

電動航空機用軽量 マルチレベル多進数階調制御型変換器の研究

Multi-level convertor with the gradational control for electric aircraft

岩田明彦(Iwata Akihiko)

*申請タイトルは「電動航空機用軽量 9 レベル 3 進数階調制御型変換器の研究」であるが、本研究では 9 レベル 3 進数をさらに発展させ、マルチレベル多進数の領域まで踏み込んだ形で実施した。

1. 研究概要

地球温暖化ガス削減を目指し電動航空機の開発が本格化している⁽¹⁾⁽²⁾。電動航空機では数 MW～数 10MW の軽量 DC グリッドの採用が検討されている。DC グリッドには複数の電圧レベル間を相互に連携する DC/DC コンバータが必要となる。しかし一般の DC/DC コンバータはリアクトルの重量が大きいためそのままでは航空機への搭載には向かない。本研究の狙いは、実質的にリアクトルレスが実現できる DC/DC コンバータを開発するものである。今回、スイッチドキャパシタコンバータに階調制御の理念を加えた、高昇圧 DC/DC コンバータを提案する。配線程度のインダクタンス($\sim 5\mu\text{H}$)でも電源電流リップルを 5%程度に低減できることを示す。

2. 階調制御型スイッチドキャパシタコンバータ

文献 3 には、太陽電池向けリアクトルレスコンバータが提案されている。ビットインバータの出力を加減算する階調制御動作により、昇圧率として 1、1.33、1.5、2、3、4 が可能である。各ビットインバータの電圧が所定値からずれ、加減算ループ内に起電力が生じて、電池の定電流源機能が過電流の発生を抑えるためリアクトルは不要である。しかしこの方式を定電圧源に適用すると、加減算ループ内に生じた起電力による過電流を防止するため、リアクトルが必要となり、結局、重量ハンデを背負ってしまう。今回提案の方式は、加減算ループ内の起電力をほぼゼロに低減する階調制御型スイッチドキャパシタコンバータである。図 1 の提案方式の主回路では文献 3 のものに L を追加している。この L を低減することが軽量化の指標となる。今回、①電流リップル幅を検出し V_{C1} 、 V_{C2} の電圧目標値にフィードバック制御する機能、②直流電圧 V_{C1} 、 V_{C2} をフィードバックしモード幅で制御する機能、が備わっている。図 2 は、昇圧率 4 の場合の制御構成である。C₁ 充電モードの始点 t_1 と終点 t_2 の電流の差を検出して PI 積分した値を帰還し V_{C1} 、 V_{C2} の目標値を決める(機能①)。また V_{C1} 、 V_{C2} が目標値に一致するよう充電モードの幅を PWM 制御(機能②)する。

図 3 は PSIM を用いたシミュレーション結果であり、機能①の効果により、時刻 t_1 、

t_2 における電源電流 i_0 の値が一致していることがわかる。結果、 $1\mu\text{H}$ という低インダクタンスながら電流リップルが 3%に抑えられている。

3. あとがき

電動航空機の実現を目指し、リアクトルレスが見込める階調制御型スイッチドキャパシタコンバータを提案した。PSIM シミュレーションにより、配線程度($\sim 5\mu\text{H}$)のインダクタンスでも十分に低い電流リップルを実現できることを確認した。実用化を目指し、さらなる課題の抽出と対策検討を進める。

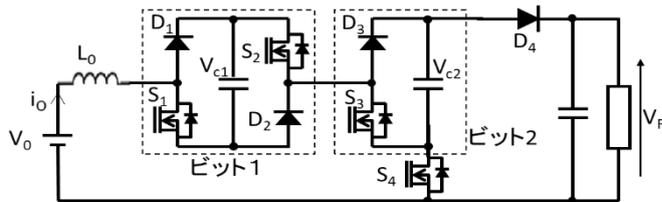


図1. 階調制御型スイッチドキャパシタコンバータの主回路
Fig1. Main Circuit of proposed converter

昇圧率	V_0	V_1	V_2	V_R
1.3	V_0	$V_0/3$	$2V_0/3$	$4V_0/3$
1.5	V_0	$V_0/2$	$V_0/2$	$2V_0/2$
2	V_0	$V_0/3$	$2V_0/3$	$2V_0$
3	V_0	V_0	$2V_0$	$3V_0$
4	V_0	V_0	$2V_0$	$4V_0$

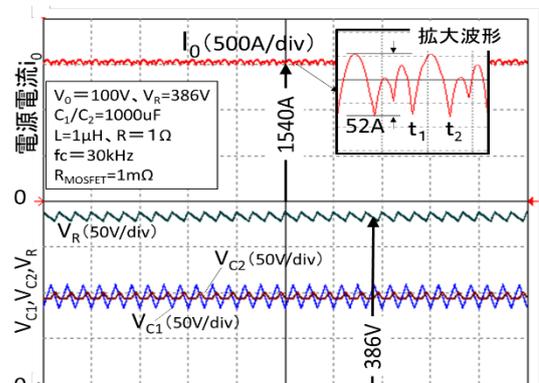


図3. PSIMによるシミュレーション波形
Fig.2. Simulation waveforms by PSIM

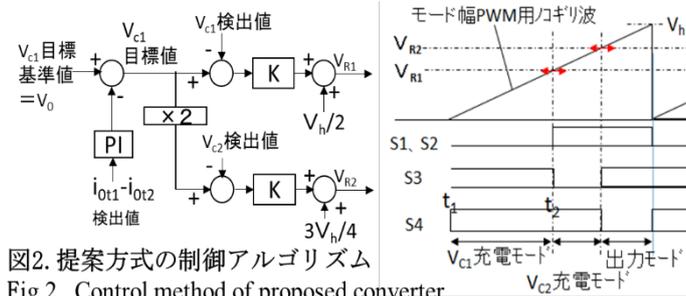


図2. 提案方式の制御アルゴリズム
Fig.2. Control method of proposed converter

文献

(1) JAXA,航空機電動化(ECLAIR)コンソーシアム,

http://www.aero.jaxa.jp/about/hub/eclair/pdf/eclair_vision.pdf

(2)岩田明彦:「航空機電動化に向けたパワーエレクトロニクスへの期待」,応用物理学会先進パワー半導体分科会第7回講演会,2020

(3) 川上知之、他:特許公報第 502825 号