

写真1-1はノートPC (ASUS製 EeePC901) 内部の基板です。そこには部品がびっしり載っています。大きな部品はICですが、どれが抵抗で、どれがコンデンサなのか、トランジスタなのかおわかりになるでしょうか？

黒く大きいのがCPUや周辺ICです。すこし小さいのがトランジスタやICです。抵抗やコンデンサはといえば写っているうちでは一番小さな部類になります。この基板には裏面にもびっしりと部品があります。私たちの身の回りにあるデジタル・テレビ、携帯電話、iPodなどの携帯音楽プレーヤの内部にある基板は似たようなもので、やはり大量の部品が詰め込まれています。

次に、写真1-2に示すAC 100Vを低いDCに変換するACアダプタの中を見てみましょう。こちらは、電気に詳しい方なら大体どんな部品が使われているかがおわかりになるでしょう。

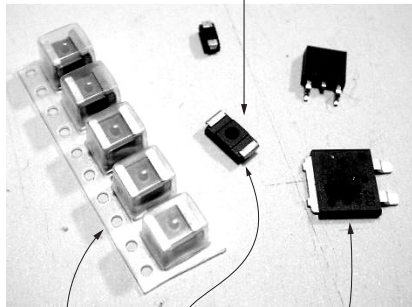
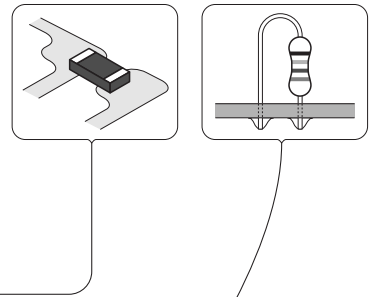
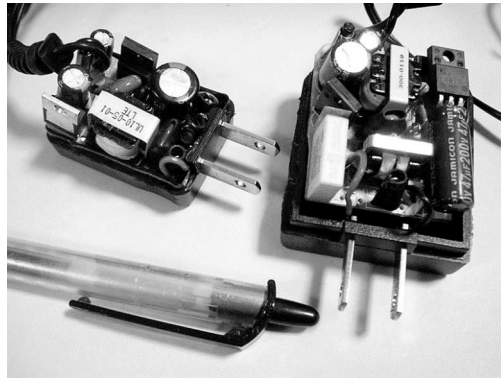
ノートPC基板上には面実装部品 (SMD. Surface Mounting Device) と呼ばれる部品が主に使われています (写真1-3)。一方、ACアダプタにはリード線つきの部品が使われています (写真1-4)。面実装部品は基板の銅箔パターン上にはんだ付けされるのに対して、リード線つき部品は基板に穴を開けて部品とは反対側の銅箔パターンにはんだ付けされます。このことからわかるように面実装部品は基板の片面に実装できるので、表裏合わせて大量の部品を載せることができます。これにより、高機能な大規模回路を大量生産できることとなります。

リード線付き部品はといえば、今でもバリバリの現役です。小規模回路や、私たちが電子工作を楽しむ部品として適しています。面実装部品は、さして小さいとはいえない1608外形品 (1.6 × 0.8mm) でも、これをはんだ付けするのは容易ではありません。ピンセットではさみ損なって、どこかに飛んでいってしまうものなら、もう見つからないことさえあります。本書ではリード線つき部品を主に使います。



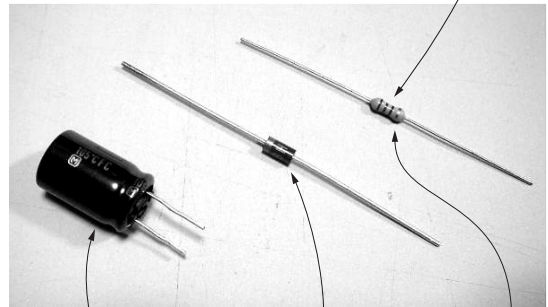
写真1-1 ノートPC ASUS製 EeePC901 の内部基板

写真1-2 スwitching方式のACアダプタの内部



コンデンサ ダイオード トランジスタなど

写真1-3 面実装部品



電解コンデンサ 整流用ダイオード 抵抗

写真1-4 リード線付き部品

Column 1-1 電子回路で使われる記号、単位と実用例

中級

表1-A 記号、単位と実用例

項目	単位	使用例
電圧	V(ボルト)	V, mV, kV
電流	A(アンペア)	A, mA, μ A
電力	W(ワット)	W, mW, kW, MW
時間	sec(秒)	s, ms, μ s, ns
周波数	Hz(ヘルツ)	Hz, kHz, MHz, GHz
抵抗	Ω (オーム)	Ω , k Ω , M Ω
キャパシタンス	F(ファラド)	μ F, pF, F
インダクタンス	H(ヘンリー)	μ H, mH, H

(*) 時間を表すs(エス)は小文字. このように, 大文字と小文字との識別にも注意する.

	読み	記号倍率
k	キロ	$\times 1,000 (10^3)$
M	メガ	$\times 1,000,000 (10^6)$
G	ギガ	$\times 1,000,000,000 (10^9)$
m	ミリ	$\times 1/1,000 (10^{-3})$
μ	マイクロ	$\times 1/1,000,000 (10^{-6})$
n	ナノ	$\times 1/1,000,000,000 (10^{-9})$
p	ピコ	$\times 1/1,000,000,000,000 (10^{-12})$
c : センチ..... $\times 1/100$		
d : デシ..... $\times 1/10$		
1km = 1,000m		
1k Ω = 1,000 Ω		
1M Ω = 1,000k Ω		
1 μ F = 1/1,000,000F = 10^{-6} F		

2.1 アナログ・テスタ

アナログ・テスタは古くから利用されてきたので、もし、どこかで眠っていたら電池を入れ替えてみてください。抵抗レンジに切り替えてテスト・リード2本をショートしてください。針が振れればまだ現役です。主流のデジタル・テスタに比べると、使いにくい点があり、精度も劣ります。しかし、十分に実用になりますし、どこか人間くさいのが美点です。

写真2-1に示すアナログ・テスタのおもな電気仕様は、表2-1のようになっています。また切り替えスイッチの部分の説明を写真2-2に、表示部分を写真2-3に、内部を写真2-4に示します。

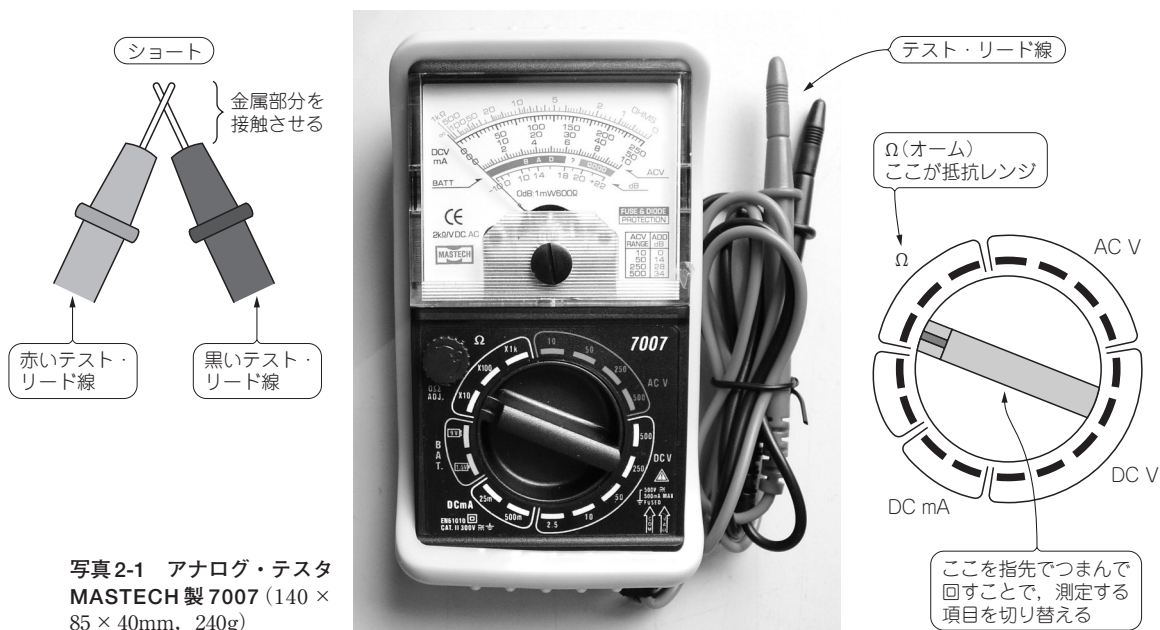


写真2-1 アナログ・テスタ
MASTECH製 7007 (140 ×
85 × 40mm, 240g)

表2-1 アナログ・テスタMASTECH製7007のおもな仕様

DC 電圧	レンジ	0～2.5/10/50/250/500V
	精度	フルスケールの±5%
	感度	2kΩ/V
AC 電圧	レンジ	0～10/50/250/500V
	精度	フルスケールの±5%
	感度	2kΩ/V
DC 電流	レンジ	0～25/250mA
	精度	フルスケールの±5%
抵抗	レンジ	×10, ×100, ×1k
	精度	フルスケールの±5%

23 ± 5℃, max. 75% RH
↑ ↑
温度の単位 相対湿度を表す

精度がフルスケルの±5%とは、たとえば10Vレンジでは、その5%は0.5V。このレンジで測った表示が1Vであっても5Vであっても±0.5Vの誤差があり、1Vは0.5～1.5V、5Vは4.5～5.5Vの範囲内が結果となる。抵抗ではフルスケルが0なので、誤差±5%というのは目盛り長に対してということになる。

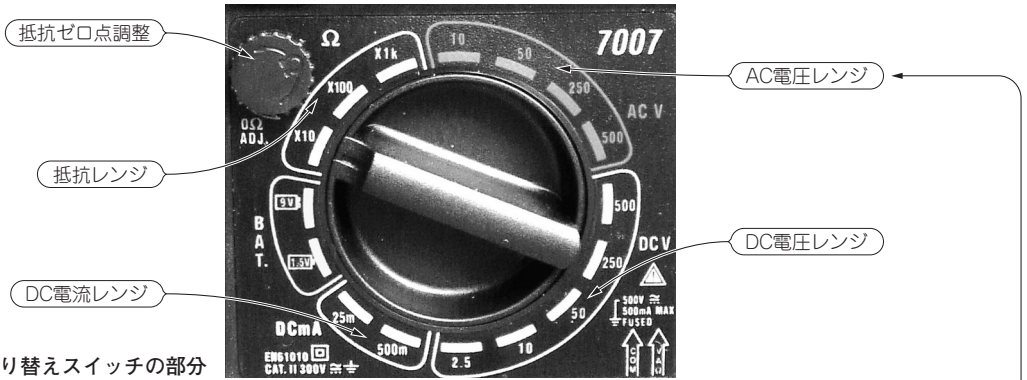


写真2-2 切り替えスイッチの部分

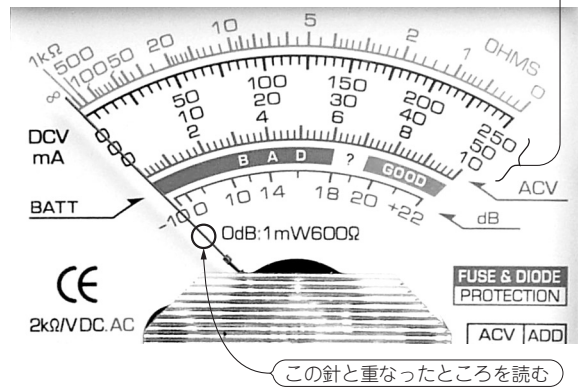


写真2-3 アナログ・テスタの表示部
OHMSとある一番上の目盛りが抵抗、その下でフルスケール10, 50, 250が電圧と電流の目盛り、2.5Vレンジでの測定はフルスケール250の目盛りを1/100する。

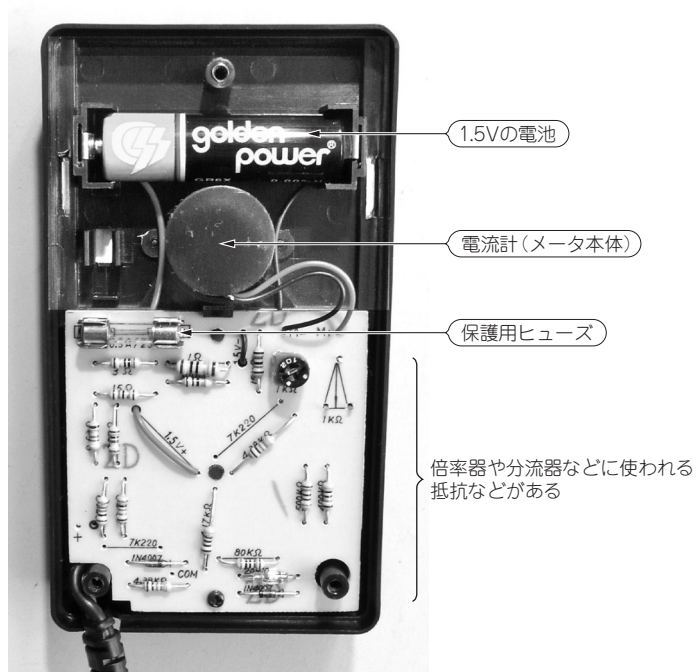


写真2-4 アナログ・テスタの内部

3.3 電圧(垂直)軸

オシロスコープの縦軸は電圧です。オシロスコープの画面中央の水平線が通常は0Vです。これを基準に上下両方向に、たとえば、4区画ずつ、計8区画分の水平線が引かれています(図3-4)。

1divが10V(10V/div)であれば、8区画全体で±40Vの範囲が表示されることになります。図3-5は電圧軸の設定画面で、1-5ステップで設定できます。

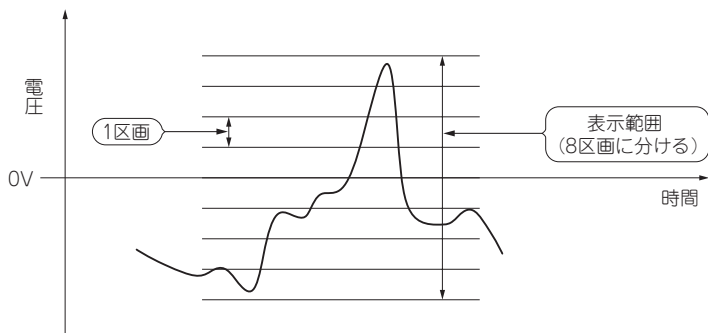


図3-4 オシロスコープの縦方向は電圧

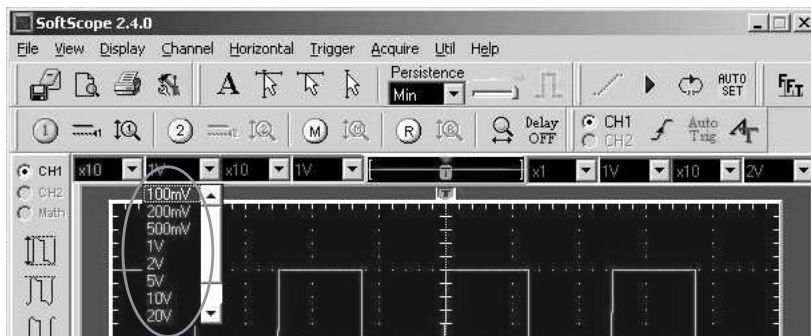
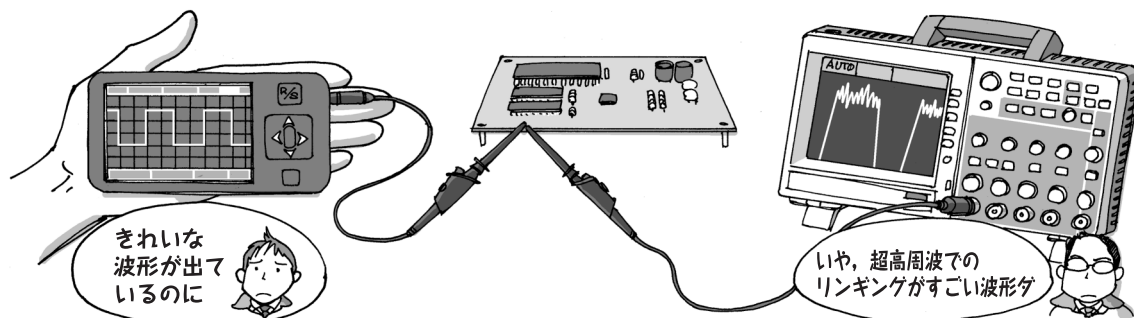


図3-5 オシロスコープの電圧軸の設定



表示する起点を決め、時間(水平)軸と電圧(垂直)軸の1区画あたりの時間と電圧とを決めると、表示されるウィンドウができあがります。ウィンドウから垂直方向に波形がはみ出してしまえば、電圧軸感度を落とし、上下方向に波形を縮めればウィンドウに収まります。また、水平方向に現象が収まらなかったり、特定部分だけを拡大したいのなら、水平軸時間を変更して、目的とする観測ができるようにします(図3-6)。

このような仕組みが、私たちがやりやすいようにできあがっているのがオシロスコープです。

デジタル・オシロスコープにはAUTO SET(メーカーにより呼び方が違う)のボタンを押せば、時間軸と電圧軸とを自動設定してくれるものがあります。繰り返し波形であれば難なくきれいに画面に表示されます。その昔、回路動作を勘違いしていて、これに気づいて波形が出るまで1時間もかかってしまった(*)というのは笑い話になりました。

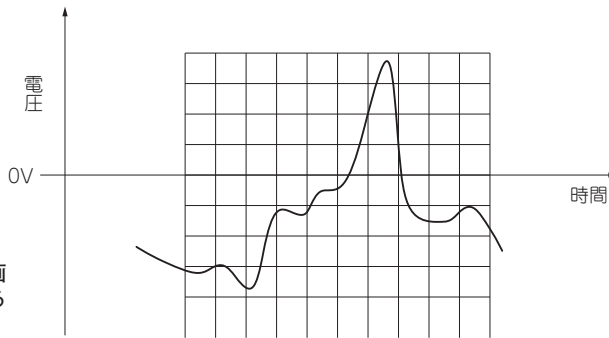


図3-6 見たい波形を画面に収まるようにできるオシロスコープ

(*) 1時間というのは少し大きすぎますが、時間軸、電圧軸を適切に選び、かつ、トリガがかからないと画面に波形が出てこないことがある。現象の振幅(垂直方向の大きさ)、時間的な変化のどの部分を見たいかを勘違いしては入り口でアウト、門前払いを食らってしまう。その点でAUTO SET機能は大変ありがたい機能

Column 3-1 オシロスコープを置くためのスペース

初級

オシロスコープが測定ベンチ、あるいは、机の上で、どのくらいのスペースが必要なのかを比べてみます。

図3-Aは、いくつかのオシロスコープについて、上方から見た比較です。

PCベースUSB接続の機種は本体部のみです。PCがないと動かないので、これと合わせてはじめてオシロスコープといえます。その意味では最も場所をとるともいえます。しかし、測定ベンチ(机)のすぐそばにPCがあれば、追加のスペースがなくても済みます。

本書で利用しているSDS200Aは高さ38mm重さ250gなので、ほかの測定器や電源などの上に置けるからです。とくにアマチュアにとってはメリットが大きいはずですが、また、ベンチタイプでも、相当な違いがあるのがわかります。

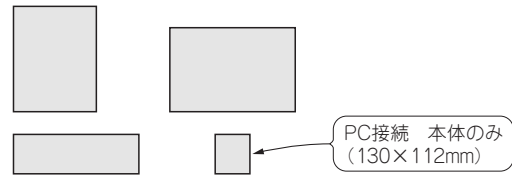


図3-A オシロスコープ設置面積の比較例

4.3 電源の損失と効率

4.3.6 有効電力，無効電力，力率

Professional

表4-4には，スイッチング式ACアダプタの効率測定では省略した測定値を加えました。

この表の項目の中で，入力電力は正確には有効電力です．あらたに加わったのは皮相電力と力率です．これらの関係は図4-17 (a)のようになります．

階段を降りるとします[図4-17 (b)]．この図で「皮相電力」が「歩いた分」，「有効電力」が「進んだ分」に相当します．「無効な分」は「無効電力」に相当し，進むことに寄与しません．力率 θ とすると，

$$\text{有効電力} = \text{皮相電力} \times \cos \theta$$

の関係があり，力率が1なら有効電力は皮相電力と等しくなります．この場合には，加えた力がすべて有効に仕事に寄与することになります．

電気では電圧に応じて電流が流れます．AC電源電圧は正弦波(サイン・ウェーブ)で抵抗に電圧をかければ電流も正弦波のままで力率は1です．ところがコンデンサやインダクタンス(コイル)では，電流は正弦ですが位相がずれます．また，整流回路では，その入力電流はオシロスコープで観測した波形にあるようなパルス状になり，正弦波ではありません．いずれでも力率は0.6から0.8くらいになります(図4-18)．

表4-4 スwitching式ACアダプタの詳細

AC入力電圧	AC入力電流	入力電力	皮相電力	力率	出力電圧	出力電流	出力電力	効率
97.5V	0.12A	7W	11VA	0.61	4.94V	1.14A	5.63W	80%

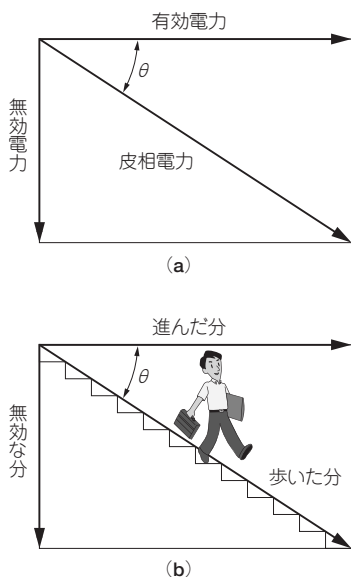


図4-17 有効電力と皮相電力の関係

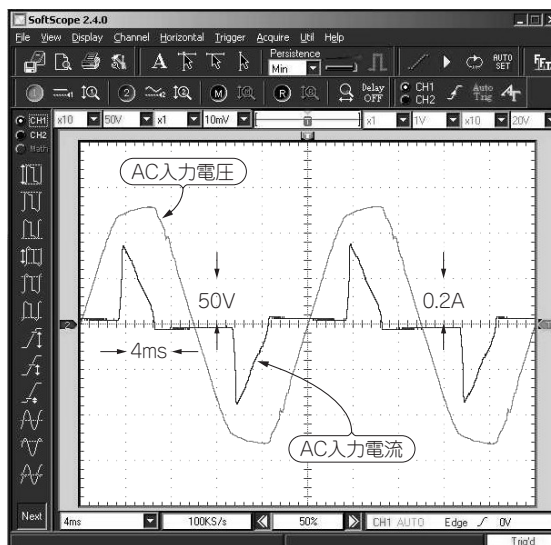


図4-18 5Vスイッチング式ACアダプタのAC入力電圧と電流(力率：0.61．PFC回路なし)

力率を1に近づけるのがPFC (Power Factor Correction : 力率改善回路) 回路です。図4-19のようにPFC回路は、整流回路とDC-DCコンバータ間に入り、力率を1近くまで引き上げます。出力が100W近い電源以上ではPFC回路が必須となっています。PFC回路分の電力消費は増えますが、力率向上は社会的な要求です。

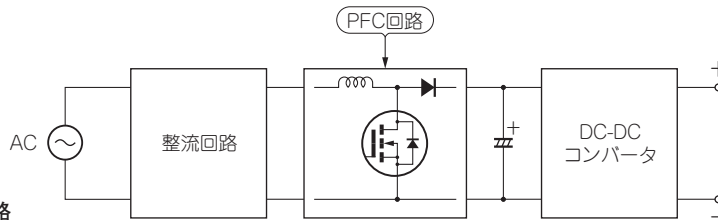


図4-19 PFC回路

Column 4-4 10年間のトータル・コストで比べる電球

初級

白熱電球と電球型蛍光灯で電気料金を比較しています。60W白熱電球は2個100円で買えるので1個は50円です。60W電球型蛍光灯の一般品を500円として、同じ電球型蛍光灯でも2倍、3倍するものもあります。さらにLED電球となると、ずっと高くなります。とかく購入価格に目が向きがちですが、10年間という期間で寿命を加味するとトータル・コストはどうなるのでしょうか？

1年間は24(時間)×365(日)で8,760(時間)、8時間点灯すると1/3で2,920時間となります。取り替えるタイミングを考える上で1年は切りよい2,000時間ということにしましょう。白熱電球の寿命は2,000時間といわれるので、バラつきはあるでしょうが白熱電球は1年で切れると仮定することになります。ということは10年では10個買わなければいけないので計500円になります。1個500円の一般的な電球型蛍光灯では寿命は6,000時間で、これは3年に相当します。10年では4個

買うことになるので計2,000円です。こんな考え方で10年間の電気料金を含めたトータル・コストを比較すると表のようになります。

白熱電球は当然レッドカード退場です。これと比べると残りの3種のトータル・コストの差は大きくはありません。したがって、一般的な電球型蛍光灯も悪い選択ではありません。しかし、交換が容易でない場所の照明では長寿命は大きな価値があります。高い電球型蛍光灯とLED電球は交換回数が少ないことにメリットを見い出せます。その意味で期間を15年、20年とさらに長くすればLED電球は抜きでた存在であることがはっきりします。

電球型蛍光灯2個が半年を待たず相次いで切れてしまったことがありました。一方、10年はおろか15年以上平気なものもあります。表のようなトータル・コストも頭に入れて賢い消費者になりましょう。

種類	価格例 [円]	消費電力 [W]	寿命 [時間]	10年間の購入費用 [円]	1kWhを20円とした10年間の電気料金 [円]	総計 [円]
白熱電球	50	56	2,000	500	22,400	22,900
電球型蛍光灯	500	15	6,000	2,000	6,000	8,000
電球型蛍光灯*	1,500	10	13,000	3,000	4,000	7,000
LED電球	4,000	8.6	40,000	4,000	3,440	7,440

*長寿命型



写真4-C シャープ製60W相当のLED電球

4.5 LEDの特性と電流制限抵抗

中級

4.5.4 LEDの電流制限抵抗

携帯電話、PC、液晶テレビなどのバックライトとしてLEDが使われています。ドライブ(点灯)回路は定電圧定電流(CVCC)動作をします。つまり、ある電圧を限度として、一定電流をLEDに流します。

私たちがアマチュアとしてLEDを点灯させるには、一定の電圧をかけて抵抗で電流を制限します。この方法は抵抗で消費される電力がむだになりますが、設計・製作が容易です。

写真4-23に示す基板には、白色LEDのNSPWR70ASが3個直列に取り付けてあります。電流はいくら流すのが適当か、そして、それに応じた制限抵抗(電流を制限するための抵抗)がいくらかを考えましょう。

図4-25に示すデータシートの周囲温度vs許容電流定格によれば、周囲温度40℃では35mAを流せます。しかし、それよりある程度高い60℃程度を想定すると20mAあたりに抑えるのがよさそうです。明るさは電流が大きいほど上がりますが、ある程度以上での明るさには差が感じられません。LEDは電流を抑えめにするのが常識になっています。

電源は12V出力のスイッチングACアダプタにします。LEDの V_F が3.3Vとして3個では約10Vなので、これより電圧が高く、手に入りやすいからです。

電流制限抵抗は計算では105Ωになるので、実際には100Ωとします。

回路図は図4-26のようになります。電流制限抵抗は、LEDの順電圧 V_F 、直列個数 n 、電流 I 、そして、電源電圧 E から次の式で計算できます(図4-27)。

$$R = \frac{E - n \times V_F}{I}$$

LEDの順電圧 V_F を発光色によって、

白, 青, 電球色……3V

黄, 赤, 緑……2V

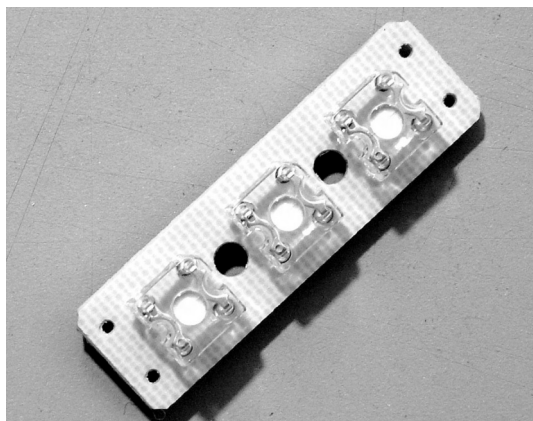


写真4-23 NSPWR70AS 3個を取り付けた基板

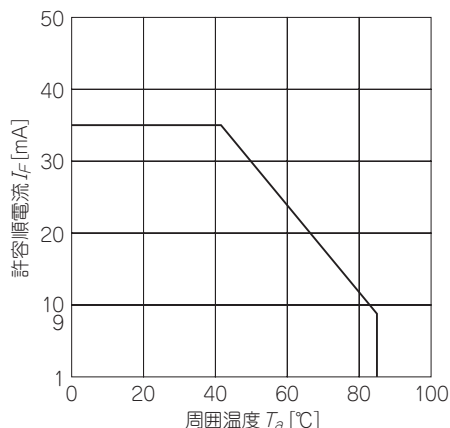


図4-25 周囲温度-許容電流定格

として概算値が計算できます。より確かな計算をするには、 V_F は各LEDのデータシートを参照してください。

参考までに、40個の黄色LEDを12Vで点灯させる例を図4-28に載せておきます。

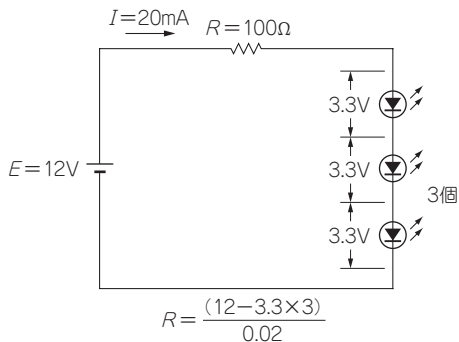


図4-26 LED 3個直列時の抵抗の値

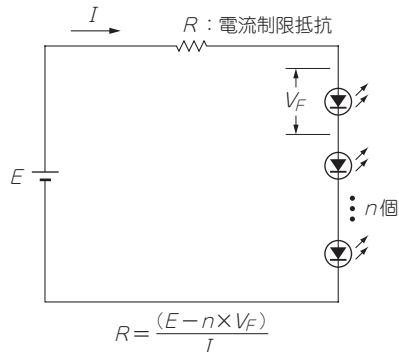


図4-27 LEDをn個直列につないだとき

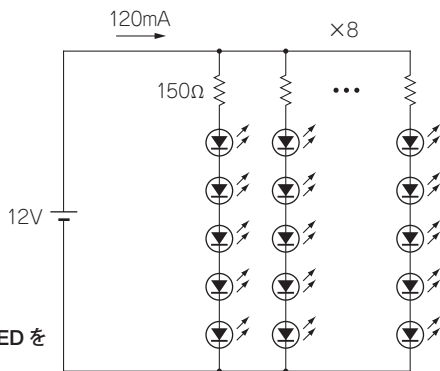


図4-28 40個の黄色LEDを12Vで点灯させる回路

直列に5個のLED、そして、150Ωが加わり1アームが形成され、この8アームが並列につながっている。各アームには12Vかかるので電流は $(12 - 5 \times 2) / 150$ で約15mA(計算上は13.3mA)流れ、計8アームなので合計電流は、およそ120mAとなる。

Column 4-8 定電流ダイオード (CRD)

中級

とくに電源電圧が変動する用途で、10mAあるいは15mAを流すには定電流ダイオード(CRD)が適しています(写真4-F)。ある電圧範囲なら電圧に関わらず電流を一定に保つ働きをします。10mAのE-103では3.5V以上の電圧で、ほぼ定電流となり、かけられる電圧は最高30Vです。また15mAのE-153では4.3V以上、最高25Vとなっています。

この電圧範囲を承知なら抵抗ではなく、すべて定電流ダイオードという選択もあります。

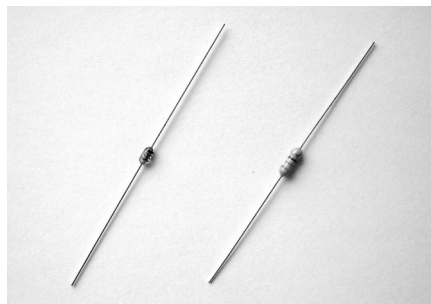


写真4-F 15mA定電流ダイオードE-153(と1/4W抵抗)

5.1 ACアダプタとAM受信ノイズ

5.1.2

ACアダプタのノイズ波形とFFT表示

中級

写真5-2に示すDE1103ラジオ付属のトランス式、そして6V出力スイッチング式を2種類の計三つのACアダプタに80Ωの抵抗を負荷としてつなぎ、この両端の電圧をオシロスコープで観測します(図5-2)。

図5-3に示すように、電圧はいずれも時間軸に対する変動はなく、トレースされた波形は水平で三つの差はありません。

次にDC成分をカットし、AC成分だけを感度を上げて観測します。2V/divを10mV/div, 20mV/divと、100倍, 200倍に電圧軸を拡大することになります。

p.72で紹介したオシロスコープSDS200Aは横軸を周波数としたFFT(*)表示ができるので合わせて見



写真5-2 いろいろなタイプのACアダプタ

スイッチング式
(6V 1.8A)

スイッチング式
(6V 2A)

トランス式(付属)
(8V 250mA)



図5-2 オシロスコープで三つの電源アダプタの出力を観測する

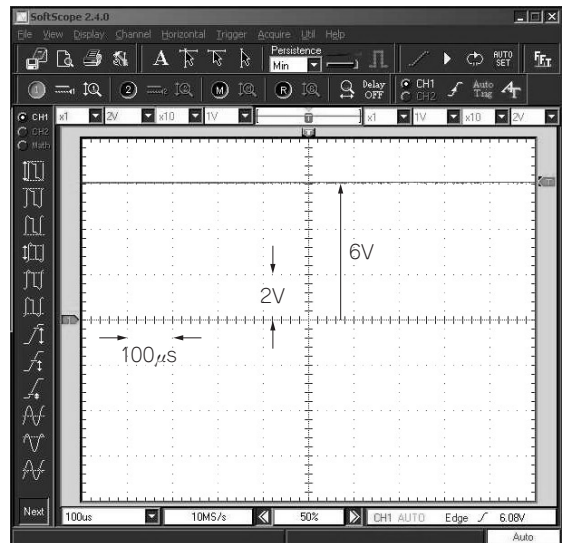
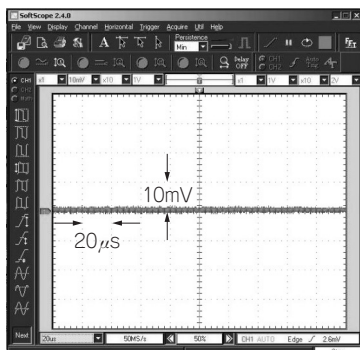


図5-3 図5-2の回路で測定した結果

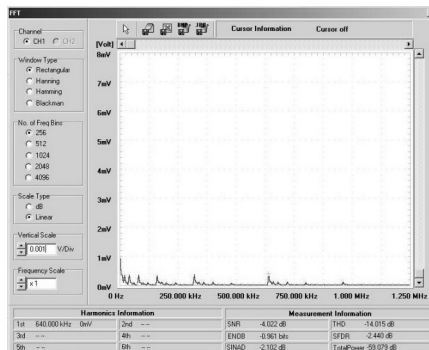
(*) FFT：フーリエ変換。横軸を周波数にとり、その周波数の信号のレベルを表示できる機能。

ることができます。このようなノイズの測定は難しい面があるので、あくまで相对比较です。

図5-4にトランス式、図5-5にスイッチング式6V 2A出力、図5-6にスイッチング式6V 1.8A出力の観測結果を示します。

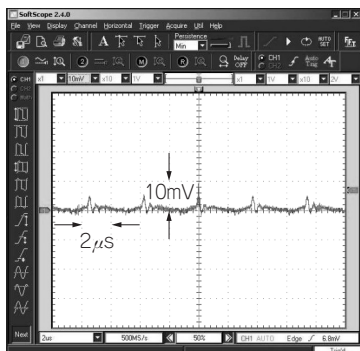


(a) 電圧：10mV/div.、時間：20µs/div. (シングル・トリガ)

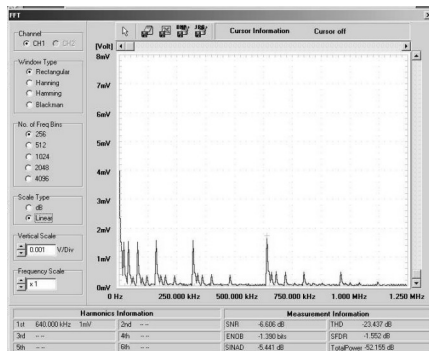


(b) FFT表示

図5-4 トランス式 8V 250mAの出力 (本体：58 × 44 × 38mm, 重さ：約194g)

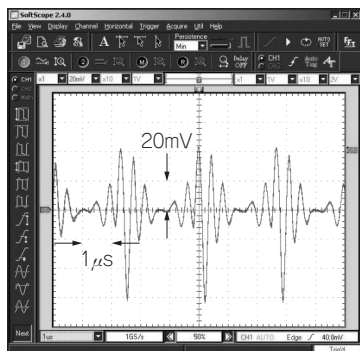


(a) 電圧：10mV/div.、時間：2µs/div. (128回平均化)

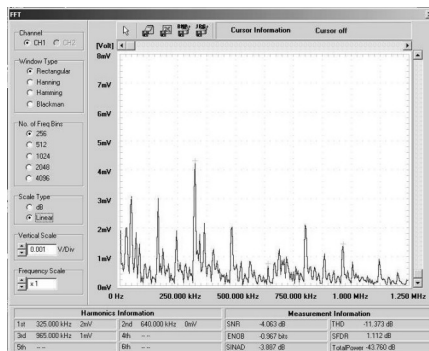


(b) FFT表示

図5-5 スイッチング方式6V 2Aの出力 (本体：54 × 48 × 26mm, 重さ：約88g)



(a) 電圧：20mV/div.、時間：1µs/div. (128回平均化)



(b) FFT表示

図5-6 スイッチング方式6V 1.8Aの出力 (本体：45 × 33 × 23mm, 重さ：約69g)

5.1 ACアダプタとAM受信ノイズ

5.1.3

ACアダプタ(電源方式)の長短

中級

オシロスコープで観測した波形は、なぜスイッチング式ACアダプタではAM放送でひどいノイズが聞こえ、FM放送ではノイズがなかったのかを語ってくれます。程度に差はありますが、スイッチング式ACアダプタでは数十kHzから数百kHzにかけてノイズがあり、これが微弱な電波を受けるAM放送の受信に障害となっています。FM放送の周波数は数十MHzと1,000倍も高いので影響がほとんどありません。同じスイッチング式ACアダプタでも、6V 1.8A出力で小型のほうはノイズが多く、これがAM放送を聞くに堪えられなくした理由です。

図5-7に示すように、リニア定電圧電源、つまり、トランス式ACアダプタの後に定電圧回路を加えた電源では、さらに低ノイズです。

ノイズが相対的に大きいからといって、その電源が使えないというわけではありません。電源にも適材適所があります。表5-1に特徴をまとめておきます。

AM放送で変なノイズが気になるようであれば、アンテナの向きを変える、ノイズ源から遠ざけるといのが対策になります。

AMレシーバ(ラジオ)は優れたノイズ検出器です。

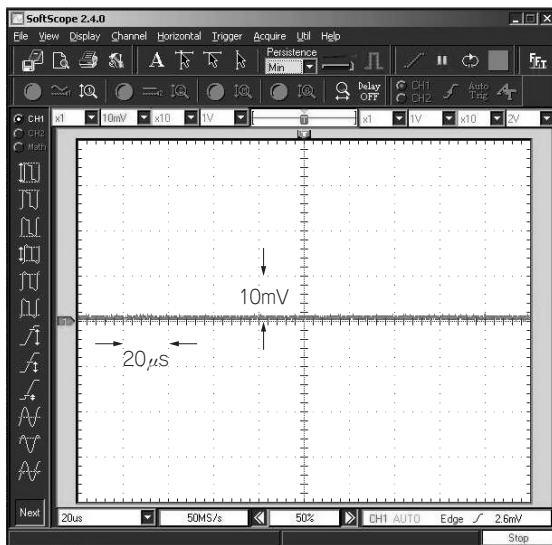


図5-7 リニア定電圧電源[電圧：10mV/div.、時間：20µs/div.(シングル・トリガ)]

表5-1 ACアダプタ(電源方式の違い)の長短

項目	トランス式ACアダプタ	スイッチング式ACアダプタ	トランス+リニア定電圧電源(3端子レギュレータ)
大きさ	大きい	小さい	最大
重さ	重い 例：5V 800mA 417g	軽い 例：5V 2A 69g	最大
定電圧出力	×	○	○
部品数	最小	多い	多い(少ない)
過電流保護	× (温度ヒューズ)	○	○
効率	低い 例：47%	高い 例：80%	最低
ノイズ	小さい	大きい	最小
価格	安い(大量) 高い(少量)	安い	最高(高い)
備考		小型、低価格化のあおりでノイズが大きいものがある	

5.2 メカニカル・スイッチと半導体スイッチ

5.2.1

スイッチ，リレー， そして，MOSFETの長短

中級

手に入りやすい三つのスイッチを比較します。写真5-3(a)は、トグル(ON/OFF切り替え)スイッチと呼ばれる手動メカニカル(機械式)スイッチでサトーパーツ SW-100-GS31A、写真(b)はHSINDA 941H-2C-5D型メカニカル・リレー、そして、写真(c)はルネサス テクノロジ製MOSFET 2SK3140(60V 60A)です。

まず、それぞれのデータシートをもとに素性を比べてみましょう。表5-2に比較を示します。リレーを含めて、メカニカル・スイッチの特徴はOFF時の抵抗が1,000M Ω と高いことで、これは文字通り完全なオープン状態です。対して、半導体スイッチである2SK3140で、60Vで10 μ A以下は6M Ω 以上に相当し、完全なオープン状態ではありません。また、ソースからドレインはダイオードとみなせるので、都合がよいことがある反面、足手まといになることもあります。

さらに、MOSFETをはじめとする半導体は、取り扱いには十分注意しなければなりません。しかし、MOSFETはON/OFFが速く、寿命も何万回という言い方ができないほど長寿命です。これはメカニカル・スイッチには逆立ちしても真似ができない長所です。

リレーの寿命ですが、図5-8のグラフにあるように、ON/OFFするのがACなのかDCなのか、そして電流の大きさで変わります。10万回あたりがめどのです。これは1日100回ON/OFFさせて1,000日、2.7年に相当します。



写真5-3 (a) 手動メカニカル・スイッチ (b) メカニカル・リレー (c) 半導体スイッチ MOSFET

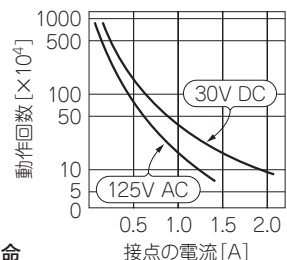


図5-8 リレーの寿命

表5-2 スwitch, リレー, MOSFETの特徴

項目	手動メカニカル・スイッチ	メカニカル・リレー	半導体スイッチ MOSFET
型名	SW-100-GS31A	941H-2C-5D	2SK3140
回路	単極双投 (ON または OFF)	2極双投 (ON または OFF)	ゲート電圧でD-S間抵抗が変化
定格電圧・電流	AC125V-6A, AC250V-3A (抵抗負荷)	AC125V-1A, DC30V-1.25A 最大2A	60V 60A
耐電圧	端子間 AC1,000V (1分間) 端子-アース間 AC1,500V (1分間)	開放端子間 AC500V (1分間) 端子間 AC1,000V (1分間)	ドレイン-ソース間 60V ゲート-ソース間 \pm 20V
絶縁抵抗	DC500V 1,000M Ω 以上	DC500V 1,000M Ω 以上	10 μ A以下 (6M Ω 以上) @ $V_{DS} = 60V, V_{GS} = 0V$
ONするための電圧	-	5V	5V (4~10V)
ONを維持させる電流	-	20mA	0
ON時抵抗	10m Ω 以下 (初期値)	100m Ω 以下 (初期値)	7.5m Ω 以下 ($V_{GS} = 10V$)
ON時間	-	6ms以下 (コンタクト)	0.31 μ s (typ)
OFF時間	-	3ms以下 (リリース)	0.86 μ s (typ)
電氣的寿命	30,000回以上 (定格負荷)	100,000回以上 (グラフ参照)	正しい使い方ならたとえ10年
機械的寿命	50,000回以上		

5.2 メカニカル・スイッチと半導体スイッチ

5.2.2

スイッチ，リレー， MOSFETのON/OFFのようす

中級

写真5-3に示したスイッチは，内部は図5-9のように表します。

手動メカニカル・スイッチは人間が手で操作します。対して，リレーやMOSFETは電氣的にON/OFFします。サンプルとしたリレーとMOSFETは，ともに5Vの電圧でONさせることができます。オシロスコープの助けを借りて，ON/OFFのようすを比べてみましょう。図5-10の試験回路を使います。

電流は0.5A，リレーとMOSFETをドライブする電圧5Vは共通です。オシロスコープのCH₁はドライブ電圧，CH₂はスイッチ両端の電圧です。スイッチ両端の電圧は，スイッチがOFFなら5V，ONならほぼ0Vになります。

リレー941H-2C-5Dのデータシートによれば，OFFからONになる電圧(ピックアップ電圧)は4V以下，ONからOFFになる電圧(ドロップ・アウト電圧)は0.225V以上となっています。実測では，それぞれ3.2V(電圧の方向によって0.04Vの差あり)と0.68Vでした。ONを維持するには20mAを流し続ける必要がありました。2SK3140はMOSFETの性質で，ONさせるには5Vの電圧をかけるだけでよく，電流は流れません。

図5-11に手動スイッチの測定結果を示します。とくにON時には，接点がつく，離れるというチャタリング現象(ON/OFF切り替え時に，ON/OFFが短時間に何度も繰り返される)が見られます。マイコン回路でよく使われるプッシュ式のタクト・スイッチでも同じ現象が起きます。ハイ，または，ローを1回だけ検出するなら問題にはなりません，パルス数をカウントする場合にはチャタリングを防止する回路が必要です。

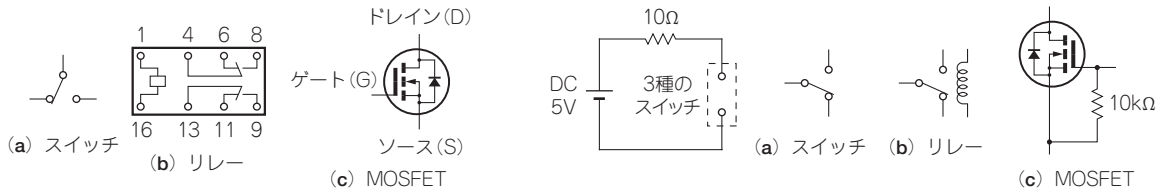


図5-9 スwitchの回路記号

図5-10 各種スイッチの特性を見る回路

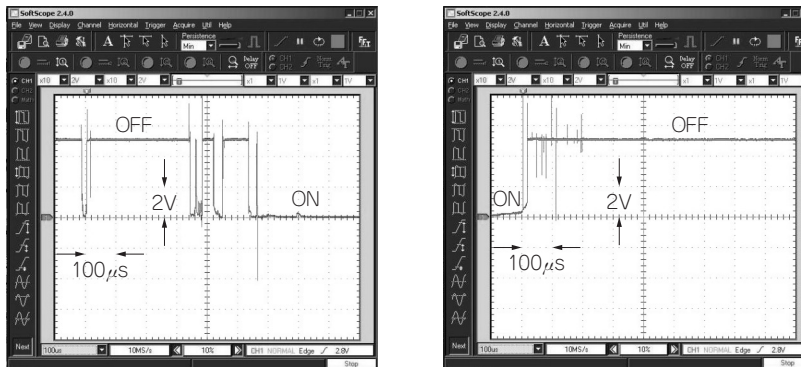


図5-11
手動スイッチ

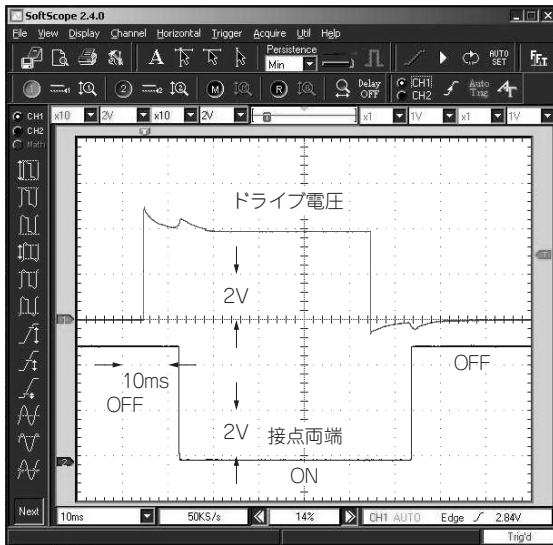
(a) スwitch両端OFFからON

(b) スwitch両端ONからOFF

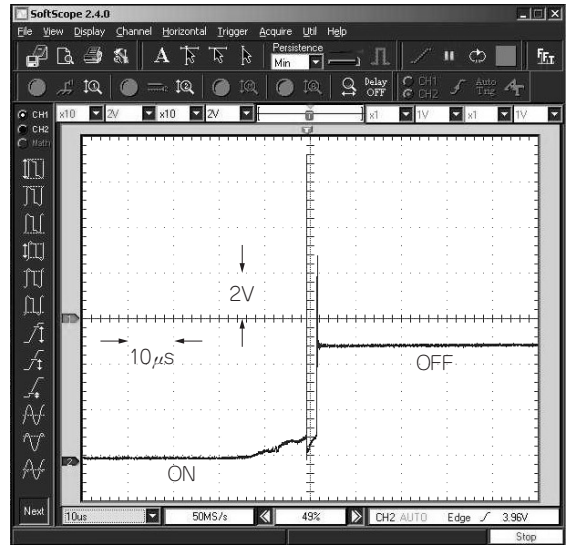
図5-12にメカニカル・リレーの測定結果を示します。このリレーでは、ドライブ電圧が変化してから接点が反応するまでに数msの遅れがあります。それを別にすれば、切り替わり自体は相当な速さです。このリレーではチャタリングは起きていませんが、手動スイッチと同様に起きるものもあります。

図5-13に半導体スイッチの測定結果を示します。MOSFETはゲート-ソース間に10kΩをつなぎました。ゆっくり目の動かし方ですが、それでもメカニカル・スイッチと比べれば段違いの速さです。

3種類のスイッチがON/OFFするようすをオシロスコープで観測しました。ここで得られた結果は、オシロスコープならではのもので、普段は気づかない現象を知ることができます。



(a) ONからOFF



(b) 接点両端OFF時

図5-12 メカニカル・リレー

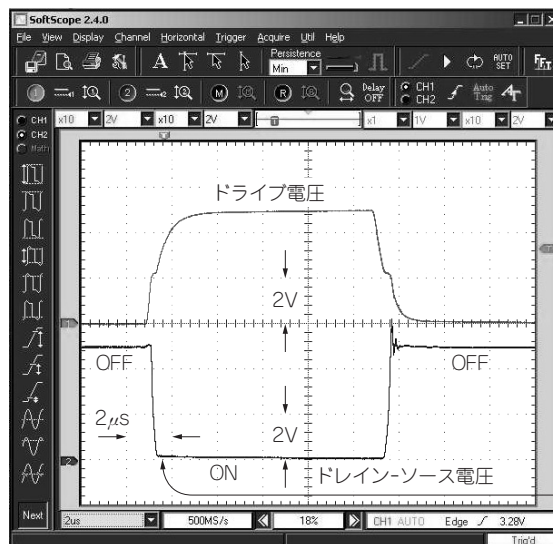


図5-13 半導体スイッチ
(MOSFET. OFF→ON→OFF)

時間軸に注目

まず次のコマンドを実行し、PIC-BASICが出力できる最小パルス幅をオシロスコープで観測します。ビット0をHighにした直後にLowに戻し、これを繰り返します。観測するのは、MOSFET出力回路のゲート-ソース間電圧 V_{GS} です。

```
START
  High RD.0
  Low RD.0
  Goto START
```

図7-6に示すように、3.9kHz (256 μ s周期)で38 μ s幅のパルスが出力されました。BASICといえども、この程度の速さがあります。

PIC16F873 (A), 877 (A)にはPWM信号を出力する機能がありますが、PIC-BASICでLEDの明るさをPWMによってコントロールします。20秒といった長い時間をかけて徐々に明るさを変化させるので、目で確認しながらプログラムを修正していきました。白LEDを暗くしながら橙LEDを明るくする部分を、リスト7-1に示します。

次に、MOSFETのゲート-ソース間電圧 V_{GS} をオシロスコープで観測して、橙LEDが次第に明るくなるようすを見ましょう。結果を図7-7に示します。ONしている時間が明るさによって適切に出力されていることがわかります。

1周期が60Hz台なので、ちらつきが気になるかどうか、ぎりぎりの線でのPWM制御ということになります。白LEDを暗くする、そして、橙LEDを明るくするのを同時に制御しているのがみそです。

BASICでもPWM制御ができる見本とお考えください。

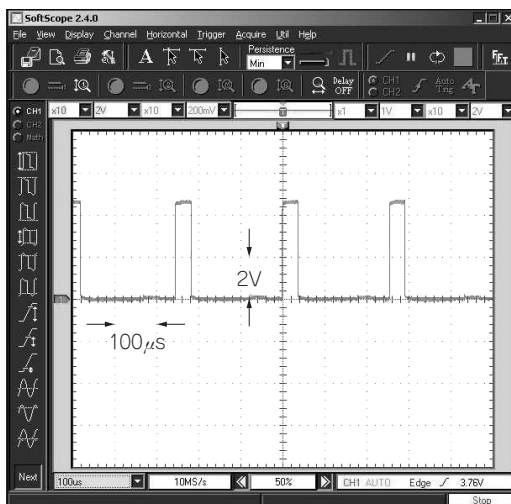
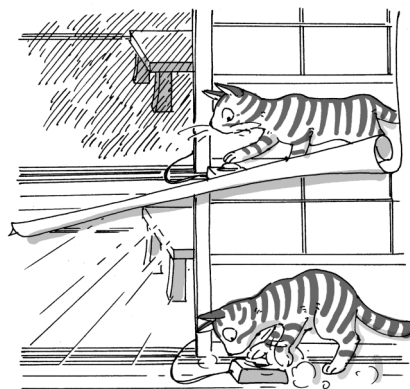


図7-6 プログラムを実行して出力パルスを観測



リスト7-1 白LEDを暗くしながら橙LEDを明るくする部分のプログラム

```

Steps=70
Loops=25
Start:
High RD.0 '白LED
Low RD.1 '橙LED
UpBit=1
DownBit=0

  For N=1 To Steps-1

    For X=1 To Loops

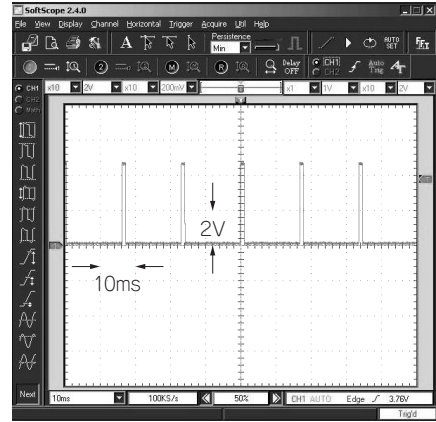
      Gosub UpDown

    Next X

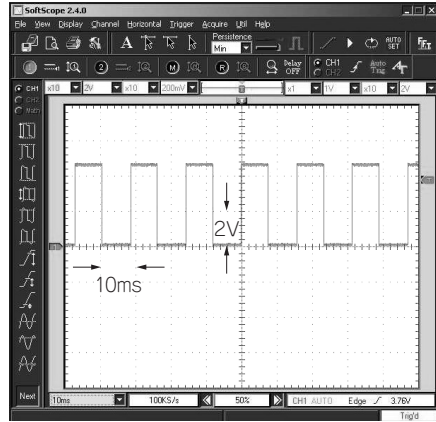
  Next N

  Goto Start
UpDown:
  '
  High RD.UpBit
  Low RD.DownBit
  For A=1 To N+1
  Next A
  Low RD.UpBit
  High RD.DownBit
  For A=1 To Steps-N+1
  Next A
  Return
    
```

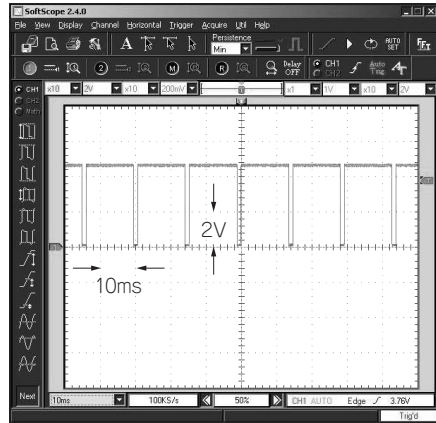
サブルーチン
(繰り返されて使われる部分を共通化して何度も使えるようにする部分をサブルーチンと呼ぶ)



(a) MOSFET V_{GS}
LEDが最も暗いに近い状態(60Hz, ONパルス幅0.8ms)



(b) MOSFET V_{GS}
LEDが明るさが中くらい(64Hz, ONパルス幅7.2ms)



(c) MOSFET V_{GS}
LEDが最も明るいに近い状態(67Hz, ONパルス幅13.4ms)

図7-7 MOSFETのゲート-ソース間電圧 V_{GS}

