

一次側 1 ターンコイルを用いた自己給電方式ゲート駆動回路用電源の取得電力と Duty 比の変化に関する検討

◎ 木之前 雄士 伊東 淳一

(長岡技術科学大学)

1. はじめに

電力変換器で使用されるパルスデバイスを駆動するには、低損失かつ低コストによる給電方法としてブートストラップ、チャージポンプなどの自己給電方式等が検討されている。しかし、これらの方法には給電回路の構成素子が主回路電源電圧に依存する課題がある。そこで我々は、図 1 に示す簡単な構成のゲート駆動回路(以下 GDU)用自己給電回路を提案している⁽²⁾。提案法には、デューティによっては取得電力が減少する領域が存在する。

本論文では、取得電力が減少するデューティの境界条件および各条件における取得電力の理論式を明らかにし、コイルの設計条件について検討を行う。

2. 提案回路の出力電力

図 2 にコイルの一次側を降圧チョップ回路のスイッチ前段に取り付けた際の等価回路モデルを示す。1 ターンコイルの二次側出力電力 P_2 は等価回路モデルの各種パラメータと回路に流れる電流の関係より(1)式にて表される。

$$P_2 = (2k - 1)L_1 I_1^2 f_{sw} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 I_1 は一次側電流、 L_1 はコイルの一次側自己インダクタンス、 k はコイルの結合率、 f_{sw} は一次側のスイッチング周波数である。ただし、(1)式は二次側電流が不連続のときに成立し、不連続となる条件は(2)式である。

$$D' \leq 1 - \sqrt{\frac{f_{sw} k^2 L_2}{(2k - 1)R_g}} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 L_2 は二次側自己インダクタンス、 R_g は二次側の出力端の抵抗、一次側のデューティ D' は(3)式で定義される。

$$\begin{cases} D' = 1 - D & \text{when } D \leq 0.5 \\ D' = D & \text{when } D \geq 0.5 \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

また、(2)式の以外の条件では、二次側電流が連続となり、コアの磁束の変化量が減少するため、(1)に比べ、平均出力電流が減少する。この時の二次側出力電力は(5)式にて表される。

$$P_2 = E_{out2} I_{out2} = k \left((1 - D') \frac{N_1}{N_2} I_1 \right)^2 R_g \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 N_1 は一次側巻き数である。(5)式より、二次側電流連続領域ではスイッチング周波数に依存しない、出力電流となる。ただし、 $1 - D'$ はコイルの二次側電流の通流時間/スイッチング周期を意味するため、スイッチング周波数が低くなると、等価的に $1 - D'$ が減少する。

一定電力を取得したいデューティの範囲の最大値を D'_{max} とした時のコイルの二次側巻き数 N_2 の設計条件は(2)式から導くことができ、(4)式にて表される。

$$N_2 \leq (1 - D'_{max}) \sqrt{\frac{(2k - 1)R_g I_e}{k^2 f_{sw} \mu_0 \mu_e A_e}} \dots\dots\dots (4)$$

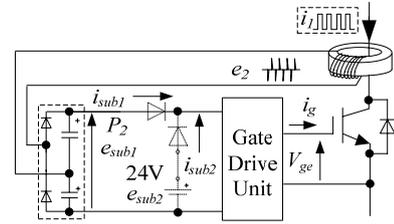


Fig. 1. Power supply circuit by one-turn coil.

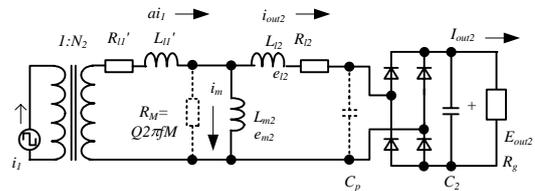


Fig. 2. Equivalent circuit with the secondary side mode of the transformer.

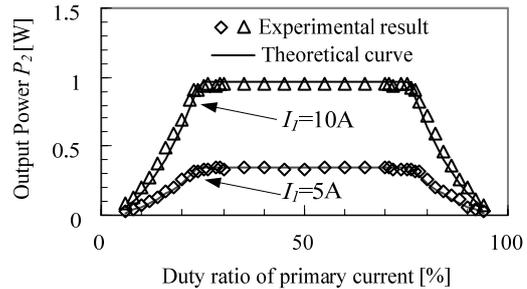


Fig. 3. Output power of the secondary side according to the Duty. ($L_1=1.12 \mu\text{H}$, $L_2=544 \mu\text{H}$, $k=0.94$, $f=10 \text{ kHz}$, $R_g=68 \Omega$)

ただし、 μ_0 は真空の透磁率、 μ_e はトロイダルコアの実効透磁率、 A_e は実効断面積[m²]、 l_e は実効磁路長[m]である。

3. 実験結果と考察

図 3 にコイルの一次側を降圧チョップ回路のスイッチの前段に取り付け、デューティを変化させた時の二次側出力電力 P_2 の理論計算結果と実験結果を示す。図 3 より、二次側出力電力の理論値と実験結果の誤差が約 4% とほぼ一致することを確認し、各条件における電力の理論式の妥当性を確認した。以下、インバータに適用した場合について考察する。インバータの負荷電流と変調率からデューティに応じて(1)(5)式に代入し、1 周期の平均を求めれば、出力 1 周期あたりの起電力が求められる。たとえば、出力電流 10A(負荷率 1)、変調率 0.8 の場合、二次側平均出力電力は 0.41W となり、今回使用しているゲート駆動回路動作に必要な電力である 0.3W 以上の出力電力を得られる。

参考文献

- (1) 今泉・佐藤, SPC-08-19, pp.49-54(2008)
- (2) 木之前・宮脇・伊東, JIASC2010,R1-12,1-77