

### IV.1. Introduction

Les convertisseurs statiques comportant des processus de puissance de commutation produisent et émettent des perturbations EM hautes fréquences. Ces perturbations peuvent se mêler avec les signaux utiles et causer des défauts de fonctionnement dans un certain nombre d'autres dispositifs ou systèmes électroniques, y comprises les commandes industrielles, les systèmes de communication, les applications médicales, militaires et véhiculaires. Dans l'électronique de puissance, les perturbations EM se propagent par la conduction dans les lignes reliant les équipements de puissance. Dans ce chapitre nous allons présenter les caractéristiques et les origines des interférences électromagnétiques (IEM) dans les convertisseurs DC/DC ainsi que leurs chemins de propagations. Nous nous intéressons ensuite à l'étude de l'association panneau solaire-hacheur Boost en examinant leurs signification CEM.

### IV.2. Le logiciel PSpice

Le PSpice est un logiciel de simulation mixte (analogique et/ou logique) basé sur le langage de simulation Spice (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*), qui fonctionne sur les ordinateurs personnels, d'où la première lettre «P» dans son nom. Le nom est alors un acronyme pour (PSpice : *Personal Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*).

La compagnie originale MicroSim l'inventeur du produit Spice a été achetée par OrCAD Incorporation, cette dernière a développé une interface Schématisée pour rendre possible de dessiner un circuit électrique dans l'environnement Windows.

En fait, la compagnie OrCAD Incorporation fournit un ensemble d'outils appelé **Capture CIS** (Component Information System) qui permet de faire l'analyse des circuits électriques à l'aide d'un ordinateur personnel. Ce nouveau logiciel remplace PSpice anciennement utilisé pour la simulation de circuits électriques. La compagnie OrCAD Incorporation a été ensuite achetée par Cadence Design System.

A cause de sa puissance de simulation, la richesse son Library en composants électronique nous avons utilisé ce logiciel pour la modélisation des cellules solaires et la simulation d'un panneau solaire en associant plusieurs modèles des cellules créées. Ainsi, nous avons utilisé ce logiciel pour la caractérisation des interférences électromagnétiques (IEM) engendrées par un convertisseur DC/DC et propagée vers la source d'alimentation.

OrCAD PSpice peut être utilisé pour simulation de deux manières différentes, dessiner le circuit désiré ou le représenté sous forme d'un code. Dans ce projet, nous avons utilisé la simulation en circuit. Dans la figure (IV.1) nous représentons la fenêtre du PSpice OrCAD Capture, c'est la page d'accueil la c'est la page d'accueil la ou nous pouvons créer et simuler notre projet c'est la

page d'accueil là où nous pouvons créer et simuler notre projet nous pouvons créer et simuler notre projet [16].

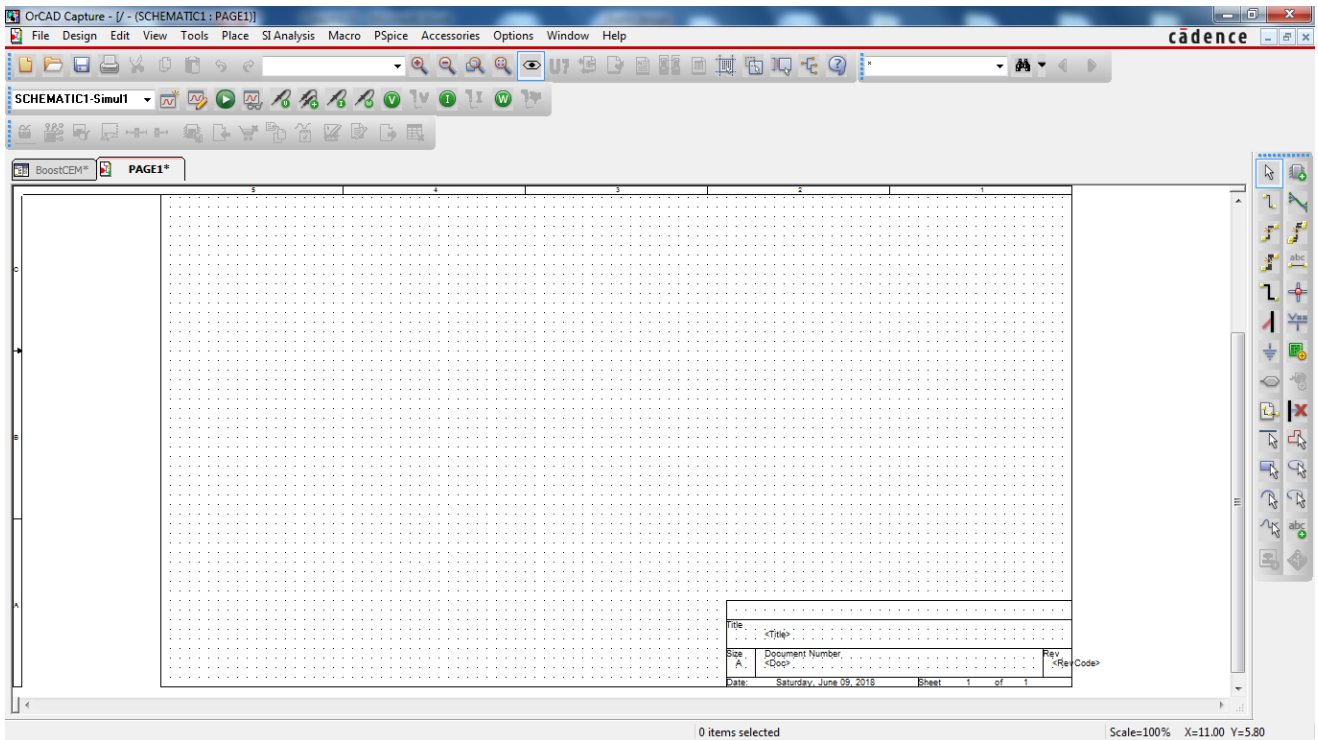


Fig. IV.1 : Fenêtre de démonstration PSpice -OrCAD Capture version 16.6 [18].

### IV.3. Simulation d'un panneau solaire sous PSpice

Les modules ou panneaux solaire actuels sont généralement composés de 36 cellules (18 V) ou 72 cellules PV en série (36 V). Les deux dimensions de cellules les plus répandues sont des cellules de 125x125 (5 pouces) ou 150x150 (6 pouces).

Pour réaliser cette modélisation, nous avons utilisé PSpice comme outil de tests et de simulation.

#### IV.3.1. Modélisation d'une cellule Photovoltaïque

Dans notre simulation nous avons utilisé un modèle d'une cellule photovoltaïque très utilisé aux littératures, ce modèle à un comportement équivalent à une source de courant qui modélise la conversion du flux lumineux en énergie électrique shuntée par une diode qui modélise jonction PN. Le modèle est complété par une résistance série  $R_s$  due à la contribution des résistances de contacte et de Connexions de la jonction et des contacts face avant et arrière et une résistance parallèle ou shunt  $R_p$  qui provient des contacts métalliques et des résistances de fuite sur la périphérie de la cellule [19].

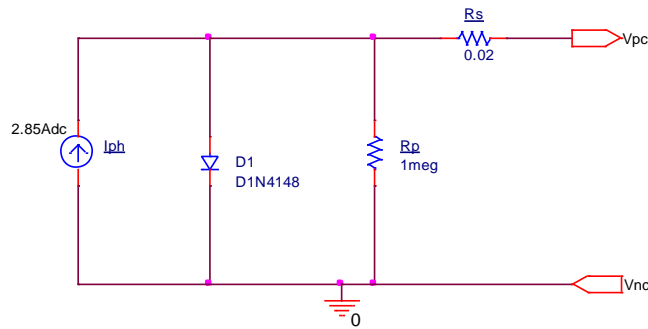


Fig. IV.2 : Modèle d'une cellule PV à 4 paramètres sous PSpice

**IV.3.2. Modélisation d'un panneau solaire**

Nous avons choisi le modèle photovoltaïque BP SX 150. La série SX de BP Solaire fournit une puissance photovoltaïque rentable destinée à un usage général par exploitation directe de charges courant continu, ou de charges courant alternatif sur les systèmes munis d'onduleur. Le module est composé de 72 cellules solaires multi cristallines en silicone connectées en série pour produire une puissance maximale de 150 W dans les conditions de mesures normalisées à une température à la jonction des cellules est de 25 °C (ou 298°K) et reçoit du soleil à une puissance de 1000W/m<sup>2</sup> (ceci correspond approximativement à une exposition perpendiculaire aux rayons du soleil le midi par temps clair) [6],[19].

**Tableau IV.1 : Caractéristiques électriques du module photovoltaïque BP SX 150.**

Puissance ( $P_{max}$ )	150 W
Tension à $P_{max}$ ( $V_{pmax}$ )	34.5 V
Courant à $P_{max}$ ( $I_{pmax}$ )	4.35 A
Tension à circuit ouvert ( $V_{co}$ )	43.5 V
Courant de court-circuit ( $I_{cc}$ )	4.75 A
Rendement	14.90 %
Nombre de cellule	72 monocristalline

Dans la figure (VI.3) nous représentons un panneau solaire réalisés sous PSpice par l'association des modèles des cellules PV étudiées précédemment.

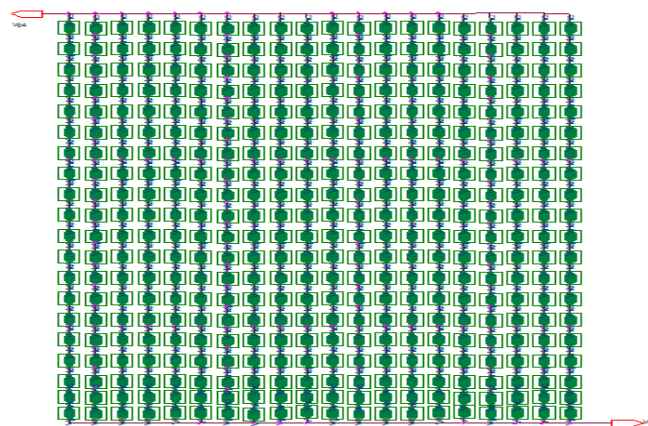
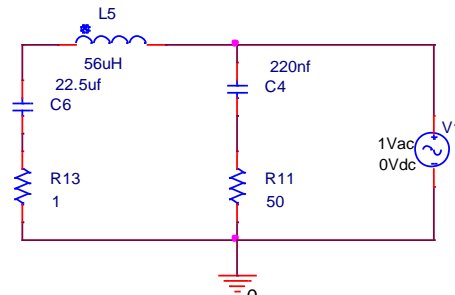


Fig. IV.3 : Modélisation d'un panneau solaire sous PSpice

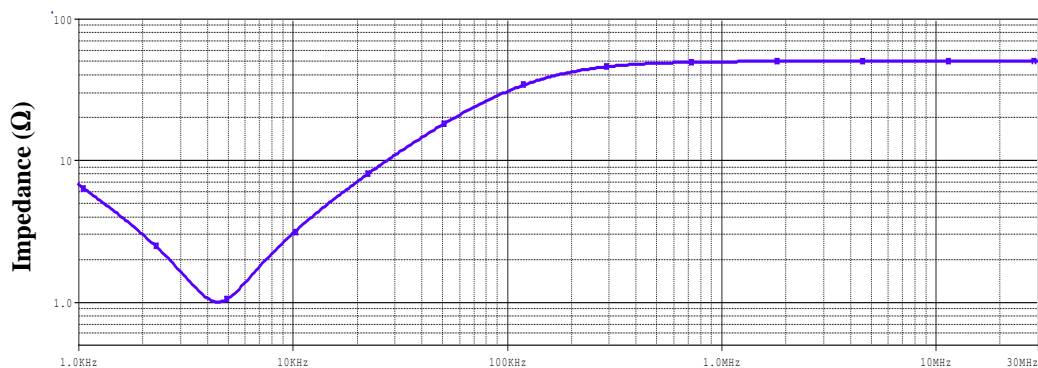
#### IV.4. Mesures et évaluations normatives des IEMs

Les mesures et les évaluations normatives des IEMs sont assurées par le Réseau Stabilisateur d'Impédance de Ligne (RSIL). Dans ce contexte, nous allons présenter une structure de RSIL simplifiée et souvent utilisée et qui assure une satisfaction entière sur toute la plage fréquentielle normative. Cette structure est spécifiée par la norme EN-55022 publiée par le CISPR, comme il est illustré à la figure (IV.4) [17].



**Fig. IV.4 : Simulation fréquentielle d'une structure du RSIL spécifiée par la norme EN-55022 du CISPR**

Dans la figure (IV.5) nous présentons la simulation sous PSpice de l'évolution fréquentielle de l'impédance de cette structure du RSIL.



**Fig. IV.5 : Evolution fréquentielle de l'impédance du RSIL de CISPR**

D'après le résultat obtenu on constate que le comportement fréquentiel du RSIL change en fonction de la fréquence, ce changement est dû à ses éléments capacitifs et inductifs. Mais à partir de la fréquence (150kHz) spécifiée par la norme adoptée on remarque que l'impédance du RSIL reste constante.

#### IV.5. Caractérisations des IEMs de l'association panneau solaire-Boost

Nous nous intéressons dans notre étude à l'aspect CEM des structures les plus simples des hacheurs. La première étape pour la prédiction de la source des perturbations EM nous avons présenté à la figure (IV.6) un schéma électrique de cette source inclus la cellule de commutation, le réseau stabilisateur d'impédance de ligne RSIL, les chemins de propagations des perturbations

électromagnétiques et les composants de liaison sachant que la victime aux interférences électromagnétiques est le panneau solaire [16].

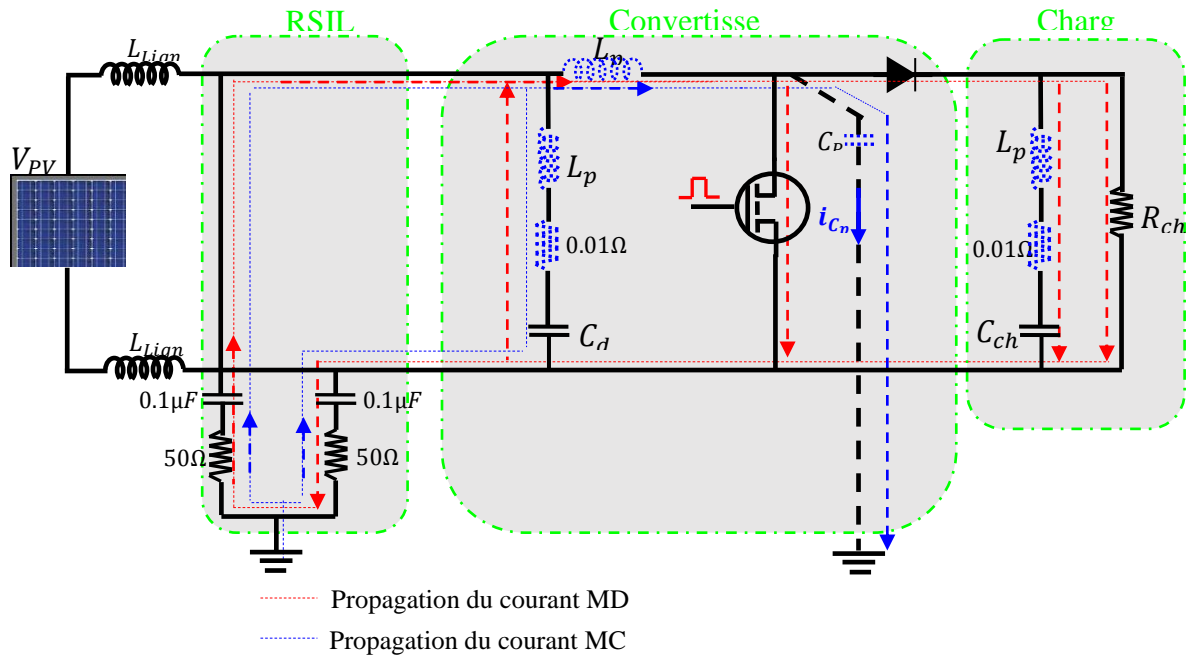


Fig. IV.6 : Chemins de propagation des courants parasites en mode (MD) et en mode (MC)

Généralement les convertisseurs DC/DC comportent des cellules de commutation génératrices des créneaux à forts  $dV/dt$  et  $dI/dt$ , des éléments parasites tels que les inductances parasites entre composants et les capacités de mode commun. Ces éléments forment de multiples circuits du second ordre, ce qui implique l'apparition d'un phénomène oscillatoire très rapide. Le fonctionnement de ces dispositifs en découpage produit alors des variations brusques de tension et de courant.

Dans ce cas-là, les perturbations conduites dus à la commutation des courants des interrupteurs (MOSFET) peuvent se propager suivant deux modes différents, le mode commun (MC) et le mode différentiel (MD) et traversent en fin les deux résistances équivalentes de mesure du RSIL placés en série [16].

#### IV.6. Examen des IEMs de l'association panneau solaire-Boost

Afin d'examiner les perturbations EM engendrées par ce type de convertisseurs, nous avons simulé sous PSpice un hacheur Boost dont le schéma de principe représenté à la figure (IV.7). Nous avons utilisé dans cette étude un MOSFET de type IRF150 et une diode de type BYT12P-1000. Le MOSFET est commandé par un créneau d'un rapport cyclique fixe et d'une fréquence de commutation de 5kHz. Pour un raisonnement CEM, des inductances parasites entre chaque composant ( $L_2, L_3, L_4$ ) et des capacités parasites ( $C_p$ ) sont prises en compte. Nous avons exploité directement les valeurs utilisées dans la littérature.

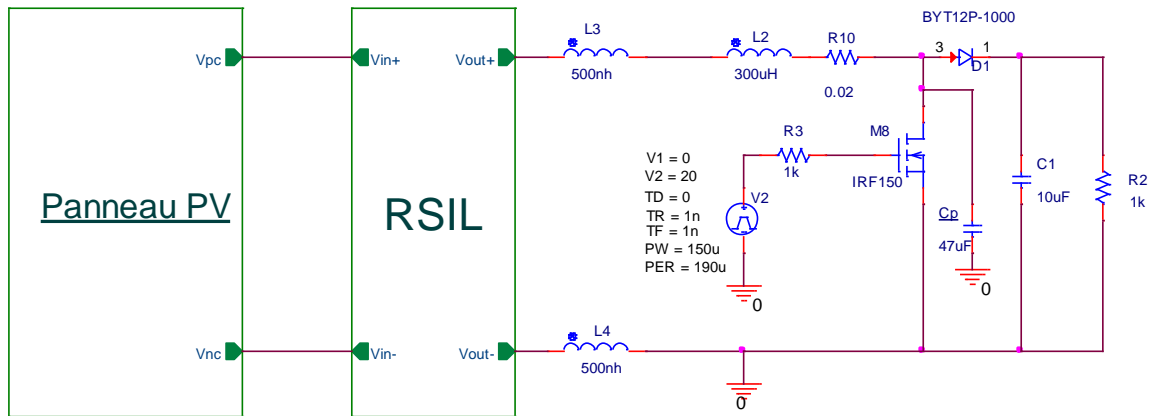


Fig. IV.7 : Association d’un panneau solaire à un hacheur Boost

A la figure (IV.8), nous présentons la courbe de variations temporelles, relative au courant  $i_{C_p}$  appelé courant parasites qui traverse la capacité de parasite  $C_p$ . Dans ce cas, les courants de parasites se propagent via les capacités de parasites créées entre chaque point chaud soumis à des variations de tension importantes et rapides (Drain du MOSFET) et le plan de masse, et via les capacités parasites entre le transistor et le radiateur[15],[19].

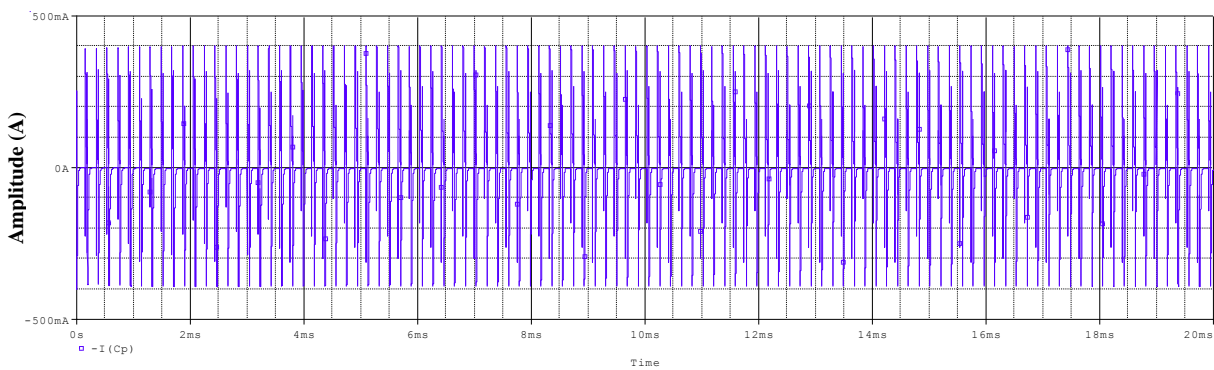
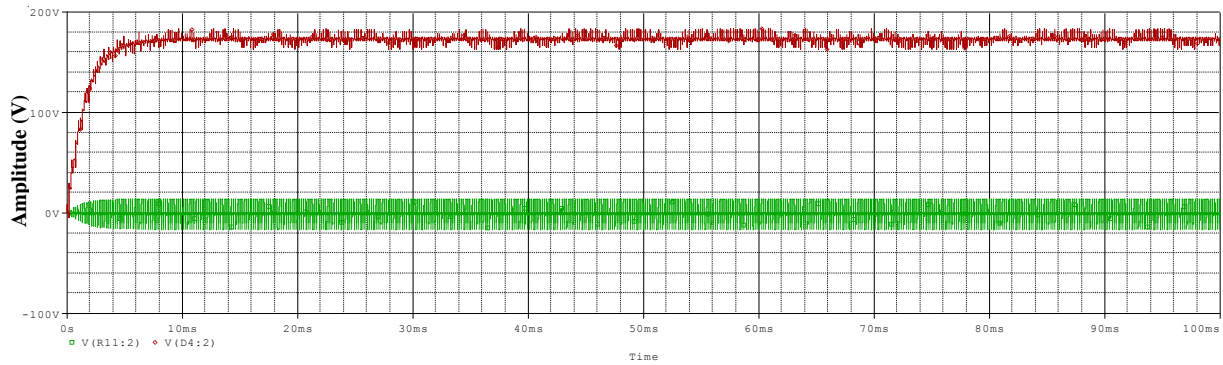
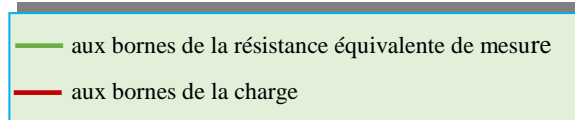


Fig. IV.8 : Courant traversant le condensateur de parasite  $C_p$

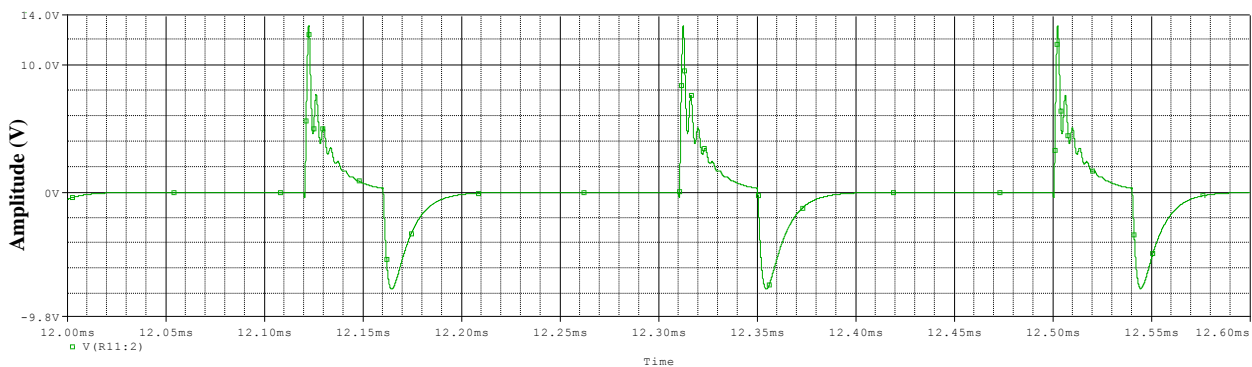
La figure (IV.9) illustre la tension aux bornes de la charge du hacheur et les perturbations conduites canalisées vers la résistance équivalente de mesure du RSIL correspondant à l’association panneau solaire-Boost.



#### Variation temporelle de la tension correspond à l'association panneau-Boost



Lorsqu'on effectue un zoom correspondant à l'intervalle de temps de la commutation, un phénomène oscillatoire périodique est visible. Ce phénomène est dû à la commutation brutale des interrupteurs (MOSFET) et à l'effet des inductances de connexion et les composants passifs du convertisseur. Sa fréquence est très élevée, de l'ordre de  $300\text{kHz}$  et d'amplitude de plus de  $10\text{Volts}$  de crête.

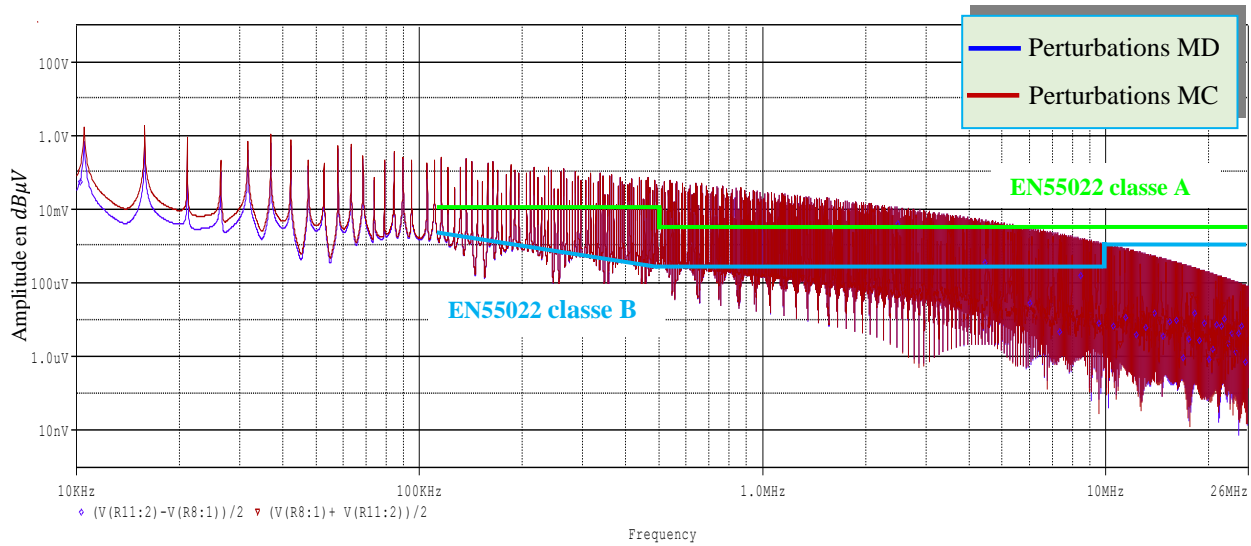


**Fig. IV.10 : Zoom sur la tension aux bornes de la résistance équivalente de mesure**

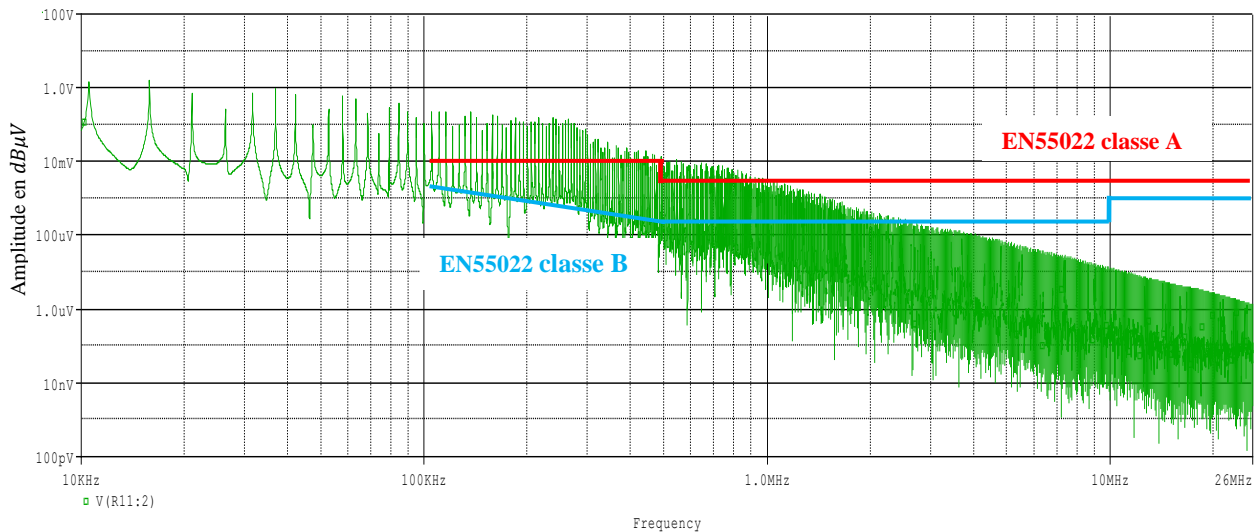
Le résultat présenté aux figures (IV.9) et (IV.10) nous permet d'évaluer le niveau spectral des perturbations dues à l'association panneau-hacheur. On remarque clairement la variation rapide de la tension aux bornes de la résistance équivalente du RSIL. Il apparaît sur la partie zoomée de la figure (IV.10) la forme oscillatoire des perturbations lors de commutation du MOSFET (off-on).

Afin d'illustrer le niveau spectral de ces perturbations et le comparer avec le gabarit des spécifications des normes relatives aux perturbations conduites concernées, le recours à la représentation spectrale est indispensable.

Les figures suivantes montrent les spectres des perturbations en mode différentiel et de mode commun sont illustrés à la figure (IV.11). Le spectre des perturbations totales est illustré à la figure (IV.12).



**Fig. IV.11 : Spectre des perturbations en MD et MC correspond à l'association panneau-Boost**



**Fig. IV.12 : Spectre des perturbations totales correspond à l'association panneau-Boost**

D'après les résultats des simulations représentés dans les figures (IV.11) et (IV.12) nous constatons que le spectre des perturbations totales et ceux du mode commun et mode différentiel dépassent le niveau du gabarit imposé par la norme EN55022 classe A et B. nous remarquons aussi que les spectres dans les trois cas sont très riches en harmoniques dans la gamme des hautes fréquences. D'autre part, les spectres des perturbations MC et MD représentent une légère différence entre eux dans les basses fréquences et cela dû au nombre des éléments de parasites utilisés qui est très réduit (un seul condensateur  $C_p$ ).



### IV.7. Conclusion

Ce chapitre a été consacré, dans un premier temps, à la modélisation d'un panneau solaire sous Pspice en commençant par la simulation d'une cellule photovoltaïque. Nous avons pu prouver l'efficacité de la modélisation des systèmes photovoltaïques sous Pspice.

Ensuite nous avons entamé l'étude des interférences électromagnétiques dues d'un convertisseur DC/DC associés à un panneau solaire. Nous avons montré que la source responsable sur les perturbations EM est la cellule de commutation (MOSFET) et les éléments constituant notre convertisseur ainsi que les éléments parasites.

D'après les spectres obtenus, la technique de superpositions des spectres des perturbations dues au hacheur et le gabarit des limites imposée par la norme adoptée dans notre travail a été bien mise en évidence. Nous avons remarqué que le spectre obtenu dans la gamme des fréquences 150KHz – 30MHz correspond aux perturbations engendrées par le hacheur est dépassé limites de la norme concernée.