

パワーエレクトロニクス実験・実習教材

誘導モータの制御技術 その6

職業能力開発総合大学校 山本 修・佐々木英世・荒 隆裕

10. 調整および動作確認

10.1 アナログ・デジタルユニット

ここでは、アナログ・デジタルユニットを使用してベクトル制御運転を行う場合の調整および動作確認方法について各部ごとに説明する。(アナログ・デジタルユニットの全回路図については、<その4>を参照のこと)。

(1) 速度検出部の調整

速度検出部の調整について述べる。まず、F/V変換器の出力を調整する。エンコーダのA相入力端子に+5[V]、B相入力端子に25[kHz]の方形波を入力し、ユニットの電源を投入する。リセット停止スイッチ信号を入力し、次に始動動作スイッチ信号を入力して制御回路を動作させる。その後、F/V変換器の出力である図29の○点(フィルタ回路を通過後の出力)が2.5[V]となるように図29のVR1を調整する。調整後、この信号がアナログスイッチ(HC4053)を通過した図29の□点において、リセット停止スイッチ信号を入力したときに0[V]、始動動作スイッチ信号を入力したときに+2.5[V]となっていることを確認する。調整終了後は、リセット停止スイッチ信号を入力して制御回路を停止した後、エンコーダ入力端子の入力信号を取り外し、元の状態に戻す。

(2) PI速度制御部の調整

PI速度制御部の調整は、まず、励磁分電流指令値(- i_s^*)の出力である図30の○点(可変抵抗VR2)を調整する(本稿では、

1[A]/1[V]で設計してあるので、例えば、 $i_s^*=0.7$ [A]ならば-0.7[V]に調整する)。また、回転角速度指令値(- ω_m^*)の出力である図30の□点についても、可変抵抗VR3によって調整する(例えば、回転速度指令値を1500[rpm]にするのであれば、-2.5[V]に調整する)。

次に、PI速度制御回路の動作確認のため、図30の太線で示すように、PI速度制御回路の出力であるOP1の出力端子とOP2の入力端子(+端子)を短絡する(図30の太線で示す短絡線)。このとき、OP2の入力端子(+端子)に接続していた前段のF/V変換器の出力信号線を外しておく。この後、(1)と同様にエンコーダのA相入力端子に+5[V]、B相入力端子に25[kHz]の方形波を入力し、制御回路を動作させる。このとき、トルク分電流指令 i_s^* の出力端子である図30の○点(可変抵抗VR2)がリセット時に0[V]、動作時に+2.5[V]、ならびに励磁分電流指令信号 i_m^* の出力端子である図30の□点(可変抵抗VR3)がリセット時に0[V]、動作時に+0.7[V](本稿における設計値)となることを確認する。調整終了後は、図30の短絡線を外し、F/V変換器の出力端子をオペアンプOP2の+端子に接続して配線を元の状態に戻す。

(3) すべりおよび電源角周波数演算部の調整

すべりおよび電源角周波数演算部の調整は、(1)項と同様に、エンコーダのA相入力端子に+5[V]、B相入力端子に25[kHz]の方形波を入力する。また、図31の□点(すべり)に入力する、トルク分電流指令値(i_s^* , PI速度制御部)の信号線を切り離し、0[V]を入力する(トルク分電流指令が0[A]の状態)。

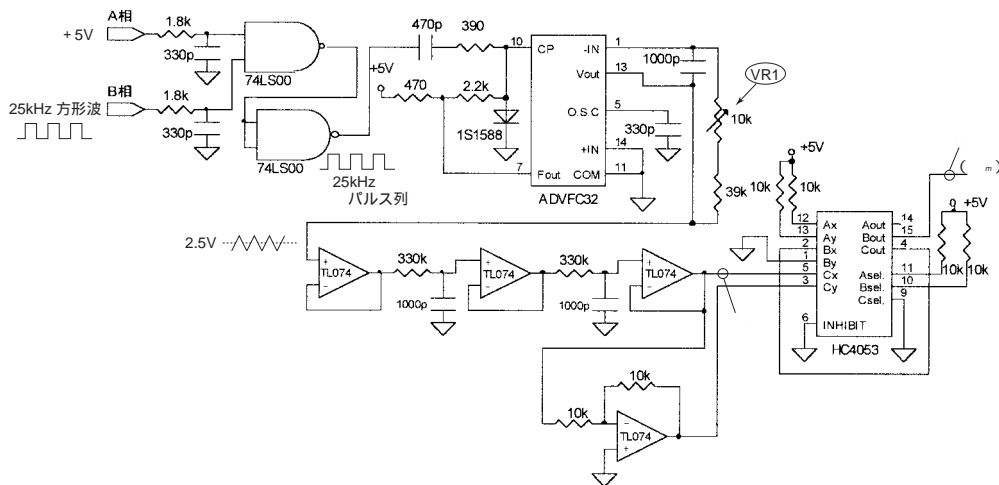


図29 速度検出部の調整

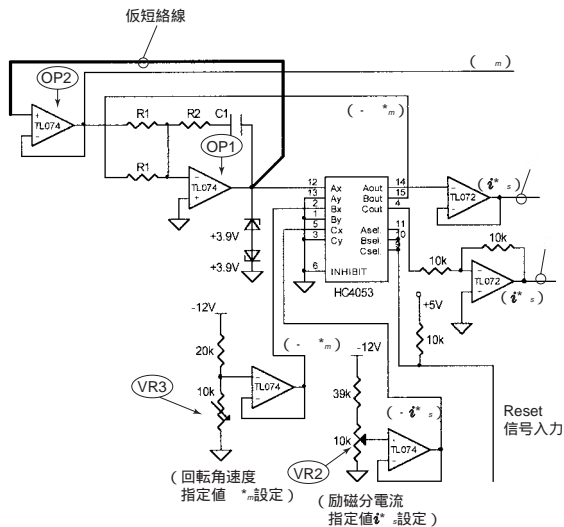


図30 PI速度制御部の調整

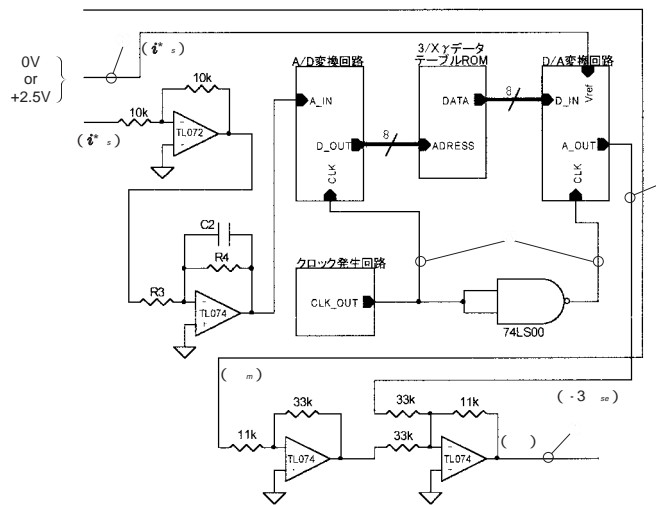


図31 すべりおよび電源角周波数演算部の調整

次に、A/Dコンバータ、D/Aコンバータに同期クロックが入力されていることを確認(図31 点)した後、制御回路を動作させる。このとき、回転角速度()の出力である図31の 点が+2.5 [V]、すべり角周波数(-3 se)の出力である図31の 点が、ほぼ0 [V]となっていることを確認する。その後、電源を切り、0 [V]を入力していた図31の 点に+2.5 [V](F/V変換器の後のフィルタ回路出力(図29の 点)から取る)を入力する(トルク分電流指令が+2.5 [A]の状態)。次に電源を投入し、制御回路を動作させる。このとき、 の出力(図31 点)が、

$$\frac{1}{40} \cdot \frac{R_r}{L_r} \cdot i_s^* = \frac{1}{40} \cdot \frac{1}{0.0708} \cdot \frac{2.5}{0.7} = 400 \text{ [mV]} \quad (< \text{そ$$

の4 > 8.3節参照)だけ大きくなっていること、ならびに、-3 seの出力(図31 点)が、約-400 [mV]となっていることを確認する。確認終了後、エンコーダの入力信号を取り外すとともに、 点にトルク分電流指令値(i_s^*)の信号線を接続し、配線を元の状態に戻す。

(4) 電源角 の作成部の調整

電源角 の作成部は、V/F変換器の出力を調整する。(3)項と同様、図31の 点に0 [V]を入力し、トルク分電流指令値(i_s^*)が0 [A]の状態となる仮結線を行う。次に、制御回路を動作させる。このとき、V/F変換器の入力信号である図32の 点、が、+2.5 [V]になっていることを確認する。さら

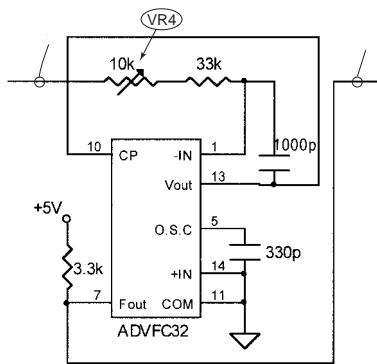


図32 電源角の作成部の調整

に、V/F変換器の出力信号である図32の1点が、25 [kHz] となるようにVR4を調整する。

(5) 三相座標変換部の調整

三相座標変換部の調整は、(4)項の動作状態において、三相座標変換部の出力であるa相電流指令値 (i^*_{as})、b相電流指令値 (i^*_{bs}) の波形をオシロスコープで観測し、以下のことを確認する。

- (a) 波形全体が滑らかで連続的な正弦波であること。
- (b) 周期が20 [ms] (50 [Hz]) であること。
- (c) 振幅が $\sqrt{\frac{2}{3}} \cdot i^*_s$ [V] になっていること。

次に、電源をオフして(3)項と同様に、図31の11点に +2.5 [V] を入力し、トルク分電流指令値 (i^*_s) が +2.5 [A] の状態の仮結線を行う。次に、制御回路を動作させる。このときの i^*_{as} 、 i^*_{bs} の波形をオシロスコープで観測し、以下のことを確認する。

- (d) 周期が20 [ms] (50 [Hz]) であること。
- (e) 振幅が $\sqrt{\frac{2}{3}} \cdot i^2_s + i^2_s$ となっていること。

10.2 インバータユニット

インバータユニットでは、電流指令値と電流値 (実際値) が入力されたときに、

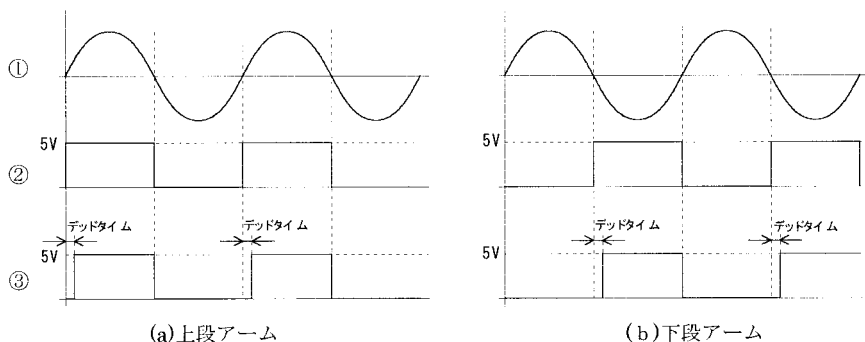
- (a) 電流指令値と電流値 (実際値) に同期したヒステリシスコンパレータの出力 (IGBTのON/OFF信号) が得られていること。
- (b) デッドタイムが生成されていること。
- (c) 主回路のIGBTにON/OFF信号が入力されていること。

を各相ごとに確認する必要がある。

それらの方法については、以下のとおりである (インバータユニットの回路図については、<その5>参照)。

(1) α(U)相の上段アームと下段アームの動作確認
a相電流指令値 (i^*_{as}) の入力端子に振幅 5 [V] の正弦波、a相電流値 (i_{as}) の入力端子に 0 [V] を入力し、この i^*_{as} (図33) に対するヒステリシスコンパレータ出力 (a相ON/OFF信号、図33) および、デッドタイム作成回路通過後のa相ON/OFF信号 (図33) が、図33と同様になることを確認する。また、最終的に主回路のa相に対するIGBTのG (ゲート) - E (エミッタ) 間に、オン時 +15 [V]、オフ時に -5 [V] が入力されていることを確認する。

(2) α(V)相の上段アームと下段アームの動作確認
b相信号である i^*_{bs} 、 i_{bs} に対して、(1)項のa相と同様の入力条件を与え、b相に対する各出力信号が図33となり、さらに、IGBTにオン時に +15 [V]、オフ時に -5 [V] が入力されていることを確認する。



a相電流指令値 i^*_{as} 、a相のON/OFF信号、デッドタイム作成回路を通過した後のa相のON/OFF信号

図33 インバータユニット各部の波形

(3) α (W)相の上段アームと下段アームの動作確認
 i_{as}^* に振幅5 [V]の正弦波, $i_{bs}^* = i_{as} = i_{cs} = 0$ [V]を入力したとき, $i_{cs}^* = -i_{as}^* - i_{bs}^*$, $i_{cs} = -i_{as} - i_{bs}$ より, c相電流指令値 i_{cs}^* は振幅5 [V]の正弦波, c相電流 i_{cs} は, 0 [V]が入力されたことになる。つまり, c相に対し(1)項および(2)項と同様の入力条件が与えられる。よって, c相に対する各出力信号が図33となり, さらに, IGBTに適正な信号(オン時に+15 [V], オフ時に-5 [V])が入力されていることを確認する。

11. 総合試験

設計・製作した3つのユニット(アナログ・デジタルユニット, インバータユニット, モータユニット)を組み合わせたかご形誘導モータの速度制御(ベクトル制御)試験の実施例について述べる。

各ユニット間の接続は, まず, モータユニットの出力(ロータリエンコーダA相, B相信号)をアナログ・デジタルユニットに接続し, アナログ・デジタルユニットの出力(三相交流電流指令値)をインバータユニットの制御回路に接続する。インバータユニットの主回路の直流電源入力部には, 直流安定化電源 + E_{dc} を接続し, 三相交流出力部には, モータユニットにおける三相かご形誘導モータの固定子巻線端子(α (U), β (V), α (W))を接続する。

また, アナログ・デジタルユニットにおける制御パラメータの設定値例は, 以下のとおりであり(詳細は, <その3> <その4>を参照), これにもとづき速度制御試験を実施する。

回転速度指令値 (ω_m^*) : 1500 [rpm]

励磁分電流指令値 (i_{fs}^*) : 0.7 [A]

トルク分電流指令値 ($i_{ts\max}^*$) : 5 [A]

PI速度制御器比例ゲイン (K_p) : 1.66

PI速度制御器積分ゲイン (K_i) : 33.2

(速度制御系の交差角周波数 : 100 [rad/s])

トルク定数 (k) : 0.262 [N·m/A]

2次時定数 (L_r/R_r) : 0.0708 [s]

速度制御試験は, まず, アナログ・デジタルユニットのリセット停止スイッチをオンして制御回路を停止状態(三相交流電流指令値が0 [A])にし,

インバータユニットの主回路の直流電源を0 [V] 100 [V]に設定する。次に, アナログ・デジタルユニットの始動動作スイッチをオンして, 制御回路を動作させる。これにより速度ステップ入力を与えられ, このときの各部の応答波形をデジタルオシロスコープで測定する。

図34は, 回転速度指令値を1500 [rpm]に設定し, 回転速度指令0 [rpm] 1500 [rpm]の速度ステップ入力試験を行った結果である。

図34(a)は, 回転速度指令値 ω_m^* (回路構成上, 負の値となっている), 図34(b)は, 回転速度の実値 ω_m である。図34(a), (b)の結果より, 0 1500 [rpm]の速度ステップ入力に対して400 [ms]以内に速度が整定しており, 良好な制御特性が得られていることが確認される。

また図34(c)は, このときの励磁分電流指令値 i_{fs}^* , 図34(d)は, トルク分電流指令値 i_{ts}^* である。図34(c), (d)より, 励磁分電流指令値 i_{fs}^* は, 負荷状態によらず一定で, トルク分電流指令値 i_{ts}^* は, 回転速度が始動から指令値付近まで最大値の5 [A]を示し, 指令値に到達するに直前で速やかに下降し, 一定値に落ち着いていることが確認される。

図34(e)は, すべり角速度 ω_{se} (回路構成上, 負の3倍値となっている)である。この図34(e)から, 図34(d)に示したトルク分電流に比例したすべり角速度が出力されていることが確認される。

図34(f)は, このときの電源角速度 ω , 図34(g)は, アナログ・デジタルユニットからインバータユニットに入力されるa相電流指令値 i_{as}^* , および図34(h)は主回路の電流センサからインバータユニットにフィードバックされるa相電流値(実値) i_{as} である。これらの図34(f), (g), (h)から過渡時においても良好な電流制御が行われていることが確認される。

12. まとめ

三相かご形誘導モータの固定子巻線の設計・製作からそのベクトル制御までを一貫して学習できるパワーエレクトロニクス実験・実習教材の開発について述べた。

本教材は, 4つのユニット(アナログ・デジタル

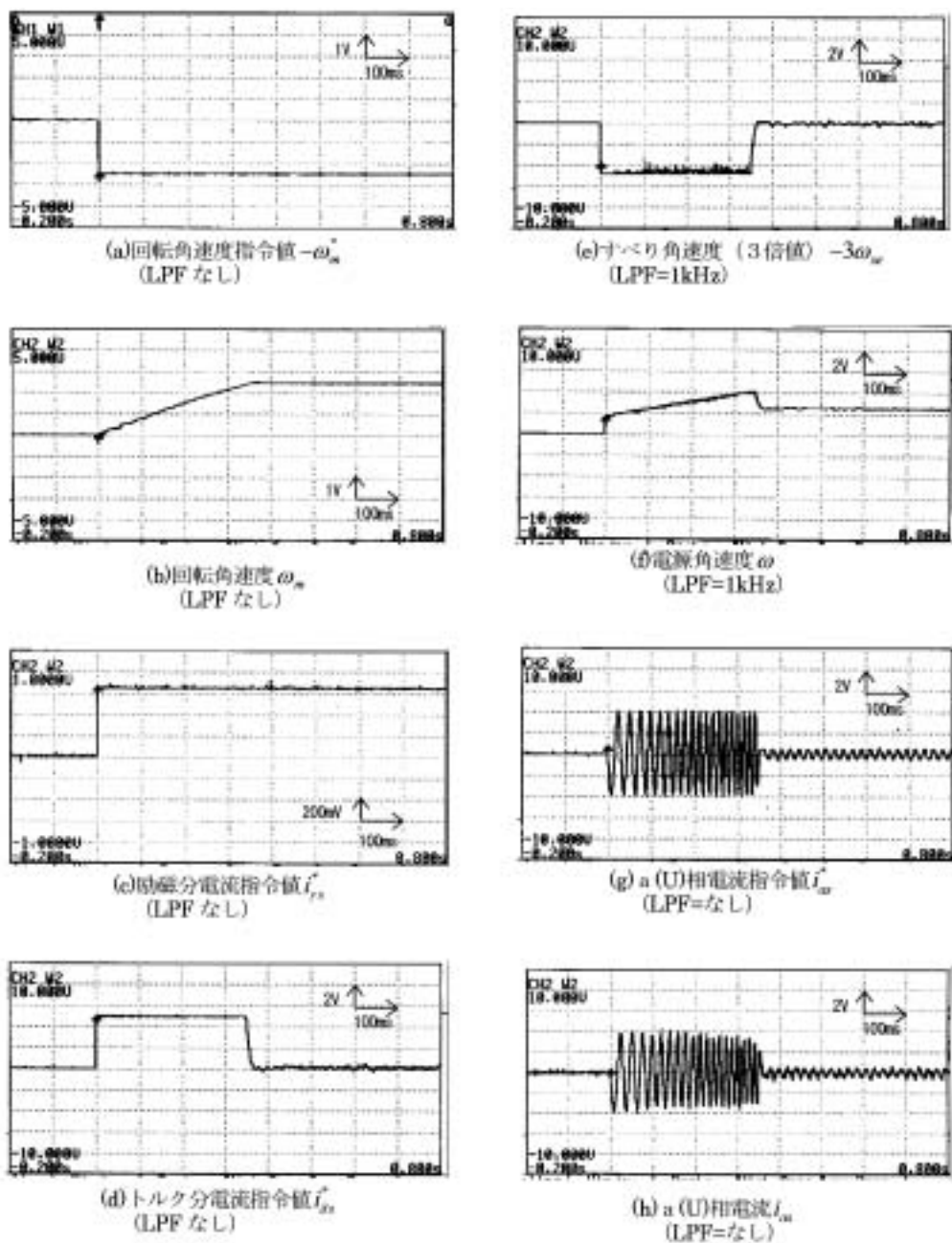


図34 速度ステップ入力に対する過渡応答波形

ルユニット、コンピュータユニット、インバータユニット、モータユニット)から構成され、各ユニットのインターフェースが統一されている。したがって、ユニットごとの学習が可能であり、パワーエレクトロニクスとして総称される、三相誘導モータの理論と実際、半導体電力変換技術、高性能可変速制御技術およびソフトウェアに関する知識を習得できる。また、各ユニットを組み合わせた実験・実習を通じて理論とその実際を対応させた学習を進めるこ

とができる点に、その特徴がある。

本教材の活用により、学生の実験・実習、各種指導員研修および社会人に対するセミナーなど、パワーエレクトロニクスに関する技術教育に寄与することができれば幸いである。

最後に、本稿執筆の機会を与えていただいた能力開発研究センター普及促進室 松本 義江氏、ならびに熊一 修氏に深く感謝の意を表する次第である。