

電源 IC のシステムシミュレーションプログラムの開発

渡辺 啓[†] 古川 達也[†] 杉本 泰博[†]

[†] 中央大学理工学部 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

E-mail: † {nabe12, furu11, sugimoto}@sugi.elect.chuo-u.ac.jp

あらまし 電源 IC 回路の過渡応答と周波数特性を解析する手法として、本ポスターでは機能シミュレータの活用を提案する。提案の手法 NSTVR(New Simulation Tool of Voltage Regulators)によれば、電流モード降圧型 DC-DC コンバータおよび電流モード昇圧型 DC-DC コンバータの CCM(電流連続モード)、DCM(電流不連続モード)の各状態に対し、設計した実チップとその回路の SPICE によるシミュレーション結果および NSTVR によるシミュレーション結果が、過渡応答および周波数特性ともに完全に一致する事が確認された。この場合、NSTVR のシミュレーション時間は SPICE に比し、降圧型で約 1,400 倍、回路規模が 1/5 の昇圧型で約 90 倍の高速化が成された。

キーワード DC-DC コンバータ, 機能シミュレーション, NSTVR

About the system simulation methodology for the switching power converters

Kei WATANABE[†] Tatsuya FURUKAWA[†] and Yasuhiro SUGIMOTO[†]

[†] Department of E.E.C.E, Chuo University 1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-8551 Japan

E-mail: † {nabe12, furu11, sugimoto}@sugi.elect.chuo-u.ac.jp

Abstract We propose the use of behavioral simulation tools in designing circuits and systems of switching converters. Applying our proposed simulation methodology and the NSTVR program, it has been confirmed that all the characteristics from the actually designed IC chip, SPICE simulation results and NSTVR simulation results agreed perfectly well in transient and open-loop frequency characteristics for both the buck current-mode DC-DC converter and the boost current-mode DC-DC converter both in CCM and DCM modes. In these cases, NSTVR carried its simulations about 1,400 and 90 times faster than SPICE for the buck converter and for the boost converter that has the one-fifth of the circuit complexity, respectively.

Keyword DC-DC converter, Behavioral simulation, NSTVR

1. はじめに

高精度を要求されるアナログ IC の回路を設計する場合、回路設計者はシミュレーションツールとして常に SPICE を用いる。正確に IC 回路の特性をシミュレーション出来ると広く信じられているからである。しかし電源回路はアナログ/デジタル混載回路で、SPICE で過渡応答や周波数特性をシミュレーションすると膨大な時間がかかり、殆んど設計が出来ないという状況となる。電源回路設計にはシミュレーションツールが存在しないと言っても過言ではない。

2. 提案する電源回路の設計手法

機能シミュレータにより 立ち上がりや負荷変動などの過渡応答特性、(電源回路は負帰還システムであるからその安定性の検討に関し、) 開ループの振幅・位相の周波数特性、をシミュレーションする。設計の最後に実回路を SPICE で確認する。

3. 提案の設計手法を実現するための問題点

設計者が SPICE に頼るのは、設計した実回路の特性を精度良くシミュレーションできるからである。した

がって機能シミュレータの結果も、設計する実回路の特性と精度良く一致する事が必要である。しかし機能シミュレータには実回路の非線形要素が組み込まれておらず(あるいは組み込む事がなされておらず)、このため SPICE のように精度良く特性をシミュレーション出来ないでいた。機能シミュレータは確かに短時間で結果を得られるが、実際と違った結果では用を成さない。

4. NSTVR のアルゴリズム

ハイブリッドシステム制御手法をベースとして、状態変数方程式を建てその解を時間領域で求める。回路の非線形要素を回路設計技術の見地から抽出してモデル化する。場合によっては帰還を用いて非線形動作をモデル化する。などの手法を用いた。

5. 実チップ, SPICE, NSTVR の比較

電流モード降圧型 DC-DC コンバータ、電流モード昇圧型 DC-DC コンバータの CCM(電流連続モード)および DCM(電流不連続モード)の各特性を実チップ、SPICE および NSTVR で比較している。SPICE と NSTVR 間のシミュレーション時間の比較も行った。

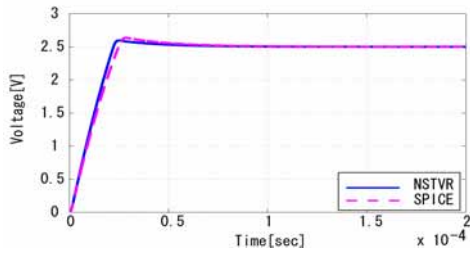


Fig.1 降压型 (CCM) の過渡応答
 入力電圧 5V, 出力電圧 2.5V, 負荷電流 100mA

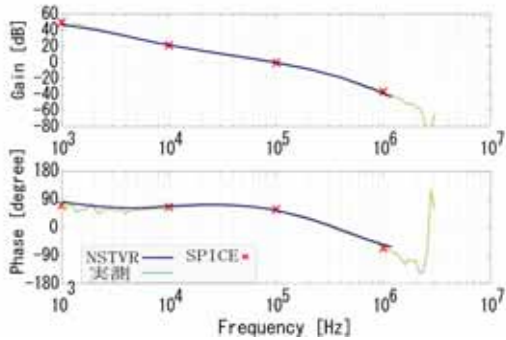


Fig.2 降压型 (CCM) の周波数特性
 入力電圧 5V, 出力電圧 2.5V, 負荷電流 100mA

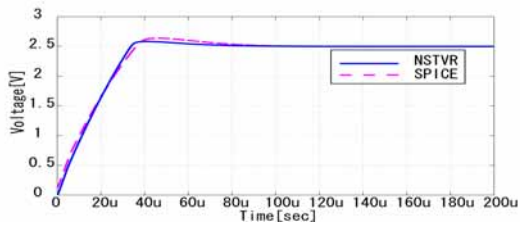


Fig.5 降压型 (DCM) の過渡応答
 入力電圧 5V, 出力電圧 2.5V, 負荷電流 50mA

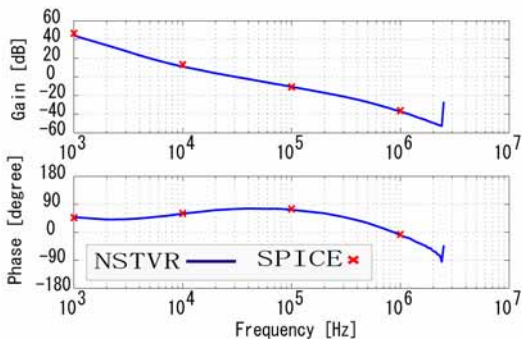


Fig.6 降压型 (DCM) の周波数特性
 入力電圧 5V, 出力電圧 2.5V, 負荷電流 50mA

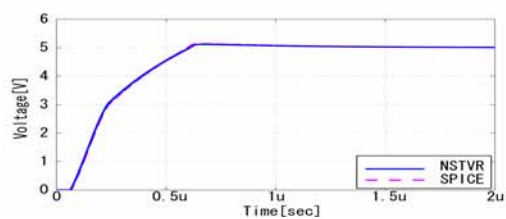


Fig.3 昇圧型 (CCM) の過渡応答
 入力電圧 2.5V, 出力電圧 5V, 負荷電流 40mA

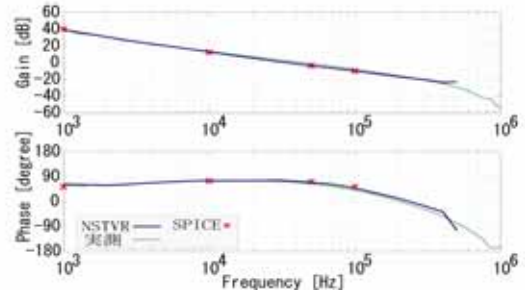


Fig.4 昇圧型 (CCM) の周波数特性
 入力電圧 2.5V, 出力電圧 5V, 負荷電流 40mA

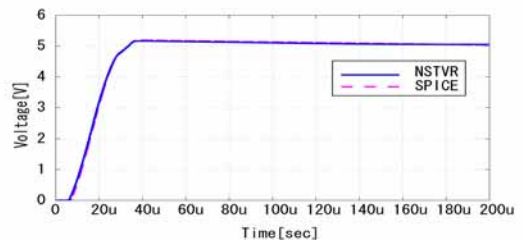


Fig.7 昇圧型 (DCM) の過渡応答
 入力電圧 2.5V, 出力電圧 5V, 負荷電流 10mA

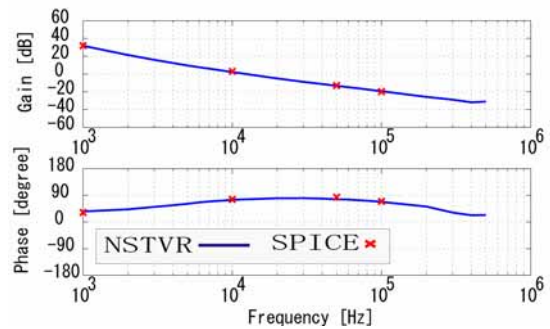


Fig.8 昇圧型 (DCM) の周波数特性
 入力電圧 2.5V, 出力電圧 5V, 負荷電流 10mA

Table1 解析時間比較

		CCM		DCM	
		過渡解析	AC解析	過渡解析	AC解析
降压型	SPICE	7300秒	約900分 (4点)	8100秒	約910分 (4点)
	NSTVR	18秒	約5分 (31点)	26秒	約5分 (31点)
昇圧型	SPICE	705秒	約182分 (4点)	802秒	約190分 (4点)
	NSTVR	35秒	約12分 (23点)	35秒	約12分 (23点)

文 献

- [1] 川端千尋 杉本泰博, " MATLAB/Simulink を用いた DC-DC コンバータのシミュレーション手法に関する検討 ".IEICE Technical Report ICD 2008_66(2008_10), pp.43-48
- [2] Ly,J.H. and Siri,K., " Frequency Response Analysis for DC-DC Converters Without Small-Signal Linearization , " Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2003.APEC03.Eighteenth Annual IEEE Volume 2 , 9-13 Feb.2003 , pp.1008-1013
- [3] 特開 2010-92434, 中央大
- [4] 特願 2011-260974, 中央大