

# 開閉リアクトル (整流リアクトル)

## Contact Break Reactor and Contact Make Reactor

技術部 安達 時 敬

### I. 構造

#### 1. 概要

開閉リアクトルの構造を簡単に説明すると、接点閉路の場合に用いる閉路リアクトルと、開路の際に用いる開路リアクトル、及びそれらで失われる損失に依る熱を冷却するための冷却用送風機よりなっており、それらの構成は、

##### a. 開路リアクトル

- 鉄心
- 主巻線
- 補助巻線 { 添加励磁巻線
- サーチコイル

##### b. 閉路リアクトル

- 鉄心
- 主巻線 (開路のものと同通)
- 補助巻線 { 添加励磁巻線
- サーチコイル
- コンデンサコイル

##### c. 冷却用送風機

であるが、小容量のものでは、開閉リアクトル鉄心は、開、閉の2種類とせず、1個の鉄心を開路、閉路両用とし又補助巻線も使用せず、冷却も自然冷却で行われる。

大容量のもので、冷却用送風機を用いる代りに、主変圧器と同じ油槽内に開閉リアクトルを入れて冷却する方法も行われている。

次にそれらの各部分に就て簡単に説明する。

#### 2. リアクトル鉄心

鉄心は接点の開閉問題と共に、接触変流機の生命であって、後述する様な特殊鉄心を用い、その環状に作られた鉄心は、巻線其他に依って、機械的歪を受けると、性能に関係するので、鉄心は非磁性体の箱に収めてある。

#### 3. 主巻線

主電流を通すための導体であって、環状の鉄心の円周に沿って巻かれ、各巻線間には適當の通風間隔を設けて冷却効果を良くしている。尙開閉リアクトルの損失は殆

どこの巻線によって生ずるので、この巻線の接続には種々の考慮が拂われている。

#### 4. 補助巻線

次に述べる様な用途のもとに、適當な絶縁を施した丸線が、鉄心の円周に沿って巻かれている。

##### a. 添加励磁巻線

後述する様に、開路用は開路鉄心の、閉路用は閉路鉄心の添加励磁を夫々行う。

##### b. コンデンサコイル

後述する様に、接点の開閉に際して火花の発生を防止し、開閉作用を安全に行わせるために閉路鉄心に巻かれている。

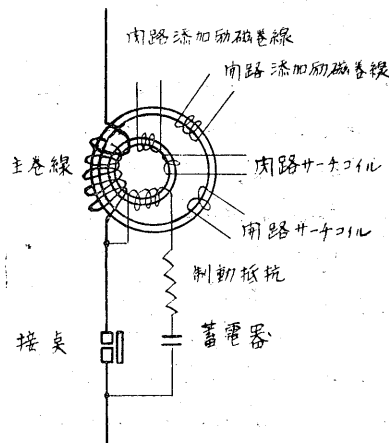
##### c. サーチコイル

この巻線を利用して接点の開閉状態が、理想の状態にあるかどうかを常に監視する。

#### 5. 冷却用送風機

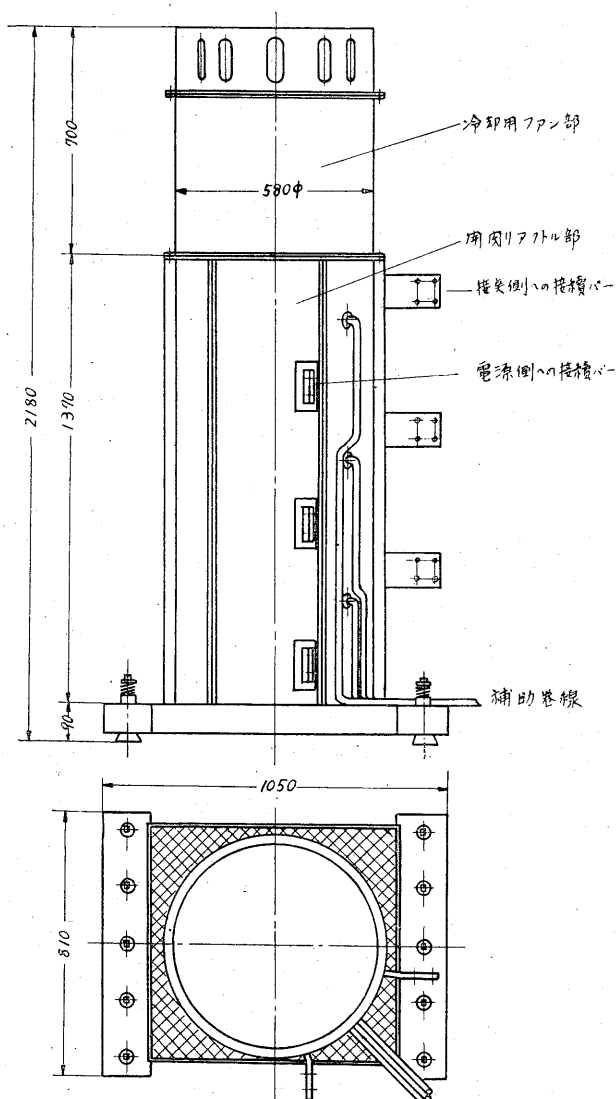
リアクトル冷却用の送風機で、風速、風圧の大きい特殊のものを用い、リアクトル上部に取付けられている。

次にこれらの関係位置を図示すると第1図の如くなる。又、当社製品直流 250V, 5,000A, 型CRS 5025 の外



第1図 開閉リアクトル  
Fig. 1. Make and break reactor

形及び概略寸法を図示すると第2図の如くなる。



第2図 250V, 5,000A 用開閉リアクトル外形図  
Fig. 2. Dimension of reactor for 250V, 5,000A

## II. 鉄 心

接触変流機に用いるリアクトル鉄心は理論の項で述べた様な条件を満足しなければならないので、この鉄心には鉄、ニッケル合金が用いられ、その製法も特殊なもので、其の取扱も慎重に行われている。

鉄、ニッケル合金は通信工業の海底電信ケーブル、可聴周波数変圧器等にも用いられて来たが、その飽和屈曲の鋭い事や、磁束密度の高い事等により、今後も有用な用途が沢山見出されると思われる。

扱一般に鉄、ニッケル合金は Permalloy と呼ばれているが、50%ニッケルのものは米国では商品名として、Hi-per-nik, Conper-nik, Hyperm 50, Iso-perm, Lamic,

Nicalloy 等と呼ばれ、ドイツでは Vacuumschmelze A. G. で 5000 H2, H3, G3, Z の記号で表わしている。

接触変流機用リアクトルに用いられているのは、大体ニッケル 50% 前後のもので、ドイツ Vacuumschmelze A. G. の鉄心は第3図の様な時性を持っている。

次に鉄心の概略に就て説明する。

### 1. 製 法

直角ヒステリシス環線を描く鉄心を作るためには、特殊な冷間圧延と、最後の特殊焼鈍が必要であるが、製作順序に従って述べると、

先ず鉄とニッケルで鑄塊を作り、それを約6耗位の厚さの板に熱間圧延する。次に焼鈍しないで約0.95耗位になる迄冷間圧延をして、ここで必要な幅に切断する。それを冷間圧延によって約0.05耗位の厚さの鉄心にするのであるが、幅の切断が最後の圧延後に行われると、磁気特性に悪い影響を及ぼすと言われている。

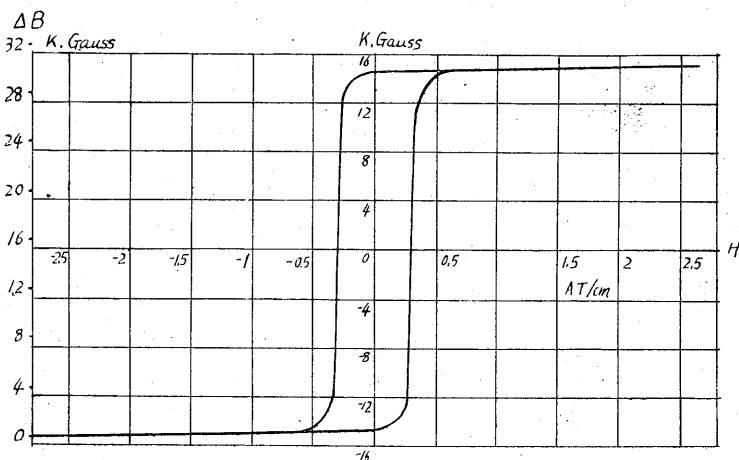
尚、出来上ったテープ状の鉄心は層間絶縁を施して、巻鉄心とし、これを水素中で 1,000~1,150°C で熱処理する。この場合、炉の温度の上げ方、炉中に入れて置く時間、冷却の方法等に就ては、最適の条件を定めるのに充分実験が行われる。尚、鉄心の磁気特性を良好にするために、磁場中の熱処理が行われる事もある。

### 2. 磁気特性に影響を及ぼす事項

#### a. 冷間圧延

冷間圧延は鉄心に適当な機械的歪を與えて置いて、焼鈍の際の再結晶を容易に行わせる作用と、結晶粒の排列に方向性を與える作用とを持って居る。

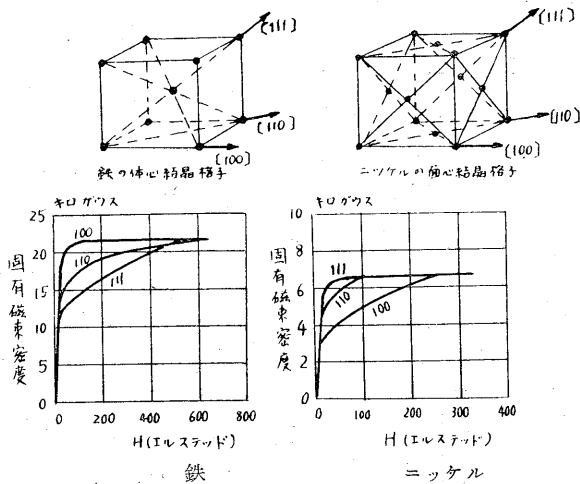
扱、磁化の方向と、固有磁束密度との関係は第4図の



第3図 Vacuumschmelze A.G. の 5000Z 動特性  
(鉄心厚さ 0.03 mm, 10<sup>-3</sup> sec)

Fig. 3. Dynamic characteristic of 5000Z made in Vacuumschmelze A.G.

如くなり、鉄の場合は[100]、ニッケルの場合は[111]の方



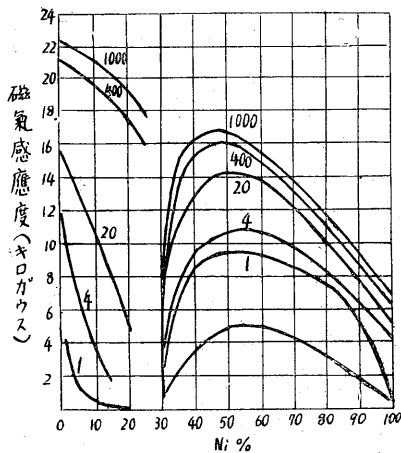
第4図 [100], [110], [111] 方向に対する磁化曲線  
Fig. 4. Magnetizing curve for the direction of [100], [110], [111]

1) 向が一番磁化し易い。鉄，ニッケル合金では大体ニッケル100~74%では[111]方向で，それよりニッケル量が少なくなると，[100]の方向となる。<sup>2)</sup>

各結晶の [100] の方向を一定方向に揃える事が出来れば，その方向には磁化し易く，従って高導磁率，低損失の鉄心が出る事になるので，それには適度の冷間圧延と，熱処理を行えばよい。

b. ニッケル含有量

これは経済的並びに磁氣的に検討されるべき問題であるが，大体 50% 位にニッケルが入ったものが最良と思われる。例えば飽和磁気感應度は，約 30%ニッケルで最小で，約 50% で最高である。



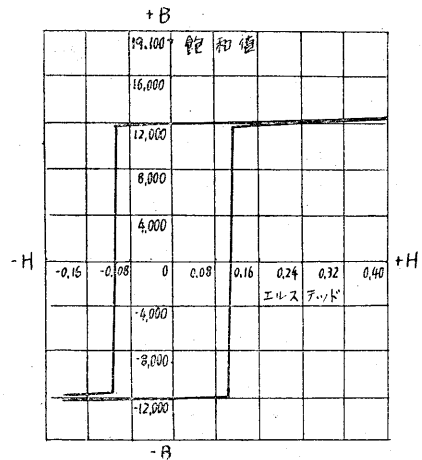
第5図 磁場を変化せる場合の Fe-Ni 合金の磁気感應度  
Fig. 5. Magnetic induction of Fe-Ni alloy when the magnetic field varied

鉄，ニッケル合金の特徴とするところは，導磁率が極めて高い事であるが，導磁率は約 50~90% ニッケル合金に特別の熱処理を施すと最良のものが得られる。

又抗磁力は 40~80% のニッケルで最小で，0.05 エルステッド以下，少くても 0.01~0.02 エルステッドと云う値

のものも出来ている。

純粋な硅素鋼板で，直角ヒステリシス環線を得る研究も行われ，第6図の様な特性のものが得られたが，残留磁束密度と飽和磁束密度との差は未だ相当ある。<sup>3)</sup>



第6図 非常に純粋な5%硅素鋼帯を0.3エルステッドの磁場中で冷却した場合のヒステリシス環線  
Fig. 6. Hysteresis loop of very pure 5% silicon steel tape when cooled in the magnetic field of 0.3 oersted

c. 熱処理

これは鉄心製作上重要な事で，特に水素中で焼鈍する事によって，既に原料中に入っている不純物や，熔解其他の際に入る不純物を取除き，特性に悪影響を與える不純物の作用をなくすると同時に，冷間圧延したものを熱処理する事によって，導磁率を大きくする事が出来る。

特に磁場中の熱処理は導磁率を目ざましく増加させる事が出来るので，我々の実験でも残留磁気を高める事が出来た。

又磁場中の冷却も導磁率を大きくし，鉄心の方向性を顯著にする事が出来る。

b. 機械的歪

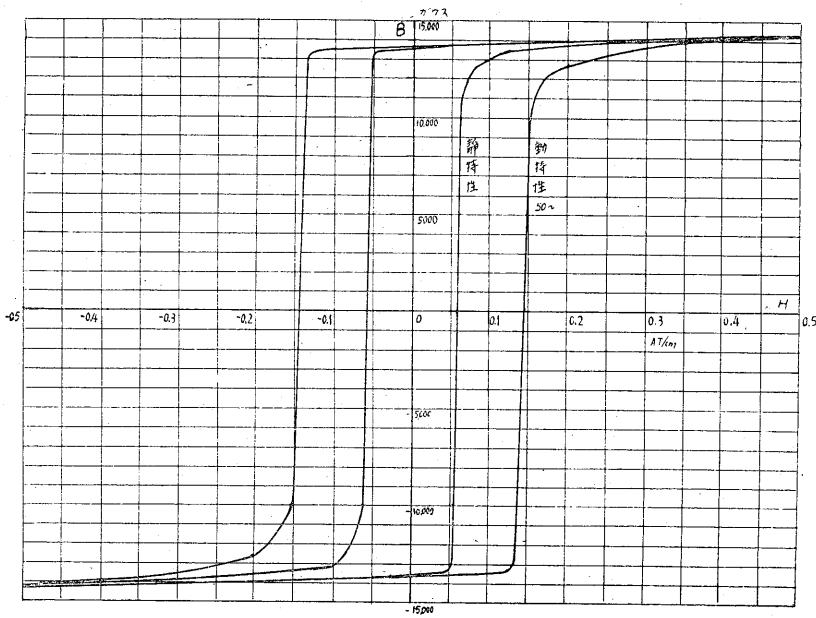
完成した鉄心は機械的歪を與えると，磁気特性を低下させるので，非磁性体の箱に入れるか，可塑性で固める事によって機械的歪を受けない様にする。

3. 静特性と動特性

静特性は直流励磁で求めるが，動特性は交流で得られるので，ヒステリシス損失，渦流及び各部の飽和が一樣でない事等により，動特性は静特性とはかなり違ったものになる。

動特性を求めるには，ブラウン管で簡単に出来るが，精度は高く望めないので，電磁オシロでリアクトルの電流，電圧を求め，夫々磁界，磁束を求めればよい。

リアクトルの鉄損は，上述した様に特性が頗るよいので，銅損に較べて極めて小さいが，ガウス-エルステッ



第 7 図 当社製リアクトル鉄心のヒステリシス環線  
Fig. 7. Hysteresis loop of reactor core made in our company.

で表わされた環線が求めれば、その面積を  $10^{-4}f/4\pi d$  倍すれば kg 当りの損失  $W$  が求まる。茲に  $f$  は周波数、 $d$  は鉄心の密度である。

第 7 図は当社に於けるリアクトル鉄心の特性を示す。

#### 4. 鉄心の大きさの決定

鉄心の特性が與えられた場合、その鉄心を用いてリアクトルを設計する方針に就て簡単に述べる。

開閉リアクトルは接点の開閉を安全に行わせるために扁平期間を作る作用をするが、その扁平期間  $\Delta t$ 、扁平時の電流は次の式によって求められる。

$$\Delta t = \frac{\Delta B q N}{E} = \frac{2B_m q N}{E}$$

又  $Ni = \frac{AT}{cm} \cdot \pi D$

茲に  $\Delta t$ : 扁平期間

$\Delta B$ : 扁平期間中の磁束密度の変化

$B_m$ : 飽和磁束密度

$q$ : 鉄心正味断面

$N$ : リアクトル主巻線の巻数

$E$ : 扁平期間中主巻線にかかる電圧

$i$ : 鉄心の励磁電流

$AT/cm$ : 鉄心 1 種当りのアンペア回数

$D$ : 鉄心の平均直径

従って上式に依り、扁平期間、扁平期間中の電流、リアクトル銅損等により、リアクトル鉄心の直径、断面、リアクトル主巻線の巻数が自ら定まって来る。

尚、扁平期間  $\Delta t$  は開路用は  $10^{-3}$  秒、閉路用は  $10^{-4}$  秒位に選ばれるのが普通である。

### III. 補助巻線

#### a. 添加励磁巻線

接点の開閉に際しては、絶対に火花を発生しない事が望ましいので、開閉時の電流を  $0.1 \sim 0.3A$  に抑えるため特に外部からの添加励磁を必要とする。

添加励磁の方法としては、直流励磁と、交流励磁があるが、直流では、Graetz 結線のように、正負両方の電流を整流する場合に適用出来ないので、ここでは主として交流励磁の場合について述べる。

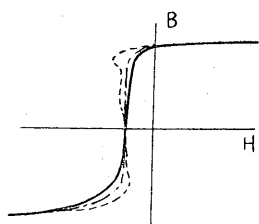
今磁化特性線が第 8 図実線で示される様な鉄心に、正弦波の交流電圧を加えた場合の電流波形は第 9 図 I 曲線の様になるが、急峻な飽和解除は電流が

零位相通過後初めて行われている。次に  $i_0$  なる電流で添加励磁を行うと、飽和解除の開始時刻が偏位して、電流は第 10 図 I' の如くなる。この場合に主電流  $I'$  は零線に対して傾斜しているから、接点开路が時刻  $t_2$  では  $0.3A$  であったとしても、時刻  $t_2$  では  $0.7A$  となって、安全に接点の開閉が出来ない事になる。まして接点が 1 日数百万回開閉運動をすると言う事や、電圧調整をする場合に接点の開閉時間を変化させねばならぬ事等を考えると、この様な励磁は行えない事になる。従って実際の励磁に当っては、扁平時の電流はほぼ一定とする事が望ましく、その方法としては次の如きものがある。

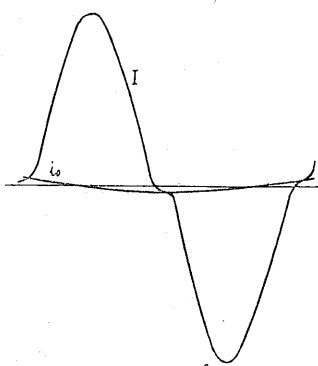
第 11 図はその一例を示す図であるが、励磁電流の一部が、主巻線に並列に入れられた蓄電器によって得られる様な方法である。ここで蓄電器の大きさを適当に選択すると、磁化特性線は第 8 図の点線で示される様になり、制動抵抗の値を、この並列回路が非周期的振動をする様な値に選べば、鎖線で示される様になって、扁平期間中の電流は各時刻で略々等しい値となって、接点の開閉が最良条件の下で行われる様になる。

扁平期間中の電流が零線に対して平行になる普通の方法としては、主電流に等しい傾斜を持った添加励磁電流を流す方法がある。第 12 図は傾斜も電流瞬時値も主電流と励磁電流で一致した場合である。この場合の結線としては第 14 図の如く励磁回路に  $L$  及び調相機を入れ波高値及び位相の両方を加減出来る様にして置けばよい。

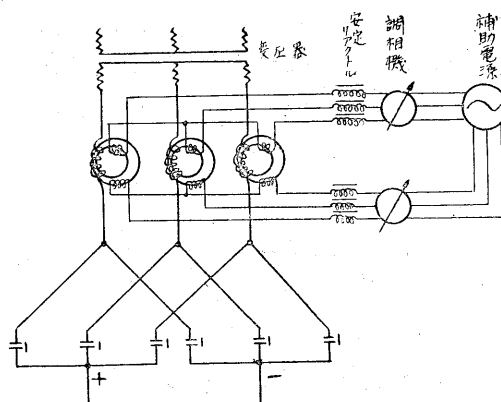
扱、実際の添加励磁の使用に当っては、添加励磁によって主電流は扁平期間中完全に零にするのではなく、後述す



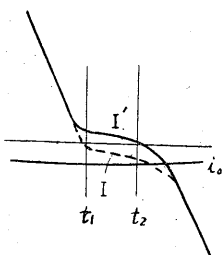
第8図 磁化曲線  
Fig. 8. Magnetizing curve



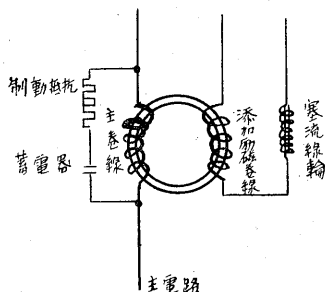
第9図 電流-時間曲線  
Fig. 9. Current time curve



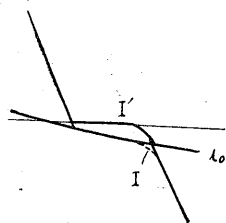
第14図 添加励磁巻線接続図  
Fig. 14. Connection diagram of winding for pre-excitation



第10図 扁平電流  
Fig. 10. Flat current



第11図 扁平電流調整回路  
Fig. 11. Regulating circuit for flat current



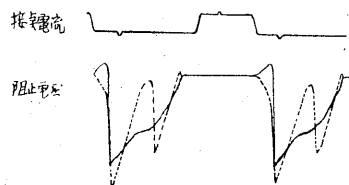
第12図 扁平電流  
Fig. 12. Flat current

る様に若干正の値になる様に  
する。それは扁平期間の終り  
で、電流波形が零を通過した  
ら直ちに逆方向に急激に上昇  
する様にすることである。こ  
の様にしておくと、再起電圧が逆方向に変化して、高い  
値になる迄の時間的遅れを得る事になる。

実際の開閉リアクトルは開路鉄心及び閉路鉄心を有して居り、その接続は第14図の如くになって居る。

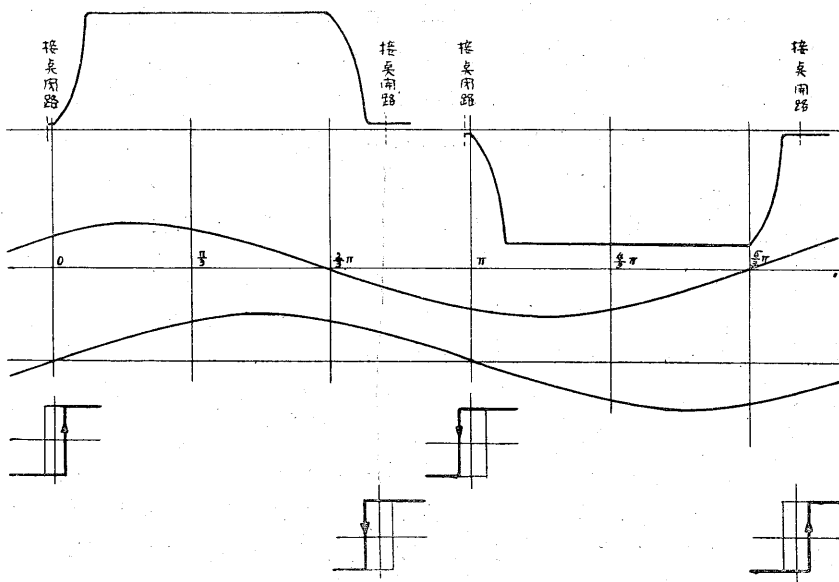
その位相関係を示すと第15図の如く、接点閉路の場合は、開路鉄心はその添加励磁によって飽和させて置いて、閉路鉄心のみ作用する様にし、その扁平期間中の電流は閉路の添加励磁によって加減する。接点閉路の場合は、閉路鉄心はその添加励磁によって飽和させて置き、開路鉄心のみ作用する様にし、その添加励磁によって開路鉄心の扁平期間中の電流をわずかに正の値になる様に  
する。それぞれの鉄心の磁化状態と、接点の開閉との関係は第15図の下に書かれている。

実際の運轉時には直流の加減、電圧の調整を行うから、接点開閉の時間的關係は変化して来るので、それにとともに添加励磁電流の位相も変化させねばならぬ。従って励磁回路の調相機はトーマレグラに連結し、自動的に励磁電流の位相を変えられる様に  
する。尚、こ



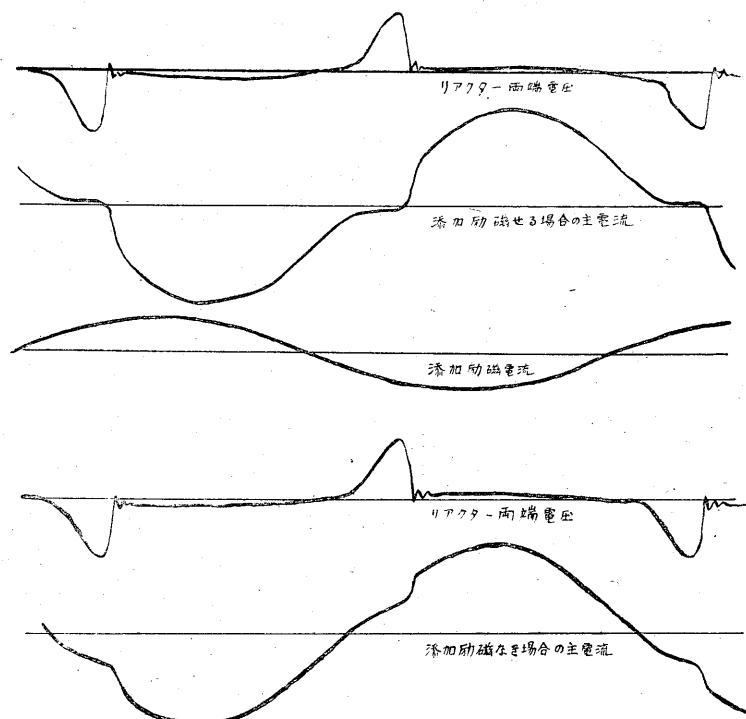
第13図 阻止電圧に対する  
添加励磁の影響  
Fig. 13. Effect of pre-excitation for stopping voltage

第13図は阻止電圧に対する添加励磁の影響を示すが、直流の添加励磁を行った場合で、励磁電流が大きいと、電圧は接点が開くと直ちに正の方向になって、接点閉路の安全性を高める事になる。



第15図 1相の各電流位相関係図  
Fig. Relation between phases of each current in a phase

の動作の詳細は自動調整のところで述べられている。第16図は単相回路に抵抗とリアクトル鉄心を直列に連結して入れた場合の添加励磁を行った場合と、励磁なしの場合のオシログラムを示す。

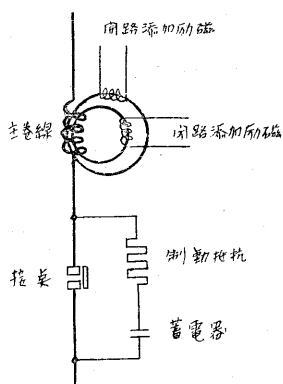


第16図 添加励磁の影響  
Fig. 16. Effect of pre-excitation

b. コンデンサコイル

この巻線は接点の開閉を安全に行わせるために巻かれている巻線である。

今、安全な接点開閉問題に就て述べると、さきに再起電圧の上昇を遅らせるために、添加励磁は若干主電流が正の値になる様にした方がよいと述べたが、更に開路の



第17図 接続図  
Fig. 17. Connections

作用を容易にするために、再起電圧の上昇を蓄電器と制動抵抗から成る並列回路によって遅らせる事が出来る。この場合の接続を第17図に示す。然し閉路の場合を考えると、蓄電器が放電して接点を通る電流を制限出来ない事になる。

斯る事を考慮すると第1図に示した様な結線が必要となって来る。即ち閉路鉄心にコンデンサコイルを巻き、それを制動抵抗、蓄電器回路に入れる。この場合、

コンデンサコイルは主巻線と同方向、同巻数として置く。扱、この回路に就て考えると、主電流が、主巻線、接点を通っている際は、コンデンサコイルには電流が流れないが、主電流が段々減少して微小電流となり、接点を開路した直後はこれ迄主巻線を通して接点に流れていた電流がコンデンサコイルに流れる。従って接点开路の場合の再起電圧の上昇は蓄電器、制動抵抗の回路で遅らせる事が出来る。尚、この際注意しなければならぬ事は、このコンデンサコイルに流れた電流によって閉路鉄心が、不飽和状態にならない様にすることであるが、接点开路の場合には閉路鉄心はその添加励磁巻線によって飽和される様になっているからコンデンサコイルに誘導電圧降下を生ずる事は無い。

次に接点开路の場合は、閉路の添加励磁により閉路直前に、閉路鉄心が不飽和状態になる様にするか、逆に飽和させて置くかして、閉路鉄心の磁化状態が少くも不飽和の一部を通る様にする。斯くすると、接点开路の際主巻線を通れる主電流、並にコンデンサコイルを通れる蓄電器の放電々流は著しく小さくする事が出来る。それは主巻線及びコンデンサコイルが接点开路の場合に不飽和になる鉄心上に巻かれているからである。

以上説明した様に、コンデンサコイルは再起電圧の上昇を遅らせ、閉路時に蓄電器の放電々流を抑える所謂接点の安全開閉をする場合の一助となる。

c. サーチコイル

開閉リアクトル鉄心上に線輪を巻いて置くと、その端子に鉄心の磁化状態に應じて、不飽和状態では電圧を誘起し、飽和状態では殆ど電圧を誘起しない事になる。これを利用して接点の開閉が、扁平期間の理想的個所で行われているかどうかを検するので、この詳細に就ては監視装置の項で述べる。(終)

文 献

- (1) Massachusetts Institute of Technology: Magnetic Circuits and Transformer p.10.
- (2) J. S. Marsh: The Alloys of Iron and Nickel p.244.
- (3) G. W. Elmen, E. A. Gangler: E. E. 9. 1948, p. 845.



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。