

多重チョップを介して電解コンデンサを接続した 瞬時電圧低下補償装置の補償動作の検討

佐竹 颯太* 山本 吉朗
(鹿児島大学大学院 理工学研究科)

1 はじめに

落雷などにより系統に電圧低下が発生すると、負荷側の精密機器やコンピュータシステムが誤動作もしくは停止し、それによって多大な損失が生じる場合がある。この対策として、本研究室では蓄電要素に電解コンデンサを用いた多重チョップ付瞬時電圧低下補償装置の開発を行っている。この装置では、小形化、低コスト化を目指し補償電圧発生用のインバータ部にハーフブリッジ構成を採用してきた。今回、三相インバータ部に第 4 レグを追加することで各相独立に補償電圧を発生させることを可能にした^{[1],[2]}。この補償装置を用いて様々な系統電圧ひずみに対する補償動作について検討したので報告する。

2 瞬時電圧低下補償装置のシステム構成

図 1 に瞬時電圧低下補償装置のシステム構成を示す。平常時はサイリスタスイッチがオンしており、負荷は直接系統に接続されている。このとき、電解コンデンサの充電も行われる。スイッチ S は電圧低下の模擬に用いられる。電圧低下時にはサイリスタがオフするとともに各相のインバータが低下分の電圧を発生し、負荷に印加される電圧を正常電圧に保つ。制御回路では、系統電圧と基準正弦波との誤差の積分による補償判定、サイリスタスイッチのオンオフ、インバータの制御、チョップ制御を行う。このとき、電解コンデンサの電圧が変動しても、その電荷を有効に利用できるよう直流リンク部と電解コンデンサの間に 3 多重昇圧チョップが置かれている。3 レグ構成のインバータは、不平衡三相指令電圧に対して平衡三相の補償電圧しか出力できず、零相分を含む不平衡補償電圧を発生できない^[3]。このため、Y 結線のトランスを用いて補償電圧を注入すると、零相分の影響により補償電圧にひずみが生じていた。そこで今回、各相独立した補償電圧を発生させるために、第 4 レグを追加し、平衡三相、零相分を含む不平衡三相の補償動作について検討を行った。

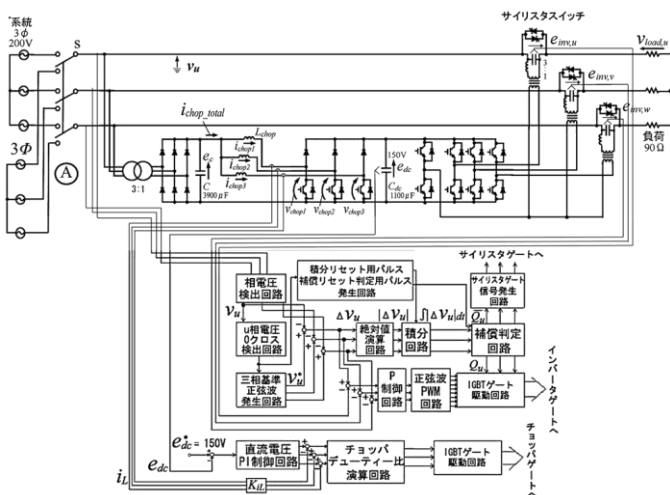


図 1 瞬時電圧低下補償装置のシステム構成図

3 三次元空間ベクトル変調

4 レグインバータの変調方式として、uvw 座標における三次元空間ベクトル変調方式(3-D SVM)を使用する。4 レグインバータのスイッチングベクトルは 16 個あり、uvw 座標においてこの 16 個の各スイッチングベクトルは図 2 のように 2 つの立方体のすべての頂点に置かれる。図 2 の十二面体は 24 個の四面体に分けることができ、各四面体は 2 つのゼロベクトルと 3 つの非ゼロベクトルが含まれている。変調方式の流れとして、まず直流リンク電圧で正規化された三相基準電圧から、これが存在する領域の四面体が決定される。スイッチングベクトルと Duty 比は基準電圧に応じて計算される。uvw 座標では四面体の選択と Duty 比の計算が非常に簡単になる。

4 シミュレーション結果

4.1 3レグおよび4レグインバータの補償電圧の比較

図 3 のようにインバータの直流部を直流電源とし、二次側に抵抗を接続した回路を用いて、シミュレーションにより 3 レグインバータと 4 レグインバータの比較を行った。このシミュレーションにおいて指令相電圧は $e_{inv,u}^* = 65\sin\omega t$, $e_{inv,v}^* = 48\sin(\omega t - 120^\circ)$, $e_{inv,w}^* = 81\sin(\omega t - 240^\circ)$ とした (v_u 40%, v_v 30%, v_w 50% 低下に相当)。図 4(a) が第 4 レグを動作させずに 3 つのレグのみで補償動作を行った場合の各部波形である。図 4(a) より線間電圧は指令通りの波形が出力されているが、補償相電圧 $e_{inv,v}$ は指令相電圧より高く、 $e_{inv,w}$ は指令相電圧より低く出力されており、3 つのレグでは零相分を含む不平衡電圧を発生できない。図 4(b) は第 4 レグを動作させたときの各部波形である。3 レグ動作とは異なり、不平衡電圧指令に対して指令通り不平衡な補償相電圧、補償線間電圧を出力できている。つまり 4 レグインバータを用いれば、各相独立した補償電圧を発生できる。

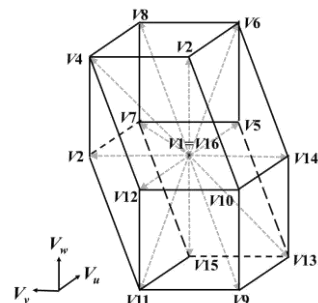


図 2 uvw 座標に基づいたスイッチングベクトル

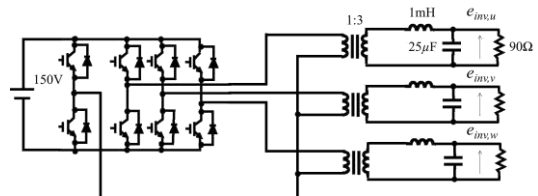


図 3 シミュレーション検討用の主回路構成

4.2 平衡・不平衡瞬時電圧低下時の補償動作

図1のシステムにおいて、4レグインバータのための変調方式を導入し、平衡電圧、不平衡電圧を出力して、瞬時電圧低下時の負荷電圧を補償できるかシミュレーションで確認した。このときの各部波形を図5に示す。

図5(a)の場合は、図1のシステムにおいて初めスイッチSを200V側に接続し、20msでA側にスイッチを切り替えることで、三相すべてに対して相電圧で約65Vの電圧低下を発生させた。

図5(b)の場合も初めスイッチSを200Vに接続し、20msでA側に切り替えることで、系統電圧を $v_u=100\sin\omega t$, $v_v=120\sin(\omega t-120^\circ)$, $v_w=90\sin(\omega t-240^\circ)$ とし、三相不平衡での電圧低下を模擬した。

図5(a), (b)の各波形から、電圧低下が検出され補償が開始されると、4レグインバータは平衡、不平衡に限らず、低下した系統電圧にトランスを介して補償電圧を加えることで負荷電圧を正常な値に保っていることがわかる。これより4レグ構成を用いれば零相分を含む不平衡補償電圧を適切に発生できることが確認できた。

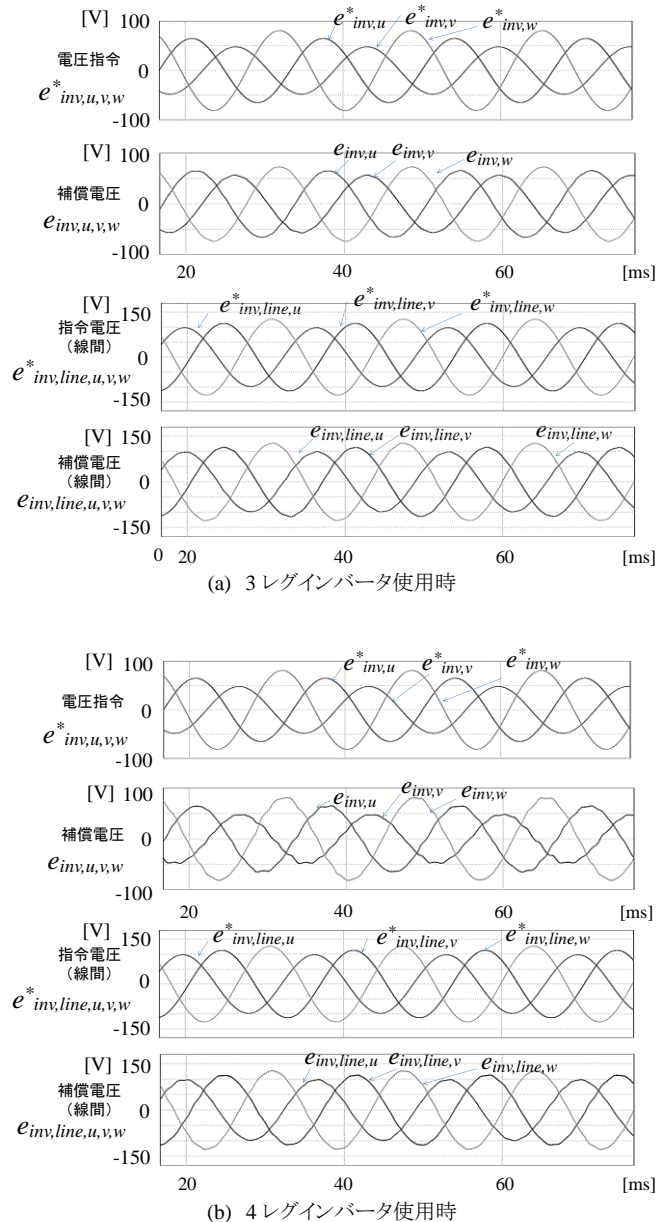


図4 3レグおよび4レグインバータの補償動作の比較

5 まとめ

多重チョップを介して電解コンデンサを接続した瞬時電圧低下補償装置において、シミュレーションにより、3レグインバータと4レグインバータの補償動作の比較を行い、不平衡電圧を生成するためには4レグが必要なことを明らかにした。さらに4レグを追加したシステム構成において平衡および不平衡の瞬時電圧低下に対してのシミュレーションを行った。このシミュレーションにより4レグインバータを用いれば、平衡電圧低下だけでなく、3レグインバータでは補償できない不平衡電圧低下に対しても補償が可能であることを示した。

文献

- [1] E. Ebrahimzadeh, Sh. Farhangi and H. Iman-Eini: "A Modulation Technique for Four-Leg Voltage Source Inverter Without Needing the Look-up Table," The 5th Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference (PEDSTC 2014), Feb 5-6, 2014, Tehran, Iran 978-1-4799-3479/14/ 2014 IEEE
- [2] Rui Wu, Donghua Chen, Shaojun Xie: "A THREE-DIMENSIONAL SPACE VECTOR MODULATION ALGORITHM IN A-B-C COORDINATE IMPLEMENTED BY A FPGA," 31st Annual Conference of IEEE industrial Electronics Society, 2005. IECON 2005 IEEE Conference Publications 0-7803-9252-3/05/ 2005 IEEE
- [3] 山本, 古庄, 飯盛, 池田: 「多重チョップを介して電解コンデンサを接続した瞬時電圧低下補償装置の補償電圧ひずみ抑制」平成21年度電気学会九州支部連大, 01-1A-07

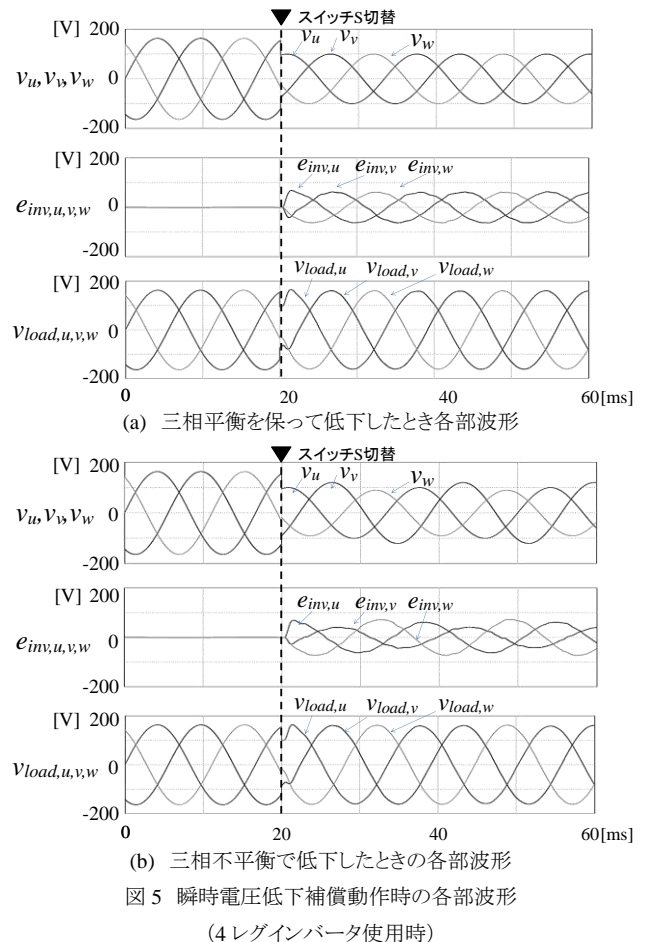


図5 瞬時電圧低下補償動作時の各部波形 (4レグインバータ使用時)