

超高入力抵抗電圧計 MOS-3N

1. 装置のはたらき

この装置は一般の直流電圧計に接続して、超高入力抵抗の直流電圧計として用いるための直流増幅器です。(以下単に増幅器と呼びます)

- (1) この増幅器の入力抵抗は下表に示すように非常に高いので、その出力端子に電圧計を接続して用いると、全体は1個の内部抵抗の極めて高い電圧計としてはたらし、後述のように多くの実験や測定を容易に行うことができます。
- (2) この増幅器の出力電圧の誤差は下表に示すように十分に小さいので、一般の測定では電圧計の誤差に対して全く無視でき、精密級の測定にも使用できます。
- (3) この増幅器は電源内蔵であるためACラインによるトラブルがなく、接続した電圧計と一体となって安定にはたらし、低消費電流であるため充分長い期間使用することができます。

増幅器の電気的特性

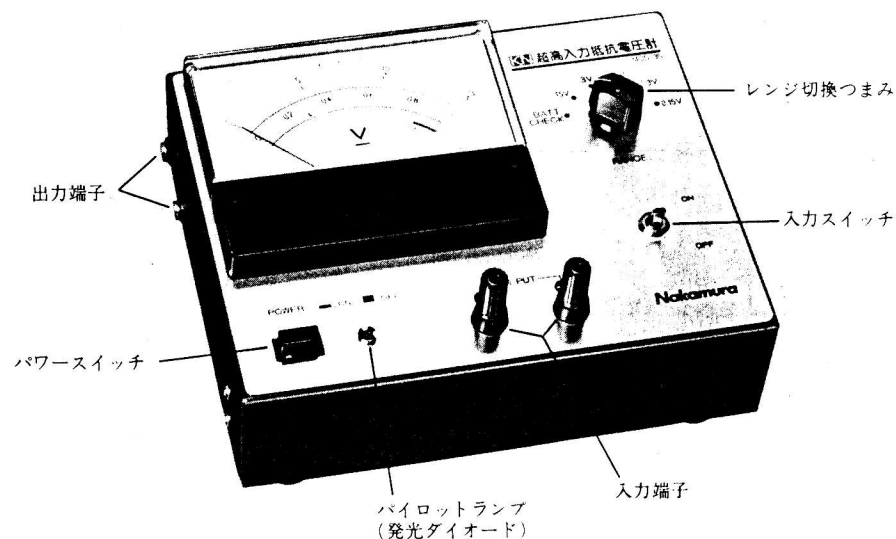
入力抵抗（標準値）		$10^{13} \Omega$
入力容量		約25 pF
出力電圧範囲		- 5 V ~ 15 V
電圧増幅度		$\times 1 (15 \text{ Vレンジ}) \times 5 (3 \text{ Vレンジ}) \times 10 (1.5 \text{ Vレンジ})$ $\times 50 (0.3 \text{ Vレンジ}) \times 100 (0.15 \text{ Vレンジ})$
出力誤差（最大値）		$\pm 5 \text{ mV}$
負荷抵抗最小値		2 k Ω
増幅器の消費電流		約2.5 mA

2. 接続する電圧計

本器は直流電圧計（JIS 1.5級、目盛り円弧長100mm）と一体となっておりますが、出力端子に別の電圧計を接続する場合は下記のようになります。

- (1) 最大目盛り15Vの直流電圧計が最も良く適合します。一側の目盛りのある場合は-5Vまで使用できます。
- (2) 最大目盛り15Vの電圧計がない場合は、最大目盛り10V～30Vの電圧計をお使いください。ただし電圧計の最大目盛りが15Vを越えても、測定可能な範囲は15Vまでとなります。
- (3) 演示実験には投影用の直流電圧計*¹が最も適しています。
- (4) 測定用の直流電圧計*²やデジタル電圧計*³も使用できます。

- (5) 最大目盛り 1 V 程度の直流電圧計を接続して、小さい電圧を測定することもできますが、接続する電圧計の最大目盛りが小さいほど、指針の振れ過ぎが激しくなるのでご注意ください。



- ※1 A-1561A (15Vレンジ)
 ※2 YN-2011 (10Vレンジ)、YN-2051 (10Vレンジ)
 ※3 ME-523 (20Vレンジ)

3. 使用法

本器の出力端子に別の直流電圧計を接続する場合も含みます。

- (1) 増幅器の出力端子に最大目盛り15Vの直流電圧計をつなぎます。(赤色の端子は+、黒色の端子は-)
- (2) 入力スイッチをOFFにしてパワー・スイッチを入れます。発光ダイオードが点灯します。電圧計の指示値は0のまゝです。
- (3) 測定電圧のレンジを定めます。増幅器のレンジを合わせるだけで、電圧計のレンジを変える必要はありません。3Vレンジにしたときは電圧計の最大目盛り(15V)の位置が3Vになります。また、他のレンジの場合も同じようになります。
- (4) 測定する電圧を入力端子間に加え、入力スイッチをONにすると、電圧計は測定値を指示します。

〔注〕

1. 入力スイッチをONにしたまゝで入力端子を開放すると、電圧計の指針が不安

定に動きます。これは増幅器の入力抵抗が高いので、入力端子の近くの帯電体の影響を受けるためで、増幅器の異常ではありません。また、このようなことを行っても、増幅器に支障はありません。

2. 最大目盛り15V以外の電圧計を用いた場合は、増幅器を15Vレンジ（増幅度×1）にしたときは電圧計の指示値をそのまま読み、3Vレンジ（増幅度×5）にしたときは電圧計の目盛りを $\frac{1}{5}$ に、また、その他のレンジのときはそれぞれに読み替えてください。

3. デジタル表示の電圧計を使うときは、増幅器は15Vレンジとして、電圧レンジの切り替えは電圧計で行ってください。

4. 入力端子および出力端子の一侧（黒色）は、いずれも増幅器の内部でケースに接続されています。

4. 増幅器の0点調整（オフセット・ヌル）

この調整はあまり狂うことがないので、通常の実験では必要ありません。

- (1) まず電圧計の0点を正しく合わせてください。
- (2) 増幅器の出力端子に電圧計をつなぎ、入力スイッチをOFF、電圧レンジを0.15Vにしてパワー・スイッチを入れます。（別の直流電圧計を併用する場合は、電圧計を接続して、0点を合わせてから行います。）
- (3) 電圧計の指針が0を指すように、オフセット調整（内部基板上の500Ωの可変抵抗）をドライバーで回します。

5. 内蔵電池の点検と交換

- (1) 増幅器のパワー・スイッチを入れます。
- (2) 入力スイッチをOFFのままで、電圧レンジ切り換えをBAT. CHECKにします。
- (3) 電圧計の指示値がグリーンの位置にないときは電池を交換します。この場合、必ず3個とも新品と交換してください。

〔注〕

BAT. CHECKの状態では内蔵電池の消費がや、多くなるので、点検後は他のレンジに戻してください。

6. 使用上の注意

(1) 入力抵抗について

特に高い入力抵抗を必要とするときは次の点に留意してください。

- (a) 入力端子がよごれると、端子の表面の絶縁が低下して入力抵抗がさがります。入力端子の絶縁体を乾いた布で拭いてください。
- (b) 入力抵抗を少しでもさげないように、入力スイッチはケースから浮かせてある

ので、触れると漏れ電流がわずかに増加することがあります。測定中は触れ続けないようにしてください。

- (c) 被測定回路に絶縁が充分でない部品が使用されていると、その部分で漏れ電流が流れます。一般のスイッチ、端子などの絶縁はこのレベルでは不十分なものが多く、注意を要します。ベークライト、軟らかいビニールなどは特によく漏れ、人体は良導体のようです。絶縁体の範囲が変わるものとお考えください。
- (d) 小容量（0.01μF以下）のコンデンサの電圧を測るときは、近くの帯電体や、衣服の帯電の影響を受けることがあります。また、ACのコードや壁中に埋設されたACラインの影響を受けることもあります。必要に応じてアースやシールドを行ってください。

(2) 入力保護について

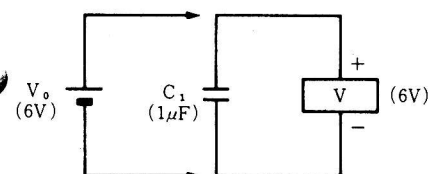
この増幅器の内部にはICを保護するための入力保護回路があり、増幅器の入力端子に測定範囲を越える高い電圧が加わると、内部でバイパス電流が流されてICを保護します。したがってこの場合増幅器に支障はありませんが、被測定体の電荷の一部が失われます。

実験

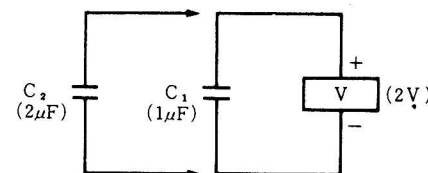
- ☒ V 超高入力抵抗電圧計（増幅器＋直流電圧計）を表わす。
() データの一例を示す。

1. コンデンサーの接続

(1) 並列



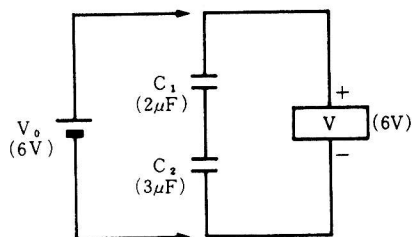
図のようにコンデンサー(C_1)に電圧計をつないでおき、電池をコンデンサーの両端に触れると電圧計はその電圧を示し、電池を除いても電圧計の指示値は変わらず、コンデンサーが充電されたことがわかります。



（合成容量は3μF）

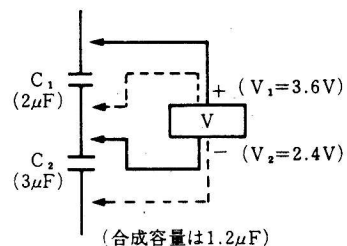
つぎに電荷のな コンデンサー(C_2)を並列につなぐと電圧が2Vになり、 C_1 の電荷の一部が C_2 に移動したことがわかります。

(2) 直列



電荷のないコンデンサー(C_1 、 C_2)を直列にして充電します。

※このとき、コンデンサー実験用電源CP-16N型を使用すると便利です。



C_1 、 C_2 に加わる電圧(V_1 、 V_2)は容量に反比例し、その和は全電圧(V_0)に等しくなっています。

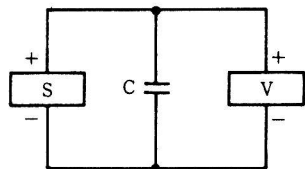
このほか、コンデンサーのつなぎ換えをいろいろ行なって、その電圧の変化をすべて理論通りに実験することができます。

(3) 実験用コンデンサー

この実験には高絶縁のコンデンサーが必要です。1 μ F～3 μ Fのポリエステル・フィルム・コンデンサー※4が適しています。

※ 4 B-2128 コンデンサー実験セット CB-6N

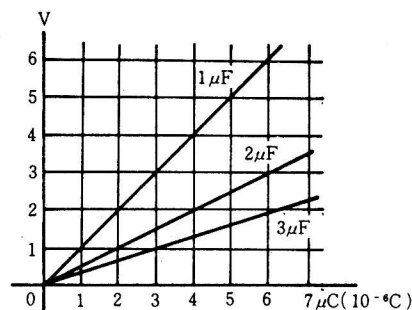
2. $Q=CV$ の実験



コンデンサーに定量的に電荷(Q)を与え、その電圧(V)が Q に比例し、容量(C)に反比例することを実験します。

$$V = \frac{Q}{C}$$

[S] コンデンサーに定量的に電荷を与える電源※5

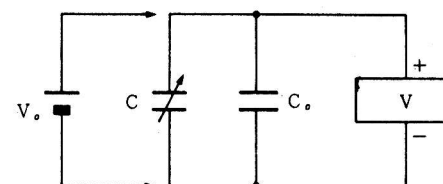


コンデンサーに与えた電荷(Q)とコンデンサーの電圧(V)のグラフ

図のコンデンサー(C)の部分に、並列または直列にしたコンデンサーを用いるとその合成容量を求めることができます。

※ 5 B-2125 定電圧電源装置 CC-10N型

3. バリコンの実験



増幅器の入力端子にバリコン(可変コンデンサー)をつないで充電したのち、バリコンの容量(C)を変えるとその電圧(V)が変化します。 V はおよそ C に反比例します。

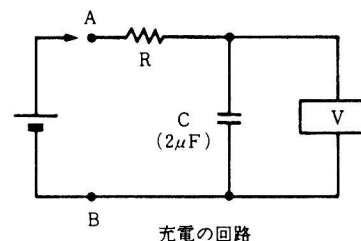
$$V = \frac{Q}{C + C_0} \quad C_0: \text{浮遊容量}$$

バリコンはエアバリコンで、高絶縁、大容量のもの※6が必要です。

※ 6 B-2126 実験用大型バリコン VC-500N型

4. コンデンサーの充放電

抵抗を通じてコンデンサーを充電、または放電するときのコンデンサーの電圧の時間的変化(過渡現象)の観察、測定をします。



放電のときはA、Bを導線で結びます。

充電の回路

(1) 観察

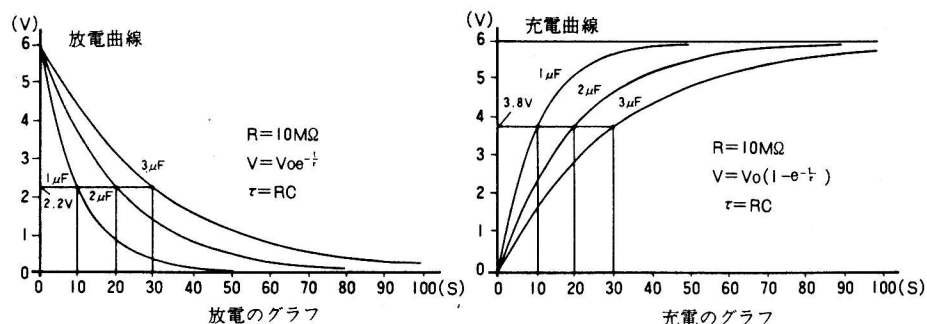
電圧の変化の様子を観察するには、数 μF のコンデンサーに対して $R=1\text{M}\Omega$ 位が適しています。 C を変えると電圧の変化する速さが変わることがわかります。

($R=1\text{M}\Omega$ 、 $C=2\mu\text{F}$ のとき時定数 $\tau=2\text{s}$)

(2) 測定

電圧の時間的変化を測定するには、数 μF のコンデンサーに対して $R=10\text{M}\Omega$ 位が適しています。($R=10\text{M}\Omega$ 、 $C=2\mu\text{F}$ のとき $\tau=20\text{s}$)

ストップ・ウォッチを用いて、回路を一定時間(例えば 5s)閉じて電圧を読みとり、つづいてまた同じ時間だけ回路を開いて再び電圧を読みとり、以下これを繰り返して充電(放電)曲線を書くことができます。このグラフは電圧を対数目盛り上にとれば直線になります。



(3) 時定数

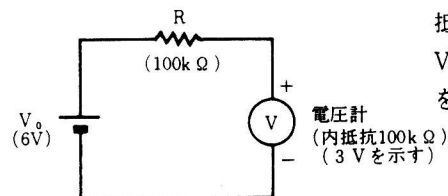
充電において、コンデンサーの電圧が $V_0(1-\frac{1}{e})$ に達する時間をストップ・ウォッチで測ると、時定数 $\tau=RC$ が得られます。放電においては $V_0\frac{1}{e}$ に達する時間が τ となります。

$$1 - \frac{1}{e} \doteq 0.632, \quad \frac{1}{e} \doteq 0.368 \quad e \doteq 2.72 \text{ (自然対数の底)}$$

5. 電圧計の内部抵抗の影響

一般の電圧計では、測定において電圧計の内部抵抗が影響することを実験します。

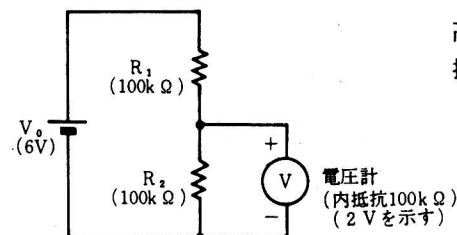
(1) 抵抗を直列にした場合



抵抗を経て電圧を測ると、一般の電圧計では V_0 を示しません。超高入力抵抗電圧計では V_0 を正しく示します。

電流が流れなければ、抵抗で電圧降下が起らないことがわかります。

(2) 分圧回路

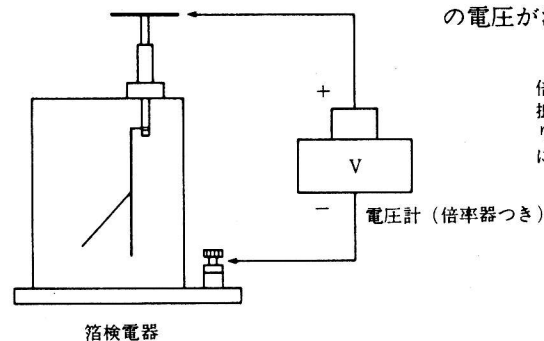


高抵抗による分圧回路の一例です。超高入力抵抗電圧計では正しく示します。(3V)

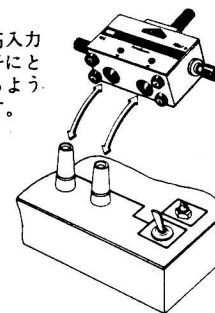
6. 高電圧の測定

増幅器の入力端子に専用の倍率器※7をとりつけて用いると、超高入力抵抗で高電圧(1500Vまで)の測定ができます。この倍率器は測定する高電圧を、小容量のコンデンサーによる分圧回路で分圧して測定するものです。入力容量は約 10pF で箔検電器に近い値です。

箔検電器に接続しておいて帯電させると、その電圧が測れます。



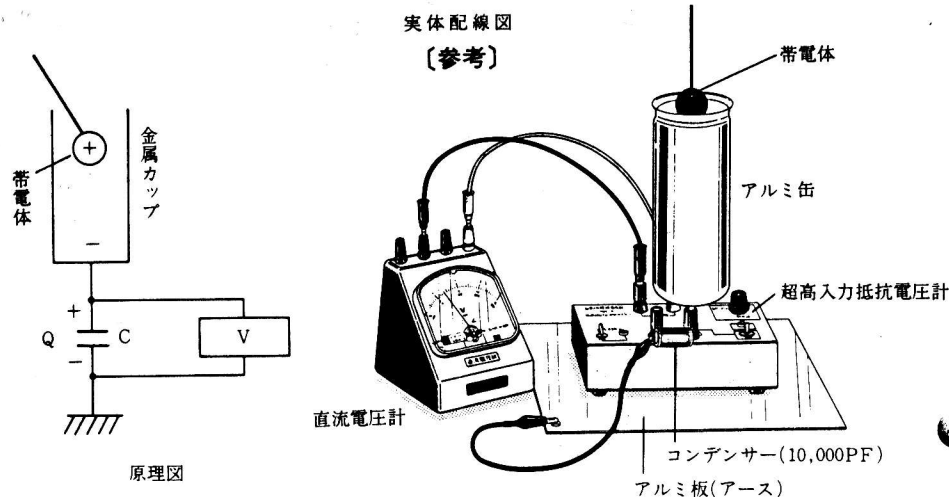
倍率器は直接、超高入力抵抗電圧の入力端子にとりつけて使用できるように設計されています。



※7 B-2162 超高入力抵抗電圧計用倍率器 (100倍)

7. 帯電体の電気量の測定

金属製のカップとコンデンサー※8を併用して、小さい帯電体の電気量を容易かつ正確に測ることができます。



上図のように配線します。Cは測定する電気量によりますが、一般には $0.01\mu\text{F}$ ($10,000\text{pF}$) $\pm 2\%$ のポリスチレン・コンデンサーが適しています。カップは空かんやアルミ箔(調理用)で自作することもできます。

〔測定方法〕

1. 正電荷の場合

- (1) 増幅器のパワー・スイッチと入力スイッチを入れます。電圧計の指針が0を指さなかったら、赤色の入力端子にスーア線(黒色の入力端子の線)に触れると、指針は0になります。
- (2) 測定する帯電体をカップの中に入れると、電圧計の指針が振れます。帯電体の電気量はコンデンサーの容量(C)と、電圧計の示した電圧(V)の積として求められます。
(たとえば $C = 10,000\text{pF}$ 、 $V = 0.45\text{V}$ の場合は $Q = 4500\text{pC} = 4.5 \times 10^{-9}\text{C}$ となります)

2. 負電荷の場合

- (1) 増幅器のパワー・スイッチと入力スイッチを入れたのち、入力端子間に電池(たとえば 9V)をつないでコンデンサー(C)を充電し、指針を正の値に振らせておきます。
- (2) 帯電体をカップの中に入れると電圧計の指示値は下がります。その降下した分(始めの値-あとの値)について前項と同様な計算で電気量が得られます。

〔注〕 増幅器の出力端子に直流電圧計を+、-逆につなぎ、その電圧計の目盛り 5V 以下の範囲を用いれば、正電荷の場合と同じ方法で測ることができます。

※ 8 B-2161 静電荷測定アダプター

8. 実用的な利用

実用的な電圧計として、超高入力抵抗の特徴を生かす次のような用途が考えられます。

(1) 高抵抗回路の電圧測定

電圧計の内部抵抗の影響を考える必要はなくなります。

(2) カーボン紙や液体による等電位線の測定

電位の値を直接読みとることができます。

(3) コンデンサーの絶縁、絶縁体の絶縁の検査

コンデンサーの場合は適当な電圧まで充電しておき、この電圧計でコンデンサーの漏れ電流による電圧の降下状況を調べます。

絶縁体の場合は増幅器の入力端子にポリスチロール・コンデンサー(1000pF 位)をつないで充電しておき、絶縁体を入力端子間に触れて漏れ電流による電圧の降下状況を調べます。

いずれの場合についても、その絶縁抵抗は次の式で求められます。

$$R \cong \frac{V}{C} \frac{\Delta t}{\Delta V} \quad \begin{array}{l} \Delta V: \text{降下した電圧 (Vに対して小さくとり)} \\ \Delta t: \text{電圧が}\Delta V\text{だけ降下するに要した時間} \end{array}$$

(4) 電極電位(酸化還元電位)の測定

正確な値が得られます。電池の起電力も直接測定できます。

☆ この使用説明書の本文は考案者の柿元 醇先生の執筆によるものです。