

ヒステリシスループによる鉄損の測定法

岡 田 衆 二

A Method for Measuring the Iron Loss by Using the Hysteresis Loop

Kumeji OKADA

The hysteresis loops are drawn by using the sampling converter and X-Y recorder, and the iron losses are measured from their areas.

The author drew the several hysteresis loops as regards of the several kinds of frequency, and measured the iron losses of them from their areas.

Using the results, the author attempted to separate the hysteresis losses and eddy current losses from the above-mentioned iron losses.

On the other hand, the hysteresis loops are drawn by using the synchronizing switch method under the same condition as the above-mentioned experiments, and are compared with the results of above-mentioned experimental results.

In these experiments, the areas of hysteresis loops are measured by planimeter, and as material the silicon steel plate (JIS-S10F, 1.918kg) is used.

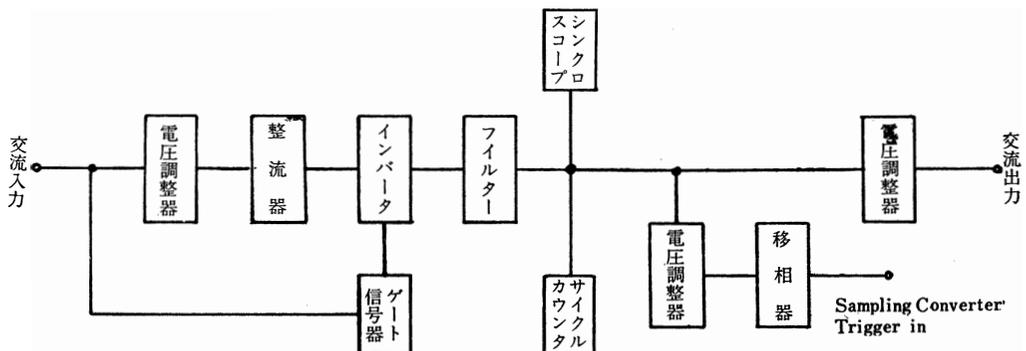
1. まえがき

鉄損の測定には、従来主として Epstein 試験装置による電力計法が用いられていた。しかし、この方法では磁性材料の磁化特性を知ることが出来なかった。これを知るためには、あらためて磁化特性試験をしなければならない。

筆者は磁性材料 (JIS-S10F) のヒステリシスループより交流磁化特性を知ると同時にそのループ面積を測定して鉄損を測定した。

ヒステリシスループを作るには種々の方法があるが先きに①Synchroscope による直視法について発表したが、この方法では Synchroscope の画面に描かれたループが小さくその面積を如何に正確に測定するかに困難な点がある。また、記録をとるにも写真に撮影しなければならない、その手数も少なくなかった。

面積の測定を正確にするために Sampling Converter および X-Y Recorder を用いてループを描かしめ、同様の実験を行なった。この方法では、ループ面積も



図一 電源装置

大きく (Y軸20[cm], X軸20[cm]ぐらい) 描くことが出来るので, その面積の測定にもプラニメータ等の使用によって簡単に, しかも正確に測定が出来る。また, 記録する場合にも, そのままでよいので便利である。

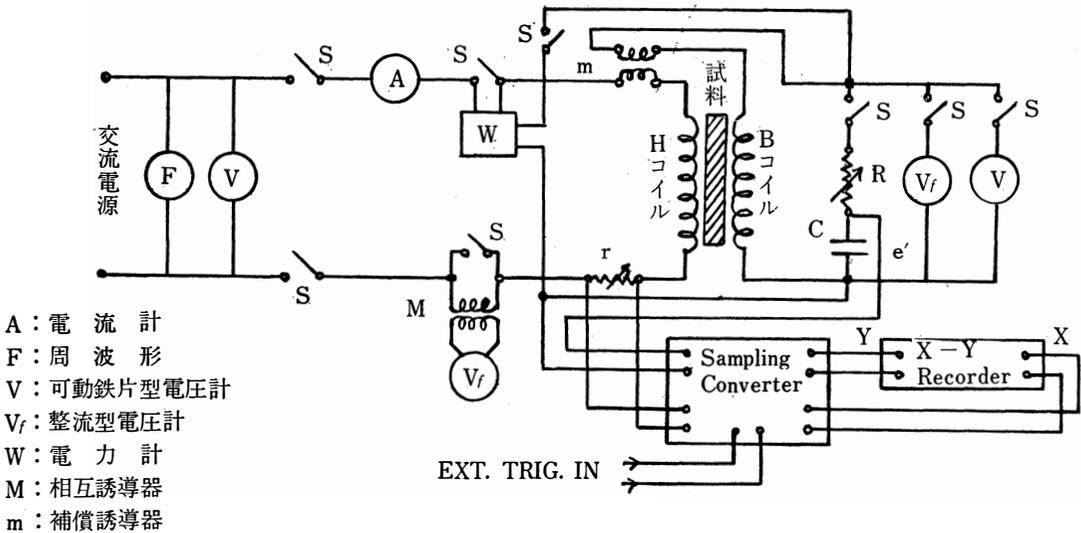
この実験では試験器に供給する, 電源周波数を変化して各々のループを描き, その面積より鉄損を測定しヒステリシス損および, うず電流損を分離した。また, 更に同期開閉器法により同様の実験を行ない比較

検討したものである。

2. 実験装置

図-1は電源装置の接続図を示したものである。Inverter, Filter, phase-Shifterを試作し, InverterのSCR用Gate信号の周波数を変えて, 試験器に供給する電源周波数を制御した。

また, 電圧調整器および移相器を径て, Sampling Converterのトリガ入力端子に接続したものである。



- A : 電 流 計
- F : 周 波 形
- V : 可動鉄片型電圧計
- V_f : 整流型電圧計
- W : 電 力 計
- M : 相互誘導器
- m : 補償誘導器
- S : 開 閉 器

図-2 Sampling converterおよびX-Y Recorderによる試験装置

図-2は Sampling Converter および X-Y Recorderによる試験装置を示したものである。

X-YRecorderによるループより鉄損を測定した場合の良否を判定するため, 特に小型 Epstein 試験装置の電力計法と併用して, これを比較検討した。試料にはJIS-S10F(T-105), 熱間圧延ケイ素鋼板, 厚さ, 0.35[mm]のものを, 3[cm]×28[cm]の短冊形に切ったもの1.918[kg]を用いた。

つぎに筆者は図-2のように Epstein 試験器の二次側に CRの積分回路を接続し, 二次誘導起電力の積分電圧e'をSampling Converterを通じてX-YRecorderのY軸に, また, 一次側にはHコイルに直列に低抵抗rを接続し, その両端子電圧をSampling Converterを通じて, X-Y RecorderのX軸に加えた。

このようにしてX-Y Recorderにループを描き, そのループ面積より鉄損を測定したものである。

3. ループ面積測定

磁性材料のループをX-Y Recorderにて定量的に描かしめるため, まづ, Y軸の寸法は次の計算式によって定める。いま, 二次コイルの誘導起電力をe, 二次コイルの巻数をN, 鉄心断面積をA, 磁束をφ, 磁束密度をBとすれば

$$e = N \frac{d\phi}{dt}$$

$$\int e dt = N \int \frac{d\phi}{dt} dt = N\phi = NAB \dots \dots \dots (1)$$

すなわち, (1)式よりeの積分値はBに比例することになる。

つぎに, Epstein 試験器の二次側に接続されたV_f (整流形電圧計)の読みをE_fとすれば,

$$E_f = 4.44 f N_2 AB \times 10^{-5} \text{ [V]} \dots \dots \dots (2)$$

- ただし f : 周波数[%]
- N₂ : Bコイル巻数=700
- B : 最大磁束密度 [KG]
- A : 試料の断面積 [Cm²]

いま、(2)式にBの値を与えて E_f の値を計算し、 E_f の値がその値になるように電源電圧を調整すれば、その時のBは与えられたBの値に等しい。

例えば、本実験において試料JIS-S10F, 1.918[kg], 断面積Aは2,267[Cm²]のものをを用い、Bを5[KG], および10[KG]を与えて種々な周波数に対する E_f の値を計算すれば、表-1のようになる。

最大磁束密度 周波数	[HZ]					
	40	50	60	70	80	90
5 [KG]	[V] 14.09	[V] 17.62	[V] 21.14	[V] 24.66	[V] 28.19	[V] 31.71
10 "	" 28.18	" 35.23	" 42.28	" 49.32	" 56.37	" 63.41

表-1 JIS-S10F, A=2.267[Cm²], の E_f の値[V]

このように、Bの値を E_f の値によって定め、X-Y RecorderのY軸の寸法を、Sampling converterの増幅度を調整し、また、微細な調整は積分器Rの値を調整して正確に定めることができる。

つぎに、X軸の寸法は次の計算式によって定める。

$$I_m = \frac{L_2}{0.4\pi N_1} H = \frac{H}{10} \dots\dots\dots(3)$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \dots\dots(4)$$

- ただし、 H :最大磁化力[oersted]
- N₁ :Hコイルの巻数は700
- L₂ :見掛けの磁路長=88[cm]
- I_m :励磁電流の波高値[Amp.]
- I :正弦波の場合の励磁電流の実効値[Amp.]

いま、(3)式にHを与えてI_mを計算する。

また、(4)式によりIを計算する。

つぎに、図-2の一次側のHコイルと直列に接続された相互誘導器Mを取り出し、図-3のように接続し〔I-E_{fh}校正曲線〕を作製する。

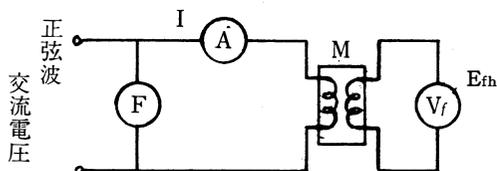


図-3 〔I-E_{fh}校正曲線〕を測定する回路

本実験には、M=175[mH]のものをを用いて、周波数をパラメータとして実測したものが図-4のようになった。

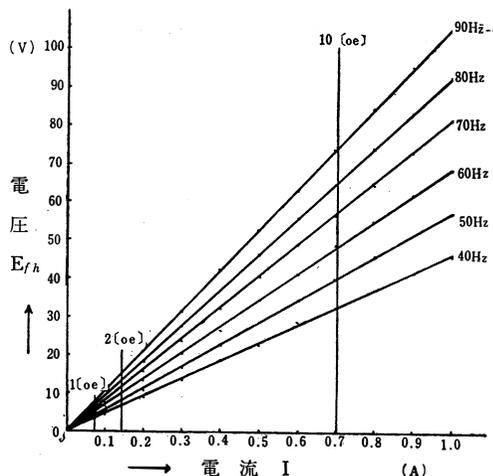


図-4 相互誘導器Mの〔I-E_{fh}校正曲線〕 (M=175[mH])

図-4の〔I-E_{fh}校正曲線〕は相互誘導器の一次電流の波高値I_mと二次誘起電圧の平均値すなわち、E_{fh}との関係を求めるものである。この点について、もう少し詳細に述べると、つぎのようになる。

いま、Mの一次側に流れる励磁電流を*i*とすれば、計算を簡単にするため、ひずみ波電流には基本波のほか第三高調波のみ含まれていると仮定し、Mの二次側に誘導される起電力の瞬時値を*e*とすれば、

$$i = I_{1m} \sin \omega t + I_{3m} \sin 3 \omega t$$

$$e = M \frac{di}{dt} = M (\omega I_{1m} \cos \omega t + 3 \omega I_{3m} \cos 3 \omega t)$$

ωt の代りに $(\omega t - \frac{\pi}{2})$ とすれば

$$e = M \omega (I_{1m} \sin \omega t - 3 I_{3m} \sin 3 \omega t)$$

e の平均値をE_aとすれば

$$E_a = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi e d(\omega t) = \frac{2 M \omega}{\pi} (I_{1m} - I_{3m}) = 4 M f I_m \dots\dots\dots(5)$$

ただし、I_m=I_{1m}-I_{3m}

また、E_{fh}=1.11E_aであるから E_{fh}はI_mに比例することになる。

しかるに、(4)式より、

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

IとE_{fh}の関係は、周波数によって異なるけれども直線である。(図-4参照)。また、波形の関係を图示すると、図-5のようになる。

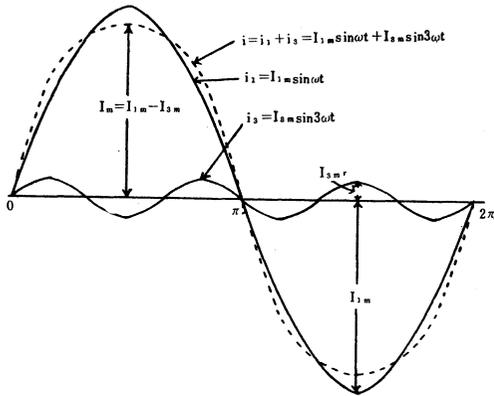


図-5

しかし、実際の励磁電流は、図-5のようなものではなく、写真-1のようになる。

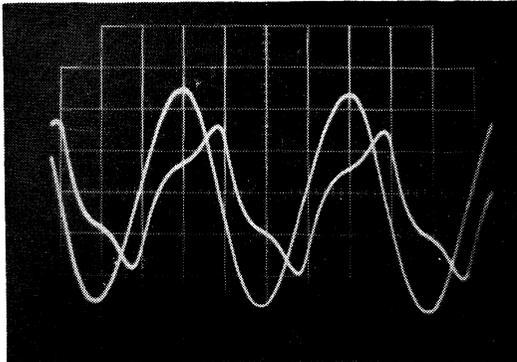


写真-1 正弦波は供給電圧の波形、ひずみ波は励磁電流の波形(最大磁束密度10 [KG]のとき)

写真-1の正弦波は試験器に供給した電圧波形である。また、ひずみ波は最大磁束密度 B_m , 10 [KG]のときの励磁電流の波形を撮影したものである。ところがこのような励磁電流の波形であっても E_{rl} はその最大値 I_m に比例することは前述の理論と、実際に実験した結果と全く一致するものである。

以上のような方法によって、定量的にループを描くことが出来る。

例えば、Y軸の寸法を100 [mm], を10 [KG]とし、X軸の寸法を40 [mm]を1 [oe]とすれば、ループ面積の1平方 [mm] 当りの仕事量を W_0 とし、

$$W_0 = \frac{1}{4\pi} \times \frac{10000}{100} \times \frac{1}{40} = 0.199 \text{ [erg]} \dots \dots (6)$$

となり、ループ面積を測定すれば直ちに仕事量がわかる。ただし、このときの仕事量は試料1立方 [cm] 当りのもので、1 [%]につきその損失である。

したがって、試料1 [kg] 当りの [ワット] 数として計

算する場合には、例えば、周波数 [60%], 試料 [JIS-S10F] のケイ素鋼板はケイ素含有量が4.0~4.5%であるから比重は7.55である。

ゆえに、次式のような計算式となる。

$$W = (\text{ループ面積} [\text{mm}^2]) \times 0.199 \times 60 \times \frac{1000}{7.55} \times 10^{-7} \text{ [W/kg]} \dots \dots (7)$$

ただし、Wは試料1 [kg] 当りの電力損失 [ワット] である。

上例にしたがって、X-Y Recorderにループを描かしたものが図-6である。

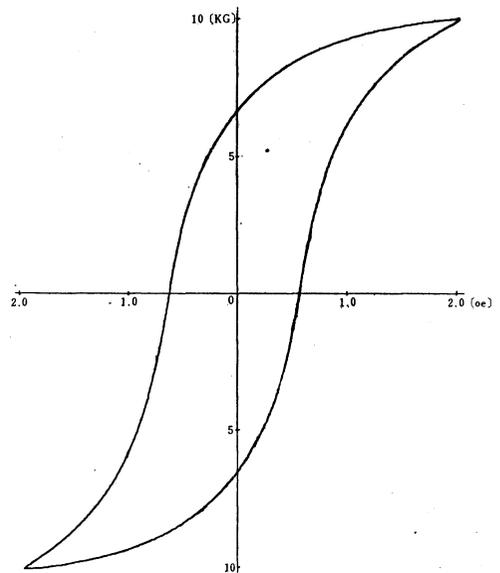


図-6 X-Y Recorderによる、ヒステリシスループ Y軸は10 [KG]で、100 [mm] X軸は1 [oe]で、40 [mm] 試料 [JIS-S10F], 60 [%]

さて、このようにして描かれたループの面積を如何にして精確に測定するかについては種々な方法が考えられるが、例えば方眼紙の目数を読むことも一つの方法であるが最も簡単な方法はプラニメータ (面積計) を用いればよい。しかし、この方法もループがあまり小さいと誤差が大きく、かえって、ループ面積の方眼目数を読んだ方が精確で早いことがある。ところが、X-Y Recorderのようにループを大きく描けるような場合にはプラニメータを用いる方が誤差も少なく早く面積を測ることが出来る。

しかし、このようなプラニメータがない場合には、筆者は次のような計算式によって簡単に、しかも相当

精確にループ面積を測定することが出来た。図-7はその測定方法を示したものである。

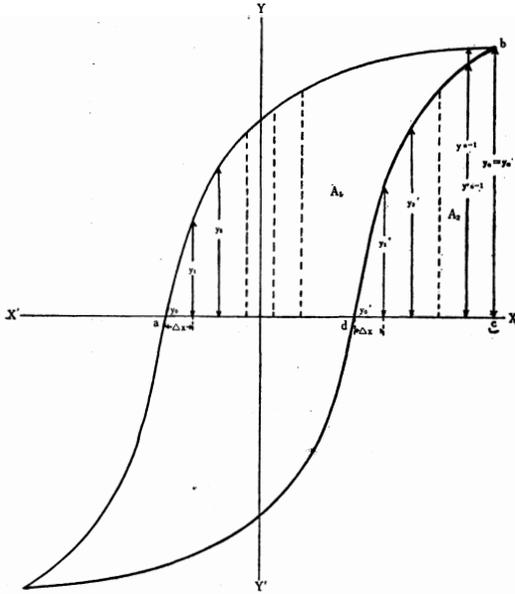


図-7 ループ面積測定図

図-7より

面積 [abda] = 面積 [abcd] - 面積 [dbcd]

$$\text{面積} [abcd] = \Delta x (y_0 + y_1) \frac{1}{2} + \Delta x (y_1 + y_2) \frac{1}{2} + \dots + \Delta x (y_{n-1} + y_n) \frac{1}{2},$$

$$= \Delta x \left(\frac{1}{2} y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + \frac{y_n}{2} \right),$$

しかるに、 $y_0 = 0$ であるから、

$$= \Delta x (y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + \frac{y_n}{2}) = A_1 \dots \dots \dots (8)$$

同様にして、

$$\text{面積} [dbcd] = \Delta x' (y'_1 + y'_2 + \dots + y'_{n-1} + \frac{y'_n}{2}) = A_2 \dots \dots \dots (9)$$

$$\text{ゆえに、面積} [abda] = A_1 - A_2 \dots \dots \dots (10)$$

(10)式は、ループ面積の上半分だけのものであるが、上下全く対称であれば、これを二倍しておけばよいが多くの場合少し異なることがあるので、少し手数ではあるが、もう一度下半分を10式のように計算すればよいことになる。X軸の等分距離 Δx を小さくとれば非常に正確なものとなるが手数もそれだけ多くなるので、筆者はa-c間を10等分、d-c間を5等分として計算したがパラメータにて測定した値と比較して見ると0.2%以下の誤差で、ほとんど一致している。

4. ループより鉄損分離

鉄損は、ヒステリシス損および、うず電流損に分けられ、ヒステリシス損は材料の性質と、最大磁束密度および交流の周波数によって決まる。鉄損のうちヒステリシス損は磁束密度が、 $0.1 \sim 1.2$ [W_b/m^2] ($1,000 \sim 12,000$ [G]) 程度の間ではC.P.Steinmetzの実験式として(11)式のように表わされることは周知の通りである。

$$\text{ヒステリシス損 } W_h = K f B_m^{1.6} \dots \dots \dots (11)$$

ここに、 K は材料による定数、 f は周波数 [%]、 B_m は最大磁束密度である。(B_m が上記の範囲以外では B_m の指数は1.6より増して2に近づく)。

また、うず電流損は材料中に誘導される電圧によって生じる電流によるオーム損失であるから、最大磁束密度 B_m 、周波数 f のほかに材料の抵抗率 ρ および厚さ t に関係する。材料が十分薄い板で、表皮効果が小さい場合の、うず電流損は(12)式のように表わされる。

$$\text{うず電流損, } W_e = \frac{K' F^2 f^2 B_m^2 t^2}{\rho} \dots \dots \dots (12)$$

ここに、 K' は定数、 F は波形率である。

鉄損は W_h と W_e の和である。

筆者は、ヒステリシス損と、うず電流損を分離するため一定磁束密度および波形率のもとに周波数を変えて、X-Y Recorder にてヒステリシスループを描き、その面積を測定して鉄損の分離を行った。(11)、(12)式より

$$W_h = A_1 f \dots \dots \dots (13)$$

$$W_e = A_2 f^2 \dots \dots \dots (14)$$

ただし、 B_m および F を一定としたので A_1 、 A_2 は定数である。(13)、(14)式より、

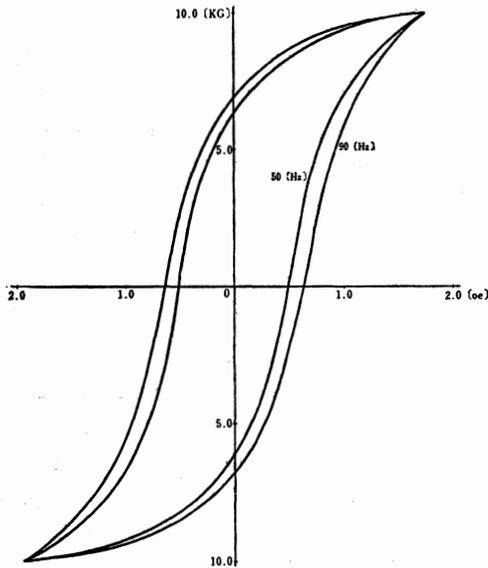
$$\frac{W_h}{f} = A_1 \dots \dots \dots (15)$$

$$\frac{W_e}{f} = A_2 f \dots \dots \dots (16)$$

したがって、(15)、(16)式より1[%]当りのヒステリシス損は一定となり、また、1[%]当りの、うず電流損は周波数に比例して増加することになる。

いま、試験器に供給する電源周波数を種々変えてX-Y Recorder にて各々のヒステリシスループを描かしめると周波数の増加とともに、うず電流損が大きくなり、したがって、ループ面積が大きくなる、その模様を図-8に示した。

図は周波数50、90[%] のみについて示したが他の周波数についても同様であるので、それを省略した。



図一八 周波数50, 90〔%〕のヒステリシスループ
〔最大磁束密度10〔KG〕一定〕, 試料〔JIS—S10F〕

電源波形を正弦波とし、最大磁束密度を、10〔KG〕一定とし、電源周波数を、50, 60, 70, 80, 90〔Hz〕と変えてX—Y Recorderにて記録したものを各々について、そのループ面積をプラニメータ法によって測定すると表一2のようになった。

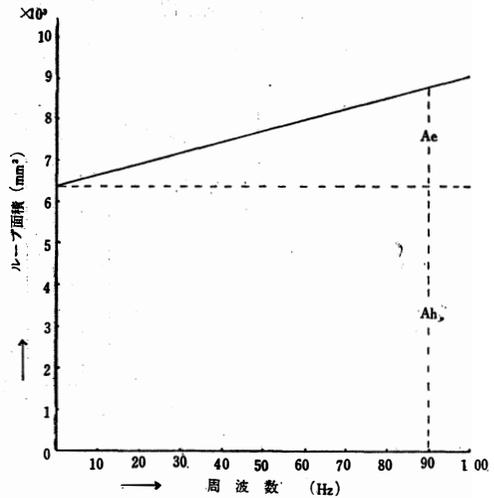
周波数〔Hz〕	ヒステリシス振面積〔mm ² 〕	うず電流損面積〔mm ² 〕	合計鉄損面積〔mm ² 〕
50	6,370	1,335	7,705
60	〃	1,598	7,968
70	〃	1,866	8,236
80	〃	2,130	8,500
90	〃	2,402	8,772

表一2 X—Y Recorderにて描かれた、ループ面積よりの鉄損分離、〔mm²〕
〔1周波数につき、試料1立方〔cm〕当り〕
〔最大磁束密度10〔KG〕一定〕 J I S—S10F

これを曲線に描くと図一9のようになる。

X軸に周波数を取り、Y軸にループ面積をとれば、ほとんど直線となり図のA_hに相当する面積がヒステリシス損となり、また、A_eに相当する面積が、うず電流損となる。

もし、試験器に供給する電源電圧の波形が周波数によって変化することがあれば図一9は直線とな



図一9 鉄損分離
〔最大磁束密度10〔KG〕一定〕

らないことがある。その理由は最大磁束密度が一定の場合ヒステリシス損は一定でも、うず電流損は波形率の二乗に比例して増加するからである。

そこで、このような場合には試験器の二次側に接続された整流形電圧計V_rと可動鉄片形電圧計Vの読みを比較して、その値が、もし同じであれば電圧波形が正弦波であるが、もし、異なっている場合には電圧波形が正弦波ではなく、ひずみ波形となっている。そこで、鉄損を測定する場合には、この、ひずみ波形の損失を正弦波の損失に校正する必要がある。大体試料〔J I S—S10F〕のヒステリシス損(A_h)と、うず電流損(A_e)との比は60〔%〕において80:20である。

もし、それ以外のものは二つの周波数で鉄損を測定して両者を分離しなければならない。

$$A = \frac{100 A_o}{80 + 20 \left(\frac{E}{E_r} \right)^2} \dots\dots\dots (7)$$

ただし、

- A : 正弦波に校正したループ面積
- A_o : 測定したループ面積
- E_r : 整流形電圧計V_rの読み
- E : 可動鉄片形電圧計Vの読み

E/E_rが1より、0.01以上違っている場合には切式のように校正しなければならない。このようにすれば図一9は大体直線となるものである。これより、A_hおよびA_eが求めれば、(7)式によって試料1〔kg〕当りの損失〔W〕を算出することが出来る。これを、まとめると表一3のようになった。

周波数 〔Hz〕	ヒステリシス損 〔W/kg〕	うず電流損 〔W/kg〕	合計鉄損 〔W/kg〕
50	0.8395	0.1759	1.0154
60	1.0074	0.2527	1.2601
70	1.1753	0.3443	1.5196
80	1.3432	0.4491	1.7923
90	1.5111	0.5698	2.0809

表一3 X-Y Recorderにて描かれたループ面積より計算した鉄損分離
〔試料1〔kg〕当りの鉄損〔W〕〕
〔JIS-S10F,〕最大磁束密度10〔KG〕一定

この表の合計の損失が普通鉄損と称せられることは勿論である。この値が妥当であるかどうかはJIS, 規格と比較して見ると表一4のようになる。

記号	実験結果による鉄損 〔W/kg〕	JIS規格による鉄損 〔W/kg〕
W _{10/50}	1.02	1.05以下
W _{10/60}	1.26*	1.30以下

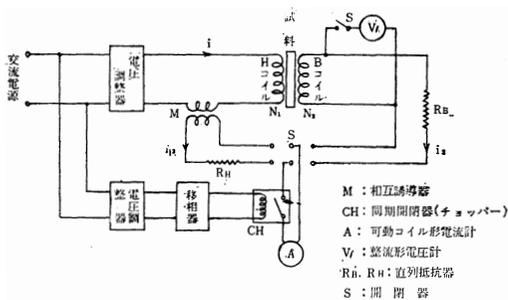
表一4 〔備考. W_{10/50}, W_{10/60} はそれぞれ周波数50〔Hz〕または60〔Hz〕最大磁束密度10〔KG〕(1.0Wb/mi)のときの鉄損を示す。〕

この表からも、わかるように、この値は大体妥当である。

5. 同期開閉器法によるヒステリシスループの測定

筆者は更に同期開閉器法によりヒステリシスループを描き、その面積より同様の鉄損を測定した。

図一10は、その接続を示したものである。



図一10 同期開閉器法

ヒステリシスループを定量的に描くため、つぎのように行った。

まず、磁束密度Bφを計算するには、試験器の二次

線輪に誘導される起電力をe2とすれば、

$$e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt}, \text{ ただし, } N_2: \text{二次巻線の巻数}$$

φ: 試料の磁束

いま、二次側に流れる電流の瞬時値をi2とし、直列抵抗をRBOとすれば、

$$i_2 = \frac{N_2}{R_{BO}} \frac{d\phi}{dt}, \text{ ただし, } (R_{BO} = R_B + \text{計器の}$$

内部抵抗)

となる。これを、同期開閉器(チョッパ)にて半サイクルごとにφから(φ+180°)までの位相の間だけ可動コイル形電流計(直流用)Aに流すと、その指示は交流のφなる位相における瞬時値φφに比例する。

すなわち、一周期間にAに流れる電気量Q〔C〕はつぎのようになる。

$$Q = \int_{\phi}^{(\phi+\pi)} i_2 dt = \frac{N_2}{R_{BO}} \int_{\phi}^{(\phi+\pi)} d\phi = \frac{N_2}{R_{BO}} [\phi - \phi_{(\phi+\pi)}]$$

$$= -\frac{N_2}{R_{BO}} [2\phi_{\phi}] \quad [C]$$

.....(18)

(18式は、磁束の波形が対称であるときは成立する。

しかるに、Aに流れる電流をIBとすれば、

$$I_B = Q \times f \quad \text{ただし, } f: \text{周波数} [\%]$$

また(18式より、

$$\phi_{\phi} = -\frac{R_{BO} Q}{2 N_2} = -\frac{R_{BO}}{2 f N_2} I_B,$$

となるから、

φなる位相における磁束密度の瞬時値Bφは、

$$B_{\phi} = -\frac{R_{BO} \times 10^8}{2 f A N_2} I_B = K_B I_B \quad [G] \quad \text{.....(19)}$$

ただし、A: 鉄心の断面積〔Cm²〕, KB: 定数、

すなわち、BφはIBに比例することになる。

同様に、磁界の瞬時値Hφはつぎのようになる。

$$H_{\phi} = \frac{0.4\pi N_1 i_{\phi}}{L} = -\frac{4\pi N_1 R_{BO}}{20 f M L} I_H = K_H I_H [oe]$$

.....(20)

ただし、N1: 一次巻線の巻数

L: 見掛けの磁路長〔cm〕

RHO: (直列抵抗RH+計器の内部抵抗)〔Ω〕

M: 相互誘導器〔H〕

I_H: 相互誘導器の二次側に接続されたAの指示〔A〕

K_H: 定数

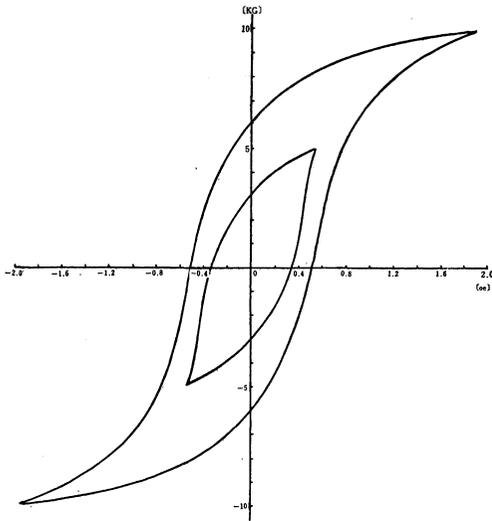
すなわち、 $H\phi$ は I_H に比例することになる。

筆者は、図—10にて、つぎのような値を挿入して実験を行った。

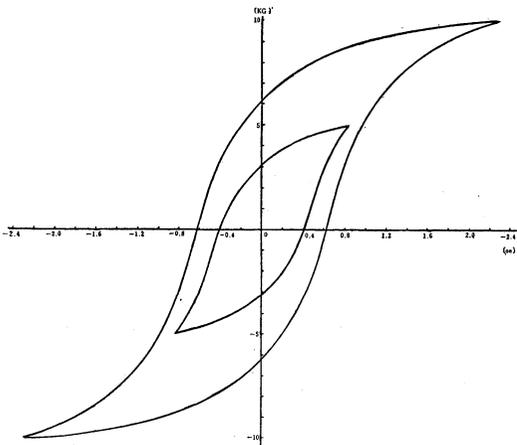
Hコイル=700回, Bコイル=700回, M=175
[mH]

$R_H=30.1$ [K Ω], $R_B=146$ [K Ω], Aの内
部抵抗=200 [Ω]

また、特に移相器は、Capacitor—Run Washer
Motorを改造して試作したものをを使用した。



図—11. 60 [%], 5, 10 [KG]
ヒステリシスループ, [JIS—S09F]



図—12. 60 [%], 5, 10 [KG]
ヒステリシスループ [JIS—S10F]

つぎに、同期開閉器にはchopperを利用することに
した。chopperの駆動コイルには電圧調整器にて電源
より適当に電圧を下げて(6.3V)供給した。chopper

の駆動コイルの移相は移相器によって電気角5度づつ
移相しながら $H\phi$, $B\phi$ を測定した。その結果図—11,
12のようになった。試料には図—11の方は[JIS—
S09F]を用い、

また、図—12の方は[JIS—S10F]を用いた。
それぞれ最大磁束密度10 [KG], 5 [KG]とし、
一枚の図に記録したものである。

この図より、プランメータ法によって面積を測定し
それより鉄損を計算した結果が表—5, 6のようにな
った。

記号	ループ面積 [mm ²]	ループ面積より 計算した鉄損 [W/kg]	JIS規格に よる鉄損 [W/kg]
W ₅ /60	2,377	0.30	0.34以下
W ₁₀ /60	8,565	1.09	1.15以下

表—5. ループ面積より計算した鉄損, 試料 (JIS—S09F)

記号	ループ面積 [mm ²]	ループ面積より 計算した鉄損 [W/kg]	JIS規格に よる鉄損 [W/kg]
W ₅ /60	3,087	0.39	0.40以下
W ₁₀ /60	10,128	1.28	1.30以下

表—6. ループ面積より計算した鉄損, 試料 (JIS—S10F)

JIS, 規格と比較して見ると、この値は大体妥当
であると思われる。

勿論本法によって種々周波数を変えて鉄損を測定す
れば、それよりヒステリシス損および、うず電流損を
分離出来ることは前法と同様である。

6. むすび

X—Y, Recorderは元来直流、あるいは極めて低周
波用のものであって、普通の交流の磁化特性曲線を描
くことは出来ない。しかるに、ここにSampling Co
nverter を使用することによって交流を低周波化し、
X—Y, Recorderに描かしめるように工夫したもので
ある。

この方法によれば、シンクロスコープの映像とちが
って記録には写真に撮影する必要もなく、また、ル
ープも大きくとれる。したがって、ループ面積を測定す
るにもプランメータを使用することによって簡単に測
定が出来、しかも誤差も少ない特徴もっている。

筆者は一定の磁束密度において種々周波数を変えて
ループ面積より鉄損を測定しヒステリシス損と、うず
電流損を分離したが、ループ面積は一周波数当りのも

のであるから、ただ各周波数におけるループ面積を測定するだけで、周波数をX軸に、また、ループ面積をY軸にとれば、それは、そのまま直線となり分離には好都合である。

X-Y, Recorder のループを定量化するため整流形電圧計を用いた。整流形電圧計によって定めたB, Hの値はループのそれと、ほとんど一致した。ただここに注意すべきことは、ループを描かしめる場合、試験器に接続された計器のスイッチを切ってからループを描かしめることであって、計器を接続したままループを描くと計器の損失がループの中に入って実際の鉄損より大きくなり誤差が大きくなることである。しかも、その値は可なり大きなものであるから必ず回路より切り放さなければならない。

つぎに、本法によれば図-2に示したように電力計は必要ではない。筆者は、ただ参考のためにループ面積による鉄損と比較検討するために電力計を用いて実験したものである。

また、試験器の一次側に接続された電流計も同様であって、Hを測定するものではない。

H_m の測定はMの二次側に接続された整流形電圧計によって定まるものである。

つぎに、同期開閉器法によるヒステリシスループの測定には直流マイクロアンメータを使用し、直列抵抗 R_B , R_H の抵抗を精確に測定しておくことにより可成り精密にループを描くことが出来る。

また、移相器はWasher Motorを利用して試作したものをを用いた。

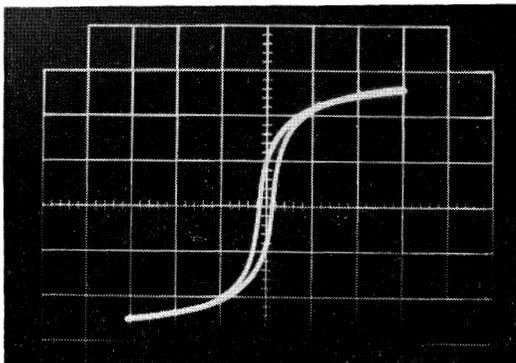


写真-2 フェライトコア (H_{3A})

$$H_m = 15(\text{oe})$$

$$B_m = 3640(\text{G}), 60(\%)$$

最後にフェライトコアのヒステリシスループをシクロスコープによる直視法により観測したものを写

真-2に示した。材質H_{3A}(マンガン、亜鉛系フェライト)、リング型コアで、コア断面面積、104(mm²)、平均磁路長、257.5(mm)、使用周波数10~500(KC)、用のものであるが、実験には60(%)にて撮影したものである。写真は、 $H_m = 15(\text{oe})$ にて $B_m = 3,640(\text{G})$ となった。このループは、同一のコアを用いて、衝撃検流計法による直流ヒステリシスループを描いたものと非常に近似している。また、この値は規格による数値と比較して妥当なものである。

参考文献

- (1) 鉄損と波比率の関係について、岡田栄二
(富山大学工学部紀要第20巻)
昭、44、10、5電気四学会北陸支部連合大会、発表
(昭、44、10、28受付)