

電力の有効利用に貢献する サーボアンプ関連技術

井出 勇治

Yuji Ide

小山 雅久

Masahisa Koyama

千野 晴彦

Haruhiko Chino

久保田 善久

Yoshihisa Kubota

北原 通生

Michio Kitahara

山崎 悟史

Satoshi Yamazaki

1. まえがき

モータは電動機であると同時に発電機でもある。モータを回転させる時は電力を消費するが、モータが回転させられる時は電力を発電する。(以下、モータを回転させる場合を力行、モータが回転させられる場合を回生と表現する。)このモータをサーボドライブとして用いた場合、送り軸を中心とした比較的低速の加減速の繰り返し用途では、全電力に占める回生電力の割合は小さい。一方、主軸を中心とした比較的高速の加減速の繰り返し用途では、全電力に占める回生電力の割合が大きくなってくる。

この回生電力の処理方法としては、抵抗器により消費させる方法、コンデンサに充電する方法、電源に電力を戻す方法等がある。抵抗器により消費させる方法は、回生電力を抵抗器で消費させて熱に変えており、電力は有効利用されていなかった。

本論文では、コンデンサに充電する方法、電源に電力を戻す方法を中心に、モータの回生電力を有効利用する技術について説明し、さらに制御による電力消費の削減について言及し、今後の地球環境の保全に貢献できる当社のモータドライブにおける省エネ技術について概説する。

2. 汎用サーボアンプの構成

サーボアンプは、交流電源をダイオードブリッジによるコンバータにより全波整流し、インバータによりモータを駆動する構成が一般的である。インバータはフリーホイールダイオードを伴うIGBTブリッジにより構成され、正逆変換できる構成になっている。

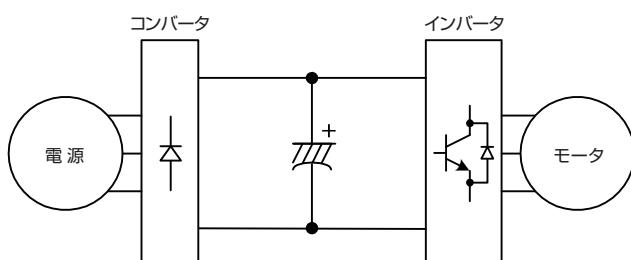


図1 サーボアンプの構成

このような構成において、モータ力行時は電源電圧がコンバータにより直流量に変換され、平滑コンデンサにより平滑された後、PWMインバータにより再び交流量に変換されモータを駆動する。一方、モータ回生時は、モータで発電された電力がPWMインバータにより逆変換され、平滑コンデンサの電圧を上昇させる。ダイオードブリッジによるコンバータには、逆変換能力はないため、モータの回生電力が大きい場合は、平滑コンデンサの電圧が高くなり、素子の耐圧以上になると、各素子を破損させてしまう。これを防止するため、平滑コンデンサの両端に抵抗器(回生抵抗器)とIGBTを接続し、平滑コンデンサの電圧が規定値より高くなるとIGBTを動作させて、モータの回生電力を回生抵抗器で消費させてしまう処理が行われている。

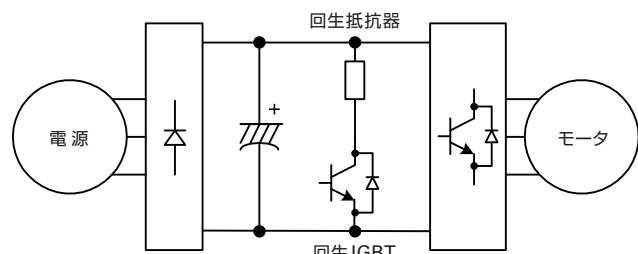


図2 回生抵抗器による回生電力の処理

3. 共通コンバータ方式による回生電力の有効利用

サーボモータを用いる機械は、X、Y、Z軸等の多くの軸で構成する場合が多く、例えばZ軸モータが回生動作をしている時に、X軸モータが力行動作をする場合がある。汎用サーボアンプ等のコンバータが独立の構成では、各軸間での電力のやりとりが行えないため、モータの回生電力を有効利用する事はできない。一方、コンバータを共通化し、インバータを各軸毎に設ける構成にすると、直流部における電力供給が可能になり、回生動作している軸の電力を力行動作している軸に用いる事ができる。

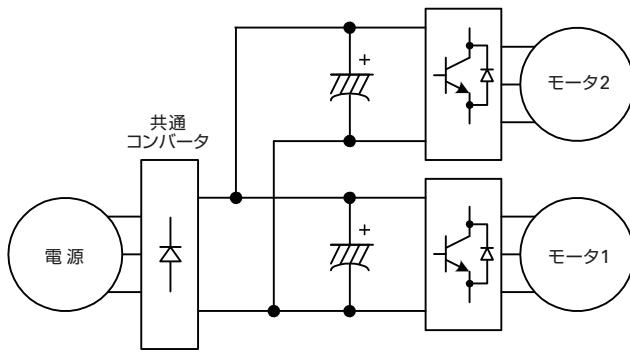


図3 共通コンバータ方式によるサーボアンプ構成

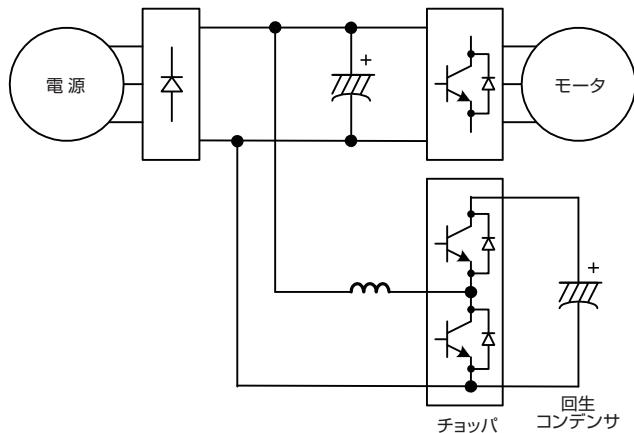


図5 チョッパを用いた回生電力の処理

4. コンデンサ回生による回生電力の有効利用

汎用サーボアンプ構成にて、平滑コンデンサを追加して容量を増やすと、モータ回生時も平滑コンデンサの電圧を規定値に収めることができる。この場合、モータ発電時はその回生電力を平滑コンデンサに充電し、力行時に充電された電力を用いてモータを駆動する事になる。こういった平滑コンデンサ容量増大による回生電力の処理は、回生電力が比較的小さい用途に適用できる。しかし、この方法は、平滑コンデンサの電圧上昇許容値が小さいため、回生電力が大きい場合は、平滑コンデンサ容量が大きくなりすぎるという問題がある。

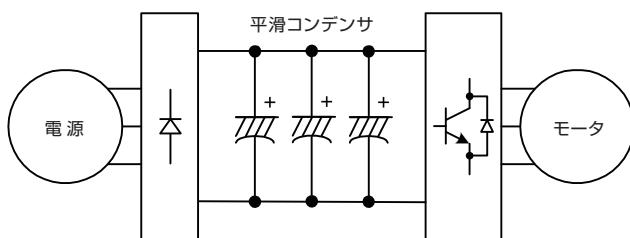


図4 平滑コンデンサ容量増加による回生電力の処理

これに対し、電力変換器を用いてコンデンサを充電する事により、コンデンサ容量を低減する方法がある(文献1)。この方法では、電力変換器としてチョッパを用い、チョッパにより回生電力を昇圧して回生コンデンサに回生電力を充電している。この方法では、回生コンデンサの耐圧をモータ制御装置の2倍程度に高くしておくことにより、コンデンサに蓄えられる電力量が電圧差の2乗に比例する事をを利用して、コンデンサ容量を小さくする事ができる。この方法は、単純に平滑コンデンサ容量を増やした場合と比較すると、回生電力処理能力が高まり、より多くの回生電力の有効利用が可能になる。また、回生コンデンサの放電制御を適切に行う事により、ピーク電力の削減等にも利用できる。

5. 電源回生による回生電力の有効利用

さらに回生電力が大きい場合の処理方法としては電源回生がある。電源回生は、コンバータもフリーホイールダイオードを伴うIGBTブリッジにより構成し、電力の正逆変換ができるようにしたものである。モータが発電した電力は平滑コンデンサに充電され、コンバータの逆変換により、平滑コンデンサの電力が電源に回生される。

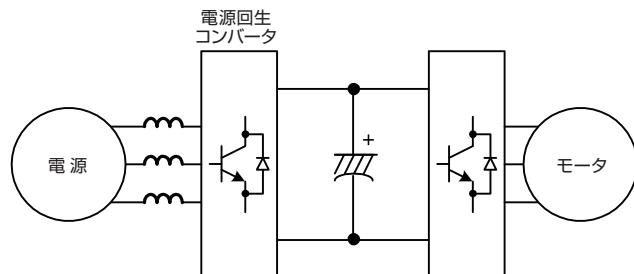


図6 電源回生による回生電力の処理

この電源回生用コンバータの制御方式には、PWM制御を用いる正弦波コンバータ方式と、よりシンプルな120°通電方式がある。正弦波コンバータ方式は、電源電流を正弦波にする事ができる代わりに、PWM動作に伴う電源漏洩スイッチングノイズの増大、それを抑制するフィルタの追加等、装置コストが高くなるため、サーボドライブでは120°通電方式が一般に用いられている。

120°通電方式電源回生は、電源電圧の位相を検出し、電源電圧の120°区間のみ電源に電力を回生する方式である。コンバータのスイッチングは120°区間の開始時と終了時の2回でよく、コンバータIGBTのスイッチング損失が少なくて済む。また、スイッチングが少ないため、電源漏洩ノイズが少なくて済む。さらに、電源電圧と平滑コンデンサ電圧を検出して電源回生動作の制御を行うことにより、モータ力行時は電源回生を停止させ、さらなる損失の低減を行う事もできる。

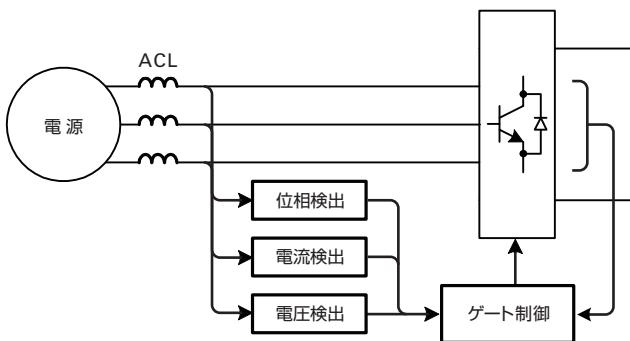


図7 電源回生装置

図8は、こういった電源回生を実現した電源回生機能付き電源ユニットRS1シリーズの概観である。



図8 電源回生機能付き電源ユニット

このように、電力損失の少ない電源回生をコンバータ部に用いる事により、例えばモータが連続的に発電するような用途でも、その電力を電源に回生する事ができ、大きな回生電力の有効利用が可能になる。例えば、主軸を用いた工作機械にて、回生抵抗器による回生電力処理と比較し、50%程度の消費電力削減効果が見られている。

6. 同期モータの高効率トルク制御による電力消費の低減

主軸モータは、回転速度が高く、送り軸モータと比較すると電力消費量の大きなモータである。こういった主軸モータの力行運転における電力消費の削減も電力の有効利用には大きな効果がある。主軸モータには、誘導型や同期型などさまざまな方式がある。誘導型は、磁石を用いない分、モータのコストは安くなるが、モータに励磁電流を流して磁束を確立させる必要があり、その分、モータの電力損失が大きい。一方、同期型は磁石を用いて磁束を確立させているため、励磁電流が不要であり、モータの電力損失が少ない。ただし、モータが高速回転した場合は、磁石による誘起電圧が高くなるため、弱め界磁を行い誘起電圧を低減させる必要がある。当社では、この弱め界磁をトルク指令の大きさに応じて適切に制御する事により、不要な弱め界磁を減らし、高効率なトルク制御を実現で

きる高効率トルク制御を製品に適用している。こういったモータ力行時のモータ効率を向上させる制御により、力行時も電力を有効に利用できるようにしている。

7. 同高速駆動、低振動化による電力消費の低減

送り軸においても、高追従制御や、モデル追従制振制御、エンコーダの量子化誤差に伴う微振動の抑制機能などにより、機械の大きな振動や微振動を抑制して高速な位置決めを実現する機能を用いる事により、機械のタクトタイムを短縮して力行時の電力消費を抑制している。

8. 電力モニタによる省エネの喚起

電源回生を用いた制御システムでは、そのセンシング値を用いて電力をモニタする機能を備えており、モータ制御装置を使用するユーザーに電力消費量を喚起するようになっている。これにより、サーボシステムを使用する工場全体を含めての電力の有効利用を喚起するようにしている。

9. むすび

本稿では、電力の有効利用に貢献する技術として、以下の技術を紹介した。

- (1) 共通コンバータ方式による回生電力の有効利用
- (2) コンデンサ回生による回生電力の有効利用
- (3) 電源回生による電力の有効利用
- (4) 同期モータの高効率トルク制御による電力消費の低減
- (5) 高速駆動、低振動化による電力消費の低減
- (6) 電力モニタによる省エネの喚起

当社のサーボシステムは、これらの技術を適宜有効に利用して製品化されている。省エネに関する技術は、地球環境の保全に向けて、全力で対応しなければならない技術である。今後も、さらなる省エネ技術に磨きをかけ、真に価値ある製品を提供していく所存である。

文献

- (1) 井出、菊地、小山：「電解コンデンサを用いた回生電力処理装置」、平成9年電気学会全国大会、974(1997-3)



井出 勇治

1984年入社

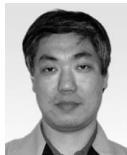
サーボシステム事業部 設計第二部
サーボアンプの開発、設計に従事。



小山 雅久

1990年入社

サーボシステム事業部 設計第二部
サーボアンプの開発、設計に従事。



千野 晴彦

1983年入社

サーボシステム事業部 設計第二部
サーボアンプの開発、設計に従事。



久保田 善久

1989年入社

サーボシステム事業部 設計第二部
サーボアンプの開発、設計に従事。



北原 通生

1991年入社

サーボシステム事業部 設計第二部
サーボアンプの開発、設計に従事。



山崎 悟史

2001年入社

サーボシステム事業部 設計第二部
サーボアンプの開発、設計に従事。