

自動可動コイル型定電流器 (I)

深谷 義勝 加納 敏三

Current Stabilizer of the Automatic Moving-coil Type (1)

Yoshikatsu FUKAYA, Toshizo KANO

We invented a current stabilizer by making use of the variation of leakage flux.

We made an experiment with this stabilizer, and we could moreover improve its characteristic by condenser. We explain these consideration and results in the experiment.

我々は、漏洩磁束の変化を利用した定電流器を制作した。

この装置について実験を行い、さらにコンデンサを用いて特性を改良する事が出来た。

これらの考察と実験結果を述べる。

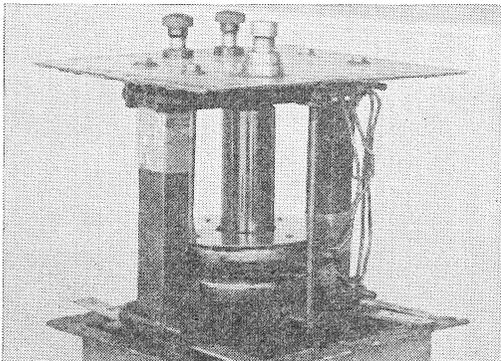
1. 序

定電流装置には各種のものが発表され、製作されているが、その中で定電流変圧器と呼ばれるものは、電流の変動に応じて漏洩リアクタンスの増減による2次電圧の変化を利用するもので、当然2次コイルに負荷が接続される。ここに述べるものは1次コイル、2次コイルを負荷と直列にして電流を制御する方式で、定電流を得るに必要な電圧の変動分のみを自動的に補償するから装置の容量を大巾に減少する事が出来る。

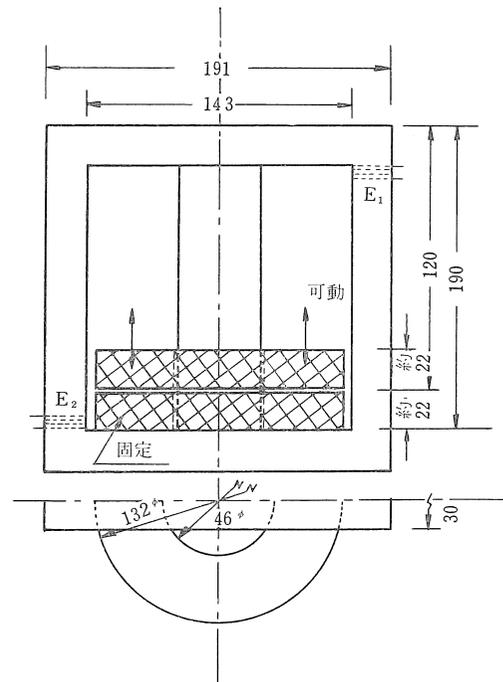
筆者等はこの装置を製作して特性を調べ、更に定電流特性の改良を試みたが一応満足出来る結果を得たので報告する。

2. 基本 原 理

〔構造〕



第1図 外 観



第1図 構造 図

第1図に示すように外鉄型鉄心に2個のコイルを巻き下側のコイルを固定、上側のコイルを可動とする。両コイルは同一の仕様で作り巻方が互に逆向きになるようにする。鉄心は可動コイルが移動して必要な電圧範囲の定電流が得られるだけの充分な高さをもっている。また、鉄心の中央脚は可動コイルの移動が円滑になるように円筒形のボビンに収め、そして装置全体を油中に入れた。なお製作器は定電流値 4.4 [A] 規格として設計した。

〔原 理〕

無負荷時または軽負荷時においては、2ケのコイルは

密着した状態にあるので夫々のコイルによる起磁力は互に打消しあり、殆んど磁束を生じない。従ってインピーダンスは大部分抵抗によって占められ小さい値である。

電流が一定値を越えるとコイル間の反撥力が増して可動コイルが浮き上る。この時電磁反撥力と、可動コイルの重力から浮力を引いた降下力とが平衡しその電流値に相当した位置に可動コイルが保たれることになる。これが定電流器の動作状態であって電流値は規格を表わす。こうなると両コイル間の間隙には漏洩磁束を多く生じる。両コイルの夫々に鎖交する磁束のため合成インダクタンスが増大する。このインダクタンスの増加により電流増加が妨げられる。定電流を得るためには電源電圧の変動分、または負荷の変動による電圧の変動分を、上記のインダクタンス増加分による電圧降下で補償する、という原理を考えた。ここで固定コイルと可動コイルの相互インダクタンスを M (コイル間隔 d の関数) とすれば、合成インダクタンス L_0 は

$$L_0 = L_F + L_V - 2M$$

今電源電圧 V が $(V + \Delta V)$ に変化したとき電流 I が一定即ち負荷端子電圧 V_L を一定にする場合を考えると

$$\begin{aligned} \dot{V}_L &= \dot{V} - \dot{I}wL_0 - \dot{I}R \\ &= (\dot{V} + \Delta\dot{V}) - (\dot{I} + \Delta\dot{I})wL_0' - (\dot{I} + \Delta\dot{I})R \end{aligned}$$

$$\text{ただし } L_0' = L_0 + \Delta L_0 = L_F + L_V - 2M'$$

$$\Delta\dot{I} = 0 \text{ とすれば}$$

$$\Delta\dot{V} = \dot{I}w(L_0' - L_0) = 2\dot{I}w(M' - M) = 2\dot{I}w\Delta M$$

ΔM は、 ΔI によるコイル反撥力の一時的な増減でコイル間隔 d が変わる事により生じる。

$$\dot{I} = \frac{\Delta\dot{V}}{2w\Delta M}$$

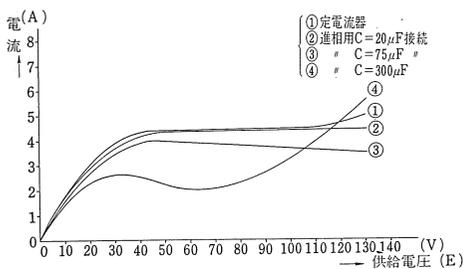
従って $\Delta\dot{V}$ と ΔM が正比例関係にあれば \dot{I} は一定に保つことが出来る。可動コイルの降下力とコイル反撥力を適当な大きさにする事により $\Delta\dot{I}$ を充分小さい値に出来る。

電源電圧一定で負荷が変動した場合も同様である。

3. 実験と計算

[特性及び特性改善]

第2図は定電流器の端子間に直接電源を接続して電圧

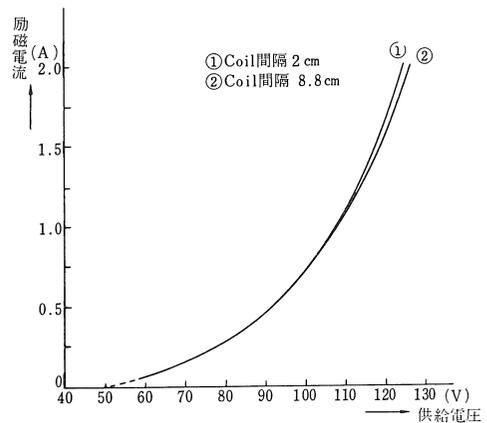


第2図 V-1 特性

を変化したときの電流変化を示すものである。曲線①は定電流器自体の特性を表わしている。この場合 50 [V] ~ 110 [V] の電圧変化に対して電流の変化を 0.1 [A] 程度に押えられる。従って、例えば抵抗負荷の端子電圧を 80 [V] 一定に保つ場合であれば、電源電圧が ± 30 [V] の変動を生じて、これを補償して大体定電流を保つ事が出来る。一方、波形においては歪は認められず高周波分は含まれないから应用到って問題はない。

また、定電流器は動作状態において大きい誘導リアクタンスをもつので、コンデンサで進電流を適当にとらせる事により定電流器のコイルを流れる電流が少し増加しても全電流を一定とする事が出来る。この方法で特性が非常に良くなった。曲線②は定電流器の端子間に容量 $C=20[\mu F]$ のコンデンサを並列に入れて測定した結果で、電流はコイルとコンデンサに流れた電流の合成電流である。この場合は 46 [V] 以上の電圧に対して電流の変化は殆んど認められない。曲線③、曲線④は夫々 $C=75[\mu F]$, $C=300[\mu F]$ の場合である。それは並列コンデンサの容量が大きくなると進相電流分が大きくなり、むしろ特性は降下性になってしまう事を示す。容量 300 [μF] 位になると鉄共振に近い現象を起す。

[励磁電流特性]



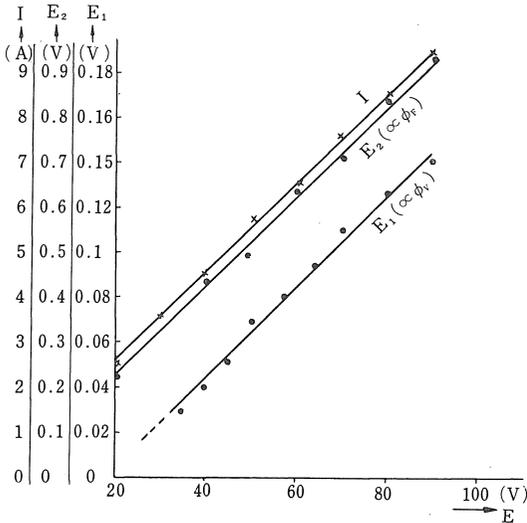
第3図 励磁電流特性

可動コイルのみに電圧を加えておき、いろいろなコイル位置における電圧——電流特性を測定した場合の結果を第3図に示す。

曲線①は最も低い位置にコイルをおいた状態、即ち固定コイルと重なった場合で、コイル間隔 2 [cm] はコイルの中心間の距離 (コイルの厚みに等しい) を示す。曲線②は最も高い位置に可動コイルを固定した場合で、測定の結果コイル間隔を変えても電圧——電流特性は大きな差を生じなかつたので、中間位置の場合のグラフは省略した。これは、可動コイルの位置が変わってもそのイン

ピーダンスの変化は非常に少ない事を示すものである。

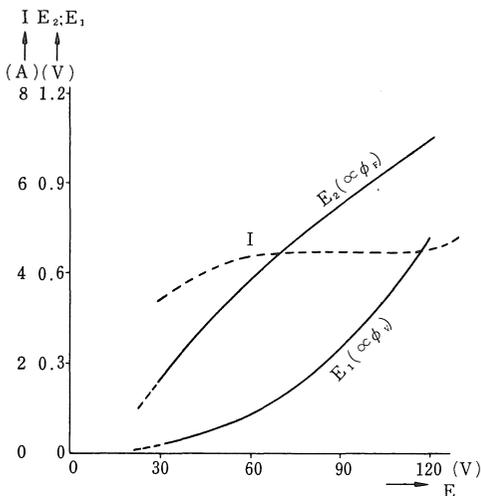
〔ロック試験〕



第4図 ロック試験

この試験は、可動コイルを固定して磁束の分布を知るために行なった。グラフを第4図に示してあるが、 E_1, E_2 共その変化が供給電圧に比例して増加することが判る。

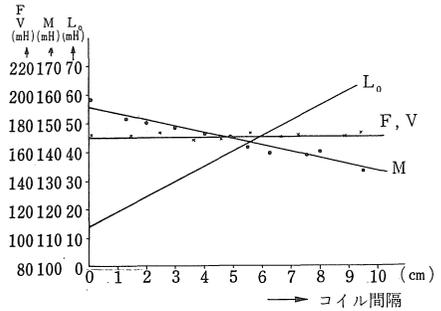
(E_1, E_2 は 継鉄の上下に設けたサーチコイルの電圧である) 鉄心部では逆起磁力になって打消しあう磁束であるが、一方この実験から継鉄部でも電流に比例して増加している事が判る。



第5図 動作時磁束変化 (サーチコイルN=27)

第5図には動作状態における E_1, E_2 について示した。これからやはり、可動コイルの移動があっても E_1, E_2 は供給電圧にほぼ比例して増加することが知れる。なお定電流領域においても、可動コイルの上昇によりその漏

洩磁束は直線的に増加している。従って M はコイル間隔に反比例して減少する。合成リアクタンスはコイル間隔に比例して増加するのである。つまり動作状態では供給電圧の変動は可動コイルの上下運動に変換され、さらに M の減少増大のように回路定数変換となっている。依って M について考えるならば、 M の変化状態が定電流特性を大きく左右している事を意味する。



第6図 インダクタンスの変化
($L_0 : L_f + L_v - 2M$)

なお、インダクタンスの値とコイル間隔の関係をインピーダンスブリッジによって測定して特性を第6図に示しておく。コイル分布容量や周囲の磁性体の影響も多いが、合成インピーダンスが電圧に比例する傾向は正しく認められた。

〔 M の近似計算〕

設計上の問題であるが、要求するコイル間電圧の変動範囲において M をどれだけ変化させたならば定電流特性が得られるかを近似計算する。これによりコイルの可動間隔を決定出来るので鉄心の形状、大きさが決められる。計算に当り、 L_f, L_v は変化しないものと仮定し、またコイル抵抗を r とする。

$$\frac{2r + j\omega L_0}{2r + j\omega(L_0 \pm \Delta M)} = \frac{1}{1 \mp \frac{\Delta E}{E}} \approx 1 \pm x$$

ここで $x = \frac{\Delta E}{E} = \frac{1}{3.5} \sim \frac{1}{4.5} < 1$ と仮定している。

整理して $\dot{Z}_0 = 2r + j\omega L_0$ とすると

$$\Delta M^2 \pm 2\Delta M L_0 + \frac{x^2}{(1 \pm x)^2} \cdot \frac{|\dot{Z}_0|^2}{\omega^2} \pm \frac{2x}{(1 \pm x)^2} \cdot \frac{|\dot{Z}_0|}{\omega^2} = 0$$

さらに $0 < x < 1$ であるから x^2 の項を省略した $\omega L_0 \gg 2r\sqrt{2x}$ としてよいかから ΔM は

$$\Delta M_U = \frac{-x}{1+x} L_0 \dots\dots\dots \text{電圧上昇時}$$

$$\Delta M_D = \frac{-x}{1-x} L_0 \dots\dots\dots \text{電圧降下時}$$

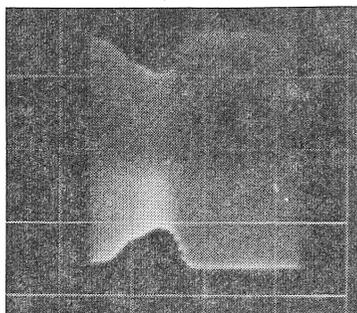
で求められる。

上式から電流安定領域の中央における電圧 E と、その時

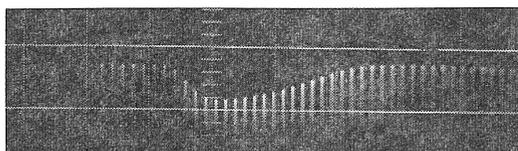
の合成インダクタンス L を決めることによって M が計算され, さらに可動コイルの可動範囲が求められ設計可能となる。

4. 考 察

〔応答波形について〕



(a) 電圧降下に対する電流応答波形
(100V→60V) スケール 300ms/cm



(b) 負荷電流変動による応答波形スケール100ms/cm
第7図 応答波形

電源電圧の変動または負荷の変動があったとき一時的に電流が増減して可動コイルが移動を始める。次に可動コイルがある位置に安定して定電流を得るまでには, ある程度の時間を要する。この過渡的な状態を第5図(a), (b)の写真に示す。(a)は負荷一定のとき電源電圧を100[V]より60[V]に急激に降下させたときの電圧波形の一例で25サイクル前後で安定する。(b)は負荷を急に減じたときである。予想したよりはかなり良い応答特性が得られた。写真では実際の波形は見られないがひずみは認められていない。また1本づつの線が正弦波をなしているのである。

〔構造上の問題〕

安定器の構造上, 磁気回路の問題がその特性を大きく左右する事は当然で, ここでは容器に鉄板製の箱を用いたので装置を容器に収めたときと外に出した場合で差を生じた。

すなわち定電流特性が容器の磁気回路の影響で定電流値を少々増加する場合を考えると, 容器外の磁性体の影響も受け易いことになる。従って容器の磁気回路を考慮する一方非磁性体を容器に用いる必要がある。

又, 可動コイル間の反撓力により移動し油中を動くの

で, コイルの安定する位置が一定しないきらいがあり測定結果のばらつきの一原因となっている。

〔温度上昇について〕

可動コイルの重さに制限があるので普通の変圧器に比べて巻線の電流密度を大きく設計するため温度上昇も大きくならざるをえない。然し電源や負荷の変動が頻繁な場合にはコイルの移動によって油が攪拌されて冷却は割合に速いので使用上問題はない。

5. 結 び

この定電流器は, レントゲン装置に用いるクーリッジ管のフィラメント電流を安定させる目的で製作したが, 考察の項で示したように応答の極く速い事を要求する場合の他は, 各種電流の安定を要する回路に用いることが出来るので応用面は広い。又, 構造は単純なものである所以故障も少なく, 所謂, 一般定電流変圧器に比べて小容量で使用出来る利点をもっている。今回は装置の紹介, 実験結果の報告を中心に行った。今後は動作, 回路の解析を行い, さらに実験を重ねてよりよい結果を次の機会に発表したい。諸賢兄の御教授を賜れば幸甚である。

〔文 献〕

- 電磁気学現象理論 丸 善 竹山 説三
- 電気機器(Ⅲ) オーム社 尾本 義一
- 宮入 庄太
- 交流機器の理論と設計(上) 新思潮社 山下善太郎
- 電気機器設計学 オーム社 竹内寿太郎
- Electromagnetic Device,
John Wiley & Sons INC
London
- Herbert C. Roters 著
- 電気工学ハンドブック 電気学会