

DC-link 電流を用いたインターリーブ方式降圧チョップパ回路の負荷電流復元

◎桐 嘉伸, 日下 佳祐, 伊東 淳一(長岡技術科学大学)

1.はじめに

インターリーブ方式を適用した DC-DC コンバータ回路では各相に設置した電流センサにより、各相の電流を検出し、各相の電流を個別に制御する必要がある。しかし相数の増加に伴い、電流センサ数が増加するため高コスト化の原因となる。文献(1-2)では、DC リンク電流から相電流を復元する方式が提案されているが、電流検出が理想的に行われるという仮定に基づいており、AD 変換時間やセンサの応答遅れの影響は考慮されていない。

そこで本論文では、検出遅れがある場合においてデューティ比及びキャリア周波数を変化させた際の電流復元精度について実験的に検証する。

2.DC リンク電流からの負荷電流復元と電流検出精度

図 1 にここで検討する 2 相降圧チョップパを示す。本来、電流復元は相数が多いほど効果的であるが、ここでは基本的な現象を把握するため、2 相とする。

図 2 に S/H(Sampling and Holding)のタイミングを示す。図 2 で示すように各相のキャリアの位相差は 180 度とし、各キャリアの頂点で S/Hをおこない、各相のインダクタ電流の平均値を検出する。また、キャリア周波数を高周波化すると遅れ時間が減少し、電流制御応答を向上できるが、サンプリングには AD 変換時間が必要であるため、電流を正しく復元可能なデューティ比に制限がある。ここで、遅れ時間 τ_{ad} を考慮したときの最大デューティ比 D_{max} と最小デューティ比 D_{min} は(1)および(2)式で表される。

$$D_{max} = 1 - \frac{\tau_{AD}}{T_{CAR}} \dots\dots\dots (1)$$

$$D_{min} = \frac{n-2}{2} \frac{\tau_{AD}}{T_{CAR}} \dots\dots\dots (2)$$

ここで n は相数である。(2)式、(3)式よりキャリア周期 T_{CAR} が大きくなるほど、また、相数 n が増加するほどデューティ比の制限が顕著に表れることがわかる。

3.実機検証

デューティ比及びキャリア周波数を変化させた際の負荷電流復元精度について実験的に検証を行った。表 2 に実験条件と各キャリア周波数の D_{max} と D_{min} を示す。なお、本実験に用いた AD 変換回路の変換時間は 4.98 μ s であり、遅れ時間の支配的な要因となっている。

図 3 にデューティ比とキャリア周期を変化させた際の電流検出誤差の測定結果を示す。インダクタの実電流はパワーメータ(WT1600, Yokogawa), DC リンク電流はホールセンサ(L18P050D15, TAMURA)で測定した。実験結果より、デューティが 0.5 付近では誤差率が 20 kHz, 50 kHz 動作時の場合でそれぞれ 2%, 15% 以内の電流検出精度が得られることがわかった。しかし、デューティが 0.5 付近の誤差率にはキャリア周波数によって差異が生じている。これは電流センサの出力信号の遅れが影響していると考えている。20 kHz, 50kHz 動作時は理論式 D_{min} , D_{max} 付近から検出精度が、デューティが 0.5 付近に比べ大幅に悪化しており、(1), (2)式で示した傾向にあることが確認できた。

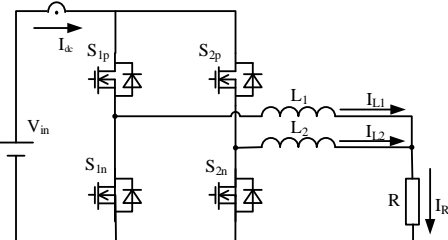


Fig. 1. 2-Phase buck chopper circuit

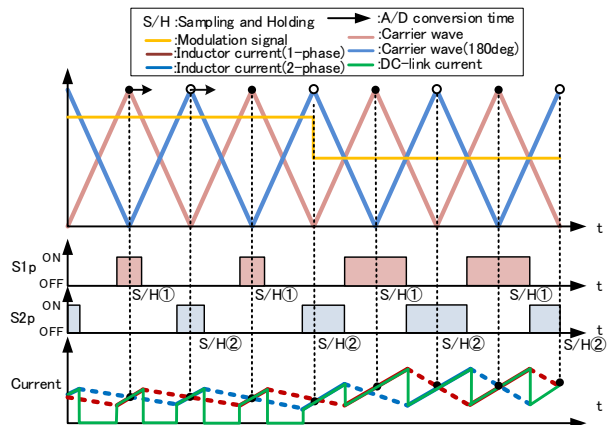


Fig. 2. Sampling and Hold timing

Table 2. Experimental conditions and maximum / minimum duty ratio

V_{in}	100 V	Carrier frequency	D_{min}	D_{max}
R	8 Ω	20 kHz	0.125	0.875
L_1	500 μ H			
L_2	500 μ H	50 kHz	0.249	0.751
τ_{ad}	4.98 μ sec			

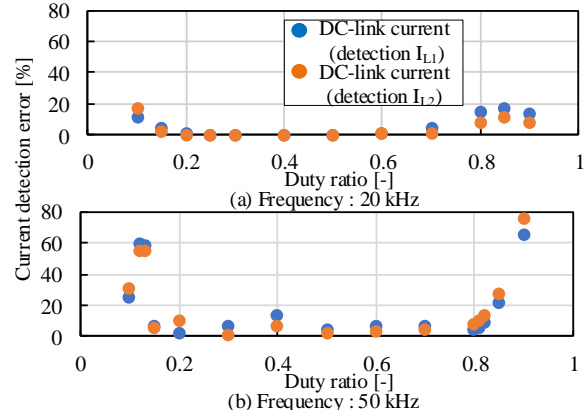


Fig. 3. The error between recovered DC-link current and actual inductor current

今後は、相数を増加、キャリア周波数を向上させた際の電流測定精度の検証と電流センサによる信号遅延誤差の補償について検討を行う。

参考文献

- Hongrae Kim : IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 26, NO. 5 (2011)
- 水主村賢吾: 電学論 D, Vol.139, No.5, pp.459-465 (2019)