

AS-A243T を用いた高圧電源の設計

目次

1	概要	2
2	圧電トランスの共振特性	3
2.1	特徴	3
2.2	昇圧比最大周波数と進み位相 ϕ	4
3	圧電トランスの駆動回路	5
3.1	標準駆動回路	5
3.2	出力電圧 V_{OUT} の設定	6
3.3	巻線比 m の算出	7
4	発振回路	11
4.1	標準発振回路	11
4.2	発振器を構成する正帰還ループ	13
4.3	進み位相回路のメカニズム	14
4.4	k 値の説明	15
5	制御回路	15
5.1	誤差増幅器 (ERAMP)	15
5.2	電流検出回路 (IDET)	18
5.3	出力電流 I_O の設定	18
6	pad の標準パターン	20
7	全体ブロック図	21
8	参考回路	22
8.1	仕様	22
8.2	回路図	22
8.3	構成部品	23
8.4	T1 の仕様	25

1 概要

圧電トランスには下記のような優位な点がある。

- 絶縁性能が優れていること。
- 高圧トランス（圧電トランス）は、本体がセラミックで不燃性である。
- 圧電トランスの出力波形は大略正弦波で高調波が少ない。
- 倍電圧整流回路は出力整流用のコンデンサだけで構成できる。
（圧電トランスの出力に直列なコンデンサが不要）
- 電磁ノイズが少ない。（機械的な振動を利用するため）
- 薄型構造が実現できる。

本資料は圧電トランス（AS-A243T）を使用した高圧電源の設計資料である。

本資料は標準回路を基に各回路の標準定数を示すとともに、高圧電源の仕様に合わせる必要がある定数については算出式を記載する。

標準回路が実現することのできる高圧電源の仕様は以下の通りである。

- 入力電圧は、6V～17V の範囲とする。
- 出力電圧は、直流 2000V～6000V の範囲内とする。
- 出力電流は 300 μ A 以下とする。
- 駆動周波数は約 110kHz である。
- ON/OFF 端子を有する。

*注意事項

- 本資料に記載した標準回路、設計例、説明図は、回路の一例または単に説明用の図として掲載したもので、タムラ製作所は第三者の知的財産権等の権利侵害に関しては如何なる責任も負いません。
 - 本資料の記載内容は、その性能を保証するものではありません。また、本資料の記載内容が正しいことを保証するものでもありません。
- 従って、回路設計、部品選定、機構設計、その他必要な条件については、十分に評価してください。

2 圧電トランスの共振特性

2.1 特徴

ローゼン型の圧電トランス（AS-A243T）の共振特性は以下に示す特性があり、駆動周波数を圧電トランスの昇圧比最大周波数近傍に制御することが課題の一つとなる。

- 共振特性の Q が高く駆動周波数の精度が必要である。
- 昇圧比最大周波数や昇圧比が負荷に依存する。
- 特性が非線形であり、小振幅電圧を出力する場合と高圧電源の出力トランスとして使用した場合のように大振幅電圧を出力する場合とで特性が変化する。

2.2 昇圧比最大周波数と進み位相 ϕ

一方、圧電トランスの入力電圧から出力電圧への「進み位相」 ϕ は、昇圧比最大周波数と一定の関係にある。図(1)は、型番 AS -A243T の昇圧比と「進み位相」 ϕ をグラフにしたものである。「進み位相」の値は昇圧比最大周波数の少し高周波側で大略90度の進み位相となる。この関係は負荷の変化や昇圧比最大周波数自身の変化によってもほぼ変動しない。

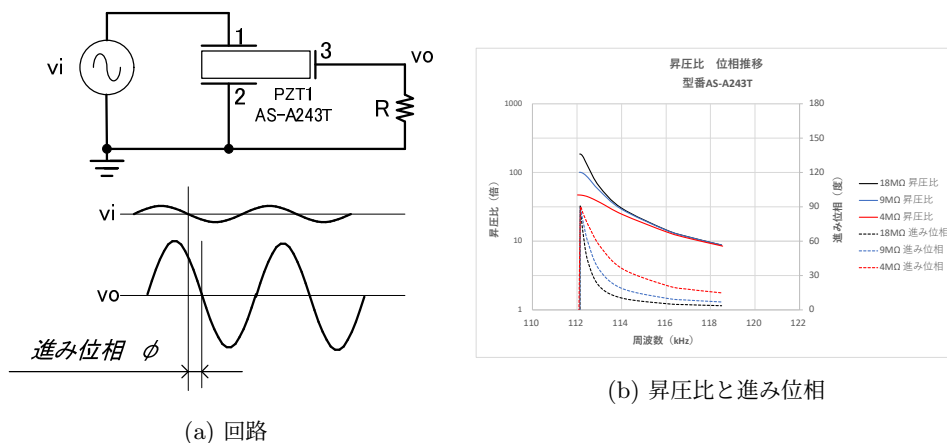


図 1: 昇圧比最大周波数と進み位相 ϕ の関係

負荷抵抗 4M Ω と 18M Ω とで昇圧比最大周波数と進み位相 ϕ の関係を駆動周波数ステップを細かくして図(2)に示す。ただし、各特性は小振幅電圧に対する計算値である。

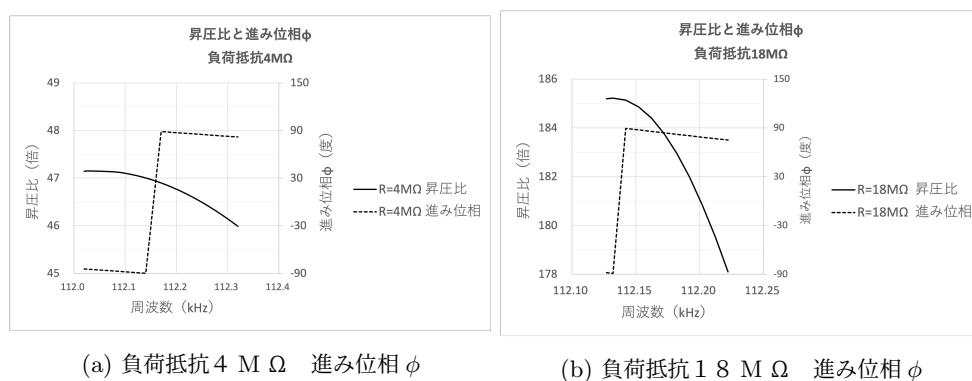


図 2: 昇圧比最大周波数と進み位相 ϕ の関係

昇圧比最大周波数の追従制御（駆動周波数を昇圧比最大周波数近傍に制御すること）は、この特性を利用する。

3 圧電トランスの駆動回路

3.1 標準駆動回路

圧電トランスを駆動する「標準駆動回路」を図（3）に示す。

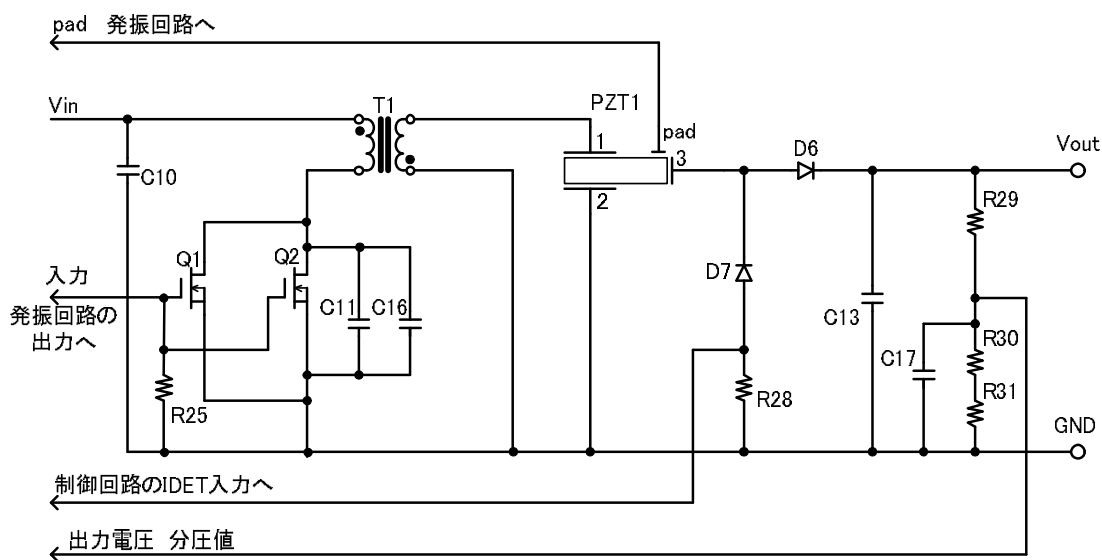


図 3: 標準駆動回路

圧電トランスの駆動波形は理想的には正弦波が推奨される。しかし、FET Q1、Q2 の損失等を考慮して、本資料では半波正弦波を駆動波形として使用する。

図（3）の Q1、Q2 は、圧電トランス PZT1 の昇圧比最大周波数よりやや高周波側の周波数で ON/OFF を繰り返す。

T1 の巻線比を m とすると、Q1、Q2 が ON の時には PZT1 の入力端子間には電源電圧 V_{in} の m 倍の負電圧が入力する。一方、Q1、Q2 が OFF の時には PZT1 には大略半波正弦波が入力する。Q1、Q2 が OFF のとき PZT1 の入力端子間電圧が大略半波正弦波となるためには ON/OFF 周波数に制約がある。次節の「巻線比 m の算出」を参照。

PZT1 の 3 ピン近傍の発振回路につながる配線（pad）は、PZT1 の出力電圧波形を検出する。この電圧波形は、発振回路に入力して Q1、Q2 の ON/OFF 周波数を制御する。

出力の整流回路は、倍電圧整流回路である。圧電トランスの出力は直流に対しては絶縁体なので、圧電トランス（PZT1）の出力端子（3 ピン）と直列に挿入するコンデンサは使用しない。

PZT1 の 3 ピンから出力する電流は、必ずダイオード D7 経由して PZT1 の 3 ピンに戻るため、ダイオード D6 の順電流は必ず R28 を通過して戻る。このような理由から、整流回路の出力電流は R28 の端子間電圧によって検出する。

出力電圧 V_{OUT} は、 R_{29} と $R_{30} + R_{31}$ との分圧値により検出する。

標準駆動回路の構成部品を下表に記載する。

部品記号	品名	型番/仕様	記事
C10	セラミックコンデンサ	4.7uF	
C11	セラミックコンデンサ	10000pF	T1 巻線比 1:8.5 の場合
C13	セラミックコンデンサ	47pF	
C16	セラミックコンデンサ	6800pF	T1 巻線比 1:8.5 の場合
C17	セラミックコンデンサ	1500pF	R29 の端子間容量との関係で調整が必要
Q1	FET	RQ5P010SN	ROHM 相当品
Q2	FET	RQ5P010SN	ROHM 相当品
D6	高圧ダイオード	DHM3G80	日立相当品
D7	高圧ダイオード	DHM3G80	日立相当品
R25	抵抗器	100k Ω	
R28	抵抗器	p19 の式 (11)	
R29	抵抗器	500M Ω	
R30	抵抗器	式 (1)	
R31	抵抗器	式 (1)	
T1	補助トランス	2 次側インダクタンス 3.5mH 巻線比 1:m、算出は式 (2) 参照	詳細は 8 章の 8.4 節を参照
PZT1	圧電トランス	AS-A243T	

- コンデンサ C11 + C16 の容量値は、T1 の 2 次側に換算した時、約 240pF になるように選定する。

$$C11 + C16 \approx 240pF \times m^2$$

m は T1 の巻線比、1 次巻線数 : 2 次巻線数 = 1 : m

3.2 出力電圧 V_{OUT} の設定

出力電圧 V_{OUT} は、 R_{29} と $R_{30} + R_{31}$ とによる分圧値と制御回路の誤差増幅器に備えた基準電圧 V_r との差が 0 になるように制御している。従って、 V_{OUT} は式 (1) となる。

$$V_{OUT} = \frac{R_{29} + R_{30} + R_{31}}{R_{30} + R_{31}} \times V_r \quad (1)$$

V_r の値は、4.0V を標準とする。(p17 の制御回路の式 (7) を参照)

3.3 巻線比 m の算出

補助トランス T1 の巻線比 m は、高圧電源の最大出力を得ることのできる巻線比として選定する。

図（4）から図（6）は、図（3）標準駆動回路の直流入力電圧から高圧出力電圧までの電圧利得を n として、縦軸を電圧利得 n に取り、横軸に k 値を取ったグラフである。縦軸の電圧利得 n は、補助トランス T1 の巻線比 m = 1 あたりの電圧利得であるので、T1 の巻線比 m を m=2 とすれば電圧利得 n はグラフが示す値の 2 倍になる。k 値とは、駆動周波数と圧電トランスの昇圧比最大周波数との関係を示す係数で、k 値が 1 に近づくほど駆動周波数が圧電トランスの昇圧比最大周波数に近くなる。一方、k 値が 0 に近づくほど昇圧比最大周波数から高周波側に遠ざかる。k 値は $0 < k < 1$ の範囲にある。

圧電トランスの入力電圧波形を半波正弦波に維持するため k 値は一定値以上にあげることができない。また、k 値は最低値にも限界があり、限界値を超えて 0 に近づくとも動作が不安定になる。すなわち、k 値は一定の範囲内に抑える必要がある。図（4）から図（6）グラフの記載範囲内で k 値を選定することが必要である。

3.3.1 m の設定例 1

例えば、 $V_{OUT} = 6000V$ で $RL=19M \Omega$ の場合を例にとると、図（6）から k 値の最大値は $k \approx 0.6$ で電圧利得 n の最大値は $n \approx 65$ であり、k 値の最小値は $k \approx 0.35$ で電圧利得 n の最低値は $n \approx 36$ となる。

巻線比 m の必要最低値は、式（2）から求める。

$$m \geq \frac{V_{OUT}}{V_{in} \times n} \times 1.2 \quad (2)$$

従って、 $V_{in} = 11V$ 、 $V_{OUT} = 6000V$ とすると

$$m \geq \frac{6000}{11 \times 65} \times 1.2 = 10.0 \quad (3)$$

となる。仮に、m=10 に設定すると、k 値の最小値から許容できる入力電圧の最大値は、

$$\begin{aligned} V_{inmax} &\leq \frac{V_{OUT}}{m \times n} \times \frac{1}{1.2} \\ &= \frac{6000}{10 \times 36} \times \frac{1}{1.2} \\ &< 13.8V \end{aligned} \quad (4)$$

入力電圧の範囲は 11V～13.8V まで許容できる。

式（2）の定数 1.2 および式（4）の $\frac{1}{1.2}$ は、余裕係数である。

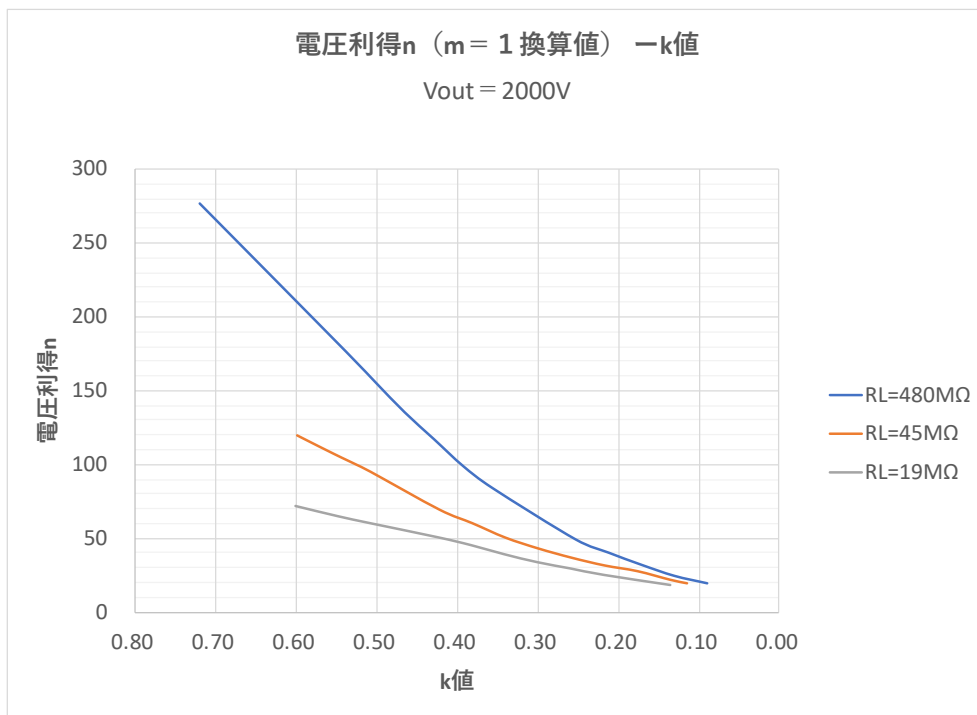


図 4: 電圧利得 n と k 値の関係 $V_{out} = 2kV$

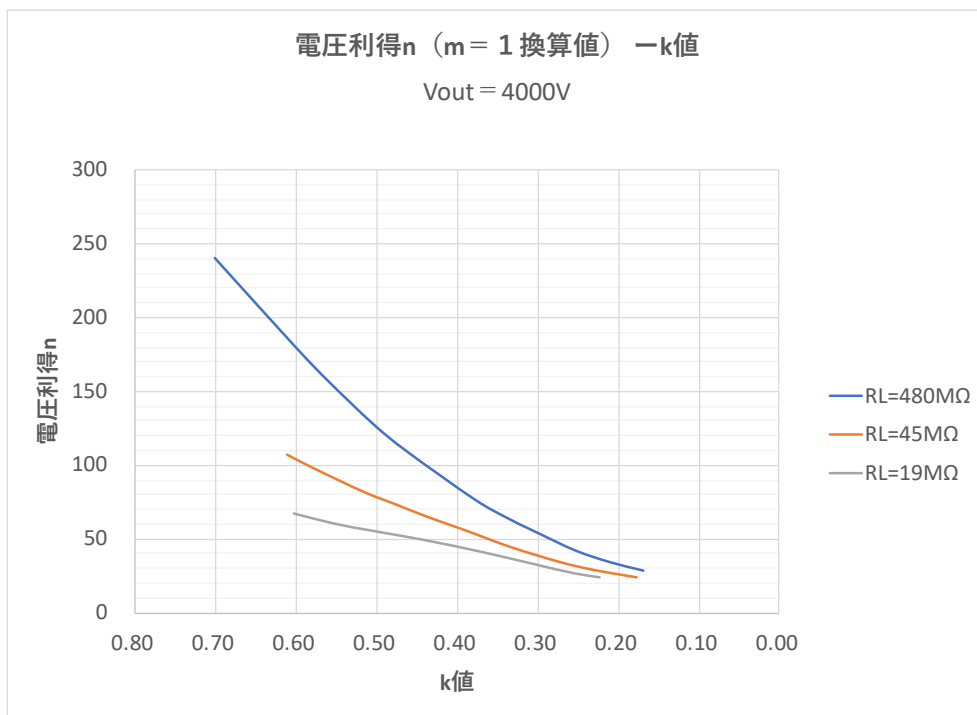


図 5: 電圧利得 n と k 値の関係 $V_{out} = 4kV$

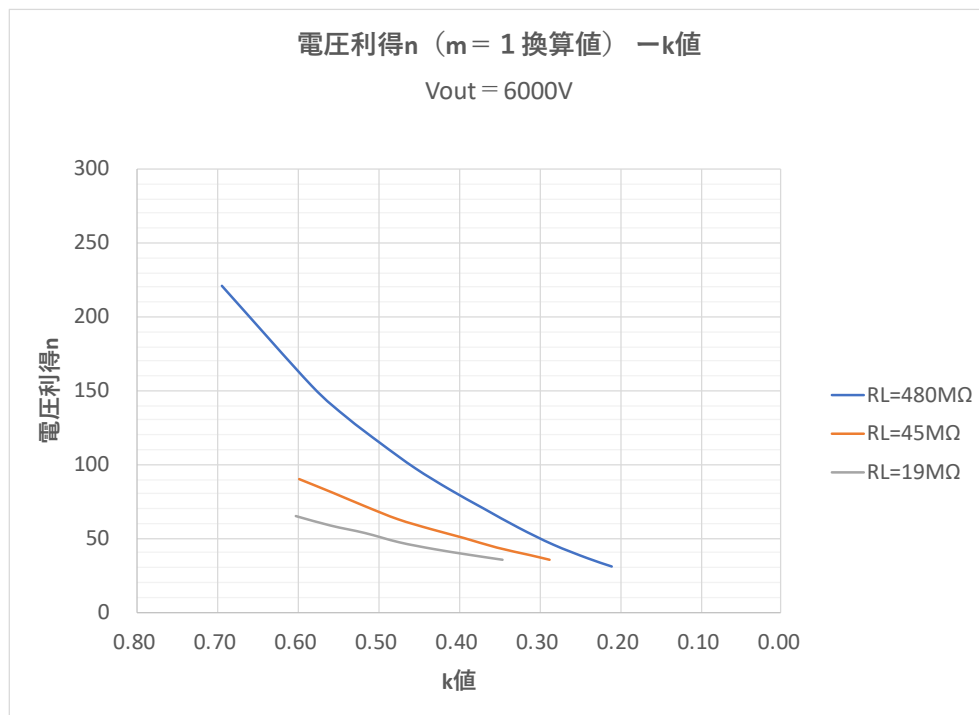


図 6: 電圧利得 n と k 値の関係 $V_{out} = 6kV$

3.3.2 m の設定例 2

各図から式 (2) により必要な m を算出する。例えば、高圧電源の仕様を以下のように想定すると、

- 入力電圧 $V_{in} = 10V$ (最低値)、 $14V$ (最大値)
- 出力電圧 $V_{out} = 4000V$
- 負荷抵抗 $R_L = 19M \Omega \sim 480M \Omega$ の範囲で変動する

高圧電源の T1 の巻線比 m は、入力電圧が $10V$ (最低値) で負荷抵抗 $19M \Omega$ (最低値) の条件で出力 $4000V$ を得ることにできる値を算出する。

図 (5) の $R_L=19M \Omega$ のカーブから $m=1$ の場合の電圧利得 $n \approx 67$ を読み取る。

$$\begin{aligned} m &\geq \frac{4000}{10 \times n} \times 1.2 \\ n &= 67 \end{aligned}$$

従って、 $m \approx \frac{4000}{10 \times 67} \times 1.2 = 7.16$ となる。

仮に $m=8$ と選定したとする。その場合、負荷抵抗が $480M \Omega$ (最大値) の条件では、図 (5) の $R_L=480M \Omega$ のカーブから $n \approx 29$ まで低下させることが可能であるので入力電圧の最大値は式 (5) となる。提示した高圧電源の仕様を満たすことができる。

$$\begin{aligned} V_{in} &\leq \frac{4000}{n \times m} \times \frac{1}{1.2} = 14.3V \\ n &= 29 \\ m &= 8 \end{aligned} \tag{5}$$

図 (4) から図 (6) に示す電圧利得 n の値は、周囲温度や補助トランスの効率などにより変化する。そのため、式 (2) や式 (5) においてそれらを見込んで余裕係数 1.2 を考慮している。

4 発振回路

4.1 標準発振回路

図（7）は、標準発振回路の回路図である。

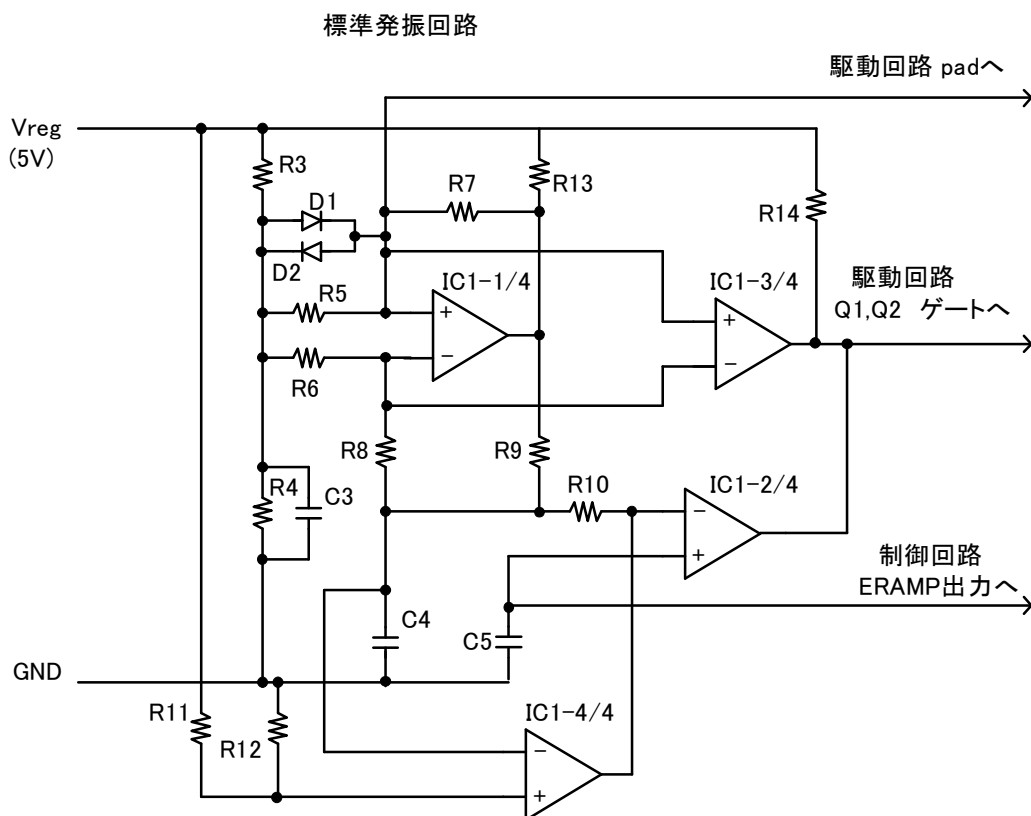


図 7: 標準発振回路

本発振回路の出力は駆動回路の FET のゲートを駆動する。「駆動回路 pad」は、圧電トランスの出力端子 3 の近傍に配置したプリント基板上のパッドである。pad から圧電トランスの出力位相情報を発振回路に伝送する。IC1 は、オープンコレクタのコンパレータである。IC1-1/4 と周辺の抵抗および C4 は、マルチバイブレータを構成する。IC1-3/4 は、IC1-1/4 の出力電圧と同期して駆動回路の Q1,Q2 のゲートを駆動する。

IC1-3/4 は、電源投入直後はマルチバイブレータの周波数で ON/OFF を繰り返すが、圧電トランスが作動すると pad から信号を受診して、圧電トランスの昇圧比最大周波数の近傍周波数に切り替わる。発振回路は、図（8）に示す正帰還ループを形成して発振周波数を圧電トランスの昇圧比最大周波数の近傍に維持する。IC1-3/4 はループの中の増幅器として働く。

コンデンサ C4 の端子電圧は、充放電波形（大略三角波）を生成する。コンパレータ IC1-2/4 は、C4 の三角波と制御回路の ERAMP 出力電圧とを比較して、三角波の電圧が ERAMP 出力電圧を超えると IC1-2/4 の出力は Low となり、IC1-3/4 の ON/OFF 状態に関わらず出力を Low にして駆動回路の FET(Q1,Q2) を OFF する。

標準発振回路の構成部品を以下の表に示す。

部品記号	品名	型番/仕様	記事
C3	セラミックコンデンサ	0.1uF	
C4	セラミックコンデンサ	680pF	
C5	セラミックコンデンサ	2200pF	
D1	ダイオード	RN142SM/60V,0.1A	
D2	ダイオード	RN142SM/60V,0.1A	
IC1	コンパレータ	BA2901FV	Rohm
R3	抵抗器	10k Ω	
R4	抵抗器	4.7k Ω	
R5	抵抗器	3.3k Ω	
R6	抵抗器	3.3k Ω	
R7	抵抗器	75k Ω	
R8	抵抗器	36k Ω	
R9	抵抗器	3.9k Ω	
R10	抵抗器	33k Ω	
R11	抵抗器	10k Ω	
R12	抵抗器	33k Ω	
R13	抵抗器	1.5k Ω	
R14	抵抗器	1.5k Ω	

4.2 発振器を構成する正帰還ループ

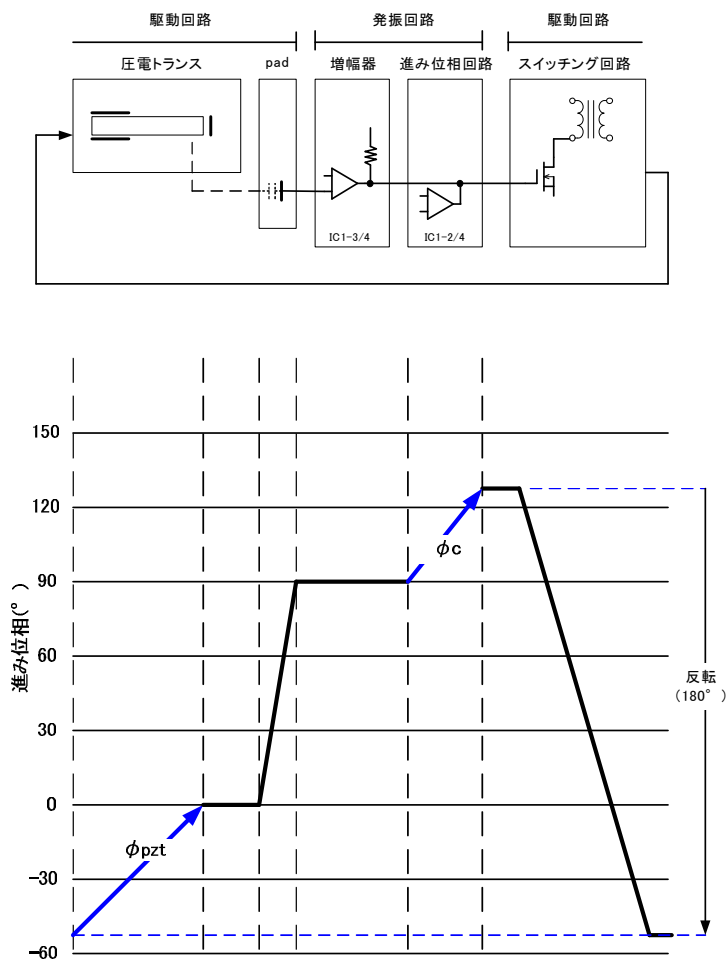


図 8: 発振器を構成する正帰還ループ

pad は、圧電トランスの出力端子の近傍に設けた基板上のパッドであり圧電トランスの出力と容量結合している容量である。そのため、pad の入力-出力間で位相は 90 度進む。

増幅器 (IC1-3/4) は、非反転入力端子を使用しているので位相回転はしない。

進み位相回路は、三角波電圧と誤差増幅器 (ERAMP) の出力電圧とを IC1-2/4 によって比較し進み位相量を可変する。ERAMP の出力電圧が上昇すると位相進み量 ϕ_c が減少し圧電トランスの位相進み量 ϕ_{PZT} が増加して ϕ_c が 90 度に近づくため駆動周波数は昇圧比最大周波数に近づいて圧電トランスの昇圧比を上昇させる。一方、ERAMP の出力電圧が下降すると位相進み量 ϕ_c が増加して圧電トランスの位相進み量 ϕ_{PZT} が減少して駆動周波数は昇圧比最大周波数から高周波側に遠ざかるため、圧電トランスの昇圧比は下降する。

駆動回路のスイッチング回路は反転極性であるので、位相は 180 度遅れる。

各回路ブロックが構成するループは、図（8）に示すように1巡ループして発振回路を形成する。この発振回路の発振周波数は、圧電トランスの位相回転 ϕ_{PZT} が、 $\phi_{PZT} + \phi_C = 90deg$ になる周波数で発振を継続する。従って、位相進み回路の進み位相量 ϕ_C の値によって、圧電トランスの位相回転量 ϕ_{PZT} を制御できる。

圧電トランスの位相回転は、前述したように昇圧比最大周波数近傍で 90 度進み位相となり、昇圧比最大周波数から高周波側へシフトすると進み位相回転量は少なくなる。すなわち、位相進み回路の進み位相 ϕ_C を制御することで、圧電トランスの昇圧比を制御できる。

4.3 進み位相回路のメカニズム

図（9）は、進み位相回路の動作メカニズムを模式的に記載したタイムチャートである。

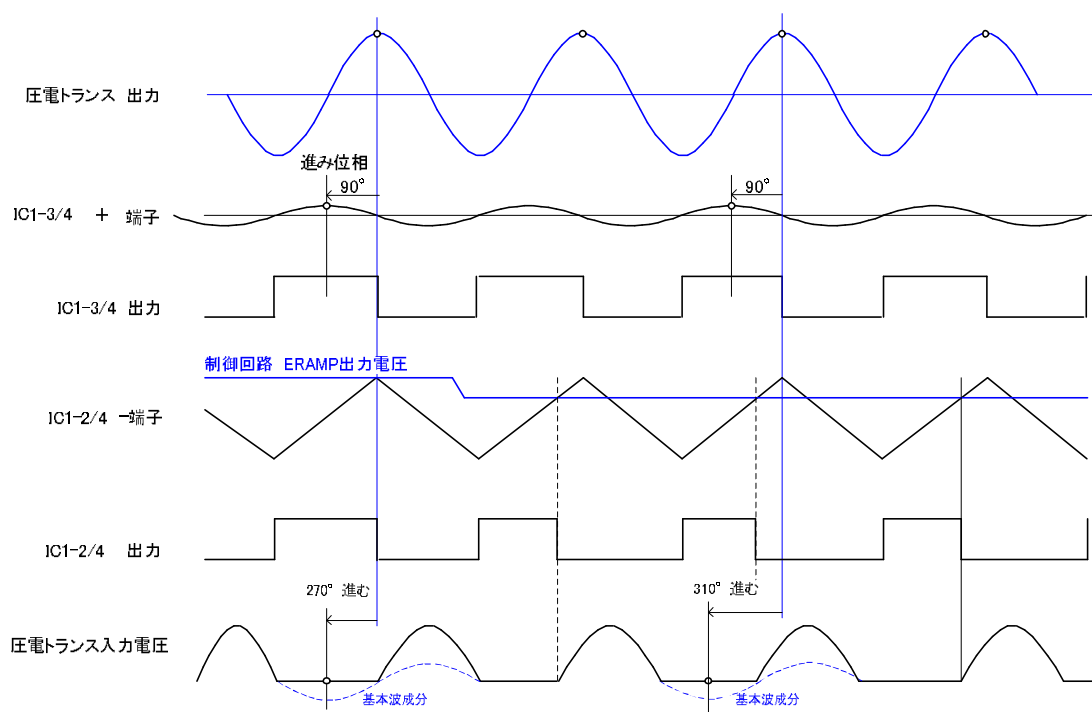


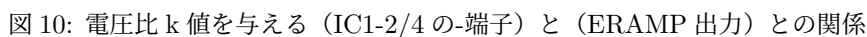
図 9: 進み位相回路 タイムチャート

図の左側半分は ERAMP の出力が三角波電圧（IC1-2/4 の-端子）のピーク値に大略等しい場合のタイムチャートである。pad を経由した電圧は圧電トランスの出力電圧より 90 度進み、IC1-3/4 の+端子に入力する。IC1-3/4 は、その信号を増幅して矩形波電圧を出力する。一方、IC1-3/4 の出力は、三角波電圧上昇の全期間で H となり、三角波の下降期間に L となるので、駆動回路の FET（Q1,Q2）のゲート電圧は IC1-3/4 出力の矩形波と同じタイミングで H/L を繰り返す。この時、位相進み回路の進み位相量は $\phi_C = 0$ である。この状態は、圧電トランスの入力電圧の基本波は、圧電トランスの出力電圧より 270 度（pad による 90 度＋スイッチング回路反転による 180 度）進んだ電圧波形となる。従って、圧電トランスの入力から出力までの位相回転量 ϕ_{PZT} が 90 度進み位相となる周波数で、1 巡ループの位相回転が 0 度（360 度）となり発振が継続

図の右半分は、ERAMP の出力が三角波電圧 (IC1-2/4 の端子) のピーク値より低い場合のタイムチャートである。同様に、pad を経由した電圧は圧電トランスの出力電圧より 90 度進み、IC1-3/4 の + 端子に入力する。IC1-3/4 は、その信号を増幅して矩形波電圧を出力する。しかし、IC1-2/4 の出力は、三角波電圧の上昇期間の途中で L (出力トランジスタが ON) となり、駆動回路の FET (Q1,Q2) のゲート電圧は IC1-3/4 + 端子電圧を増幅した矩形波より早いタイミングで L となる。駆動回路の FET (Q1,Q2) のゲート電圧が早く L になった分だけ位相は進む。従って、図 (9) の右半分の状態では位相進み回路の進み位相は $\phi_C = 40$ となり、圧電トランスの出力から入力までの位相回転量は 310 度進むこととなる。その結果、圧電トランスの入力から出力までの位相回転 ϕ_{PZT} が 50 度となる周波数で発振を継続する。駆動周波数は、圧電トランスの昇圧比最大周波数より、さらに高周波側にシフトして圧電トランスの昇圧比を減少させる。

k 値は、式 (6) で算出する。

V_b は、制御回路の ERAMP 出力電圧とする。



制御回路は、誤差増幅器 (ERAMP)、電流検出回路 (IDET) から構成する。

誤差増幅器（ERAMP）の標準回路を図（11）に示す。本回路は、駆動回路からの出力電圧分圧値および電流検出回路（IDET）からの信号のうち信号電圧の大きな一方を基準電圧と比較して、その差分を増幅し発振回路に出力する。

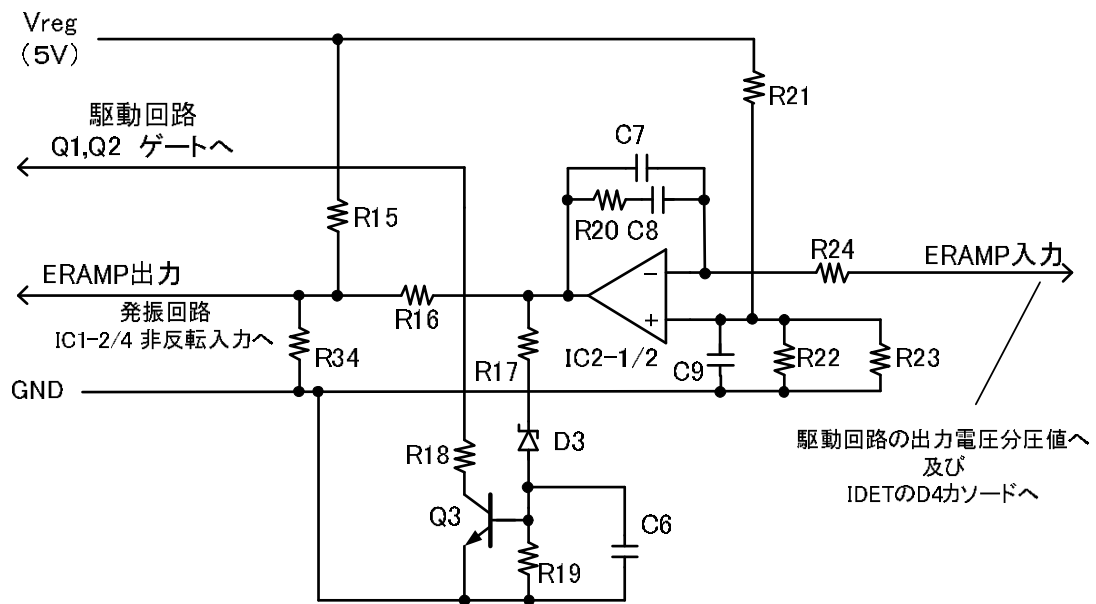


図 11: 誤差増幅器 (ERAMP) 標準回路

誤差増幅器は、 $IC2-1/2$ および周辺の CR で構成する。基準電圧回路は、 R_{21} 、および R_{22} と R_{23} の並列抵抗で構成する。 C_9 は、ソフトスタートを目的として基準電圧の立ち上がりを遅延する。

$IC2-1/2$ の出力電圧が異常に上昇したとき、 Q_3 を ON して駆動回路の $Q1, Q2$ のゲートを強制的に Low に保持して高圧出力を遮断する。電源の再投入で解除する。

各定数は、下表による。

部品記号	品名	型番/仕様	記事
C6	セラミックコンデンサ	1uF	
C7	セラミックコンデンサ	220pF	
C8	セラミックコンデンサ	1000pF	
C9	セラミックコンデンサ	2.2uF	
IC2	オペアンプ	BD87582YFVM-C	ROHM
D3	定電圧ダイオード	CDZV3.3B	ROHM
Q3	トランジスタ	2SC5658/50V,0.15A	ROHM
R15	抵抗器	4.3k Ω	
R16	抵抗器	2.7k Ω	
R17	抵抗器	130 Ω	
R18	抵抗器	68 Ω	
R19	抵抗器	220 Ω	
R20	抵抗器	51k Ω	
R21	抵抗器	10k Ω	
R22	抵抗器	100k Ω	
R23	抵抗器	68k Ω	
R24	抵抗器	130k Ω	
R34	抵抗器	3.6k Ω	

基準電圧 V_r は、式 (7) である。上記の部品表の定数の場合 $V_{reg} = 5.0V$ 、 $V_r = 4.01V$ となる。

$$V_r = \frac{\frac{R_{22}R_{23}}{R_{22}+R_{23}}}{R_{21} + \frac{R_{22}R_{23}}{R_{22}+R_{23}}} \times V_{reg} \quad (7)$$

ソフトスタート回路の定数 τ は、式 (8) となる。

$$\tau = \frac{1}{\frac{1}{R_{21}} + \frac{1}{R_{22}} + \frac{1}{R_{23}}} \times C_9 \quad (8)$$

R_{21} 、 R_{22} 、 R_{23} の定数を上記部品表の値としたとき $\tau = 17msec$ となる。

電流検出回路からの信号電圧より出力電圧分圧値の方が大きいとき、誤差増幅器は出力電圧 V_{OUT} の分圧値と基準電圧 V_r との差電圧を増幅する。低周波において、誤差増幅器の電圧利得は 6dB/oct で低下し、周波数約 3kHz から平坦となり、その後周波数約 15kHz 以上の高周波でさらに 6dB/oct で低下する

遮断回路は、 R_{17} 、 R_{18} 、 R_{19} 、 Q_3 、 D_3 、 C_6 で構成する。

制御系等に異常が発生して IC2-1/2 の出力電圧が異常に上昇した時、トランジスタ Q_3 を ON して、駆動回路の Q_1 、 Q_2 のゲートを Low に保持する。

上記の部品表の値とすると、遮断回路は IC2-1/2 の出力電圧が 3.5V 以下では遮断回路は動作せず、IC2-1/2 の出力電圧が 4.8V 以上で動作する。

各電圧の算出条件は以下である。

- 定電圧ダイオードに流れる電流値を 1.8mA～3.7mA として定電圧ダイオード D_3 の電圧を 2.9V～3.5V.

- トランジスタ Q3 のベースエミッタ電圧については OFF 条件として $V_{BE} < 0.4V$ 、ON 条件としては $V_{BE} > 0.8V$ 。

5.2 電流検出回路 (IDET)

電流検出回路の標準回路を図 (12) に示す。

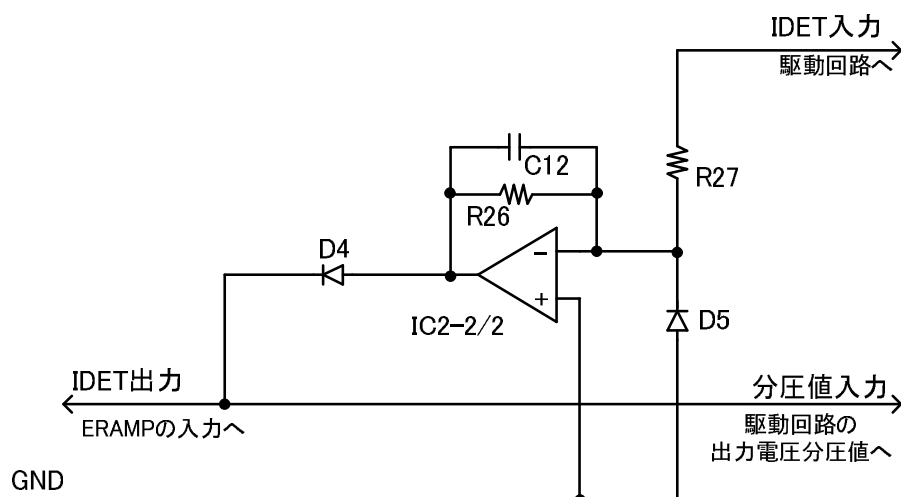


図 12: 電流検出標準回路

各定数の標準値は、下表による。

部品記号	品名	型番/仕様	記事
C12	セラミックコンデンサ	330pF	
D4	ダイオード	1SS400	
D5	ダイオード	RB530CM-30/30V,0.1A	ROHM
IC2-2/2	オペアンプ	BD87582YFVM-C	ROHM
R26	抵抗器	47k Ω	
R27	抵抗器	式 (12)	
R28	抵抗器 (標準駆動回路)	式 (11)	

5.3 出力電流 I_O の設定

圧電トランスの出力を電流源と考え、さらに $R_{26} = 2 \times (R_{27} + R_{28})$ とすると、出力電流の平均値 I_O と IC2-2/2 の出力電圧 V_{io} の関係は、式 (9) となる。 R_{28} は、p5 の図 (3) 標準駆動回路の D_7 アノードに接続した抵抗である。IC2-2/2 の出力電圧 V_{io} からダイオード D_4 の順方向電圧降下 V_{d4} 分を差し引いた電圧値 $V_{io} - V_{d4}$ が、駆動回路の出力電圧分圧値より高くなると本回路の出力 IDET 出力は電圧 $V_{io} - V_{d4}$ を出力

する。ERAMP は電圧 $V_{io} - V_{d4}$ と基準電圧 V_r と比較して、その差分が0となるように制御する。

$$V_{io} = 2 \times \frac{R_{28}}{0.63} \times I_O \quad (9)$$

式 (9) の係数 0.63 は実験値から算出した係数である。 $V_{io} - V_{d4} = V_r$ となるので出力電流 I_O は、式 (10) となる。

$$I_O = \frac{V_{io}}{2 \frac{R_{28}}{0.63}} = \frac{V_r + V_{d4}}{2 \frac{R_{28}}{0.63}} \quad (10)$$

$$R_{28} = 0.63 \times \frac{V_r + V_{d4}}{2 I_O} \quad (11)$$

$$R_{27} = \frac{R_{26}}{2} - R_{28} \quad (12)$$

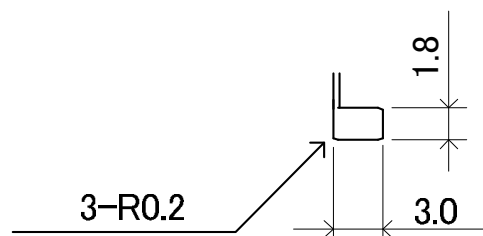
例えば、 $I_O = 300 \mu A$ とすると、 $R_{28} = 4.83 k\Omega$ となる。また、 $R_{27} = 18.7 k\Omega$ となる。
ただし、 $V_{d4} = 0.6 V$ として算出した。

6 pad の標準パターン

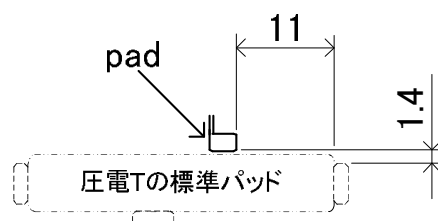
圧電トランス出力端子の近傍に配置する pad の標準パターンを、図（13）に示す。pad から発振回路の IC1-1/4 の非反転入力までの配線は、できるだけ短く配線し pad の位置より圧電トランスの出力端子側に近づけないように配線する。

pad は、圧電トランスとは反対側の基板面に配置する。すなわち、A 面に圧電トランスを実装した場合は、B 面に pad を配置する。

図（13）は、基板の A 面に圧電トランスを実装し B 面に pad を配置した図である。図（13）は A 面からの透視図である。



padの寸法図



圧電トランスとpadの位置関係を示す図

(注) 上の図は、A面からの透視図である。
A面に圧電トランスを実装し、B面にpadを配置
した場合の図である。

図 13: pad の標準パターン（A 面からの透視図）単位：mm

7 全体ブロック図

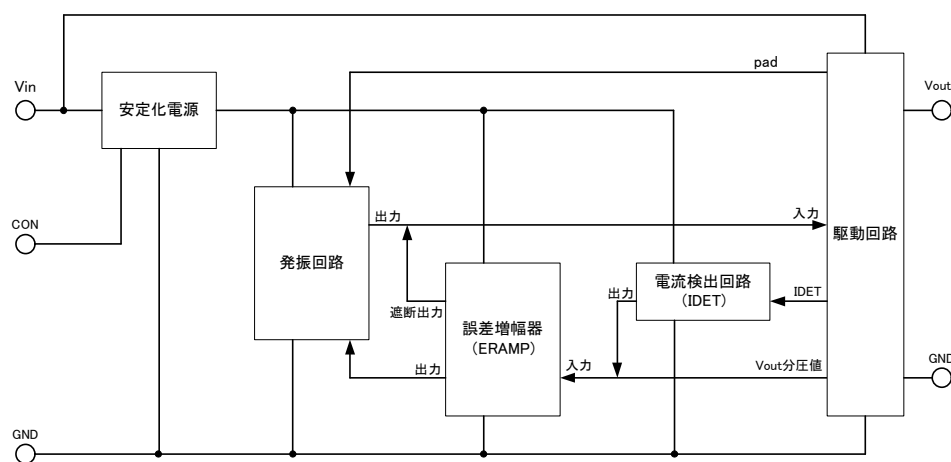


図 14: 全体ブロック図

8 参考回路

8.1 仕様

項目	仕様	記事
定格入力電圧	12V	
入力電圧範囲	10.8V~13.2V	
定格出力電圧	5000V	
定格負荷	20M Ω	
過負荷時出力電流	300uA	定格入力、負荷抵抗 15M Ω

8.2 回路図

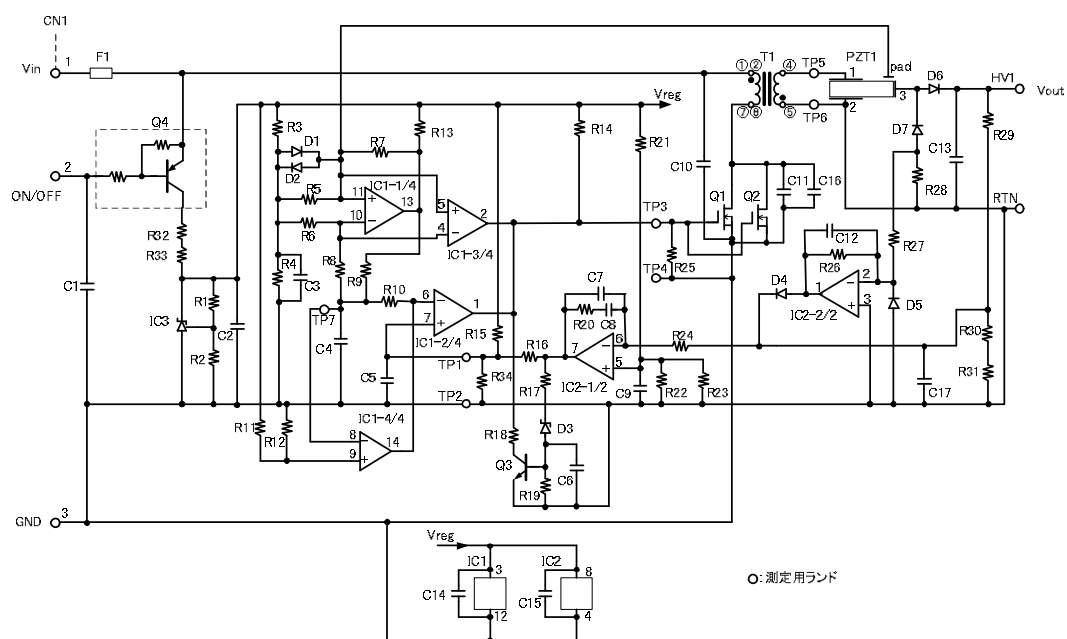


図 15: 回路

8.3 構成部品

部品記号	品名	型番/仕様	記事
CN1	コネクタ	SM04B-GHS-TB(LF)(SN)/4P	JST 相当品
C1	セラミックコンデンサ	GRM1555C1H222JA01/2200pF,50V	MURATA 相当品
C2	セラミックコンデンサ	GRM155C71A225KE11/2.2uF,10v	MURATA 相当品
C3	セラミックコンデンサ	GRM155C71H104KE19/0.1uF,50V	MURATA 相当品
C4	セラミックコンデンサ	GRM1882C1E681G/680pF,25V	MURATA 相当品
C5	セラミックコンデンサ	GRM1555C1H222JA01/2200pF,50V	MURATA 相当品
C6	セラミックコンデンサ	GRM155C71C105KE11/1uF,16V	MURATA 相当品
C7	セラミックコンデンサ	GRM1555C2A221JE01/220pF,100V	MURATA 相当品
C8	セラミックコンデンサ	GRM1555C1H102JA01/1000pF,50V	MURATA 相当品
C9	セラミックコンデンサ	GRM155C71A225KE11/2.2uF,10V	MURATA 相当品
C10	セラミックコンデンサ	GRM21BC71E475ME11/4.7F,25V	MURATA 相当品
C11	セラミックコンデンサ	GRM21B5C2E103WAA/10000pF,250V	MURATA 相当品
			T1 巻線比 1:8.5 の場合
C12	セラミックコンデンサ	GRM1555C2A331JE01/330pF,100V	MURATA 相当品
C13	セラミックコンデンサ	CC45SL3JD470JYVNA/47pF,6000V	TDK 相当品
C14	セラミックコンデンサ	GRM155C71C105KE11/1uF,16V	MURATA 相当品
C15	セラミックコンデンサ	GRM155C71C105KE11/1uF,16V	MURATA 相当品
C16	セラミックコンデンサ	GRM21B5C2E682JWAA/6800pF,250V	MURATA 相当品
			T1 巻線比 1:8.5 の場合
C17	セラミックコンデンサ	GRM1555C1H152JA01/1500pF,50V	MURATA 相当品
D1	PIN ダイオード	RN142SM/60V,0.1A,0.45pF	ROHM 相当品
D2	PIN ダイオード	RN142SM/60V,0.1A,0.45pF	ROHM 相当品
D3	定電圧ダイオード	CDZV3.3B	Rohm 相当品
D4	ダイオード	1SS400SM	Rohm 相当品
D5	ショットキダイオード	RB530CM-30/30V0.1A	相当品
D6	高圧ダイオード	DHM3G80	日立相当品
D7	高圧ダイオード	DHM3G80	日立相当品
F1	ヒューズ		必要に応じて実装する
IC1	コンパレータ	BA2901FV	Rohm 相当品
IC2	オペアンプ	BD87582YFVM-C	Rohm 相当品
IC3	レギュレータ IC	NCP432BVSNT1G	ON セミ相当品
PZT1	圧電トランス	AS-A243T	Tamura
Q1	FET	RQ5P010SN/100V1A	ROHM 相当品
Q2	FET	RQ5P010SN/100V1A	ROHM 相当品
Q3	トランジスタ	2SC5658/50V0.15A	ROHM 相当品
Q4	トランジスタ	DTA114EE/	ROHM 相当品

続き

部品記号	品名	型番/仕様	記事
R1	抵抗器	RK73H1ETTD3301D/3.3K Ω	KOA 相当品
R2	抵抗器	RK73H1ETTD3301D/3.3K Ω	KOA 相当品
R3	抵抗器	RK73H1ETTD1002F/10k Ω	KOA 相当品
R4	抵抗器	RK73H1ETTD4701F/4.7k Ω	KOA 相当品
R5	抵抗器	RK73H1ETTD3301F/3.3k Ω	KOA 相当品
R6	抵抗器	RK73H1ETTD3301F/3.3k Ω	KOA 相当品
R7	抵抗器	RK73H1ETTD7502F/75k Ω	KOA 相当品
R8	抵抗器	RK73H1ETTD3602F/36k Ω	KOA 相当品
R9	抵抗器	RK73H1ETTD3901F/3.9k Ω	KOA 相当品
R10	抵抗器	RK73B1ETTD333J/33k Ω	KOA 相当品
R11	抵抗器	RK73H1ETTD1002F/10k Ω	KOA 相当品
R12	抵抗器	RK73H1ETTD3302F/33k Ω	KOA 相当品
R13	抵抗器	RK73B1ETTD152J/1.5k Ω	KOA 相当品
R14	抵抗器	RK73B1ETTD152J/1.5k Ω	KOA 相当品
R15	抵抗器	RK73H1ETTD4301F/4.3k Ω	KOA 相当品
R16	抵抗器	RK73H1ETTD2701F/2.7k Ω	KOA 相当品
R17	抵抗器	RK73B1ETTD131J/130 Ω	KOA 相当品
R18	抵抗器	RK73B1ETTD680J/68 Ω	KOA 相当品
R19	抵抗器	RK73B1ETTD221J/220 Ω	KOA 相当品
R20	抵抗器	RK73B1ETTD513J/51k Ω	KOA 相当品
R21	抵抗器	RK73H1ETTD1002F/10k Ω	KOA 相当品
R22	抵抗器	RK73H1ETTD1003F/100k Ω	KOA 相当品
R23	抵抗器	RK73H1ETTD6802F/68k Ω	KOA 相当品
R24	抵抗器	RK73H1ETTD1303F/130k Ω	KOA 相当品
R25	抵抗器	RK73B1ETTD104J/100k Ω	KOA 相当品
R26	抵抗器	RK73H1ETTD4702F/47k Ω	KOA 相当品
R27	抵抗器	RK73H1ETTD1802F/18k Ω	KOA 相当品
R28	抵抗器	RK73H1ETTD4701F/4.7k Ω	KOA 相当品
R29	抵抗器	MHR0412SA507F60/500M Ω	MURATA 相当品
R30	抵抗器	RK73H1ETTD2203F/220k Ω	KOA 相当品
R31	抵抗器	RK73H1ETTD1803F/180k Ω	KOA 相当品
R32	抵抗器	RK73B2BTDD151J/150 Ω	KOA 相当品
R33	抵抗器	RK73B2BTDD151J/150 Ω	KOA 相当品
R34	抵抗器	RK73H1ETTD3601F/3.6k Ω	KOA 相当品
T1	トランス	p25 の図 16	光輪技研

8.4 T1 の仕様

巻線仕様

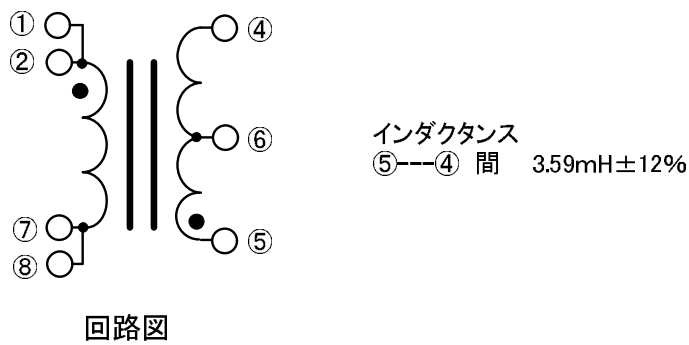
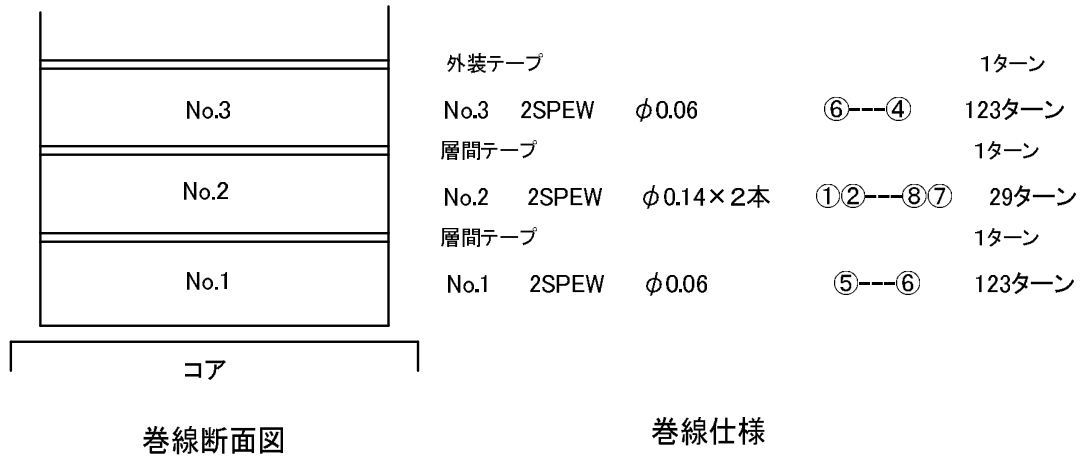


図 16: T1 の仕様

構成部品は、下表による。

部品記号	品名	型番/仕様	記事
コア	フェライト	PC44	TDK
		SW10S	光輪技研 相当品
電線	ポリエステル電線	SPEW	信越電線 相当品
テープ	絶縁テープ	480-NO25	寺岡製作所 相当品

9 圧電トランスに関する資料および注意事項

- 圧電トランスの仕様に関しては、下記の仕様書を参照ください。
E-A1-50036 AS-A243T 製品仕様書
E-K2-50069 AS-A243T 外形構造図
- AS-A243T は、フロー半田付けやりフローによる半田付けができません。取り扱いおよびシーリング方法については、下記の資料を参照ください。
E-K4-50367 実装取扱説明図
E-A4-50007 AS-A243T シーリング資料
- 圧電トランスの本体は、圧電セラミックスです。周囲温度の変化や衝撃により焦電し圧電トランス自体の劣化や周辺部品の破損などの可能性があります。保管にあたっては、所定の梱包条件を守るかまたは各端子を短絡 (または抵抗で終端) してください。
- 高圧電源の出力部など高電圧となる部分は、シーリングまたは充填することを推奨いたします。
- 製品仕様書等を希望される場合は、弊社営業までお問い合わせください。

改定事項 20211021

- 8.1 仕様 出力電圧偏差を削除する。
- 8.3 構成部品 ヒューズ容量を削除する。
- 4.2 発振器を構成する正帰還ループ 図 8 の一部修正する。