des paramètres de la MLI

1-31 : Influence de la fréquence de découpage f_p

- ✓ La fréquence de la porteuse est passée de 2 kHz à 6 kHz

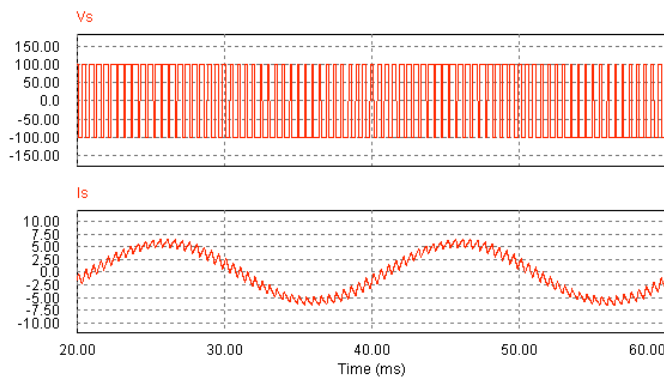


L'ondulation sur le courant est très atténuée.

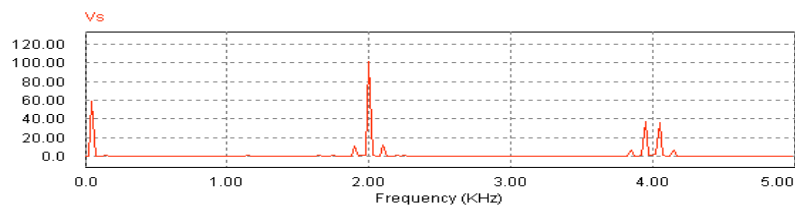
1-32 : Influence de l'amplitude du signal de modulation

- ✓ L'amplitude du signal de modulation est passée de 4,5 V à 3 V.

• Graphes de la tension V_s et du courant I_s , de sortie



• Spectre de V_s



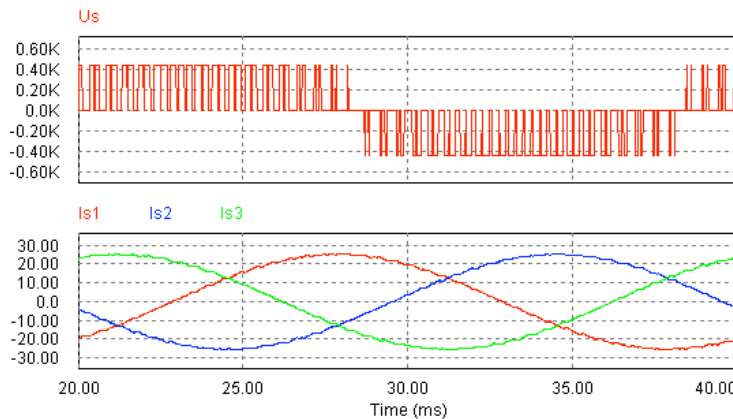
L'amplitude du fondamental de V_s est :

- $V_{s_f} = 60 \text{ V}$ pour $V_{m_{\max}} = 3 \text{ V}$
- $V_{s_f} = 90 \text{ V}$ pour $V_{m_{\max}} = 4,5 \text{ V}$

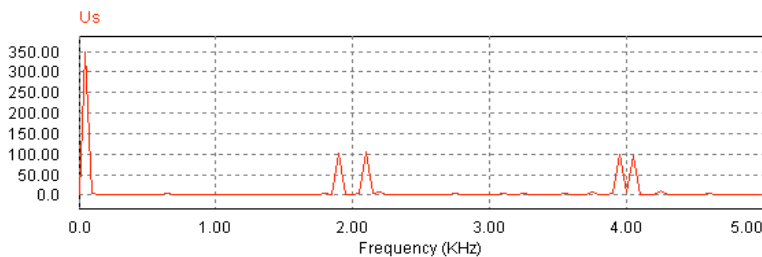
$V_d = 100 \text{ V} \Rightarrow$ on vérifie la relation : $V_{s_f} = V_d \cdot \frac{V_{m_{\max}}}{V_p}$

2 – Etude d'un onduleur triphasé

- Graphes d'une tension entre phases U_s et des courants de sortie



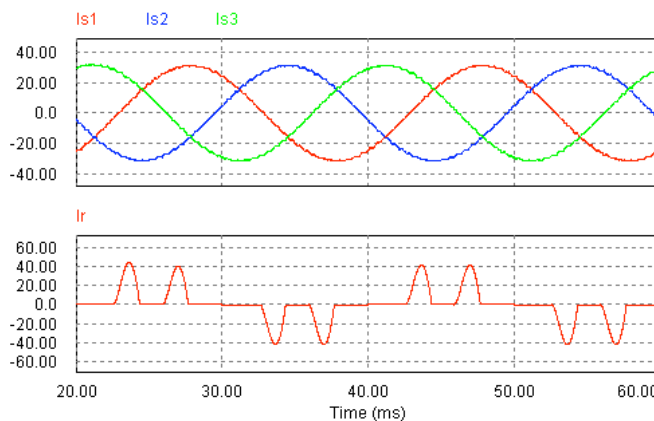
- Spectre de U_s



La tension entre phases comporte 3 niveaux : $+V_c$, 0, $-V_c$. Certaines raies du spectre de la tension de bras (voir onduleur $\frac{1}{2}$ pont) n'apparaissent pas dans celui de la tension composée, en particulier, la composante dont l'amplitude est la plus élevée, de fréquence f_p . De ce fait, l'ondulation des courants est très faible.

3 – Structure de puissance d'un variateur pour MAS

- Graphes des courants dans la charge et du courant dans une phase à l'entrée du redresseur



Le courant de phase à l'entrée a la forme typique "en oreilles de lapin" de celui observé en amont d'un redresseur triphasé en présence d'un condensateur sur le bus continu. Il comporte les harmoniques de rang 5, 7, 11, 13, ...