

降圧型 DC-DC コンバータの設計&製作(1)

DC-DC コンバータの試作にトライしようと思って、適当なコンバータ IC を探しましたが、8ピン程度のシンプルなものはいずれも在庫切れとなっていて困っていたところ、たまたまチップワンストップで、私にとって懐かしい THV1021 を見つけました。

この IC は 2-ch の PWM コントローラなので出力部のトランジスタが必要で、他に周辺部品点数が多くなるのが残念ですが、とりあえず在庫の 24 個を全部購入しました。

ここでは、ch-2 を降圧型で設計して試作した結果を説明します。

基本仕様

まずは、ざっくりと以下のように決めました。

- Vin=5V, Vout=3.3V, Io=1.5A (自作電子負荷の最大電流値)
- スイッチング周波数：約 500kHz (THV1021 のセンター値)
- ソフトスタート：約 10ms
- その他 (入力リップル電圧、負荷応答等)：あとで考える

以下、損失等のこまかいことは無視して、大雑把に進めていきます。

$$D_{on} = \frac{3.3(V)}{5(V)} = 0.66 \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

ネットで調べると、リップル電流 (ΔI_L) は、 I_o の 0.2~0.5 とあるので、ここではこの中間をとって、0.35 とします。

$$\Delta I_L = \frac{5(V)-3.3(V)}{L(H)} \cdot \frac{\Delta D_{on}}{500(kHz)} = 0.35 \cdot 2 \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

(1),(2)式から、 $L \approx 3.2\mu H$ となります。

在庫品から探してみた結果、CDRH6D38NP-3R3NC ($L=3.3\mu H$, $I_{max}=3.5A$) を選択しました。

パワー段のコンデンサ容量を決めないといけなかったですね(^^;;

作成したプリント基板は、3225 のパッドを 2 つ作成しているので、まずは $10\mu F \times 2 = 20\mu F$ として、出力リップル電圧等を見て必要があれば、基本仕様含めて微調整するという事で進めて行こうと思います。

十数年前に作成したプログラムを試したところ windows10 で動作するには、驚きました。

ただ、私はハードウェアが専門なので、残念なことに私はこの自作ソフトの修正&コンパイル方法をすっかり忘れてしまいました(^^;;

インダクタ電流波形と出力リップル電圧波形を求めたのが、図 1、図 2 です。

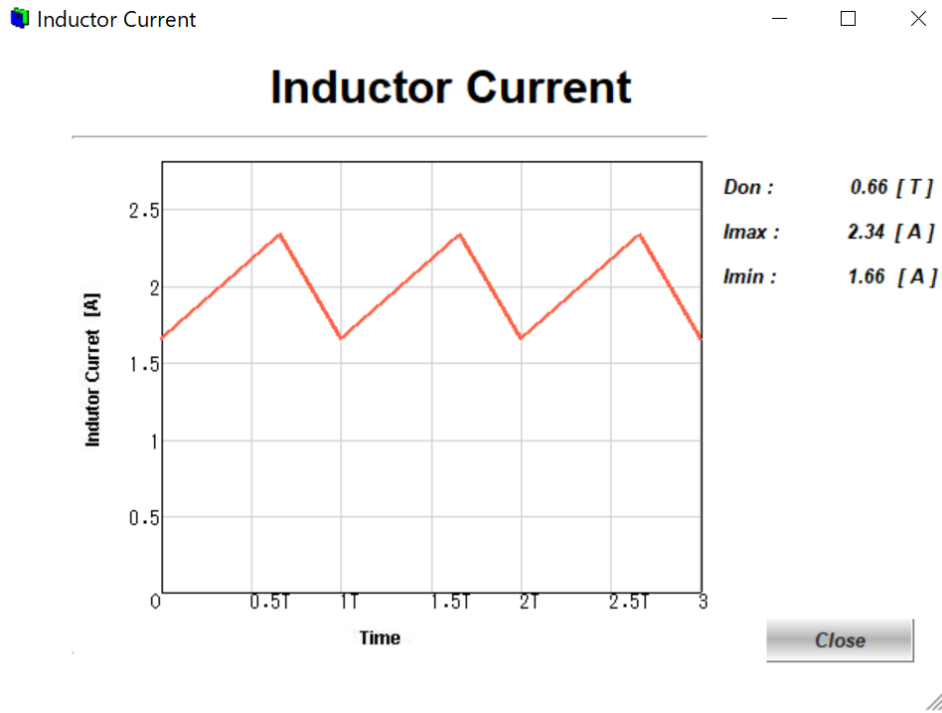


図1. インダクタ電流波形

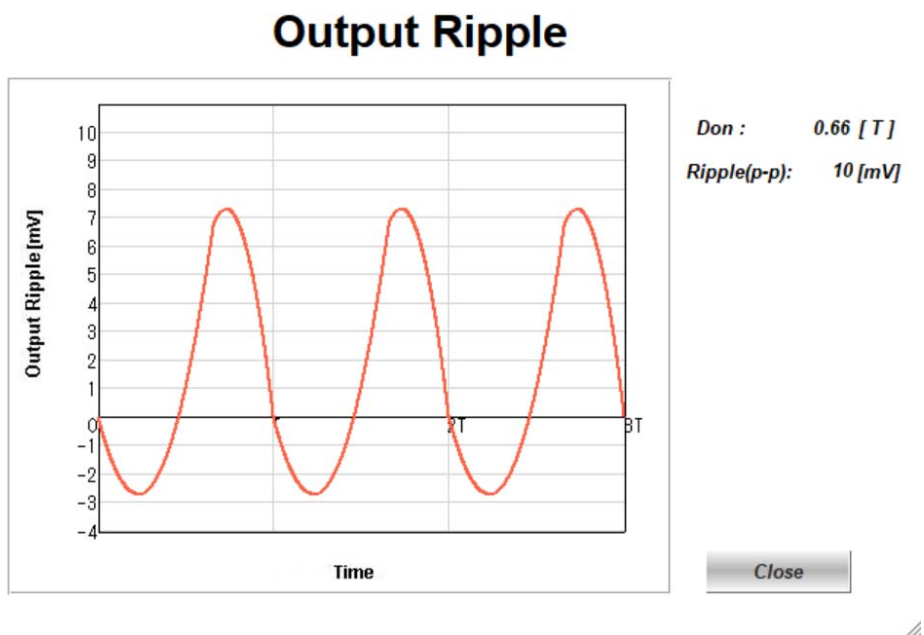


図2. 出力リップル電圧波形

この自作ソフトでループ特性を求めたのが図3で、その時の定数を図4に示します。

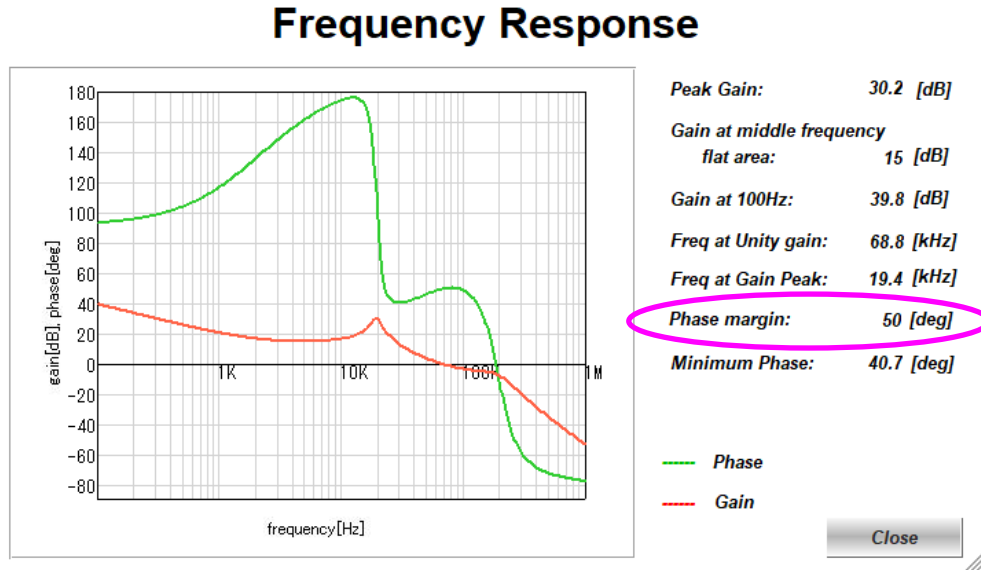


図3. ループ特性シミュレーション結果

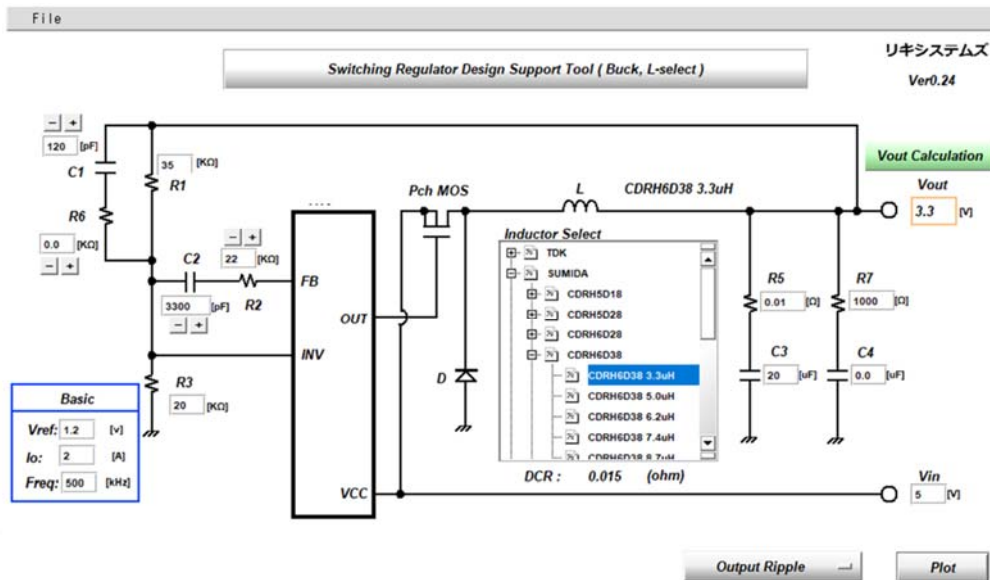


図4. ループ特性シミュレーション時の定数

位相余裕の精密な計算は難しいので、図 3 および図 4 はあくまでも定数の初期設定用と考えます。そして、ここから定数を微調整して位相余裕を満足させます。

この微調整に Digilent 社の Analog Discovery2 またはアナログデバイセズ社の ADALM2000 と弊社の FRA Adaptor(Phase Margin)の組み合わせが便利に使えます。

試作回路

図 5 が試作回路基板です。図 5 のように昇圧と降圧の 2 つの DC-DC コンバータで構成されていますが、本レポートでは降圧型について説明します。

DC-DC コンバータのプリント基板は 4 層基板が一般的かと思いましたが、今回はコストを意識して両面基板にチャレンジしました。

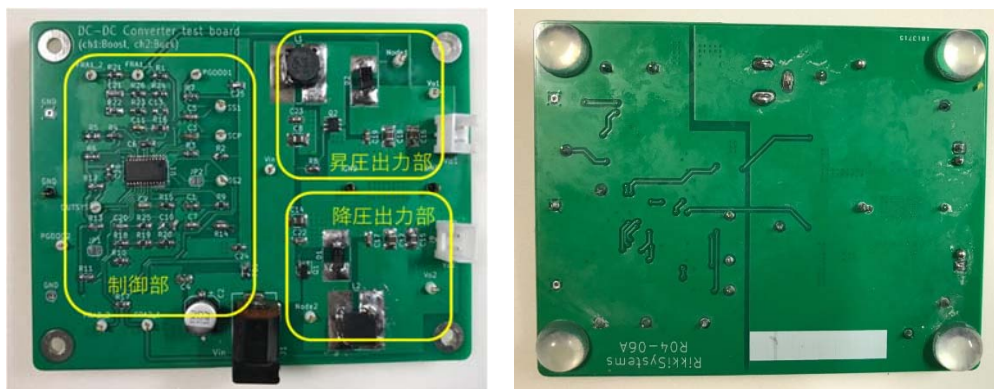


図 5. 試作基板（左：部品面、右：ハンダ面）

手持ちの電流センサの仕様では、500kHz のインダクタ電流波形を測定できないことが判明したので、今回はインダクタ電流波形は割愛します。

ノード（スイッチング部）電圧波形を図 6 に示します。

負荷電流が小さいときは電流不連続モードで、大きくなると電流連続モードになることが分かります。

右の図からスイッチング周波数が 533kHz であることが分かります。

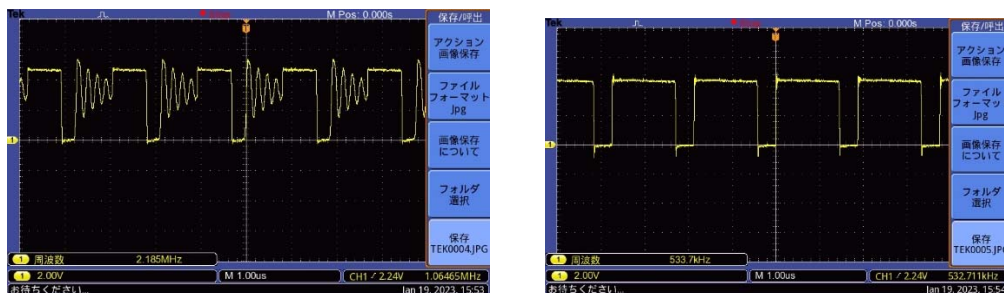


図 6. ノード電圧波形（左：負荷電流=0.1A、右：負荷電流=1.5A）

出力リップル電圧波形を図7に示します。

オシロスコープの感度が不十分なため精度は落ちますが、出力リップル電圧値の測定値は約10mVp-p程度なので、シミュレーション結果と概ねあっています。

出力リップル電圧値は十分に小さいので、良しとします。

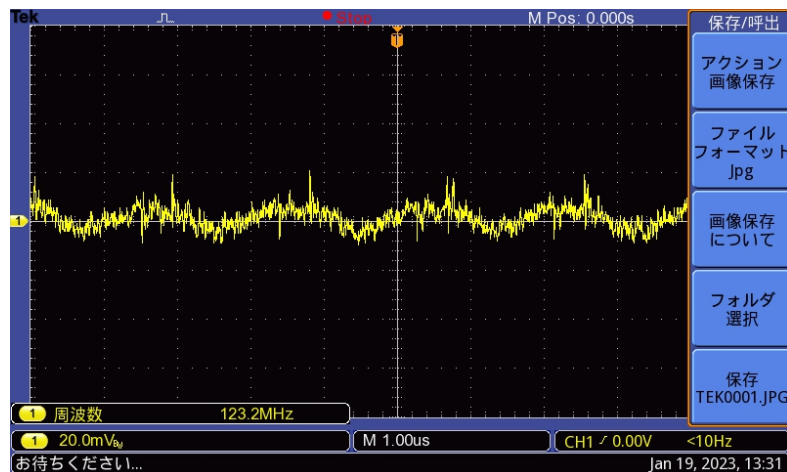


図7. 出力リップル電圧波形

ソフトスタート波形を図8に示します。

Ch1が昇圧出力(12V)で、ch2が降圧出力(3.3V)の電源起動時の波形です。

問題無いですね。

このICはシーケンス起動(3.3V起動→12V起動、あるいは12V起動→3.3V起動)も可能ですが、今のところ必要性が無いのでやってません。

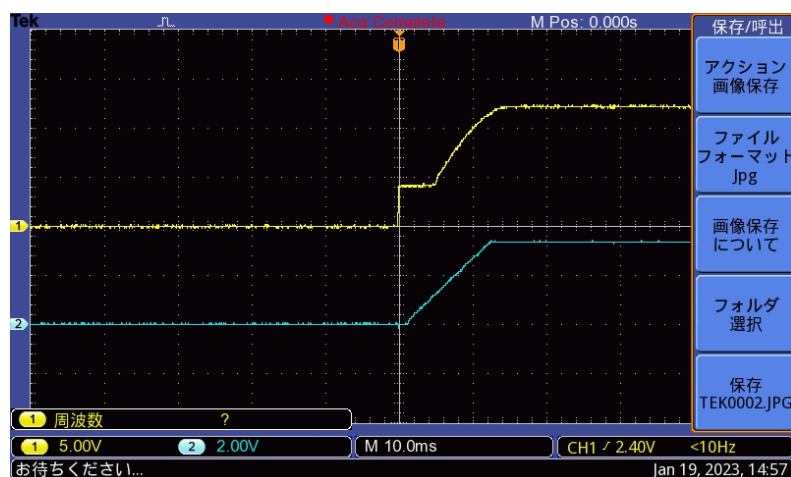


図8. ソフトスタート波形

気になる位相余裕ですが、図4の定数での測定結果を図9に示します。

ゲインのピーク周波数（計算値約20kHzに対して、測定値は約18kHz）と位相特性のピーク周波数（計算値の約13kHzに対して、測定値は約10kHz）が概ね合っています。

位相余裕の計算値と測定値が若干異なっていますが、測定値のほうが良い値なので、今回は位相補正用のR,Cの微調整は止めました。測定風景が図10です。

5kHz付近でのゲインが思ったより小さいのと、クロスオーバー周波数の左側のこぶが気になりますが、これは後日検討することになります。

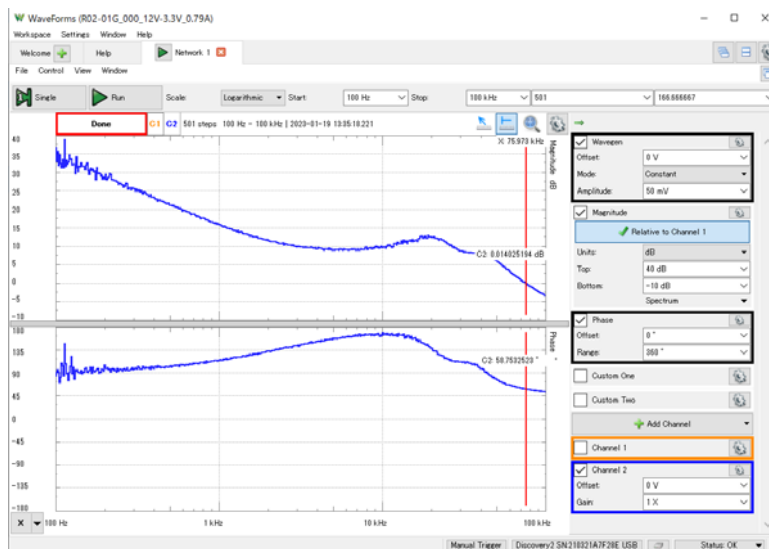


図9. ループ特性測定結果

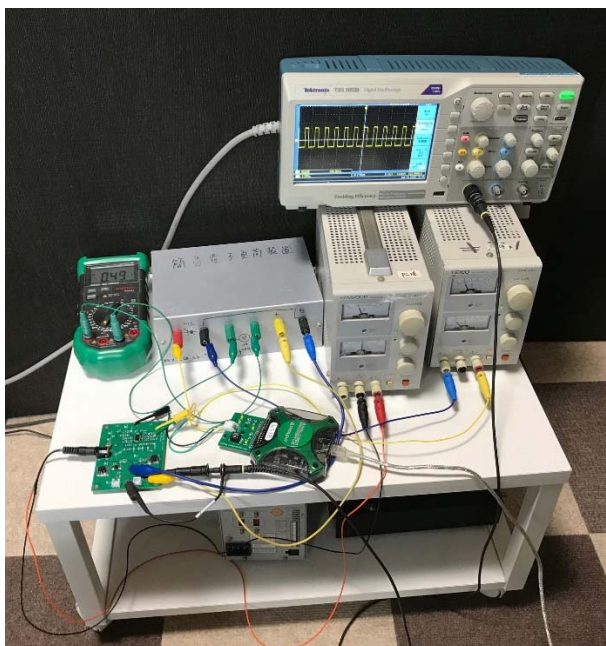


図10. ループ特性測定風景

〈松垣佳克〉