

接触変流機の安定運転の限度

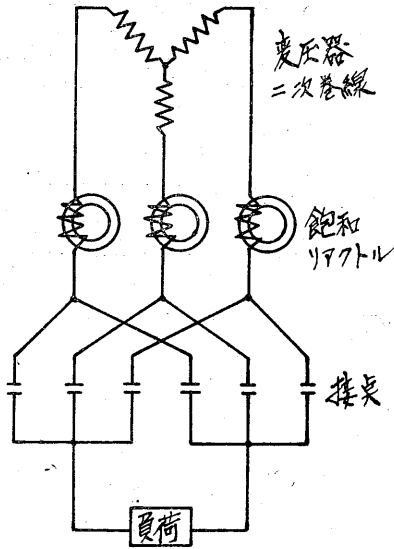
The Limit of Stable Operation of K-former

技術部長工博 大 富 眞

緒 言

接触変流機は今日我國に於て漸く実用時代に入った。然しその理論並びに構造が従來の一般回轉電気機械と全然異って居るので、その精巧さから見て、運転の安定さに就て危惧される向もある。そこで筆者は弊社今回の試作品に採用した第1図に示す様な3相 bridge 結線の場合の接触変流機に就て、その運転の安定限度を検討してみた。

接触変流機も電圧調整率、過電流耐量等が指定されると、その設計に於て自ら制約を受ける事は一般回轉電機と同様なのであって、それが適当に設計された場合は極めて安定な運転が出来るのである。



第1図 基本結線図

Fig. 1. Connection diagram

以下の記述に於ては変流機の接点が閉路した時極めて短時間働く閉路リアクトルの作用は一應無視してある。尚、計算結果の最後の数値に変動を來す様な前提条件については特に傍線を施して置いた。

轉流角の許容最大値

整流電流が一つの相の接点から他の相の接点へ移る

時、両接点が同時に閉じて居る期間があつて、他相の接点が閉じた瞬間からその回路に両相の差電圧で短絡電流が流れる。その短絡電流の値が整流電流と同じ大きさになるまでの期間が轉流期間であり、それを角度で表わしたのが轉流角(或は重り角)である。従つてその短絡電流 i は

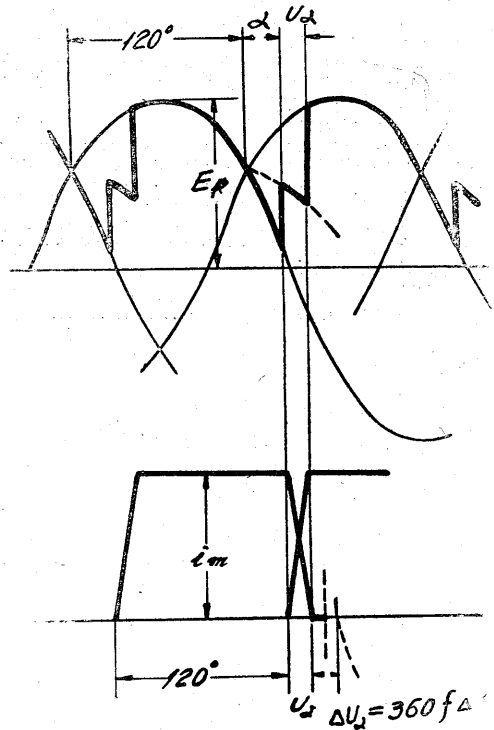
$$2L \frac{di}{dt} = e_1 - e_2$$

で表わされる。但し

L = 変圧器の漏洩リアクタンスも

含む1相当りの自己誘導係数

e_1, e_2 = 両相電圧の瞬時値



第2図 轉流角の關係

Fig. 2. Angle of commutation

第2図に示す様に電圧調整角を α とし、それから轉流が始り轉流角 U_a で轉流が終つたとすれば整流電流 i_m は上式から

$$i_m = \frac{1}{2\omega L} \int_{\alpha}^{\alpha+U_{\alpha}} (e_1 - e_2) d\omega t \dots\dots\dots(1)$$

$$= \frac{\sqrt{3} E_p}{2\omega L} \left\{ \cos \alpha - \cos (\alpha + U_{\alpha}) \right\} \dots\dots\dots(2)$$

E_p = 相電圧最大値

轉流期間の終端に於ては周知の如く、矩形 hysteresis 曲線の特性を持つ鉄心を用いた飽和リアクトルの影響で Δt 秒間だけ僅少電流の扁平段がある。この扁平段の期間を角度で表わして ΔU_{α} (扁平段角と名付ける) とすれば、 ΔU_{α} の略々中央に於て最初の接点が開放される様に調整して運轉を続けるのである。所が第1図の様な接続に於ては一つの接点が閉じてそれが開放するまでの時間は角度にして 180° 以内でなければならない。と云うのは一つの接点が閉じて 180° 一つと同じ相の他の極の接点が閉じ飽和リアクトルに別の電流が流れ出すからである。そこで第2図から

$$120 + U_{\alpha} + \Delta U_{\alpha} / 2 < 180$$

ΔU_{α} は一般に少い値であるから 多少の安定を見て

$$U_{\alpha} + \Delta U_{\alpha} \leq 60 \dots\dots\dots(3)$$

とする。 ΔU_{α} の大きさは飽和リアクトルの設計で左右されるが一定のリアクトルの場合には ΔU_{α} は電流値に関係なく扁平段期間にリアクトルに掛かる電圧換言すればその期間の短絡2相の差電圧に逆比例する。従って ΔU_{α} は指定された電圧調整を行った時最小で電圧調整角 $\alpha = 0$ に於て最大である。更に電圧調整の範囲内では同一電流値で調整が行われるとすれば轉流角 U_{α} も $\alpha = 0$ で最大である。従って $\alpha = 0$ に於ける U_{α} , ΔU_{α} を夫々 U_0 , ΔU_0 とすれば、

$$U_0 + \Delta U_0 \leq 60 \dots\dots\dots(4)$$

でなければならない事になる。

電流値が同じであるから (2) 式から

$$1 - \cos U_0 = \cos \alpha - \cos (\alpha + U_{\alpha}) \dots\dots\dots(5)$$

電圧調整範囲が與えられると α が定まり、上式から U_0 と U_{α} との関係が得られる。更に扁平段期間にリアクトルに加わる電圧としてその期間の中央部の電圧をとれば

$$\frac{\Delta U_0}{\Delta U_{\alpha}} \sim \frac{\sin (\alpha + U_{\alpha} + \Delta U_{\alpha} / 2)}{\sin (U_0 + \Delta U_{\alpha} / 2)} \dots\dots\dots(6)$$

となる。扁平段期間は普通の運轉では最少 10^{-3} 秒程度必要であるとされて居る。従って U_{α} が最小の時即ち電圧を一番低下させた時少くもそれだけの扁平段期間が必要である。そこで茲では $U_{\alpha} = 20^{\circ}$ と採る事にする。

直流電圧の電圧調整率を ΔE とすれば

$$\Delta E = 1 - \cos \alpha \dots\dots\dots(7) \text{(附録 I 参照)}$$

であるから ΔE が與えられれば α が定まり (5) 式から

種々な U_0 に対する U_{α} を求め、(6) 式に於て $\Delta U_{\alpha} = 20$ として U_0 に対応する ΔU_0 が得られる(図式計算を用いる)。そこで種々な U_0 に対しそれに対応する $U_0 + \Delta U_0$ の曲線を書いて $U_0 + \Delta U_0 = 60$ となる $U_{0 \max}$ を求める事が出来る。即ち與えられた電圧調整率 ΔE で $\alpha = 0$ に於ける轉流角は $U_{0 \max}$ より大となる事は許されないのである。種々な ΔE に対して上述の計算を繰返し、轉流角の許容最大値として夫々第1表の値を得た。

第 1 表

ΔE (%)	$U_{0 \max}$	$\Delta e'_{LO}$ (%)
0	40.0	11.7
15	36.75	9.90
25	35.2	9.13
35	33.8	8.45

リアクタンス電圧降下の許容量最大値

$\alpha = 0$ に於ける轉流角に限度があると云う事は回路の L にも限度がある事である。即ち接点で短絡される回路の L の爲に、轉流期間が存在するのであって、その事は直流側電圧に所謂リアクタンス電圧降下となって現われる。従ってこの電圧降下に自ら限度がある事になる。

リアクタンス電圧降下を ΔE_L とすれば第2図から

$$\Delta E_L = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2\pi/3} \int_{\alpha}^{\alpha+U_{\alpha}} (e_1 - e_2) d\omega t \right\} \times 2 \dots\dots\dots(8)$$

(1) 式と比較して

$$\Delta E_L = 2i_m \omega L \frac{3}{2\pi} \dots\dots\dots(9)$$

即ちリアクタンス電圧降下は α に無関係なのである。

(2) 式から

$$\sqrt{3} E_p (1 - \cos U_{0 \max}) = 2 i_m \omega L$$

(9) 式と比較して

$$\frac{\Delta E_L}{E_p} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} (1 - \cos U_{0 \max})$$

然るに直流無負荷最大電圧 E_{g0} は (附録 I 参照)

$$E_{g0} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_p$$

であるからリアクタンス電圧降下の E_{g0} に対する割合を $\Delta e'_{LO}$ とすれば

$$\Delta e'_{LO} = \frac{\Delta E_L}{E_{g0}} = \frac{1 - \cos U_{0 \max}}{2} \dots\dots\dots(10)$$

この値は第1表3行目に示してあるが、直流側のリアクタンス電圧降下率がこれらの値以上であっては、夫々の電圧調整範囲に於て安定な運轉は出来ないのである。

過電流耐量とリアクタンス電圧降下率

上述の種々の限界値は接触変流機が安定運転を行う最大電流の場合に相当する。従って交流機の定格電流がそれに相当したのではその交流機は定格電流では殆ど実用上使用出来ない事になる。回轉電機に過負荷耐量がある如く、接触変流機にも或る程度の過電流耐量が必要なのである。そこで定格電流を i_n 、過電流耐量をその k 倍とすれば

$$i_n = i_m/k$$

でなければならない。

リアクタンス電圧降下は電流に比例するから定格電流に於ける直流無負荷最高電圧 E_{g0} に対するリアクタンス電圧降下の割合の限度 Δe_{L0} も (10) 式 (第1表3行目) の $1/k$ で與えられる。変圧器の漏洩リアクタンスは出来るだけ小さく設計して大体交流側で3%程度であらう。これを直流側に換算すると (附録Ⅱ参照) 1.5% となるからこれを差引けば定格電流に於ける飽和リアクトルに依るリアクタンス電圧降下率の限度が得られる。

電圧降下率は無負荷電圧に対する割合よりも定格電圧に対する割合で表わす方が便利である。定格電圧を E_g 、定格電圧に対するリアクタンス電圧降下率を Δe_L とすれば

$$\Delta e_{L0} = \frac{\Delta E_L}{E_{g0}} = \frac{\Delta E_L}{E_g + \Delta E_L} = \frac{\Delta e_L}{1 + \Delta e_L}$$

であるから

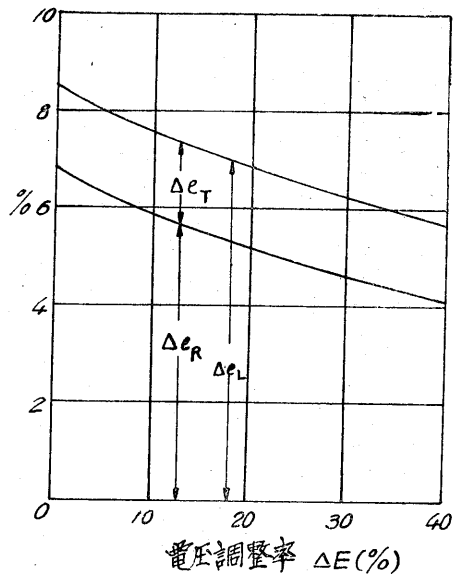
$$\Delta e_L = \frac{\Delta e_{L0}}{1 - \Delta e_{L0}}$$

過電流耐量 $k=1.5$ の場合に就ての数値を第2表に示してある。

第 2 表

$\Delta E(\%)$	$\Delta e'_{L0}(\%)$	$\Delta e_{L0} = \Delta e'_{L0}/1.5(\%)$	$\Delta e_{R0}(\%)$	$\Delta e_L(\%)$	$\Delta e_R(\%)$
0	11.2	7.8	-1.5=6.3	8.47	6.8
15	9.90	6.6	〃 $\kappa=5.1$	7.13	5.51
25	9.13	6.1	〃 $\kappa=4.6$	6.50	4.90
35	8.45	5.63	〃 $\kappa=4.13$	5.96	4.37

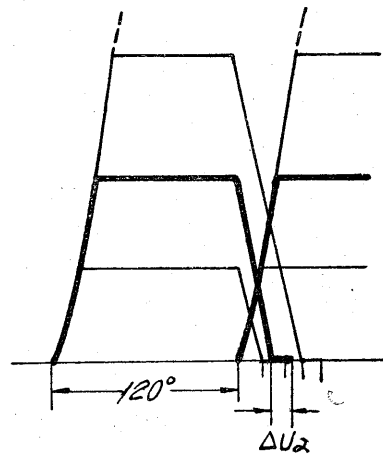
即ち過電流耐量 1.5 倍の接触変流機は定格電流に於けるリアクタンス電圧降下率は定格電圧に対し夫々第2表の Δe_L 以下でなければならない事となる。 Δe_{R0} 、 Δe_R はその場合、変圧器の交流側リアクタンスを3%とした時の飽和リアクトルの許容リアクタンス電圧降下の夫々無負荷最高電圧及び定格電圧に対する割合である。 Δe_L 及び Δe_R を図示すれば第3図の如くである。



第3図 許容リアクタンス電圧降下率
Fig. 3. Permissible reactance drop

負荷電流の瞬間的増減の許容量

負荷電流が増減すると第4図で明かな如く、扁平段角の位置が移動する。その増減が徐々に行われる時は自働調整装置に依って接点の開放位置も常に夫々の扁平段期の中央に在る様に調整されるのであるが、現在各國で



第4図 電流の変動による扁平段角の移動
Fig. 4. Transition of ΔU_α

製作されて居る接触変流機の構造では、この自働調整装置は必ず或る程度の慣性を持って居る。従って電流の増減が甚だ突然であったとすると接点開放位置の移動がそれに追従し切れず、接点の開放が扁平段角の外で行われる怖れがある。そこで電流の瞬間的な増減には自ら許容限度があるのであって、その限度は初めの接点開放位置がそのままでも電流増減後の扁平段角の中 (中央でなく

とも)に在ればよい訳である。扁平段角の大きさ U_a は電圧調整を行って α が大きい程小さくなるのであるが、電流の増減の割合に対して扁平段角の移動の割合は $\alpha=0$ で最も大きいのである。従って上記の電流増減の許容限度は $\alpha=0$ で吟味すればよい事になる。

定格電流の k 倍の過電流では $\alpha=0$ に於ける轉流角は U_{0max} であるから、定格電流に於ける轉流角を U_{0n} とすれば (2) 式から

$$\frac{i_m}{i_n} = k = \frac{1 - \cos U_{0max}}{1 - \cos U_{0n}}$$

$$\cos U_{0n} = \frac{k - 1 + \cos U_{0max}}{k} \dots\dots(11)$$

又 (6) 式から

$$\Delta U_{0n} \sin(U_{0n} + \Delta U_{0n}/2)$$

$$= \Delta U_{0max} \sin(U_{0max} + \Delta U_{0max}/2) \dots\dots(12)$$

但し $\Delta U_{0max} = 60 - U_{0max}$

(11) (12) 式から定格電流に於ける轉流角と扁平段角とが求められる。 $k = 1.5$ の場合の数值は第3表の如くである。

$\Delta E(\%)$	U_{0n}	ΔU_{0n}	K
0	32.0	22.4	0.75/-0.58
15	29.67	25.8	1.01/-0.68
25	28.33	27.4	1.15/-0.72
35	27.42	28.7	1.27/-0.77

今定格電流から電流が $(1+K)$ 倍 (K は正負共考える) に変化した場合の轉流角を U_{0K} とすれば

$$\frac{1 - \cos U_{0K}}{1 - \cos U_{0n}} = 1 + K$$

$$K = \frac{\cos U_{0n} - \cos U_{0K}}{1 - \cos U_{0n}}$$

この U_{0K} に $U_{0K} = U_{0n} \pm \Delta U_{0n}/2$

と置く事に依って瞬間的増減の許容量が求められる。

即ち

$$K = \frac{\cos U_{0n} - \cos(U_{0n} \pm \Delta U_{0n}/2)}{1 - \cos U_{0n}} \dots\dots(13)$$

これに依って算出した数值は第3表4行目に示してある。

その値を見ると電流増加の時はいずれの場合でも $1+K$ は過電流耐量 1.5 より大となって居る。この事は電流が突然 $(1+K)$ 倍に上昇してそのままの値を持続したのでは安定運轉が出来ないのである。例えば電圧調整率 15% の場合を見ても定格電流では接点開放の位置は

$$U_{0n} + \Delta U_{0n} = 29.67 + 25.8 = 55.47 < 60$$

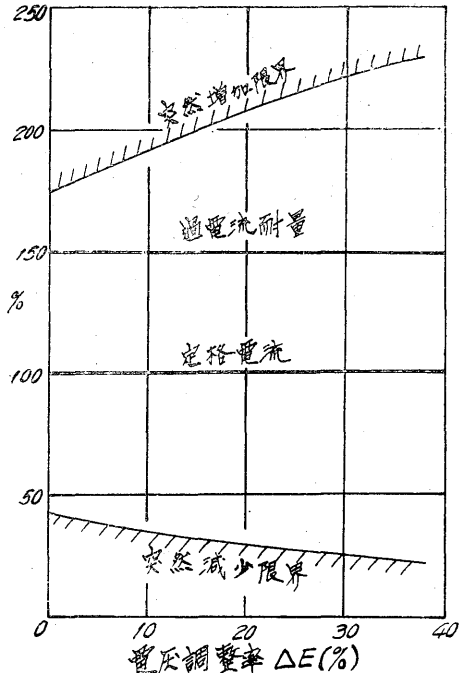
であるが、電流が $1+K$ 即ち 2.01 倍に急増した場合

は轉流角が $29.67 + 25.8/2 = 42.57$ となり、前の接点開放位置は轉流角の終り即ち扁平段期間の始点に在る。電流値がそのまま持続すると接点開放位置は自動的に扁平段期間の中央に移動されるから

$$U_{0K} + \Delta U_{0K} = 42.57 + 25.8 = 68.37 > 60$$

となって安定運轉が続けられないのである。($120 + U_{0K} + \Delta U_{0K}/2 = 120 + 42.57 + 25.8/2 = 175.47 < 180$ であるから運轉が出来ないのでなく、安全度が少い状態で運轉する事になるのである)。

これを逆に云えば過電流耐量の範囲内であれば電流が突然増加してそのまま持続しても何等差支なく、只突然減少する場合にのみ限界があるがそれも相等の幅を持って居る。これらの関係を图示すれば第5図の如くである。



第5図 負荷電流の突然変動の限界

Fig. 5. Limit of load fluctuation

即ち接觸變流機は甚だ精巧な機械であるけれども、適当に設計された接觸變流機は負荷の激動に対しても極めて安定である事が同図で判る。

飽和リアクトルの最小鉄心重量

第2表に示す様に、與えられた條件で接觸變流機が安定運轉をするにはその飽和リアクトルに於けるリアクタンス電圧降下が制限される。飽和リアクトルのリアクタンスはその鉄心の特性並びに構造に甚だ左右されるのであるが、それに依ってリアクタンス電圧降下を制限値以下とするのに必要な最小鉄心重量が自ら定まる。以下に

それを検討して見よう。

飽和リアクトルに用いる鉄心は矩形ヒステリシス曲線を持ち、残留磁束密度 B_r が出来るだけ大で、最終飽和磁束密度 B_m と B_r との比 B_r/B_m が 1 に近いのを理想とする。この比が 1 即ち飽和部分の固有磁束密度曲線が水平直線で表わされる場合は、リアクトルのリアクタンスとしては空心リアクトルとして計算すればよいのであるが、実際には斯様な理想的鉄心は仲々得られない。Hの増加に伴って僅か乍らでも B が上昇するのであって、この部分のリアクタンスを無視する事は甚だ危険である。

飽和部分の固有磁束密度曲線を B-H 座標で直線に表わすことは誤差が大きい。筆者はそれを附録 III に示す如く双曲線函数で表わすことにした。そこで

$$\text{リアクトル鉄心内の磁束量} = SB_m \{1 - e^{-c(bi+h)}\} \quad (\text{附録 III 参照})$$

$$\text{空心リアクトルとしての磁束量} = S'bi$$

$$S = \text{鉄心断面積}$$

$$S' = \text{空心としての磁束通路断面積}$$

(鉄心の存在する部分のみならず、その周囲及び導体の一部をも磁束が通る事を考慮した所謂等価断面積である。)

$$b = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{N}{l}$$

$$N = \text{各相リアクトル巻回数}$$

$$l = \text{鉄心磁路の平均長}$$

とすれば、轉流期間に於て下の式が得られる。

$$2N \left[S \frac{dB_m \{1 - e^{-c(bi+h)}\}}{dt} + S' b \frac{di}{dt} \right] 10^{-3} + 2L_T \frac{di}{dt} = e_1 - e_2$$

$$L_T = \text{変圧器漏洩誘導係数}$$

$$2\omega N \left\{ SB_m cb \int_0^{im} e^{-c(bi+h)} di + S' b \int_0^{im} di \right\} 10^{-3} = \int_{\alpha}^{\alpha+U_{\alpha}} (e_1 - e_2) d\omega t - 2\omega L_T \int_0^{im} di$$

即ち近似的に (附録 III 参照)

$$2\omega NS(B_m - B_r) 10^{-3} + 2\omega NS' b i_m 10^{-3} = \frac{2\pi}{3} (\Delta E'_L - \Delta E'_R)$$

$$6fNS(B_m - B_r) 10^{-3} + 6f \frac{4\pi}{10} \frac{(SN)^2 S'}{Sl} i_m = \Delta E'_R \dots (14)$$

一方扁平段期間に於て下の式が得られる。

$$\frac{2B_r SN}{\Delta t} 10^{-3} = \sqrt{3} E_p \sin(\alpha + U_{\alpha} + \Delta U_{\alpha}/2)$$

$$\Delta U_{\alpha} = 360f \Delta t \text{ であるから上式より}$$

$$SN = \frac{\pi \Delta U_{\alpha}}{6 \times 360f} \frac{E_{p0}}{B_r} \sin(\alpha + U_{\alpha} + \Delta U_{\alpha}/2) 10^3 \dots (15)$$

(14)式中の SN に (15) 式を代入し、Sl を求め、これに 3ζ (ζ = 鉄心比重) を乗ずれば 3 箇の鉄心の全重

(37)

量が得られる。最後の結果を示せば

鉄心重量

$$= \frac{3.64 \frac{1}{\sigma} \left(\frac{\Delta U_{\alpha}}{B_r}\right)^2 \frac{kKW_n}{f} \sin^2(\alpha + U_{\alpha} + \Delta U_{\alpha}/2)}{\Delta e'_{RO}(\%) - 0.872 \frac{\Delta U_{\alpha}}{B_r} (B_m - B_r) \sin(\alpha + U_{\alpha} + \Delta U_{\alpha}/2)} \times 10^6 (\text{kg}) \dots (16)$$

(但し $\zeta = 7.6$ とす)

$$\sigma = S/S'$$

KW_n = 変流機定格出力 (kW) (計算では $E_{p0} i_m = kE_{p0} i_n \simeq kE_g i_n$ とした)

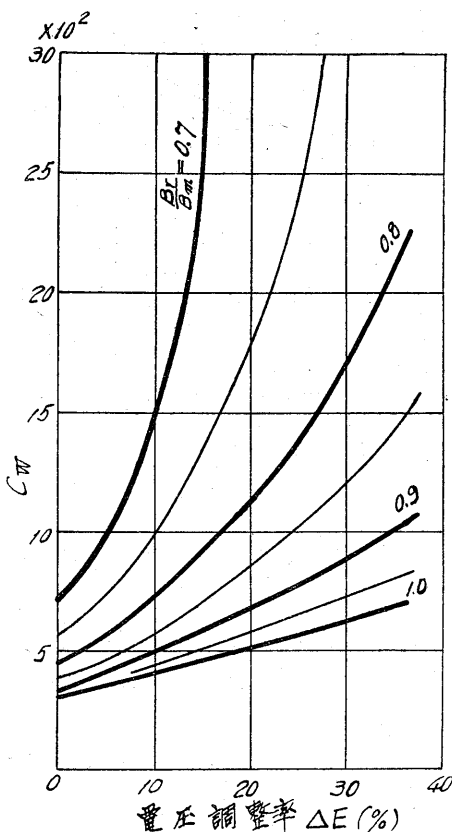
$\Delta e'_{RO} = E_{p0}$ に対する過電流耐量 $k i_n$ に於けるリアクトルの許容リアクタンス降下率

(16)式中の $\sin(\alpha + U_{\alpha} + \Delta U_{\alpha}/2)$ は下の式から算出される。

$$\cos(\alpha + U_{\alpha}) = \cos U_{0 \max} + \cos \alpha - 1 \dots (17)$$

$\Delta U_{\alpha} = 20$ の場合についてその算出値と $\Delta e'_{RO}$ の許容値とを示せば第 4 表の如くである。

$\Delta E(\%)$	$\sin(\alpha + U_{\alpha} + \Delta U_{\alpha}/2)$	$\Delta e'_{RO}(\%)$
0	0.766	9.45
15	0.860	7.65
25	0.910	6.90
35	0.948	6.20



第 6 図 最小鉄心重量の係数

Fig. 6. Minimum core weight of reactor

$\Delta e'_{ro}$ は指定された條件 (ΔE 及び k) で安定運轉をなす爲の限界値であるから、この値を (16) 式に入れて算出した鉄心重量はそれ以下の鉄心量では安定な運轉特性 (ΔE 及び k の條件を満足して) が得られないと云う事を示すのである。 σ はリアクトルの構造に依って幾分異なるが大体 0.4 程度の数値である。

(16) 式の分母第 2 項から鉄心重量はリアクトル鉄心の飽和部分の特性に非常に影響される事が判る。悪い特性の鉄心では (16) 式の分母が 0 に近い負となって、所要の運轉特性は得られない事になる。種々な B_r/B_m に対して重量係数を C_w とすれば安定運轉の爲の最小鉄心重量は

$$\text{鉄心重量} = C_w \frac{k \text{ KW}_n}{f(B_r)^2} 10^3 \text{ (kg)} \dots\dots(18)$$

となる。 C_w は第 6 図に示してある。 ($\sigma = 0.3$ とした)

(16) 式を見ると鉄心重量は周波数に逆比例して居るがこれは ΔU_a を一定としての事であって、50 回の時の $\Delta U_a = 20^\circ$ と同じ扁平段期間 Δt を 60 回でとるとすれば ΔU_a は 60/50 である必要があり、従って $U_{0\text{max}}$ が大、 $\Delta e'_{ro}$ は小となる事になり、鉄心重量は 60/50 以上に必要となるのである。尚、式中の B_r は鉄心の動特性のそれを採るべき事勿論である。

飽和リアクトル用鉄心

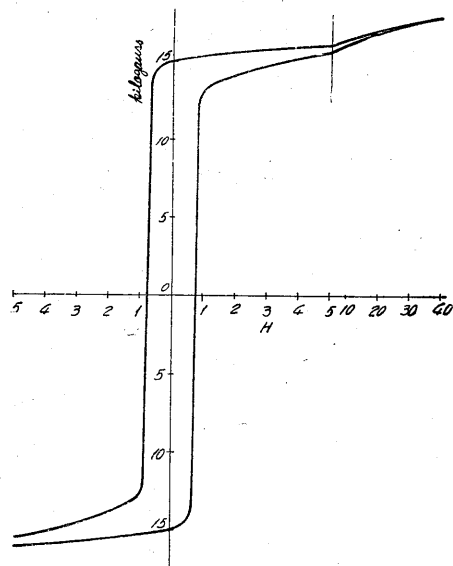
飽和リアクトルに用いる鉄心は前にも述べた通り、成るべく矩形に近い hysteresis loop を持ち、 B_r/B_m は成るべく 1 に近く而も B_r は出来るだけ高いのがよい。特に B_r/B_m の値は B_r の大きさ自身よりも重要である事は (16) 式或は第 6 図を見ても明かである。この特性は現在の所ニッケル鉄合金で優秀なものを最も容易に製作する事が出来る。弊社の試作接觸變流機の鉄心にはこれを用い優秀な特性を得た。只ニッケルが元來稀少金属であるからそれを使用する事を懸念する向きもあるが、ニッケルを使用する事に依り B_r/B_m 及び B_r を共に高い値とする事が出来るので所要鉄心量が甚だ少なくて済み従ってニッケル使用量も大したものではない。只従來この合金に用いられるニッケルは高い純度が要求され、従來殆ど輸入ニッケルのみ使用されて居たのであるが、吾々はこれを國産ニッケルで代置する事を研究して大体その可能な見通しを得た。

然し、吾々はニッケル鉄合金の代用材料に就ても研究を怠って居るのではない。代用材料と云っても B_r/B_m が 0.8 程度以上でないとい用物になるまい。現在最も一般的な代用材料は硅素鉄及び純鉄である。前者については

三原金吾博士は実験室的に殆ど理想的な B_r/B_m の値

(B_r は多少低い) を得られたが、(E.E. Sept. 1948. p. 845) これには非常に純度の高い硅素を要するとの事で、工業的に斯様な特性を得る事は未しである。硅素鉄、純鉄共にどの程度まで B_r/B_m が上げられるかが問題なのである。

第 7 図は最近弊社で得られた純鉄鉄心の動特性の一例を示すが、図に見る如く相当優秀な特性ではあるが今一步の特性改善を研究して居る。



第 7 図 純鉄鉄心の動特性の一例

Fig. 7. Dynamic characteristic of pure iron core

筆者は現在の段階ではこれらの代用材料に依る鉄心は現在よりも更に高い電圧の接觸變流機に利用したいと考えて居る。それは 700 乃至 800V 程度の直流電源としても接觸變流機は現在の單極水銀整流器の領域を浸蝕すべきものとするからである。

結 言

以上 3 相 bridge 結線の接觸變流機について行った検討の結果下の事柄が明かになった。

接觸變流機が安定な運轉を続けるには電圧調整率及び過電流耐量等に自ら限度があり、その限度は接点に依り短絡される回路のリアクタンスで制限される。

然し指定された電圧調整率、過電流耐量等に対し適当に設計された變流機は、機械の精巧さにも拘らず、相当な負荷の激動にも耐えて極めて安定に運轉出来るのである。

回路のリアクタンスが制限される事は、飽和リアクトルの飽和時のリアクタンスが制限される事で、従って與

えられた条件で安定運転を行うのに必要なリアクトル鉄心の最小所要量が自ら定まって来る。但しその最小所要量は鉄心の磁気特性に基だしく左右されるもので、特に B_r/B_m が小さい場合には所定の運転特性を到底満足させる事が出来ない場合がある。

終りに弊社の磁気材料の研究成果に就ては三原博士の御助力に負う事多大である。茲に甚深な謝意を表する。

附 録 I

3相 bridge 結線に於ける直流無負荷最高電圧 E_{g0} は (第2図参照)

$$E_{g0} = \frac{2}{2\pi/3} \int_{\pi/6}^{2\pi/3+\pi/6} E_p \sin \omega t d\omega t = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_p \dots\dots\dots (附 1)$$

α まで電圧調整を行った爲に生ずる電圧降下 ΔE_g は

$$\begin{aligned} \Delta E_g &= \frac{2}{2\pi/3} \int_0^\alpha (e_1 - e_2) d\omega t = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_p \int_0^\alpha \sin \omega t d\omega t \\ &= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_p (1 - \cos \alpha) \dots\dots\dots (附 2) \end{aligned}$$

従って電圧調整率 ΔE は

$$\Delta E = \frac{\Delta E_g}{E_{g0}} = 1 - \cos \alpha \dots\dots\dots (附 3)$$

附 録 II

変圧器漏洩リアクタンス

$$\omega L_T = \frac{E_p}{\sqrt{2} i_p} \times \frac{x_T(\%)}{100}$$

i_p = 交流定格相電流

$x_T(\%)$ = 変圧器の%リアクタンス

$$i_n \omega L_T = \frac{E_p}{\sqrt{2}} \cdot \frac{x_T(\%)}{100} \cdot \frac{i_n}{i_p}$$

しかるに $i_p = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} i_n$ 且つ $E_{g0} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_p$

故に $i_n \omega L_T = \frac{\pi}{3\sqrt{6}} E_{g0} \cdot \frac{x_T(\%)}{100} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} = 0.525 E_{g0} \frac{x_T(\%)}{100}$

$$\Delta e_{ro}(\%) = 2 \times \frac{3}{2\pi} \frac{i_n \omega L_T}{E_{g0}} \simeq 0.50 x_T(\%) \dots\dots\dots (附 4)$$

附 録 III

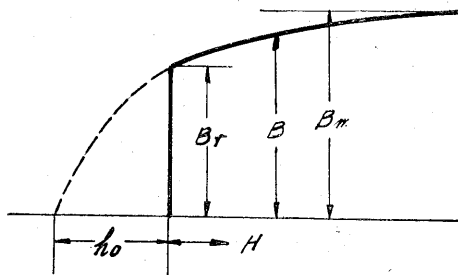
附第1図に示す如く、固有磁束密度(空心としての磁束を除いたもの)曲線の飽和部分を(附5)式の如き双曲線函数で表わすとする。

$$B = B_m (1 - e^{-c(H+h_0)}) \dots\dots\dots (附 5)$$

但し c 及び h_0 は適当な定数である。(附5)式より

$$dB = B_m c e^{-c(H+h_0)} dH$$

$$\begin{aligned} \int_{H=0}^{H=H_m} dB &= B_m c \left[\frac{e^{-c(H+h_0)}}{-c} \right]_0^{H_m} = B_m e^{-ch_0} (1 - e^{-cH_m}) \\ &\simeq B_m e^{-ch_0} \dots\dots\dots (附 6) \end{aligned}$$



附 第 1 図

一般に e^{-cH_m} は 1 に較べて極めて小さい。

(附5)式に於て $H=0$ とすれば

$$B_r = B_m (1 - e^{-ch_0})$$

従って $\int_{H=0}^{H=H_m} dB \simeq B_m - B_r \dots\dots\dots (附 7)$

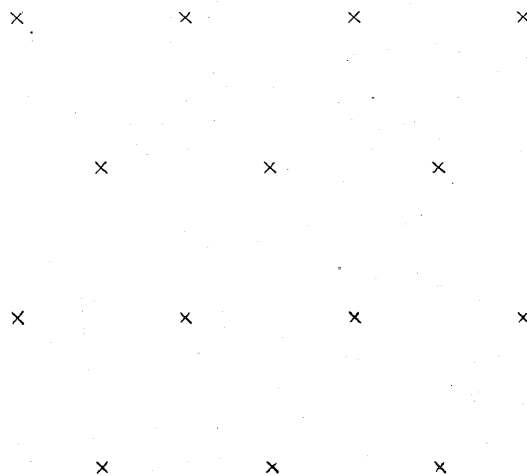
本文に於ては $H=bi$ である。

尙(附5)式から

$$\frac{B_m - B}{B_m} = e^{-c(H+h_0)}$$

$$\log \frac{B_m - B}{B_m} = -cH - ch_0 \dots\dots\dots (附 8)$$

であるから、種々な B 及び H の測定値に対して、 B_m を適当に仮定し、 $\log (B_m - B)/B_m$ と H との関係が最も直線に近い B_m を求めればその材料の B_m を決定する事が出来る。(終)





*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。