

単相マトリックスコンバータを用いた瞬時電圧変動補償装置の定常偏差抑制法

江平 翔* 山本 吉朗 池田 稔 宮崎 貴将
(鹿児島大学大学院 理工学研究科)

1 はじめに

筆者らは、先に単相マトリックスコンバータを用いた小形で長寿命な瞬時電圧変動補償装置を提案した^[1]。この装置は電圧制御を比例制御で行っており、定常偏差を生じる。そのため補償電圧指令にゲインを掛けて、定常偏差が生じても必要な電圧を維持する方法を用いていたが、補償電圧の変動に応じて必要なゲインが変わってしまう欠点があった。そこで、補償電圧指令に対する補償電圧の比を 1 にするような積分制御を用いて補償電圧指令のゲインをオンラインで調整する新しい方法を提案する。本稿では、提案手法を用いることにより、必要な補償電圧が変化しても定常偏差を発生することなく電圧変動補償を行えることを実験によって示す。

2 提案された瞬時電圧変動補償装置の原理

図 1 に単相マトリックスコンバータを用いた瞬時電圧変動補償装置のシステム構成を示す。電源電圧 v_s が基準電圧 v_L^* から変動すると、その変動した v_s を用いて単相マトリックスコンバータで補償電圧 v_c を発生させ、変圧器を介して v_s に加えることによって負荷電圧 v_L を v_L^* に保つ。具体的な制御については、まず v_L^* と v_s の差を補償電圧指令 v_c^* とし、 v_c^* と実際の v_c が一致するように比例制御を行う。この出力と v_s で変調した搬送三角波を比較することで双方向スイッチ $S_1 \sim S_4$ のゲート信号を発生し、所望の補償電圧を発生させる。なお、実験では $K=1$, $K_{i2}=5.4$ を用いている。図 1 の K' 計算のブロック(黒い太線で囲んだ部分)が今回提案したゲイン K' のオンライン調整を行う部分である。

3 定常偏差抑制法の実験的検討

これまで、定常偏差抑制法として、比例制御による定常偏差を抑制するために補償電圧指令にゲイン K' を掛けオープンループで補償する方法を用いていた(以下、従来法と呼ぶ)。定常偏差を抑制するために必要なゲイン K' の値はデューティ比の決定式から求めることができる。電圧制御ループのみを考えたときのデューティ比の決定式を(1)式に示す。

$$D = \frac{K(K'v_c^* - v_c)}{v_s} \quad (1)$$

主回路の各素子を理想素子と仮定すると、 $Dv_s = v_c$ が成り立つ。この関係を用いて(1)式を整理すると(2)式が得られる。

$$\frac{v_c}{v_c^*} = \frac{KK'}{1+K} \quad (2)$$

ここで、制御がうまく行き $v_c^* = v_c$ すなわち $v_c/v_c^* = 1$ が成立するものとして K' について整理すると、比例制御による定常偏差を抑制するのに必要な K' の式が求まる。

$$K' = \frac{1+K}{K} \quad (3)$$

現在、比例ゲインは 1 を用いているため、(3)式に $K=1$ を代入すると、定常偏差を抑制するのに必要な K' の値は 2 となる。

次に、図 2 に従来の定常偏差抑制法を用いたときの補償動作波形を示す。図 2(a)は電源電圧が 40%低下したときの補償動作波形(実験波形)で、負荷電圧が 100 V_{rms} になるようにゲイン K' の値を 2.5 に調整したもので

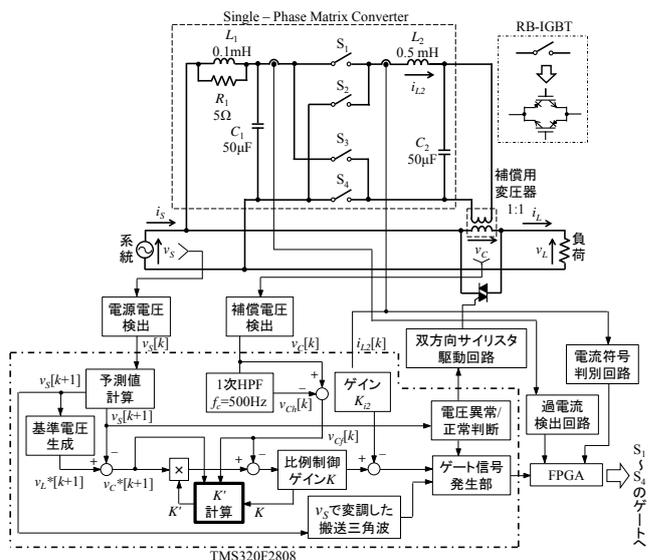
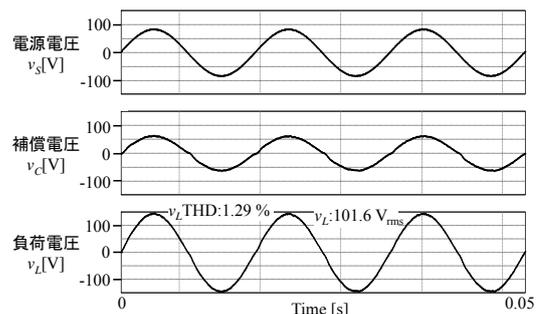
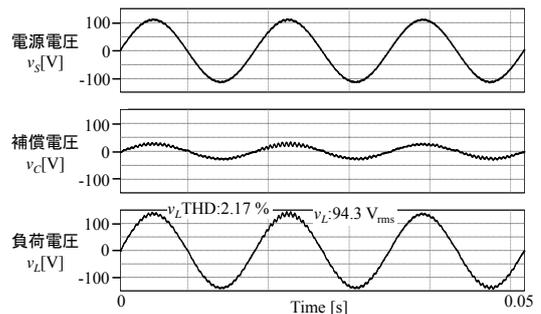


図 1 単相マトリックスコンバータを用いた瞬時電圧変動補償装置のシステム構成



(a) 電源電圧 40%低下時



(b) 電源電圧 20%低下時

図 2 250 W, 力率 1.0 負荷, 従来法適用時($K'=2.5$)の補償動作実験波形

ある。このように実際には主回路の素子の電圧降下などによって、電源電圧 40 %低下時に負荷電圧を 100 V_{rms} とするために必要なゲイン K' の値は(3)式から求めた 2 より大きくなる。図 2(b)は図 2(a)と同じゲイン K' の値を用いたときの電源電圧 20 %低下に対する補償動作波形である。電源電圧 40 %低下時に 100 V_{rms} を供給できるようにゲイン K' を調整しても電源電圧 20 %低下時には定常偏差が生じている。つまり、定常偏差を抑制するのに必要なゲイン K' の値は電源電圧の変動の度合いによって変化することがわかる。

そこで、この問題を解決するため、図 3 に示すように、比例制御による定常偏差を抑制するのに必要なゲイン K' ((3)式)に加え、補償電圧指令に対する補償電圧の比を 1 にするような積分制御を加えることで定常偏差抑制に必要な K' の値をオンラインで調整する方法を提案する。今回の検討では、積分ゲイン K_i は 150 を用いた。提案法を適用したときの実験結果を図 4 に示す。提案法を用いることで電源電圧 40 %低下の場合と従来法では定常偏差が生じてしまう電源電圧 20 %低下の場合の両方で定常偏差を抑制できていることがわかる。また、負荷電圧 THD についても従来法とほぼ変わらない値となっており、提案法を用いても十分に低い負荷電圧 THD で補償動作が可能であることがわかる。

図 5(a)に従来法において $K=2$ 選択時の、そして、図 5(b)に提案法適用時の 40 %瞬時電圧低下に対する補償動作波形を示す。提案法では電源電圧正常時には積分器の出力を 0 とし、積分動作を禁止している。そして、瞬時電圧低下発生と同時に K' の調整が始まるようにしている。図 5(a)より、従来法では電圧低下発生後 1 周期目の瞬時値は 125.7 V で定常偏差が生じていることがわかる。これに対して図 5(b)より、提案法では、電圧低下発生後 1 周期目の瞬時値が 141.0 V となっており、提案法を用いることで瞬時の電圧低下に対しても素早く定常偏差を抑制し、補償動作を行えていることがわかる。

4 まとめ

本論文では単相マトリックスコンバータを用いた瞬時電圧変動補償装置における新しい定常偏差抑制法を提案した。比例制御による定常偏差を抑制するために補償電圧指令にゲインを掛ける従来の方法では、電圧変動度によって必要なゲインが異なり、電圧変動によっては定常偏差が生じるという問題があった。そこで、補償電圧指令に対する補償電圧の比を 1 にするような積分制御を用いて補償電圧指令のゲインをオンラインで調整する方法を提案した。その結果、提案法を用いることで、電圧変動度が変化しても、瞬時の電圧低下に対しても素早く定常偏差を抑制できることを実験で示した。

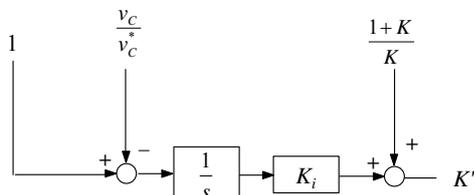
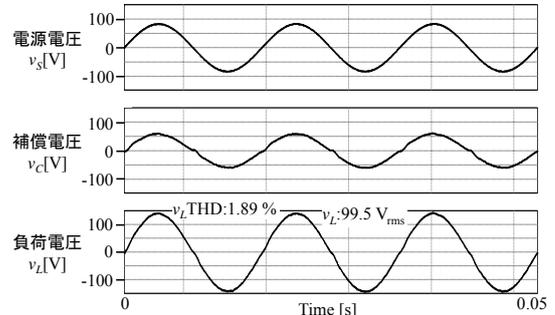


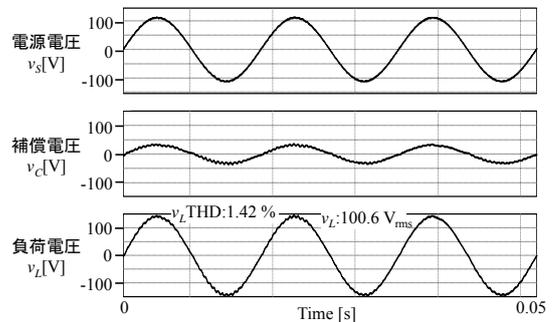
図 3 提案法の K' 計算部分のブロック線図

文献

- [1] K. Yamamoto, K. Ikeda, K. Imori, "Compensating Characteristics of Voltage Sag Compensator Utilizing Single-Phase Matrix Converter," Journal of International Conference on Electrical Machines and Systems, Vol. 2, No. 1, pp. 77-82, 2013

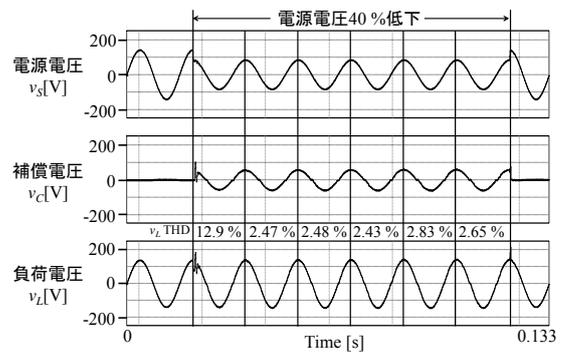


(a) 電源電圧 40 %低下時

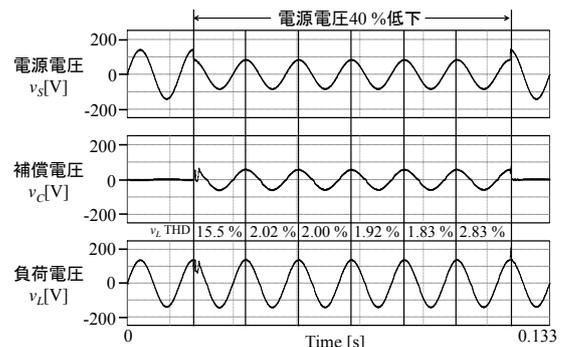


(b) 電源電圧 20 %低下時

図 4 250 W, 力率 1.0 負荷, 提案法適用時の補償動作実験波形



(a) 従来法適用時



(b) 提案法適用時

図 5 250 W, 力率 1.0 負荷, 40 %の瞬時電圧低下時の補償動作実験波形