

3021

キットハイテスタ

解答書

はじめに

本書は日置キットハイテスタ『3021』の組立・取扱説明書にある練習問題の解答、試験結果のまとめ方の一例及び組立不良のチェックと修理方法について述べております。

記載されております試験結果のまとめ方、組立不良のチェックと修理方法については、一例であり、このとうりにならない場合もあります。

本書の構成は、1ページ～4ページが試験結果のまとめ方、5ページ～13ページが練習問題の解答、14ページ～21ページが組立不良のチェックと修理方法となっております。皆様方の学習の一助になれば幸いです。

5-4 テスタにおける誤差率の表わし方

メータでも同じですが、誤差率は指示値に対する値ではなく最大目盛値に対する値で表わすようになっています。例えば、AC 120 Vレンジで商用電源を測定した時にテスタは100Vを、標準器は102Vを指示した場合、このテスタの誤差は、

$$\frac{100-102}{120} \times 100 = -1.67\% \text{ であって}$$

$$\frac{100-102}{102} \times 100 = -2\% \text{ ではありませんので注意が必要です。}$$

これはメータの誤差の原因には、零位調整器の合せ違いとか摩擦のように指示値の大小に関係のないものが含まれているためです。なおΩ計のように目盛が不均等な場合は、目盛の長さ（目盛線の弧の長さ）に対する値で表わすことになっています。このテキストもすべて誤差の扱いは最大目盛値に対する値で示し、指示値に対する値ではありません。

5-5 テスタの試験

(1) 最大目盛値の校正

テスタの各レンジにおける最大目盛値を校正します。Ω計は最大目盛値と言うわけにゆきませんので中央目盛値で試験します。このテスタでは、この誤差が±3%以内であれば規格を満足していることとなります。

(a) 電圧計・電流計

テスタの 最大目盛値 (M)	標準器の読み (T)	誤差値 (ε) = M - T	誤差率 (%) (ε%) = $\frac{\epsilon}{T} \times 100$
DC 1000 V	1008	-8	-0.8%
300 "	304.2	-4.2	-1.4%
120 "	121.2	-1.2	-1%
30 "	30.3	-0.3	-1%
12 "	12.06	-0.06	-0.5%
3 "	3.01	-0.01	-0.3%
0.3 "	0.3012	-0.0012	-0.4%
DC 300mA	299.4	+0.6	+0.2%
30 "	30.21	-0.21	-0.7%
50μA	50.36	-0.36	-0.7%
AC 1000 V	992	+8	+0.8%
300 "	298.5	+1.5	+0.5%
120 "	118.4	+1.6	+1.4%
30 "	29.75	+0.25	+0.8%
12 "	12.03	-0.03	-0.2%

(b) 抵抗計

試験は、中央目盛値で行います。抵抗計の場合は不等分目盛のため目盛長に換算して、目盛長の何%と言うように表わします。なお誤差値は表にはありませんが、 $\epsilon = M - T$ となります。

レンジ	試験点(中央 目盛値)(M)	目盛長(振れ角) に対する%(M')	標準器の読み (T)	指針の位置% (T) = $(M/(M+T)) \times 100$	誤差率 (ε%) = $T' - M'$
R×1	100Ω	50.0%	101Ω	49.8%	-0.2%
R×10	1kΩ	50.0%	0.99kΩ	50.3%	+0.3%
R×100	10kΩ	50.0%	9.96kΩ	50.1%	+0.1%

(2) 目盛特性試験

これは、目盛の打ち方が正しいかどうかを試験するもので、最大目盛が正確であったと仮定した時の途中の目盛における誤差率を調べます。したがって同じ目盛分割を共用している場合は、同じ誤差となります。(ただし、ACVレンジの場合は、整流器特性の影響が低いレンジに多く現れます。)これを考慮して直流目盛の試験にDC 3Vレンジ、専用目盛のあるAC 12Vレンジ、それに整流器の影響を考慮してAC 30Vレンジを試験します。Ω計の場合は計算方法が異なりますので、別項目にしました。試験はR×10レンジで行います。

(a) 電圧計・電流計目盛試験

レンジおよび試験点 (M)	最大目盛値に対する % (M')	標準器の読み (T)	最大目盛値データ に対する% (T')	誤差率 (ε%) = M' - T'
DC 3V 3V	100.0%	3.01	100.0%	0.0%
2.5"	83.3"	2.522	83.8%	-0.5%
2.0"	66.7"	2.017	67%	-0.3%
1.5"	50.0"	1.514	50.3%	-0.3%
1.0"	33.3"	1.008	33.5%	-0.2%
0.5"	16.7"	0.491	16.3%	+0.4%
AC 30V 30V	100.0%	30.3	100.0%	0.0%
25"	83.3"	25.36	83.7%	-0.4%
20"	66.7"	20.27	66.9%	-0.2%
15"	50.0"	15.21	50.2%	-0.2%
10"	33.3"	10.06	33.2%	+0.1%
5"	16.7"	4.88	16.1%	+0.6%
AC 12V 12V	100.0%	12.03	100.0%	0.0%
10"	83.3"	10.09	83.9%	-0.6%
8"	66.7"	8.05	66.9%	-0.2%
6"	50.0"	5.99	49.8%	+0.2%
4"	33.3"	3.91	32.5%	+0.8%
2"	16.7"	1.86	15.5%	+1.2%

(b) 抵抗計目盛試験

試験はR×10レンジで行います。なお、(T')の計算式におけるM(中央値)は1kΩとなります。

レンジ	試験点	目盛長(振れ角) に対する% (M')	標準器の読み (T)	指針の位置 % (T') = $\{M/(M+T)\} \times 100$	誤差率 (ε%) = T' - M'
R×10	200Ω	83.3%	197Ω	83.5%	+0.2%
"	500Ω	66.7"	494Ω	66.9%	+0.2%
"	1kΩ(M)	50.0"	0.996kΩ	50.1%	+0.1%
"	2kΩ	33.3"	1.984kΩ	33.5%	+0.2%
"	5kΩ	16.7"	5.04kΩ	16.6%	-0.1%

5-6 結果のまとめ

今までの試験結果をグラフに記入します。製造No、試験条件は、

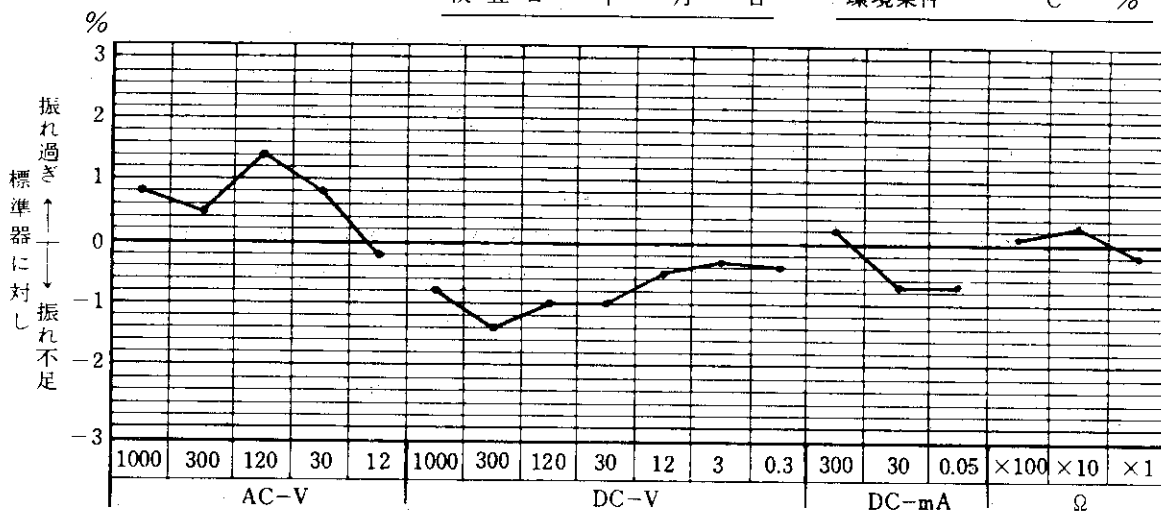
製造番号

試験者名

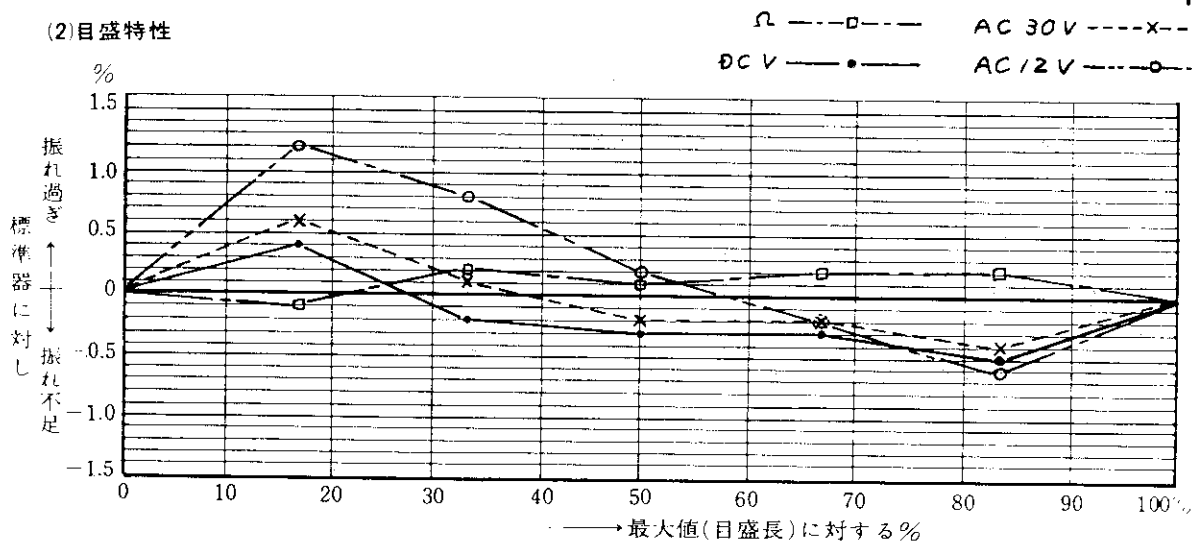
(1)最大目盛値

検査日 年 月 日

環境条件 ℃ %



(2)目盛特性



(3)学 習

任意の測定値たとえば、AC 120VレンジにおけるAC 100Vの誤差は、最大目盛値の誤差(レンジ誤差)と目盛特性(中間誤差)の2つを合せた値となります。任意の測定値に対して、これらの誤差がどのように影響するかを考えて、どのようにすればこの点の誤差率が求まるか考えて下さい。

①最大目盛値に対する誤差率を求める式はどうなりますか？

②同様に指示値に対する誤差率は？

29 ページ、問題の回答

- レンジ誤差は、使用抵抗やメータ感度の誤差等、設計数値のバラツキに原因する誤差と考えられる。このため、誤差は測定値が変わっても同じ%の誤差となる。すなわち、測定値に対する誤差となる。したがって、この値を最大目盛値に対する値に換算するためには、最大目盛に換算した目盛位置（測定値 / 最大目盛値）を乗ずれば良い。式で表わすと、レンジ誤差 × (測定値 / 最大目盛値) となる。
- 中間誤差は、データ処理の項で説明した通り、最大目盛値に対する値に換算してある。したがって、この値を測定値に対する値に換算するためには、最大目盛に換算した目盛位置で割れば良い。式で表わすと、中間誤差 ÷ (測定値 / 最大目盛値) となる。
- AC120Vのレンジ誤差は、5 - 6項(1)のAC120V欄より、1.4%となる。
- またAC120Vレンジは、DCと同じ目盛特性となる。AC100Vにおける目盛位置は(100V / 120V) = 83.3%，したがってAC100Vにおける中間誤差は、5 - 7項(2)のグラフのDC・V曲線と83.3%の交点より、-0.5%となる。
- したがって問(1)に対しては、
 - レンジ誤差は、測定値に対する値のため、最大目盛値に対する値に換算する。
すなわち、 $1.4\% \times (100V / 120V) = 1.16\%$
 - 中間誤差は、最大目盛値に換算してあるため、そのままの値で良い。すなわち、-0.5%
 - 求めるAC100Vの点の最大目盛値に対する誤差は、(1)+(2) = $1.16 + (-0.5) = 0.66\%$ となる。
 - 式で表わすと
最大目盛値に対する誤差 = (レンジ誤差) × $\frac{(\text{指示値})}{(\text{最大目盛値})}$ + (中間誤差)
- 問(2)に対しては、
 - レンジ誤差は、そのままの値で良い。すなわち1.4%
 - 中間誤差は、測定値に対する値に換算する。すなわち、
 $-0.5 \div (100V / 120V) = -0.6\%$
 - 求めるAC100Vの点の測定値に対する誤差は、
(1)+(2) = $(1.4) + (-0.6) = 0.8\%$
 - 式で表わすと
指示値に対する誤差 = (レンジ誤差) + (中間誤差) ÷ $\frac{(\text{指示値})}{(\text{最大目盛値})}$

6. テスタ回路の設計

回路設計を行う訳ですが、このテスタの抵抗値は、計算値と多少異っています。それは計算値をE₁₉₂という数値系列表に従って数値を丸めているためです。

なお計算は、4桁まで行い、4桁目を4捨5入して下さい。

6-1 メータ回路

このテスタには、可動コイル形直流電流計（以後メータと呼ぶ）が使用されています。メータのみでテスタ回路を設計しますとメータ内部のコイル抵抗のバラツキや温度係数（このメータのコイル銅線の場合、10℃の温度上昇でコイル抵抗値が4%増加する。）の為に、誤差のバラツキや使用する温度によって指示値が変動する等の欠点をもつテスタとなってしまいます。これらの影響を小さくするために温度係数が小さく、正確な値をもった抵抗器を直列に入れ、補正して使用します。

このテスタは、以上の様なことを考慮して、メータ回路の電圧降下を300mVに設定してあります。メータはフルスケール感度50μA、内部抵抗1.05kΩのものを使用していますので、これらの条件を使って直列抵抗値を計算します。まずメータ回路の全抵抗をR_M、回路電流をI_M、電圧降下をE_MとするとI_Mはメータ感度につき50μA、E_Mは設計条件より300mVとなります。したがってR_Mはオームの法則(3)式(ページ)により(図6-1-(1)参照)

$$R_M = \frac{E_M}{I_M} = \frac{300 \text{ mV}}{50 \text{ } \mu\text{A}} = \frac{300 \times 10^{-3} \text{ V}}{50 \times 10^{-6} \text{ A}} = 6 \times 10^3 \Omega = 6 \text{ k}\Omega$$

またメータの内部抵抗をr_mとするとr_m=1.05kΩより、直列抵抗R₁₈は、

$$R_{18} = R_M - r_m = 6 \text{ k}\Omega - 1.05 \text{ k}\Omega = 4.95 \text{ k}\Omega$$

となります。メータ回路には、この他に、過負荷保護回路が付き、図6-1-(2)の様になります（間接的にはD₃、R₁₁で構成されたヒューズ式過負荷保護回路も含まれる）が回路説明でのメータ記号では、R₁₈も含んだ50μA f.s.、6kΩまたは、50μA f.s.、300mVのメータとして扱います。(ACVは除く)。

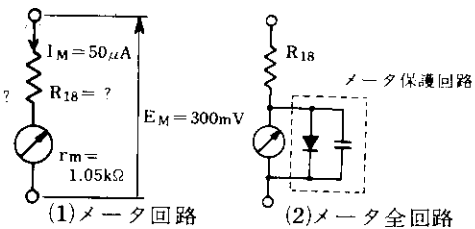


図6-1メータ回路

6-2 メータ過負荷保護とヒューズ式過負荷保護について

シリコンダイオードの場合、順方向に徐々に電圧を加えた場合、ある電圧（約0.5V）を越えた点から急に電流が流れ出す（内部抵抗が低くなる図6-2）という性質があります。この性質を利用してメータとシリコンダイオードを並列に接続しておく、メータ端子間に一定以上の電圧（すなわち過負荷状態）が加わると、ダイオードにも電流が流れる様になりメータに流れる電流がそれほど増加しなくなります。このテスタは両方向から流れる電流に対して保護する為に極性を違えて2本使用しています。(D₂、D₃)なおコンデンサは交流に対する影響を避ける為です。(但しDC 120V、300V、1000V、300mAは一方向だけです。)

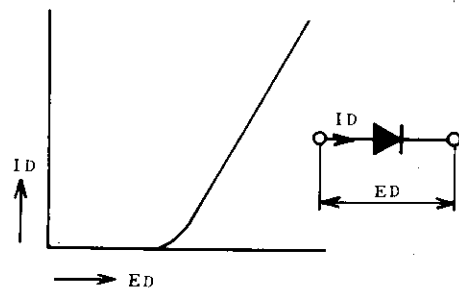


図6-2 ダイオードの順方向特性

次にこのテスタには、故障の原因の大半を占める電流計、抵抗計で誤って電源電圧(コンセント)を測定しようとするなどの誤使用による抵抗焼損を防止する回路(AC 250Vまで)が組込まれています。

これを図6-3の電流計回路を例に説明致します。

電源電圧は6-6交流電圧計の項で説明されている様に+、-に振動していますので⊕側の場合と、⊖側の場合を分けます。仮に⊕端子側が⊕(正)の電位になった場合、電流はメータ回路と分流器(R_s)に流れます。逆に⊖端子が⊕(正)の電位になった場合は、ダイオード(D₃)と捲線抵抗(R₁₁)にほとん

ど流れヒューズを溶断します。(もちろんメータ回路、分流器にも多少は流れる…レンジによって異なる)ゆえに、抵抗にて負担する過負荷は、一周期の $\frac{1}{2}$ で済むことになる。(もちろんその期間過負荷に耐えられる抵抗を選択してあります)すなわち、レンジによっては、ヒューズが溶断せず抵抗が焼損する場合がありますが、この回路では確実にヒューズによって回路を保護することができます。(DC 300mAレンジは、ヒューズのみ。これで十分です)抵抗計の回路も同様な方法で行っています。なお、ダイオード(D₃)に直列に接続されている捲線抵抗器(R₁₁)は、サージ電流によってダイオード(D₃)が破損することを防止する限流用の抵抗として入っているものです。(DC 300mAレンジ用分流器と共用)

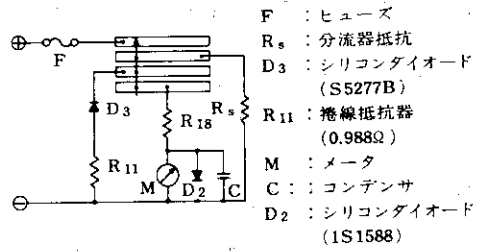


図6-3 ヒューズ保護回路

6-3 直流電流計

●説明

メータの動作電流より大きな電流を測れるようにするには図6-4のように電流計に並列抵抗R_sを接続します。これは測定電流IをR_sに分流させてメータにはI_Mだけを流す役目を持ちます。このため、この抵抗R_sを分流器と呼びます。図より、端子間電圧をE_Mとすると、オームの法則よりE_M = I_M · R_Mしたがって分流器の抵抗R_sは、

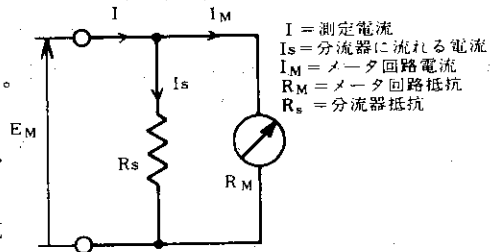


図6-4 直流電流計基本回路

$$R_s = \frac{E_M}{I_s} = \frac{E_M}{I - I_M} \dots (7)$$

設計する電流計の最大目盛値Iとメータの最大目盛値との比、すなわち分流比をmとすれば、

$$m = \frac{I}{I_M} \text{ したがって } I = m \cdot I_M$$

これを(7)式に代入して、

$$R_s = \frac{E_M}{I - I_M} = \frac{I_M \cdot R_M}{m \cdot I_M - I_M} = \frac{R_M}{m - 1} \dots (8)$$

(7)式は原理を理解するのに、また(8)式は分流器を理解するのに都合の良い式です。

●実際の回路

このテストの直流電流計回路は図6-5のようになります。ここで使う式は(8)の式を使うことにします。

ここでメータ定数はR_M = 6kΩ、I_M = 50μAです。

a) DC 50μA

この場合は測定電流とメータ動作電流が同じですから分流器は不要ですが、一応計算してみますと、

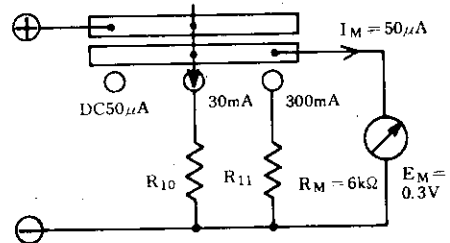
$$I = 50\mu A, I_M = 50\mu A, \text{ したがって } m = 1$$

$$R_s = \frac{R_M}{m - 1} = \frac{6k\Omega}{1 - 1} = \infty$$

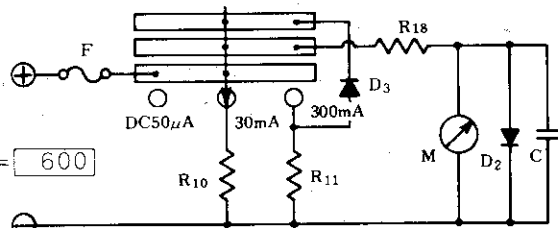
b) DC 30mA、I = 30mA

$$m = \frac{I}{I_M} = \frac{30 \times 10^{-3}}{50 \times 10^{-6}} = 0.6 \times 10^3 = 600$$

$$R_{10} = \frac{R_M}{m - 1} = \frac{6 \times 10^3\Omega}{600 - 1} = 10\Omega$$



(1) 直流電流計回路



(2) 実際の回路

図6-5 直流電流計回路

c) DC 300mA、I = 300mA

$$m = \frac{I}{I_M} = \frac{300 \times 10^{-3} \text{A}}{50 \times 10^{-6} \text{A}} = 6 \times 10^3 = 6000$$

$$R_{II} = \frac{R_M}{m-1} = \frac{6 \times 10^3 \Omega}{6000-1} = \frac{6000 \Omega}{5999} = 1 \Omega$$

なおここで計算した抵抗値の中にスイッチの接触抵抗や配線導線の抵抗等が含まれているのでR_{II}のように抵抗値の少ない場合は、この誤差を無視できなくなり、これを差し引かねばなりません。

この抵抗値を約0.012Ωと見込んであるのでR_{II}は、

$$R_{II} = (\text{計算の抵抗値}) - (\text{配線部分の抵抗値}) = 1 \Omega - 0.012 \Omega = 0.988 \Omega$$

6-4 直流電圧計

●説明

メータ（直流電流計）に直列に抵抗を接続して抵抗に流れる電流を測定することにより直流電圧計となります。このことはオームの法則(1)式を使って説明します。なおこの場合の抵抗器を倍率器と呼びます。

電圧計の測定範囲（最大目盛値）をE、メータ回路電圧をE_M、メータ回路電流をI_M、倍率をm（EとE_Mの比、E/E_Mで表わす）とすると図6-6より測定電圧Eは、メータ電圧（E_M）と倍率器電圧降下E_Rを加えたものであり、E_Rはオームの法則(1)式より計算できる。

すなわち、

$$E_R = R_A \cdot I_M, E = E + E_M \text{ となるので}$$

$$R_A = \frac{E_R}{I_M} = \frac{E - E_M}{I_M} \dots\dots\dots(9)$$

また、メータ回路電流の逆数すなわち1/I_MをΩ/V（オームパーボルトと呼ぶ……電流の逆数は、R/Eこれを単位名で呼んだもの）とすると(9)式は、

$$R_A = (E - E_M) \cdot \frac{1}{I_M} = (E - E_M) \times (\Omega/V) \dots\dots\dots(10)$$

さらにE_R = R_A · I_Mの式を変形するとI_M = E_M/R_Mとなり倍率比(m)を使って(9)式を変形するとm = E/E_Mなので、

$$R_A = \frac{E - E_M}{\frac{E_M}{R_M}} = (E - E_M) \frac{R_M}{E_M} = \left(\frac{E}{E_M} - 1 \right) \cdot R_M = (m - 1) \cdot R_M \dots\dots\dots(11)$$

(10)式の、Ω/Vは1Vあたりの内部抵抗と考えることができ、テストの最大目盛値にこのΩ/Vを乗ずるとその内部抵抗が計算できることから、テストの様に電圧レンジが多数ある場合によく使われる数値です。

●実際の回路

このテストの直流電圧計回路は図6-7の通りです。ここで使用する式は、(9)(10)(11)いずれを使用しても良いわけですが、ここでは、Ω/Vの考え方を理解する為に(10)式で行うことにします。メータの回路電流は50μAなので、

$$\Omega/V = \frac{1}{I_M} = \frac{1}{50 \times 10^{-6} \text{A}} = 20 \text{k}\Omega/V \text{ となります。}$$

a) DC 3Vレンジ

$$E_M = 0.3 \text{V}, E = 3 \text{V}$$

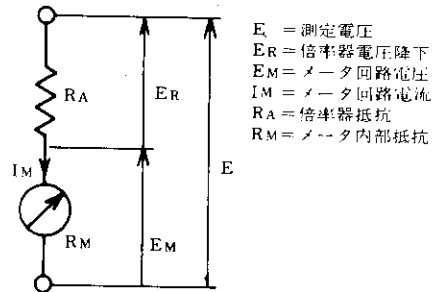


図6-6 直流電圧計の基本回路

$$R_9 = (E - E_M) \times \Omega / V = (E - E_M) \times 20k\Omega / V$$

$$= (\boxed{3} \text{ V} - \boxed{0.3} \text{ V}) \times 20k\Omega / V = \boxed{54} \text{ k}\Omega$$

b) DC 12Vレンジ

a)と同様に計算しても良い訳ですが、考え方を変えて3Vレンジまでをメータ回路と考えると、 $E_M = 3V$ 、 $E = 12V$ として計算すると、

$$R_8 = (\boxed{12} \text{ V} - \boxed{3} \text{ V}) \times 20k\Omega / V = \boxed{9} \text{ V}$$

$$\times 20k\Omega / V = \boxed{180} \text{ k}\Omega$$

c) DC 30Vレンジ

b)と同様に12Vレンジまでを E_M と考えると、

$$R_7 = (\boxed{30} \text{ V} - \boxed{12} \text{ V}) \times 20k\Omega / V = \boxed{18} \text{ V}$$

$$\times 20k\Omega / V = \boxed{360} \text{ k}\Omega$$

d) DC 120Vレンジ

b)と同様に30Vレンジまでを E_M と考えると、

$$R_6 = (\boxed{120} \text{ V} - \boxed{30} \text{ V}) \times 20k\Omega / V = \boxed{90} \text{ V}$$

$$\times 20k\Omega / V = \boxed{1800} \text{ k}\Omega = \boxed{1.8} \text{ M}\Omega$$

e) DC 300Vレンジ

b)と同様に120Vレンジまでを E_M と考えると、

$$R_5 = (\boxed{300} \text{ V} - \boxed{120} \text{ V}) \times 20k\Omega / V = \boxed{180} \text{ V}$$

$$\times 20k\Omega / V = \boxed{3600} \text{ k}\Omega = \boxed{3.6} \text{ M}\Omega$$

f) DC 1000Vレンジ

b)と同様に300Vレンジまでを E_M と考えると、

$$R_4 = (\boxed{1000} \text{ V} - \boxed{300} \text{ V}) \times 20k\Omega / V = \boxed{700} \text{ V}$$

$$\times 20k\Omega / V = \boxed{14000} \text{ k}\Omega = \boxed{14} \text{ M}\Omega$$

しかし、3021の回路の場合は、40頁の配線図に示すとおり300Vレンジと1000Vレンジの倍率器を、直流電圧計回路と交流電圧計回路で共用する回路構成となっています。この場合の感度つまり電流計の感度は低い方に合せなければならないので、交流電圧計のフルスケール感度($I_{M(AC)}$) $111.1\mu A$ ($9k\Omega/V$) にします。(交流電圧計の電流感度については、6-6の交流電圧計のメータ回路の項を参照して下さい)

従って、メータ回路電流 I_M ($50\mu A$) との差の分だけ分流器 (R_{19}) に電流を流す様にしてやれば良い訳です。ここで分流器の抵抗 R_{19} の値を直流電流計の(7)式 ($R_s = \frac{E_M}{I - I_M}$) を使って求めてみます。 R_s に相当するものが R_{19} 、 I に相当するものが $I_{M(AC)}$ ($111.1\mu A$) となります。

ゆえに、

$$R_{19} = \frac{E_M}{I_{M(AC)} - I_M} = \frac{\boxed{0.3} \text{ V}}{(\boxed{111.1} - \boxed{50}) \mu A} - \frac{\boxed{300}}{\boxed{61.1}} \times 10^3 = \boxed{4.91} \times 10^3 = \boxed{4.91} \text{ k}\Omega$$

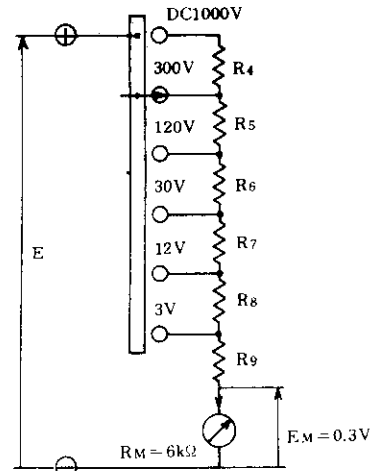
DC 3V、12V、30V、120Vレンジについては前の回路と同様に計算します、300V、1000Vレンジについては、次の様に求めます。

● DC 300Vレンジの場合

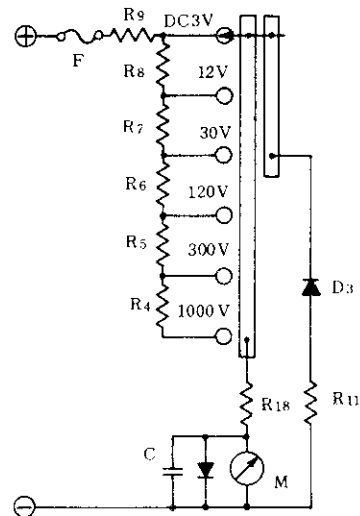
この場合、分流器(R_{19})が並列に入る為に、 $E_M = 0.3V$ 、 $E = 300V$ 、 $I_M = 111.1\mu A$ として、300Vレンジの倍率器の抵抗値 R_{300} を求めてみます。

$$R_{300} = (E - E_M) \times \Omega / V = (E - E_M) \times 9k\Omega / V$$

$$= (\boxed{300} \text{ V} - \boxed{0.3} \text{ V}) \times 9k\Omega / V = \boxed{2697} \text{ k}\Omega$$



(1) 直流電圧計回路



(2) 実際の回路

図6-7 直流電圧計回路

以上の結果から、 R_5 を求めると、

$$\begin{aligned} R_5 &= R_{300} - (R_6 + R_7 + R_8 + R_9) \\ &= 2697 \text{ k}\Omega - (1800 \text{ k}\Omega + 360 \text{ k}\Omega + 180 \text{ k}\Omega + 54 \text{ k}\Omega) \\ &= 2697 \text{ k}\Omega - 2394 \text{ k}\Omega = 303 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

●DC 1000Vレンジの場合

b)と同様に300Vレンジを E_M として考えると、

$$\begin{aligned} R_4 &= (1000 \text{ V} - 300 \text{ V}) \times 9 \text{ k}\Omega/\text{V} = 700 \text{ V} \times 9 \text{ k}\Omega/\text{V} \\ &= 6300 \text{ k}\Omega = 6.3 \text{ M}\Omega \end{aligned}$$

6-5 抵抗計

●説明

このテストで使用している抵抗計の基本回路は図6-8の通りです。測定端子を短絡($R_x=0\Omega$)し、全回路抵抗を R_c (抵抗計回路の等価抵抗でメータ、電池、配線等全ての抵抗を含む)、電池電圧を E とすると、流れる電流 I_0 はオームの法則(2)式により、

$$I_0 = \frac{E}{R_c} \dots\dots\dots(12)$$

次に測定端子に抵抗 R_x (これが測る抵抗となる)をつなぐと、流れる電流 I_x は、 $I_x = \frac{E}{R_c + R_x}$ となる。感度 I_0 のメータをこの電流値で目盛れば良い訳です。

目盛をつけるために I_0 に対する I_x の比を求めてこれを m とすると、

$$m = \frac{I_x}{I_0} = \frac{\frac{E}{R_c + R_x}}{\frac{E}{R_c}} = \frac{R_c}{R_c + R_x} \dots\dots\dots(13)$$

となる。なお、 $R_x=R_c$ の条件を入れると $m=1/2$ となる。これは端子間を短絡した時の電流 I_0 の1/2の点がこの抵抗計の内部抵抗であることを示しています。

実際の回路ではメータ感度が I_0 となるよう分流器を入れ、また電池電圧が変化しても I_0 で最大目盛値を示すよう 0Ω 調整回路をつけボリュームで調整するようにします。なお、 $m=1/2$ の値は中央目盛値と呼び抵抗計の仕様あるいは、特性を表わす重要な数字です。

●実際の回路

抵抗計の設計に当って一番問題になる所は電池が消耗しても、メータが最大(すなわち 0Ω)を指示するようにするための 0Ω 調整回路です。このテストでは、この調整回路を電圧計と考えて電池電圧と同じ電圧計となるよう回路構成しております。(一般のテストは、電流感度を变化させるようにしたものが多い。)

まず、抵抗計の設計条件として、
電池電圧(E)=1.5V(計算の為の数値で、最低使用電圧は1.19V)

中央目盛値(R_c)=100 Ω ($R \times 1$ での値で $\times 10$ 、 $\times 100$ は各々10倍、100倍する)

メータ動作電流感度(I_M)=50 μA

メータ回路抵抗(R_M)=6k Ω

設計に当っては $R \times 100$ のレンジから行います。

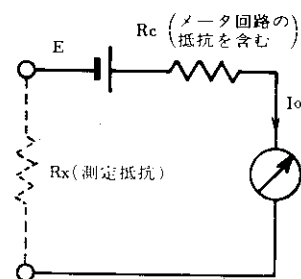


図6-8 抵抗計基本回路

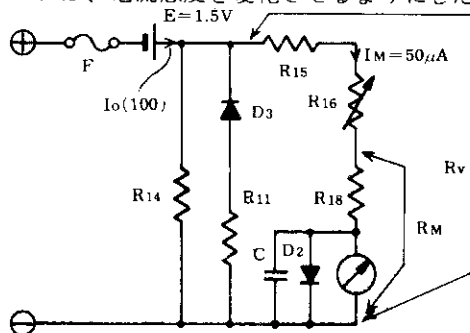


図6-9 R x 100レンジの回路

a) R × 100

この回路は、R₁₅、R₁₆、R_Mで電圧計を構成している。R₁₆が可変抵抗器となっているのは電池電圧が変化しても使用できるようにするためです。(この可変抵抗器を0Ω調整器とよぶ)
 Ω計は、電池電圧を1.5Vとして設計するので、電圧計回路を1.5VとすればR_x = 0の時、メータは最大目盛(すなわち0Ω)を指示します。R × 100レンジの等価内部抵抗は、中央目盛値 R_cの100倍である。これをR_{c(100)}とすると、

$$R_{c(100)} = R_c \times 100 = 100 \Omega \times 100 = 10 \text{ k}\Omega$$

となる。つぎに、R × 100レンジの回路電流をI_{o(100)}とすると(12式により、

$$I_{o(100)} = \frac{1.5 \text{ V}}{10 \times 10^3 \Omega} = 0.15 \times 10^{-3} \text{ A} = 150 \times 10^{-6} \text{ A} = 150 \mu\text{A}$$

R₁₄は電流計の分流器である。メータ回路は、E = 1.5V、I_M = 50μA、したがって分流器の式(7)より、

$$R_{14} = \frac{E}{I_{o(100)} - I_M} = \frac{1.5 \text{ V}}{(150 - 50) \times 10^{-6} \text{ A}} = \frac{1.5}{0.1} \times 10^3 = 15 \text{ k}\Omega$$

※この時の電圧計回路の全抵抗R_vを求めてR₁₄との合成抵抗が、R_{c(100)}となることを確かめよ。

次にR₁₅、R₁₆の値であるが、電池をあまり低い所まで使用すると誤差が多くなるので約1.19Vまで使うことにする。この電圧をE_(min)とすると、

$$I_M = 50 \mu\text{A}, E_{(min)} = 1.19 \text{ Vより、}$$

$$R_v = \frac{E_{(min)}}{I_M} = \frac{1.19 \text{ V}}{50 \times 10^{-6} \text{ A}} = 0.0238 \times 10^6 \Omega = 23.8 \text{ k}\Omega$$

この時はポリュームは0Ωのはずである。(R₁₅ = 0) またR_Mは6kΩとして、

$$R_{15} = R_v - R_M = 23.8 \text{ k}\Omega - 6 \text{ k}\Omega = 17.8 \text{ k}\Omega$$

ポリュームは、市販のものを使用するためあまり種類はなく、許容差も±20%と大巾である。一応20kΩのポリュームを使用して最悪(-20%誤差の時)で何Vまで調整可能か調べる。

$$R_{16(min)} = 20 \text{ k}\Omega \times 0.8 = 16 \text{ k}\Omega$$

$$\begin{aligned} E_{(max)} &= I_M (R_{15} + R_{16(min)} + R_M) \\ &= 50 \times 10^{-6} \text{ A} \times (17.8 \text{ k}\Omega + 16 \text{ k}\Omega + 6 \text{ k}\Omega) \\ &= 50 \times 10^{-6} \text{ A} \times 39.8 \times 10^3 \Omega = 1990 \times 10^{-3} \text{ V} = 1.99 \text{ V} \end{aligned}$$

※新品電池は1.65V程あるので、1.8V以上あれば十分である。

b) R × 10

同様に、このレンジの内部抵抗R_{c(10)}は、

$$R_{c(10)} = R_c \times 10 = 100 \Omega \times 10 = 1 \text{ k}\Omega$$

回路電流I_{o(10)}は、

$$I_{o(10)} = \frac{E}{R_{c(10)}} = \frac{1.5 \text{ V}}{1 \times 10^3 \Omega} = 1.5 \times 10^{-3} \text{ A} = 1500 \mu\text{A}$$

$$R_{13} = \frac{E}{I_{o(10)} - I_M} = \frac{1.5 \text{ V}}{(1500 - 50) \times 10^{-6} \text{ A}} = \frac{1.5}{1.45} \times 10^3 \Omega = 1.03 \text{ k}\Omega$$

※同様に電圧計回路の抵抗R_vとR₁₃の合成抵抗がR_{c(10)}となることを確かめよ。

c) R × 1

同様にR_c = 100Ω = 0.1kΩ

$$I_{o(1)} = \frac{E}{R_c} = \frac{1.5}{0.1 \times 10^3 \Omega} = 15 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$I_M = 0.05 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$R_{12} = \frac{E}{I_{o(1)} - I_M} = \frac{1.5 \text{ V}}{(15 - 0.05) \times 10^{-3} \text{ A}} = \frac{1.5}{14.95} \times 10^3 \Omega = 100 \Omega$$

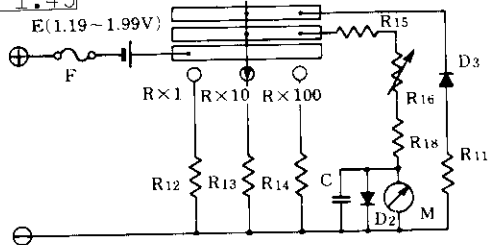


図6-10 抵抗計全回路

※同様に R_v と R_{13} の合成抵抗が $R_{c(1)}$ となることを確かめよ。

なお、ここで計算した値には、ヒューズの抵抗、電池の内部抵抗等が含まれているので R_{12} のような抵抗値の少ない場合は、この誤差が無視できなくなりこれらを差し引かなければなりません。この抵抗値を約 1.2Ω と見込んでいるので、

$$R_{12} = (\text{計算の抵抗値}) - (\text{ヒューズ等の抵抗値}) = 100\Omega - 1.2\Omega = 98.8\Omega$$

6-6 交流電圧計

● 説明

このテストに使用している可動コイル形の直流電流計では、メータに流れる電流値の平均値を指示するようになっているため、交流の場合、指示は“0”となり振れません。(我々が使っている交流は1秒間に60(または50)回という速さで⊕側と⊖側交互に流れが変るため、メータはこの流れに応じて⊕側←→⊖側でぶる振動しているはずですが、動きが速くて指針がついてゆけないため⊕側と⊖側でたがいに打消し合い、この場合は“0”を指示するようになります。)

この交流を可動コイル形のメータで指示させるため図6-11のような整流回路を使用し、メータ回路へ交流の⊕側半分だけを流すようにしてあります。⊕側と⊖側は同じ波形ですから⊕側の電流を2倍にする事により、回路電流を知る事ができます。この交流の波形は正弦波交流と呼ばれ、時間に対する電流(電圧でも同じ)の変化の状態が図6-12のように円周上の一点(P)が回転する時の高さの動きと同じで、時間(角度)を横軸に電流(または電圧)を縦軸に書くと、いわゆる正弦曲線(サインウェーブ)になることからこう呼びます。

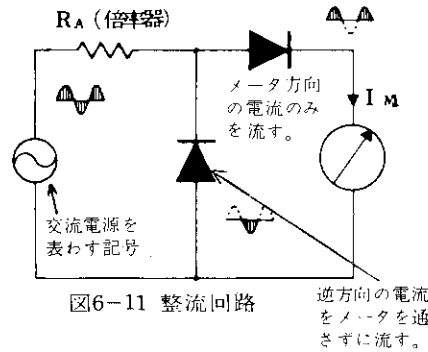


図6-11 整流回路

逆方向の電流をメータを通さずに流す。

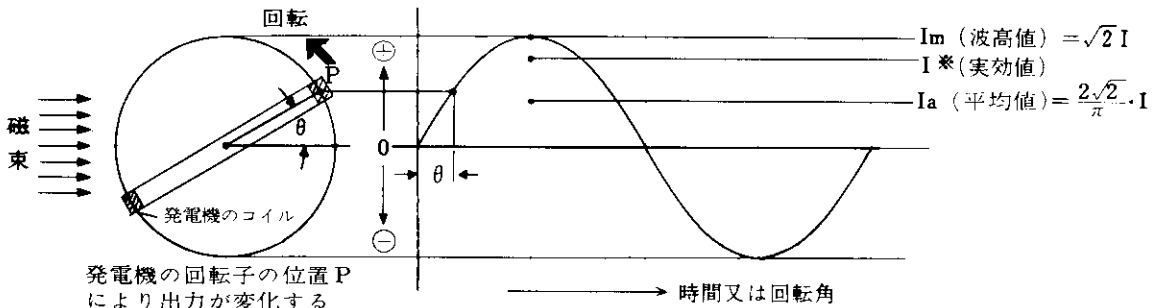


図6-12 交流波形(正弦波)説明図

※私達が普通、電流何A(電圧でも同じ)と呼ぶ場合は実効値(I)で呼んでおり、波形の最大値(波高値とも呼ぶ) I_m やこのメータで測ることができる平均値 I ではありません。 I_m と I との関係は正弦波形の場合、 $I_m = \sqrt{2} I$ となります。

また図の回路(半波整流)の場合の平均値(I_a)と実効値(I)との関係は理論値として、

$$I_a = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot I \cdot \frac{1}{2} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} I = 0.45 I$$

の関係が成り立ちます。……………(14)

● 実際の回路

(1) 交流電圧計のメータ回路

図6-13回路にて $I_M = 50\mu A$ とすると、交流動作電流

$I_{M(AC)}$ は(14)式より、 $I_M = 0.45 I_{M(AC)}$ したがって、

$$I_{M(AC)} = \frac{I_M}{0.45} = \frac{50\mu A}{0.45} = \frac{100\mu A}{0.9} = 111.1\mu A$$

$E_{M(AC)} = 0.667V$
実効値

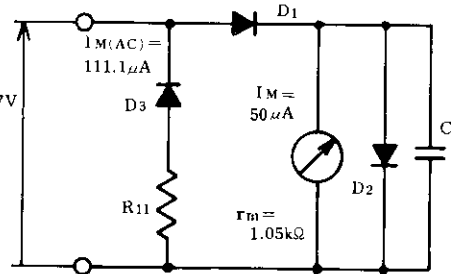


図6-13 交流電圧計メータ回路

またΩ/Vは、

$$\Omega/V = \frac{1}{111.11 \dots \mu A} = 9k\Omega/V \text{ となります。}$$

普通ならこの回路も直流部と同じに100μAなどどくぎりの良い数にしたい所ですが回路を簡単にするためにこのテストでは111.1μAで設計しています。なおこのメータ回路の入力電圧E_{M(AC)}(または等価内部抵抗、R_{M(AC)})は整流器の動作が複雑で計算することができませんので実測で求めます。そのため図6-13の回路を実際に組立て実験し、結果はE_{M(AC)}=0.667Vとなりました。したがって

$$R_{M(AC)} \text{ は、 } R_{M(AC)} = \frac{0.667V}{111.1\mu A} = 6k\Omega \text{ となります。}$$

(2) 回路設計

直流電圧計の回路計算ではΩ/Vの考え方を理解するために、(10)の式を使いましたので、ここでは倍率器の考え方を理解するために(11)の式を使って倍率器の計算をしてみます。この場合、考えやすくするために、図6-14-(1)の回路を考え、次に図6-14-(2)の回路に変換することにします。(このテストでは図6-14-(2)の回路方式を行っているのです)

a) AC 12V

メータ回路の条件は、

$$E_{M(AC)} = 0.667V \quad R_{M(AC)} = 6 \text{ k}\Omega,$$

また12Vのときのmをm₍₁₂₎とすると、

$$m_{(12)} = \frac{E_{12}}{E_{M(AC)}} = \frac{12}{0.667} = 18$$

$$R_1' = R_{M(AC)}(m_{(12)} - 1) = 6 \text{ k}\Omega \times (18 - 1) = 102 \text{ k}\Omega$$

図6-14-(2)に直すが、この場合R₁ = R_{1'}で良い。し

たがって、R₁ = 102 kΩ

b) AC 30V

a)と同様に、

$$m_{(30)} = \frac{E}{E_{M(AC)}} = \frac{30}{0.667} = 44.98$$

$$R_2' = R_{M(AC)}(m_{(30)} - 1) = 6 \text{ k}\Omega \times (44.98 - 1) = 264 \text{ k}\Omega$$

図6-14-(2)に直すと、

$$R_2 = R_2' - R_1' = 264 \text{ k}\Omega - 102 \text{ k}\Omega = 162 \text{ k}\Omega$$

c) AC 120V

a)と同様に、

$$m_{(120)} = \frac{E}{E_{M(AC)}} = \frac{120}{0.667} = 180$$

$$R_3' = 6 \times (180 - 1) = 1074 \text{ k}\Omega$$

図6-14-(2)に直すと、

$$R_3 = R_3' - R_2' = 1074 \text{ k}\Omega - 264 \text{ k}\Omega = 810 \text{ k}\Omega$$

d) AC 300V

a)と同様に、

$$m = \frac{E}{E_{M(AC)}} = \frac{300}{0.667} = 449.8$$

$$R_4 = 6 \times (449.8 - 1) = 2693 \text{ k}\Omega$$

図6-14-(2)の回路になおすと、

$$R_4 = R_4' - R_3' = 2693 \text{ k}\Omega - 1074 \text{ k}\Omega = 1619 \text{ k}\Omega = 1.62 \text{ M}\Omega$$

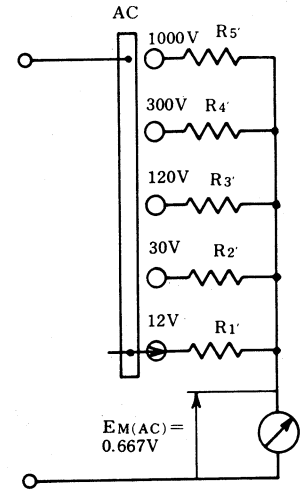


図6-14-(1)交流電圧計回路

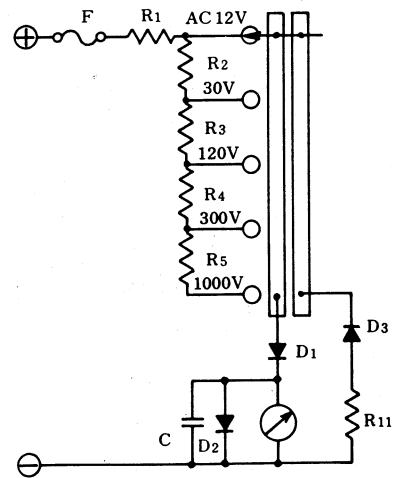


図6-14-(2)実際の回路

e) AC 1000V

a)と同様に、

$$m = \frac{E}{E_{M(AC)}} = \frac{1000}{0.667} = 1499$$

$$R_5' = 6 \times (1499 - 1) = 8988 \text{ k}\Omega$$

図6-14-(2)の回路図になおすと、

$$R_5 = R_5' - R_4' = 8988 \text{ k}\Omega - 2693 \text{ k}\Omega = 6295 \text{ k}\Omega = 6.3 \text{ M}\Omega$$

しかし3021の回路の場合は、40頁の配線図に示すとうり300Vレンジと1000Vレンジの倍率器を直流電圧計回路と交流電圧計回路で共用する回路構成となっていますので実際は、以下のようになります。

・ AC 300Vレンジの場合

メータ回路の条件は、

$$E_{M(AC)} = 0.667 \text{ V}, R_{M(AC)} = 6 \text{ k}\Omega$$

また300Vのときのmを $m_{(300)}$ 、倍率器を $R_{(300)}$ とすると、

$$m_{(300)} = \frac{E}{E_{M(AC)}} = \frac{300}{0.667} = 449.8$$

$$R_{(300)} = R_{M(AC)} \times (m_{(300)} - 1) = 6 \times (449.8 - 1) = 2693 \text{ k}\Omega$$

回路図から $R_{(300)} = R_9 + R_8 + R_7 + R_6 + R_5$ が証明できれば良い。

$$R_9 + R_8 + R_7 + R_6 + R_5 = 54 \text{ k}\Omega + 180 \text{ k}\Omega + 360 \text{ k}\Omega + 1.8 \text{ M}\Omega + 300 \text{ k}\Omega = 2694 \text{ k}\Omega \approx R_{(300)}$$

となり成立することがわかる。

・ AC 1000Vレンジの場合

AC 300Vレンジの場合と同様に、

$$m_{(1000)} = \frac{E}{E_{M(AC)}} = \frac{1000}{0.667} = 1499$$

$$R_{(1000)} = 6 \times (1499 - 1) = 8988 \text{ k}\Omega$$

$R_{(1000)} = R_9 + R_8 + R_7 + R_6 + R_5 + R_4$ が証明されれば良いので、

$$R_9 + R_8 + R_7 + R_6 + R_5 + R_4 = 54 \text{ k}\Omega + 180 \text{ k}\Omega + 360 \text{ k}\Omega + 1.8 \text{ M}\Omega + 300 \text{ k}\Omega + 6.34 \text{ M}\Omega = 9034 \text{ k}\Omega \approx R_{(1000)}$$

となり成立することがわかる。

6-7 バッテリーテスト

電池の良否を判定する場合に端子電圧を測定する方法が簡単であるので現場用として多く使用されている。電池は、図6-16に示すような回路でスイッチKを閉じて回路に電流を流すと電圧計の指示が減少する。これは外部に電流を流すと電池内にも電流が流れますが、このとき電池の内部に電流を流れるのを妨げるような作用があると考えられていてこの作用を回路の内部抵抗と言う。この内部抵抗は、電池を長時間使用したり、周囲温度が低下したりすると増大するので使用状態に近い回路で端子電圧を測定しないと電池の良否の判断はできないことになる。

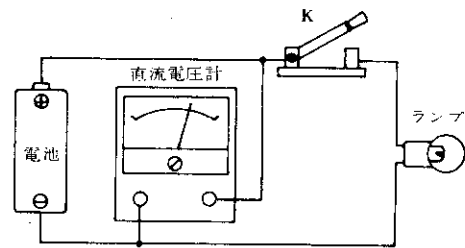


図6-16

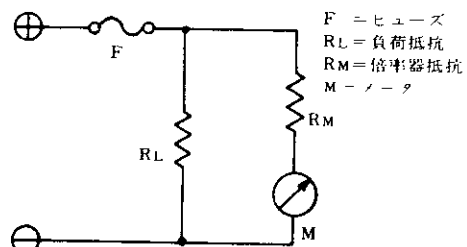
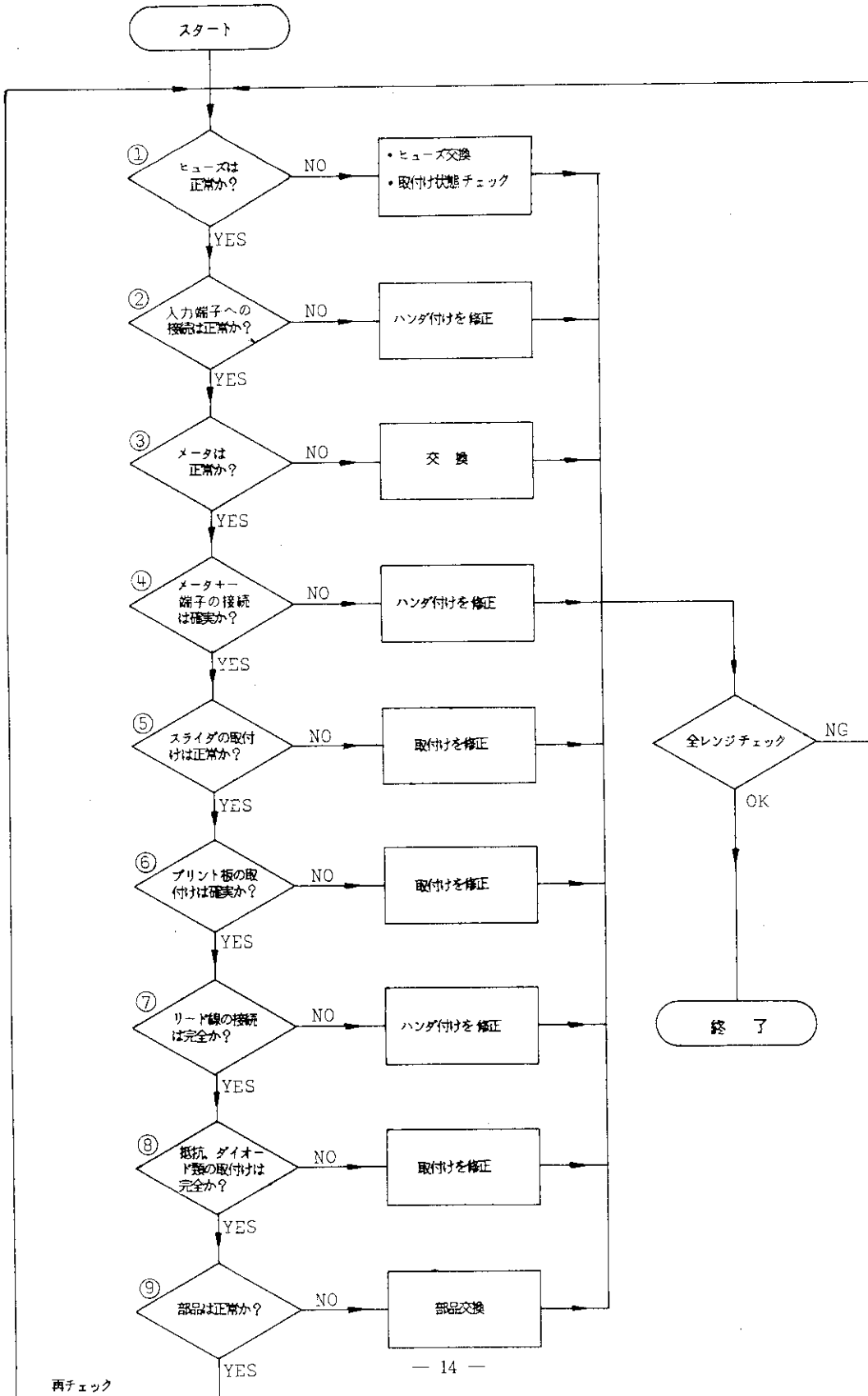


図6-17 バッテリーテスト回路

組立不良のチェックと修理方法

1. 全く指針が振れない場合。

・チャート図を参考に1ヶ所ずつチェックして行く。



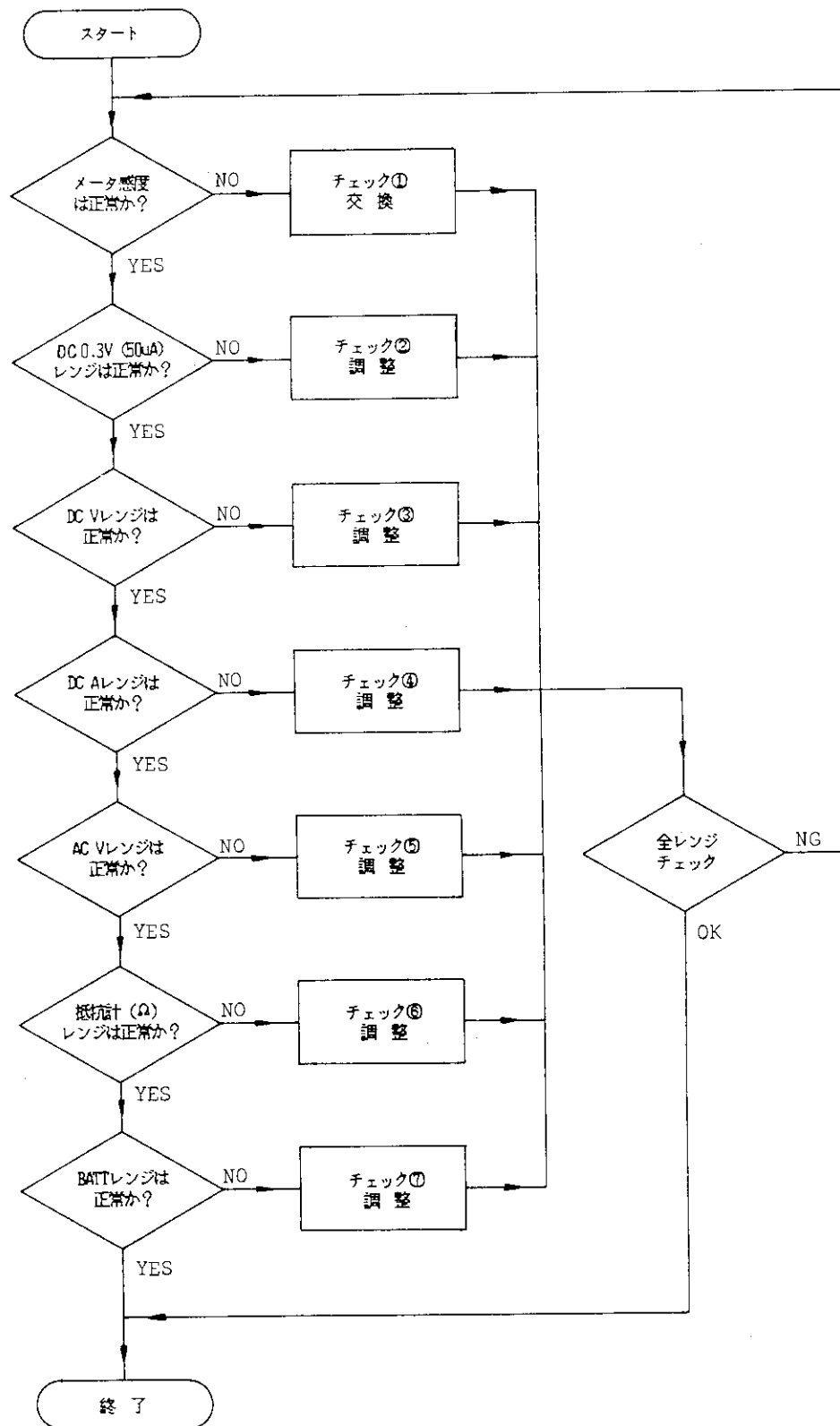
— 注意 —

半田付け不良の場合、目で見ただけでは確認できないものがあるのでテスタ等を使用して導通を確かめる。・・・勘にたよらないこと。『 』内は症状

- ① ヒューズは正常か?・・・『全レンジ振れない』
 - ・ヒューズが取付けてあるか?
 - ・ヒューズの断線がないか?・・・テスタで導通テスト
 - ・ヒューズとヒューズ金具との間に“ガタ”がないか?
 - ・ヒューズ金具面に汚れがないか?・・・接触不良が発生していないか?
 - ・ヒューズ金具とパターンとの半田付けは確実か?
- ② 入力端子への接続は正常か?・・・『全レンジ振れない』又は『1000V レンジが振れない』
 - ・端子金具のハンダ付けは確実か?・・・プリント基板と+, -, 1000V端子とのハンダ付けは、確実か?
- ③ メータは正常か?・・・『全レンジ振れない』
 - ・メータが断線又はショートしていないか?・・・メータ端子金具(+, -)の両端をテスタで導通テスト
- ④ メータ+, -端子金具の接続は確実か?・・・『全レンジ振れない』
配線図(P23) どうか、半田付けが確実か否かを確認する。
- ⑤ スライダの取付けは正常か?
 - 『全レンジ振れない』・・・スライダが取付けてない。
 - 『指示板とレンジ配置が異なる』・・・スライダの取付け位置が異なっている。組立図(P23)に合わせる。
- ⑥ プリント板の取付けは確実か?・・・『全レンジ振れないか、又は指示値が一定しない接触不良』
プリント板がツメに止るように押し込む。
- ⑦ リード線の接続は確実か?
 - 『抵抗計(Ω レンジ)以外(DCV, DCmA, ACV, BATT)が振れない』・・・L4の接続は確実か?
 - 『交流電圧(ACV)がふれない』・・・L3の接続は確実か?
 - 『DC300mAが+感度となる, 交流電圧(ACV)が感度不良となる』・・・L1の接続は確実か?
 - 『抵抗計(Ω レンジ)が振れない』・・・L2の接続は確実か?
- ⑧ 抵抗、ダイオード類の取付けは完全か?
 - 『DCレンジが全く振れない』・・・R18(4.93k Ω), R9(54k Ω)の取付けは確実か?
 - 『ACVレンジが全く振れない』・・・D1(1S1588), R1(102k Ω)の取付けは確実か?
 - 『抵抗計(Ω)が全く振れない』・・・R16(20k Ω ボリューム), R15(17.8k Ω), B(乾電池)の取付けは確実か?
*特にボリューム端子の半田付けには注意すること
- ⑨ 部品は正常か?
プリント板のパターン面にヒビ等がないか?、抵抗値が誤っていないか?
コンデンサはショートしていないか?、ダイオードは整流するかどうか?

2. 感度不良の場合

・チャート図を参考に1ヶ所ずつチェックして行く。

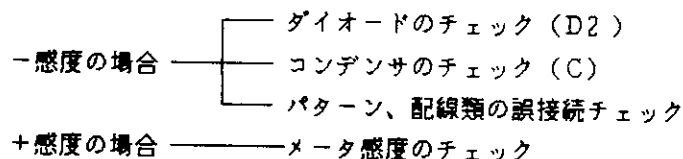


、 チェック①

- a.メータ感度が±1%であるか?.....49.5 μ A ~50.5 μ A の範囲内でフルスケールになるかどうか。
- b.メータの内部抵抗が1050 Ω 程度であるかどうか?
メータ不良は交換する

チェック②

DC0.3 V (50 μ A) レンジをチェックする



チェック③

- a.全レンジ感度不良の場合 ———— チェック②の項を行う
- b.300、1000Vのみ大幅に+感度となる場合 ———— R19 (4.87k Ω) で構成される回路の断線が考えられる。(300 Vレンジで約135V程度でフルスケールとなる)
- c.120 V→300 V→1000Vと高圧になるに従って+感度となる場合 ————
—— プリント板の汚れによる絶縁不良が考えられるので基板面を洗浄する
上記以外は抵抗類の取付けミスによるものと思う。

チェック④

- a.全レンジ感度不良の場合 ———— チェック②の項を行う
- b.指示値がふらつく場合 ———— 接点部の接触不良が考えられるので基板の接点部の汚れがないか、スライダの接点の高さはどうか確認する。
上記以外は抵抗類の取付けミスによるものと思う。

チェック⑤

- a.全レンジ感度不良の場合 ————

┌	チェック②を行う
	ダイオードの取付けミス、不良がないか?
- b.300 V、1000Vのみ不良の場合 ———— DCVレンジは正常かどうか?
(倍率器共用のため.....チェック③を行ってみる)
上記以外は抵抗類の取付けミスによるものと思う

尚、120V、300Vと高圧レンジで逆振れをしたりする異常は、D3 (S5277B)、R11 (0.988 Ω)、L1 で構成された回路の断線が考えられる。又、ACVレンジにおいても基板の汚れによる絶縁不良の可能性があるので注意が必要です。

⑥ チェック

- a. 0Ω ADJ の調整ができない場合
 - 電池は正常か? 端子電圧をチェック
 - メータ感度は正常か? チェック②を行う
 - R18 (4.93k Ω) R16 (20k Ω) R15 (17.8k Ω)の取付けは確実か?
 - 正しくヒューズがセットされているか? (定格も)
 - b. 指示値がふらつく場合 ——— 接点部の接触不良が考えられるのでチェック④項を参考に修理する。
- 上記以外は抵抗類の取付けミスによるものと思う

⑦ チェック

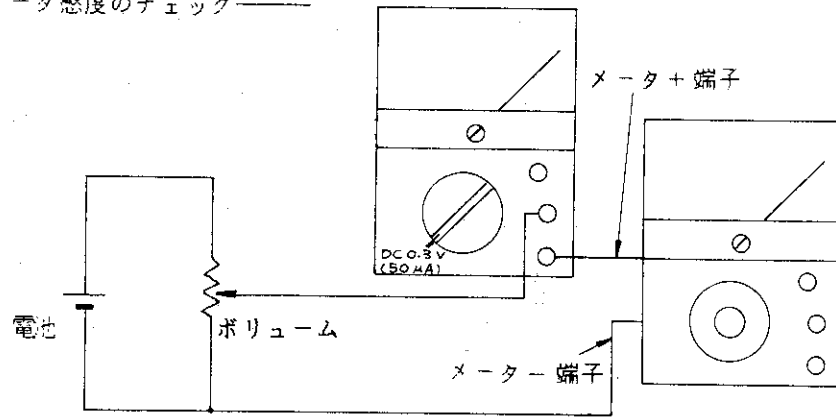
- a. 感度のチェック方法
 - フルスケールが1.8 Vであるかどうか?
 - 新品電池を測定してOK帯の上限付近であるか?
 - 内部抵抗が10 Ω 程度であること
- b. 感度不良の場合 チェック②の項を行った後、R17 (24.3k Ω) の取付けをチェックする

尚、BATT1.5 Vレンジは、内部抵抗が低いのでヒューズ抵抗、配線の抵抗等の影響が大きく、フルスケール電圧は±6%程度の誤差がありますので注意が必要です。

3. テスタを使った部品の簡単なチェックの方法 (3021の場合)

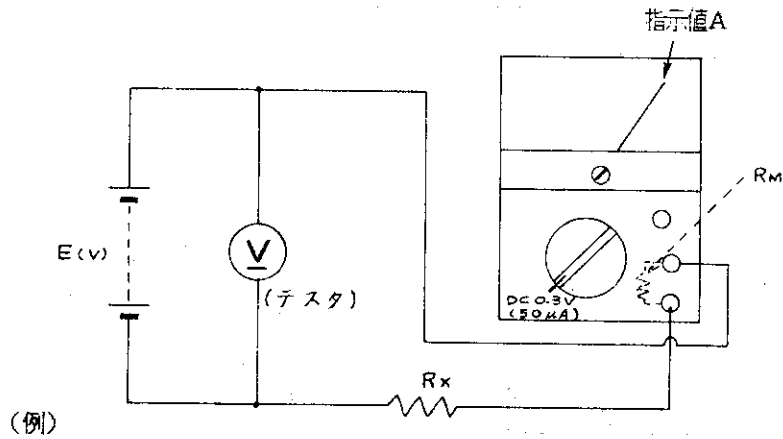
① 電流計を使用する方法

——メータ感度のチェック——



フルスケールのチェックをしてみる。大きく感度が異なっている場合判別できる。

——高抵抗のチェック——



(例)

たとえば、 $E=20V$ 、指示値 $A=40\mu A$ とすると

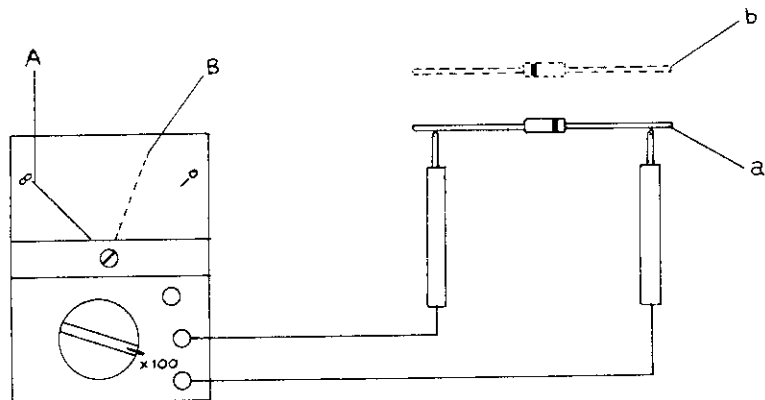
$$R_x = \frac{E - 0.3 V}{A} = \frac{20V - 0.3 V}{40 \mu A} = \frac{29.7}{40 \times 10^{-6}}$$

$$= 742.5 \times 10^3 = 742.5 k\Omega$$

と言うようにテスタを組合せて色々な抵抗を測定することができる。

② 抵抗計を使用する方法

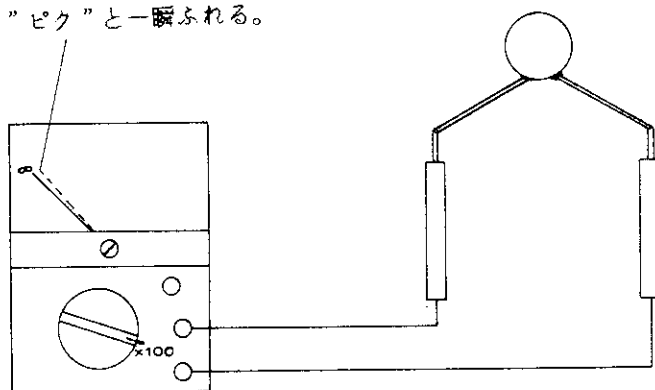
——ダイオードのチェック——



- a. -端子にカソードマークを接続した場合ダイオードは、逆方向接続となる為 ∞ を示すことを確かめる。もし振れる場合は、もれがあることになり不良と判断する。(ダイオードの種類によっては多少振れる場合もあるがこのテストに使用するものは振れない。)
- b. +端子にカソードマークを接続した場合、順方向接続となり図のBのように振れる。もし ∞ を示す場合は不良である。

——コンデンサのチェック——

"ピク"と一瞬ふれる。

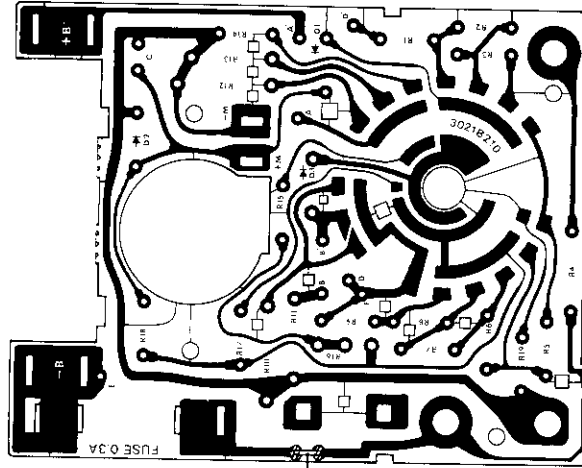


抵抗計で両端子に触れると一瞬振れて ∞ を指示すれば正常である。

4. 特殊な場合の修理方法

①パターンに“ヒビ”（クラック）が生じた場合。

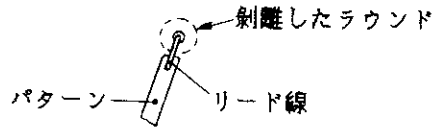
- a. ロータリ部の接点及びスライダの軌道上の修理はプリント板を交換。
- b. 図の様にレジストを剥取りジャンパー線で接続する。



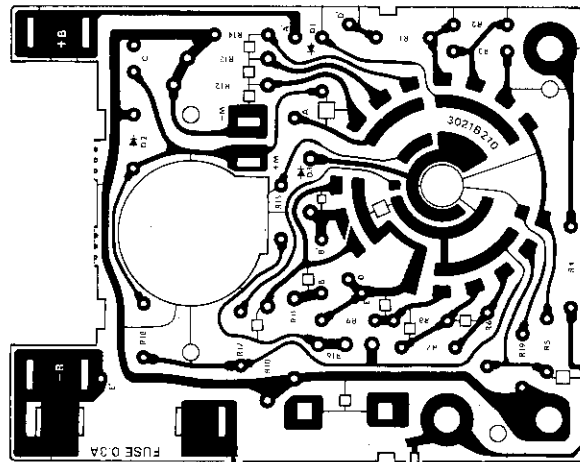
ジャンパー線

②パターンが剝離した場合。

- a. ロータリ部の接点及びスライダの軌道上の修理はプリント板を交換。
- b. ラウンド部の場合は、図一Aの様にリード線を曲げて接続する。
- c. 長距離の場合は、図一Bの様に絶縁電線にて接続する。



図一A



図一B 絶縁電線

サービスに関するお問い合わせ：最寄りの営業所まで。

日置電機株式会社 本社：工場 〒386-11長野県上田市小泉81
TEL 0268-28-0555 FAX 0268-28-0559

3021 98-01 90-05-005T 78390010