

回路はその4以降基板化を行いました。各基板ごとに説明を作ってみました。

(回路図は現物から起こし直した部分がかなりあるのでどこかに間違いがあるかもしれません。部品番号も重複や欠番があるかもしれません。一時 MIDIch で書いていた時もあったので H8DAC 基板は ch10 を欠番にして記入したところもあります。… m(_)m)

1. H8DAC 基板回路 → H8DAC 基板回路図.pdf 参照

この基板では MIDI/RS232c のシリアル信号の入力、モーターを制御するためのアナログ電圧の生成、回転センサ信号の入出力制御などを行い、各部に必要な基準電圧の生成もしています。

① H8 周辺

マイコンは秋月の AE-3048 マイコンボードを使用しています。接続されているシフトレジスタ(IC1,IC2)で DAC への転送速度向上とプログラムを簡単にしています。DAC 内部のアドレスがデータの向きとひっくり返っているのでアドレスを出力している P2 の配線を逆順にしています。

回転時間の検出やストロボスコープの周期の設定は H8 内部の分周器より大きな分周比があると便利なので ITU2 を分周器にして、外部クロック入力モードで他のタイマを動作させています。PA-1 と PA-6 が直接接続されているのはこのためです。

書き込み回路は秋月の H8 マザーボードキットとほぼ同じ構成です、トランジスタアレイはストロボスコープの LED 駆動と共用しています。

マイコンボード上のレギュレータは使用しないので、マイコンボードの PWR と 5V を接続し動作させないようにしています。

② DAC 周辺

DAC には 8bit36ch の変わった？ DAC を使用しています。精度を上げるため、シャッターモーター側は出力 2 本を分圧し、仮想の 16bitDAC として使用しています。(直線性は 8bit のままだけど…) 抵抗ラダーの基準電圧は OP アンプと分圧抵抗で生成しています。DAC の電源電圧から少し下げた、GND レベルから少し上げた電圧を設定すると、上限・下限近くの設定値でバッファアンプの飽和による誤差が少なくなります。出力電圧が rail-to-rail ではありませんが、ドライバ側でオフセットとゲインの設定ができるので問題ありません。ドライバのオフセット基準電圧もこの基板で生成しています。

③ 基板上電源 (レギュレータ)

アナログ系± 12V、デジタル系+12V,+5V を制御電源入力± 15V から三端子レギュレータで生成しています。アナログ系三端子レギュレータは各部の基準電圧の元にもなっています。(三端子が基準電圧源…それでいいの？)

デジタル系三端子(Reg3)の出力にはストロボスコープ安定化に大きめのコンデンサ(C33)が入っているので内部トランジスタの保護用にダイオードを入れた方が良いでしょう。(すごい勢いで H8 と周辺が電力を吸い取るので通常は無くてもいいかな…制御電源側の短絡とか異常に備えるならあった方がいいかな?)

2. MIDI 信号レベル変換基板 → MIDI 信号レベル変換基板回路図.pdf 参照

この基板で MIDI 信号レベルを RS232c レベル変換 IC に入力できる電圧レベルに変換しています。MIDI の規格では電流出力をフォトカプラで絶縁する構成にします。入手が容易なフォトトランジスタ出力のフォトカプラ (TLP521 とかかな?) を抵抗だけで出力しようとするると応答速度が遅く、通信できなくなります。原因はフォトトランジスタが飽和領域に入ってしまう LED 消灯後も過剰に存在するキャリアが消滅するまで通電状態を維持してしまう (蓄積時間) ことが考えられます。また、立ち上がり・立ち下がりが遅くなる原因は帰還容量によるミラー効果が考えられます。

簡単な対策として電流を増やし、キャリア消滅の時間を早める方法もありますが、出力電圧が減ってしまいます。またコレクタ・エミッタ間の電圧が変動するため、ミラー効果は残ります。

この 2 つの問題を同時に解決するにはフォトトランジスタより高速で動作するトランジスタ (Tr1) をカスケードに接続する方法があります。フォトトランジスタ両端の電圧は常に一定 (約 6.4V) に保たれ、飽和領域に入ることも無く、ミラー効果の影響も受けなくなります。

回路の出力電圧は 0 から約 5V (R1 で調整?) になり本来の RS-232c の信号レベルになりませんがレベル変換 IC の判定ラインは 2V 前後ですので通信を行うことができます。

RS232c 入力側の 7,8 ピンは PC 側の H8 ライタソフトの認識のための CTS,RTS のループです。

この基板はモデラで加工していますのでパターンが切削用です。(操作パネルのロータリースイッチの基板も同時に加工したので一緒になっています。)

3. 回転センサ基板 → 回転センサ基板回路図.pdf 参照

この基板では自動音程調整の際、フォトトランジスタの選択、増幅、光源 LED への電源供給と制御を行っています。

使用しているフォトトランジスタはおそらくあまり速くないので（照度検出用？）こちらでもカスケードに接続しています。ただし、

- ①回転周期が検出できれば良いのでそれほど速い動作は必要ない。（200Hz 位？）
- ②途中にあるアナログスイッチの抵抗とそこそこフォトトランジスタまでの配線が長いのでミラー効果軽減の効果は少ない。
- ③コンパレータで波形を整形する。さらにマイコンは片エッジしか見ないので遅延の影響はあまりない。

ですので、カスケードにしなくても動作可能かと思います。

コンパレータ出力がしきい値付近で外部の光により不安定にならないよう正帰還(R5)をかけてヒステリシスを持たせています。（C7 が OPEN で R5 が部品面なのは後から思いついたため）

光源 LED は明るさを調整できるように可変の三端子レギュレータ(REG1)を使用しています。音程調整中のみ点灯できるようにしています。（こちらでも部品面なのは後から思いついたため）

（トランジスタの hfe ランクが GRなのは手持ちの都合。あまり意味は無いかな？）

4. ドライバ基板 → ドライバ（右、左、中央）基板回路図.pdf 参照

この基板で、DAC からの信号をモーターを回せる電力まで増幅しています。

回路は簡単なコンプリメンタリプッシュプル+ OP アンプの組み合わせです。

モーターを回すだけなのでひずみ・周波数特性はあまり気にしなくて良く、クロスオーバーひずみを取るような事もしていません。

手動で音程の調整を行う際はこの基板の半固定抵抗で行います。ゲイン調整は微調整しやすいよう 10k と 1k を直列にしていますが、安価な半固定を使ったためバックラッシュが大きく振動でずれやすいです。

パワートランジスタのベースに入っている抵抗は寄生発振防止用です。回路図のようにダーリントン形に 100 Ω の組み合わせだと、小さすぎますのでもう少し大きい方が良いでしょう。

ドライバ基板のパワートランジスタ周辺には大きな電流が流れるため、GND 電位の変動が無視できません。この回路では中央のドライバ基板で動力 GND と信号 GND を接続し、となりのドライバには信号 GND のみ接続し動力の電流が流れないようにしています。

（これはこれで極端に GND 距離が長くなってしまい別の問題が出やすくなるし結局ソレノイド駆動回路の追加で別の GND ループができてしまったのでどうなんだか…とにかく GND の配線強化でなんとかしよう。）

OP アンプは汎用のあまりスルーレートの高くない物 (LM358) を使用しています。もう少し耐圧の高い高速な OP アンプを (4580 あたり?) 使いたかったのですが、クロスオーバーひずみを無視した構成と負帰還が大きすぎて発振が止まりませんでした。

左右の基板はモーターの並びが異なるだけで共通です。中央の基板は低音のモーターを回すために一回り大きなトランジスタ (TO-3P) が取り付けられるようにしています。

（実際の所そこまで大きなトランジスタは必要なかったかな? 中音のドライバでも低音のモーターは普通に回るし…）

5. ソレノイド低速駆動基板 → ソレノイド低速駆動基板回路図.pdf 参照

この基板でソレノイドを動作させています。

電圧変換部分は、

- ①入手できたソレノイドは内部抵抗が低く、低電圧で駆動する必要があったことと。
- ②動力側電源の電圧はモーターの加速を良くするため上げる予定があったこと。
- ③動作中ソレノイドは常に電力を消費してしまうこと。

このため電源電圧の変換には降圧チョッパを使用しています。

チョッパの動作・停止をマイコンから制御できるようにしていますが、マイコンが起動した瞬間にチョッパを動作させているのであまり意味は無いかもしれません。

ソレノイドの ON/OFF はパワー MOS を使用しています。D-G 間に帰還容量を入れゲート抵抗を増やして ON することでソレノイド両端の電圧は徐々に増加するようになります。こうすることでソレノイドをゆっくりと加速しバルブが閉じる際の衝突音を抑えます。開く側はゴムで緩衝しているため素早く開いても大きな音がしないのでゲート電荷はダイオードを通して素早く抜き、OFF を速くしています。G-S 間のコンデンサは帰還容量増加による寄生発振の防止用です。

(あえてミラー効果を出しているわけですが…ある意味パワー MOS メーカーにケンカ売ってますね。この回路… m(_ _)m)

6. 操作パネル回路 → 操作パネル回路図.pdf 参照

このパネルで設定や動作状態の表示を行います。

ロータリースイッチはバイナリ出力です。正論理なので抵抗はプルダウンにしています。動作表示の LED はマイコンの計算時間や割り込み処理の時間をオシロスコープで確認していた時のポートに LED を接続しています。

音量設定のボリュームはマイコンの ADC のポートに接続しています。

7. サイレン内部回路 → サイレン内部回路図.pdf 参照

サイレン内部の配線です。特に面倒な事はしていませんが回転検出用の LED の抵抗 (R1) は調整範囲の上限ぎりぎりなので、もう少し小さい値が良いかもしれません。

(LED 駆動の電圧は共通なので気づいても先に作ったサイレンの抵抗と合わせないといけないんだよなあ…まあ、レギュレータの負担が減ったということにしておこう…)

8. ストロボスコープ LED 回路 → ストロボスコープ LED 回路図.pdf 参照

ストロボスコープの LED 部分の回路図です。駆動やタイミングは H8 側の基板で行っているので単純なコネクタと抵抗の配線だけです。

9. 電源端子パネル回路 → 電源端子パネル回路図.pdf 参照

この端子にモーター用動力・制御用の電源を接続します。各基板に配電しているだけです。なので特に変わった事はしていません。動力電源の配線が変わった形になっていますがこれはドライバ基板のヒートシンクの都合で中央の基板の裏に配線し、基板の表でとなりの基板に接続しているためです。

10. 基板 (プリントパターン)

基板は簡単な物は切削、細かく大きな物は感光+エッチングで製作しています。基板は手持ちの都合で最大 100 × 130mm の片面基板です。プリントパターンは基板用 CAD を使った方が後々便利ですが手書き基板のノリ (!?) で製図用 CAD で直書きしています。回路を思いついたら即修正ができるなど、自由に書ける利点がありますが自由すぎるため間違いに気づきにくい欠点があります。

(片面で GND を優先したのでジャンパ線の本数が大変なことになっています。一部後から追加変更した配線や銅箔面のジャンパ線が抜けているかもしれません。… m(_ _)m)