

1. 測定の準備

測定機器の確認

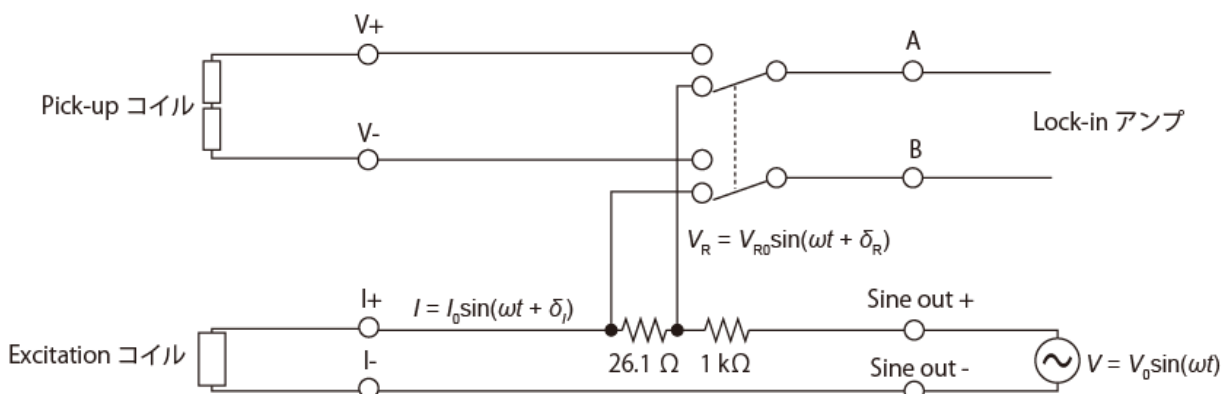
- 測定機器の機種やそれらの間の配線などを確認する。(ノートに書くこと)

	製造元	型番など
直流電流・電圧源(抵抗試料電流印加用)	社製	
マルチメータ(抵抗試料電圧測定用)	社製	
マルチメータ(_____温度計抵抗測定用)	社製	
ロックインアンプ(交流磁化率測定用)	社製	

(配線図 → ノートに書くこと)

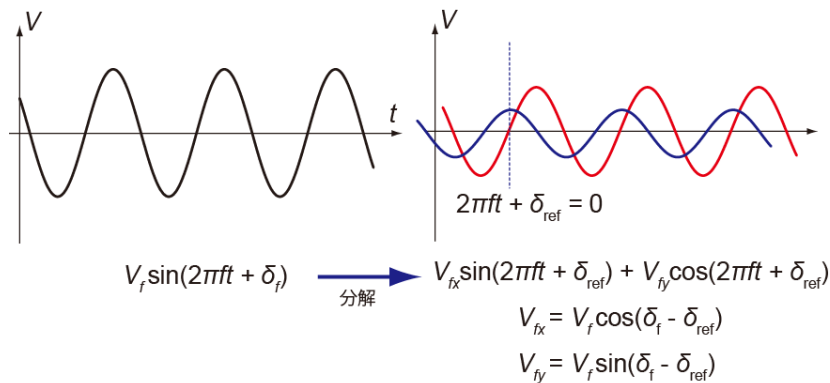
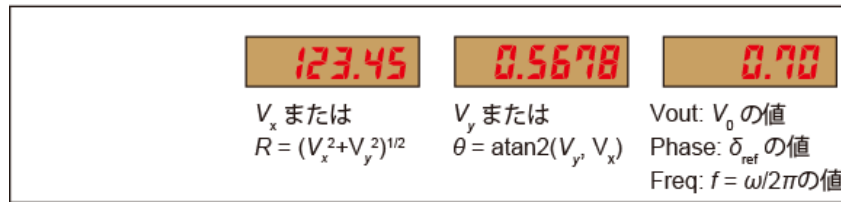
測定用 BOX の確認

- 測定用ボックスを開けてみて、内部の配線が以下のようにになっていることを確認する。



## ロックインアンプの詳細

$V = V_x \sin(\omega t + \delta_{ref}) + V_y \cos(\omega t + \delta_{ref})$  とした時の



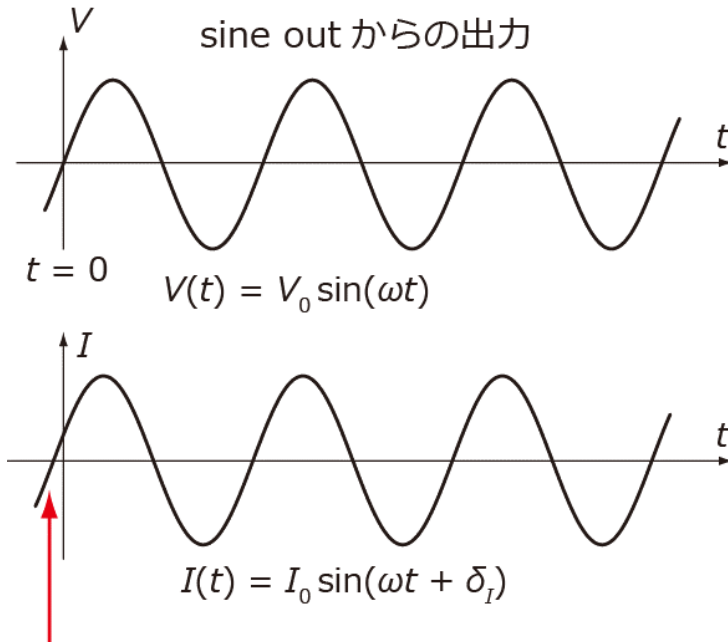
$2\pi ft + \delta_{ref}$  に対する sin の成分と cos の成分に分解することに対応。

- ✓ ロックインアンプは、 $V_x = V_{f=ref} \cos(\delta_f - \delta_{ref})$  および  $V_y = V_{f=ref} \sin(\delta_f - \delta_{ref})$  をそれぞれ測定して表示する。(それぞれ左と右の表示窓の値)
- ✓  $V_x$  は  $A_{ref} \sin(2\pi f_{ref} t + \delta_{ref})$  に対して同位相の成分の振幅、 $V_y$  は  $A_{ref} \sin(2\pi f_{ref} t + \delta_{ref})$  に対して位相が 90 度ずれた成分の振幅である。(実際には実効値(振幅の  $\sqrt{1/2}$  倍)である)
- ✓ ロックインアンプでは Phase というパラメータが上記  $\delta_{ref}$  に対応する。つまり、Phase を変えることで、ロックインアンプで検出する信号の「時間の原点」を変えることができる。
- ✓ Auto Phase 機能は、 $\delta_f - \delta_{ref} = 0$  となるように勝手に  $\delta_{ref}$  を選んでくれる機能である。
- ✓ 多くのロックインアンプには周波数  $f_{ref}$  の電圧の正弦波  $V_{out} \sin(2\pi f_{ref} t)$  を出力する機能がある。(←  $\delta_{ref}$  が無いことに注意)
- ✓ ローパスフィルタのカットオフ周波数は Time Constant  $\tau$  というパラメータで設定できる ( $f_{cutoff} = 1/(2\pi\tau)$  で与えられる)。
  - 大ざっぱに言って、 $\tau$  は積算時間に対応。長くするとノイズは減るが値が正しい値に落ち着くのに時間がかかる。今の測定の場合、300 msec あたりが適切。
- ✓ Harmonic パラメータを変えることで、 $n$  倍の周波数成分を取り出すこともできる。

☆ この方法は交流磁化率測定のほかにも、電気抵抗率測定、微分抵抗測定(以前話したやつ)、光学測定(光をチョッパーで区切ってわざと交流信号を作り出す)などにも使われる、基本的テクニックである。

## 測定用ボックスの説明

- ロックインアンプの Sine out からは  $V(t) = V_0 \sin(\omega t)$  の交流電圧が出る。(電流でないことに注意!) それに大きな抵抗 (1 k $\Omega$ ) を噛ませて、一定電流  $I = I_0 \sin(\omega t + \delta_I)$  としている。(温度を下げることによる導線の抵抗の変化は 1 k $\Omega$  よりも十分小さいので、ほぼ電流値  $I_0$  は温度に依らなくなる。) ここで、ほぼ  $I_0 = V_0/R$  ( $R = 1 \text{ k}\Omega$ ) であるが、正確なところはわからない。また、微小な Phase shift  $\delta_I$  がある。
- 従って、測定前に  $I_0$  と  $\delta_I$  を知る必要がある。(というか、位相に関しては、「電流の位相を原点にして」測りたい)



ここを測定における時間の原点にしたい  $\rightarrow \delta_{\text{ref}} = \delta_I$  とする。

そのために、抵抗の両端の電圧の位相は電流の位相に対して\_\_\_\_\_しないことを利用する。以下の手順で行う。

- ① 周波数を 887 Hz に、Vout を適当な値 (1 V 程度) にする。(「Freq」ボタンや「Vout」ボタンを押して、ダイヤルを回す)
- ② 測定 Box のスイッチを「26.1 オーム」側に倒す。
- ③ 「Phase」を変化させ、 $V_y$  がゼロになるようにする。(「Phase」ボタンを押してダイヤルを回す)
- ④ このときの  $V_x$  と Phase を記録する。ここで、 $I_0 = \frac{V_x}{1 \text{ k}\Omega}$  となり、この値は Vout を 1 k $\Omega$  で割った値に近くなるはず。また、 $\theta$  は数度程度であるはず。  
★もし、 $I_0$  や Phase が大幅にずれるようであれば、何かがおかしい。(回路が切れている、グラウンドにショートしているなど)  $\rightarrow$  テスタで回路をチェックするべき。
- ⑤ 測定 Box のスイッチを「Sample」側に倒す。

ちなみに、②~③を自動でやってくれる ( $V_y = 0$  となる Phase を勝手に探す) のが Auto Phase である。

## 測定試料の準備

- 試料が劣化していないかどうか、ICピン端子間の抵抗で確認する。表を作ってノートに記録しておく。

	I+	I-	V+	V-
I-				
V+				
V-				

- OK だったら、電気抵抗用試料をプローブに取り付ける。ICピンをプローブの白いピンに挿す。
- 交流磁化率用試料をコイルに入れる。片方のピックアップコイルにのみ試料が入るように注意。銅線をねじでプローブに固定する。(熱接触を良くするため)
- ロックインアンプをプローブにつなぐ。
- 測定ボックスのスイッチを標準抵抗側にし、出力電圧、周波数を設定する。Auto Phase ボタンを押す(→「位相の原点」を電流位相に合わせる)。その時の Phase と、 $V_x$ ,  $V_y$  の値を記録しておく。
- スwitchをコイル側に切り替え、 $V_x$ ,  $V_y$  を記録する。
- 試料の逆側のピックアップコイルに磁性体を入れ、 $V_x$ ,  $V_y$  の変化を記録する。
- プローブ先端にカバーをかぶせてねじ止めする。
- 測定用ケーブルをいったん取り外し、プローブをガラスデュワーに入れる。**デュワーを割らないように注意!**
- フランジをねじ止めする。均等に締め付ける。
- プローブに測定用ケーブルを取り付ける。
- バナナ端子付きケーブルや同軸ケーブルを配線する。

## 電気抵抗のチェック

- 電流源から直流電流を出力し、試料の電圧を測定する。
- 電流を反転させ、同様に電圧を測定する。
- 以上の作業をいくつかの電流値に対して行い、 $(V_+ - V_-) / 2$  がオーム則に従っていることを確かめる。  
(ノートに記録すること)

電流	$V_+$	$V_-$	$(V_+ - V_-) / 2$

## 交流磁化率のチェック

- 測定ボックスのスイッチを電気抵抗側にし、出力電圧、周波数を設定する。Auto Phase ボタンを押す(→「位相の原点」を電流位相に合わせる)。その時の Phase と、 $V_x$ ,  $V_y$  の値を記録しておく。
- スイッチをコイル側に切り替え、 $V_x$ ,  $V_y$  を記録する。
- 以上の測定をいくつかの出力電圧に対して行う。

(ノートに記録すること)

周波数: \_\_\_\_\_

出力電圧	$V_x$ (電気抵抗)	$V_y$ (電気抵抗)	Phase	$V_x$ (コイル)	$V_y$ (コイル)

## 測定開始

- 電気抵抗用電流源の電流値を設定し、出力する。(上でオーム則が成立していると確かめた範囲内の電流値を使う)。**使う電流値はノートにきちんと記録しておくこと!**
- Lock-in アンプの出力電圧と周波数・位相を設定する。上で位相をチェックしたいいずれかの値を使う。**使う出力電圧などはノートにきちんと記録しておくこと!**
- 測定用プログラムを走らせる。データの保存をスタートする。ファイルに記録されていることを確かめる。
- 液体窒素を徐々にガラスデュワーに入れていく。入れ終わったらタオルでガラスデュワーの開口部を覆っておく。