

熱間圧延設備向け15 MVA高圧大容量 IGBTインバータドライブシステム

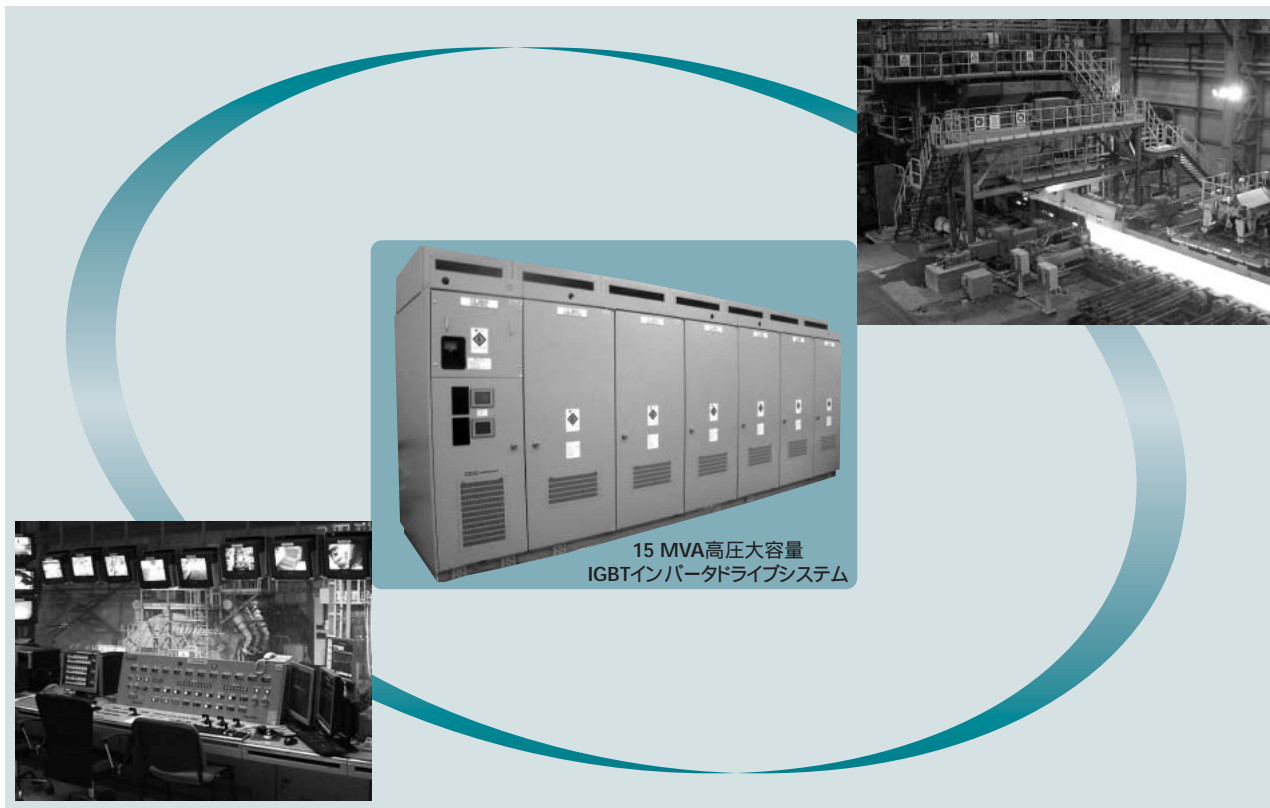
Inverter-fed AC Drive Systems for Hot Rolling Mills

執行 正謙 Masakane Shigyou

小林 健二 Kenji Kobayashi

永田 寛 Hiroshi Nagata

加藤 修治 Shuji Kato



注:略語説明 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)

図1 15 MVA高圧大容量IGBTドライブシステム

15 MVA高圧大容量IGBTドライブシステムは、熱間圧延設備の大容量電動機を駆動可能な高性能ドライブシステムである。鉄鋼プラントだけでなく、さまざまな用途に適用される汎用3.3 kV/1.2 kA(2.4 kAp)定格IGBTを適用し、製品ライフサイクルの長期化を図っている。

鉄鋼業界では、世界規模で新規圧延設備が建設されている。また、既設圧延設備においても、設備老朽化対策のため、圧延機用電動機の交流電動機化更新が進められている。

日立グループは、圧延補機用から圧延主機用に至るまで、IGBTインバータドライブシステムの製品を取りそろえ、国内、国外の鉄鋼メーカーに納入している。

今回、より多くの鉄鋼ユーザーニーズに応え、熱間圧延設備の圧延主機に適用される大容量交流電動機を駆動することができる15 MVA高圧大容量IGBTインバータドライブシステムを製品化した。

1.はじめに

鉄鋼プラントでは、交流電動機を可変速制御するインバータドライブシステムが早くから適用され、製品鋼板の高品質化・歩留り向上やプロセスの安定操業に大きく寄与してきた。このため、その適用範囲は、圧延補機用の小容量電動機から圧延主機用の大容量電動機にまで拡大している。

近年、インバータドライブシステムには、システムの小型化、高効率化、コストパフォーマンスが求められている。日立グループは、これらのニーズに対応するため、IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)インバータドライブシステムを製品化し、小容量から大容量まで幅広い容量のインバータドライブシステムを市場リリースしている。IGBTは、回路構成をシンプルにでき、小型かつ高効率でコストパフォーマンスに優れたインバータドライブシステムを構築することが可能である。

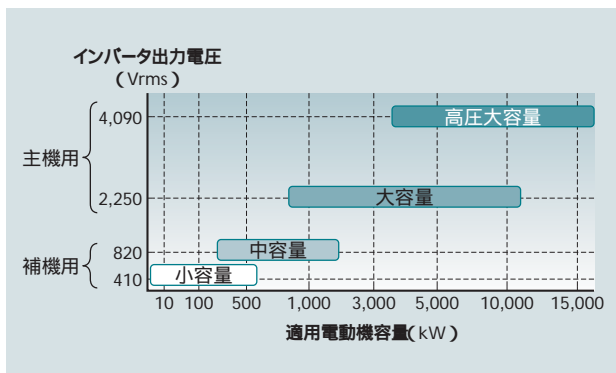


図2 圧延機用IGBTインバータドライブシステムの製品ラインアップ
数キロワットの小容量電動機から1万kWを超える大容量電動機まで、4機種でカバーできる。

ここでは、圧延機用IGBTインバータドライブシステムと、今回製品化した、熱間圧延設備向け15 MVA高圧大容量IGBTインバータドライブシステムの概要について述べる(図1参照)。

2. 圧延機用IGBTインバータドライブシステム

圧延機用IGBTインバータドライブシステムの製品ラインアップを図2に示す。インバータの機種構成は、インバータ出力電圧で区分され、その高電圧化によってインバータの大容量化を実現している。また、同一機種においてインバータ容量をシリーズ化し、ユーザーニーズに対し、最適電圧、最適容量のインバータドライブシステムを提供できる。

製品の仕様を表1に示す。これらの製品は、パワーデバイス、制御基板を機種間で共通化することで、納入設備における予備品の共有を可能としている。また、上位制御システム通信用フィールドネットワークは、全機種ともCAN(Control Area Network)、DeviceNet¹⁾、PROFIBUS²⁾など、選択の自由度がある。

3. 高圧大容量IGBTインバータドライブシステム

従来、圧延主機用として6 kV/6 kA定格GTO(Gate Turn-off Thyristor)を適用したGTOインバータドライブシステムを市場リリースしてきたが¹⁾²⁾、IGBTの大容量化によって、GTOインバータドライブシステムの容量に匹敵するIGBTインバータドライブシステムの構築が可能となった。IGBTインバータドライブシステムは、GTOインバータドライブシステムより先小型かつ高効率でコストパフォーマンスに優れるという特徴がある。そこで、これらの特徴を生かすために、汎用3.3 kV/1.2 kA(2.4 kAp)定格IGBTを適用した10 MVA大容量IGBTインバータドライブシステム³⁾を製品化した。さらに、熱間圧延設備に適用される1万kWクラスの主機電動機駆動を目的とし、インバータのさら

表1 製品ラインアップの主な仕様

主要な構成部品を機種間で共通化している。また、上位制御システムとの通信用フィールドネットワークも選択の自由度がある。

| 機種 | 仕様 | | |
|-------|--|---------|--|
| | パワーデバイス | 制御基板 | 上位通信 |
| 小容量 | IGBT | 補機用制御基板 | <ul style="list-style-type: none"> • CAN • DeviceNet • PROFIBUS |
| 中容量 | IGBT { 3.3 kV/1.2 kA (2.4 kAp) | 主機用制御基板 | |
| 大容量 | | | |
| 高圧大容量 | | | |

注:略語説明 CAN(Control Area Network)

なる大容量化を進め、今回、15 MVA高圧大容量IGBTインバータドライブシステムを製品化した。

3.1 システム概要と特徴

15 MVA高圧大容量IGBTインバータドライブシステムの外観を図3に示す。このシステムの特徴は以下のとおりである。

- (1) 汎用3.3 kV/1.2 kA(2.4 kAp)定格IGBTを適用し、製品ライフサイクルの長期化を図った。
- (2) IGBTの2直列化によって出力電圧を高圧化し、大容量化を図った。
- (3) 主回路セルユニットの並列接続によって、容量をシリーズ化し、ユーザーニーズに最適なインバータドライブシステムを提供可能とした。

定格出力容量のラインアップは、単機構成の場合、5.4 MVA、10.2 MVA、15 MVA、2バンク構成では、20.4 MVA、30 MVAである。

このシステムは、高電圧回路から成る変換器盤と、低電圧回路から成る制御盤との列盤構成となっている。冷却方式は水冷却である。変換器盤には、回路の主要部分をユニット化したセルユニットなどが実装されている(図4参照)。セルユニットは、容易に交換することが可能であり、故障発生時の復旧時間短縮を実現している。

制御盤には、上位制御システムとの通信とベクトル制御演算を行う制御回路と、冷却水引込配管を実装している。盤面にはグラフィックパネルを実装し、電動機運転状態をリアルタイム

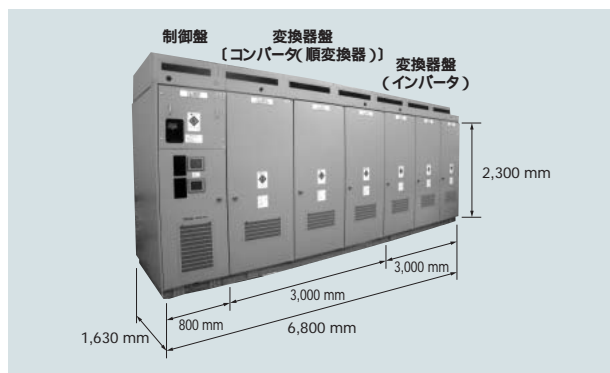


図3 15 MVA高圧大容量IGBTインバータドライブシステム
コンバータ、インバータ変換器盤および制御盤の列盤構成となっている。定格出力容量15 MVAのシステムでは、約1万kWの電動機を駆動できる。

1) DeviceNetは、Open DeviceNet Vendors Association, Inc.の商標である。

2) PROFIBUSは、PROFIBUS User Organizationの商標である。

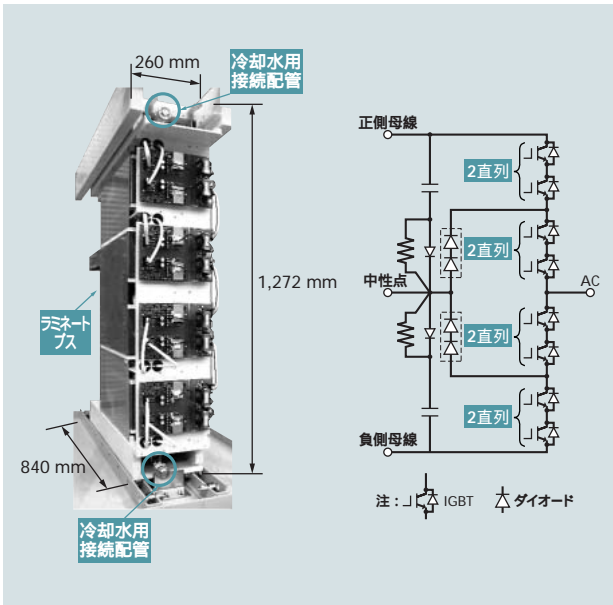


図4 セルユニットとセルユニット内部回路
IGBT8個とダイオード(2in1)2個をラミネートバスで接続し、NPC(Neutral Point Clamped)型3レベルインバータ回路を構成する。ユニット正面には冷却水用接続配管を実装し、冷却水(純水)を取り込む構造とした。

表2 高圧大容量IGBTドライブシステムの基本仕様
5.4 MVAから最大30 MVAまで、幅広い容量をそろえている。

| 項目 | 仕様 | | | | |
|---------------|--------------------|-------|---------|-------|-------|
| 回転方式 | NPC型3レベルインバータ* | | | | |
| 適用電動機 | 3端子 | | 6端子 | | |
| 変換器盤面数 | 1面 | 3面 | 3面×2バンク | | |
| セルユニット並列数 | 1並列 | 2並列 | 3並列 | 2並列×2 | 3並列×2 |
| 定格出力容量 (MVA) | 5.4 | 10.2 | 15 | 20.4 | 30 |
| 定格出力電流 (Arms) | 760 | 1,460 | 2,110 | 2,920 | 4,220 |
| 定格出力電圧 (Vrms) | 4,090 | | | | |
| 冷却方式 | 水冷式(純水) | | | | |
| 過負荷仕様 | 150%(1分間) | | | | |
| 変換効率 | 98%以上(コンバータ+インバータ) | | | | |

注: * NPC型3レベルインバータ +, 0, - の相電圧を出力する方式)

ム表示するとともに、起動インターロック表示、故障要因表示などのRAS(Reliability, Availability and Serviceability)機能を備えている。ドライブシステムのRASデータや設定データはメンテナンス用PCを用いて管理可能であり、イーサネット³⁾を経由し、メンテナンス用PC1台で複数台のドライブシステムを集中管理することができる。上位制御システム通信用フィールドネットワークは、CAN, DeviceNet, PROFIBUSなどに対応できる。

コンバータには正弦波PWM(Pulse Width Modulation)制御を採用し、電源力率 1.0を実現している。インバータにはベクトル制御に加え、圧延主機用ドライブシステムに必須の軸ねじり振動抑制制御(状態フィードバック制御)、撤(せん)速性制御(フィードフォワード制御)を備えている。

3) イーサネットは、富士ゼロックス株式会社の商標である。

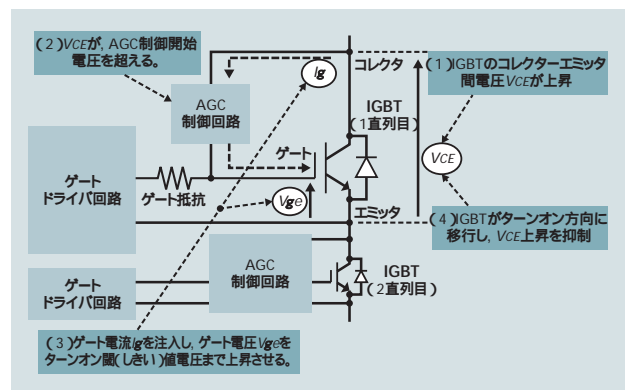
システムの基本仕様を表2に示す。このシステムは、セルユニットを最大3台まで並列接続することで、定格出力容量を、単機構成で最大15 MVA、2バンク構成で最大30 MVAを実現可能とした。過負荷仕様は150%(1分間)である。また、スイッチング周波数の適正化によって、変換器効率98%以上(コンバータ+インバータ)を達成した。従来のGTOインバータドライブシステムの変換器効率が約96%(コンバータ+インバータ)であったのに比べ、大幅な高効率化を図ることができる。

3.2 IGBT直列化技術

このシステムは、3.3 kV/1.2 kA(2.4 kAp)定格IGBTを2直列接続してNPC(Neutral Point Clamped)型3レベルインバータ回路を構成し、インバータ出力電圧の高圧化を実現している。IGBT直列接続においては、IGBT 2直列間の電圧分担の制御、および電流遮断時に印加されるはね上がり電圧を抑制し、IGBTを安定に動作させる必要がある。これらの技術課題を解決するため、AGC(Active Gate Control)制御と低インダクタンス主回路配線を採用した。

AGC制御回路を図5に示す。AGC制御は、IGBTのコレクタ-エミッタ間電圧がAGC制御開始電圧を超えたとき、コレクタからゲートへ電流を注入し、ゲート電圧を制御することでIGBTのコレクタ-エミッタ間電圧を制御する。これにより、2直列接続されたIGBTの電圧バランスをとり、素子への負担を軽減している。

また、IGBT電流遮断動作時ののはね上がり電圧を抑制するため、セルユニット内の主回路配線は、平板電極を積層したラミネートバス構造とした。ラミネートバスは、電流の流れる方向が異なるブスどうしを近接させ、おのおのを流れる電流から発生する磁界を相殺させることで配線インダクタンスの低減を図る。ラミネートバスの構造は、図6に示す三次元電磁界解析モデルを用い、電磁界解析シミュレーションによって最適化している。



注: 略語説明 AGC(Active Gate Control)

図5 AGC制御回路

IGBTのエミッタ-コレクタ間電圧を制御することで、直列接続されたIGBTの電圧分担を適正化する。

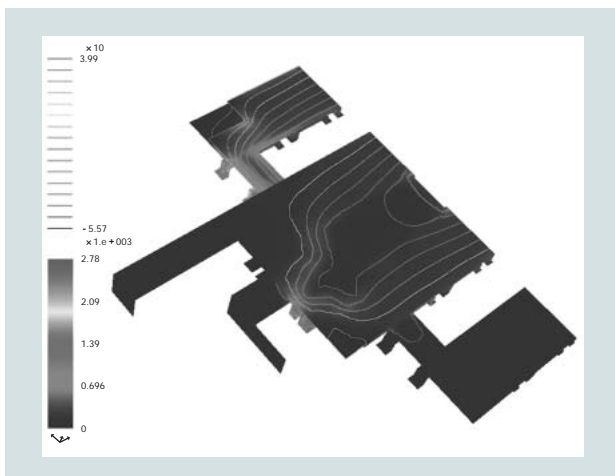


図6 ラミネートブスの三次元電磁界解析モデル

セルユニットの主回路配線ブスを三次元モデル化し、各導体の電流によって発生する磁界の相互作用を解析した。インダクタンスを低減する最適なバス構造を決定した。

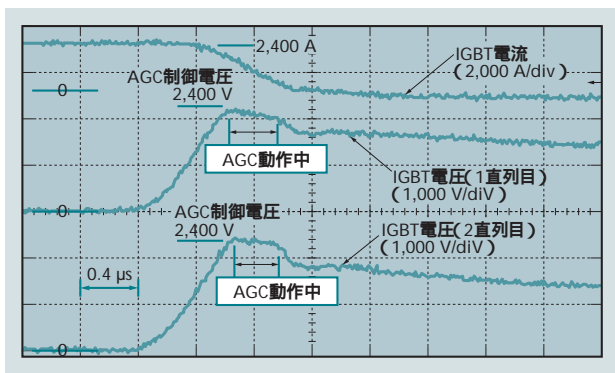


図7 IGBT実動作波形

セルユニット定格の約2倍電流となる2,400 Aを遮断した場合でも、2直列IGBTの電圧分担に異常はなく、安定動作している。

2直列接続されたIGBTの実動作波形を図7に示す。AGC制御電圧設定は2,400 Vとした。遮断電流は、セルユニット定格の約2倍電流となる2,400 Aである。AGC制御と低インダクタンス主回路配線によって、IGBTの電圧は2,400 V以下に制御され、IGBT動作および電圧分担に問題がないことを確認できる。

執筆者紹介



執行 正謙

1990年日立製作所入社、情報・通信グループ 情報制御システム事業部 電機制御システム本部 ドライブシステムセンタ 所属
現在、鉄鋼用ドライブシステムの設計・開発の取りまとめに従事
電気学会会員



永田 真

1997年日立製作所入社、情報・通信グループ 情報制御システム事業部 電機制御システム本部 ドライブシステムセンタ 所属
現在、鉄鋼用ドライブシステムの設計・開発に従事
電気学会会員

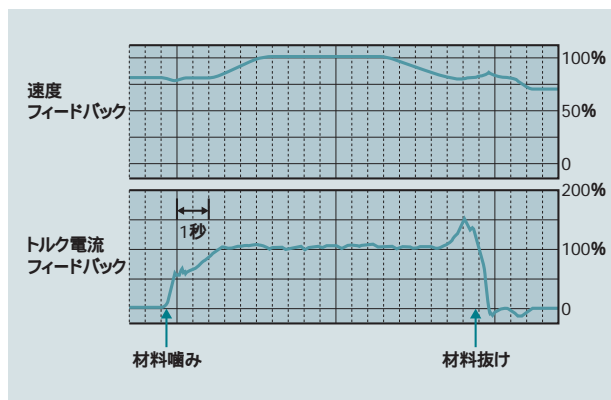


図8 熱間圧延設備における操業運転波形例

材料噛み、材料抜けのときの負荷変動発生時も安定に運転している。

4.実機応用例

高圧大容量IGBTインバータドライブシステムを熱間圧延設備に適用した。電動機仕様は、容量5,500 kW、定格電流1,079 Arms、定格電圧3,400 Vrms、トップ回転数280 rpmである。操業運転波形を図8に示す。急激な負荷変動が発生しても安定に運転しており、熱間圧延設備向けの圧延主機用ドライブシステムとして十分な性能を持っていることがわかる。

5.おわりに

ここでは、熱間圧延設備向け15 MVA高圧大容量IGBTインバータドライブシステムについて述べた。

日立グループは、製品鋼板の高品質化に寄与するとともに、システムの小型化、高効率化による省エネルギーへの貢献など、グローバルニーズに応えるドライブシステムの開発に取り組んでいく考えである。

参考文献

- 1) 飛世, 外: 中・大容量鉄鋼用インバータドライブシステム, 日立評論, 78, 6, 457~462(1996.6)
- 2) 高橋, 外: 高品質鋼板を作り出す圧延機用インバータドライブシステム, 日立評論, 82, 4, 291~296(2000.4)
- 3) 永田, 外: 10 MVA級鉄鋼主機用IGBTインバータドライブ装置, MID-01-24, 平成13年度電気学会金属産業研究会資料(2001)
- 4) 小林, 外: 15 MVA熱間圧延主機用高圧大容量IGBTドライブシステム, MID-07-16, 平成19年度電気学会金属産業研究会資料(2007)



小林 健二

2004年日立製作所入社、情報・通信グループ 情報制御システム事業部 電機制御システム本部 ドライブシステムセンタ 所属
現在、鉄鋼用ドライブシステムの設計・開発に従事
電気学会会員



加藤 修治

1990年日立製作所入社、日立研究所 情報制御研究センタ インバータイノベーションセンタ パワエレシステムユニット 所属
現在、インバータの研究・開発に従事
IEEE会員, 電気学会会員, 日本セラミックス協会会員