技術解説（電気信号の様々な測定方法）

内容

１．はじめに 2
２．測定の基本（電圧の測定） 2
2.1　インピーダンス 2
2.2　通常の電圧測定 2
2.3　高電圧測定—特に放電と絶縁の注意 3
2.4　微小電圧の測定 5
2.4.1　外部ノイズ 5
2.4.2　内部ノイズ 5
2.4.3　ノイズの除去－接続ケーブル 5
2.4.4　ノイズの除去－ノルマルモードノイズとコモンモードノイズ 6
2.5　交流の測定 8
2.5.1　最大値、平均値、実行値、 8
2.5.2　高周波プローブ 9
2.5.3　理想整流回路 9
2.5.4　スペクトラムアナライザ 10
2.6　精度、分解能 10
３．汎用アンプ　ssrAmp1 の紹介 11
４．ssrDlog1 の紹介 12
５．電流測定 13
5.1 直接測定 13
5.2　電流センサ 13
5.2.1　交流電流センサ 13
5.2.2　直流電流センサ 14
６．電力測定 14
７．センサを使った各種物理量の測定 15
８．お問い合わせ等　参考情報 15

１．はじめに

電気に関する物理量として、電圧、電流があり、それを測定するものとしてテスターやオシロスコープがあります。　使い方は一見簡単に見えます。　しかし注意しなければならない点も色々あります。　まず基本の電圧ですが、高電圧や微小電圧は、そのままでは計ることは難しいです。　また電流はどうやって計るのでしょうか。　一方世の中には様々な現象を電圧の変化として捉える方法があります。
温度、湿度、圧力、気圧、力、重量、磁気、光、距離、変位、PH、ガスなども電圧として計ることができることはご存じですか。　いわゆる「センサ」を使うことで、さまざまな物理現象を電圧として計ることができます。　ただし、これらのセンサだけでは、テスターやオシロスコープにそのまま接続することができない場合も多く、それに適したインターフェイスや信号を増幅するためのアンプが必要になります。

そこで、以下この資料では　基本的な電圧測定のノウハウと、様々なセンサを使用するための技術的な解説を行います。　読者は弊社の「オシロスコープ　ssr0s1」のユーザを想定していますが、一般的な解説としましたので、単純なテスターのユーザなどの方も参考となると考えます。　ただし一般的なオシロスコープの測定上の注意（特に高周波測定に集中）は、今回のテーマではないので、触れません。またこれから取り上げるテーマに関して、全ての分野で専門家という訳ではないので、適時ネットなどを活用してさらなる情報を得ていただきたく思います。

以下様々な測定に関して解説して行きますが、具体的に実験をする上で役立ち、またセンサなどを簡単に活用するため、いろいろな応用が可能な「ユニバーサルアンプ　ssrAmp1」（キットと完成品）を開発しました。　さらに、「オシロスコープ　ssr0s1」の PC 側の S/W として、センサなどの校正曲線への対応やデータロガーの機能を持たせたシステム「ssrDlog1」を開発しましたので、参考にしてください。

２．測定の基本（電圧の測定）

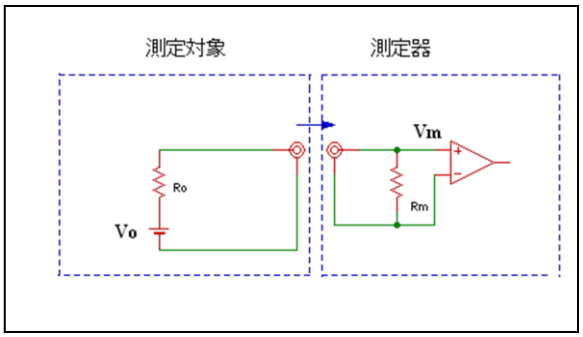
注意する項目は電圧の大きさ、インピーダンス、周波数、絶縁状態です。

2.1　インピーダンス

電圧が生じる部分は図のように電圧 Vo の電圧源と、その内部インピーダンス（この図では純抵抗とした）Ro に模式的に記述できます。
一方測定器側には入力インピーダンス Rm があります。
このような場合測定器が計測する電圧 Vm は下記のようになります。

Vm=Rm/(Ro+Rm)*Vo

Rm=１M の場合で Ro が同じように 1M なら Vm は Vo の半分となり、大きな誤差となります

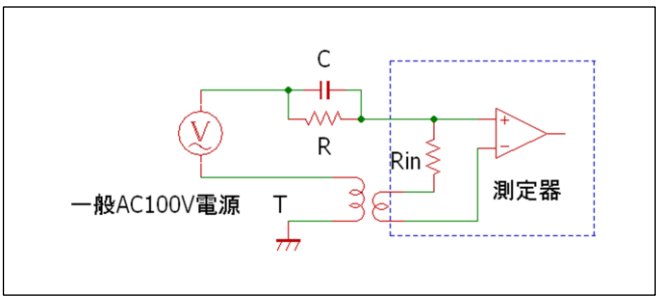


通常のオシロスコープ（当社 ssr0s1 も同様）の Rm は１M ですから、誤差 1%以内にしたい場合 Ro は 10k 以下が必要です。　デジタルテスターですと Rm=10M 以上あり余裕があります。　しかしアナログのテスターでは Rm=100ｋ程度と低いので、注意が必要です。　一方測定対象の方は千差万別です。　例えば電池であれば数Ωでしょう。（０ではありませんし、消耗具合で変化します。）　一方高い例としては、様々な電極を使ったセンサなどがあり、PH 計のセンサの場合は内部抵抗は 10M 以上ですから、別途専用のアンプが必要です。

2.2　通常の電圧測定

測定に簡単な電圧とはどの程度でしょうか。　まず高い電圧ですが、電気設備技術基準では高圧とは、直流にあっては 750V を、交流にあっては 600V を超え、7kV 以下の電圧で、これを越えるものは、特別

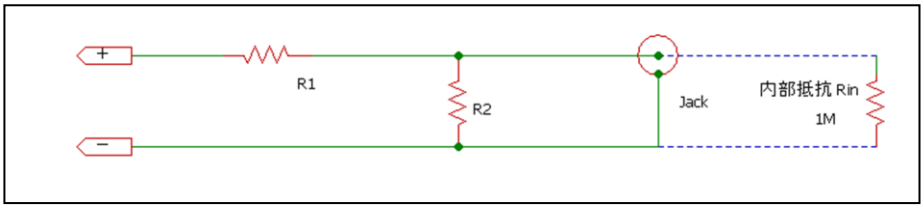
高圧と定義されています。　低い方の定義としては欧州委員会が定めた「低電圧指令（Low Voltage Directive）」と呼ぶ規格で　50 Vrms（実効値）もしくは 75 VDC とされています。　しかし感電の危険を考慮すると気楽に扱える電圧としては 30V 以下でしょうし、多くの電子回路が 12V 以下で動く関係もあり、測定器にとって 1V～20V 程度が測定の上限とするのが便利です。　一方微弱の電圧ですが、これに関してはノイズが関係します。　様々なところからノイズが入りますが、常についてまわるのは、皆さんがお使いの通常の AC100V 電源です。　この影響を考察します。　図は測定器を何も繋げない状況の模式図です。



例え測定器の入力をどこにも繋がなくても、図のように AC100V が何らかの形で影響します。　R は AC100V 電源と測定器との間の抵抗です。　AC100V の電源は色々なところに来ています。　壁や床にもある抵抗 R を通して漏れています。では R はどんな値となるのでしょうか。　例えば天然ゴムの抵抗率は　10^{15}　Ω・m です。　従って 1cm のゴムで絶縁した場合なら 10^{13}　Ω です。
　一方　Rin は測定器の入力抵抗で当社オシロ ssrOS1 では 1 M です。　図の例では　$Vin=100*10^{6}/10^{13}=10^{-5}$（10μV）　となります。　また C を通しての抵抗　$Rc=1/2\pi fC$　が影響しますし、T の電磁的な誘導も影響します。　概算的には 10μV 以下の電圧を扱うには特別な注意が必要ですし、AC100 以外の外乱も様々な影響を与えます。　10μV を超え 1mV 以上となると、非常に扱いやすい値となります。従って上限 10V、精度（分解能）1mV 程度なら通常どんな測定器でも問題がありません。　それ以外の場合は、それに信号を変換（増幅　もしくは　減衰）することが測定のコツです。

2.3　高電圧測定―特に放電と絶縁の注意

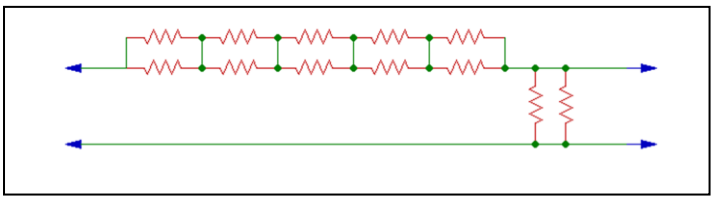
前述した扱いやすい電圧である 10V 程度より高い電圧を計る場合は、10V 以下になるようにしなければなりません。オシロスコープなどの入力抵抗が 1MΩ とすれば、9MΩ をシリーズに入れれば、1/10 になりますが、100V 以上の想定をした場合、測定器の入力の外（プローブ内など）で分圧をした方が、安全と言えますので、図のような回路を推奨します。



R1,R2 の関係は以下の通りです。
1/n　の場合 R2 と Rin の合成抵抗　R2*Rin/(R2+Rin)　を R とすると
　　n=（R＋R1)/R
従って　R1 と R2 は下記のような値が適当です。

1/10 プローブ	R1=910kF	R2=110kF	（F は 1%級）
1/100 プローブ	R1=9.1M	R2=91k	

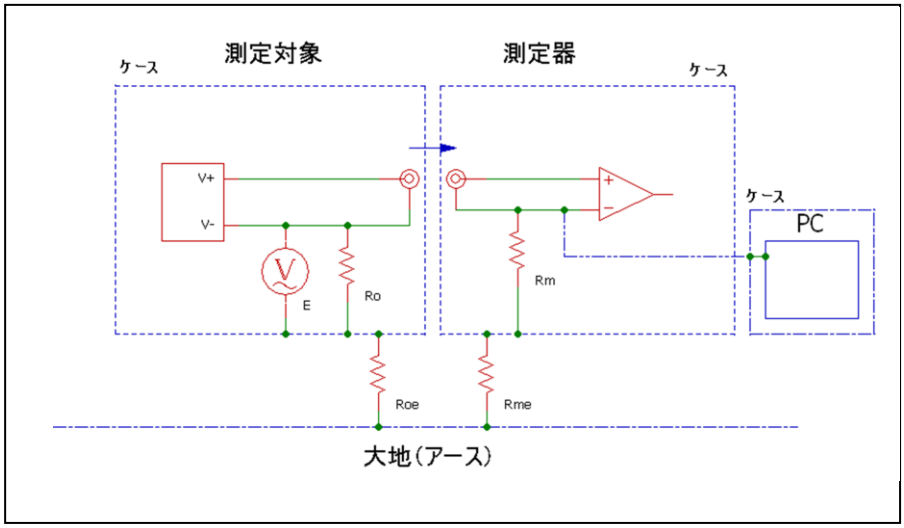
1/100 に関しては、その性格上数百 V を測定するものと考えられますので、抵抗の W 数と耐圧の注意が必要です。　例えば測定最大電圧を 1000V とすると　$P=V^2/R$　で　R1=1M とすると　1W　となります。余裕をみると R1 は 2W 以上が必要です。
また抵抗には耐圧があります。　炭素被膜の 1/2W クラスでは 300V、金属皮膜　1/2W で 600V 程度です。従ってここでは　R1 として　いくつも抵抗を直列につなぐなどをして耐圧と、W 数を上げる必要があります。　また、抵抗の断線を考慮し図のように並列の抵抗とする方法も良いでしょう。



図はボールペンのプラスチックの円筒を利用し、2MΩを5本と100kで作成した1/100のプローブの自作例です。

高圧の場合の特別な注意としては放電があります。　大気中では1mmの離隔で3,000Vと言われますが、 端子やプローブの絶縁体の表面に沿っての沿面放電などそれより低い電圧で放電が起こる場合があり、確かな絶縁とその表面の清掃および距離を確保することが必要です。　ちなみに電気用品安全法で　100Vの場合　2mm　の沿面距離が必要とされますから、それ以上の高圧の場合は、それに比例した距離を保つ必要があります。

また測定対象と測定器のグランドの問題にも注意が必要で、図はその模式図を示します。
測定器をPCに繋ぐ例も多いので、その場合PCを含めて考えます。



安全面を考えると　測定対象のV-が大地にアース（Ro、Roe=0)されていれば問題ありません。　例え実際にはアースされていなくても、実施しても問題がないのであれば、注意して測定すれば良いケースがほとんどと思われます。　しかし問題は測定対象部分が図の　E　の電圧を持って浮いているケースです。　家庭のAC100Vを測定する時もこの例としてみてください。　測定器側の信号の基準側とケース、ケースと大地アースとの関係　Rm、Rme　がどうなっているかを確認ください。
Rm=0　、　E=100V　で　測定器のケースが金属なら、触れたら感電します。　この場合はケースを浮かせる（Rm=∞）必要があります。　また、PCが接続されている場合、ほとんどのPCのケースは測定器の信号入力に繋がっていると見た方が良いでしょう。　PC内部のグランドはケースと共通で、PCの回路に　E　の電圧がかかります。　当社のssrOS1ではこれを避けるため、絶縁型DCDCコンバータとフォトカップラで電気的に測定部分とPCを切っていますので、この心配はありません。　しかしこの絶縁耐圧は1000Vmaxなので　E　はそれより低い必要はあります。

また前述したインピーダンスの問題も重要で、一般的に高電圧の対象はインピーダンスが高く、プローブを触れただけで電圧が落ちるケースがあります。これは測定誤差に影響します。

2.4　微小電圧の測定

1mV 以下の電圧は特別な注意が必要だと前述しました。
微小電圧の限界はどの程度でしょうか。　これをきめるのはノイズです。　つまり目的信号よりノイズが小さい事が必要です。　このノイズには下記のように信号とともに外部からの入るノイズと内部で発生する内部ノイズがあります。

2.4.1　外部ノイズ

先に AC100V の影響を簡単なモデルで説明しましたが、測定しようと信号ケーブルを伸ばした環境では、例え絶縁されたと思っても抵抗∞はあり得ないし、電気磁気の誘導があり、様々な外乱を受けます。　これらは「自然ノイズ」と「人工ノイズ」に大別でき、「自然ノイズ」は落雷や空電に起因するもので、機器の電源系統に侵入したり、電磁波として入力系統から直接侵入したりします。　それに対して「人工ノイズ」は　通常の交流電源、動力機器、照明機器、パソコン、高圧送電架線、電車、無線電波などからの影響です。　これらの影響をできる限り少なくする対策が微小電圧の測定のポイントです。

2.4.2　内部ノイズ

ほとんどの電子回路には逃れようのない熱雑音（ジョンソンノイズ）といわれるノイズが全ての周波数に生じます。　これは温度、抵抗値、周波数帯域の平方根に比例します。　つまり抵抗が原因で発生するノイズの大きさは抵抗が大きいほど、また周波数帯域を広げるほど強くなると言うことです。

またフリッカー・ノイズ（1/fノイズ）と呼ばれる周波数が100Hz以下で、周波数帯域に依らないノイズがあります。　OPアンプではこれらのノイズの大きさを　「入力換算ノイズ　（Input noise）」として表します。　つまりノイズがあたかも入力の信号で入って来たとした数値に換算します。　図はポピュラーな　OP07　という汎用OPアンプの仕様の一部ですが、分かりやすい仕様として0.1Hz to 10Hzの欄があり、これがフリッカー・ノイズで、0.4μV程です。　OPアンプが10倍の増幅度とすれば　4μVほどのノイズが出ます。　10Hz以上の周波数帯域では　電圧性ノイズ、電流性ノイズが周波数帯域の平方根に比例して大きくなります。　厳密にはその他の要素があり、難しくなりますが、日常的な低い周波数では、概して10μV　以下あたりからは微小信号として注意する必要があります。　逆の言い方をすると、それより実際の測定ノイズが多い場合は、工夫次第でもっと下げることが可能とも言えます。

OP07C, OP07D
PRECISION OPERATIONAL AMPLIFIERS

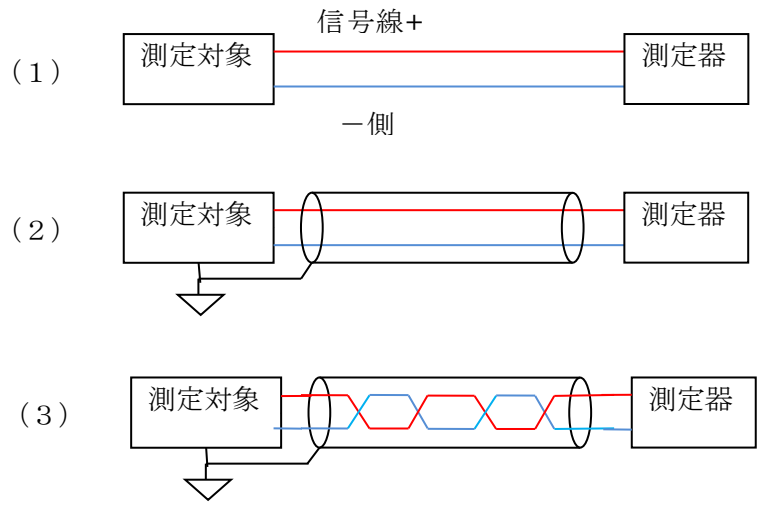
operating characteristics, $V_{CC\pm}$ = ±15 V, T_A = 25°C

PARAMETER		TEST CONDITIONS†	OP07C TYP	OP07D TYP	UNIT
V_n	Equivalent input noise voltage	f = 10 Hz	10.5	10.5	nV/√Hz
		f = 100 Hz	10.2	10.3	
		f = 1 kHz	9.8	9.8	
$V_{N(PP)}$	Peak-to-peak equivalent input noise voltage	f = 0.1 Hz to 10 Hz	0.38	0.38	μV
I_n	Equivalent input noise current	f = 10 Hz	0.35	0.35	pA/√Hz
		f = 100 Hz	0.15	0.15	
		f = 1 kHz	0.13	0.13	
$I_{N(PP)}$	Peak-to-peak equivalent input noise current	f = 0.1 Hz to 10 Hz	15	15	pA
SR	Slew rate	$R_L \geq 2$ kΩ	0.3	0.3	V/μs

† All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise noted.

2.4.3　ノイズの除去－接続ケーブル

前述したノイズを除去あるいは、その影響を軽減するため、様々な工夫があります。
今回のような測定で、避けて通れないのが、測定対象と測定器の間の接続です。
下記のように、いくつかの種類があります。

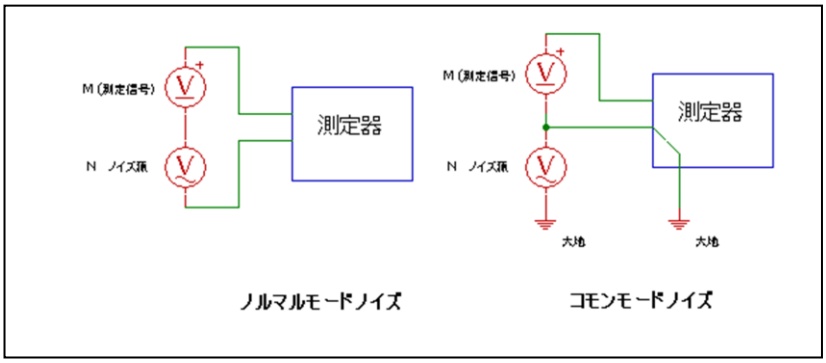


距離の離れた 2 つの回路間を電線で接続し、信号を送受信する場合に問題になるのは、空中の様々なノイズ源から信号電線にノイズが侵入することです。これは信号電線の長さが長くなるほど大きな問題になります。　ノイズの原因は 2 つであり、1 つは磁界、もう 1 つは電界です。　周囲の電流および電圧の大きさが変化すると磁界と電界の大きさも変化し、この変化が信号線や装置にノイズとなって乗るのです。　これらを「電磁誘導ノイズ」と「静電誘導ノイズ」といいます。

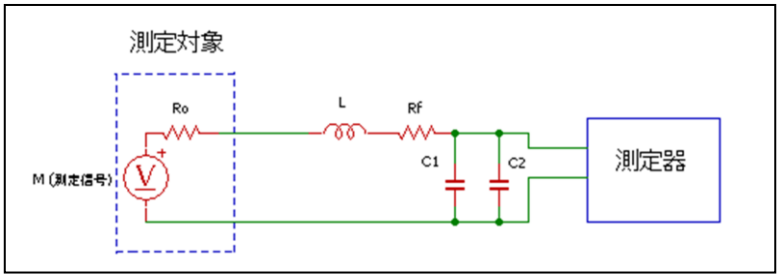
このような環境の中で、（1）のような接続では無防備となります。　ただし測定の電圧レベルが充分に高い場合は影響はないと言えます。　一般的には 10～100mV 以上の信号の場合はそれほどの注意は不要でしょう。　（2）はシールド線を使用した例で静電ノイズから保護できます。　この場合マイナス側がシールドとなる 1 芯シールドの場合もあるでしょう。　シールド線は通常グランドに接地します。この場合 1 点で落とすのか、あるいは両端で落とすのかは、グランドに電流が流れる恐れがあるのかや、扱う周波数に対するインピーダンスの関係などで一概には言えません。　1 点アースと良くいわれますが、これが必ずしも当てはまるとは限りません。　ケースバイケースで確認が必要です。　（3）は誘導ノイズの影響を低減するため、信号線 2 本の線をツイストにしたものです。　ツイストは誘導を受けて発生する電流を打ち消す働きをします。

2.4.4　ノイズの除去－ノルマルモードノイズとコモンモードノイズ

前述したような対策でもノイズが入らなくする事は難しいと言えます。　そこで入ってしまったノイズをフィルタで取り除く方法があります。　この場合ノイズの入り方に 2 つある事に注意が必要です。それがノルマルモードとコモンモードです。　ノルマルモードノイズは図のようにノイズ源が信号源に対して直列に加わり、信号ラインを通して負荷に伝達されるノイズをいいます。　一方コモンモードノイズは信号ラインと接地間にノイズ源が存在し、2 本の信号ラインに伝達されるノイズをいいます。



ノルマルモードノイズ
ノルマルモードのノイズはすでに信号と一体化されているので、どれが外部からの信号かは区別できなく、周波数などで区別していくことになります。　もっとも簡単で良く使われるのは周波数フィルタです。　ローパスフィルタ、バンドパスフィルタ、ハイパスフィルタがあり、目的に応じて使用されます。この資料はセンサなどを使用しての様々な測定をテーマとしていますので、多くは周波数として一般のAC 電源の 50/60Hz より低い信号を扱う事が多く、ローパスフィルタを用います。　単純には図のようにコンデンサ C（図では C1,C2 の２本となっている）を入れます。



場合によってはコイル L や抵抗 R を入れますが、L は電線のインダクタンス分がありますし、R は測定側の内部抵抗があるので、簡単に C だけとなるケースもあります。　　どの程度の C を入れるのでしょうか。

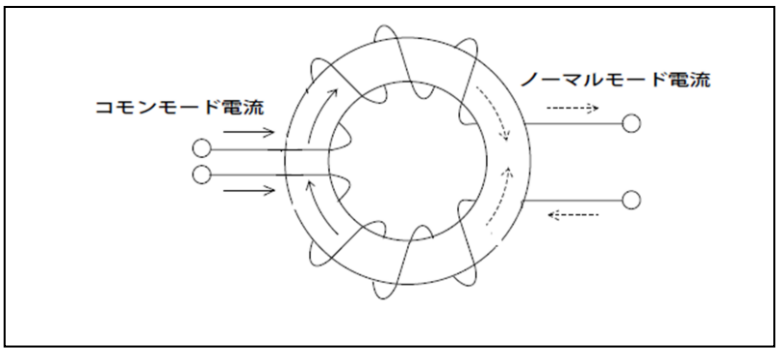
測定器の入力インピーダンスが高く、無視し、L も小さく無視し、R=(Ro+Rf)とすれば、C の両端の電圧 Vc は　$Vc=V/\sqrt{(1+(\omega CR)^2)}$　（$\omega=2\pi f$）となります。

例えばここで測定する信号の変化は　１秒程度の早さとし、R を 1ｋΩとします。　測定精度を 1/100 で良いとすれば　C はおよそ 20μF となります。　ここで 50Hz の電源のノイズは　計算から約　１／６に軽減されることになります。
厳密な計算は多少面倒ですね。　簡便的、直観的には　所謂時定数ｔ＝CR　で計算しその影響を考慮します。　ｔは時間なので　R=1k、C=20μなら　t=20mS　となります。　ここから 100t　の信号の変化にはほとんど影響を与えないでしょうし、10t なら多少影響があるということが分ります。　またコンデンサには周波数特性があり、大きな容量の物（目安 1μF 以上）は周波数が高い場合は不適と考え、C2 として 1000pF 以下のコンデンサを並列に入れる事も必要の場合があります。

以上は最も簡単なローパスフィルタですが、その他様々なフィルタがあります。
しかし、このような電子回路を駆使してのフィルタでのノイズ除去には限界もあり、ディジタル化したデータを基にあるべき信号の性質からノイズ成分を取り除く所謂ディジタルフィルタ、DSP が様々に開発されています。

コモンモードノイズ（同相ノイズ）
一方コモンモードでは、本来信号はノルマルモードであるので、コモンモードだけを除去する事が可能です。　先の図で皆さんの測定器などは大地にアースしていないのだから関係がないように思う方もいるでしょうが、2.2 の節でご説明したように、完全な絶縁は不可能で、また誘導で目に目えない接続が存在し、コモンにノイズが乗る経路が必ず存在します。　特に周波数の高いノイズが乗ってこの変化分があたかも低い周波数のノイズとして現れる場合があります。

周波数が低い場合は　2.6 節で説明するような差動アンプで同相ノイズを軽減できますが、周波数が高い場合の除去には図のようなコモンモードフィルタが威力を発揮します。
コモンモードの電流は２本の信号線に同じ向きに流れます。　それを図のようにトロイダルコアに対称となる方向に線が巻かれた所に通すと、磁界は同じ向きになり、インダクタンスによって抵抗を受け信号は減衰します。　しかし通常の信号はプラスとマイナス側は反対向きの電流が流れますので、それによる磁界は打ち消し合い、理想的にはコイルが無いものと同じとなり、減衰などを受けません。　その意味で外部ノイズだけを軽減するのに理想的となります。

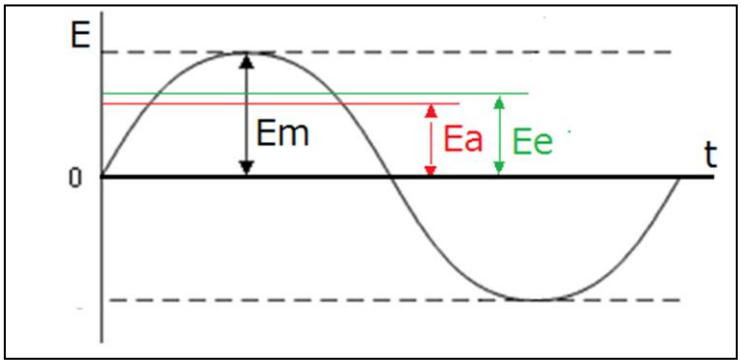


このフィルタは２本の線から放射する方のエネルギーを減衰する効果もあり、外部に対して影響を受けない、出さないという両得の仕掛けとなります。
良く目にする PC などの接続ケーブルについた写真のような部分がトロイダルコアで、このように単純に通すだけでも、コアの透磁率や周波数特性の良いものを使用する事で大きな効果を出すことができます。　どの様なコアに何ターンの線を巻いたら良いのかは、トロイダルコアの仕様と外部ノイズの原因となっている周波数によるのですが、透磁率、周波数特性など仕様の異なる物を交換して試してみる必要がある場合も多いと言えます。

2.5　交流の測定

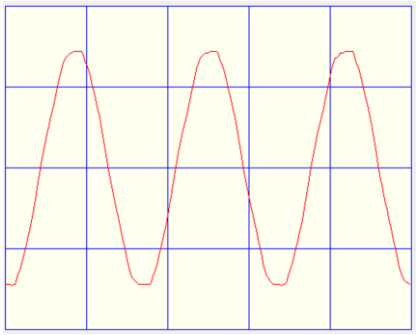
2.5.1　最大値、平均値、実行値、

交流で正弦波形は　E=Em*sin(wt)　と表され、図のようになります。



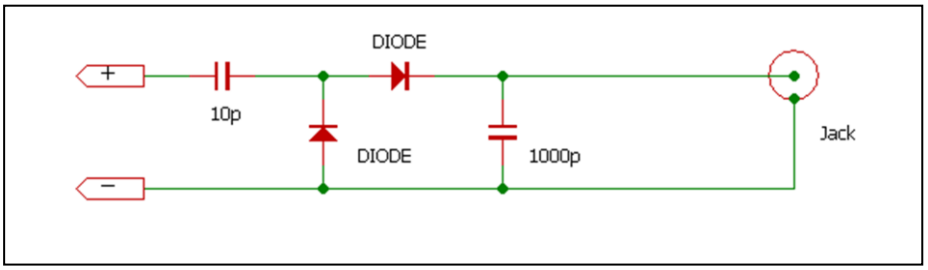
基準となる 0V からいちばん大きい値が**最大値** Em です。
Ea は平均値で、半サイクルを平均化して交流の**平均値**としており、Ea=（2/π）Em　です。　一方交流電圧値として一般的に使われるのは　**実効値** Ee であり、直流の場合と同じ電力を発生する交流電圧の値として Ee=Em/√2　となります。　従って家庭用電源の 100V というのは実効値であり、実際の最大値 Em は約 141V になっています

しかしこのように理想的な正弦波にはならない現実があり、平均値、実行値も計算通りにはなりません。オシロスコープなどで波形を観察しなければ分からない事も多いと言えます。　皆さんの周りの電源はどうでしょうか。　図は実際の公証 AC100 の波形です。



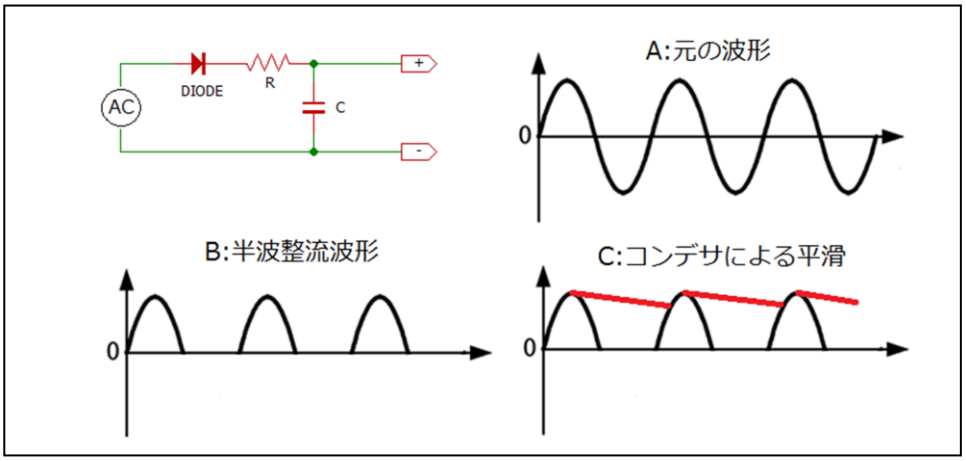
2.5.2　高周波プローブ

一般的なオシロスコープは数十 MHz 以上の波形を観察できます。　これに関する解説は、当社が提供する教材から離れますので割愛します。　しかし低い周波数までしか見れない測定器の場合では、それ以上に関して役にも立たないのでしょうか。　1MHz 以上の信号を例え扱っていても、そのほとんどが正弦波で 1MHz そのものの波形が見たいという事ではなくその変動を見たい場合も多いと言えます。　その場合には整流して観測する方法があり、そのプローブをご紹介します。　下記がその回路図です。
これなら簡単なディジタルテスターでも使えます。

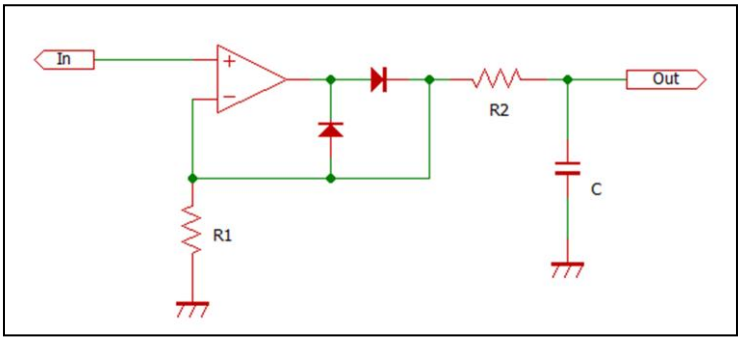


2.5.3　理想整流回路

例えば AC 電源の電流値の 1 日の変動を視たいと考えた場合、交流のままデータを読んだり、記憶しても非常にわかりにくいものとなります。　この場合は整流すると直流として観察できますから、その変動を捉え易くなります。　一般的に整流は図のようにダイオードで行います。



図の A は元の AC の電圧波形です。　これをダイオード 1 本で整流すると、コンデンサ C がないと図 B のように半波整流の波形となります。　これにコンデンサ C を付けると図 C のような平滑が行われます。
　しかしダイオードは順方向に流れる電流によって両端に電圧が発生し、非直線性があります。　従って正確に波形の半分となる半波整流はできません。　そこで OP アンプを使って正確な波形を出力するための回路があります。



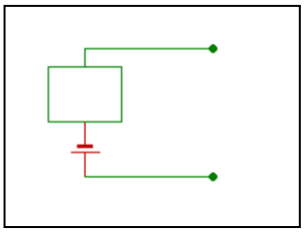
これが理想整流回路と呼ばれます。　Ｃで平滑しており、時定数 CR2 で平滑具合が変わります。　例えば C=47μ、R2=10ｋなら　時定数は 0.47 秒で　通常の５０，６０Hz の　１周期　20mSec、17mSec　に比べ充分長く　前の図のＣのような波形では、ほとんど電圧は落ちない事になります。

2.5.4　スペクトラムアナライザ

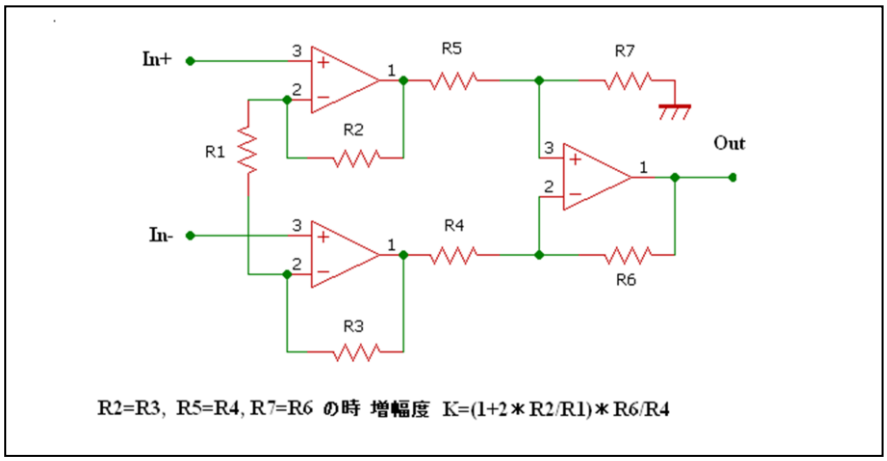
オシロスコープを用いて交流の時間の変化を見ても、周波数の変動やメイン波形に含まれる小さな別の周波数の波形などには気が付きません。　これらを視るために横軸を時間ではない周波数軸として、電圧を表示するのがスペクトラムアナライザです。　従来のハードウエア的に信号を処理する方法の他、PC 上で時間変化のデータをフーリエ変換計算して表示する方法があります。　フリーの**簡易ソフトや様々なシステムが PC を使って実現しています。　ここでは詳細は割愛します。**

2.6　精度、分解能

テスターですと例えば　１V レンジだと 0-1V 間が表示されます。　ディジタルの場合であれば表示３桁なら最小単位は 0.001V(1mV)となります。　一方観察したい信号は 1.5V～1.6V　の間で変化し、しかもその 0.1V の間を 1/1000 で見たいとしたらこのテスターではみれません。　　このように信号がゲタをはいている場合は、これを引いてみる必要があります。　このために簡便法としては図のように測定信号に電池を入れ、電圧を下げる事で対応する事もできますが、電池の電圧は自由になりませんし、電圧の値も消耗具合や負荷電流で変化しますので使い勝手は悪いです。

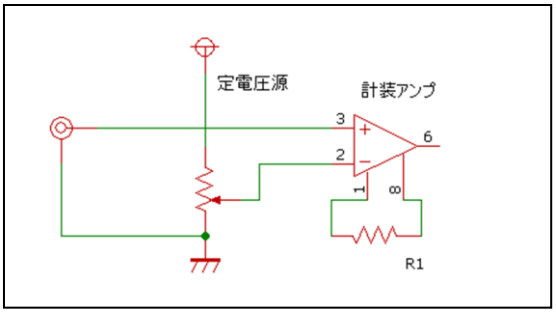


そこでこれらを解決するために、まず簡単に電圧を引いたり、足したりするアンプを考えてみます。　これを差動アンプと言います。　測定信号のインピーダンスに左右されないように高い入力インピーダンスにすると、１個の OP アンプでは無理で、図のような構成が最適です。



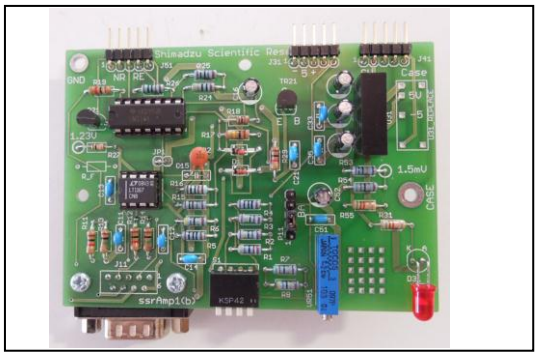
この回路では、増幅度を R1 だけで変える事ができます。　また２つの入力の差を増幅するので、引いたり足したりする電圧が分らなくても良いというケースの場合、便利です。　２つの信号がグランドより浮いてしまっているような例は多く、このアンプは様々な応用に適応します。　これを計装アンプと呼び、１つの IC のパッケージになっており、簡単に安価に入手できます。　またこの回路では先に説明したコモンモードのノイズが差動の働きで打ち消されるメリットがあります。

なおある電圧で引きたい場合は図のような回路となりますが、定電圧源が必要で、通常の電源電圧では信頼性が担保できない場合がありますので注意が必要です。

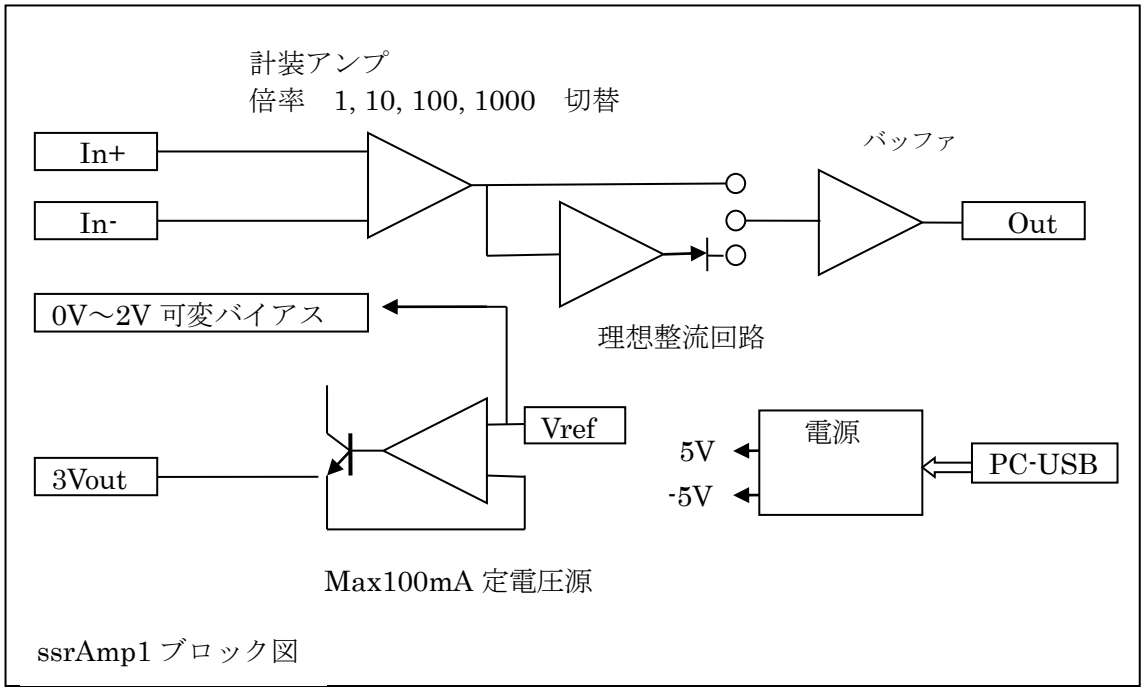


３．汎用アンプ　ssrAmp1 の紹介

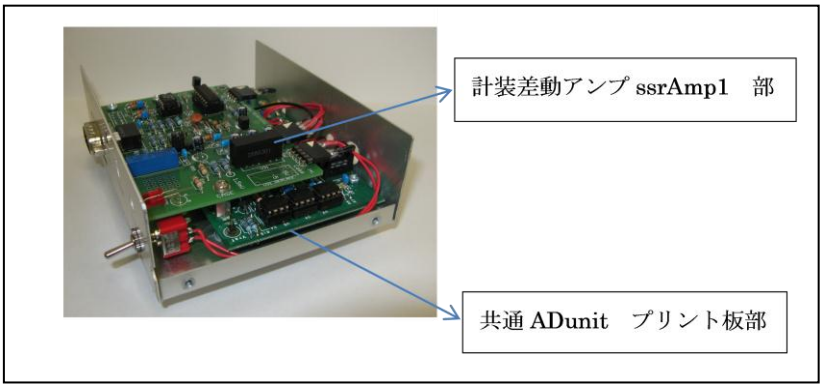
前述しましたように、様々な信号を見ようとした場合、特に微小信号やゲタをはいた信号の場合特別な仕掛けが必要となります。　そこでこれらに広く対応できる物として　ssrAmp1 というアンプをキットとして、あるいは完成品として販売をしますので、紹介します。　　図はその回路部分です。



この ssrAmp1 はブロック図のように　1, 10, 100, 1000 倍切り替え（もしくは可変）の増幅度を持った計装アンプとセンサとしてブリッジを利用する場合の供給電源（3V）を持っています。　入力としては　±2V、　出力最大　±４V です。
前述したように入力のゲタはき（バイアス）の電圧として可変で　0～2V　を利用できるようにしてあります。　計装アンプの増幅度は最大 1000 倍なので 1mV の分解能がある測定器を利用する場合は　最小分解能が 1μV となります。



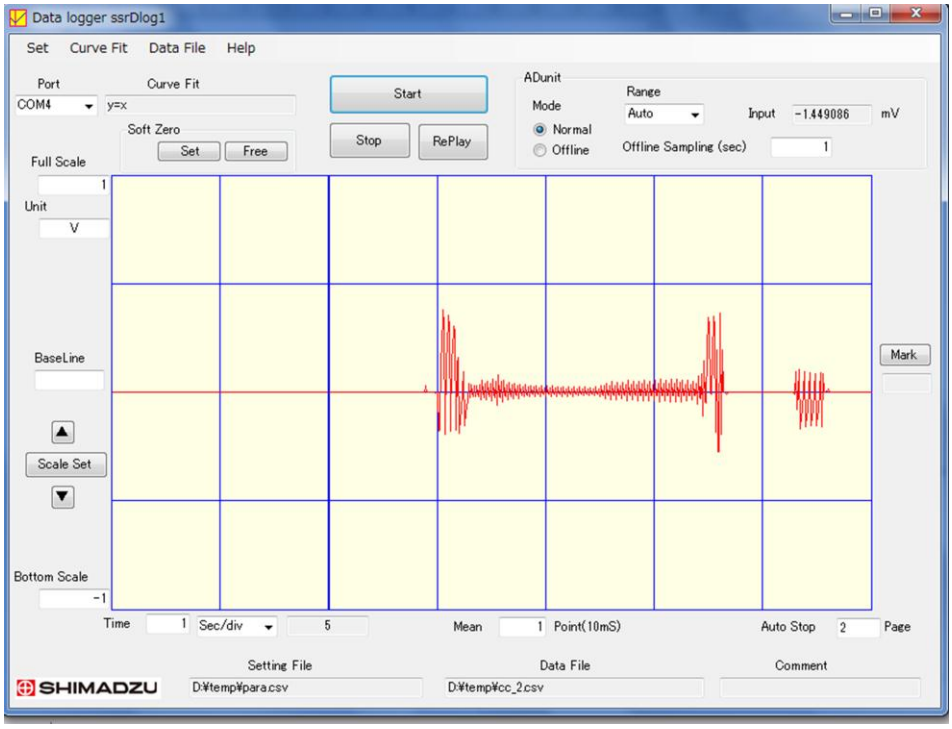
プリント板とその搭載部品をキットとして販売しており、それにケースを適当に皆さんが用意していただければ、お手持ちの測定器の前段のアンプとして利用できます。
一方弊社オシロスコープ ssr0s1 の ADunit のケースを多少変更して、ssr0s1 と共用のケースを写真のように用意しました。　ssr0s1 のプリント板の上に ssrAmp1 のプリント板を装着し、一体として使用できる形態としました。



その他詳細は次節と関連し、こちらを参照ください。

4．ssrDlog1 の紹介

弊社のオシロスコープ ssr0s1 は 40kHz のサンプリングを行い、リアルタイムで電圧波形を表示するものです。　しかし温度、気圧などセンサを使った測定の場合、当然単位としては　電圧の単位 V ではなく、センサに合わせた単位が求められます。　そのためにはキャリブレーションという校正が必要となります。　そこでこれらを実現する PC 側のソフトウエアを　ssrDlog1　として完成させました。
　この種の測定ではデータの保存も重要なので、ファイルに途切れることなく連続して格納できるようにしてあります。　また従来は ADunit を PC に接続しなければ測定が出来なかったのですが、ADunit の PIC のプログラムを変更し、PC を繋がない状態で　ADunit 内のメモリに１００点までのデータを格納でき、後で PC に繋ぎ、この ssrDlog1 のプログラムで解析できるようにしました。　詳細は別途 ssrDlog1 の資料を参照ください。　　図はこの PC 画面です。

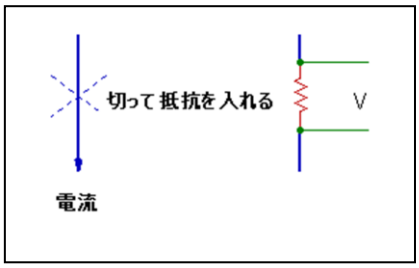


５．電流測定

5.1 直接測定

基本的には電流を電圧に変換して測定をします。

従って簡単にはオームの法則　V=IR　を利用することです。しかし問題は図のように回路を切り、そこに抵抗を入れなければなりません。　従って、この抵抗が動作に影響がない程度に小さくする必要があります。



またこの抵抗で消費（発熱）されるワット数にも注意が必要です。

では AC100V 商用電源の電流を考えてみましょう。　　10A を測ろうとして、100V の 1/100　の１V 程度を 10A とすると抵抗は R=0.1Ω となり、$P=I^2R$　から　0.1W　となります。　この抵抗は手に入るのでしょうか。　1Ω なら手に入りますが 0.1Ω は難しいですし、線の抵抗やコネクタの接触抵抗など数十 mΩ の影響も出てきます。　従ってこの場合１A 程度以下であれば比較的簡単に測れる事がわかります。

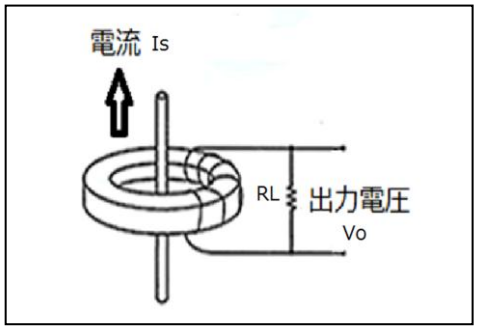
また電圧は 2.2 節で説明したように 1mV 程度であれば問題なく測定できますので、1Ω であれば 1mA までなら比較的簡単に測定ができます。　これより大電流はこの方式には向かないこととなります。

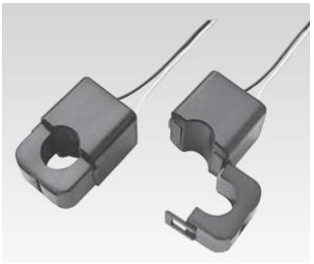
5.2　電流センサ

上記のように回路の途中を切断する事なく測定するため、電流が流れる事によって発生する磁界を検出する方法があります。　この場合所謂トランスと同じように考えることができますので、交流の方が簡単となります。

5.2.1　交流電流センサ

50,60Hz の一般的な交流電流の測定にはトロイダルコアを使用したカレントトランス型が代表的に使用されます。　原理図で示しますようにカレント･トランスとしてトロイダルコアが使用され、測定電流 Is によりこの巻線に誘導電流が流れ、負荷抵抗 RL に電圧 Vo として出力されます。

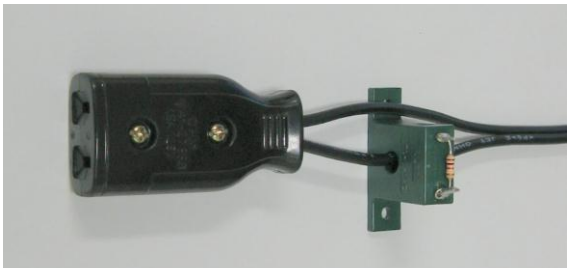


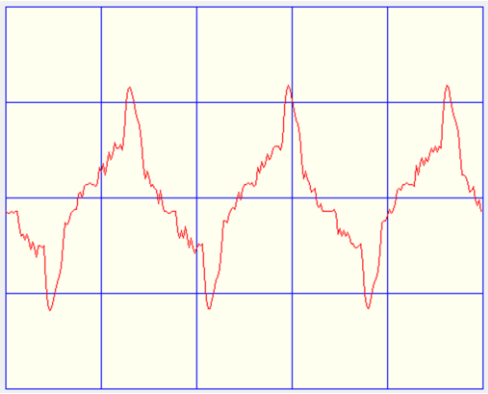


実物は図のように貫通型とクランプ型があり、大きさも大小様々で測定範囲も数 mA から数百 A まであります。　おおよそ一つのセンサでカバーできるレンジは負荷抵抗 RL を固定で２桁、RL を変える事で１桁増える程度ですので、応用によって使い分けが必要です。　　もちろんこのトロイダルコアを通す線は１本だけで、図に家庭の電気製品の電流測定の例を示します。　　ちなみに右図は PC 用の電流の

実測例ですが、興味深い波形ですね。

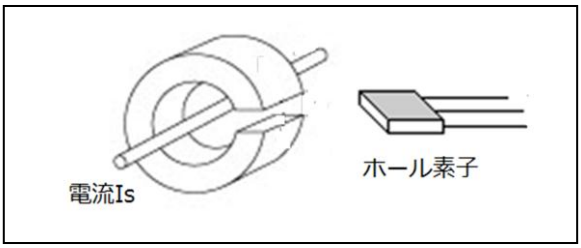
センサの利用例





5.2.2　直流電流センサ

直流電流を測りたいというのは一般的には身の回りにはなく、またを多くの場合 5.1 の説明のように小電流の場合は抵抗で簡単には測れますので、センサの利用は特殊な大電流の測定の場合に限られます。代表的な方式としてホール素子を使う方法があります。

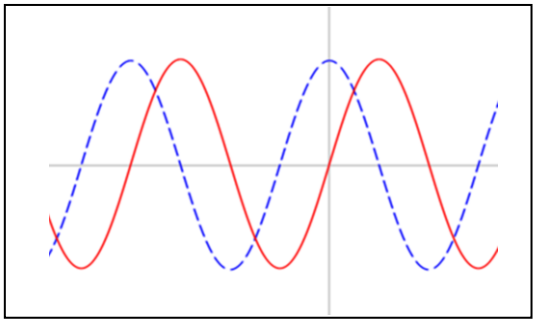


ホール素子は半導体薄膜で形成され、電極から電流を流し（または電圧をかける）、薄膜の表面から裏面に貫通する向きに磁場をかけると出力として電位差発生するものです。これを利用し、図のように測定電流のまわりにギャップ付の鉄心を置くと、そのギャップに磁界が発生し、これをホール素子で感知する仕組みです。　数 A から数百 A までを測定します。

６．電力測定

電力の単位は W（ワット）ですね。　これは P=I×V　で計算されます、　しかしこれは話が逆であり、最初に仕事率の単位ワットが存在しその後に、電気単位の基準としてボルトやアンペアが定められています。　ワットという名称は、蒸気機関のジェームズ・ワットにちなんで名づけられ　1 ワット＝1 ジュール／秒　(J/s)で 1 秒間にする仕事量です。　ちなみに 1 馬力＝≒750W です。
ここで一定した直流なら単純計算で　P=IV　で済み、測定は前述した電圧測定と電流測定（抵抗値からの換算）で簡単にできますが、交流の場合は複雑です。

計算式は同じ　P=IV なのですが、$I=I_m\sin(wt)$,　$V=V_m\sin(wt-\theta)$　と電圧と電流の位相が異なる可能性があるからです。　図で実線の赤が電流、青の点線が電圧としますと、お互いに位相が 90°ずれてしまって、電流だけを見ると流れているにもかかわらず　P=0　となり全く仕事はしていない状況となります。　（この例は所謂誘導性負荷と言われ、電流が 90°遅れている。）



そして一般的に電力はある時 t の瞬時の電圧と電流の積の平均値として表されます。　もし電源の周波数が変化したり、位相差が変化したり、あるいは電流、電圧波形が複雑に変化したら測定は困難です。そこで非常に単純な単位として VA（ボルトアンペア）と言う値があります。　これは

P（実効電力：ワット）＝λ（力率）×VA（皮相電力）

と言う関係になります。　ここで V も A も実効値であり、交流の波形の最大値ではない事は前述した通りです。　図ではλ（力率）=0 と極端な例ですが、一般の電気設備ではエネルギーとして電力を必要とする装置は、ほとんどが誘導性負荷であり、λ（力率）も 0.85 程度を基準として、この力率により電気料金が変わります。　仕事をしないのに、電流値ばかり高く、そのため電線などを太くするなどの対応が必要だからです。　そこでこの電力測定の目安として電圧と電流を測り、平均的に 0.85 を掛けて電力とする方法も便宜的にあります。

以上の理由で厳密に電力を計測するためは、電力計、パワーアナライザなどの専用機器が必要で、仕様にも注意が必要です。　それらの機器では　電圧、電流の瞬時値を A/D 変換し、それを乗算、累算、平均する構成となっています。

７．センサを使った各種物理量の測定

センサを使うと様々な物理量の測定が可能です。　下記は比較的簡単に手に入るものです。

温度
湿度
気圧
風速
力、重量（歪みゲージ）
力、重量（圧力センサ）
磁気
光
距離
音
変位
各種ガス濃度

これらを使うには、特に外部電源の有無、インピーダンス、電圧レンジなどの情報を基に測定器の種類や設定などを行います。　別途解説の予定です。

８．お問い合わせ等　参考情報

ssr0s1 関連　http://www.shimadzu.co.jp/ssr/etc/ssr0sc/document.html
この中に下記の資料が含まれます。
＊カタログ
＊ニュースリリース
＊紹介、概略
＊回路図
＊組み立て、調整
＊部品仕分表
＊操作マニアル
＊技術解説
＊プログラムダウンロード
　　PC 側インストールプログラム
　　PC 側ソースプログラム（BASIC）
　　PC 側ソースプログラム（C#）
　　PIC プログラム（MPLABIDE ファイル）

ssrDlog1、ssrAmp1 関連　http://www.shimadzu.co.jp/ssr/etc/ssrDlog/document.html
この中に下記の資料が含まれます。
＊カタログ
＊オシロスコープ ssrOS1、データロガーssrDlog1、計装差動アンプ ssrAmp1　について
＊ssrAmp1 回路図
＊技術解説（測定のノウハウ）---- ssrOs1 関連を含む
＊ssrAmp1　組み立て、調整
＊部品仕分表
＊ssrDlog1 操作マニアル
＊オフラインスイッチの取り付け
＊プログラムダウンロード
PC 側インストールプログラム
PC 側ソースプログラム（BASIC）
PIC プログラム（MPLABIDE ファイル）
PIC　HEX ファイル

当社 Web　http://www.shimadzu.co.jp/sgs/
お問い合わせ　ssrOs1@sgs.shimadzu.co.jp
ショピングサイト　http://www.shimadzu.co.jp/ssr/etc/eshop/

（株）島津総合サービス　リサーチセンター
〒604-8445　京都市中京区西ノ京徳大寺町１
電話　（075）823-0461