

A-1-42

ラプラス変換を用いたスイッチング電源のテブナン等価回路表現

THEVENIN EQUIVALENT CIRCUIT OF SWITCHING POWER SUPPLY
WITH LAPLACE TRANSFORMATION

深江一志¹ 久門尚史² 和田修己²
Kazushi Fukae Takashi Hisakado Osami Wada

京都大学 工学部 電気電子工学科¹
Undergraduate School of Electrical and Electronic Engineering, Kyoto University
京都大学 大学院 工学研究科 電気工学専攻²
Department of Electrical Engineering, Kyoto University

1 はじめに

テブナン等価回路は時不変の電源回路を負荷に依存しないモデルで表現する際に有効である。本稿では時変回路であるスイッチング電源回路について、スイッチの状態によって複数の時不変回路に分離し、それぞれの回路をテブナン等価回路表現した上で、それらを接続する方法を述べる [1]。

2 テブナン等価回路

スイッチング電源回路の1つの状態として図1の回路を考える。 v_O , i_O に対してラプラス変換を施し、 $V_O(s)$ と $I_O(s)$ の関係式を導出すると

$$V_O(s) = \frac{E}{s(LCs^2 + RCs + 1)} + \frac{C(Ls + R)v_C^{(0)}}{LCs^2 + RCs + 1} + \frac{Li_L^{(0)}}{LCs^2 + RCs + 1} - \frac{Ls + R}{LCs^2 + RCs + 1}I_O(s) \quad (1)$$

となる。式(1)の右辺第1項は電源、第2項及び第3項は初期値、第4項は I_O に依存する項となる。

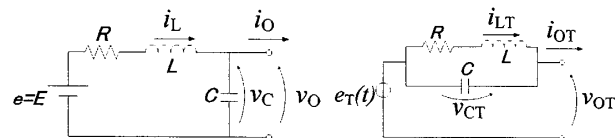


図1 スwitchング電源 図2 図1のテブナン等価回路表現の一状態

図2は図1のテブナン等価回路である。図1と図2は電源を短絡除去した回路は等価であるため、初期値が $i_{LT}^{(0)} = i_L^{(0)}$, $v_{CT}^{(0)} = v_C^{(0)}$ を満たすとき、 $E_T(s) = \frac{E}{s(LCs^2 + RCs + 1)}$ とおけば等価回路表現になる。

3 状態間の接続

上記等価回路表現では、スイッチング電源の各状態を接続する時に初期値が $i_{LT}^{(0)} = i_L^{(0)}$, $v_{CT}^{(0)} = v_C^{(0)}$ を満たす必要があるが、一般に $i_{LT}(t) \neq i_L(t)$, $v_{CT}(t) \neq v_C(t)$ であるため、補正が必要となる。図1の $I_L(s)$, $V_C(s)$ を用いて表すと

$$I_L(s) = \frac{1}{LCs^2 + RCs + 1} \left\{ CE + LCs i_L^{(0)} - C v_C^{(0)} + I_O(s) \right\} \quad (2)$$

$$V_C(s) = \frac{1}{LCs^2 + RCs + 1} \left\{ \frac{E}{s} + C(Ls + R)v_C^{(0)} + Li_L^{(0)} - (Ls + R)I_O(s) \right\} \quad (3)$$

となる。図2についても同様になると、右辺は式(2), (3)の電源 E に依存する第1項を0にしたものとなる。したがって、補正量はインダクタ電流については $I_L(s) - I_{LT}(s) = \frac{CE}{LCs^2 + RCs + 1}$, キャパシタ電圧については $V_C(s) - V_{CT}(s) = \frac{E}{s(LCs^2 + RCs + 1)}$ を逆ラプラス変換した量となり、負荷に依存しない。

図3, 4の2状態から成るブーストコンバータにおいて状態1を $15\mu s$, 状態2を $5\mu s$ とし、回路パラメータ $E = 6V$, $L = 4mH$, $C = 10\mu F$, $R = 50m\Omega$, $R_L = 30\Omega$ のときの元の回路の $v_O = v_C$, 等価回路の v_{OT} , v_{CT} を図5に示す。状態1において v_C と v_{CT} は異なるが、出力電圧 v_{OT} は v_O に常に等しいことが確認できる。

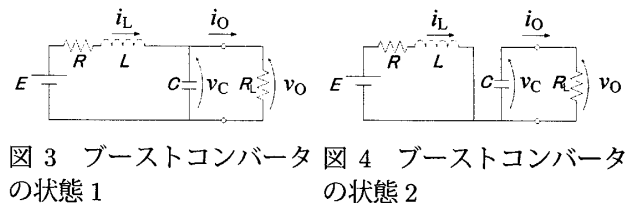


図3 ブーストコンバータの状態1 図4 ブーストコンバータの状態2

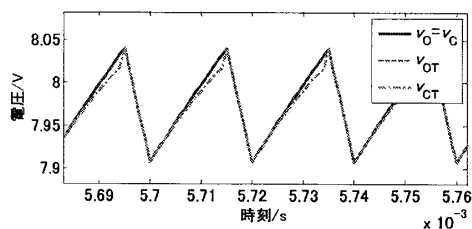


図5 元の回路の $v_O = v_C$ 及び等価回路の v_{OT} , v_{CT}

4 まとめ

各状態を個別にテブナン等価回路で表現すると、内部のインダクタ電流・キャパシタ電圧は元の回路と異なるが、状態が切り替わる時に外部の負荷に依存しない補正を加えることにより、出力について等価になることを示した。

参考文献

[1] S. Hayashi, Periodically Interrupted Electric Circuit, Denki-Shoin, 1961.