実装コード融合型モデルベース開発手法を用いたパワエレシステム開発

柴田　吉範*，　則定　孝彰，　澤野　聡，　岩崎　直哉，
松浦　真人，　赤松　慶治，　中田　秀樹，　京條　裕之　（パナソニック株式会社）

Development of Power Electronics System Using Model-Base Development Methodology Integrated with Source Codes

Yoshinori Shibata, Takaaki Norisada, Satoshi Sawano, Naoya Iwasaki,
Makoto Matsuura, Keiji Akamatsu, Hideki Nakata, Hiroyuki Kyojo (Panasonic Corporation)

１．背景

近年、パワーエレクトロニクス機器に求められる機能は複雑化、多様化しており、今後ますます加速していく方向にある。このような製品開発で最も重要なのは、手開発最終フェーズで実施する規格適合試験を手戻りなくクリアすることであり、事前に規格試験をシミュレーションできるモデルベース開発（MBD: Model Based Development）手法が必要とされている(1)。特に MBD を用いて、実機ソフトの振る舞いまで含めた回路の挙動を高い精度でシミュレーションできることが極めて重要である。

２．提案するモデルベース開発手法

実機ソフトを MBD に組込む従来手法では､回路シミュレータに備えられた C コード連携ブロックに実装コードを組み込むことで実現している。しかし、この方法は一部コードの再現を目的とした機能であるため、システム全体として見た場合波形再現精度が不十分であり、負荷急変などの非定常な動作には追従できず、複数機能が絡む規格適合試験のシミュレーションとしては事足りていない。そこで我々は、一部の実装コードだけではなく、コード全体をモデルに組込むことで、規格適合試験の再現が可能な手法を提案する。

提案手法では、パワエレシステムシミュレーション環境と実装コード全体を連携させる。これを実現するにあたって、ダイナミックリンクライブラリ（DLL：Dynamic Link Library）の活用を検討した。DLL ファイルにマイコン実装コード全体を格納することで、PSIM や MATLAB などの回路シミュレータからそれらをそのまま呼び出すことが可能になる。しかし、実装コードを単純にモデルと連携させようとしてもマイコンの処理はマイコン固有の API、レジスタが存在するため、詳細な動作を再現することは不可能である。そこで、DLL と実装コード間に独自 I/F コード（図 1）を構築することで実装コード全体のモデル組込み手法を開発した。この I/F コードは、弱電/強電回路の特性や接続関係、各社のマイコンが持つ固有の機能を組込むことで、AD 変換や割込み処理等のマイコン機能の再現を可能とした。例えば AD 変換の I/F コードではサンプリング模擬や PWM のタイミング同期まで再現しており、これにより PFC 回路で発生する不連続モードのセンシングまで再現している。

このような DLL⇔I/F コード⇔実装コードの構成によりマイコンの動作を再現している。

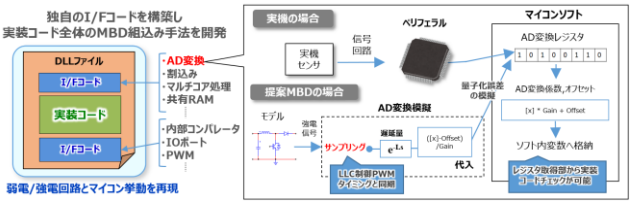

図１　独自 I/F コードの概略
Fig1. Outline of original I/F code

３．結果

提案手法を用いたシミュレーション結果を図 2 に示す。今回は、当社で開発中の車載充電器における規格適合試験を検証対象とし、LV123：車載機器向け電圧急変試験(2)において実機試験波形とシミュレーション波形の比較を行った。取得した値を比較し RMSE（二乗平均平方根誤差）を求めた結果、各出力誤差が 2.5%以下であることを確認できた。

これにより、今回提案する手法を、開発中の車載充電器開発に適用し、マイコン挙動を含む回路シミュレーションを高精度に再現できることを実証した。本手法により、モデルベース上で PDCA を回すことで、上流工程での設計完成度が向上し、実機評価での一発完動を実現している。

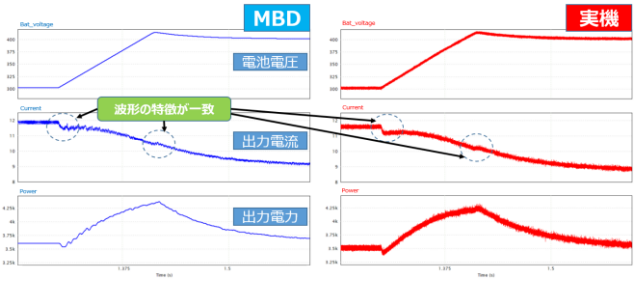

図２　負荷変動試験における波形比較
Fig2. Waveform comparison in load fluctuation test

文　献

(1) 藤川智士: マツダの目指すモデルベース開発（マツダ技報）No.31 (2013)
(2) Frank-Niechcial: Electrical requirements and tests of LV 123

©2022 IEE Japan