

A Common Mode-less Power Supply Operation with NPC inverters

Yoshinori Kurimoto^{#,A)}, Kunio Koseki^{A)}, Yuichi Morita^{A)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba-chi, Ibaraki-ken, 305-0801

Abstract

It is widely known that common-mode current can reduce the performance of power converters or their load system. Especially for the high-precision power converters such as used for the magnets in accelerator, the common mode noise is very serious. For rejection of the common mode current, we propose to use NPC (Neutral Point Clamped) inverters with limited switching modes so that the common mode current is in principle not produced. In this article, we present the comparison between our proposal and other known methods and show the advantage to use the NPC inverters. In addition, we report the result of our experiment which is performed to show the validity of our proposal

NPC インバータを用いた電磁石電源のコモンモードレス運転

1. はじめに

大強度陽子加速器 J-PARC 主リングでは、1 MW 級の出力ビームを達成するため、現状 2.5 秒の繰り返し周期を 1 秒程度に縮めることを目標とし、新電磁石電源の開発を精力的に進めている。また、本新電源は高繰り返しの実現と同時に、安定な遅れ取出し等の観点から出力電流の精度として ppm オーダーの電源でなければならない。

このような高精度の電源においては、コモンモード電流によるノイズ等が電源や電磁石の性能を制限してしまう問題が古くから知られている。コモンモード電流とは、回路が大地に対して有限の電位で浮いた場合にケーブル容量や負荷の浮遊容量を介して大地に流れる電流の事である (図 1)

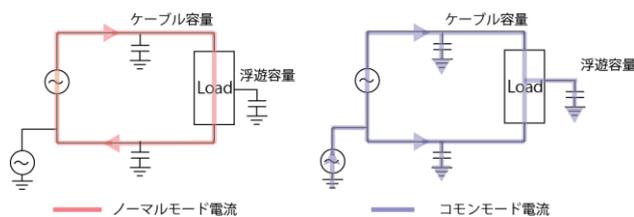


図 1: ノーマルモード電流とコモンモード電流

我々は NPC (Neutral Point Clamped) インバータを用い、それを特定のスイッチングモードで動作させる事でコモンモード電流を原理的にゼロにする事を考案し、試験電源における原理実証を行った。本論文では、まず従来方式の紹介及び問題点を提起し、次に NPC インバータの動作原理および本方式のメリットを述べる。その後、試験電源における実験結果を報告する。

2. H ブリッジインバータおよびそのコモンモード電流対策

加速器電源でよく使われるインバータとして、H ブリッジインバータが挙げられる。図 1 にその回路構成および、各スイッチングモードを示す。H ブリッジインバータに於いては、力行および回生モード (図 1 A,C) 時に出力の中性点電位が対地 0V になるのでコモンモード電流は原理的に流れない。しかし、還流モード (図 1 B) 時は出力の中性点電位は大地から浮いてしまう。この場合、ケーブルの対地容量等を介してコモンモード電流が流れてしまう。

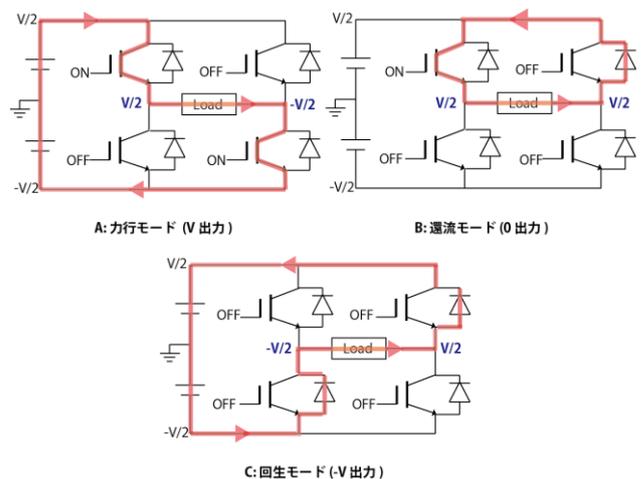


図 2: H ブリッジインバータ

この同相電流の対策として、従来からよく用いられる方法としては同相電流用フィルタおよびインバータ二台を直列に接続し、その中点を接地する方法が挙げられる (図 3)。しかしながら、原理的にコモンモード電流が発生する回路にフィルタをつける場合はフィルタの規模が大きくなってしまいます。また、インバータを直列にする場合には変換器を二台

用意する必要があるため、どちらもコストやスペースが問題になってくる。

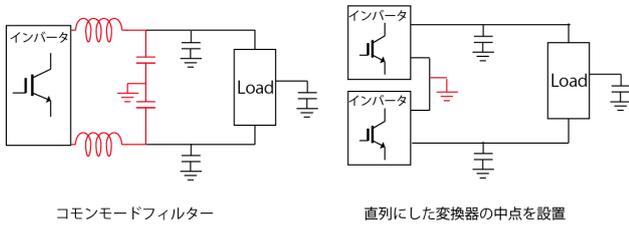


図 3: 従来のコモンモード対策

3. NPC インバータ

加速器電源ではあまり用いられていないが、産業界では NPC インバータとよばれる方式も使用されている。図 4 に回路構成を示す。図 4 に示すように直流入力電圧を V とすると、NPC インバータは V 、 $V/2$ 、 0 、 $-V/2$ および $-V$ の五つのレベルが出力可能であり、負荷に流れる高調波を減らす目的で使用される。

我々は、NPC インバータの 5 つのスイッチングモードのうち、 V モード(図 4A)、 0 モード(図 4C) 及び $-V$ (図 4E)モードの三つは出力の中性点電位がすべて対地 $0V$ である事に着目し、その 3 つのスイッチングモードのみを用いてコモンモードが原理的に流れない運転方法を考案した[1,2,3,4]。

この手法を用いれば、変換機(インバータ)一台でコモンモードレス運転が可能のため、変換機を二台直列につなぐ方法にくらべてコスト面およびスペースの観点から有利である。また、同相電流用のフィルタに関しても不要になるかもしくは大幅に規模を縮小する事が可能になる。

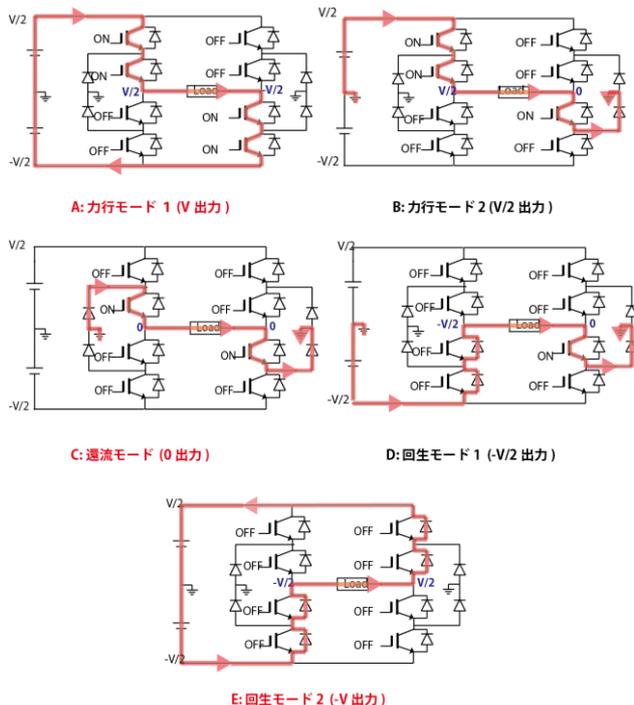


図 4: NPC インバータ

4. 試験電源による原理実証

我々は、試験電源を製作し NPC インバータを使ったコモンモードレス運転の原理実証を行った。図 5 に試験のセットアップを示す。

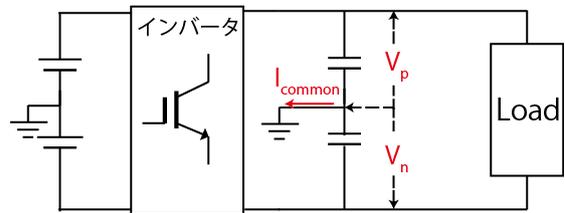


図 5: 原理実証のセットアップ

試験ではインバータ出力両端の対地電位を測定し回路の中性点電位 $(V_p + V_n)/2$ を求め、NPC インバータおよび H ブリッジインバータで比較した。また、実際に対地容量を模擬したキャパシタをつけ、大地に流れるコモンモード電流 (I_{common}) も両インバータ間で比較を行った。

図 6 に H ブリッジインバータの試験結果を示す。上図が中性点電位で下図がコモンモード電流である。実際に中性点電位が変動しており、その変動に同期してコモンモード電流が流れていることが分かる。

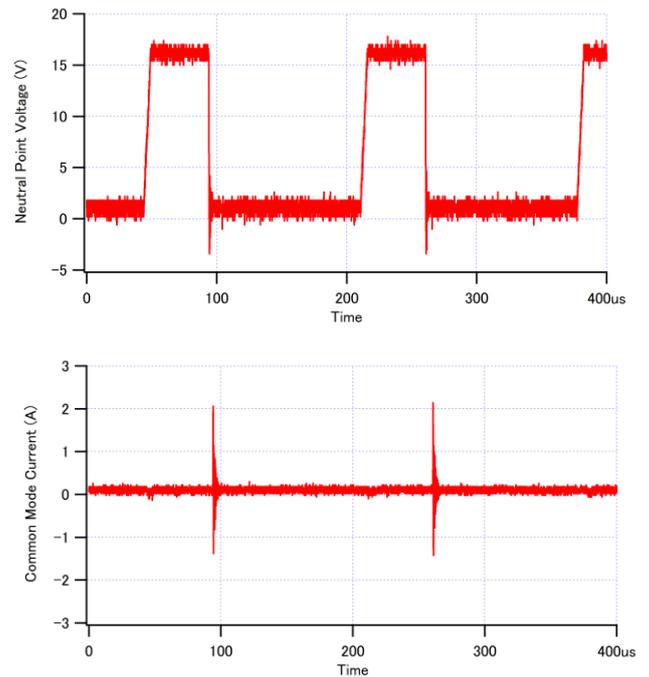


図 6: H ブリッジインバータ出力の中性点電位及びコモンモード電流

図 7 に NPC インバータの時の試験結果を示す。図 6 と同様に、上図が中性点電位で下図がコモンモード電流を示している。H ブリッジインバータとは違い中性点電位の変動はほとんどなく、それに伴いコモンモード電流もはるかに少なくなっている事が分かる。原理的にはコモンモード電流は流れない回路構成であるが、実際には回路定数を完全に対称にする事は不可能なため、わずかにコモンモード電

流は流れる。しかしながら、同相フィルタによる除去がHブリッジインバータの場合に比べてはるかに容易になる。

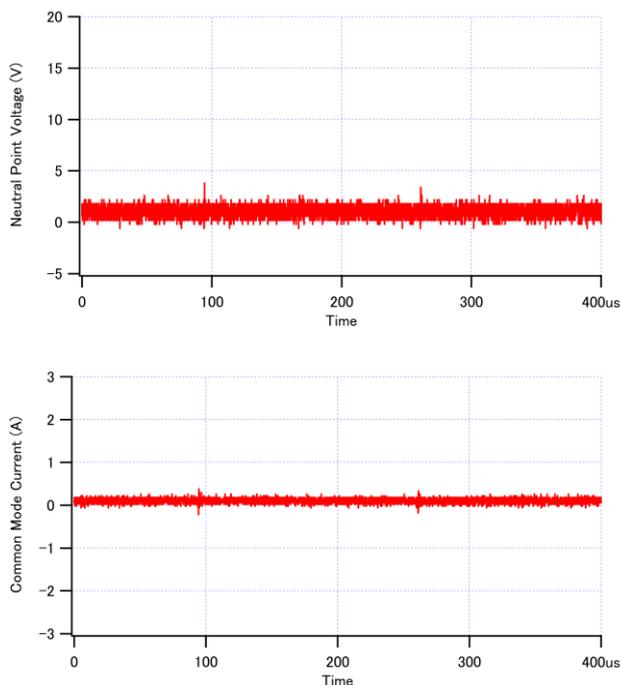


図6：Hブリッジインバータ出力の中性点電位及びコモンモード電流

4. まとめ

我々は、NPC インバータを用いその特定のスイッチングモードのみで運転する事でコモンモード電流を除去する方法を考案した。この手法を用いる事によりインバーター台で原理的にコモンモード電流を無くす事が可能になる。また、現実的にはコモンモード電流は発生してしまうが、それは回路の非対称性からくるわずかなものとなりコモンモードフィルタの設計も非常に容易になる。さらに、試験電源を用いた原理実証を行い、我々の考案が正しい事を示した。以上から、我々はJ-PARC 主リングの新電磁石電源としてコモンモード電流除去の観点から、NPC インバータを用い、スイッチングを限定して動作させる事を提案している[5]。

謝辞

本研究を進行するに当たり予算等様々な面で支援頂いた高エネルギー加速器研究機構、加速器研究施設主幹、内藤富士雄氏および小関忠氏に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] H. Zhang, "Multilevel Inverter Modulation Schemes to Eliminate Common-Mode Voltage", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 36, NO. 6, NOVEMBER/DECEMBER 2000
- [2] H. Kim, et al., "A New PWM Strategy for Common-

Mode AC Motor Drivers", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 37, NO. 6, NOVEMBER/DECEMBER 2001

- [3] Y. Lai, "Optimal Common-Mode Voltage Reduction PWM Technique for Inverter Control with Consideration of the Dead Time Effects-Part I: Basic Development", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 40 NO. 6, NOVEMBER/DECEMBER 2004
- [4] A. Videt, "A New Carrier-Based PWM Providing Common-Mode-Current Reduction and DC-Bus Balancing for Three-Level Inverters", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 54 NO. 6, NOVEMBER/DECEMBER 2007
- [5] K. Koseki, et al., "Development of a High Power NPC Inverter" 第9回日本加速器学会年会, Osaka, Aug 8-11, 2012