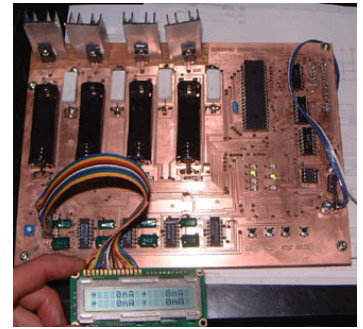


放電器の制作

定電流負荷型の放電器を作成しました。放電電流及び、放電終了電圧が選択でき、また、どれだけ電荷を放電したか、その総量を計測できる機能も実装しました。



1. 放電器の必要性

ニッケル水素などの二次電池を用いる場合、本来は、ちゃんと放電してから充電をする必要があります。これをやらないと、メモリ効果という現象が発生するといわれています。

メモリ効果をおこした電池は、図1のように、放電途中で電位が落ちてしまいます。電圧が落ちてしまうため電池の使用者は、この電池はパワーが無くなったと感じたり、やや高めに放電終了電圧を設定してある機器は、この電池は空になったと判断してしまうわけです。

普段から、ちゃんと放電をしてから充電をする ということをして入れば、メモリ効果は起きません。また、メモリ効果をおこしてしまった電池でも、ちゃんと放電してから充電をするという行為を何度かおこなえば、メモリ効果を消すことが出来ると言われていいます。

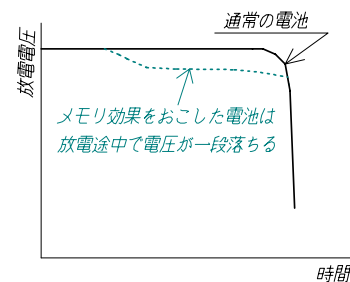


図1 メモリ効果をおこした電池の放電特性

2. 放電器の中身

2-1 定抵抗負荷と定電流負荷

電池を放電させるには、負荷を図のように、電池に抵抗をつないで放電させる定抵抗負荷を用いる場合と、定電流回路をつないで一定電流で放電を行う定電流負荷を用いる場合があります。本器では定電流負荷法を採用していますが、まずは、回路の簡単な定抵抗負荷法を見て、その次に定電流負荷の説明をします。

2-2 定抵抗負荷による放電

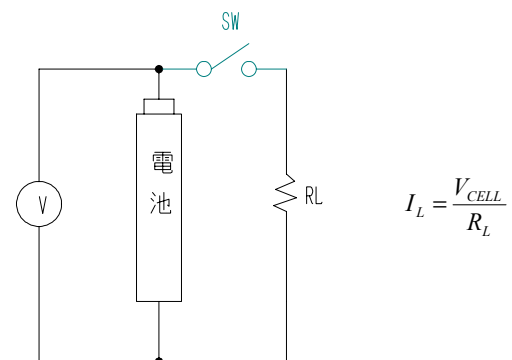
定抵抗負荷による放電器の内容は簡単です。電池に負荷となる抵抗をつないで、電池が空になったら（実際は、電池の電圧が、規定の放電終了電圧になったら）抵抗を取り除いて終了。それだけです。これを実現する最も簡単な方法は、図2のように負荷抵抗と電圧計を用いた方法です。

1. SW を ON にして、負荷抵抗を電池につなぐ
2. 電池の両端電圧を計測する
3. 電圧が 1.0V になったら、SW を OFF にする

一般的には、この簡単な方法を電子回路によって自動化した機器が放電器として多く用いられています。

2-3 電池メーカーの放電特性

電池を放電させることを、もっと詳しく見るため、電



- ・ SW を ON にし、負荷電流を流し、電池端子電圧を電圧計で測定する。
- ・ 電圧計が放電終了電圧になったら、SW を OFF にして放電を停止。
- ・ 抵抗両端電圧でなく電池端子電圧両端を測定しているのは、スイッチや配線の抵抗による電圧降下を考慮して。

図2 放電器の原理（定抵抗負荷）

池メーカーが公開している電池の放電特性を見てみましょう。図4がその例です。ここで気がついて欲しいのは、負荷電流の示し方です。この図では0.2Itと書かれています。0.2Itとは、電池の全容量に0.2を乗じた値を負荷電流としている、ということです。例えば2000mAhの電池なら、400mAの電流を流しているということです。つまり、厳密に電池が空かどうかを判断するには、0.2Itの負荷電流において、端子電圧が1.0Vになったとしなければなりません。なお、Itという表記は、電荷を表す数式

$$Q=It \quad (I: \text{電流} \quad t: \text{時間}) [C]$$

からきています。ですから、 It ではなく C と表すこともあります。この文献では、 C (クーロン と読みます)と表記することにします。

2-4 抵抗を用いた放電器の問題点

一般的に電池を放電させるにあたっては、定抵抗負荷法で十分なのですが、重箱の隅をつつけば以下の欠点があります。

1) 電池電圧によって電流が変わる

電池電圧は一定ではありません。負荷抵抗に流れる電流は

$$I=V/R$$

ですから、放電が進んで電池電圧が減ると、それに応じて負荷電流も減ってしまいます。つまり放電終了時には負荷が軽くなってしまい、ただし放電終了点を検出できないことになってしまいます。例えば、先の例である400mAの電流を流したいと、抵抗の値を3 にしたとします。すると放電終了時である1.0Vの時は、333mAと、17%近くのずれが生じます。

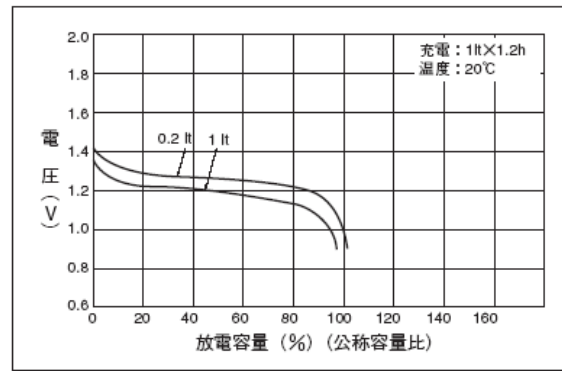
2) 電池と電池ケースの端子抵抗の問題

電池と電池ケースの端子の間には、数十m から数百m の接触抵抗があります。0.2C放電のような、緩やかな放電であればさほど問題はありませんが、さっさと放電させたい! と負荷抵抗を小さくした場合、この接触抵抗は問題になります。たとえば、0.5Cで放電させた場合、負荷抵抗は1.2 になります。ところが、接触抵抗に70m (+極と-極があるので、接触抵抗は2倍で140m になる)あるとすれば、実際の負荷抵抗は1.34 、1Aで放電させるつもりが、実際は0.9A程度に落ちてしまいます。実際は、さらに配線抵抗などが加わり、もっと落ちます。また、接触抵抗は一定ではないので、電池によって負荷電流が 変わってしまうのです。大きな負荷で放電させようとすればするほど、この問題が大きくなってきます。

そもそも電荷の定義は、 $Q=It$ と電圧項はない、つまり、どれだけの時間、電流を取り出せ続けられるか、なのです。

そのため、外部の影響を取り除くため、メーカーでは定電流負荷と呼ばれる方法で放電をします。定電流法とは、電池の端子電圧がどうなろうと、常に一定の電流を電池から取り出すようにして放電させる方法です。負荷電流が一定になるよう制御されるわけですから、端子抵抗の問題もなくなり、どんな電池であろうと同じ条件で放電させることが出来るというわけです。

2-5 定電流法を使うと、こんなこともできる



引用元 Panasonic ニッケル水素電池の5大特性

図3 電池メーカー発表の放電特性例

負荷電流は一定ですから、放電時間さえ計測すれば、どれだけの電荷が電池に蓄えられていたかを知ることが出来ます。これは、充電器の性能(正しく充電しているのか)や、電池そのものの性能(劣化して、表示されているだけの電荷が充電されているのか)さえも知ることができ、単なる放電ではなく、電池の性能をチェックできる面白い放電器を実現することができます。

3. 定電流法の放電器を作ろう

3-1 簡単に仕様を決める

とりあえず、簡単な仕様としてこんな感じのを考えてみました。

- ・放電電流 0.4A, 1A, 3A (定電流モード)
- ・放電終了電圧 0.65V 0.7V 1.0V 1.1V
- ・放電可能セル数 4個 (一つ一つ独立で放電)
- ・累積放電量の表示

定電流放電ですので、時間計算で電池に残っていた電荷量を計算・表示するようにしました。

なんで放電終了電圧がこうなったかは後に説明します。

3-2 回路説明

・定電流回路

定電流モードの放電器を作るとなると、定電流回路を作り上げなければなりません。これはFETとオペアンプを用いて実現することが出来ます。

定電流回路の基本回路を図1に示します。電流検出用抵抗 R_s の両端電圧が常に一定になるよう、FETのゲート電圧が制御されます。

1)A1

これは単純なアンプで、 R_s の両端電圧をA1倍に

は、メモリ効果をおこしている可能性があります。

- ・ 1.0V 通常の放電検出電圧です
- ・ 0.7V, 0.65V 3A モードの時に使用します。
3A 負荷の時、電池ケースと電池の間の接触抵抗の影響が大きく、正しい電池の両端電圧が測定できません。そのため、やむなく追加した電圧です。電池と電池ケースの間の接触抵抗が80m あった場合、正負極で計160m 。3A負荷の時は、 $3A \cdot 160m = 0.48V$ もの電圧降下が発生します。つまり、真の電池両端電圧が1.2Vであっても、計測点では $1.2V - 0.48V = 0.72V$ となってしまうのです。そこで、この電圧降下を見越して設定した電圧が0.65V というわけです。

こうして得られた放電終了電圧は、アナログスイッチにより選択され、コンパレータへと導かれます。コンパレータ出力は、PICマイコンに接続されており、放電が終了したら、PICマイコンに知らせて放電を終了させます。

・コンパレータ

電池電圧と、放電終了電圧を比較して、電池電圧が放電終了電圧より低くなったら、12V 近い電圧が出力されます。コンパレータには、単電源 OPAMP である LM324 を用いました。出力に12V 近い電圧がでてくるため、ツェナーダイオードを介してPICマイコンの入力レベルに落としています。

・マイコン部

定電流負荷ですから、時間さえ計れば、累計でどの程度放電したかを計算することが出来ます。PICマイコンを使うことにより、この機能を実現しています。また、放電終了の検出や、スイッチコントロール、LCD の表示なども、このPICマイコンにおこなわせています。

使用したPICマイコンはPIC16F874 です。よく使うPIC16F84 より I/O ポートとメモリが多く、また AD コンバータまで積んでいるという、とても便利なマイコンです。PIC16F84 では、メモリや I/O ポーターが足りないというときに使用しています。ピン数は40PIN と大型です。このマイコンは、秋月電子通商で入手できますし、もちろん秋月のPICライターでも書き込めますから、入手や使用環境の点でも使いやすい一品です。

PICマイコンからは、

- キー操作
- LCD コントロール
- 放電終了検出
- 放電終了電圧切替

放電電流切替

放電量の計算

を行わせています。回路としては、PICマイコン内蔵のADをつかって、電池両端電圧も計測できるようにしてありますが、ソフトウェア上ではこの機能を使いませんでした。

・電源シーケンス

放電用の定電流回路は、12V 電源を使用します。この12V は、CPU が立ち上がるまで起動しないようにします。放電回路はCPUにてコントロールされますから、このCPUが起動するまで、放電回路は動作できないようにしておくわけです。具体的には、12V の ON/OFF するスイッチ回路 (Q10, Q2) を作成し、そのスイッチ回路をCPUにてコントロールするようにします。

・ソフトウェア

キーボード入力判定、LCD 表示、1 秒タイマ、放電終了監視などから来ています。基本的には、スタートスイッチが押されたら、放電を開始し、1分ごとに放電量を計算して、その結果をLCDに表示、そのとき放電終了信号が発生していたら放電をストップする、ということをやらせています。

放電量を計算させるためには、正確な時間を作らなければなりませんが、今回はメインクロックである20MHz を利用し、割り込みとカウンタで一分周期を得ています。

放電量の計算は、放電させる電流が定電流ですから、例えば400mA での放電を例にしてみると

400mA で放電し、1 時間もてば、それが400mAH

しかるに、一分あたり

$400mAH / 60min = 6.667mA$

ずつ表示をアップしていけばいいのです。400mA で放電させて、5 時間電池がもてば、その電池は $6.667 \cdot 300分 = 2000mAH$ の容量があったといえ、また45分しかもたなかったとしたら $6.667 \cdot 45 = 300mAH$ しか容量がなかったということになるわけです。こうして、満充電した電池を、この放電器にかけることで、実際にどれだけの容量が電池にあるのかを実際に確かめることが出来るのです。なお、プログラムでは浮動小数点が使えませんから、1分ごとに規定量(400mA のときなら6.6667)を加算させるのではなく、放電開始からの経過時間より、直接放電量を計算させています。

この内容のプログラムは、PICANT というCコンパイラを用いて、C言語で用いて作成しました。PICANT というコンパイラは、秋月で販売しているPICC(試用版)に比べ、1kB という制限がない、16bit 変数を使える、負の数が扱える、など、プログラムを作成するにあたって、かなり便利です。値段も¥10k 程度と低価格です。PICC で物足りなくなった場合に、次のステッ

ブとして導入をするのによいコンパイラだと思います。アセンブラはMPLAB IDE(Microchip 無償で提供)を使い、もちろん、この組み合わせで作成されたロードモジュールは、秋月のPICライターで書き込むことができます。



写真1 実験に使用した電池

4. 使用感

試しに、秋月電子で、昔々に購入したニッケル水素電池を満充電(充電器は図6参照)し、そのままこの放電器を使って、放電させてみました。電池をセットしてスタート!。1分ごとに放電の累計量が更新されていきます。そして、数時間経過後、放電が終了し表示の更新がホールドされます。つまり、LCDには合計でどのくらい放電させることが出来たのかが表示されているわけです。

こうして、放電させた結果を図6に示します。

なお、今回使用した電池は、結構使い込んだのと、あと過放電や過充電を何度もさせてしまったりと、過酷な状況で使われ続けて今に至るといった電池です。

結果を見ると、公称容量の半分程度しか充電されていません。これは驚きました。さて、これは充電器のせいでしょうか、それとも電池そのものがへたばっているせいでしょうか。

ここで、私鉄マスコット系(「1/2Qたん」でぐくって

みてください)でお知り合いになったKAZさんの協力を得ることが出来ました。もともと、放電器作成はKAZさんより持ちかけられ、それに同調して作ってみたいということと、なんといっても、KAZさんは、どれだけ充電をしたか、その充電量がわかるという高級充電器を持っていることを知っていたので、是非とも、協力をお願いしたわけです。この高級充電器を使えば、私の持っている充電器がタコなのか、それとも電池がへたばっているのか、さらに充電量と放電量の差はどの程度なのかをも見る事が出来、まさしく願ったりかなったりなのです。

完成したこの放電器をお渡しがてら、この実験をお願いしたところ、快く協力して頂けました。その結果が図6です。

充電量と放電量が結構一致していることがちょっと



放電電流 1A
放電終止電圧 1.0V

使用電池		計測結果	
電池No	公称容量	1回目	2回目
A	2000mAh	1233mAh	1283mAh
B	1600mAh	950mAh	1050mAh

一回目より、二回目の方が、たくさん電池に電気をため込みました。ひどい使い方をして痛んだ電池が、正しい十放電をすることにより、すこし回復してきたのかもしれない。

図5 使用した充電器と、電池容量測定結果

放電電流 1A
放電終止電圧 1.0V

使用電池		1回目		2回目	
電池No	公称容量	充電時注入量	放電量	充電時注入量	放電量
A	2000mAh	計測忘れ	1200mAh	1442mAh	1233mAh
B	1600mAh	1336mAh	1066mAh	1253mAh	1066mAh

充電時注入量と放電量との間の差は、思ったほどよりは少なめでした。

図5の充電器で充電した場合と、だいたい同じくらいの放電量でしたから、図5の充電器はちゃんと充電器として動作していることがわかります。そして、今回放電量が少ないのは、電池がへたばっていたことが原因であるということがはっきりしました。

図6 高級充電器を用いた場合の充放電量測定結果

驚きです。これは、以前、理想の充電は0.1Cで15Hという話を聞いたことがあることに起因します。たとえば、2000mAhの電池なら、200mAで15時間、すなわち3000mAhもの電荷を入れ込むことになるのです。つまり、私は、3000mAh入れ込んで、はじめて電池の中には2000mAhのエネルギーが蓄えられると考えていたからです。しかし実際には、だいたい同じ量となりました。ただし、これは急速充電を用いたからなのかもしれません。実際に0.1Cでゆっくり充電した場合は話が違うという可能性もあります。なかなか興味深い結果でした。

5. 今後

本器により、今回実験に使用した電池はへたばっていること、そして、手持ちの充電器が思ったよりまともに充電してくれていたことがわかりました。放電器は、すでにKAZさんに渡してしまっているので、次は自分用に新たな放電器を作成し、へたばっていない電池や、一次電池の電荷量を測定してみたいと思います。また、今回作成した放電器も、実験にのみ使うとすれば、放電できる電池の数を減らし、代わりにいくつか新機能を入れてみても面白いのではと思っています。

6. 回路図

・P7

一番上位階層の回路図です。PICマイコンを中心に、LCDへの接続、各スイッチ、定電流負荷部、電源部、基準電圧発生部などがあります。

・P8 ~ P11

定電流負荷部です。全部で4個の電池を放電させられますから、同じ回路が4つあります。とりあえず、P8上の回路を代表に説明します。電池の端子からは、放電終了電圧を検出するためのコンパレータU2Dと、両端で何圧を測定するためにボルテージフォロアU2Dがはいっています。電池を接続していないときのために、R24でプルダウンさせています。R24があるため、放電器を動作させていなくても、わずかに放電させていることになりすから、未使用時は電池を外しておく必要があります。

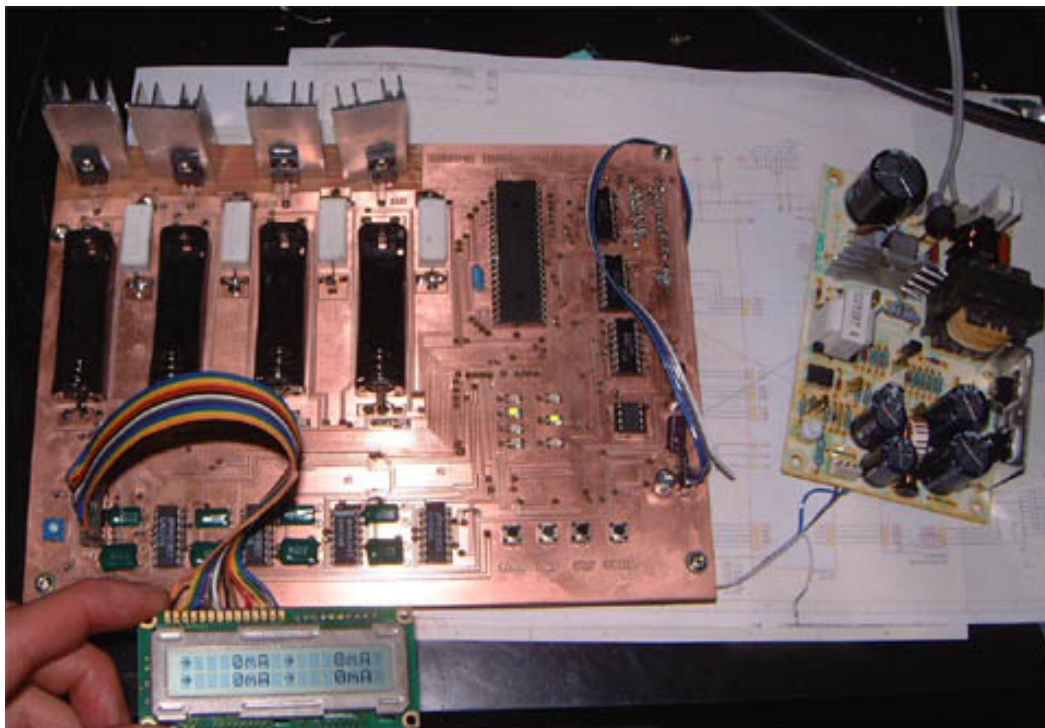
R36は、放電電流を0Aにするための物です。アナログスイッチU6AをOFFにすれば、VREFは0Vになりますから、放電電流を0Aにすることが出来ます。

・P12

基準電圧発生部です。シャントレギュレーターで作成した2.5Vを抵抗にて分圧し、アナログスイッチにて必要な電圧を取り出しています。電流決定用の部分には、一段ボルテージフォロアU7Aを介在させています。これは、R36とアナログスイッチの内部抵抗からくる影響を取り除くための物です。

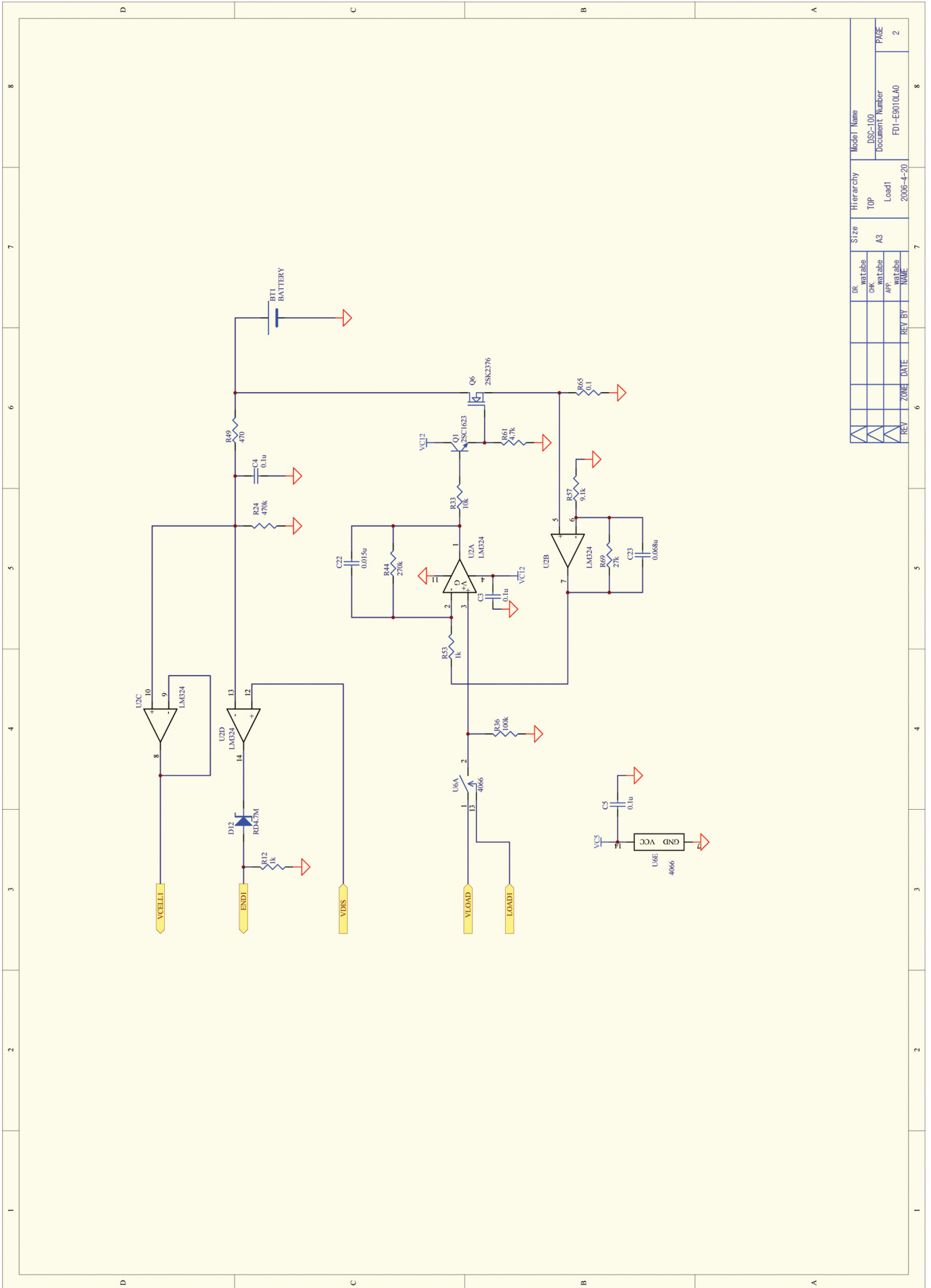
・P13

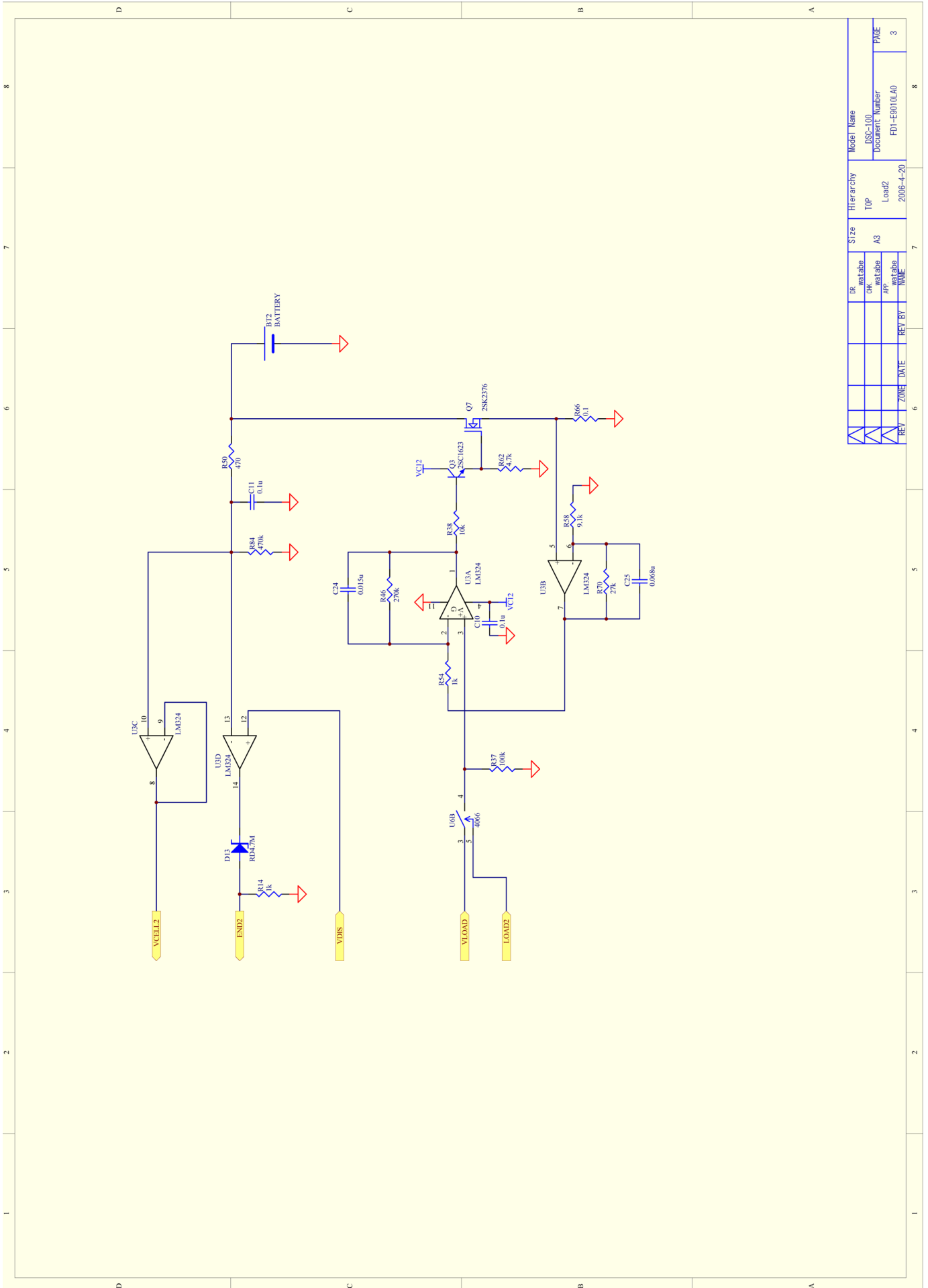
電源部です。12V,5Vの安定した電圧から、2.5Vの基準電圧と、12Vの起動を遅らせるための電源シーケンス回路をいれてあります。



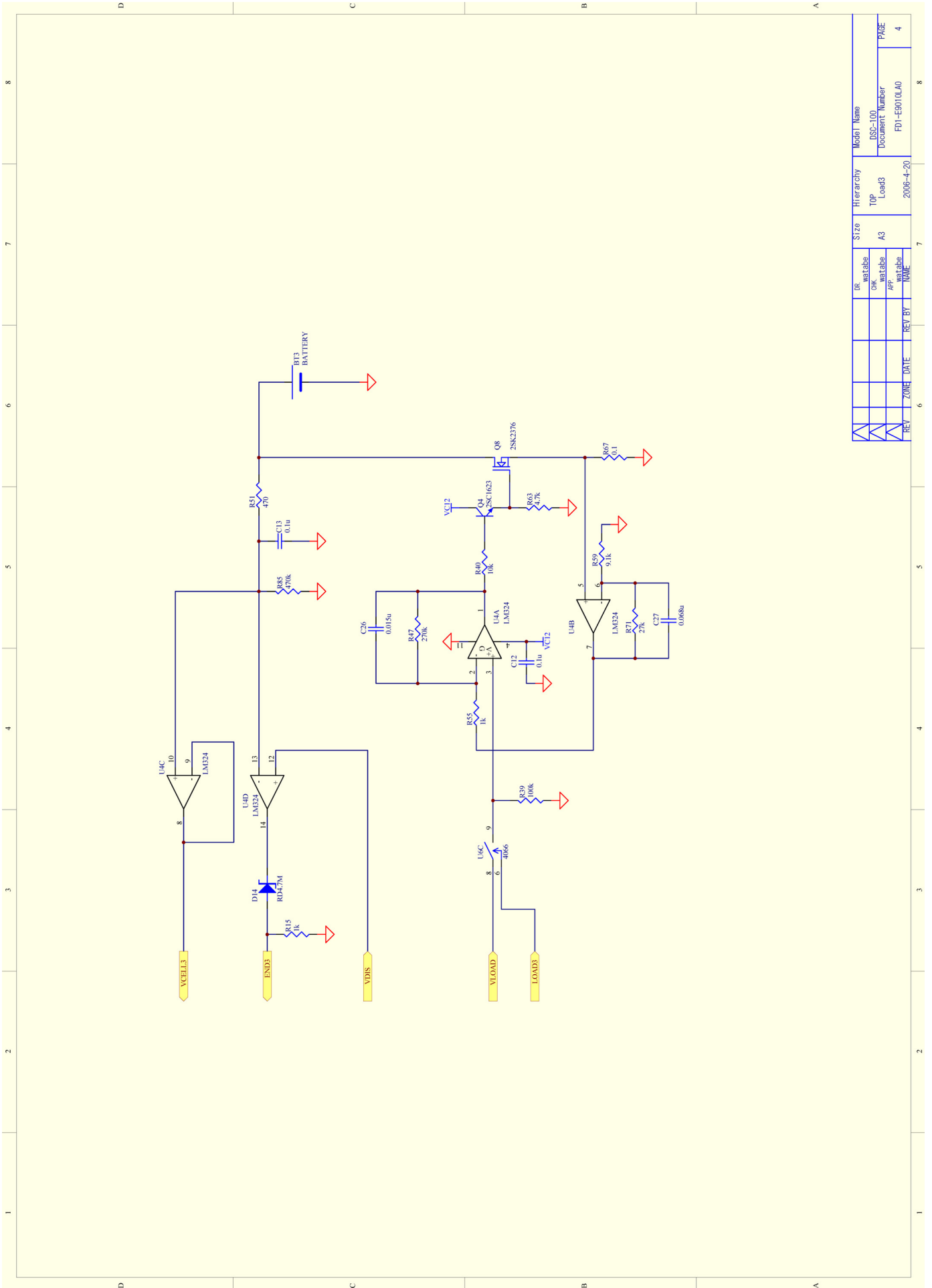
起動時に、ハウデンクンイチゴウ と表示させるようにしました。ところが、KAZさんにお渡ししてから指摘を受けました。ハウデンクンイチゴウではなく、ハウドンクンイチゴウになる！。単純なミスでしたけど、それはそれでなんか愛嬌のある名前(笑)。

写真2 完成した放電器 「ハウデンクンイチゴウ」

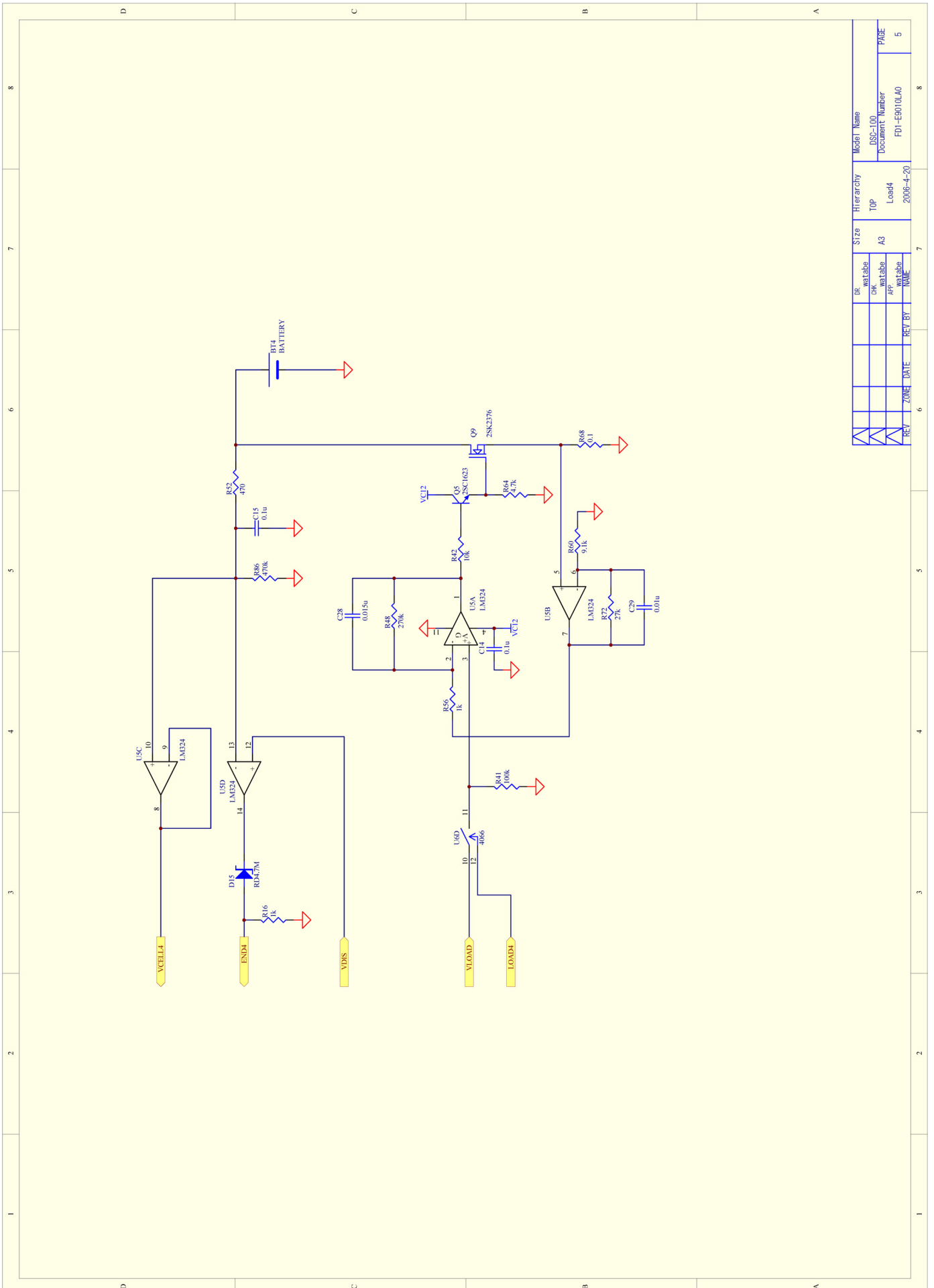




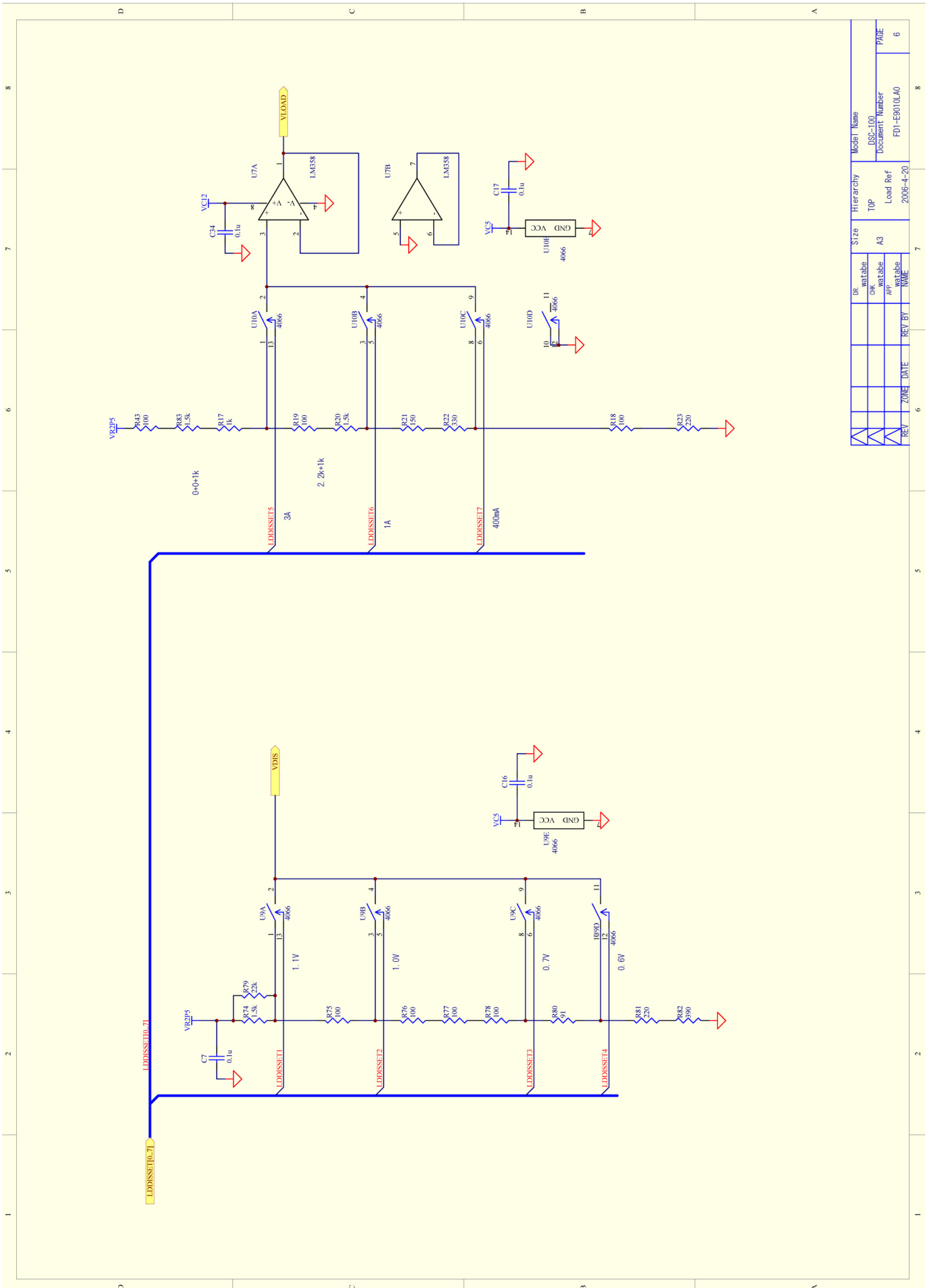
REV	ZONE	DATE	REV BY	NAME	Size	Hierarchy	Model Name
					A3	Top	DSC-100
						Load2	Document Number
							FDI-E9010LA0
							2006-4-20
							3



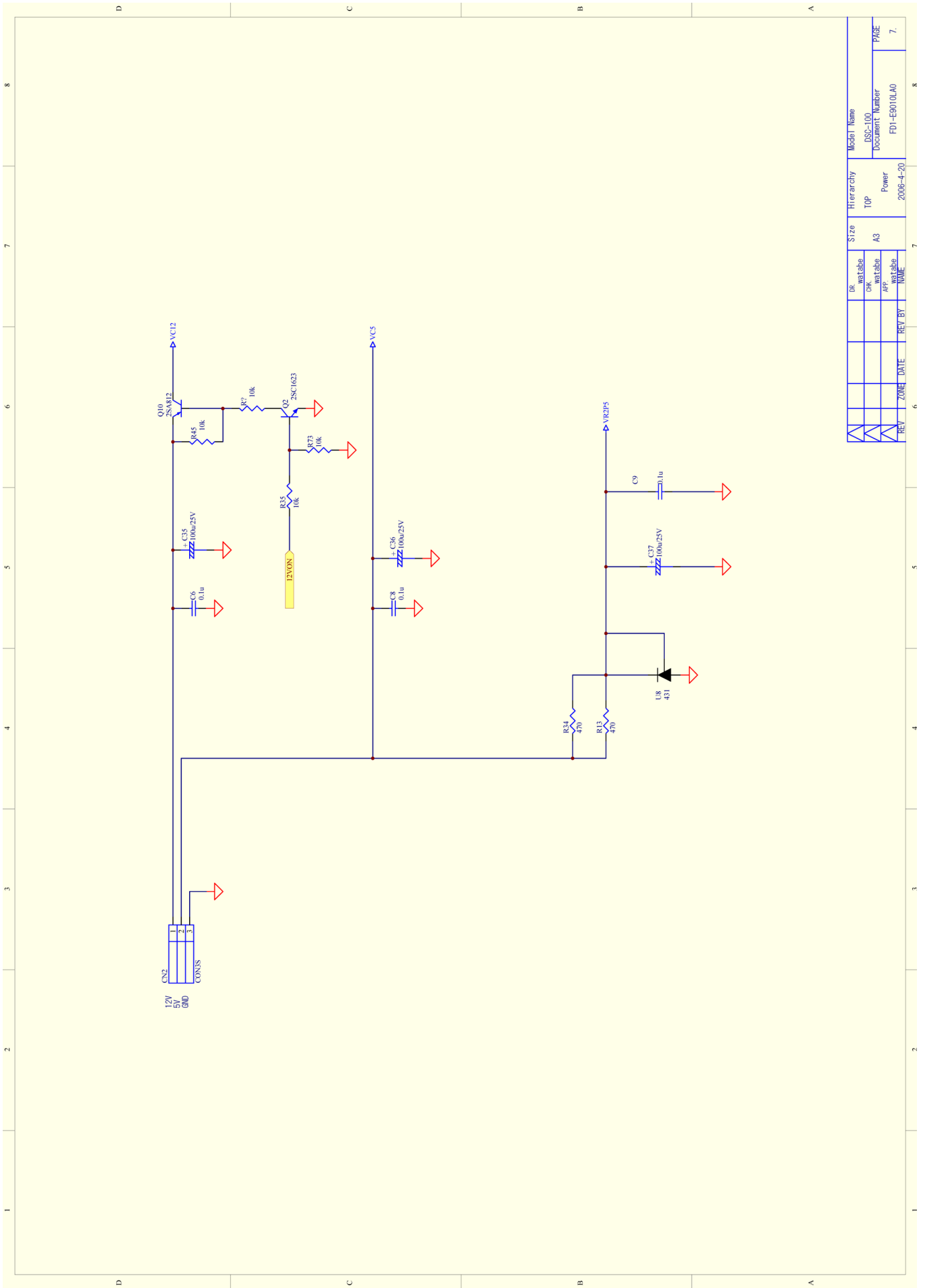
REV	ZONE	DATE	REV BY	NAME	Size	Hierarchy	Model Name
					A3	TOP	DSC-100
						Load3	Document Number
							FDI-ES010L40
							2006-4-20
							PAGE
							4



REV	ZONE	DATE	REV BY	NAME	Size	Hierarchy	Model Name
					A3	TOP	DSC-100
						Load4	Document Number
						2006-4-20	FD1-E9010L.A0
							PAGE
							5



REV	ZONE	DATE	REV BY	NAME	OR	Size	Hierarchy	Model Name
					OR	A3	TOP	DSCG-100
					OR		Load Ref	Document Number
					OR			FDI-E9010LA0
					OR			2006-4-20
					OR			6
					OR			6



REV	ZONE	DATE	REV BY	NAME	APP	SIZE	Hierarchy	Model Name
1						A3	Power	DSC-100
2							2006-4-20	Document Number
3								FD1-E0010L40
4								7.
5								
6								
7								
8								