



Filtrage de l'émission conduit produite par un convertisseur AC-DC Flyback

L'objectif de ce bureau d'étude est de dimensionner les filtres CEM en entrée et en sortie d'une alimentation à découpage de type Flyback, afin de limiter les émissions conduites et rendre le produit compatible avec le standard EN55022. L'étude s'appuiera sur la simulation (logiciels IC-EMC et WinSPICE), ainsi que sur la base de sélection de composants REDEXPERT, fournie par Würth Elektronik (<https://www.we-online.com/redexpert/>).

A l'issue de ce bureau d'étude, un rapport sera demandé, répondant aux questions par ce sujet.

I. Installation des logiciels de simulations

Le logiciel de saisie de schématique et d'analyse des résultats, IC-EMC v2.9, est téléchargeable à l'adresse suivante : <http://www.ic-emc.org/download/IC-EMC-2v9.zip>.

Le simulateur SPICE utilisée, WinSPICE, est téléchargeable ici : http://www.ic-emc.org/download/WinSpice_1.05.zip.

Dézipper les deux dossiers dans un emplacement connu. Le lancement du logiciel IC-EMC se fait en lançant l'exécutable `ic_emc.exe` . Pour que IC-EMC puisse lancer automatiquement l'exécution des simulations par WinSPICE, vous devez indiquer dans IC-EMC l'emplacement de l'exécutable `wspice3.exe`. Pour cela, sur IC-EMC, cliquez sur le menu File > Simulator > Configurations. Un écran dédié s'ouvre pour indiquer le chemin d'accès de l'exécutable de WinSPICE (`.\\WinSpice 1.05\\wspice3.exe`).

II. Cahier des charges

Type de convertisseur	AC-DC, flyback
Puissance max.	60 W
Tension d'entrée	85 – 264 Vrms, 220 Vrms nominal
Tension de sortie	12 V
Courant de sortie max.	5 A
Fréquence de hachage	200 kHz
Ondulation max. en sortie	2 %
Temps de commutation	20 ns
Courant pic en entrée	3.5 A
Condensateur de filtrage en sortie du redresseur	120 μ F +/- 20 %, 400 V
Condensateur de filtrage en sortie	2x 470 μ F +/- 20 %, 25 V
Classe attendue pour les condensateurs du filtre CEM d'entrée	X2 et Y2. La capacité C_y totale est limité à 10 nF



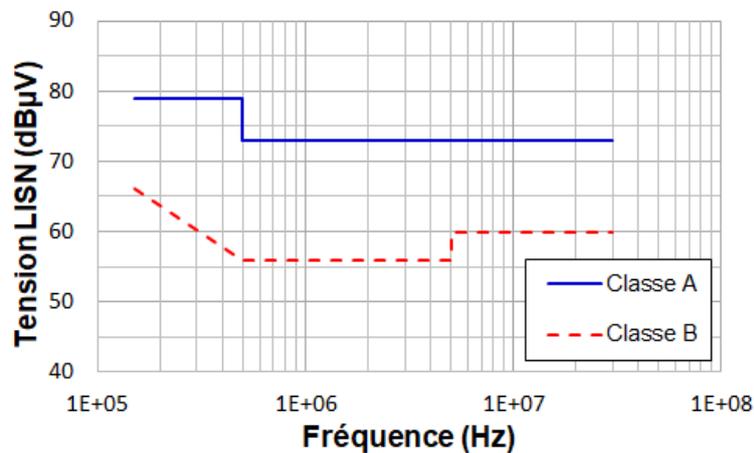
L'alimentation à découpage sera assemblée sur un circuit imprimé deux couches. Par défaut, on suppose que le montage des condensateurs sur le circuit imprimé est optimal et qu'il n'introduit qu'une inductance série supplémentaire de 1 nH.

Contraintes pour le dimensionnement des filtres : le nombre de composants devra être optimisé pour réduire le coût de la BOM.

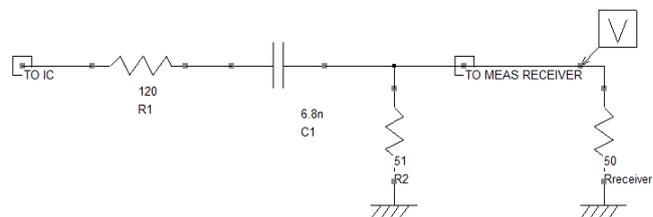
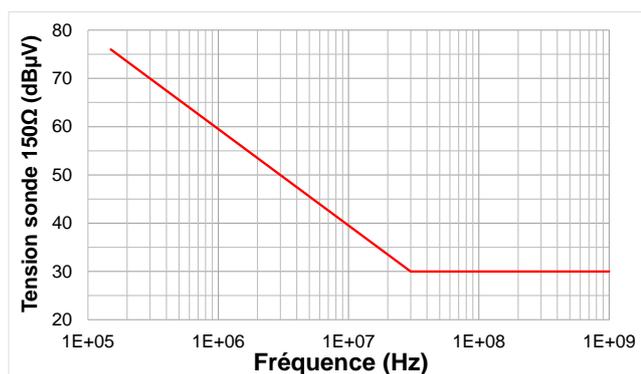
Tests d'émission conduite :

L'ensemble des tests CEM seront réalisés avec l'alimentation à découpage montée à 5 cm d'un plan conducteur de référence, considérée comme la référence de masse. Les tests d'émission conduite se feront à courant de sortie maximale. Pour cela, une charge fictive de 2.4 ohms sera placée sur la sortie. Une inductance parasite série de 100 nH lui sera associée.

Limite d'émission conduite à vérifier sur l'entrée : EN55022 classe B, mesure en tension sur RSIL 50 μ H // 50 Ω .



Limite d'émission conduite à vérifier sur la sortie : IEC 61967-4 – sonde 150 Ω , limite Global classe II.

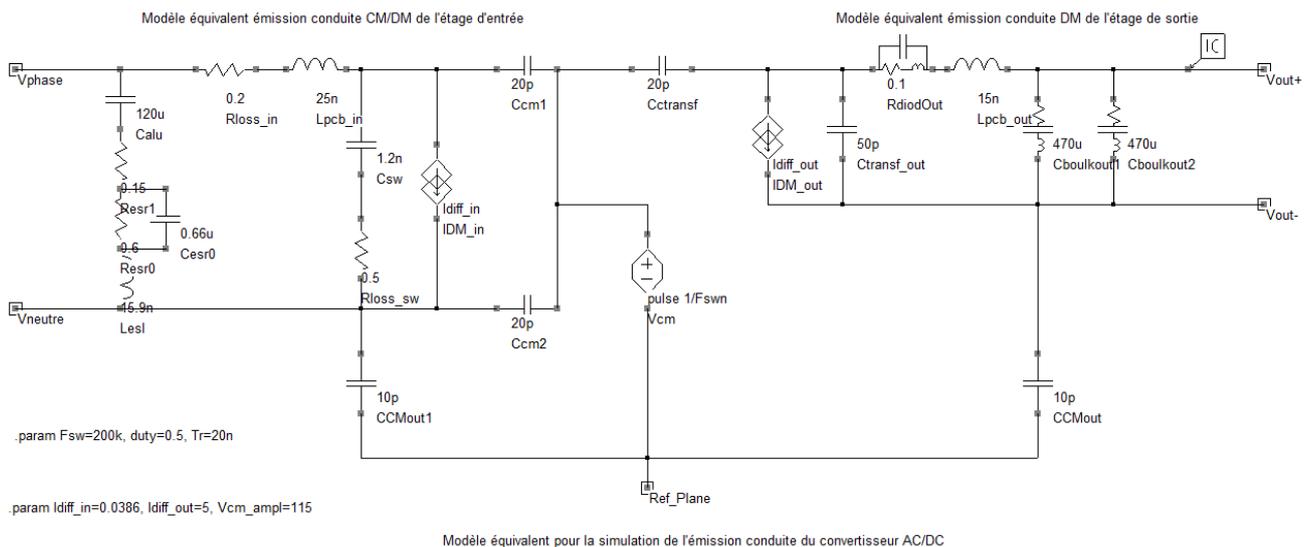


III. Modèle de simulation du convertisseur AC-DC

Le fichier ACDC_CE_model.sch (disponible dans le dossier zippé modele_BE_CE_CERE.zip, fourni avec le sujet de BE sur www.alexandre-boyer.fr/enseignements) contient un modèle



électrique équivalent du convertisseur AC-DC, dédié uniquement à la simulation de son émission conduite. Ce modèle, simplifié, reproduit l'émission de mode différentiel et de mode commun en entrée, et l'émission de mode différentiel en sortie. Le modèle intègre les condensateurs de filtrage en sortie du redresseur et en sortie du convertisseur, mais aucun autre élément de filtrage CEM. La figure ci-dessous donne une image du modèle électrique équivalent. Les terminaux (symbole □) Vphase et Vneutre sont respectivement les connexions à l'alimentation secteur, Vout+ et Vout- les terminaux de la tension DC régulée, et Ref_Plane la connexion vers le plan de référence de masse. Les sources équivalentes de bruit de mode différentiel (en entrée et en sortie) et de mode commun sont ajustable via des paramètres (commande .Param). Par défaut, le modèle est réglé pour simuler l'émission conduite du convertisseur alimenté sous 220 Vac et fournissant un courant de 5 A en sortie.



IV. Questions

L'objectif des questions ci-dessous est de vous guider dans l'analyse de l'émission conduite produite par le modèle du convertisseur AC-DC, dans le dimensionnement des filtres CEM et la modélisation des composants de filtrage. Ces différentes questions vous aideront à remplir le rapport de dimensionnement du filtre.

1. A partir du modèle ACDC_CE_model.sch, ajoutez les éléments nécessaires pour la simulation de l'émission conduite du convertisseur AC-DC. Sauvegardez ce nouveau modèle sous un autre nom que ACDC_CE_model.sch.
2. A partir de votre modèle, simulez les niveaux d'émission conduite en entrée et en sortie du convertisseur AC-DC. On distinguera les niveaux d'émission de mode différentiel et de mode commun.

On utilisera pour cela une simulation transitoire, avec un temps total de 100 µs et un pas de 1 ns. Pour insérer une ligne d'analyse, cliquez dans le menu Insert > Insert Analysis Line. Sur IC-EMC, la mesure des tensions se fait à l'aide des « probes » suivantes, disponibles dans la palette de symbole :



- : mesure de la tension d'un nœud par rapport à la masse
- : mesure de la tension différentielle entre deux nœuds
- : mesure de la tension de mode commun entre deux nœuds

Lancez la simulation WinSPICE en cliquant sur le bouton dans la barre d'outils. A l'issue de la simulation, vous pouvez fermer WinSPICE. Sur IC-EMC, cliquez sur le bouton dans la barre d'outils pour tracer les spectres des tensions simulées et les comparer aux limites standards.

3. Etablir les niveaux d'atténuation requis par les filtres CEM, en entrée et en sortie. On distinguera l'atténuation à apporter en mode commun et en mode différentiel.

4. Conception du filtre CEM d'entrée.

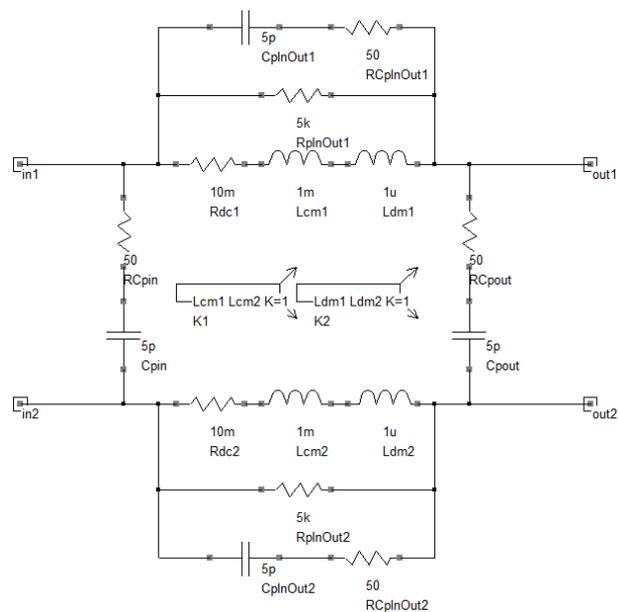
a. Proposez des valeurs pour les composants du filtre CEM d'entrée dans sa version minimale. A partir de REDEXPERT, proposez des références de composants. Justifiez leur choix.

b. A l'aide des profils d'impédance fournis sur REDEXPERT, développez les modèles électriques équivalents des condensateurs. Indiquez la plage fréquentielle de validité du modèle.

Pour réaliser une simulation d'impédance, placez la sonde disponible dans la palette de symboles à l'entrée du modèle de composant à caractériser. Elle permet le calcul des paramètres S. A l'aide d'un seul port de mesure, le paramètre S11 est calculé et l'impédance d'entrée vue depuis ce port peut être extraite. L'analyse à insérer à l'aide du menu Insert > Insert Analysis Line est une simulation AC, avec balayage fréquentielle logarithmique de 100 points/décade, entre 1 kHz et 1 GHz (exemple : .AC DEC 100 1k 1G). Le tracé de l'impédance se fait par l'intermédiaire de l'outil S parameter analysis, disponible à l'aide du bouton dans la barre d'outils.

c. Extraction du modèle électrique équivalent de l'inductance de mode commun : le modèle ci-contre CM_choke_generic.sch sera employé pour modéliser l'inductance de mode commun (les valeurs sont mises à titre d'exemple).

- Proposez un schéma électrique permettant la simulation de l'impédance de mode différentiel et de mode commun.
- Indiquez quels sont les composants du modèle dont l'effet est visible en MD et en MC.
- Proposez une approche pour extraire les différents composants.
- Construire et valider le modèle de l'inductance de mode commun. Indiquez la plage fréquentielle de validité du modèle.





d. Simulez les pertes par insertion en mode commun et en mode différentiel apportées par ce filtre. Est-il suffisant pour respecter la limite EN55022 classe B ?

Le calcul de la perte par insertion se fera en utilisant une mesure de paramètre de transfert S12.

Placez deux sondes  disponibles dans la palette de symboles aux entrées-sorties du filtre à caractériser et configurez une simulation AC. Le tracé du paramètre S12 se fait par l'intermédiaire de l'outil S parameter analysis, disponible à l'aide du bouton  dans la barre d'outils.

5. Simulation de la réduction de l'émission conduite en entrée avec le filtre CEM d'entrée dans sa version minimale.

a. Intégrez le modèle du filtre CEM d'entrée au modèle développé à la question 2, et simulez l'émission conduite en entrée.

b. L'atténuation apportée par le filtre est-elle en conformité avec les pertes par insertion précédemment calculées ? Pourquoi ?

c. Ajustez si nécessaire les composants du filtre ou ajoutez de nouveaux éléments de filtrage pour respecter la limite d'émission conduite en entrée.

6. Conception du filtre CEM de sortie.

a. Proposez des valeurs pour les composants du filtre CEM de sortie dans sa version minimale. A partir de REDEXPERT, proposez des références de composants. Justifiez leur choix.

b. A l'aide des profils d'impédance fournis sur REDEXPERT, développez les modèles électriques équivalents des composants du filtre de sortie.

c. Simulez les pertes par insertion apportées par ce filtre. Est-il suffisant pour respecter la limite IEC61967-4 ?

7. Simulation de la réduction de l'émission conduite en sortie avec le filtre CEM de sortie dans sa version minimale.

a. Intégrez le modèle du filtre CEM de sortie au modèle développé à la question 5, et simulez l'émission conduite en sortie.

b. Ajustez si nécessaire les composants du filtre ou ajoutez de nouveaux éléments de filtrage pour respecter la limite d'émission conduite en sortie.



8. Un routage moyen du circuit imprimé conduirait à une inductance série supplémentaire de 3 nH pour l'ensemble des condensateurs de filtrage. Dans le cas d'un routage médiocre, on suppose que celle-ci augmenterait jusqu'à 6 nH.

a. Quelle serait l'influence d'un routage moyen sur les performances des filtres proposés sur le niveau d'émission conduite en entrée et en sortie ?

b. Même question dans le cas d'un routage médiocre.

8. Le circuit de commande PWM permet de régler les temps de transition via un système de *slew rate* réglable. Par défaut, celui-ci avait été réglé de sorte à assurer un temps de transition de l'ordre de 20 ns. Une alternative acceptable du point de vue des pertes par commutation serait de régler le temps de transition autour de 30 ns.

a. Modifiez le schéma électrique du convertisseur (sans filtres d'entrée et de sortie) et simulez les niveaux d'émission conduite en entrée et en sortie.

b. Évaluez l'amélioration apportée sur les niveaux d'atténuation requis par les filtres CEM, en entrée et en sortie.

c. Est-il possible d'éliminer des éléments de filtrage ? Si oui, proposez de nouvelles versions de filtres CEM avec ce changement de temps de transition.