

第1章 やってはいけない！電源回路設計

やってはいけない❶

わかりきっているつもりでいると痛い目にあう

電解コンデンサの極性を逆にして使ってはいけない



● 電解コンデンサの逆接は発見が難しい

多くの回路設計者は、電解コンデンサの耐圧については注意されても「電解コンデンサの極性を間違っ

てはいけない」とはあまり言われな

いでしょう。あたりまえすぎるから

● 電解コンデンサは逆接でも動いてしまう!?

です。しかし事故は実際に起こります。私が愛用しているDVDプレーヤで、電解コンデンサの逆接続を発見したことがあります。そして実際に購入してから1年くらいで不具合の症状が出始めました。このように、電解コンデンサの逆接による不具合の症状はたいていすぐには出ません。ですから、入念な確認作業をしている大メーカの品質管理部門でもたやすくパスしてしまうのです。

図1に示す電源回路の電解コンデンサをわざと逆につないでみましょう。電源投入初期はかなり発熱しますが、爆発するようなことはありません。写真1(a)に示すように、出力電圧(V_{out})に含まれるリップル電圧がかなり大きい状態(400 mV_{p-p})ですが、コンデンサとしてはある程度

能します。電解コンデンサを正しい方向に接続した場合のリップル電圧は1 mV以下です。

写真1(b)に示すのは、エージング後(1時間経過後)のリップル波形です。発熱は30分くらいで収まり、1時間経過するとリップルは20 mVまで小さくなります。

このあとは1年くらい経過してから、電解コンデンサの正電極と負電極間の絶縁不良が起きたり、最悪の場合は短絡します。

図2に示すのは、逆接した電解コンデンサに流れる電流(リーク電流)を実測した結果です。発熱は30分ほどで収まり、1時間経過後はリークは1 mA以下になります。このあとの寿命は1年以下と考えられます。この状態になった後で、逆接を発見するためには、セットの加速試験が有効です。

写真2に示すように、電解コンデンサの極性はラインが入っているほうが負ですが、タンタル・コンデンサは逆です。 <漆谷 正義>

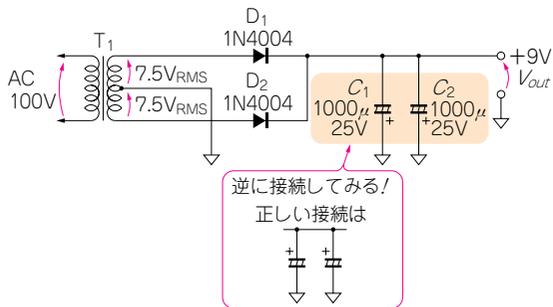


図1 電源回路の電解コンデンサの極性を逆に接続すると何が起きる? (C_1 と C_2 の極性を逆にして電源を投入)

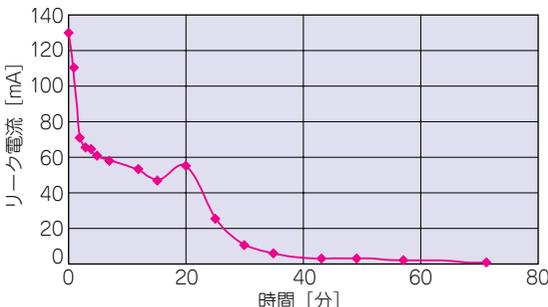
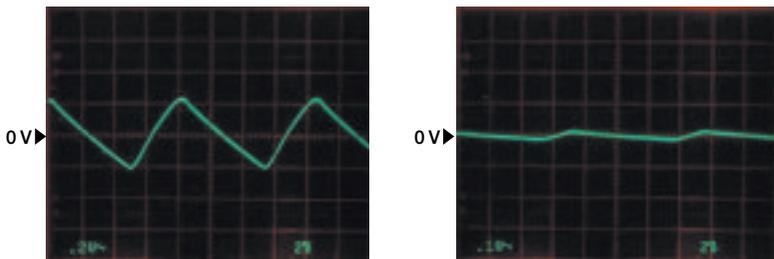


図2 逆接した電解コンデンサに流れるリーク電流の時間変化



(a) 初期(200 mV/div.)

(b) エージング後(100 mV/div.)

写真1 実験回路(図1)の出力電圧リップルの時間変化(2 ms/div.)

初期は400 mV_{p-p}の大きなリップルが出るが、1時間ほど経過すると収まってしま



(a) 電解コンデンサ



(b) タンタル・コンデンサ

写真2 電解コンデンサとタンタル・コンデンサの極性表示

やってはいけない②

パワー・トランジスタが熱破壊？ シリコン・グリスの塗布の手抜きは禁物



● パワー・トランジスタが1年ほどで壊れる

図1に示すようなシリーズ・レギュレータを設計しました。

パワー・トランジスタの温度を測ると、設計値より少し高いようでしたが、対策しないまま最大出力電力を出すような条件で使い続けていました。すると、1年ほどでパワー・トランジスタが壊れてしまいました。

● 放熱設計に問題はなかったか再確認

設計した電源の入力電圧は15V、出力は最大5V、4Aです。パワー・トランジスタが消費する最大電力は40Wですから、放熱設計が重要でした。

図2に示すように放熱器には、パワー・トランジスタのチップ温度が、定格の150℃以内に収まるように0.75℃/W品を採用しました。

確認すると、トータルの熱抵抗 θ_{total} [℃/W] は、

$$\begin{aligned} \theta_{total} &= \theta_{Tr} + \theta_{mica} + 0.75 \\ &= 0.83 + 0.7 + 0.75 = 2.28 \text{ } ^\circ\text{C/W} \end{aligned}$$

ただし、 θ_{Tr} : トランジスタの熱抵抗(0.83) [℃/W]、

θ_{mica} : マイカ・シートの熱抵抗(0.7) [℃/W]

となります。これに40Wの電力を消費させると、トランジスタの接合部分の温度上昇 ΔT_j は、

$$\Delta T_j = 2.28 \text{ } ^\circ\text{C/W} \times 40 \text{ W} = 91.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

となります。周囲温度を50℃とすると、トランジスタの接合温度は141.2℃になり150℃以下ですから、問題はなさそうです。

故障したパワー・トランジスタを交換するために、取り外してみたところ、絶縁用のマイカ板にシリコン・グリスが十分に塗布されていませんでした。

表1をご覧ください。マイカ板にシリコン・グリスを塗布しないと、その熱抵抗は0.7℃/Wから1.3℃/Wに大きくなります。今回の動作条件では、パワー・トランジスタの消費電力は40Wなので、シリコン・グリスをまんべんなくきれいに塗った場合の温度上昇

は28℃ (= 0.7℃ × 40W)です。塗らない場合は52℃ (= 1.3℃ × 40W)です。

今回はシリコン・グリスの塗布が不十分だったため、パワー・トランジスタの接合温度が165.2℃ (= 141.2 + 24) 近くになっており、寿命が短くなっていたのです。

● 対策

パワー・トランジスタとマイカ板を新品と交換し、放熱器の取り付け部をきれいに洗浄しました。シリコン・グリスをまんべんなく塗布し、パワー・トランジスタを放熱器に取り付け直しました。

シリコン・グリスを塗布する必要がない絶縁材として、シリコン・ゴム・シートを使うのもよいでしょう。また、パワー・トランジスタを放熱器に締め付ける力も重要で、壊さない範囲でしっかり取り付けます。

今回の設計では、パワー・トランジスタの接合温度(141.2℃)が最大定格(150℃)に対して余裕がなかった(デレーティング94%)のもトラブルの原因の一つです。長時間最大電力を消費するような装置の場合は、デレーティングを80%以下とします。〈国分 太郎〉

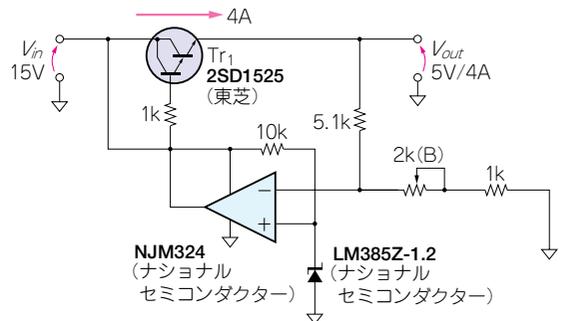


図1 壊れてしまったシリーズ・レギュレータ(5V/4A出力)

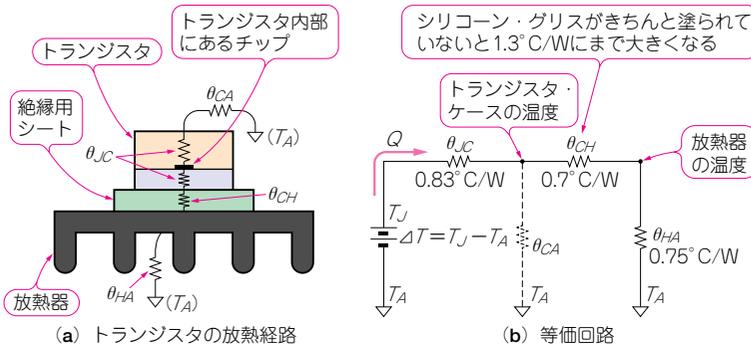


図2 当初の放熱設計

表1 絶縁シートの種類とトランジスタ・ケース-放熱器間の熱抵抗(TO-3Pパッケージ)

絶縁シート	熱抵抗 θ_{CH} [℃/W]	
	グリスなし	グリスあり
なし	0.9	0.2
マイカ	1.3	0.7
シリコン・シート	0.6	—
接着シート	2.1	—