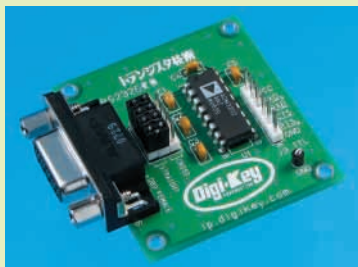


第1章 RS-232Cレベル変換ボード

パソコンのシリアル・インターフェースRS-232Cの信号レベル($\pm 5\sim 15\text{V}$)をTTL ICの信号レベル($0\sim 5\text{V}$)に変換するためのボードです。マイコンなどを使った自作の装置とパソコンをつなぐ際に使うと便利です。



パソコンとマイコンをつなぐRS-232C

● RS-232Cはパソコンと周辺機器をつなぐ共通規格

パソコンの背面パネルに、写真1のようなコネクタがついているのを見たことがある人も多いでしょう。これはRS-232Cと呼ばれている、パソコンと周辺機器をつなぐシリアル通信用のポートです。RS-232Cを使えば、マイコンなどを使った自作の機器(以下、周辺機器)とパソコンとの間で手軽にデータをやりとりできます。最近RS-232Cのポートをもたないパソコンが増えてきましたが、組み込みの世界ではまだまだ根強い人気があります。

● RS-232Cの信号レベルは一般的なロジックICと異なる

図1はRS-232Cの信号レベルと、マイコンなどのロジック信号のレベルを比較したものです。RS-232Cはパソコンとモデムを接続するための信号だったので、ノイズや波形の鈍りに対抗するため $\pm 5\sim 15\text{V}$ 振幅の信号を使っていました。マイコンなどが扱うロジック信号は、 $0\sim 5\text{V}$ 振幅のTTLレベルや $0\sim 3.3\text{V}$ 振幅のLVCMOSレベルです。

マイコンなどにRS-232Cの信号を直接加えると、正しく信号を伝えられないばかりか、デバイスを壊す危険性があります。逆に、マイコンが出力する信号をRS-232Cをもつ機器に直接つないでも、正しく信号を伝えられません。しかも、「1」と「0」の論理が反転します。



写真1 パソコンに備わっているシリアル・インターフェースRS-232Cの端子

このため、RS-232Cにマイコンを接続する場合などでは、信号のレベル変換が必要です。

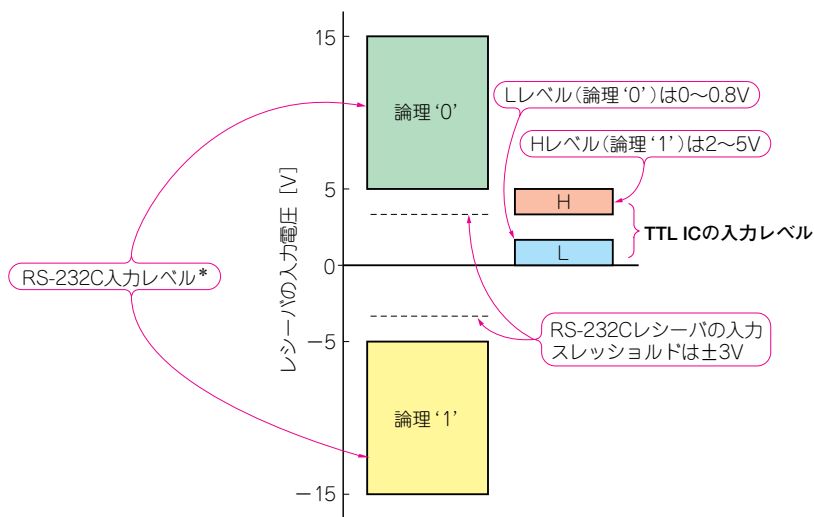
● RS-232CとEIA-574

多くのパソコンに取り付けられている9ピンのシリアル・ポートは、正しくはEIA-574と呼ばれています。本来のRS-232Cは25ピンDサブ・コネクタを使用し、非同期通信の他に同期式通信も可能です。パソコンをモデムと接続するための厳密な規格として誕生し、最大通信速度は20 kbpsです。RS-232Cを満足しても使われない機能が多く、コストもかかります。そのため、次第に9ピンDサブ・コネクタを使ったシリアル・ポートに取って代わられました。

9ピンのシリアル・ポートは、後にEIA-574として正式登録されました。しかしRS-232Cという呼称があまりにも有名だったため、非同期式のシリアル通信は何でもRS-232Cと呼んでいるのが現状です。9ピンのシリアル・ポートをRS-232Cと呼んではいけないという人もいますが、本稿でも気にせずにRS-232Cと呼びます。

● RS-232Cの信号線の機能

RS-232C(EIA-574)を構成する信号線を表1に示します。9本ありますが、通信に使われるのはRXDとTXD、GNDの3本です。それ以外の信号はフロー制御や、ハードウェアの準備ができたことなどを知らせるときに利用する制御線です。RTSとCTSを使ってフロー制御を行う装置では、これらの制御線をつながないと正しく通信できません。



*注▶ EIA-562(EIA-574に適用できる電氣的特性)の送信信号レベルは±3.7~±13.2V

図1 RS-232C信号とロジック信号のレベルの違い

表1 RS-232C(EIA-574)の信号線

ピン番号	入出力方向	信号名	機能
1	入力	DCD	キャリア検出
2	入力	RXD	受信データ
3	出力	TXD	送信データ
4	出力	DTR	データ端末レディ
5	-	GND	信号グラウンド
6	入力	DSR	データ・セット・レディ
7	出力	RTS	送信要求
8	入力	CTS	送信可能
9	入力	RI	被呼表示

制御線を使用しない場合は、オープンにしても問題ありません。

RS-232Cレベル変換ボードの機能

本ボードの回路を図2に、部品を表2に示します。

● 専用ICを使ってRS-232CとロジックICの信号電圧の違いに対応

RS-232Cの電圧レベルと一般的なロジックICの電圧レベルを変換するには、専用のICを使うのが一般的です。本ボードではADM3202ANZ(アナログ・デバイセス)を使います。ADM3202ANZは3.3~5Vの電源で動作し、最大通信速度は460 kbpsです。同じようなICとしてADM232LAN(アナログ・デバイセス)があり、こちらは5V動作で最大通信速度が120 kbpsです。どちらのICも同じように使えます。

● ストレート・ケーブルとクロス・ケーブルに対応

本ボードでは、ストレート/クロスいずれのケーブルも使用できるように、接続切り替え用のジャンパを設けています。

表2 RS-232Cレベル変換ボードの部品表

参照番号	数量	品名	型名/定数
C ₁ ~C ₅	5	積層セラミック・コンデンサ	0.1 μF
J ₁	1	Dサブ・コネクタ	メス型9ピン
J ₂	3	ピン・ヘッダ	4ピン
J ₃	1	ピン・ヘッダ	6ピン
U ₁	1	RS-232Cレベル変換IC	ADM3202ANZ
TP ₁	1	テスト・ポイント	黒色丸スルー・ホール
(J ₂)	4	ジャンパ・ピン	1ピン黒色シャント

▶ 本部品セットのDigi-key注文番号は「DKTGRS232C-KIT-ND」。全部品セット(RS-232C, H/L テスタ, パラレル-JTAG, USB 電源)のDigi-key注文番号は「DKTGALL-KIT-ND」。注文方法の詳細をトランジスタ技術のホームページで公開予定。

第2章 H/L ロジック・テスト

本ボードは、ロジック回路の動作チェックに便利なH/Lロジック・テストです。信号の状態がHレベルなのかLレベルなのかを、LEDで表示します。マイコンなどの出力信号を音に変えてブザーで鳴らす機能も備えています。



動作原理

● コンパレータで入力信号と基準電圧を比較する

H/Lロジック・テストの回路図を図1に示します。本回路は、あらかじめ設定した基準電圧と入力信号の電圧を、LM2903Pというコンパレータで比較してHレベルかLレベルかを判断します。LM2903とLM393は同種のICなので、LM393があれば同様に使えます。

コンパレータという部品は、+入力端子の電圧が-入力端子の電圧以上ならばHレベルを出力し、逆の条件ならLレベルを出力(電流を吸い込む)します。コンパレータの動作はOPアンプと似ていますが、内部の位相補償コンデンサがなく、構造も単純です。動作も高速で、出力段がほかのデジタル回路と接続しやすくなっています。増幅ではなく比較だけを行いたい場合は、コンパレータを使うほうがよいでしょう。

● コンパレータの出力でLEDをドライブする

図2は、LM2903/LM393の出力段の構造です。オープン・コレクタになっているので、Hレベルを出力する代わりにハイ・インピーダンスになります。本回路では、LM2903に電流を吸い込ませてLEDを点灯させます。

LM2903の出力状態は、電流を吸い込むか否かだけです。Hレベルの電圧出力が必要な場合は、出力にプルアップ抵抗を接続します。すべてのコンパレータがオープン・コレクタ/オープン・ドレインになっているわけではなく、トータムポール出力のコンパレータも多数存在します。

● 基準電圧は電源電圧を抵抗で分圧して生成する

マイコン応用回路などの“L”と“H”の判定レベル(TTLレベル)では、入力信号が0.8V以下ならLレベル、2.0V以上ならHレベルと判断します。本回路では5Vの電源電圧を抵抗で分圧し、0.8Vと2.0Vの電圧を作り出します。

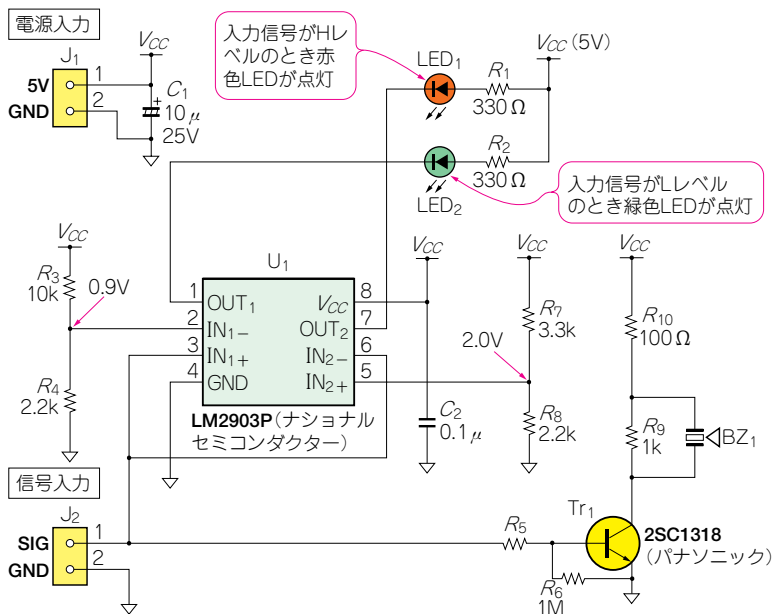


図1 H/Lロジック・テスタの回路図

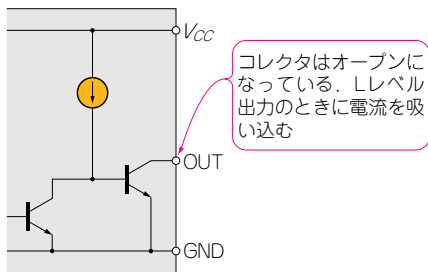


図2 コンパレータ LM2903/LM393 の出力段の構造

R_3 と R_4 で 5.0 V の電源電圧を分圧するので、 IN_1- 端子の電圧は、

$$V_{IN_1-} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{CC} = \frac{2.2 \times 10^3}{10 \times 10^3 + 2.2 \times 10^3} \times 5 \approx 0.9 \text{ V}$$

と求まります。同様に IN_2+ 端子の電圧は、

$$V_{IN_2+} = \frac{R_8}{R_7 + R_8} V_{CC} = \frac{2.2 \times 10^3}{3.3 \times 10^3 + 2.2 \times 10^3} \times 5 = 2 \text{ V}$$

表1 抵抗値やコンデンサに使用される標準数列(一部抜粋)

E3 系列	1.0	—	—	—	2.2	—	—	—	4.7	—	—	—
E6 系列	1.0	—	1.5	—	2.2	—	3.3	—	4.7	—	6.8	—
E12 系列	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2

E12 系列とは 10 の 12 乗根 ($\sqrt[12]{10}$) を近似値に丸めたもの、この値に 10^n を乗じた値の抵抗は入手しやすい。しかし、それでも種類が多いため、今回は種類が少ない E6 系列から値を選んだ。なお、JIS C 5063:1997「抵抗器及びコンデンサの標準数列」では E3 ~ E192 系列までが規格化されている。

表2 周辺の抵抗値を変えて各信号レベルに対応する

信号レベル	L レベル 電圧 [V]	H レベル 電圧 [V]	R_3 [Ω]	R_4 [Ω]	R_7 [Ω]	R_8 [Ω]
5 V TTL	0.8	2.0	10 k	2.2 k	3.3 k	2.2 k
3.3 V LVTTTL	0.8	2.0	10 k	2.2 k	3.3 k	2.2 k
5 V CMOS	1.5	3.5	3.3 k	1.5 k	1.5 k	3.3 k
3.3 V LVCMOS	1.0	2.3	12 k	3.3 k	5.1 k	4.7 k
2.5 V LVCMOS	0.7	1.7	10 k	1.8 k	10 k	5.1 k

- 注 ▶ (1) CMOS IC の“L”と“H”を判定するときの入力レベルは絶対的な電圧ではなく、電源電圧に比例する
 (2) この表はあくまでも目安であり、入力電圧レベルは実際のデバイスごとに微妙に異なる
 (3) は E12 系列、 は E24 系列の値

と求まります。本回路では、入手性が良くどこの実験室にもありそうな E6 系列(表1)から抵抗値を選んだため、IN₁-端子の電圧は厳密に 0.8 V ではなく約 0.9 V になっています。

▶ TTL 以外の信号レベルに対応させるには？

本回路では、TTL レベルに合わせて基準電圧を決めています。各抵抗値を表2のように変えれば、TTL レベル以外の電圧レベルに対応できます。

● H/L を繰り返すパルス信号の有無を音で確認する

本回路はロジック・レベルの H/L に応じて LED を点灯させます。しかし、H/L が常時切り替わっているような信号だと、両方の LED がぼんやりと点灯しているように見える場合があります。20 Hz 程度の周波数でさえ、人間の目では判別できません。

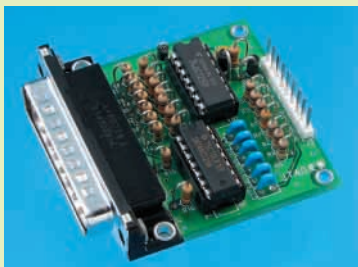
そこで、本回路では音で信号の変化を確認できるようにしました。音を発生させるために、圧電サウンダ(TDK 製 PS1740P02)を使用します。パルスや低周波信号を加えれば、その周波数や波形に応じて音が発生します。

マイコンの汎用ポートやアドレス・バス、データ・バスなどの「音」を聞いてみると、「ピギャー」とか「ギョロギョロ」といったように、プログラムの実行ルーチンやループの周期によって音の高さや質が変わってくるのがわかると思います。

圧電サウンダを使ってパルス音を音で聞いた場合でも、はっきりと識別できる周波数は

第3章 パラレル-JTAG 変換ボード

本ボードはパラレル・ポートを通じてJTAGの信号を作り出す回路です。本基板を使えばパソコンからJTAG信号を出力できるようになります。実際にJTAGで何かをするのはソフトウェアですから、JTAG用のソフトウェアを別途用意してください。



構造

● JTAGとは

▶ FPGA/CPLDやCPU内部のテスト回路にアクセスするためのシリアル通信規格

JTAG(ジェイタグと読む)とは、FPGAやCPLDの書き込みやCPUのデバッグなどに使用するシリアル通信規格です。JTAGを使えば、TCK、TDI、TMS、TDOの4本の線で、ターゲットIC(対象となるFPGAやCPLD、CPUなどのこと)の内部に作られ

表1 パラレル-JTAG変換ボードの部品

参照番号	数量	品名	型名/定数
C ₁	1	積層セラミック・コンデンサ	0.1 μF
C ₂ ~C ₇	6	セラミック・コンデンサ	100 pF
D ₁ ~D ₂	2	ショットキー・バリア・ダイオード	60 V, 1 A
J ₁	1	Dサブ・コネクタ	25ピン, オス型
J ₂	1	ピン・ヘッダ	9ピン
R ₁ ~R ₇	7	カーボン抵抗器	100 Ω
R ₈	1	カーボン抵抗器	1 kΩ
R ₉ ~R ₁₅	7	カーボン抵抗器	330 Ω
R ₁₆	1	カーボン抵抗器	51 Ω
R ₁₇	1	カーボン抵抗器	5.1 kΩ
R ₁₈ ~R ₂₄	7	カーボン抵抗器	10 kΩ
U ₁ ~U ₂	2	3ステート・バッファIC	74AC125
TP ₁	1	テスト・ポイント	黒色丸スルー・ホール

▶ 本部品セットのDigi-key注文番号は「DKTGJATG-KIT-ND」。全部品セット(RS-232C, H/L テスタ, パラレル-JTAG, USB電源)のDigi-key注文番号は「DKTGALL-KIT-ND」。注文方法の詳細をトランジスタ技術のホームページで公開予定。

たテスト用の回路にアクセスできます。

これらの4本の信号以外に、JTAGのリセット信号(TRST)を使うこともあります。また、組み込みCPUのデバッグを行うJTAGデバッグという装置では、CPU用のシステム・リセット信号やフラッシュROMの書き込み許可信号などを出力できるものもあります。

● ベースはザイリックス社のパラレル・ケーブルⅢ

本ボードの回路を図1に、部品を表1に示します。この回路はザイリックス社のパラレル・ケーブルⅢ(http://www.xilinx.com/support/programr/jtag_cable.pdf)を参考に、いくつかの改良を施しています。改良点は以下のとおりです。

- 3ステート・バッファICを74AC125に変更して2.5VのJTAG信号に対応
- パラレル・ポートと接続する入力信号をすべてプルアップ
- 汎用出力を2本引き出し

JTAG信号の出力コネクタ(J₂)は、ザイリックス標準の9ピン・フライ・リード・ケーブルのピン配置に合わせています。ただし、ザイリックスのケーブルで使用していない5番ピンと8番ピンは、汎用出力(TRSTとSRST)としました。

安定動作のためのポイント

● ICを保護するための電流制限抵抗を追加

74AC125や74HC125の入力端子には、静電破壊を防ぐための保護用ダイオードが

メーカー名	メーカー型名	Digi-Key 品番
Kemet	C315C104M5U5TA	399 - 4151 - ND
村田製作所	RPE5C2A101J2P1Z03B	490 - 3622 - ND
オン・セミコンダクター	MBR160RLG	MBR160RLGOSCT - ND
タイコエレクトロニクスアンブ	5747238 - 4	A32074 - ND
モレックス	22 - 03 - 2091	WM4007 - ND
Yageo	CFR - 25JB - 100R	100QBK - ND
Yageo	CFR - 25JB - 1K0	1.0KQBK - ND
Yageo	CFR - 25JB - 330R	330QBK - ND
Yageo	CFR - 25JB - 51R	51QBK - ND
Yageo	CFR - 25JB - 5K1	5.1KQBK - ND
Yageo	CFR - 25JB - 10K	10KQBK - ND
フェアチャイルドセミコンダクタ	SN74AC125PC	74AC125PC - ND
Keystone Electronics Corp.	5001	5001K - ND

▶ 部品セット購入ページのアドレス <http://jp.digikey.com/DKTG - Kit/>

通常は、小計5,000円未満の注文には、1,000円の手数料がかかりますが、本部品セット(表1)を購入する場合に限り、この手数料はかかりません。

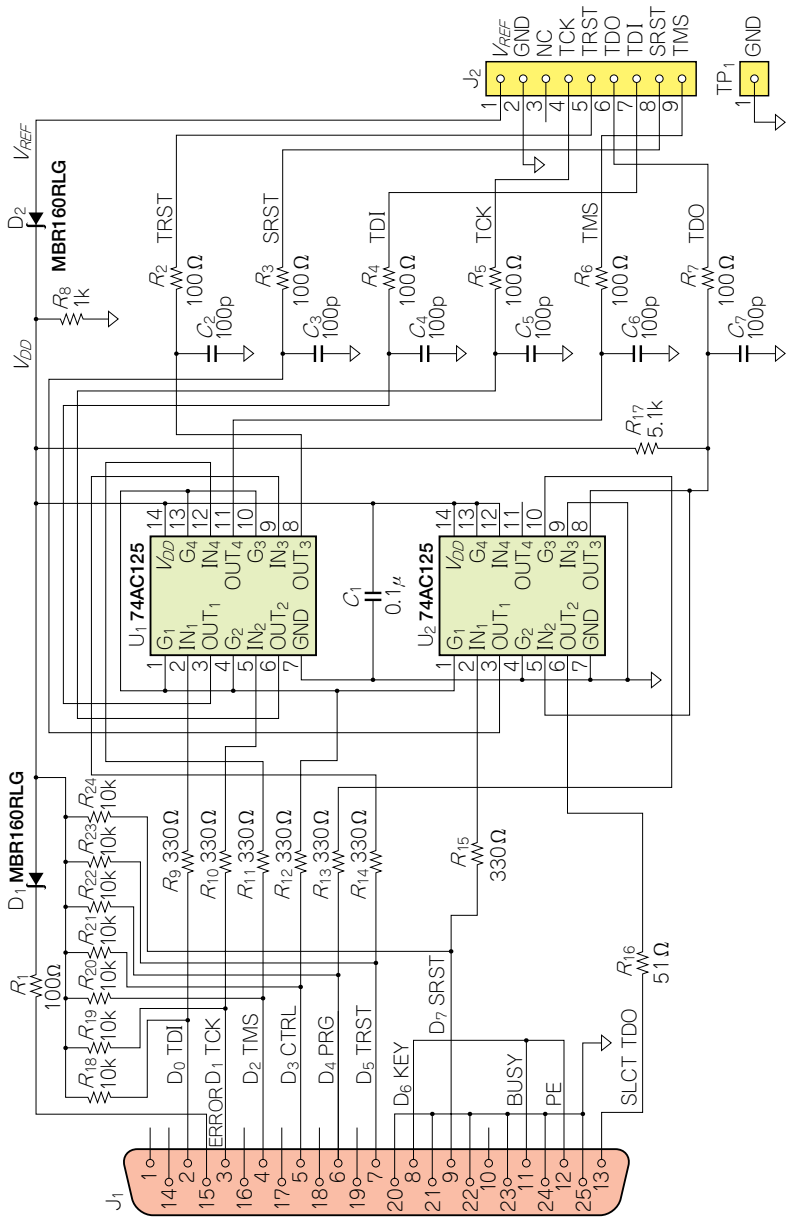


図1 パラレル-JTAG変換ボードの回路

第4章 USB マルチ電源ボード

本ボードはパソコンのUSBポートから電源を取り出して、マイコンやFPGAに使う3.3Vや2.5V、1.8Vなどの電源を生成する回路です。全ての出力の合計で、最大500mAの電流を取り出すことができます。



3端子レギュレータで3.3/2.5/1.8Vを生成する

本ボードの回路を図1に示します。3.3V電源の生成にはLM3940IT-3.3(ナショナルセミコンダクター)を、2.5Vと1.8V電源の生成にはLM317T(フェアチャイルドセミコンダクター)を使用しました。これらは3端子レギュレータと呼ばれる電源用のICです。

● 入出力の電位差が小さい場合でも使えるLM3940

LM3940IT-3.3は、5Vから3.3Vを作り出す3端子レギュレータです。図2(a)に示すように、LM3940のピン配置は7805と同じく、左からIN、GND、OUTの順に並んでいます。

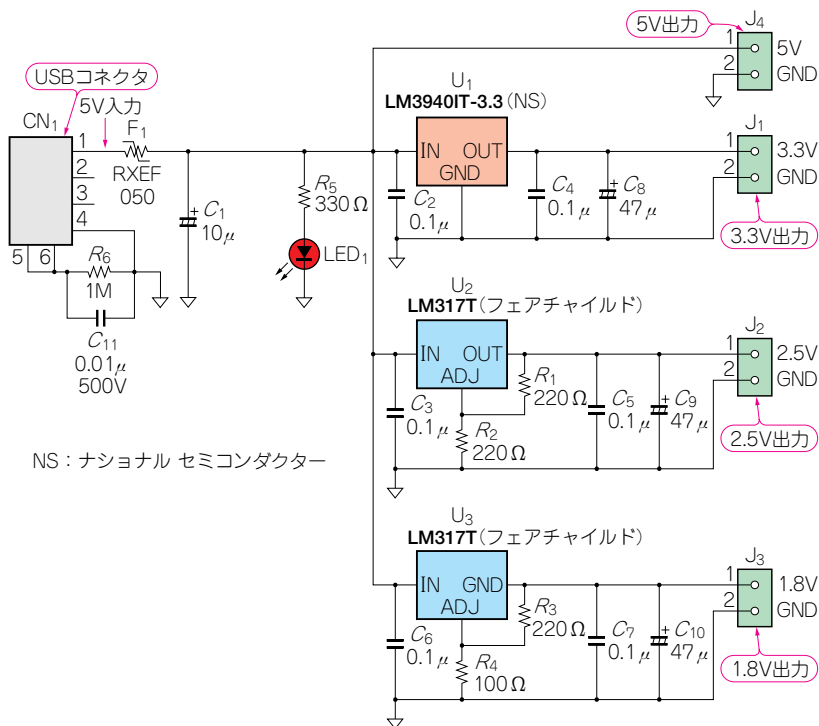
7805のような古くからある3端子レギュレータでは、入力と出力の電位差が2Vくらいないと正しく動作しません。しかしLM3940は、より小さい電位差で動作します。このような3端子レギュレータを、入力電圧と出力電圧の差が小さいことからLDO(Low Drop Out)と呼びます。5Vから3.3Vを作り出すような場合には、LDOを使います。

一般的に、LDOは発振しやすいと言われています。発振を防止するためには、出力にコンデンサを接続する必要があります。このコンデンサは直列等価抵抗(ESR: Equivalent Series Resistance)の範囲が指定されていて、たいいてはESRが小さいほうが安定します。しかし、小さすぎても不安定になってしまいます。どれくらいのESRなら安定するかは、LDOの品種によります。

● 出力電圧を任意に設定できるLM317

LM317は、古くからある電圧可変型3端子レギュレータです。1.2~37V程度の安定化電源を生成できます。図2(b)に示すように、LM317のピン配置は7805とは異なります。

LM317はLDOではないため、5Vから3.3Vを生成する場合の入出力の電位差は動作できるぎりぎりのレベルです。ですから、3.3Vの生成にはLDOを使用し、それ以外の



NS : ナショナル セミコンダクター

図1 USBマルチ電源ボードの回路図

2.5Vと1.8Vの生成にLM317を使用しました。

▶ 2本の抵抗で出力電圧を設定できる

LM317は、図3に示すように2本の抵抗を外付けすることで、出力電圧を設定できます。LM317は、OUT端子とADJ端子の電位差が1.25Vになるように出力電圧を調整しています。ここで R_1 には、 $1.25 / R_1$ [A]の電流が流れます。この電流はそのまま R_2 を伝わってGNDに流れるので、ADJ端子の電圧はGNDを基準にして $1.25R_2 / R_1$ [V]となります。OUT端子はADJ端子よりも電圧が1.25V高いので、出力電圧 V_{OUT} は、

$$V_{OUT} \div 1.25 \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) \dots\dots\dots (1)$$

で求められます。厳密には、ADJ端子からGNDに向かってわずかな電流(I_{ADJ} , 約50µA)が流れますが、無視できるレベルです。

▶ 出力電圧設定用の抵抗は数百Ω程度にする

式(1)を見ると、 R_1 と R_2 の抵抗の値は何でも良いように思われますが、実際には100

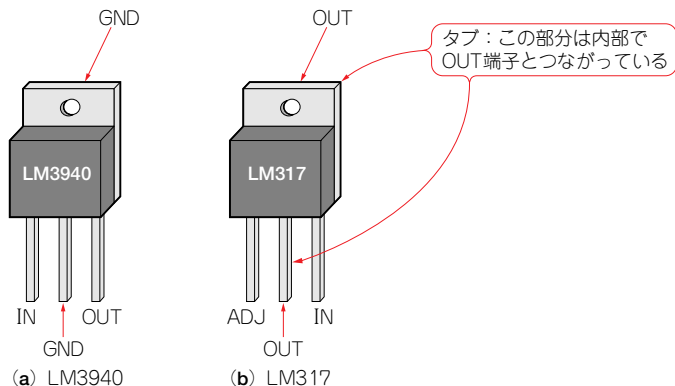


図2 使用した3端子レギュレータのピン配置

～数百Ω程度の範囲にしたほうがよいでしょう。なぜなら、LM317は十分な負荷電流を出力しないと、出力電圧が計算通りにならないからです。データシートでは、最小負荷電流は3.5 mA～10 mAとなっています。確実に動作させるには、常に10 mA以上の負荷電流が流れるように、ダミー負荷を接続するなどの対策をするのが良いでしょう。

▶ 設定用抵抗が大きすぎると出力電圧が安定化されない

実際に $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ として実験したところ、入力電圧5 Vに対して出力電圧が約4.2 Vとなりました。しかも、入力電圧の変化に追従して出力電圧も変動するのが確認されました。これはLM317が、レギュレータとして動作していないことを意味します。この状態で出力に240 Ω程度の抵抗をつないで十分な電流を取り出すようにしたところ、出力は3.0 V付近で一応安定化しました。

R_2 の値を大きくすると、 I_{ADJ} が無視できなくなってきます。 R_2 での電圧降下が大きくなるため、式(1)で計算した値よりも出力電圧が高くなります。 $R_1 = R_2$ なので、式(1)から出力電圧は2.5 Vのはずですが、 I_{ADJ} によって R_2 で約0.5 Vの電圧降下が発生したと考えれば納得できる結果です。このように、抵抗の値が大きすぎると期待通りの結果が得られなくなります。LM317を使った電源回路を設計するときには抵抗の大きさに注意してください。

回路の保護

● ポリスイッチを使った短絡保護

ポリスイッチ(タイコ エレクトロニクス レイケム)とは、リセット(自己復帰)可能なヒューズです。ヒューズとポリスイッチはどちらも過大な電流が流れたときに電流を遮断する部品です。ヒューズは一度切れると交換が必要ですが、ポリスイッチは繰り返し