

PSIMチュートリアル

EMI 解析と EMI フィルターの設計

(EMI Design Suite)

Mywayプラス株式会社

1、概要

EMI デザイン・スイートは、パワー・エレクトロニクス・コンバータ・システム用の伝導 EMI 分析と EMI フィルタ設計のトータル・ソリューションを提供します。EMI デザイン・スイートは、ユーザーが典型的なパワー・エレクトロニクス・コンバータ製品開発サイクルで実施されている EMI プリ・コンプライアンスの繰り返しを軽減するのに役立ちます。選択した EMI 規格に基づいて、デザイン・スイートは、ディファレンシャル・モード (DM) とコモン・モード (CM) の両方の伝導・ノイズに対して適切な減衰を行う EMI フィルターを自動的に設計し、動作可能でシミュレーション可能なシステムを生成します。

ユーザーがハードウェア実験から測定されたディファレンシャル・モード (DM) およびコモン・モード (CM) EMI データを提供できる場合は、デザイン・スイートを使用して EMI フィルターをすばやく設計することもできます。

EMI フィルタ、ライン・インピーダンス安定化ネットワーク (LISN)、DM / CM EMI ノイズ信号アナライザなど、EMI 分析に不可欠な回路モデル、寄生コンポーネント、および回路ブロックを含む EMI プリ・コンプライアンス・テスト・システムを迅速にまとめる機能を備えています。EMI デザイン・スイートは、次の方法でエンジニアに大きなメリットと利点を提供します。

- ・システム・エンジニアが EMI を評価し、バス・バー (またはボードトレース)、半導体、ヒートシンクなどの

主要なサブ・システム間の寄生インダクタンスと静電容量の影響を理解するのに役立ちます。また、エンジニアがハードウェア開発を開始する前に詳細なハードウェア / 機械的レイアウト仕様の洞察を行い、EMI の観点からサブ・システム操作のより良い結果を得るのに役立ちます。

- ・回路基板レイアウトを始める前に、ハードウェア・エンジニアが部品の選択と EMI フィルタの設計を実行して、EMI 要件を満たすのに役立ちます。

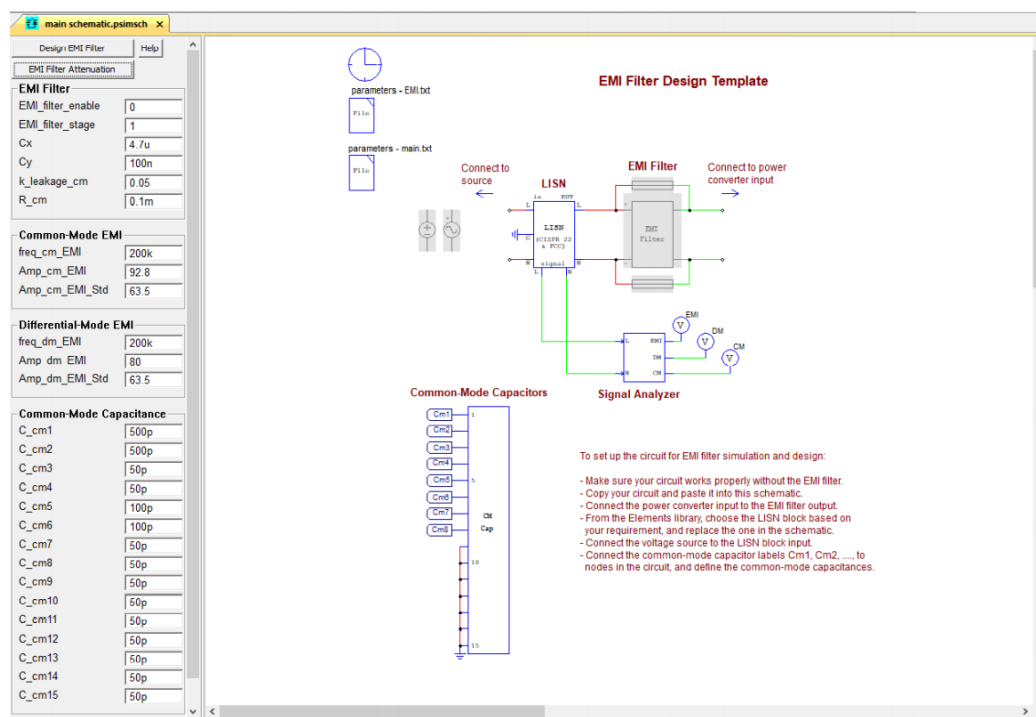
- ・EMI エンジニアがシステムの EMI プリ・コンプライアンス・テストを迅速に実行するのに役立ちます。

EMI デザイン・スイートは、EMI フィルタ開発を迅速に提供し、EMI プリ・コンプライアンス・プロセスを大幅にスピードアップするのに役立ちます。

EMI デザイン・スイートには、5 種類のコンバータ設計テンプレートと EMI プリ・コンプライアンス・セット・アップ用の 1 つの一般的な EMI 設計テンプレートが用意されています。

降圧コンバータ	CISPR-Class B EMI プリ・コンプライアンス 降圧コンバータ
昇圧コンバータ	Mil-461440V EMI プリ・コンプライアンス 昇圧コンバータ
力率改善コンバータ	FCC Class B EMI プリ・コンプライアンス PFCコンバータ
位相シフト・フル・ブリッジ (PSFB) DC-DC コンバータ	CISPR-25 レベル 4 EMIプリ・コンプライアンス PSFB dc-dcコンバータ
PSMSドライブ	CISPR-25 レベル 3 EMIプリ・コンプライアンス PMSMDライブ
EMI 一般 設計	EMI 一般の設計テンプレート ユーザが 設定した コンバータと制御回路

PSIM のパワー・エレクトロニクス・コンバータ・システムの一般的な EMI プリ・コンプライアンス・セットアップは、EMI フィルタ、LISN、DM / CM EMI ノイズ信号アナライザ、CM 寄生容量ブロック、および電力コンバータ・システムで構成されています。一般的な EMI テンプレートの全体的な構造を以下に示します。



EMI 寄生パラメータと目的の X キャップ、Y キャップの容量値を指定すると、回路全体をシミュレーションして EMI 性能を調査する準備が整います。

このチュートリアルでは、EMI デザイン・スイートで EMI テンプレートを使用する方法について説明します。プロセスを説明するための例として、降圧コンバータのテンプレートを使用します。

降圧コンバータの要件は次のとおりです：

- ・ 入力電圧 $V_{in} = 120Vac,$
- ・ 出力電圧 $V_o = 12Vdc,$

- ・ 出力電力 $P = 250\text{W}$
- ・ 入力コンデンサ $C_{\text{link}} = 500\mu\text{F}$,
- ・ 出力インダクタ $L_o = 53\mu\text{H}$,
- ・ 出力コンデンサ $C_o = 6.5\text{mF}$
- ・ EMI コンプライアンス規定 : CISPR 22 Class B
寄生パラメータは次のように定義されます。
- ・ 直流入力コンデンサ
等価直列抵抗 $\text{ESR} = 20\text{m}\Omega$
- ・ 出力コンデンサ
等価直列抵抗 $\text{ESR} = 10\text{m}\Omega$
- ・ パワー・スイッチ
等価直列インダクタンス $\text{ESL} = 5\text{nH}$
- ・ バス・バー(又は基板パターン)の
等価直列インダクタンス $\text{ESL} = 20\text{nH}$
同相モード(CM)の寄生容量は次のように定義されます。
- ・ $C_{\text{cm}1} = 500\text{pF}$ (出力のプラスとグラウンド間)
- ・ $C_{\text{cm}2} = 500\text{pF}$ (出力のマイナスとグラウンド間)
- ・ $C_{\text{cm}3} = 50\text{pF}$ (ダイオード D1 の カソードとグラウンド間)
- ・ $C_{\text{cm}4} = 50\text{pF}$ (ダイオード D1 の アノードとグラウンド間)
- ・ $C_{\text{cm}5} = 100\text{pF}$ (MOSFET Q1 のドレインとグラウンド間)
- ・ $C_{\text{cm}6} = 100\text{pF}$ (入力コンデンサのマイナスとグラウンド間)
- ・ $C_{\text{cm}7} = 50\text{pF}$ (入力ラインとグラウンド間)
- ・ $C_{\text{cm}8} = 50\text{pF}$ (入力ライン接地とグラウンド間)

シミュレーション用に入力された同相(CM)寄生容量の値は、実際の回路測定値(回路がすでに構築されている場合)または推定と過去の経験に基づく目標値(回路がまだ構築されていない場合)を反映する必要があるためです。EMI コンプライアンス・テストのシミュレーションのためには意味があります。

レベル 2 MOSFET モデルは、スイッチング過渡現象を考慮に入れるために MOSFET Q1 に使用されます。

降圧コンバータは 100kHz のスイッチング周波数で動作します。スロープ補償付きのピーク電流検出の内部ループが採用されています。外部ループの電圧 PI 制御は、ピーク電流の内部ループへの電流基準を提供します。

EMI 設計プロセスを開始する前に、コンバータ回路(レベル 2 MOSFET または IGBT モデルを使用)が機能している必要があることに注意してください。これにより、コンバータ回路のスイッチング電源デバイスの di / dt および dv / dt 特性を反映します。

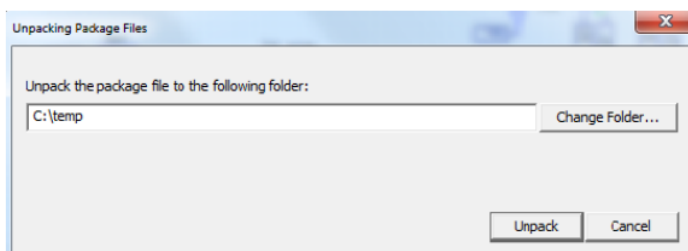
EMI デザイン・スイートを使用した EMI 評価は、次の 3 つのステップで実行できます。:

- ・システムの寄生パラメータと EMI フィルタ・パラメータの定義。
- ・EMI フィルターを無効にしてシミュレーションを実行します。CM と DM の両方の周波数と振幅、および CM と CM が EMI 標準を超える最悪のポイントでの EMI 標準レベルを記録して入力します。
- ・EMI フィルターの設計を実行し、EMI フィルターを有効にしてシミュレーションを再実行します。

ステップ 1: システムの寄生パラメータの定義

PSIM で、[Design Suites] >> [EMI Design Suite]に移動し、サンプル EMI 回路の 1 つ、たとえば Buck Converter (CISPR-22 Class-B) を選択します。以下のようなダイアログウィンドウが表示されます。

[Unpack]をクリックして、ファイルをデフォルトのフォルダーに解凍します。別のフォルダに解凍するには、[Change Folder]をクリックしてフォルダを参照するか、フォルダ名を入力します。この例では、ファイルは「c:\temp」に配置されます。



- ・ファイルが解凍されると、以下に示すようにテンプレート回路が PSIM に表示されます。左側のパラメータパネルから設計パラメータを入力または変更します。

回路図の左側には、入力パラメータパネルがあります。パネルは、EMI フィルター関連パラメータ（EMI フィルターの有効化/無効化、X-Cap および Y-Cap の容量値、CM インダクター・パラメーターなど）、CM 寄生容量、および EMI フィルター減衰パラメーター（CM と DM 両方の最悪の周波数と振幅と EMI 標準レベル）を定義します。

このステップでは、「コモン・モード EMI」および「ディファレンシャル・モード EMI」セクションの値はまだ使用できないため、無視してください。これらは、ステップ II の実行の後に取得することができます。

この例では、次のように値を入力します。

EMI Filter:	
EMI_filter_enable:	0
EMI_filter_stage:	1
Cx:	6.8u
Cy:	100n
K_leakage_cm:	0.05
R_cm:	0.1m
Common-Mode EMI:	
Freq_cm_EMI:	200k
Amp_cm_EMI:	81
Amp_cm_EMI_Std:	63.6
Differential-Mode EMI:	
Freq_dm_EMI:	200k
Amp_dm_EMI:	81.5
Amp_dm_EMI_Std:	63.6
Common-Mode Capacitances:	
C_cm1:	500p
C_cm2:	500p
C_cm3:	50p
C_cm4:	50p
C_cm5:	100p
C_cm6:	100p
C_cm7:	50p
C_cm8:	50p

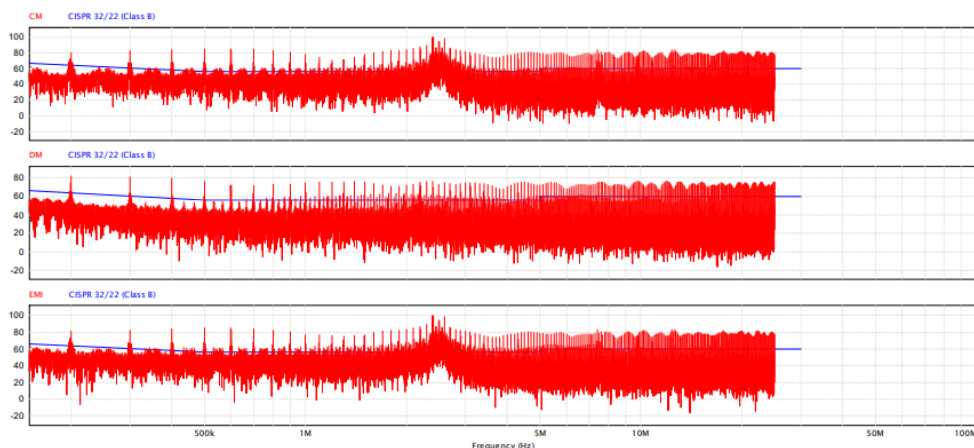
これらのパラメータの定義は、パラメータ・パネルの [Help] ボタンをクリックしてオンライン・ヘルプで説明されています。

ステップ 2 : EMI フィルターを無効にしてシミュレーションを実行する

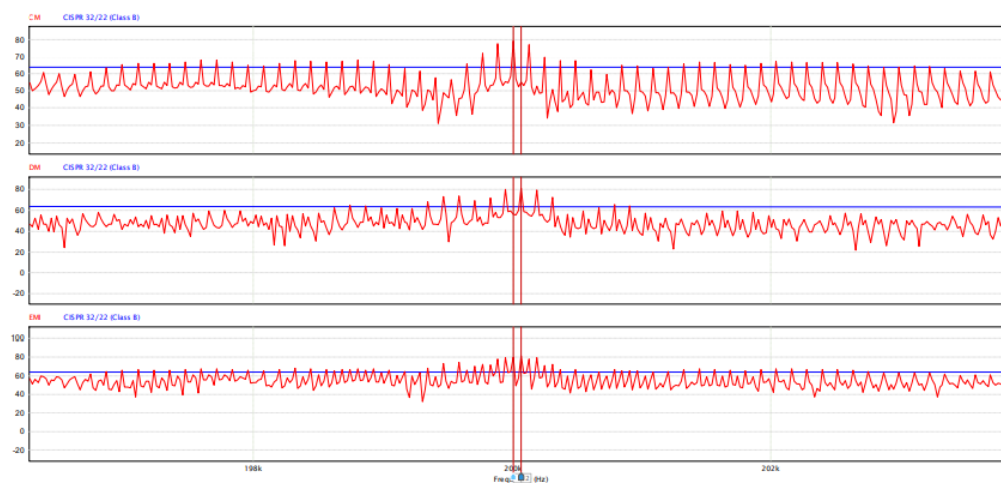
EMI フィルターを無効にして（EMI_filter_enable = 0）パラメーター・パネルにパラメーターを入力したら、[Design EMI Filter] ボタンをクリックして、回路図のパラメーター・ファイル「parameters - EMI.txt」を更新します。このパラメーター・ファイルには、ユーザーが入力した EMI パラメータと EMI デザイン・スイートによって計算されたパラメータが含まれています。

パラメータパネルの EMI パラメータのいずれかが変更された場合、回路図の EMI パラメーター・ファイルを [Design EMI Filter] ボタンで更新する必要があります。

シミュレーションが完了したら、CM、DM、および EMI 信号を 3 つの別々のウィンドウに表示し、[Analysis]メニューで FFT を実行します。X 軸の範囲を 100kHz に変更し、Y 軸のスケールを dB μ V に設定します（または SIMVIEW で、[Options] >> [Default Display Settings]に移動し、[“Y - Axis in dB μ V after FFT analysis”]オプションを選択します。[Add/Delete Curves]ダイアログの[EMI Standard]タブから、対応する EMI 標準をディスプレイに追加します。この場合、以下に示すように、CISPR22 クラス B が追加されます。



展開された結果の表示を以下に示します。



CM 信号と DM 信号の周波数と振幅の値、および対応する EMI 標準レベルを、対象のポイント、つまり、最も低い周波数と最も高いノイズレベルで測定します。EMI 規格を上回っています。次に、それらをパラメータパネルの「Common - Mode EMI」および「Differential - Mode EMI」セクションに入力します。この例では、最高の CM ノイズレベルは 81 dB μ V で、最高の DM ノイズレベルは 81.5 dB μ V です。それらは両方とも 200 kHz の周波数で発生します。EMI 標準は 63.6 dB μ V です。

また、パラメータ・パネルで、EMI_filter_enable を 1 に設定して、EMI フィルタを有効にしま

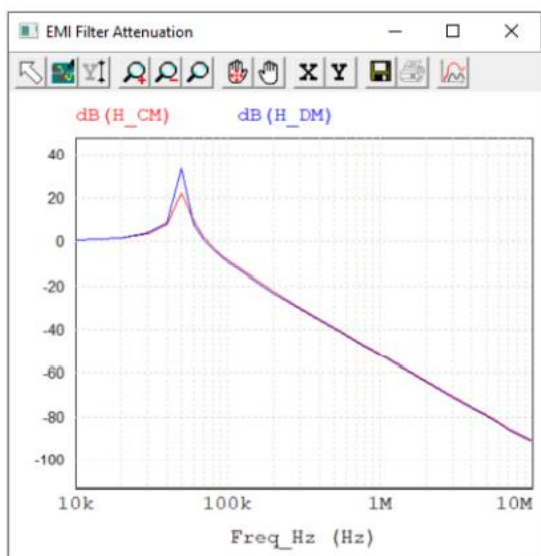
す。1 段または 2 段の EMI フィルタ・タイプを選択し、X-Cap および Y-Cap の初期容量値を選択します。X-Cap 容量値の選択は、主に CM インダクタから得られる漏れインダクタンスの値に依存します。Y-Cap の容量値の選択は、主にグラウンド・リーケージ電流の安全要件と CM インダクタンスの実際の値に依存します。

これらの値を入力したら、[Design EMI Filter] タブをクリックして、パラメーター・ファイル parameters-EMI.txt を更新します。parameters - EMI.txt を開き、[Edit] >> [Show Values] を選択して、CM および DM EMI フィルターのインダクタンス値をチェックし、それらが妥当で実用的であることを確認します。それらが合理的または実用的でない場合は、X-Cap および Y-Cap の容量値を調整します。

この例では、Y-Cap は $C_y = 100\text{nF}$ として選択され、コモンモード・インダクタンス $L_{cm} = 49\mu\text{H}$ および漏れインダクタンス $L_{leakage} = 2.4\mu\text{H}$ のコモンモード・インダクタ設計になり、CM ノイズ (81 dBuV) などの適切な CM ノイズ減衰を提供します。200 kHz の周波数で EMI 規格 (63.6 dBuV) を下回っています。

X-Cap が $C_x = 6.8\mu\text{F}$ として選択されている場合、CM インダクタの漏れインダクタンス $L_{leakage} = 2.4\mu\text{H}$ は、DM ノイズ (81.5 dBuV) が周波数で EMI 標準 (63.6 dBuV) を下回るように適切な DM ノイズ減衰に十分です。200 kHz の。たとえば、X-Cap が $C_x = 1.0\mu\text{F}$ として選択されている場合、適切な DM ノイズ減衰のために、 $L_{dm} = 2.5\mu\text{H}$ の外部 DM インダクタを挿入する必要があります。設計はあまり望ましくありません。

EMI フィルターが設計され、フィルター段数が決定されたら、パラメーター・パネルで、[EMI Filter Attenuation] ボタンをクリックして、以下に示すように、設計された EMI フィルターからの CM および DM EMI ノイズ減衰を表示します。



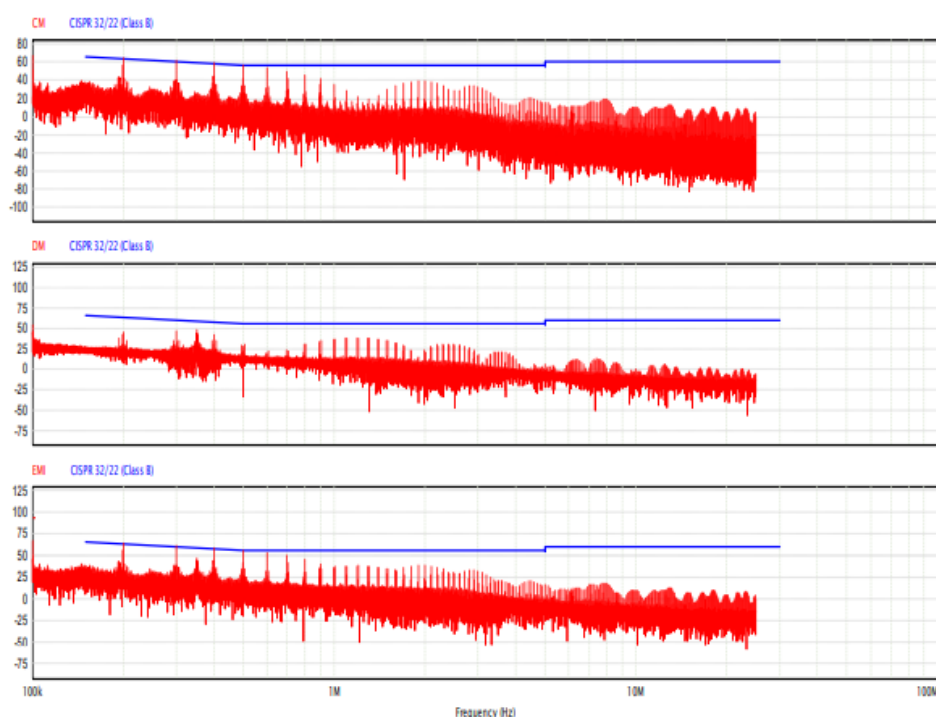
この図では、dB (H_CM) は CM ノイズの減衰を示し、dB (H_DM) は DM ノイズの減衰を dB 単位で示しています。このツールは、設計された EMI フィルターがさまざまな周波数のノイズに与える減衰量をすばやく計算するための便利な方法を提供します。

EMI デザイン・スイートの大きな利点の 1 つは、EMI フィルターのパラメーターが特定の EMI 規

格に対して自動的に計算されるため、ユーザーが EMI フィルターを設計する手間を省くことができます。

ステップ 3 : EMI フィルターを有効にしてシミュレーションを実行する

設計された EMI フィルターを有効にしてシミュレーションを実行します。シミュレーションが完了したら、CM / DM EMI 信号を調べて、EMI 標準レベルを下回っていることを確認します。そうでない場合は、満足のいく結果が得られるまで、さまざまなパラメーターを使用してステップ 2 を繰り返します。

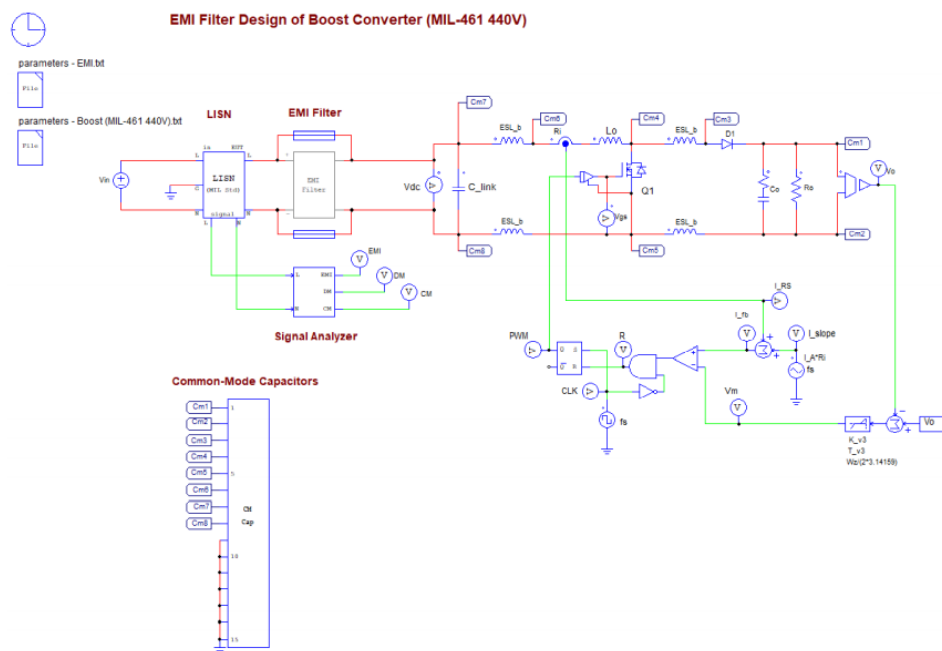


2. その他のデザインテンプレート

EMI プリ・コンプライアンスを設定するための他のコンバータのテンプレートを以下に説明します。

2.1 昇圧コンバーター・テンプレート

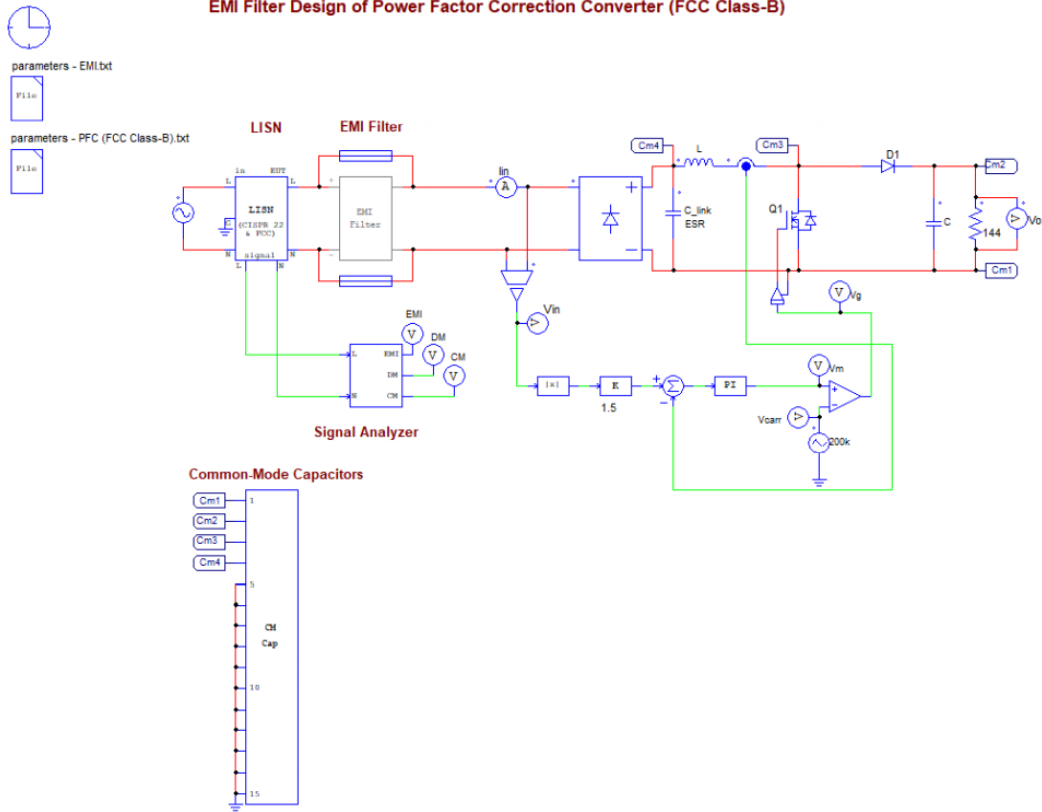
次の図は、昇圧コンバーター・デザイン・テンプレートを示しています。このテンプレートでは、非絶縁型昇圧コンバータが 500W の負荷電力で 160 Vdc 入力を 320 Vdc 出力電圧に昇圧します。スイッチング周波数は 200 kHz です。EMI 規格 MIL-461440V は、EMI 準拠に使用されます。MIL-461EMI 標準の最低周波数は 10kHz であることに注意してください。



2.2 力率補正 (PFC) コンバータ・テンプレート

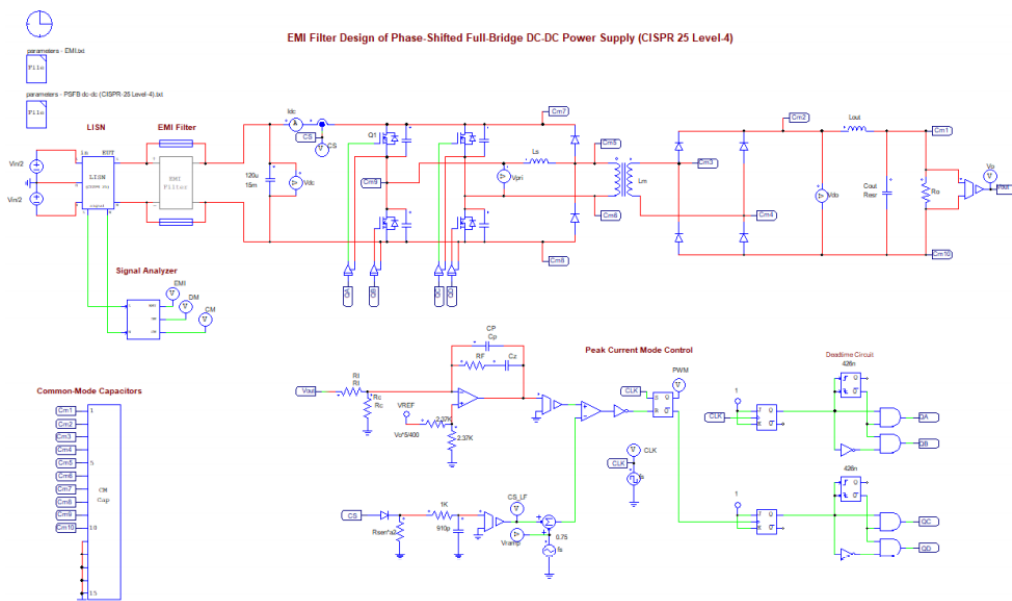
次の図は、PFC コンバータ・テンプレートを示しています。このテンプレートでは、PFC 昇圧コンバータが 200 Vac 入力を 576 W の負荷電力で 288 Vdc 出力に変換します。スイッチング周波数は 200kHz です。EMI 規格 FCC Class-B は、EMI コンプライアンスに使用されます。

EMI Filter Design of Power Factor Correction Converter (FCC Class-B)



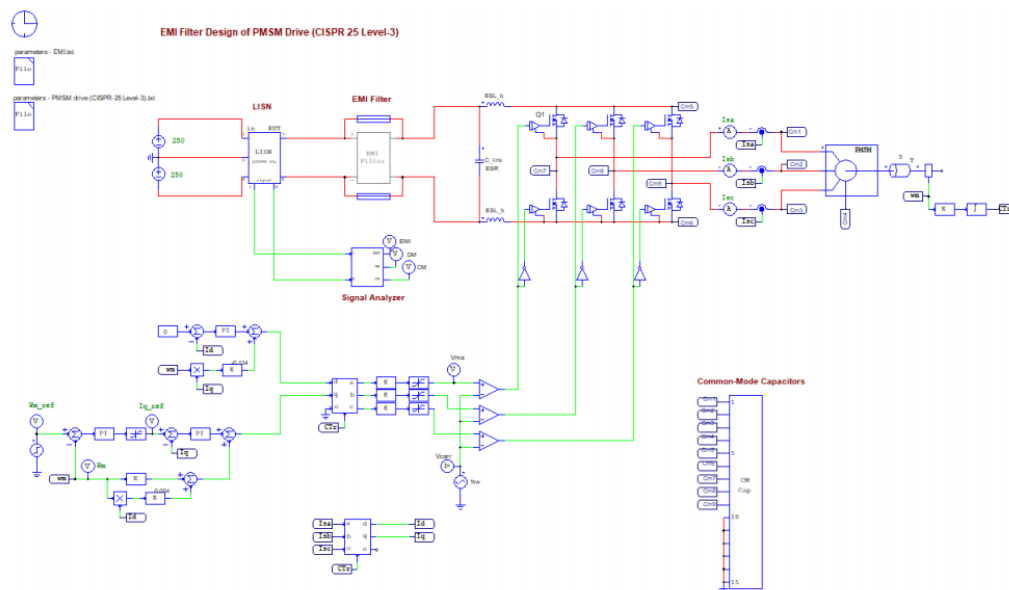
2. 3 位相シフト・フルブリッジ (PSFB) DC-DC コンバータテンプレート

次の図は、PSFB コンバータ・テンプレートを示しています。このテンプレートでは、PSFB コンバータは 30kW の負荷電力で 720 Vdc 入力を 400 Vdc 出力に変換します。スイッチング周波数は 140 kHz です。EMI 規格 CISPR25 レベル 4 は、EMI コンプライアンスに使用されます。



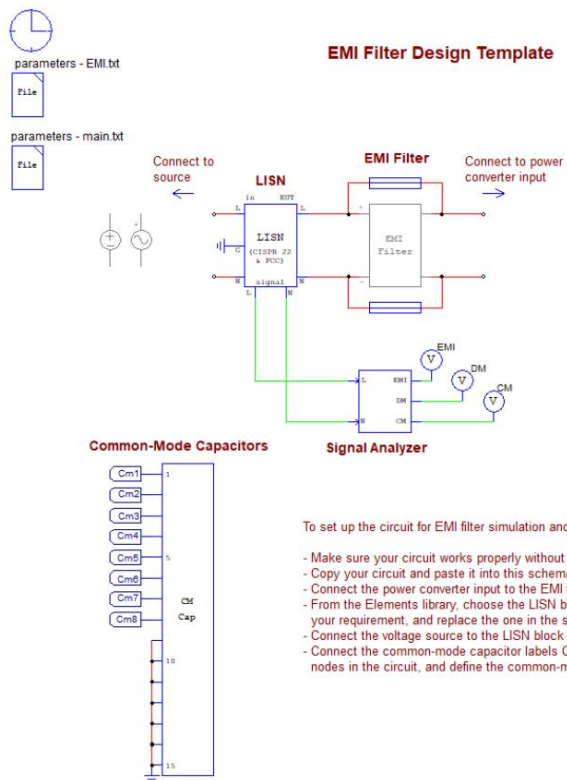
2.4 PMSM ドライブ・テンプレート

次の図は、PMSM ドライブ・テンプレートを示しています。このテンプレートでは、PMSM インバーターが 500 Vdc 入力を変換して、PMSM モーターを 5 Nm の負荷トルクで 170 Rad / s の速度に駆動します。スイッチング周波数は 10 kHz です。EMI 規格 CISPR25 レベル 4 は、EMI コンプライアンスに使用されます。



2.5 汎用 EMI 設計テンプレート

EMI デザイン・スイートは、一般的な EMI 設計テンプレートも提供します。これにより、ユーザーは EMI プリ・コンプライアンス・シミュレーション用に独自のパワー・エレクトロニクス・コンバータ回路を使用してシミュレーションすることができます。次の図は、一般的な EMI 設計テンプレートを示しています。このテンプレートでは、EMI プリ・コンプライアンス・シミュレーション用のユーザーのパワー・エレクトロニクス・コンバータ回路に不可欠な EMI テスト機器モデルが提供されています。



To set up the circuit for EMI filter simulation and design:

- Make sure your circuit works properly without the EMI filter.
- Copy your circuit and paste it into this schematic.
- Connect the power converter input to the EMI filter output.
- From the Elements library, choose the LISN block based on your requirement, and replace the one in the schematic.
- Connect the voltage source to the LISN block input.
- Connect the common-mode capacitor labels Cm1, Cm2, to nodes in the circuit, and define the common-mode capacitances.

ご注意

1. 本資料に記載された製品の仕様は、予告なく変更することがあります。
2. 本資料の内容については、万全を期しておりますが、万一ご不明な点などがありましたら、弊社までお申しつけください。
3. 本資料に記載された情報に起因する損害または特許権その他権利の侵害に関しては、弊社は一切の責任を負いません。
4. 本資料によって第三者または弊社の特許権その他権利の実施権を許諾するものではありません。
5. 弊社の書面許諾なく、本資料の一部または全部を無断で複製することを固くお断りします。
6. 本資料に記載されている会社名、商品名は、各社の商標または登録商標です。

Copyright 2021 by Myway Corporation
All rights reserved. No part of this manual may be photocopied or reproduced in any form or by any means without the written permission of Myway Corporation.

発行: Myway プラス株式会社

〒220-0022

横浜市西区花咲町 6-145 横浜花咲ビル

TEL: 045-548-8836

FAX: 045-548-8832

ホームページ: <https://www.myway.co.jp>

Eメール: sales@myway.co.jp
