

鉄道車両用インバータ制御装置について

1. はじめに

従来、電車の制御は直流モータにより行われ、そのメンテナンスに多大な労力を要していたが、省メンテナンスに有利な交流誘導モータとインバータ制御装置を組み合わせたシステムが開発され、鉄道車両用推進制御システムとして広く適用されている。

本稿では、インバータ制御装置に関する、基本的な内容を紹介する。

2. インバータ制御装置とは

2.1 車両速度制御

直流モータの速度及びトルクの制御は、モータに印加する直流電圧を、抵抗回路やチョップ装置などで制御することで実現していた。それに対し、交流誘導モータでは、モータに印加する三相交流の電圧と周波数の両方を、連続的に可変制御し、トルク及び速度制御を実施している。

インバータ装置は、**図1**に示す通り、各種スイッチ類やフィルタ回路を経て、架線から供給された直流電力を、交流誘導モータを駆動するための三相交流電流に変換する装置である。(架線が単相交流の場合、整流装置やコンバータ装置にて、直流に変換し、インバータ装置で三相交流電力に変換する。)

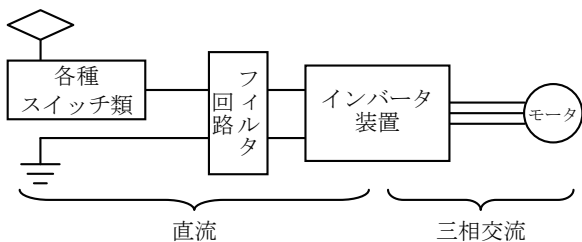


図1 インバータ装置概略

電車の加速時は、モータに入力する三相交流の周波数(回転磁束を発生)を、回転子の回転周波数よりも、高い周波数とする。つまりすべりを発生させ、回転磁束を回転子導体と鎖交させ、その電磁誘導作用により回転力を得る。それに対し、ブレーキ時は、加速時の回転磁束と回転子周波数を逆の関係とし、モータを発電機として動作させ、ブレーキ力を得る。この場合、自車の運動エネルギーが、電気エネルギーに変換され、この電気エネルギーを、架線上の他の加速している車両に供給可能であり、省エネルギー化に寄与している。

2.2 インバータ装置の変遷

インバータ装置は、1982年に路面電車に、1986年にDC1500V架線車両に国内で初めて適用されて以来、広く普及してきた。この間、インバータ装置に適用される電力変換用の主回路素子の進歩に合わせ、インバータ装置の方式(制御単位)も変化した。以下に、主回路素子及び主回路制御単位の変遷を紹介する。

(1) 主回路素子

初期のインバータ装置には、サイリスタが適用されたが、サイリスタは一度ONになると、ゲート電流の操作では、主電流を遮断できない。このため、サイリスタをOFFさせるための「転流回路」が必要となり、広く普及することはなかった。

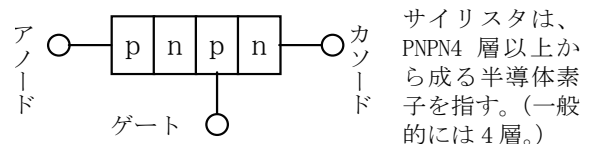


図2 サイリスタ模式図

次に、ゲート電流の正負で、主電流をON-OFFできるように、ゲート端子の電極配置を工夫したGTO(Gate Turn Off)サイリスタが開発された。転流回路が不要で、高耐圧・大容量であるため、インバータ装置の、電車への適用拡大に大きく寄与した。

GTOサイリスタはゲート電流を制御する必要があるため、ゲートアンプ等の制御機器が大型化するというデメリットがあった。そのような背景の中、開発されたのがIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)である。IGBTの模式図を図3に示す。IGBTはゲートの電圧制御だけで主電流をON-OFFできるため、ゲートアンプ等が不要となり、機器の小型化ができる。また、GTOサイリスタよりもスイッチング周波数を高くでき、制御性能向上、低騒音化等に有利なため、GTOサイリスタに替わる素子として急速に普及した。

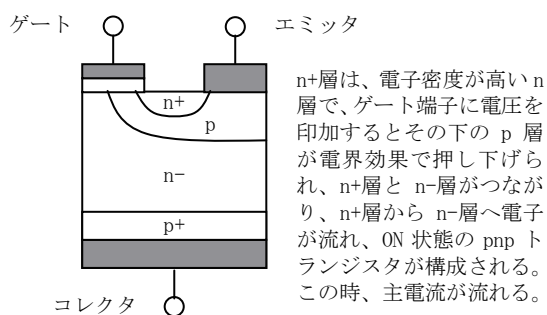


図3 IGBT 模式図

(2)主回路制御単位

主回路の制御単位として、主にインバータ装置1台に、モータを2台接続して車両に搭載した「台車制御方式」と、インバータ装置1台にモータ4台が接続される「4個モータ制御」がある。両方式間で最も異なるのが冗長性であり、長大編成では4個モータ制御、短編成では台車制御等、車両システムに合わせ、最適なシステムを採用するようにしている。なお、4個モータ制御の方が、インバータ当たりの電流容量は大きくなるが、近年の素子の大容量化により、電流容量の問題はなくなってい

る。また、制御部の高性能化により、両方式間でモータの制御性能の差もなくなっている。

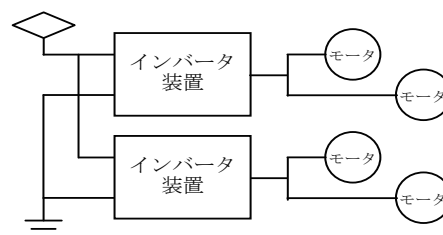


図4 台車制御概略図

一方、電気機関車のように、大容量のモータを駆動し、空転、滑走等で高精度の制御を実施する必要がある場合は、インバータ装置1台に、モータ1台を接続する「個別制御」が採用されている。

3.インバータ制御装置の構成

3.1 主回路部の構成

図5に、現在の直流電車で一般的な主回路の概略を示す。

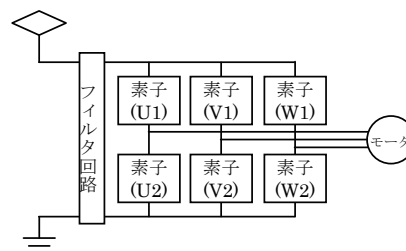


図5 インバータ装置の主回路部構成

(1)主回路素子

インバータ装置はU相、V相及びW相の3相から成り、各相は上アーム素子、下アーム素子の2個の主回路素子から構成される。上下素子を交互に高速でON-OFF（スイッチング）させ、交流誘導モータを駆動するための三相交流電流を生成する。

(2)冷却器

主回路素子のスイッチング動作の繰り返しでスイッチング損失が発生し、発熱する。その冷却のために、冷却器が設けられるが、純水を冷媒に用いたヒートパイプ式走行風利用型や、ブロワによる強制風冷型がある。

(3) フィルタ回路

主回路素子のスイッチング動作により、高調波ノイズが発生し、信号機器類に影響を与える恐れ（誘導障害）がある。フィルタ回路は、高調波ノイズの帰線側への流出と変電所からのリップル成分の流入を抑制するため、インバータ装置の入力側に設けられる。一般的にフィルタリアクトルと、フィルタコンデンサから成る逆L字形回路で構成される。

3.2 制御回路部の構成

制御回路部の構成を図6の破線部に示す。

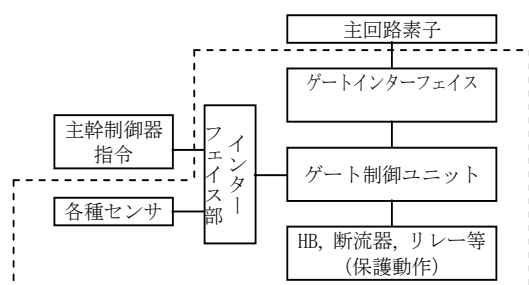


図6 インバータ装置の制御部周辺の構成

(1) ゲート制御ユニット

ゲート制御ユニットは、トルク演算や、インバータ制御のためのゲート信号生成、保護動作、接触器動作のためのリレーシーケンス制御等の機能がある。ゲート制御ユニットは、マイコンや集積回路を搭載した基板が実装され、各種入力信号を基に、DSP(デジタルシグナルプロセッサ)やソフトウェアにより演算を行い実現している。

(2) インターフェイス部

運転台からの制御指令等の信号は、インターフェイス部にある分圧抵抗盤を介して、ゲート制御ユニットに取り込まれ、制御に用いられる。

(3) ゲートインタフェイス

ゲートインタフェイスは、低圧回路側(ゲート制御ユニット)と高圧回路側(主回路素子)の両者を絶縁するため、ゲート信号(電気信号)を、光信号に変換して光ファイバ経由で主回路素子に送信している。

4. 近年のインバータ制御装置について

近年のインバータ制御装置の技術的なトピックスについて、以下2点を述べる。

4.1 制御指令伝送

従来、制御信号毎に割り付けた制御線の加圧の有無で制御を行ってきた。近年、マイコンの信頼性向上により、汎用ネットワーク機器を基にしたデジタル伝送装置が、艀装線の削減を目指して適用され始めた。伝送装置の構成概略の一例を、図7に示す。

運転台や各種センサからの信号等が、予め決められた形の2進数データとして、CCU(伝送指令装置)とTCU(ゲート制御ユニット)、又はCCUとBCU(ブレーキ制御ユニット)の間で、一定周期でやり取りされ、そのデータを基に制御が行われる。

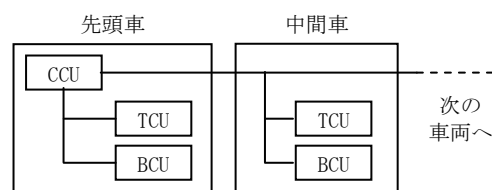


図7 デジタル伝送装置の構成

4.2 次世代素子の登場

主回路素子の代表的な材料として、Si(ケイ素)が挙げられるが、近年、SiC(炭化ケイ素)を用いた素子が登場した。SiC素子は、高温特性や損失面でSi素子よりも優れており、その特性を生かし、冷却器の小型化やシステムの省エネ化を目的とし、普及が期待されている。

5. おわりに

交流誘導モータ及びインバータ制御装置の登場により、鉄道車両の機能、メンテナンス性は大きく向上した。現在も、更なる発展を目指し、新技術の開発等、絶え間ない努力が続けられている。

(三菱電機株式会社 伊丹製作所
車両システム部 石田 貴仁)