

ENSEA 2023-2023

Travaux Pratiques
Conversion d'Énergie en Continu :
Électronique de Puissance, MCC,
Installations PV et Batteries

MHD.A.E. Alali

TRAVAUX PRATIQUES : Production d'Énergie Continue : Électronique de Puissance, MCC, Installations PV et Batteries

Les travaux pratiques de production d'énergie continue de première année se déroulent en trois séances de 4 heures chacune. Trois thèmes sont étudiés par chaque binôme ; chaque thème donnant lieu à la rédaction d'un compte-rendu à remettre au professeur à la fin de chaque séance.

- **Thème 1 : PD3 C** : Redressement triphasé Commandé (à thyristors).
- **Thème 2 : MCC** : Machine à Courant Continu.
- **Thème 3 : Modules photovoltaïques** : simulation par le logiciel PSIM.

Les compte-rendus feront apparaître les réalisations/simulations effectuées à l'aide de schémas, mesures et courbes.

Le TP n'est pas uniquement un relevé de mesure, son compte rendu doit faire apparaître une exploitation rigoureuse des mesures/simulation et une analyse des phénomènes rencontrés vis à vis d'une étude théorique.

Les objectifs à atteindre pour ces TP sont les suivants :

Thème 1 : PD3 C : Redressement triphasé Commandé (à thyristors) :

- Étude du pont redresseur commandé PD3 complet,
- Se rapprocher du cas d'un pont redresseur à diodes PD3 complet pour un angle d'amorçage ($\psi=0$).

Thème 2 : MCC : Machine à Courant Continu :

- Identification des paramètres électriques et mécaniques de la MCC,
- Association de la MCC avec le PD3 C.

Thème 3 : Modules photovoltaïques (M.PV) : simulation par le logiciel PSIM :

- Apprendre à utiliser le logiciel PSIM,
- Étudier les caractéristiques des modules photovoltaïques.

Les rotations de TP pour les trois séances sont à respecter scrupuleusement afin d'éviter les problèmes de disponibilité de matériels.

Binôme	1	2	3	4	5	6	7	8
Séance 1	M.PV	M.PV	PD3 C	PD3 C	PD3 C	MCC	MCC	MCC
Séance 2	MCC	MCC	M.PV	M.PV	M.PV	PD3 C	PD3 C	PD3 C
Séance 3	PD3 C	PD3 C	MCC	MCC	MCC	M.PV	M.PV	M.PV

Pour la préparation à chaque séance, il est conseillé d'avoir lu le texte proposé, revu les questions de cours abordées par l'étude de ce thème et prévu une démarche expérimentale/simulation.

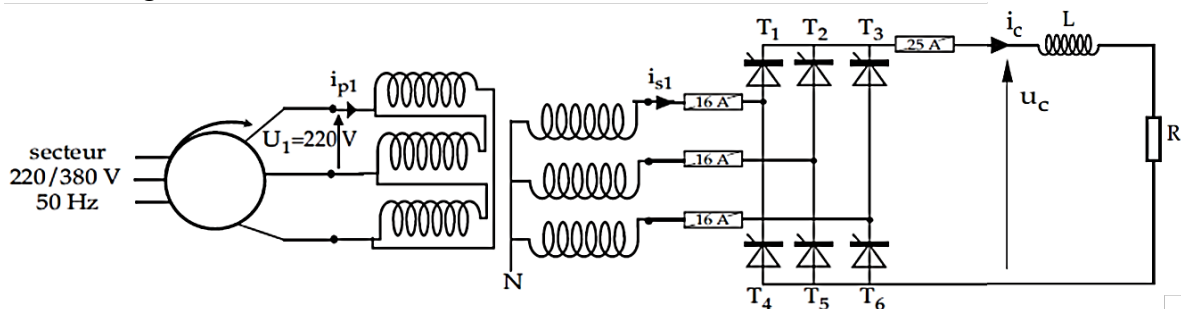
TP N° 1

Redressement commandé, montage PD3

BUT du TP :

Le but du TP, est l'étude d'un pont redresseur commandé PD3. L'étude se fera dans un premier temps pour un angle d'amorçage des thyristors ($\psi=0$), afin de simuler le cas d'un pont à diodes. Ensuite, l'étude se poursuivra pour un fonctionnement en pont thyristors sur des charges résistives et inductives.

En salles C103, C104 ou D267, le montage étudié comporte un redresseur commandé PD3 alimenté par le réseau 220V / 50 Hz par l'intermédiaire de l'un des transformateurs triphasés étudiés en module (Conversion d'énergie alternative : 3 kVA et 800 VA), destiné à abaisser la tension et à isoler le montage du secteur.



I. PRÉPARATION

Revoir avant le TP, le cours suivant : redressement non commandé et commandé PD3. Apporter le polycopié et les TD correspondants.

- 1) Calculer les courants nominaux au primaire et au secondaire du transformateur.
- 2) **Pour ($\psi=0$: rapprochement d'un fonctionnement en diodes)**, calculer la valeur moyenne de la tension redressée U_c . Au vu de la charge résistive disponible en TP, cette tension est-elle supportable par cette charge ? Justifier votre réponse en précisant le mode d'utilisation de la charge.
- 3) Tracer la forme et calculer la valeur efficace des courants dans les enroulements secondaires et primaires du transformateur, ainsi qu'en ligne au primaire (charge fortement inductive, i.e., conduction continue).
- 4) **Pour un fonctionnement en thyristors**, prévoir et comprendre l'allure des tensions et courants en tous points du montage pour $\psi = \pi/3$, sur une charge fortement inductive.
- 5) Entre quelles valeurs la tension moyenne de sortie U_c du montage peut-elle varier ?
- 6) Calculer le courant maximum au secondaire du transformateur, en déduire le courant maximal I_c .
- 7) Calculer U_c en fonction de ψ lorsque la charge est uniquement résistive.

II. EXPÉRIMENTATION

II.1 Montage Complet: Transformateur+PD3 ($\psi=0$)

1) Réaliser le montage Transfo + Pont PD3 à thyristors (avec $\psi=0$), débitant sur une charge $R-L$, avec un courant I_c maximal, en choisissant correctement les différents appareils de mesure. Il faudra prendre garde à :

- Ne pas dépasser I_{c-max} (mais travailler toujours à des courants suffisants),

- Na pas dépasser la tension supportée par la charge,
 - Ne brancher la masse de l'oscilloscope qu'une seule fois sur la partie puissance.
- 2) Relever les formes de tension et de courant U_c , I_c , le courant dans les enroulements primaires et secondaires ainsi qu'en ligne.
 - 3) Sous tension primaire nominale constante (à contrôler précisément pour chaque mesure), mesurer la chute de tension en charge ΔU_c pour $I_c = I_{c-max}$ et $I_{c-max}/2$.
 - 4) Mesurer la durée de l'empiètement.
 - 5) Comparer ces résultats aux prédéterminations.

II.2 Étude du fonctionnement du pont complet PD3 à thyristors sur charge R-L

- 1) Régler R pour obtenir un courant I_c maximal lorsque $\psi = 0$. Mesurer alors R (lorsque $I_c = 0$) et interpréter.
- 2) Relever les allures de $u_c(t)$, $i_s(t)$, $i_c(t)$ en tout points du montage, pour $\psi = \pi/3$. Comparer aux valeurs théoriques.
- 3) Interpréter quantitativement ces oscillogrammes.
- 4) Mesurer $u_c(t)$, $i_c(t)$ pour cette valeur de ψ . Comparer aux valeurs théoriques.
- 5) Relever $U_c = f(\psi)$ (tension moyenne U_c en fonction de ψ). Interpréter et comparer à la théorie, en précisant la limite de conduction continue.

II.3 Étude de l'empiètement

Observer la commutation du courant en visualisant $i_{s1}(t)$ et $u_c(t)$, pour une valeur de ψ faible et I_{c-max} . En déduire la valeur de l'inductance de fuite du transformateur.

TP N° 2

Machine à courant continu (MCC)

BUT du TP :

Le but du TP, est l'identification des paramètres électriques et mécaniques d'une MCC, puis d'effectuer un entraînement à vitesse variable de cette machine à l'aide du PD3 Commandé, étudié en TP N°1.

I. PRÉPARATION

- Donner le schéma équivalent du moteur à courant continu.
- Écrire les trois équations régissant le fonctionnement du moteur.
- Le couple de pertes Γ_p est de la forme $f.\Omega + \Gamma_0$, que représentent les termes $f.\Omega$ et Γ_0 ?

II. EXPÉRIMENTATION

1) Essai en moteur à vide : Ne pas dépasser U_{\max} et I_{\max} , à vérifier en permanence (voir plaque signalétique).

1-1) Visualiser le courant moteur à l'oscilloscope, en déduire la nécessité d'une inductance de lissage.

1-2) Relever et tracer $\Omega = f(U)$ et $I = f(\Omega)$.

1-3) Mesurer le coefficient électromagnétique K_ϕ à partir de l'équation $U = f(\Omega)$.

1-4) A partir de l'équation $I = f(\Omega)$, déduire f et Γ_0 .

1-5) Faire débiter le moteur (fonctionnant en génératrice), en déduire la résistance R et vérifier la caractéristique $\Omega = f(U)$.

2) Essai en charge :

Faire tourner le moteur ($U = U_{\text{nominal}}$) et faire débiter la génératrice sur le plan de charge résistif.

2-1) Tracer la caractéristique $\Omega = f(I)$, pour U constant (prendre deux valeurs de U).

2-2) En déduire la résistance R .

3) Essai en transitoire (ralentissement) :

3-1) Faire tourner le moteur à vide (ne pas débiter la génératrice), $U = U_{\text{nominal}}$

3-2) Couper l'alimentation de la table et enregistrer $\Omega = f(t)$ (pour cela, prendre la tension aux bornes de la géné-tachy et la visualiser à l'oscilloscope).

3-3) En déduire la valeur de l'inertie J .

4) Pour un fonctionnement $U = U_{\text{nominal}}$, $I = I_{\text{nominal}}$: prédéterminer la vitesse et le couple utile.

5) Association au pont redresseur commandé :

L'association du la MCC avec le pont redresseur commandé du TP N°2 sera à l'aide du professeur.

1) Alimenter le moteur à courant continu à vide par le pont complet PD3 C du TP N°1. Avec quelle valeur de ψ faut t- il démarrer ?

- 2) Étudier la mise en vitesse et la décélération du moteur, interpréter les oscillogrammes en régime transitoire. Étudier l'influence de l'inductance de lissage sur ces oscillogrammes.
- 3) Faire $\psi = \pi/4$ moteur à vide, puis mettre le moteur en charge sans modifier ψ . Interpréter le phénomène observé.
- 4) Sans aucune manipulation, proposer une chaîne d'asservissement de vitesse de la *MCC* en utilisant le pont complet *PD3 C* du *TP N°1*.

TP N° 3

Modules photovoltaïques

(Simulation par le logiciel PSIM)

BUT du TP :

- 1- Apprendre à utiliser le logiciel PSIM qui est un logiciel de simulation d'électrotechnique et d'électronique de puissance ; outil qui, par la suite, sera utilisé dans d'autres cours.
- 2- Étudier les caractéristiques de modules photovoltaïques, en dispositions diverses.

Il est fortement recommandé de lire le cours « Installation Photovoltaïque Autonome » ainsi que le TD correspondant, d'avoir son cours et le TD sur soi en séance.

I. PRÉPARATION

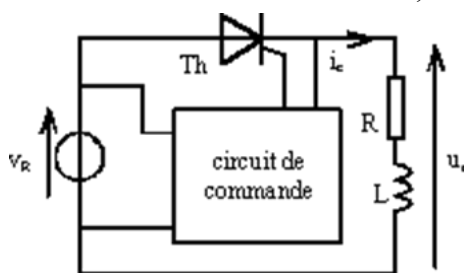
1) Visionner le lien <https://youtu.be/OZOCoyGTIJE?t=127> pour une initiation à PSIM. La vidéo est également accessible sur Moodle.

2) Traiter l'exemple détaillé suivant sur PSIM (il est recommandé de lire l'annexe qui propose une description détaillée des fonctionnalités du logiciel PSIM).

L'encadrant vérifiera en début de séance si le résultat de votre simulation est identique à celui de la figure présentée dans le paragraphe I.5 de cette même préparation

L'objectif de cette préparation est d'apprendre à effectuer une simulation sur le logiciel PSIM et d'exploiter les résultats de la simulation, pour analyser le fonctionnement d'un montage simple, à base d'électronique de puissance.

Il s'agit d'une charge R-L relié au réseau monophasé par l'intermédiaire d'un thyristor. Les caractéristiques du réseau d'alimentation sont les suivants : 230V, 50 Hz, $R = 20 \Omega$, $L = 250 \text{ mH}$.

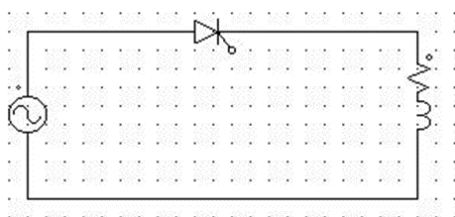


Nous allons procéder à la simulation du système proposé en quatre étapes :

- Dessiner** les schémas de puissance et de commande,
- désigner** les grandeurs à observer,
- lancer et exploiter** les résultats de la simulation.

I.1 Dessin du schéma de puissance


- 1- Lancer Simcad puis choisir 'New' dans le menu 'File'. Il apparaît alors une feuille sur laquelle il faut dessiner le schéma.





- 2- Il existe deux méthodes pour placer un élément sur le schéma :

- cliquer sur les icônes représentant ces différents éléments en bas de l'écran (Cf. annexe : § I.2)
- choisir le menu 'Element'. Les différents composants disponibles sont regroupés en quatre catégories :

- **Power** (résistances, bobines, diodes, thyristors, transistors., Transformateurs, machines...etc.),
- **Control** (éléments nécessaires à la commande des semi-conducteurs : générateurs divers, amplificateurs opérationnels, filtres, fonctions analogiques diverses...etc.),
- **Other** (circuits de commande des interrupteurs, capteurs de courant, de tension de vitesse...etc.)
- **Sources** (sources de tension, de courant ... continues, alternatives...etc.).

3- Placer les éléments du circuit de puissance, puis effectuer le câblage en reliant ces composants avec le symbole : .

Attention : après avoir placé chaque élément du montage, il faut appuyer sur la touche (Échap) du clavier du PC, pour pouvoir passer à l'étape suivante. Autre manière consiste à cliquer sur le symbole , puis sur  (Cf. annexe : § I.3.2).

4- Double-cliquer sur chacun des éléments et préciser les valeurs numériques (Cf. annexe : § I.3.2).

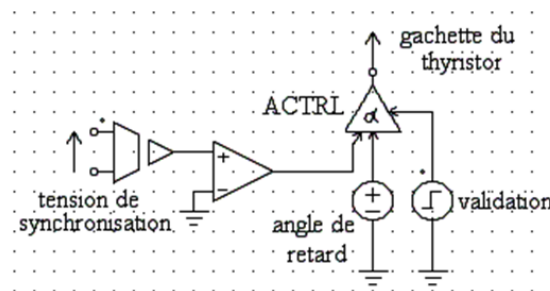
I.2 Dessin du schéma de commande

La commande d'un thyristor s'effectue par un bloc spécial ACTRL (menu Element/Other, Switch Controllers/Alpha Controller). On définit d'abord (en double-cliquant sur ACTRL (Cf. annexe : § I.3.6) la fréquence de fonctionnement de la commande (50 Hz ici) et la durée de l'impulsion en degrés.

Pour que le circuit de commande fonctionne, il faut relier les 3 entrées :

- **entrée 1** : tension de synchronisation,
- **entrée 2** : retard à l'amorçage en degrés : 1V correspond à un degré,
- **entrée 3** : entrée de validation active à l'état haut.

Le schéma de commande d'un thyristor se présentera donc sous la forme suivante :



- Dessiner le schéma de commande et effectuer les connexions nécessaires : tension de synchronisation, gâchette du thyristor. Régler le retard à l'amorçage à 45°.
- Renommer les grandeurs affichées par les appareils de mesure afin d'obtenir les mêmes notations que sur le schéma : v_R , i_c et u_c .

I.3 Grandeurs à observer (à visualiser)

Les grandeurs que l'on pourra visualiser par la suite doivent être précisées sur le schéma.



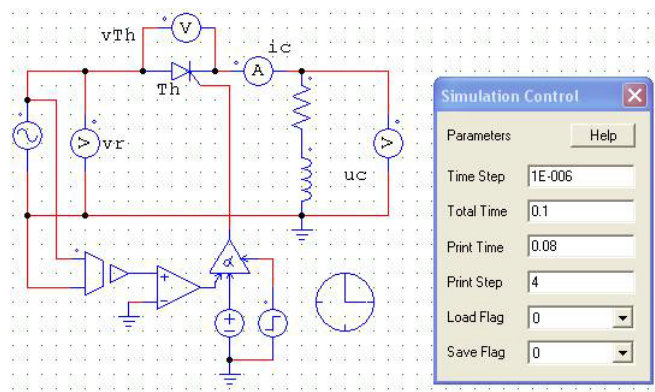
Pour visualiser un courant, il faut placer le symbole d'un ampèremètre.



Pour visualiser une tension, il faut placer le symbole d'un voltmètre.

Nous pouvons évidemment visualiser plusieurs courants et plusieurs tensions en plaçant plusieurs symboles.

- Compléter le schéma pour permettre la visualisation de la tension réseau, de la tension aux bornes de la charge et du courant dans la charge.
- Il reste enfin à préciser les paramètres de simulation (menu Simulate – simulation control). Il apparaît alors le symbole d'une horloge et les paramètres de simulation (Cf. annexe : § I.3.1) :
- Time step (pas de calcul) : il doit être très inférieur à la période ($\approx T/100 = 1 \times 10^{-6}$ s).
- Total time (durée de la simulation) : plusieurs périodes (5)
- Tprint (instant initial pour le tracé des courbes) : 0.08s.

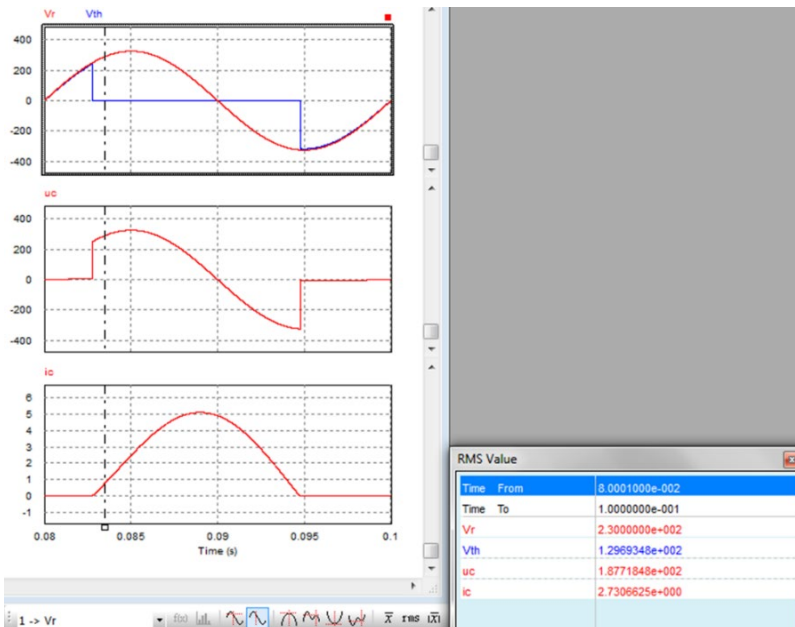


I.4 Simulation

- Lancer la simulation (menu Simulate – Run PSIM), ou cliquer sur le symbole
- Visualiser les courbes (menu Simulate – Run SIMVIEW, ou cliquer sur le symbole). Il apparaît une fenêtre rappelant les courbes disponibles (Variables available) et une fenêtre dans laquelle on place le nom des courbes que l'on souhaite tracer (Variables for display), Add→.

I.5 Exploitation (Éléments de mesure)

- Mesurer la valeur moyenne du courant dans la charge (menu Measure – Avg ou \bar{X} en bas de la fenêtre) (Cf. annexe : § I.3.10).
- Mesurer la valeur maximale du courant dans la charge (menu Measure – Max, ou l'icône correspondant en bas de la fenêtre).
- Mesurer la valeur efficace du courant dans la charge (menu Measure – RMS, ou rms en bas de la fenêtre).
- Mesurer le temps de conduction du thyristor grâce au curseur.
- Visualiser le courant dans le thyristor et la tension aux bornes du thyristor.



- Valeur moyenne du courant dans la charge : $I_{co} = 1,88A$.
- Valeur maximale du courant dans la charge : $I_{cmax} = 5,08A$.
- Valeur efficace du courant dans la charge $I_{ceff} = 2,73A$ (voir figure).
- Temps de conduction du thyristor : 11.9 ms ou 215° .
- Conditions d'amorçage d'un thyristor : $v_{Th} > 0$ et impulsion sur la gâchette.
- Condition de blocage : $i_{Th} = 0$ et $v_{Th} < 0$.

II. TRAVAIL À FAIRE EN SÉANCE

À ce niveau du TP et après avoir été familiarisé avec les différents fonctionnement du logiciel PSIM, il vous est demandé de réaliser deux types de simulations :

La première partie se base sur des simulations effectuées sur les deux modèles les plus fréquents des modules PV, dans l'objectif de tracer leurs caractéristiques principales et d'évaluer, par conséquent, la fiabilité des modèles testés.

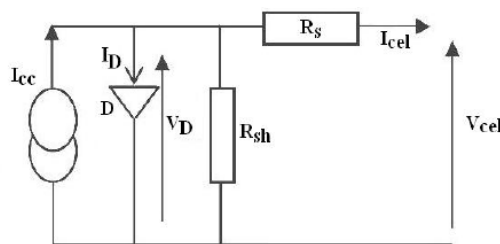
La deuxième partie couvre le fonctionnement des modules photovoltaïques (calés en série et calés en parallèle), en employant le modèle le plus détaillé proposé par PSIM.

II.1 Première partie : Modèles des panneaux PV disponible sur PSIM

PSIM propose quatre modèles différents des modules photovoltaïques :

1. **Functional modèle : modèle fonctionnel**, qui peut tracer les courbes I-V, P-V d'une cellule/module PV, à partir de ses quatre paramètres principaux, à savoir : la tension à vide, le courant en court-circuit, la tension et le courant du point MPPT. Ce modèle ne prend pas en considération les effets extérieurs (irradiation, température...etc.),
2. **Physical modèle** : il s'agit d'un modèle détaillé d'une cellules/module PV, en prenant en considération le niveau d'irradiation et de température.

Il est à noter que le circuit équivalent modélisant une cellule photovoltaïque (montré via la figure suivante) est composé d'une source de courant de court-circuit I_{cc} , d'une diode, d'une résistance parallèle R_{sh} et d'une résistance série R_s . À partir du courant de la cellule PV et de sa tension de sortie V_{cel} , on construit les caractéristiques $I_{cel}(V_{cel})$ et $P_{cel}(V_{cel})$, avec P_{cel} (en W) est la puissance de la cellule PV.

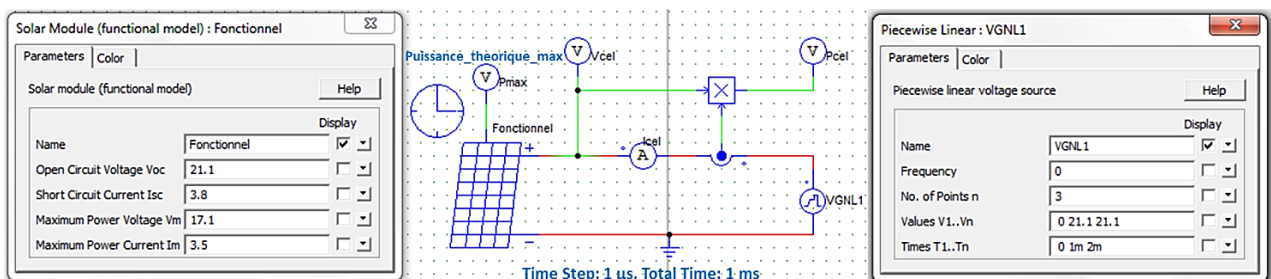


3. **Crystalline Silicon Solar Module (EN50530)**, c'est le module PV en Silicium Cristallin (cSi), développé en concordance avec le standard EN50530.
4. **Thin Film Solar Module (EN50530)**, c'est le module PV à couche mince, qui représente la seconde génération des cellules photovoltaïques ; il est développé aussi selon la norme EN50530.

Dans ce TP, nous allons focaliser le travail de cette première partie sur les modèles fonctionnel et physique des modules PV, pour consacrer la deuxième partie sur le modèle physique détaillé.

II.1.1 Simulation du modèle PV fonctionnel

Construire le schéma donné via la figure suivante, sachant que la charge du module est assurée par une source de tension en rampe, caractérisée par une source de tension linéaire par morceaux (Piecewise linear voltage source).



Après avoir lancé la simulation :

visualiser sur deux graphes différents, le courant I_{cel} et la puissance P_{cel} en fonction de la tension V_{cel} .

rechercher le point de puissance maximum (MPP) sur la courbe de puissance et comparer les résultats obtenus avec ceux du réglage, présentés via le schéma précédent :

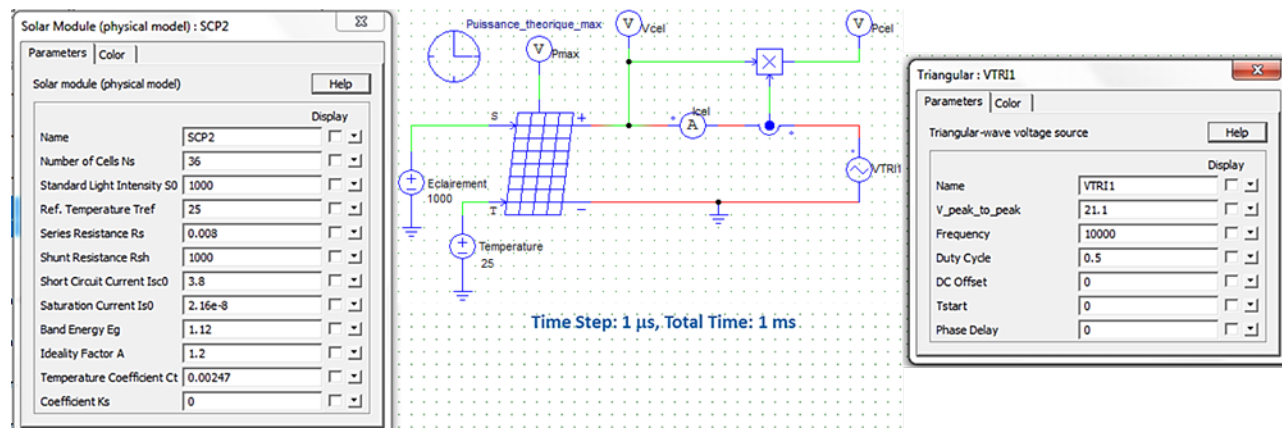
	VOC (V)	ISC (A)	Vmax (V)	Imax (A)	Pmax (W)
Réglage					
Simulation					

Commenter les résultats.

II.1.2 Simulation du modèle PV physique

En suivant les mêmes procédures du cas précédant :

construire le schéma présenté sur la figure suivante, mais cette fois-ci pour un modèle physique détaillé des panneaux solaires.



Il est à noter que l'estimation des paramètres : band énergie E_g (la bande d'énergie pour chaque cellule PV en eV, ideality factor A (appelé aussi facteur de qualité de la diode), shunt resistance (la résistance parallèle) R_{sh} et coefficient K_s qui définit l'impact d'une faible irradiation sur la température de la cellule PV, est faite comme suit :

- E_g est environ de 1.12 eV pour les cellules en Silicium Cristallines et de 2 eV pour celles en Silicium Amorphe,
- Le facteur de qualité est généralement compris entre 1 et 2. Il vaut environ 2 pour les cellules en Silicium Cristallines et vaut moins que de 2 pour les cellules en Silicium Amorphe,
- R_{sh} vaut en général plusieurs centaines voire milliers d'Ohm,
- Quant à la valeur de K_s , il est mis à zéro s'il n'est pas bien précisé.

Pour un éclairement de 1000 W/m^2 et une température de référence de 25°C , **lancer** la simulation, puis **visualiser** sur deux graphes différents, le courant I_{cel} et la puissance P_{cel} en fonction de la tension V_{cel} .

Rechercher le point de puissance maximum (MPP) sur la courbe de puissance et comparer les résultats obtenus avec ceux du réglage, présentés via le schéma précédent :

1000 w/m² 25° C	VOC (V)	ISC (A)	Vmax (V)	Imax (A)	Pmax (W)
Simulation					

Commenter les résultats.

Reprendre maintenant les mesures pour deux valeurs d'éclairement (800 et 1200 W/m^2) à la température de référence (25°C) :

Éclairement (w/m²)	Vmax (V)	Imax (A)	Pmax (W)
800			
1200			

Commenter les résultats.

Reprendre à nouveau les mesures pour deux valeurs de température de référence (0 et 50°C), pour une irradiation de 1000 W/m^2 .

Température (° C)	Vmax (V)	I _{max} (A)	P _{max} (W)
0			
50			

Commenter les résultats.

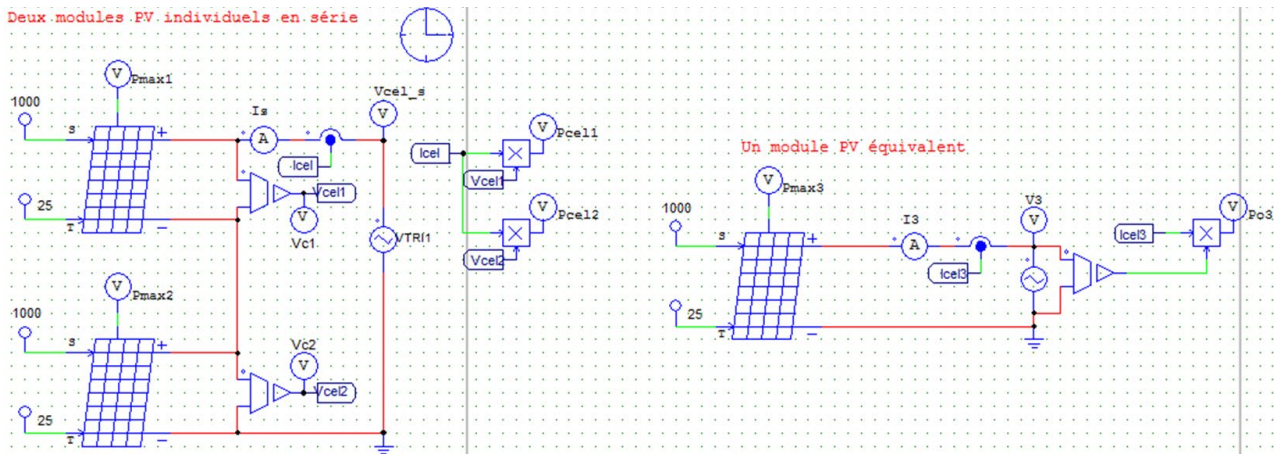
II.2 Deuxième partie : Mise en série et en parallèle des modules PV

En se basant sur les résultats de la première partie, nous procédons maintenant à étudier la mise en série et en parallèle du modèle physique des modules photovoltaïques, dans l'objectif de comparer les caractéristiques des modules individuels et connectés.

II.2.1 Mise en série des modules PV

À partir du modèle physique étudié précédemment et pour des conditions standards (un éclairement de 1000 W/m^2 et une température de référence de 25°C), **construire** la mise en série de deux modules identiques. Ensuite :

- **lancer** la simulation et visualiser sur deux graphes différents, le courant $I_{\text{cel-s}}$ et la puissance $P_{\text{cel-s}}$ en fonction de la tension $V_{\text{cel-s}}$, pour la sortie totale des deux modules ; **comparer** les résultats avec ceux du module individuel,
- **répéter** les mêmes procédures, en remplaçant les deux modules mises en série, par un seul module équivalent ; **comparer** les résultats avec le cas de la mise en série.



1000 w/m ² 25° C	VOC (V)	ISC (A)	Vmax (V)	I _{max} (A)	P _{max} (W)
Données théoriques (Module individuel)					
Simulation (mise en série)					
Simulation (module équivalent)					

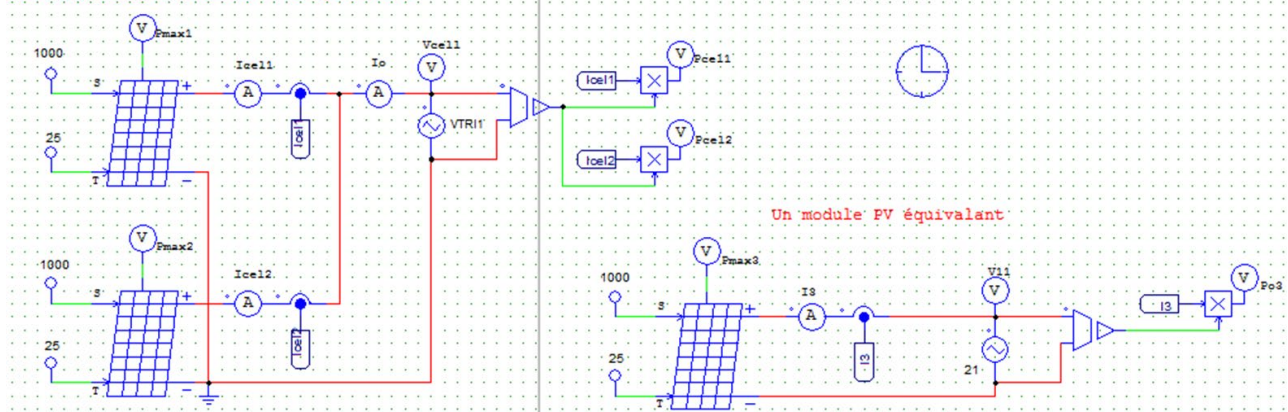
Commenter les résultats.

II.2.1 Mise en parallèle des modules PV

À partir du modèle physique individuel étudié dans la première partie précédente et pour les mêmes conditions standards, **construire** la mise en parallèle de deux modules identiques. Ensuite :

- **lancer** la simulation et visualiser sur deux graphes différents, le courant I_{cel} et la puissance P_{cel} en fonction de la tension V_{cel} , pour les deux modules ; **comparer** les résultats avec ceux du module individuel,
- **répéter** les mêmes procédures, en remplaçant les deux modules mises en parallèle, par un seul module équivalent ; **comparer** les résultats avec le cas de la mise en parallèle.

Deux modules PV individuels en parallèle



1000 w/m ² 25° C	VOC (V)	ISC (A)	Vmax (V)	Imax (A)	Pmax (W)
Données théoriques (Module individuel)					
Simulation (mise en parallèle)					
Simulation (module équivalent)					

Commenter les résultats.

ANNEXE

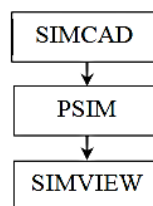
OUTIL DE SIMULATION : PSIM

I.1 Généralités

Il existe de nombreux logiciels de simulation électrique. Certains sont conçus tout particulièrement pour les circuits d'électronique de puissance : comme Saber, Matlab/Simulink/Simscap-Sim_Power_System...etc. Le logiciel mis à votre disposition, PSIM, fait donc partie de cette dernière catégorie.

Il s'agit d'un ensemble logiciel formé de trois modules liés, montré via la figure suivante :

- un éditeur de schéma, SIMCAD, servant à décrire l'ensemble du système à simuler,
- le simulateur électrique proprement dit, PSIM,
- un programme d'affichage graphique des résultats de simulation, SIMVIEW.



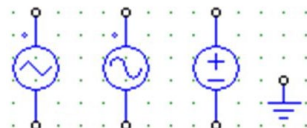
I.2 Description du système à simuler

La description du système à simuler est réalisée graphiquement sous forme de schéma électrique. Une barre d'outils, en bas de l'écran, permet d'accéder rapidement à la plupart des éléments nécessaires.

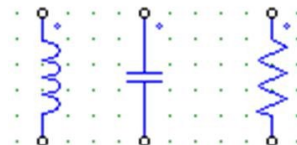


Voici quelques éléments parmi les plus fréquemment employés :

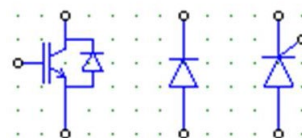
- **Sources de tension**, triangulaire, sinusoïdale et continue :



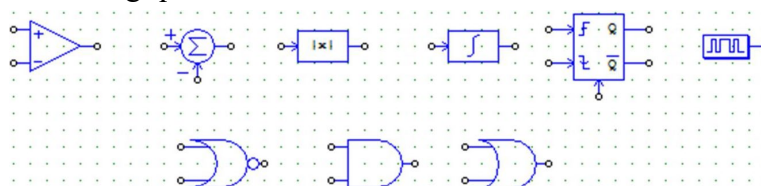
- **Éléments passifs**, inductance, condensateur et résistance.



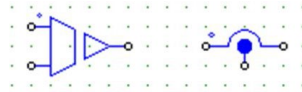
- **Interrupteurs**, IGBT, diode, thyristor.



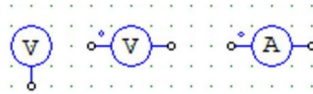
- **Éléments propres au circuit de commande**, comparateur, additionneur-soustracteur, intégrateur, éléments logiques...etc.



- **Capteurs**, pour l'interfaçage du circuit de puissance vers le circuit de commande



- **Sondes** de tension et de courant, pour rendre les résultats de simulation accessibles dans le logiciel d'affichage SIMVIEW



- **Paramètres de simulation**, pas de calcul et durée de la simulation

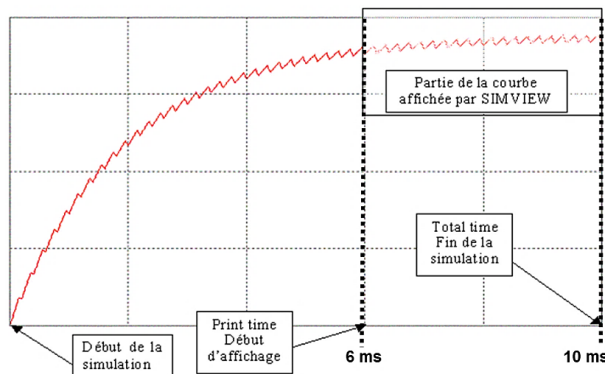
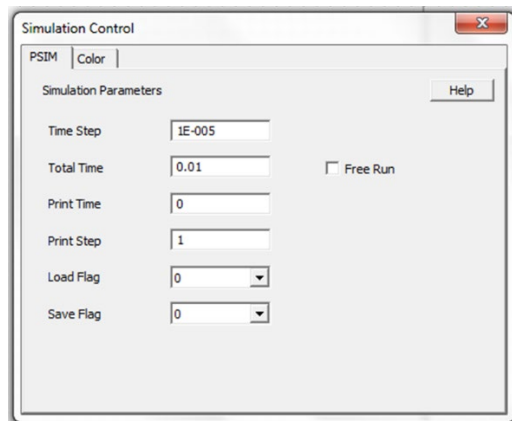


I.3 Techniques de mesure utilisées par PSIM

Les techniques de mesure les plus couramment utilisées par PSIM sont :

I.3.1 Paramètres de simulation

Avant de lancer la simulation, il est nécessaire de préciser la valeur des paramètres de simulation (Simulation Control). Dans le menu principal, choisir « Simulate », puis « Simulation Control ».



Les grandeurs à préciser sont :

- le pas de calcul (Time Step),
- le temps total simulé (Total time),
- le début d'affichage des courbes (Print Time),
- le pas d'affichage (Print Step).

Le logiciel de visualisation SIMVIEW affiche les courbes correspondants à une partie des points calculés, de (Print time : début d'affichage) à (Total time : temps total). Dans l'intervalle [Print time - total time], il est possible d'afficher partiellement les points calculés grâce au paramètre (Print Step : pas d'affichage). La valeur entière (n) affectée au pas d'affichage, permet d'afficher un point pour (n

points) calculés. Cela permet d'obtenir un nombre de points affichés à l'écran inférieur à la limite imposée par la version de démonstration à 6000 points.

Autres paramètres :




Save flag : lorsqu'il est mis à 1, cela provoque la sauvegarde du dernier point de calcul dans le fichier : nom_de_schéma.ssf. Nous pouvons ensuite lancer une 2^{ème} simulation, débutant avec des conditions initiales non nulles : valeurs obtenues à la fin de la 1^{ère} simulation.

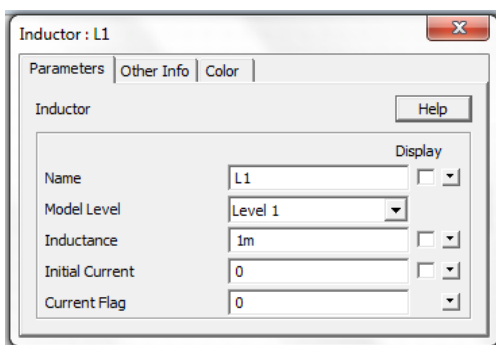
Load flag : à mettre à 1, pour démarrer la simulation avec des valeurs initiales non nulles.

En effet, le début de la simulation n'est pas paramétrable : cela correspond à $t = 0$, si les conditions initiales sont nulles (Load flag= 0). PSIM effectue les calculs en incrémentant le temps de la valeur du pas de calcul jusqu'à atteindre la valeur finale (Total time).

I.3.2 Paramétrage des composants

Pour utiliser un élément quelconque, il faut sélectionner le symbole concerné, puis le placer dans schéma de simulation.

Attention : après avoir placé chaque élément du montage, il faut cliquer sur le bouton (Échap) du clavier du PC, pour pouvoir passer à l'étape suivante. Autre manière consiste à appuyer sur le symbole  puis sur . Pour effectuer le câblage, nous relierons ces composants (éléments) avec le symbole .



Les paramètres de la boîte de dialogue de chaque composant sont utilisés lors de la simulation. Pour chaque composant on trouve au moins 3 rubriques :

- le nom (modifiable)
- la valeur numérique
- le drapeau courant (Current Flag)

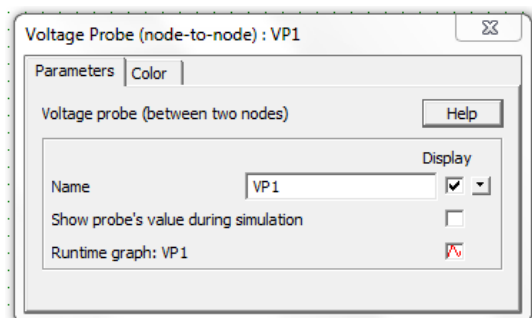
Ces renseignements apparaissent sur le schéma, si la case à cocher (Display) correspondante est validée.

La valeur numérique peut être précisée en utilisant la notation scientifique. Les puissances de 10 sont remplacées par e, les nombres décimaux sont précisés avec un point (et non une virgule) : $3.4e4 = 3,4.10^4$.

Les puissances de 10 multiples de 3 peuvent être écrites en utilisant les symboles suivants : $G \equiv 10^9$, $M \equiv 10^6$, k ou $K \equiv 10^3$, $m \equiv 10^{-3}$, $\mu \equiv 10^{-6}$, $n \equiv 10^{-9}$, $p \equiv 10^{-12}$.

I.3.3 Renommer les variables

Lors de la création du schéma, le nom des composants et appareils de mesure est automatiquement choisi par PSIM.



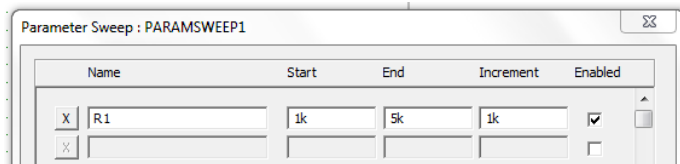
Pour modifier le nom d'une variable, il suffit de double-cliquer sur le composant : une boîte de dialogue apparaît. Il suffit de taper le nom souhaité (Name). Le nom de la variable apparaît sur le schéma, si la case à cocher (Display) correspondante est validée

I.3.4 Courbes paramétrées

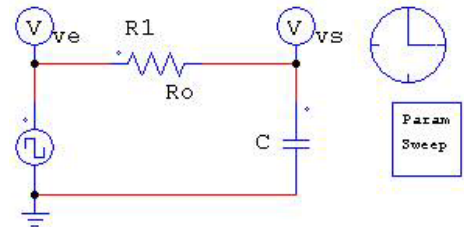
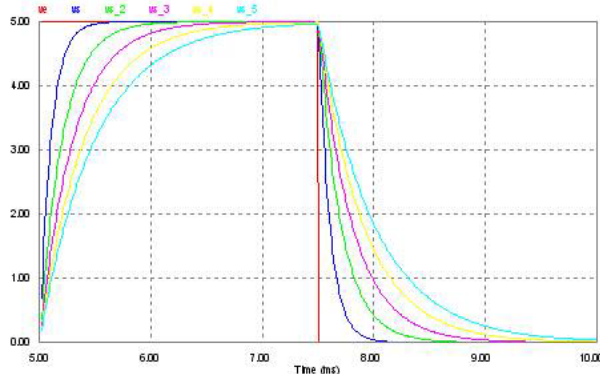
Intérêt : tracer sur un même graphe l'évolution d'une variable (courant, tension...etc.), correspondant à plusieurs valeurs (paramètres) d'un composant.

Exemple : Évolution de la tension V_s aux bornes du condensateur (montré dans le schéma suivant), pour plusieurs valeurs de R_L .

Pour obtenir un réseau de courbes, il faut placer sur le schéma l'élément «Param Sweep», (bibliothèque Elements/other).



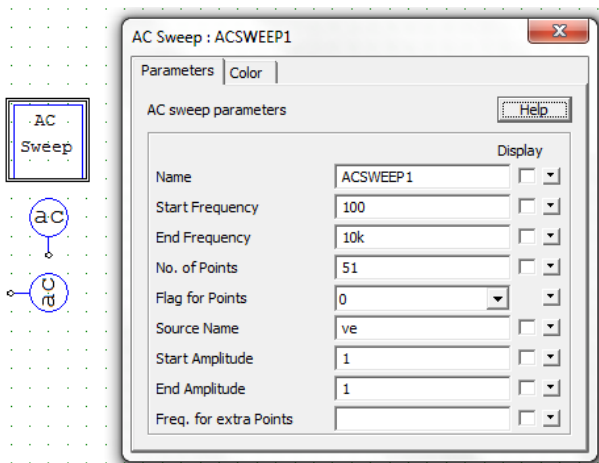
Pour l'exemple ci-dessous, la résistance R_L a pour valeur le paramètre R_o . R_o prend les valeurs de $1k\Omega$ (Start value) à $5k\Omega$ (End value) par bond de $1k\Omega$ (Increment step).



I.3.5 Tracé de lieu de Bode

Pour obtenir un lieu de Bode, il faut placer sur le schéma un ou plusieurs capteurs :

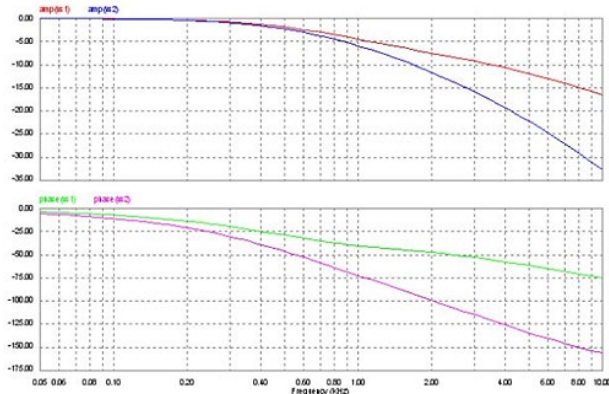
- de type «AC Sweep probe», (bibliothèque Elements/other-probes)
- un élément de type « AC SWEEP » (bibliothèque Elements/other)



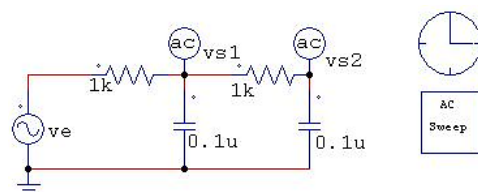
Les capteurs (AC Sweep probe) définissent les courbes étudiées.

AC SWEEP permet de préciser les paramètres de simulation spécifiques au lieu de Bode et en particulier :

- les fréquences minimale et maximale,
- le nombre de points (fréquences) pour le calcul et le tracé du lieu de Bode,
- la grandeur d'entrée (Source Name).

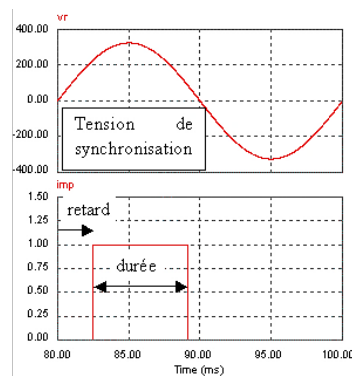
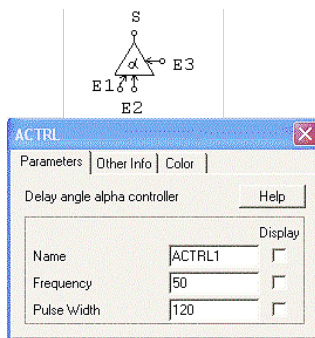


Après simulation, on obtient les digrammes de Bode des fonctions de transferts (V_{s1}/V_e , V_{s2}/V_e) du circuit présenté dans le schéma dernier.



I.3.6 Commande de thyristors

La commande d'un thyristor s'effectue au moyen du module "ACTRL" (bibliothèque Elements/other/switch-controller/Alpha Controller).



Le module "ACTR" est paramétré par:

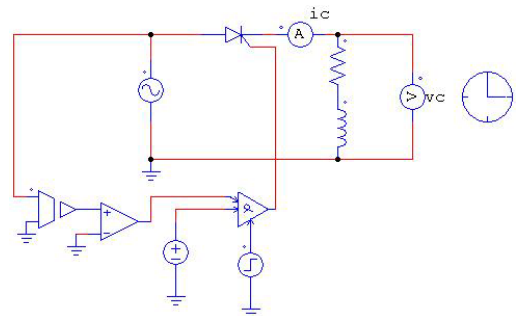
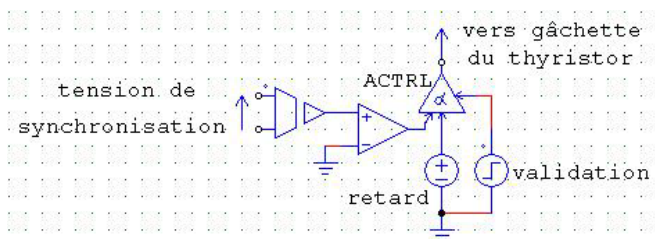
- la fréquence de fonctionnement: souvent égale à la fréquence des tensions d'alimentation : 50Hz,
- la durée de l'impulsion (Pulse Width) en degré : 120° par exemple (à ne pas confondre avec le retard à l'amorçage (α) des impulsions par rapport au passage par zéro de la tension de synchronisation).

Maintenant, pour que le module "ACTRL" fonctionne, il faut relier 3 entrées :

- **Entrée 1** : tension de synchronisation,
- **Entrée 2** : retard à l'amorçage en degrés, réglé par une tension : 1 V correspond à un retard de 1 degré,
- **Entrée 3** : entrée de validation active à l'entrée haut.

La mise en forme de la tension de synchronisation est effectuée par un comparateur et il est préférable d'isoler la tension de synchronisation.

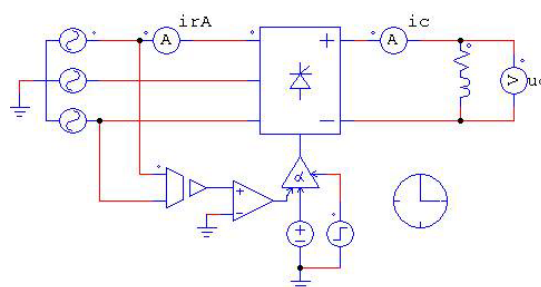
Le schéma d'un bloc de commande d'un thyristor et le montage correspondant se présentent donc sous la forme suivante :



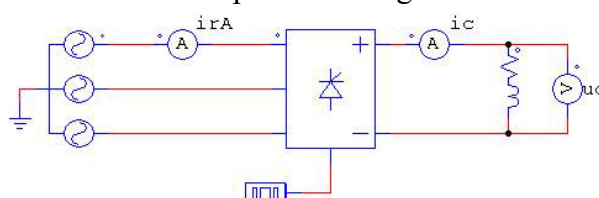
I.3.7 Utilisation des modules

Au-delà de quatre thyristors à commander, il devient difficile de réaliser la simulation à cause des limitations de la version de démonstration. Si on ne s'intéresse pas au détail du fonctionnement du convertisseur, on peut économiser des composants en utilisant les modules : pont monophasé, pont triphasé, demi-pont triphasé et demi-pont hexaphasé ; un seul circuit de commande suffit pour commander le module.

Exemple: PD3 tout thyristor :



On peut gagner encore davantage de composants au niveau de la commande en utilisant (Gating Bloc : (chemin : Elements/Power/Switches/Gating, ou directement à partir de la barre de menu en bas de l'écran). On précise uniquement la fréquence de fonctionnement, le nombre de commutation sur une période et les angles de commutation exprimés en degré.



I.3.8 Transformateurs

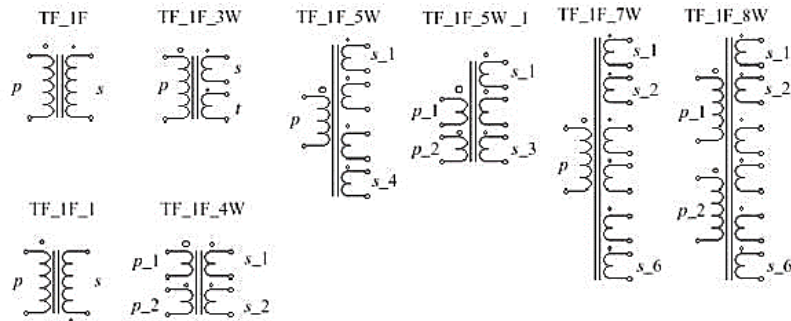
Il existe deux modèles du transformateur monophasé parfait et de nombreux modèles de transformateurs monophasé et triphasé à un ou plusieurs enroulements secondaires (chemin : Elements/Power/Transformer).

Le premier indice précise s'il s'agit d'un transformateur monophasé ou triphasé. Le 2^{ème} indice correspond au nombre total d'enroulements par phase :

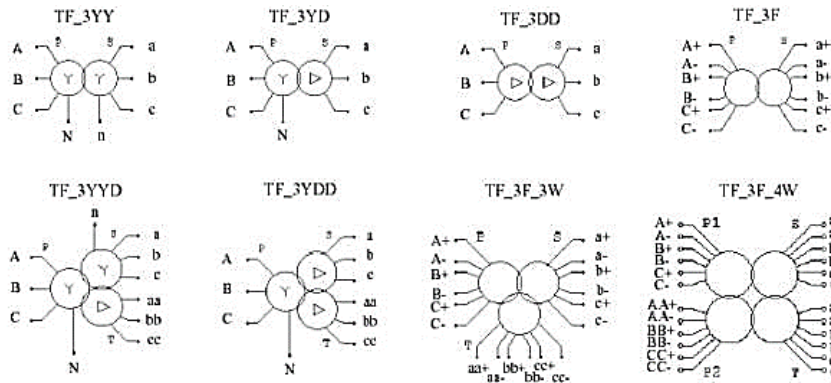
1-ph-3-w est un transformateur monophasé à trois enroulements (un enroulement primaire et deux enroulements secondaires).

3-ph-3-w est un transformateur triphasé à trois enroulements par phase.

Transformateurs monophasés



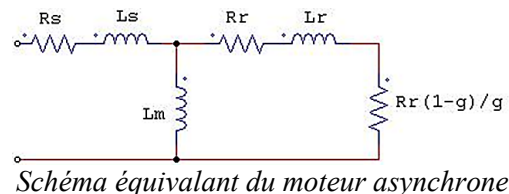
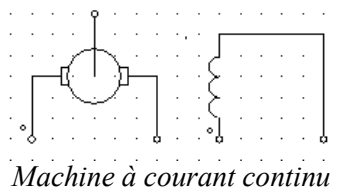
Transformateurs triphasés



I.3.9 Machine à courant continu, Machine asynchrone

Un seul modèle de machine à courant continu est disponible (montré sur la figure ci-après) : DC Machine (bibliothèque power/motor drive module).

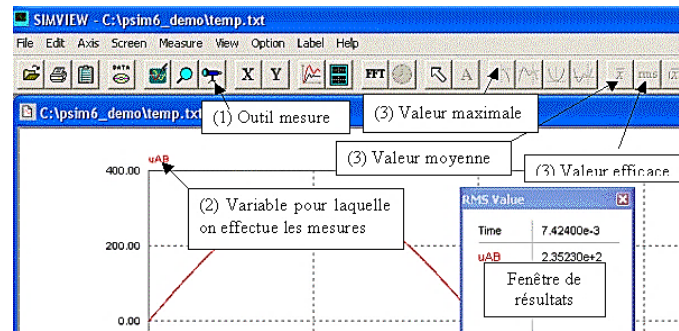
D'autre part, les paramètres à préciser pour la modélisation du moteur asynchrone (à rotor bobiné ou à cage : bibliothèque/Elements/ power/Motor drive module) correspondent, en régime permanent, au schéma équivalent montré via la figure suivante.



I.3.10 Valeurs moyenne, efficace, maximale...

La mesure des valeurs moyenne, efficace, maximale, minimale, est réalisée dans Simview. La mesure s'effectue en temps temps. Il faut :

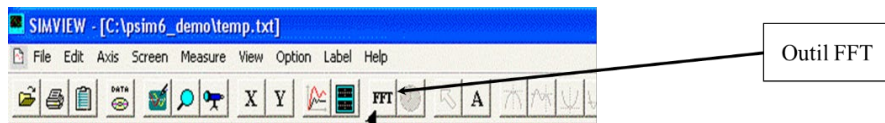
1. d'abord sélectionner l'outil (mesure) dans la barre d'outils,
2. ensuite sélectionner la variable pour laquelle on souhaite effectuer la mesure (coin supérieur gauche de la fenêtre). Les icônes permettant d'effectuer les mesures deviennent validés.
3. enfin choisir le type de mesure à effectuer : valeur moyenne, efficace, maximale, minimale.



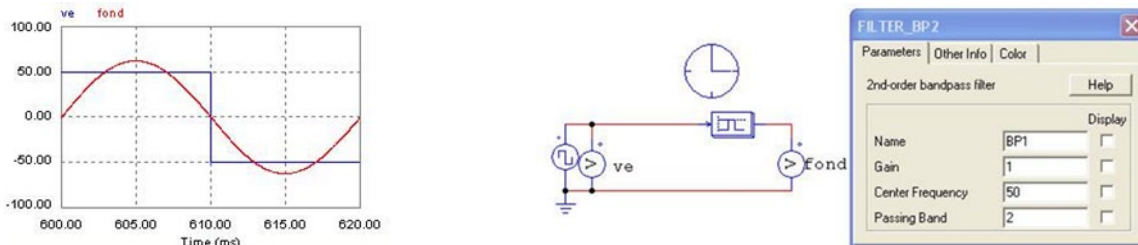
La mesure demandée est alors affichée dans une fenêtre de résultats.

I.3.11 Harmoniques

Pour obtenir le spectre d'une grandeur, il faut choisir l'outil FFT dans SIMVIEW. On obtient alors l'amplitude et la fréquence des différents harmoniques présents dans le signal.



I.3.11 Tracé du fondamental (Filtrage)



Nous pouvons tracer le fondamental sans calculer son amplitude ni sa phase. Il suffit de placer un filtre passe bande (2nd order bandpass : bibliothèque Elements/Control/filters) centré sur la fréquence du fondamental, de bande passante (Passing Band) très faible et de gain égal à 1). Pour un signal non sinusoïdal de fréquence 50Hz, il faut attendre environ 0,6s.

I.3.12 Fichiers créés par PSIM

Deux fichiers créés par PSIM sont associés à chaque montage :

- *.sch : fichier contenant les données du schéma,
- *.txt : fichier contenant les résultats de la simulation.

D'autres fichiers peuvent être présents :

- *.smv : fichier binaire créé par SIMVIEW,
- *.ssf : sauvegarde du dernier point de calcul (Save Flag = 1),
- *.fra : fichier contenant les résultats d'une simulation avec tracé du lieu de Bode,
- *.ini : fichier de configuration des courbes dans SIMVIEW
- *.tbl : fichier de configuration du module de commande PATTCTRL

Les fichiers *.txt, *.ssf, *.fra, *.ini, *.tbl sont des fichiers texte pouvant être consultés (et modifiés) par un éditeur de texte.

Pour créer le fichier *.ini, il suffit de sélectionner « Save Settings » dans le menu (File) de SIMVIEW.

