

電気電子工学実験報告書

テーマ名 パワーエレクトロニクス実験（インバータ）

報告者 5 年（ E 組） 番号 234 B 班 柳原魁人

実験場所 エレクトロニクス工房 指導担当 鈴木 宏

共同実験者 倉科純太郎

実 験 日 令和 7 年 11 月 28 日

提出期限 令和 7 年 12 月 12 日 ⇒ 提出日 令和 7 年 12 月 11 日

（再提出期限 令和 年 月 日 ⇒ 再提出日 令和 年 月 日）

| 評 価 項 目 | | 評 価 |
|------------|-----------------------------|-----|
| 実 習 評 価 | (1) 自ら積極的に実験に取り組めた | |
| | (2) 実験装置を適切に使用でき，正確に実験を行なえた | |
| | (3) グループ内で協力的に実験が行なえた | |
| 報告書 評 価 | (1) 結果のまとめかた（図表を含む） | |
| | (2) 結果に対する考察 | |
| | (3) 報告事項／課題（正しい解答や適切な引用など） | |
| | (4) 報告書としての体裁が整っているか | |

1 目的

インバータを利用した電動機制御技術と、インバータの応用例として電気自動車の動作原理について理解する。さらには、電力の有効活用として回生について学ぶ。

2 原理

2.1 三相インバータ

図 1 に三相インバータの動作原理図を示した。インテリジェントパワーモジュール (IPM, 3 相 600 V, 30 A, 6 素子内蔵) とマイクロコンピュータ (ルネサスエレクトロニクス, SH2 7085) とを組み合わせて、三相交流を発生する。

三相インバータの出力は AC サーボモータ (ブラシレス DC モータ, 同期電動機的一种) に接続され、速度制御などが行われる。

2.2 AC サーボモータ

AC サーボモータは同期電動機に位置付けされ、別名「ブラシレス DC モータ」とも呼ばれている。このモータは回転子 (ロータ) が永久磁石, 固定子 (ステータ) が三相巻線となっている。モータと回転角を検出するレゾルバ (回転角度を二相の交流電圧で検出するセンサ), 電流センサの信号を利用してマイクロコンピュータが回転角に応じた適切な制御を行うため、モータには機械的なブラシが存在しない。

2.3 AC サーボモータの制御

トルク制御とは、モータ電流を制御することによってモータのトルクを制御するもので、電気自動車などの制御に用いられている。本装置ではベクトル制御技術を使ってマイクロコンピュータから PWM 信号を発生させて、インバータを動作させている。

速度制御とは、レゾルバを用いてモータの回転速度を測定して、速度設定値と比較して PID 制御 (Proportional-Integral-Derivative Controller) をすることで速度を制御するもので、これにより電気自動車が快適な走行 (クルーズコントロールなどの名称の機能) を行うことができる。

3 使用機器

3.1 エネルギー回生実習装置 (主な構成)

- AC サーボモータ
ワコー技研 ANR020-C308 (200 W, 14.5 A, 2000 rpm, 8 極, レゾルバ付)
- フライホイール
昭和電業社 (質量 17.65 kg, 慣性モーメント $0.07069 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$)
- ブレーキ

三菱電機 ZHA-20A (トルク 2 Nm, 2000 rpm)

- 電気二重層コンデンサ

日本ケミコン MDLA15R0V116FB0 ($38.6\text{ F} \times 3 = 115.8\text{ F}$)

- 電源

昭和電業社 (DC 0 V to 30 V, 10 A, 回生機能内蔵)

- インバータ

昭和電業社 (IPM 使用)

- 計測装置

昭和電業社

- ブレーキ用電源

昭和電業社 (DC 24 V, 1 A)

- トルク検出器

小野測器 SS-050 (5 Nm, 6000 rpm, トルク表示器と組)

3.2 電気自動車実習装置（主な構成品）

- AC サーボモータ

ワコー技研 B751E-D4R (48 V, 750 W, 21 A, 2000 rpm, レゾルバ付)

- バッテリー

FIAMM 12SPX42 (12 V, 42 Ah) \times 4 直列

4 実験方法

実験系の概略図および計測系の結線図を図 1 に示す。詳細は取扱説明書に従い、実験を実施した。取得した測定データは保存し、後節に示す図 1, 2, 3 にまとめた。

4.1 AC ブラシレスモータのトルク制御

1. 機器を準備した後、軸継手を用いてモータ、トルク検出器、ブレーキを連結した（図 1 参照）。
2. 電源装置の電圧を 9 V に設定し、計測ソフトウェアの設定数値画面で「制御方法：電流制御（トルク制御）」、「出力変動方法：手動」、「一定制御時間：120 秒」に設定した。「開始」ボタンを押した後、「電流」の数値を変化させることでモータの回転数が変化することを確認した。
3. 電源装置の電圧を 10 V に設定し、計測ソフトウェアの設定数値画面で「制御方法：電流制御（トルク制御）」、「出力変動方法：自動」に設定した。サンプルパターンをロードしてから「開始」ボタンを押す、モータのトルク－回転数特性を測定した。
4. 測定データを保存し、「トルク制御した場合のトルク－回転数特性」を作成した（図 2 参照）。

4.2 AC ブラシレスモータの速度制御

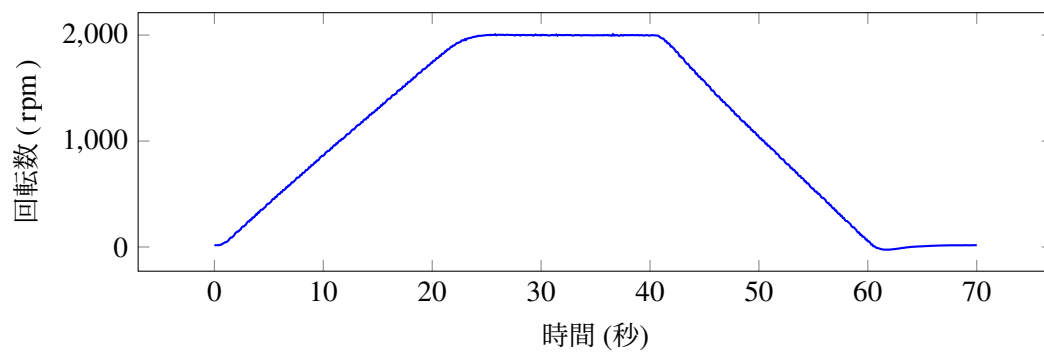
1. 電源装置の電圧を 15 V に設定し、計測ソフトウェアの設定数値画面で「制御方法：速度制御」，「出力変動方法：手動」，「一定制御時間：120 秒」に設定した．「開始」ボタンを押した後，「速度」の数値を変化させることでモータの回転数が変化することを確認した．また，回転させているときに「ブレーキ電流」の数値を変化させることでモータの回転数が変化することを確認した．
2. 電源装置の電圧を 15 V に設定し，計測ソフトウェアを「制御方法：速度制御」，「出力変動方法：自動」に設定した．サンプルパターンをロードして「開始」ボタンを押し，モータのトルク－回転数特性を測定した．
3. 測定データを保存し，「速度制御した場合のトルク－回転数特性」を作成した．「トルク制御した場合のトルク－回転数特性」と「速度制御した場合のトルク－回転数特性」を重ねたグラフを作成して比較検討した（図 2, 3 参照）．

4.3 AC ブラシレスモータの回生実験

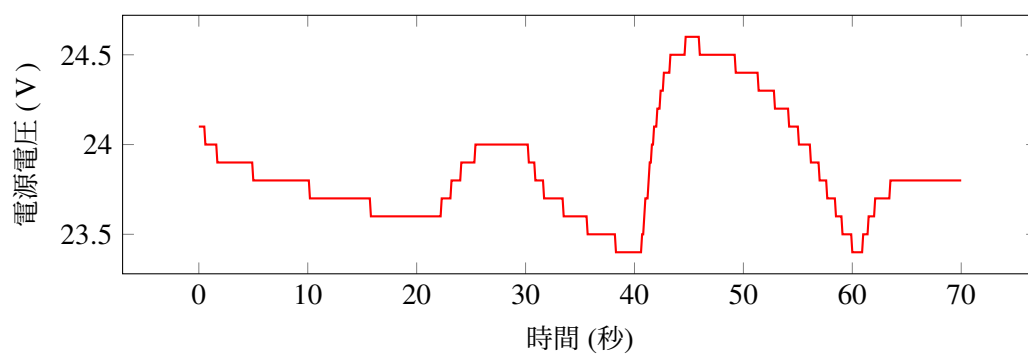
1. 機器を準備した後，軸継手を用いてモータとフライホイールを連結した（図 1 参照）．
2. 電源装置の電圧を 24 V に設定し，計測ソフトウェアの設定数値画面で「制御方法：速度制御」，「出力変動方法：加減速」，「加速時間：20 秒」，「一定制御時間：20 秒」，「減速時間：20 秒」，「停止後計測時間：10 秒」，「速度の設定：2000 rpm」に設定した（出力パターンが台形になっていることを確認した）．「開始」ボタンを押し，測定開始後 20 秒間で 2000 rpm に達していることを確認した．
3. 測定開始してから 30 秒（2000 rpm 一定速度で回転している状態）経過した段階で電源装置の出力スイッチを OFF にした．
4. 測定開始してから 40 秒後に減速を開始し，60 秒後にモータが停止した．このとき，モータはフライホイールの慣性力により発電動作を行い，インバータを経由して電気二重層コンデンサに回生エネルギーとして戻された．
5. 測定開始してから 70 秒経過後に測定データを保存し，「回転数－時間特性」，「電源電力－時間特性」，「インバータ出力電力－時間特性」，「電源電圧－時間特性」を作成した．「インバータ出力電力－時間特性」，「電源電圧－時間特性」から回生動作時のエネルギーの流れについて検討した（図 1 参照）．

5 実験結果

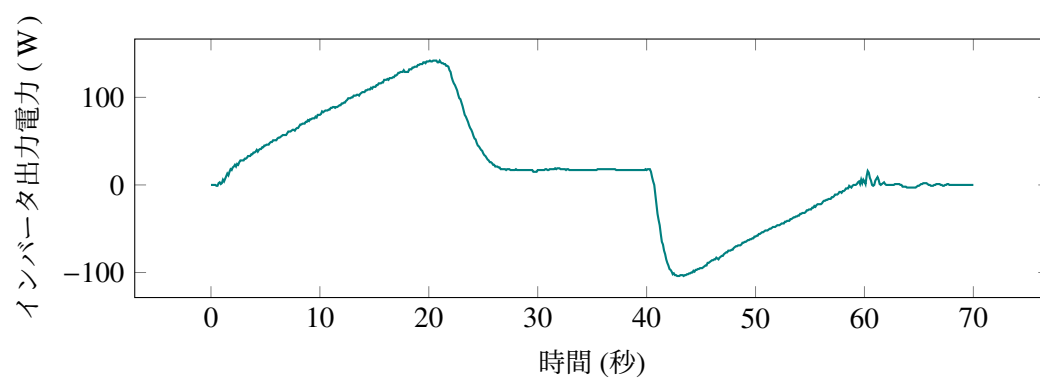
5.1 回生実験の結果



(a) 回転数 - 時間特性



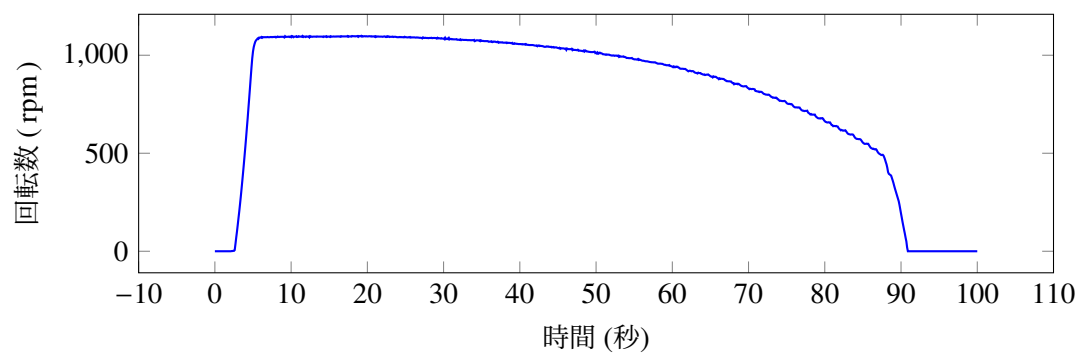
(b) 電源電圧 - 時間特性



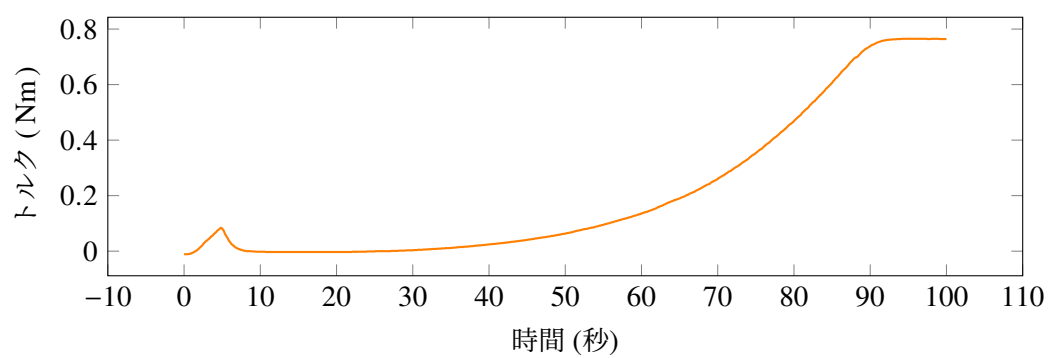
(c) インバータ出力電力 - 時間特性

図 1 回生実験の測定結果

5.2 電流制御実験の結果



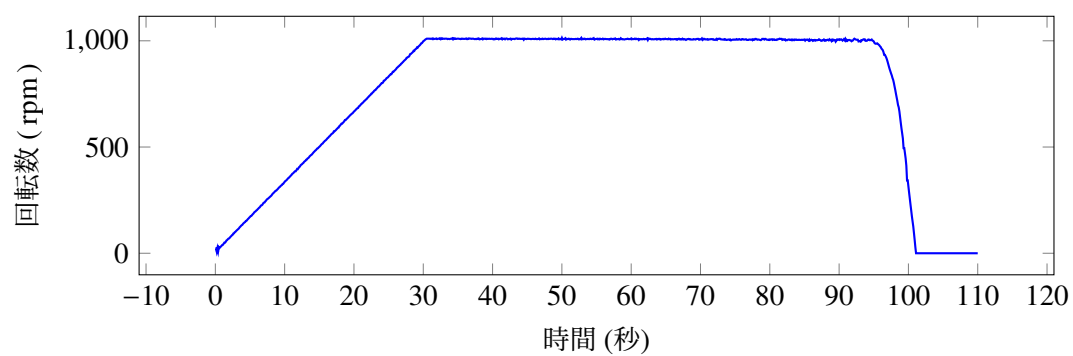
(a) 回転数-時間特性



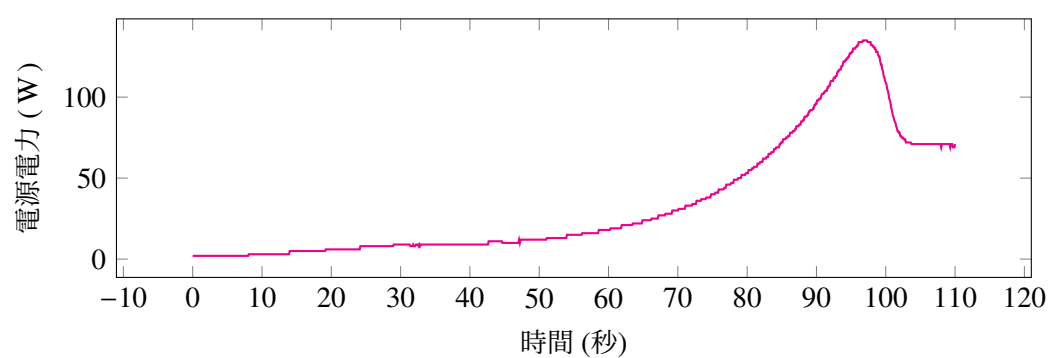
(b) トルク-時間特性

図 2 電流制御の測定結果

5.3 速度制御実験の結果



(a) 回転数 - 時間特性



(b) 電源電力 - 時間特性

図 3 速度制御の測定結果

6 報告事項

(1) 回生実験において得られた「電源電圧－時間特性」から、減速開始時の電圧の変化量を求め、理論値と比較して、なぜ値が異なるのか検討せよ。

コンデンサの電圧の理論値は以下の式より $V_1 = 25.61 \text{ V}$ となり、コンデンサの初期電圧 (=電源電圧) V_0 と比較して 1.61 V 増加することになる。

ここで、各変数は以下の通りである。

- m : 質量 [kg]
- D : 直径 [m]
- J : 慣性モーメント [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]
- ω : 回転速度 [rad/s]
- C : 静電容量 [F]
- V_0 : コンデンサの初期電圧 [V]

フライホイールの慣性モーメント I :

$$I = \frac{1}{8}mD^2 = \frac{1}{8} \times 17.65 \times 0.179^2 = 0.07069 [\text{kg} \cdot \text{m}^2] \quad (1)$$

フライホイールの運動エネルギー E :

$$E = \frac{1}{2}J\omega^2 = \frac{1}{2} \times 0.07069 \times \left(\frac{2000}{60} \times 2\pi \right)^2 = 1549.8 [\text{J}] \quad (2)$$

コンデンサの蓄積エネルギー E (100% 回生された場合) :

$$E = \frac{1}{2}C(V_1^2 - V_0^2) = \frac{1}{2} \times 38.6 \times (V_1^2 - 24^2) = 1549.8 [\text{J}] \quad (3)$$

実測値：図 1 に示すように、減速開始後の電源電圧は最大で約 24.5 V まで上昇した。したがって、初期電圧 24 V との差は約 0.5 V であり、理論値 (1.61 V) より小さい。この差は、回生効率 (変換ロス)、インバータの損失、配線抵抗や測定誤差が寄与したと考えられる。