

チョッパと電解コンデンサを用いたサーボモータの回生電力処理

井出 勇治
Yuji Ide

小山 雅久
Masahisa Koyama

菊地 敬吾
Keigo Kikuchi

1. まえがき

近年、地球環境保全などの目的で省エネルギーが叫ばれている。省エネルギー性を目的としたモータの回生電力処理方法としては電源回生があるが、制御が複雑でコストが高く、小容量の分野では未だ抵抗回生が一般的である。抵抗回生は制御が簡単でコストも安いですが、省エネルギーでなく発熱も大きい。一方、モータ制御装置内の平滑コンデンサ容量を単純に増加しただけの回生処理方法もあるが、必要とするコンデンサ容量が非常に大きく、同時に突入防止回路および放電回路の容量も増加させる必要がある。

本論文では、平滑コンデンサとは別に小容量の電解コンデンサを用意し、電力変換器を通して充放電制御を行う回生電力の処理方法を提案し、実験により動作確認を行った。その結果、良好な特性が得られたので報告する。

2. コンデンサへの電力回生

モータが回転速度 ω から0まで減速する時の回生電力量は、次式で表わせる。

$$P_b = 1/2 \cdot J \cdot \omega^2 - P_m \dots (1)$$

ただし、J: イナーシャ、
P_m: モータ内部の消費電力量

一方、電圧がV₁からV₂に上昇した時に、静電容量Cの電解コンデンサに蓄えられる電力量は次式で表わせる。

$$P_c = 1/2 \cdot C \cdot (V_2^2 - V_1^2) \dots (2)$$

モータの回生電力を、電力変換器を通して電解コンデンサに蓄えるとすると、電力変換器の効率を η とし、(1)および(2)式より

$$C = (J \cdot \omega^2 - 2 \cdot P_m) \cdot \eta / (V_2^2 - V_1^2) \dots (3)$$

の容量の電解コンデンサを用いることにより、モータの回生電力を電解コンデンサに蓄えることができるようになる。この式から、V₂を高くするほど、小さな容量の電解コンデンサで回生電力を蓄えることができることが分かる。しかし、電解コンデンサおよび半導体の耐圧などの点から、現状では800V程度が実用上の上限と思われる。

ところで、一定トルクでモータを減速した場合の回生電力は図1のようなのこぎり波状になり、減速開始時の回生電力の立ち上がりが急峻になる。この回生電力を電解コンデンサで吸収するためには、電解コンデンサはあらかじめ充電されて

いる必要がある。電力は電圧と電流の積で表わされるため、電圧=0では無限大の電流を流さないと回生電力を吸収できないからである。すなわち、 $V_1 > 0$ となる。ここでは、回路構成を簡単にするため、モータ制御装置と同一電圧まで充電しておくことにした。

ここで、必要とするコンデンサ容量を、平滑コンデンサ容量を単純に増加させた場合と比較してみる。平滑コンデンサ容量を単純に増加させる場合は $V_2=395V$ 、本方式では $V_2=800V$ 、その他の項目は同一とし、電源電圧AC253V($V_1=358V$)として(3)式を用いて計算すると、必要とするコンデンサ容量は、平滑コンデンサ容量を単純に増加させた場合に対し5.4%となる。従って、かなり小さな容量のコンデンサで回生電力を処理できるようになる。

なお、モータ内部の消費電力量は

$$P_m = W_m \cdot t_b \quad \dots(4)$$

ただし、 W_m :モータ損失、 t_b :減速時間

で表わされる。ここで減速時間は

$$t_b = J \cdot \omega / T_b \quad \dots(5)$$

ただし、 T_b :減速トルク

から算出できる。

3. 回路構成

図2に、サーボモータ制御装置に接続された回生電力処理装置の回路構成を示す。電力変換器としてDCリアクトルとIGBTから構成される昇降圧チョッパを用い、出力側に接続された電解コンデンサの充放電制御を行っている。DC電圧指令 V_{DC}^* を、AC電源全波整流電圧より少し高めに設定し、電解コンデンサ充放電時のDC電圧 V_{DC} が一定になるようにPI制御器を通して電流指令 I_{DC}^* を出力し、P制御器を用いてDC電流 I_{DC} を制御している。また、急峻な回生電力の立ち上がりに対する応答特性を改善するため、微分補償Dを追加している。モータ制御装置の耐圧の関係から、DC電圧のオーバーシュートは十分に抑制する必要がある。なお、モータ制御装置内の平滑コンデンサ容量 C_2 が系の特性に影響するが、 C_2 に比べて微分補償を十分大きくすることにより影響を小さくできる。

電源が投入されると、電解コンデンサ C_1 はチョッパのダイオードを通して、モータ制御装置と同一電圧まで充電される。そして、モータから電力が回生してくるとDC電圧が上昇するため、充電電流を流して電解コンデンサ C_1 を充電し、回生電力を電荷として蓄える。次に、モータが力行状態になるとDC電圧が低下するため、放電電流を流して電解コンデンサ C_1 を放電し、蓄えられた電荷をモータ力行用電力として用いる。このようにして、モータが回生、力行を繰り返すたびに電解コンデンサを充放電し、モータの回生電力を有効利用する。このため、電源側からの入力電力は小さなものとなる。

4. 実験結果

実験は最大出力15KWの誘導機を用いて、表1の測定条件で行った。図3に、モータを157rad/sから0まで一定トルクで減速、加速させた時の動作特性を示す。減速時に電解コンデンサの電圧は最大700Vまで上昇している。そして回転速度0の時に、モータの励磁電流損により電解コンデンサ電圧は少しずつ放電してい

く。また、力行時には、電解コンデンサ電圧はV_{DC}に近い電圧まで放電している。V_{DC}は、微分補償によりオーバーシュートの無い特性が得られ、V_{DC}をほぼ一定に保ったまま電解コンデンサの充放電ができています。電解コンデンサの放電が終了するとAC電源からの電力供給となるため、V_{DC}はAC電源全波整流電圧まで低下している。

定格2.2KW、最大15KWとしてヒートランを行った結果、電解コンデンサの推定寿命は20年以上となり、十分実用的であることが確認できた。

図4に、表1の測定条件で電解コンデンサの最大電圧を700Vとし、電解コンデンサ容量を変えた場合の、モータ回転速度と電解コンデンサ容量の関係を示す。なお、減速トルクは86Nm一定で実験を行った。実測値は理論値とほぼ一致しており、電解コンデンサ容量はモータ回転速度の二乗に比例した形になっている。また、30rad/s以下では、モータから電力は回生してこなくなり、電解コンデンサは不要になっている。

また、本装置の充放電効率80%であった。

表1 測定条件

イナーシャ0.25Kg・m ²	電源電圧 AC200V
V _{DC} * 300V	PWM周波数 15KHz
リアクトル 1mH	電解コンデンサ 8150μF

5. むすび

本論文では、小容量の電解コンデンサを、電力変換器を通して充放電制御を行う回生電力処理方法を提案し、実験により良好に回生電力の処理ができることが確認できた。本方式の特徴は次の通りである。

- 省エネルギー

(抵抗回生で消費していた回生電力の80%を有効利用できる)

- 低発熱・制御が簡単
- 低コスト
- 小容量の電解コンデンサで回生可能
- 1回の回生電力量に制限がある。

(回生を行った後は力行を行う必要がある)

(連続的な回生はできない)

従って、本方式は高頻度に加減速するサーボの送り軸などに適するものと思われる。

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)

(2)泉・中岡・木村:「サーボシステムの保存エネルギーをコンデンサに回生する最適制御方式の検討」、電気学会論文誌D, Vol.115, No.6,pp.816-817(1995-6)

井出 勇治
1984年入社
サーボシステム事業部 サーボ技術部

モータ制御装置に関する研究、開発に従事。

小山 雅久

1990年入社サーボシステム事業部 サーボ技術部

モータ制御装置に関する研究、開発に従事。

菊地 敬吾

1985年入社

サーボシステム事業部 サーボ技術部

モータ制御装置に関する研究、開発に従事。

図1 一定トルクでモータを減速する場合の回生電力例

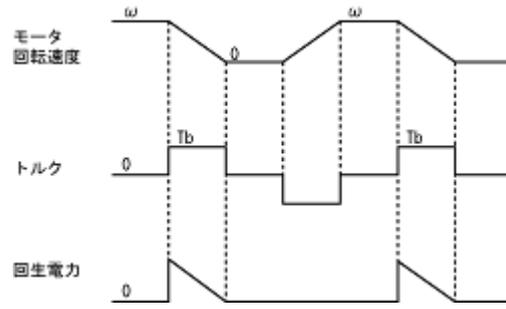


図3 モータ減速、加速時の動作特性

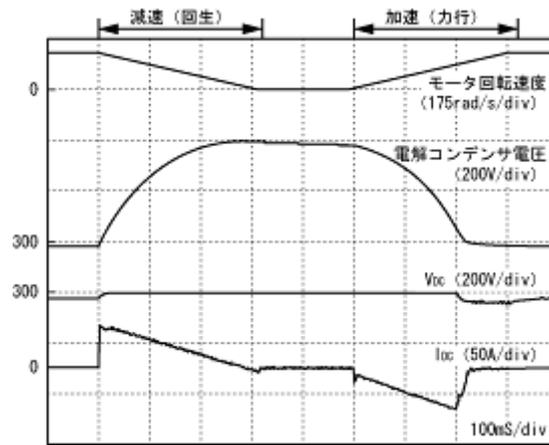


図4 モータ回転速度と電解コンデンサ容量

