

Digital Signal Processorを応用した “デジタル電源”

佐藤 秀夫
高橋 宏明

小林 孝弘

パワーエレクトロニクス分野においては、環境問題の高まりから機器の効率化に伴い高速・高精度制御が求められており、制御技術はアナログからデジタルへ急激に変化している。特にモータ制御の発展は目覚ましいものがあり、要求レベルの向上に伴いDigital Signal Processor（以下DSPと略す）による制御が注目されている。パワー半導体においても、大電流化やモジュール化が進んでおり、技術の発展を支えている。電源分野においては、エコエネルギー化による燃料電池、風力発電、太陽光発電など分散電源化が進んでおり、家庭用燃料電池システムは、実用化に向けた試験運用を開始している。一方、スイッチング電源においては、省エネ化による待機電力削減や変換効率の向上、無停電・無停止化による並列・冗長運転、長寿命化など要求レベルの向上に伴い電源のデジタル化が進められている。近年、DSPの高性能化と低価格化に伴い電源の制御回路への応用が進んでいる。本稿では、電源のデジタル化の開発事例を紹介する。

当社のデジタル電源はDSPを採用し、スイッチング素子を直接制御していること、並列・冗長運転やホストとの通信を容易にするため通信機能を付加していること、デジタル制御特有の異常時に対し、独自の安全対策を講じていることを特長としている。30年以上に渡って培ってきたメカトロ装置用電源開発の経験と実績から、ノウハウをデジタル制御に活かし、より信頼性の高い電源を提供する。

デジタル電源の基本構成

DSPを応用したデジタル電源の基本的な構成を、図1で説明する。電源をデジタル化する場合、対象電源の入力電流（または出力電流）と出力電圧をAnalog Digital Converter（以下A/Dと略す）を介してDSPに取り込み、制御量を演算処理した後Pulse Wide Modulation（以下PWMと略す）制御を行う、必要に応じて入力低下および温度検知信号の取り込みやホストとの通信が加わる。一般的に、A/D取り込みとPWM出力を含む演算時間はスイッチング周期内に収める必要があり、スイッチング周

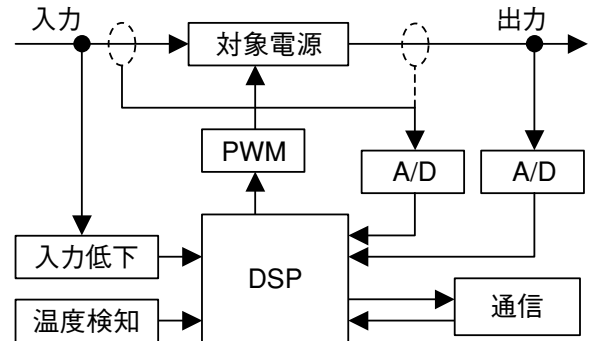


図1 基本構成

波数が高くなるほど演算速度の速いDSPが必要とされる。

デジタル化のメリット

従来のアナログ電源に対しDSPを応用したデジタル電源には、次のようなメリットがある。

- 高速スイッチング制御ができる
- 回路が簡素化できる
- 電圧と電流を同時に制御できる
- 複数のモニタリングが同時にできる
- 高速通信機能を付加できる
- 無調整化ができる
- 機能追加、変更が容易にできる

汎用マイコンに比べて演算処理速度が速いので100KHzの高速スイッチング素子を直接制御することができる。また、従来電源では、ダイナミック負荷の応答性を良くするため高い利得のフィードバック系が求められ、アナログ電源では、増幅回路を構成して対応するが回路が複雑になる。デジタル化により、フィードバック系が高速演算処理されるため応答性が良く、増幅回路の必要性がなくなる。

通常、電源の出力制御は、定電圧または定電流方式のどちらかで行われるが、デジタル化により電圧と電流を同時に制御できるため、出力を電力的に制御することができる。

複数のモニタリングが同時にできるため、通信機能を付加することにより複数の電源を同時に制御することができ、精度の高い並列・冗長運転が容易にできる。また、装置（制御部）と電源との高速通信がより一層可能になり、装置からの指令で電源の運転条件を制御でき、待機モード運転や負荷条件に応じた出力制御が可能である。

自動補正機能により部品のばらつき、経年変化、温度変化を抑えられ、無調整化ができる。さらに、量産工程においては歩留りの改善が期待できる。

機能変更やオプションの追加が容易となり、開発期間の短縮や開発費用の削減などが期待できる。

デジタル化のデメリット

デジタル化のメリットは大きいデメリットもあり、製品開発の上で考慮しなければならない。一般的に、アナログ制御が完全な実時間処理で周波数帯域が広く取れることにに対し、デジタル制御では扱う周波数帯域に制限があることや量子化誤差を回避できない問題があるが、当社では高速演算処理が可能なDSPを採用することにより解決できた。

デジタル電源の開発事例紹介

(1) モータ・インバータ評価ボード

一般的なモータ・インバータは、交流入力を整流・平滑するパワー部とモータ制御を行うインバータ部とインバータを駆動する制御部で構成され、制御部にDSPを採用することはあってもパワー部はアナログ方式である。

紹介するモータ・インバータ評価ボード「ODAM-F2812」（写真1）は、モータ制御システムやPower Factor Controller（以下PFCと略す）制御のソフトウェア評価用として開発した。最大出力容量1KWで、パワー部にPFCを採用し、DSPで制御を行うことによりフルデジタル化している。制御構成を図2で説明する。DSP



写真1 モータ・インバータ評価ボードODAM-F2812

は150MHzタイプを採用し、PFCとインバータ双方を同時に制御している。

パワー部に入力された交流は、整流後、PFCで昇圧および直流に変換されてインバータに送られる。PFCとインバータの制御は「ODAM-F2812」のDSP1により行われるが、アイソレーションAMPを通して専用の外部制御ボード「ODDM-F2812」のDSP2によっても制御できるようになっているため、ソフトウェアに限らずハードウェアを含め幅広い評価に応用できるようになっている。

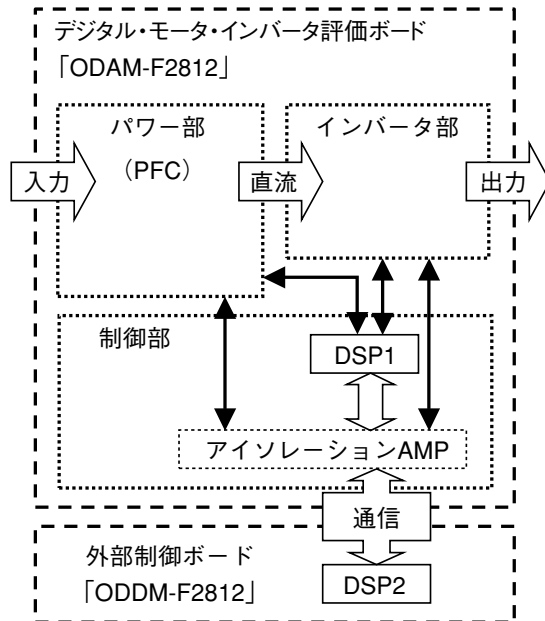


図2 モータ・インバータ評価ボード制御構成

概略仕様

- DSP：TMS320LF2812-150MHz
- 入力電圧：AC100V 1φ / AC200V 3φ
- 直流出力：DC24V（補助電源内蔵）
- インバータ定格出力：Max.1KW
- インタフェース：RS232C…1ch / CAN…1ch
外部制御ボードI/F
- 外部制御ボードはODDM-F2812限定
- 冷却方式：強制空冷
- ・ 対応モータ：ACI, PMSM, ブラシレス

製品搭載用として、最大出力容量500Wタイプ「ODAM-F2401」を開発したので、図3で説明する。小型化を目的に機能をスリム化するため、40MHzタイプのDSPをPFCとインバータそれぞれに搭載し、インバータ回路にDSPの直接ドライブが可能なIntelligent Power Module（以下IPMと略す）を採用した。PFCは入力電流

と出力電圧を同時に検知しPWM制御を行い、インバータは入力電流を検知し、PWM制御を行うセンサレス方式を採用した。さらに、温度検知を含めた異常処理をDSP間の相互通信により行っている。また、通信機能を付加しており外部からの制御が可能で並列運転ができる。

概略仕様

- DSP : TMS320LF2401A-40MHz
- 入力電圧 : AC100V 50/60Hz
- インバータ出力定格 : Max.500W
- インタフェース : RS232C : 1ch
RS485 : 1ch…並列運転用
- 冷却方式 : 強制空冷
- 対応モータ : ACI, PMSM, ブラシレス

(2) DC/ACインバータ

応用製品として、直流(DC)を入力し交流(AC100V)を出力する、DC/ACインバータを図4で説明する。DC/DCコンバータとインバータそれぞれに40MHzタイプのDSPを搭載し、インバータ回路には直接ドライブが可能なIPMを採用した。DC/DCコンバータは入力電流と出力電圧を同時に検知しPWM制御を行っている。モータ・インバータ同様、温度検知を含めた異常処理をDSP間の相互通信により行っている。出力容量増に対し並列運転機能を設けていて、1KW以上の大容量にも対応ができる。

概略仕様

- 入力電圧 : DC18V~58V
- 出力電圧 : AC100V 50/60Hz
- 出力容量 : Max.1KW
- インタフェース : RS232C : 1ch
RS485 : 1ch…並列運転用

本DC/ACインバータは、燃料電池システム搭載を考慮し、広範囲な入力電圧に対応できるのが特長で、燃料電池に限らずバッテリーや風力発電、太陽光発電システムなどの直流出力を入力源とすることも可能である。

(3) AC/DCコンバータ

スイッチング電源の殆どが交流(AC)を入力し直流(DC)を出力するAC/DCコンバータである。近年、装置の無停電、無停止化から電源の並列・冗長運転が求めら

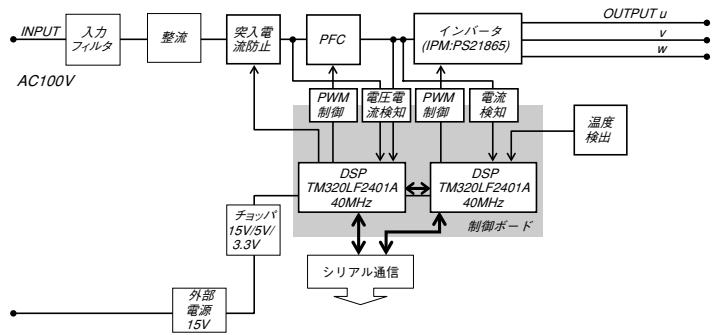


図3 500W モータ・インバータ

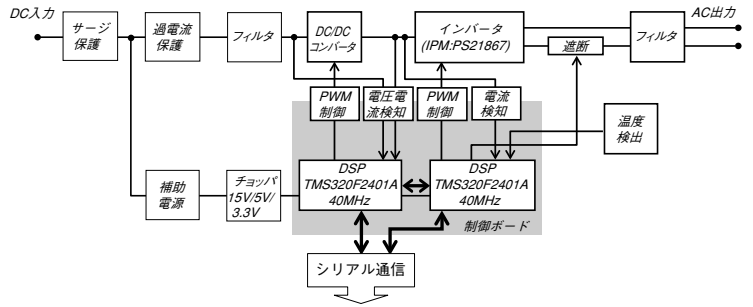


図4 DC/ACインバータ

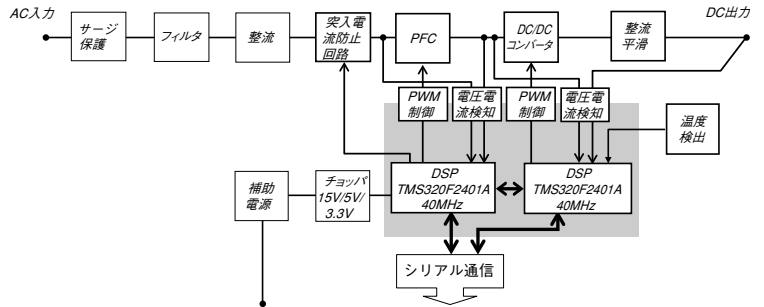


図5 AC/DCコンバータ

れ、当社でも対応しているが、フィードバック系がアナログ回路で構成されているため電圧と電流をそれぞれ独立して検知する必要があり、運転バランスの調整が複雑である。

並列・冗長運転を容易にするため、電圧・電流を同時に制御でき、通信機能を持ったDSPを採用することによりデジタル化を図ったので、図5で説明する。

概略仕様

- 入力電圧 : AC85V~AC264V
- 出力容量 : DC24V 10A 240W
- インタフェース : RS485 : 1ch…並列運転用

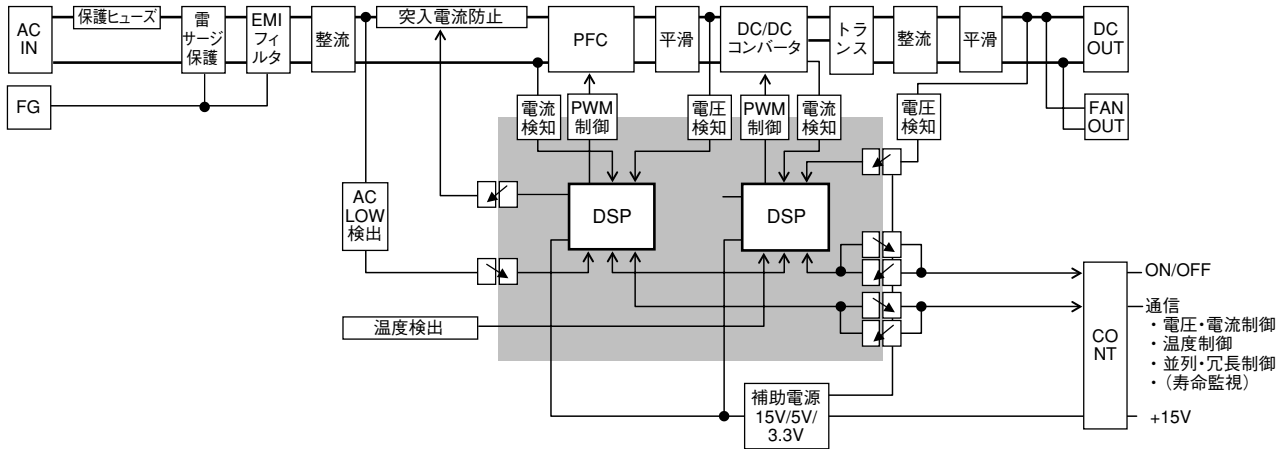


図6 デジタル・AC/DCコンバータ回路例

交流入力にはフィルタ回路を経て整流後、PFCで昇圧され直流に変換される。さらに、DC/DCコンバータにより変圧され整流・平滑後、電圧フィードバックにより安定した直流（DC）として出力される。PFCとDC/DCコンバータそれぞれに40MHzタイプのDSPを搭載し、どちらも入力電流と出力電圧を同時に検知しPWM制御を行っている。並列・冗長運転を考慮し通信機能を付加するために、補助電源は外部入力とした。デジタル制御特有のノイズなどの誤作動に対しては十分な配慮を行っているが、如何なる異常に対しても安全が確保できるよう、デジタル制御にアナログ保護回路を付加した独自の方式を採用している。

デジタル・AC/DCコンバータの回路例を、図6で説明する。双方のDSPは直接PWM制御が行えるよう1次側に実装し、通信機能は安全性を考えアイソレーションAMPを通して行うようにしている。PFC制御用のDSPには入力電圧監視用のACLOW検出信号を入力し、PFCの立ち上がりに合わせて突入電流防止回路へON信号を送出している。それぞれのDSPには電圧または電流検知信号を入力し、出力の安定化を行っているが、異常電圧・異常電流に対してもそれぞれのDSPで検知し、DSP間の相互通信により異常処理を行っている。外部からは、電圧・電流制御、温度制御、並列・冗長制御などができる。さらに、モニタリングを利用することにより、寿命監視も可能である。

おわりに

アナログ電源では、電圧フィードバックに加え異常時の過大電圧や過小電圧をそれぞれ独立して検知しなければならぬのに対し、デジタル電源では電圧検知を一つに統一できる。さらに、アナログ電源では外部からの

ON/OFF信号の処理や異常時の電源遮断処理を行うため独立した制御回路を構成する必要があり、スイッチング部には専用のコントロールICを動作させるための周辺回路が必要だが、デジタル電源ではこれらの処理を全てDSPで処理できるため、回路構成がスリムになる。特性面においては、ダイナミック負荷特性におけるアンダシュートの応答性が、アナログ電源に比べて良い結果が得られた。

スイッチング電源はアナログ分野で主たる地位を築いてきたがDSPを採用することにより一層デジタル電源が普及していくものと確信している。

デジタル電源の開発にあたり、技術面で支援を頂いた、TI社とOIS社の関係者の方々に深く感謝申し上げます。



参考文献

- 1) 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社：デジタル電源デベロッパーズ・キット
- 2) 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社：TMS320C2000 DSP DPSセミナー
- 3) 株式会社沖情報システムズ：ODDM-F2812 DSP評価ボード

筆者紹介

佐藤秀夫：Hideo Satoh. 沖パワーテック株式会社 技術企画部 部長

小林孝弘：Takahiro Kobayashi. 沖パワーテック株式会社 技術企画部 技術企画課 課長

高橋宏明：Hiroaki Takahashi. 沖パワーテック株式会社 技術企画部 技術企画課