

図 3-2 インバータの仕組み

4. DC12V での単相インバータの製作

単相インバータでは、AC0 から 100V、周波数 20 から 60Hz の範囲を可変できることを目標に製作した。

また、製作した単相インバータで、扇風機から取り外したモーターを動作させることを目標とした。

まず、インバータの仕組みを知るために、DC12V 電源を用いたインバータ製作をした。

DC12V を用いたインバータでは、スイッチング周波数 1kHz とし、無段階に周波数と電圧を可変出来ることを目標とした。使用した主要な部品を(表 4-1)に示す。

またマイコンは高校で製作した Arduino Uno ボードを使用した。

表 4-1 DC12V 単相インバータ 部品表

| 種別 | メーカー | 型番 |
|------------|--------|----------|
| SBD | 京セラ | 11EQS03L |
| Nch MOSFET | サンケン電気 | EKI04036 |
| ゲートドライバ | IR 社 | IR2302 |

5. DC12V 単相インバータ 成果

単相用のインバータの試作し、周波数と電圧が可変出来ることを確認した。また扇風機の AC モーターが回る事を確認した。

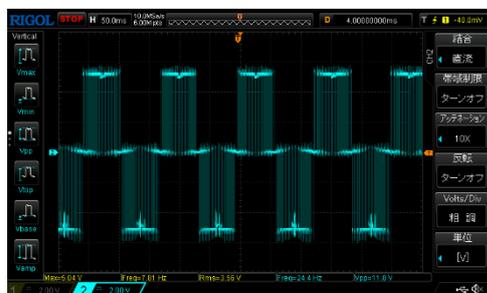


図 5-1 単相インバータからの出力波形

(図 5-1)は出力波形である。出力波形のみでは、正弦波とほど遠いため、 $0.1[\mu F] \cdot 10[k\Omega]$ の CR ローパスフィルタを作り、カットオフ周波数 159[Hz]程度 of フィルタを作成した。

その波形が(図 5-2)で示した物である。

扇風機のモーターはゆっくりではあるものの回転することを確認した。

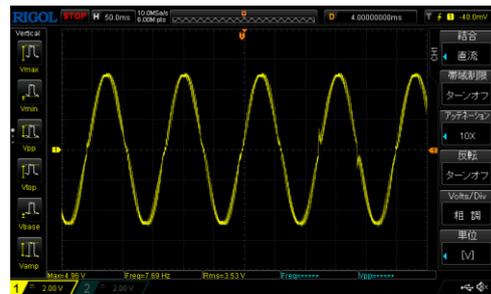


図 5-2 出力波形にローパスフィルタを通した波形

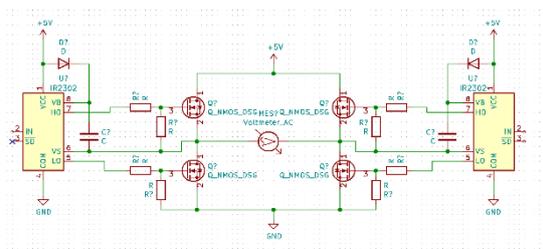


図 4-1 単相インバータ 回路図

6. DC100V での単相インバータの製作

DC12V でのインバータ動作に成功したため、DC100V での製作に取りかかった。

DC100V では、耐圧の関係で一部の部品を変更する必要があった。その時に使用した主要な部品を(表 6-1)に示す。

表 6-1 DC100V 単相インバータ 部品表

| 種別 | メーカー | 型番 |
|------------|------|----------|
| FRD | 東芝 | 1JU41 |
| Nch MOSFET | 東芝 | TK31J60W |
| ゲートドライバ | IR | IR2302 |

また今回は Arduino Uno より高速化が期待できる Microchip Technology 社 PIC16F18346 を使用した。PIC16F18346 の詳細は(表 6-2)に示す。

表 6-2 PIC16F18346 仕様表

| | |
|----------|---------|
| クロック | 32MHz |
| RAM | 2kB |
| プログラムメモリ | 16kW |
| GPIO | 18ピン |
| ADC | 16チャンネル |
| タイマー | 7チャンネル |

回路は(図 4-1)と同様で動作するが、パターン間隔が安全規格に適合しないため、基板は作り直した。

安全規格 IEC62368-1 に準ずると実効値 100V 時、パターン間隔は 1.4mm となるため、今回は、パターン化間隔 1.5mm となるように再設計し直した(図 6-1)[4]。

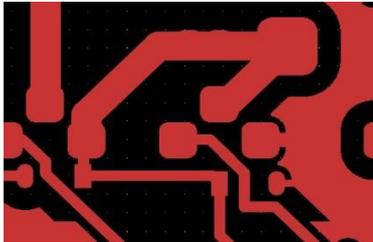


図 6-1 DC100V パターン間隔

7. DC100V 単相インバータ 成果

DC0[V]~DC100[V] 10[Hz]~80[Hz]程度、電圧と周波数が可変出来ることを確認した。また扇風機の AC モーターが回ることを確認した。

インバータに入力する電圧が 80[V]を超え始めた所、マイコンがリセットしてしまう現象が発生した。出力波形を観測した所、大きなスパイクノイズが発生していることが分かった。そこで出力部にフィルムコンデンサ 耐圧 220[V] 0.1[μF]と抵抗 5[Ω] 2[W]を直列接続した RC スナバ回路を接続したところ、スパイクノイズが収まり DC100V まで動かすことが出来た。

また AC モーターは DC12V よりもトルクと回転数が上がり、ほぼ無段階で回転数が可変出来た。

8. 三相インバータの製作

インバータ動作の原理が確認できたため、三相インバータの製作へ取りかかった。

三相用インバータでは、可変電圧範囲 0[V]から 100[V]可変周波数範囲 0[Hz]から 60[Hz]を目標に製作した。また、製作した三相用イン

バータで、三相誘導電動機(0.6[kW])を動作させることを目標とした。

車載することを想定するため DC12[V]から AC100[V]に昇圧するためのインバータを用いた。昇圧した AC100[V]を整流し、DC100[V]を作り出す。その後、自作した三相インバータにより、三相交流を作り出そうと考えた。電力関係をまとめたシステム系統図を(図 8-1)に示す。

三相インバータは、何度も試作基板を作った後、最終的に使用した回路図(図 8-2)と主要な部品を(表 8-1)に示す。

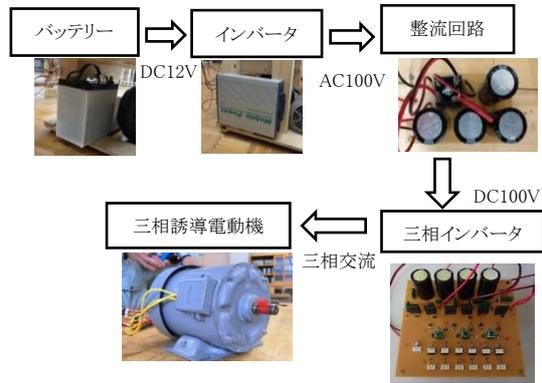


図 8-1 システム系統図

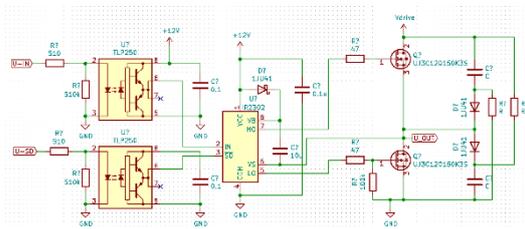


図 8-2 三相インバータ 回路図(一相)

表 8-1 DC100V 三相インバータ 部品表

| 種別 | メーカー | 型番 |
|---------|-----------|---------------|
| FRD | 東芝 | 1JU41 |
| SiC FET | UnitedSiC | UJ3C120150K3S |
| ゲートドライバ | IR | IR2302 |
| フォトカプラ | 東芝 | TLP351 |

今回は SiC を用いた MOSFET を使用した。

SiC はシリコンガーバイドとも呼ばれ、Si(シリコン)と C(炭素)で構成される化合物半導体材料である。絶縁破壊電界強度(絶縁破壊電界)がシリコンの 10 倍のため、高耐圧にしやすい。またバンドギャップがシリコンに比べて 3 倍と優れているため、高温時にも安定し使用できる。また飽和速度もシリコンに比べて約 2 倍と優れ

るため、高速なスイッチング動作が可能である[5][6]。

これらから、SiC MOSFET は Si MOSFET に比べて、高耐圧・低オン抵抗・ゲート総電荷量(Qg)が小さい(つまりスイッチング動作が高速)という特徴がある。

また今回はフォトカプラを使用し、三相インバータで発生したノイズにより、マイコンの影響を与えないようにした[7]。今回使用した TLP351 はプッシュプル回路を内蔵しており、伝達遅延が最大 700ns と非常に高速にスイッチング出来るフォトカプラとなっている[8]。本来は IGBT および MOSFET のゲート駆動用に適しているが、今回は回路の絶縁用途として使用した。

また単相インバータからの反省として、あらかじめスナバ回路を回路に組み込むことにした。スナバ回路には C スナバ回路や RC スナバ回路、放電型 RCD スナバ回路などがあるが、今回は非放電型 RCD スナバ回路を採用した。

非放電型 RCD スナバ回路はサージノイズをコンデンサで吸収し、抵抗により熱として消費するため、RC スナバ回路より消費電力が少なく、サージノイズに対し非常に高い抑制効果がある[9]。

9. 三相インバータ 成果

波形出力は出来たものの、入力電圧 DC100V の連続運転に耐えられず、素子の破壊が発生した。そのため、やむを得ず入力電圧を 50V に降圧し、実験を行った。



図 9-1 疑似三相交流波形

(図 9-1)は製作した三相インバータ波形を観測した画像である。

本来であれば、三相交流の波形観測には差動プローブや電流プローブが必要となる[10]。ただ、差動プローブや電流プローブは非常に高価なため、使用できなかった。そのため、今回は 10kΩ 抵抗でスター回路を組み、擬似的

に中性点を取り出している。

今回は車載を目的とした三相インバータ製作のため、周波数を 0.5[Hz]から 6[Hz]程度で可変出来るように、マイコンにプログラムした。また周波数は手元のポテンショメータを回転させることで、可変出来るようにした。

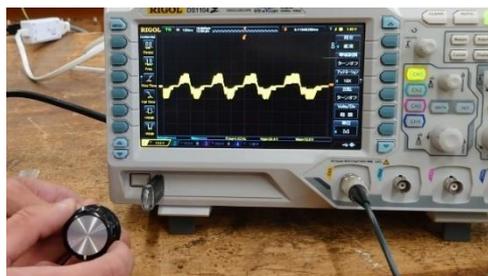


図 9-2 4Hz 時の疑似三相交流波形

(図 9-2)は三相インバータから出力された一相分の波形である。

周波数は 4[Hz] ピーク電圧(Vp) 20[V] 三相誘導電動機の回転数は 約 120[rpm]である。

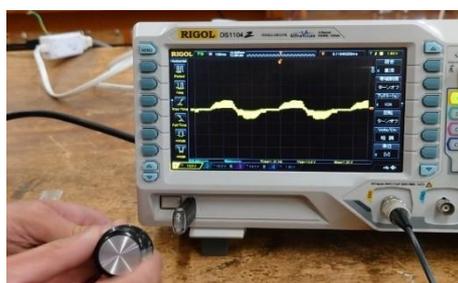


図 9-3 1Hz 時の疑似三相交流波形

(図 9-3)は(図 9-2)と同様に三相インバータから出力された一相分の波形である。

周波数は 1[Hz] ピーク電圧(Vp) 10[V] 三相誘導電動機の回転数は 約 30[rpm]である。

(図 9-2)と(図 9-3)の結果から、周波数と電圧が可変出来ていることが分かる。また周波数が可変している事から、三相誘導電動機の回転数も制御できていることが分かる。

また低速ではあるが、三相誘導電動機を車体に搭載した状態での動作もした。

10. 車体設計

車体設計はフュージョン 360(3DCAD)で行い車のおおよその形を決めた。

ハンドルを切ってもモーターと干渉しないように、シャーシ、ハンドル、椅子、三相誘導モーターの配置などを検討した。

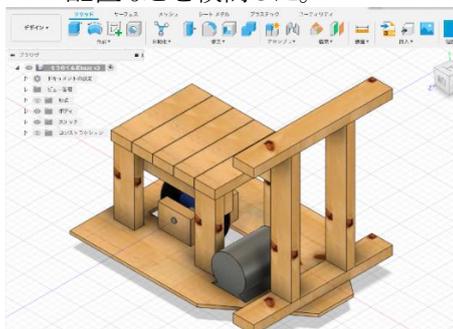


図 10-1 車体設計図

11. 車体製作

車体製作では、フュージョンで設計した図をもとに、安価で自分たちでも簡単に加工のできる木材を使用して製作した。

まず車体のもととなるシャーシ(土台)を製作した。シャーシにはベニヤ板を使用し80×60の大きさに切った。切ったシャーシにタイヤが出る穴を開けました。ここでハンドルを切れるようにするためにシャーシの前を画像のようにいらない部分を切った。

次にハンドルを製作した。ハンドルは横幅がシャーシと同じ長さになるように木材を切り、高さは操縦者が座って操作しやすい高さにした。持ち手はできるだけ長くして、軽い力でハンドルが切れるように工夫をした。

椅子は椅子の下にタイヤが入るように高さを設定して製作した。

最後に製作したものを固定した。車体とハンドルは回転盤をはさんで固定した。



図 11-5 車体完成

12. 駆動系の製作

タイヤは農業用一輪車のタイヤを使用した。そのタイヤには原付自転車「カブ」のスプロケットを固定して、三相誘導電動機側にもスプロケットをつけチェーンでつなげた。



図 12-3 三相誘導電動機とタイヤ

タイヤにスプロケットを固定するとき、そのままでは固定できなかったため、レーザー過去機で固定するための板を製作しうまく固定できるようにした。

13. 成果

単相インバータでは AC モーターの速度制御を行うことが出来た。

三相インバータでは予定の電圧よりは低圧であるものの、周波数制御や電圧制御をすることが出来た。

低速ではあるものの、三相誘導電動機と三相インバータ車載し、運転することが出来た。

14. 反省

単相インバータでの負荷試験などをより詳しく行い、三相インバータ製作の際に役立てるべきであった。

三相インバータでは元々予定していた DC100V では制御できず、主開閉素子を見直したが、時間や費用が限界に達し、悔いの残る結果となってしまった。

車体製作では、耐久性などを考慮した上で製作するべきであった。

(参考文献)

- [1] <https://www.mohno-pump.co.jp/learning/manabiya/b2b.html>
- [2] <https://www.mohno-pump.co.jp/learning/manabiya/b2a.html>
- [3] <https://www.matsusada.co.jp/column/inverter.html>
- [4] https://ana-dig.com/pattern_distance/
- [5] <https://www.marubun.co.jp/technicalsquare/18154/>
- [6] https://www.rohm.co.jp/electronics-basics/sic/sic_what1
- [7] <https://toshiba.semicon-storage.com/jp/semiconductor/knowledge/faq/opto/opto-001.html>
- [8] <https://akizukidenshi.com/catalog/g/g1-02887/>
- [9] <https://techweb.rohm.co.jp/product/power-device/sic/sic-application/15886/>
- [10] <https://www.tek.com/ja/documents/primer/making-measurements-on-3-phase-motor-drives-with-an-oscilloscope>