充電電流遮断について(IV)

技術部電力器具課　水　谷　明　蔵

On the Problem of Interruption of Charging Current (IV)

By Haruzō Mizutani

(Electric Power Apparatus Div., Eng'g. Dep't.)

The problem of interruption of charging current is an important problem for the circuit breaker. Generally, this problem has been explained on the single-phase circuit, but there are many cases on the three-phase circuit, where the simple explanation cannot be applied, because the current of each phase will be interrupted one after another at the current zero condition.

The superposition theorem of the circuit can be applied for the solution of these phenomena, taking zero phase sequence impedence, positive phase sequence impedance and negative phase sequence impedance at both source side and line in series circuit.

Continued from the preceeding number (No. 2, 4, 5, Vol. 28), this problem will be solved in this article.

IV. 抵　抗　遮　断

Some Example of Calculation for Interruption through Ohmic Resistance

In this chapter, the effect of linear resistance, which will be inserted in series with main circuit when reignition or restriking of arc occurs through main contact of circuit breaker, is discussed by calculating of some examples. Consequently we can obtain, that in the case of reignition this effect will not be so remarkable as in the case of restriking.

Finally, the general equation of additional resistance is solved applying the method of symmetrical coordinate and the supplementary theorem.

XX. 抵抗遮断について

抵抗を通じて充電電流遮断をおこなえば再点弧あるいは再発弧によって生ずる異常電圧を抑制し得るという考えは既に古くから唱えられ，静電蓄電器回路の開閉器に実施されている．これに対して直線抵抗が有利であるか非直線抵抗が有利であるかについても色々論ぜられている．しかしながら3相回路について取扱うとすれば非常に手数がかかるために，普通の場合は単相回路について論じていることが多い．それでもある程度の考察はできるわけであるが，3相回路では抵抗の入った初めの相の変化が残りの相の電流に対して与える影響を無視することは不合理であるから，矢張り直接に3相回路を取扱うべきである．電流に従属した非直線抵抗の場合にはますます複雑となってしまうため，これを取扱うことは段々法による以外にはできないから直線抵抗を使用した場合につき計算をおこなってみることは意義のあることである．これまでの取扱いは先ず一般式を述べて後に，Z_0 を無限大として非接地系統について論じてきたが，今度は最初から非接地系統としての計算を試みることとし最後に一般式の誘導をおこなうようにする。

さらに抵抗遮断と一口にはいっているが方法としては次の3種類が考えられる。

a) 消弧液そのものが抵抗の役目をする場合．これは液体型遮断器においてその効果の大小の差はあっても実際におこなわれているものである．この時は抵抗が一定では無く開極距離が多く関与すると考えられるが，これを簡単に開極距離だけに関係する非直線抵抗として取扱えるとすれば，これは対称回路であるから単相回路だけの考察でも充分である。

b) 主消弧室に並列に抵抗を設け，遮断時には一度電流を抵抗に移し，次に補助消弧室において残留電流を遮断する場合．すなわち先ず主消弧室の可動接触子が開き電流が抵抗に移ってから補助接触子が開くようにしたものであって，最も普通におこなわれている方式である。

c) 二つの消弧室を直列にしその一方に並列抵抗を設けて，両方の可動接触子は同時に開くようにする場合．これは b) の場合と似てはいるが，接触子の開極により一度消弧され，次に再発弧あるいは再点弧がおこなわれる際に並列抵抗を通して電流が流れ次の遮断は b) と同じ形式になるという点に相異がある．昭和29年10月黒部川第3発電所においてはこの方式による161kV 膨脹遮断器を使用して試験をおこなったものであるが，数回の再発弧および再点弧にかかわらず異常電圧は$2E$ 以下におさまるという好成績を示している。

本章においては先ず c) の方式によった非接地系統における充電電流遮断の計算例を紹介し，さらに b) についての一般式の誘導につき紹介をおこなうものである。

XXI. c) 方式による充電電流遮断の計算（非接地系統）

回路は前章第11図と全く同じとし，遮断器の直列抵抗は $3r$ で表わされるものとする．また実際の数値計算は黒部川第3発電所を対照とする意味で回路電圧を 161 kV，充電電流を 15A としたものに相当させ，L—C 回路の自由振動数に対しては $\omega_1=5\omega$ と仮定する．ω_1 の値が実際の値に一致しているか否かは別問題として，これは前章第18図との比較のために採用したものである．したがってa相消弧後 $\theta=60°$ でこの相の再発弧がおこなわれると考え，再発弧までは第18図と全く同じであるとする。

計算に使用する数値は次のようなものである。

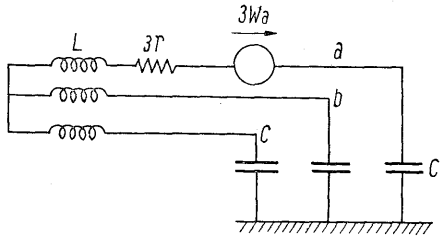
$$\frac{K_1}{L}=25\omega^2,\quad \frac{K_1}{\omega}=\frac{161{,}000}{\sqrt{3}\times 15}=6{,}200\,\text{ohm}$$

$$3r=2{,}000\,\text{ohm},\quad \frac{r}{L}=2.69\omega$$

XXI-1 a 相再発弧の場合

この時の補足回路は第20図のような形になるから

$$i_a'=-2i_b'=-2i_c'$$



第20図 a相再発弧の補足回路

Fig. 20. Complementary circuit for reignition of "a" phase

$$=\frac{3w_a}{\frac{3}{2}\left(pL+\frac{K_1}{p}\right)+3r}=\frac{2w_a}{pL+\frac{K_1}{p}+r}$$

$$w_a=\frac{1}{2}\left\{1-\frac{24}{25}\cos(\omega t+60°)\right\}\sqrt{2}\,E$$

したがって

$$i_a=\frac{1}{L}\cdot\frac{p}{(p+\alpha)^2+\nu_1^2}\left\{1-\frac{24}{25}\left(\frac{1}{2}\frac{p^2}{p^2+\omega^2}-\frac{\sqrt{3}}{2}\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\right)\right\}\sqrt{2}\,E\,\mathbb{1}$$

ただし

$$\alpha=-\frac{r}{2L},\quad \nu_1=\sqrt{\frac{K_1}{L}-\left(\frac{r}{2L}\right)^2}$$

$$=25\omega\frac{p}{(p+\alpha)^2+\nu_1^2}\left\{1-\frac{24}{25}\left(\frac{1}{2}\frac{p^2}{p^2+\omega^2}-\frac{\sqrt{3}}{2}\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\right)\right\}\sqrt{2}\,I\,\mathbb{1}$$

これに対して

$$\frac{p}{(p+\alpha)^2+\nu_1^2}\,\mathbb{1}=-\frac{1}{\nu_1^2}\left(\frac{}{j\nu_1}\right)_{\nu_1 t}\varepsilon^{-\alpha t}$$

$$=\frac{1}{\nu_1}\sin\nu_1 t\,\varepsilon^{-\alpha t}$$

$$\frac{p^3}{\{(p+\alpha)^2+\nu_1^2\}(p^2+\omega^2)}\,\mathbb{1}$$

$$=-\frac{1}{\nu_1^2}\left(\frac{j\nu_1(-\alpha+j\nu_1)^2}{(-\alpha+j\nu_1)^2+\omega^2}\right)_{\nu_1 t}\varepsilon^{-\alpha t}-\frac{1}{\omega^2}\left(\frac{-j\omega^3}{(\alpha+j\omega)^2+\nu_1^2}\right)_{\omega t}$$

$$=\frac{1}{(\alpha^2+\nu_1^2)^2+2\omega^2(\alpha^2-\nu_1^2)+\omega^4}\cdot\left[-\frac{1}{\nu_1}\left(j\{(\alpha^2+\nu_1^2)^2+\omega^2(\alpha^2-\nu_1^2)-2j\alpha\nu_1\omega^2\}\right)_{\nu_1 t}\varepsilon^{-\alpha t}+\alpha\left(j\{(\alpha^2+\nu_1^2-\omega^2)-j2\alpha\omega\}\right)_{\omega t}\right]$$

$$=\frac{1}{(n^2-1)^2\omega^2+4\alpha^2}\left[\left\{-2\alpha\cos\nu_1 t+\frac{1}{\nu_1}(n^4\omega^2-n^2\omega^2+2\alpha^2)\sin\nu_1 t\right\}\varepsilon^{-\alpha t}+2\alpha\cos\omega t-(n^2-1)\omega\sin\omega t\right]$$

$$\frac{p^2\omega}{\{(p+\alpha)^2+\nu_1^2\}(p^2+\omega^2)}\,\mathbb{1}$$

$$=\omega\left[-\frac{1}{\nu_1^2}\left(\frac{j\nu_1(-\alpha+j\nu_1)}{(-\alpha+j\nu_1)^2+\omega^2}\right)_{\nu_1 t}\varepsilon^{-\alpha t}-\frac{1}{\omega^2}\left(\frac{-\omega^2}{(\alpha+j\omega)^2+\nu_1^2}\right)_{\omega t}\right]$$

$$=\frac{\omega}{(\alpha^2+\nu_1^2)^2+2\omega^2(\alpha^2+\nu_1^2)+\omega^4}\left[\frac{1}{\nu_1}\left((\nu_1+j\alpha)\{(\alpha^2-\nu_1^2+\omega^2)+2j\alpha\nu_1\}\right)_{\nu_1 t}\varepsilon^{-\alpha t}\right.$$

$$+\left(\overline{(\alpha^2-\omega^2+\nu_1^2)-2j\gamma\omega}\right)_{\omega t}\Big]$$

$$=\frac{\omega}{(n^2-1)^2\omega^2+4\alpha^2}\Big[\Big\{-(n^2-1)\cos\nu_1 t-\frac{\alpha}{\nu_1}(n^2+1)\sin\nu_1 t\Big\}\varepsilon^{-\alpha t}+(n^2-1)\cos\omega t+2\frac{\alpha}{\omega}\sin\omega t\Big]$$

ゆえに

$$i_a'=n^2\Big[\frac{\omega}{\nu_1}\sin\nu_1 t\varepsilon^{-\alpha t}-A\Big\{\Big(-2\frac{\alpha}{\omega}\cos\theta+\overline{n^2-1}\sin\theta\Big)\cos\nu_1 t+\frac{\omega}{\nu_1}\Big(\overline{n^4-n^2+2\frac{\alpha^2}{\omega^2}}\cos\theta+\frac{\alpha}{\omega}\sin\theta\Big)\sin\nu_1 t\Big\}\varepsilon^{-\alpha t}-A\Big\{2\frac{\alpha}{\omega}\cos(\omega t+\theta)-(n^2-1)\sin(\omega t+\theta)\Big\}\Big]\sqrt{2}\,I$$

ただし　$A=\dfrac{\omega^2}{(n^2-1)^2\omega^2+4\alpha^2}$

これに数値を入れると

$$i_a'=\{1.634\sin\nu_1 t\varepsilon^{-\alpha t}-0.8132\cos\nu_1 t\,\varepsilon^{-\alpha t}+\sin(\omega t+53°50')\}\sqrt{2}\,I$$

$$v_a'=\frac{K_1}{p}i_a'=\frac{K_1}{L}\frac{1}{(p+\alpha)^2+\nu_1^2}\Big\{1-\frac{24}{25}\Big(\frac{1}{2}\frac{p^2}{p^2+\omega^2}-\frac{\sqrt{3}}{2}\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\Big)\Big\}\sqrt{2}\,E\mathbb{1}$$

$$=25\omega^2\frac{1}{(p+\alpha)^2+\nu_1^2}\Big\{1-\frac{24}{25}\Big(\frac{1}{2}\frac{p^2}{p^2+\omega^2}-\frac{\sqrt{3}}{2}\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\Big)\Big\}\sqrt{2}\,E\mathbb{1}$$

$$\frac{1}{(p+\alpha)^2+\nu_1^2}\mathbb{1}=\frac{1}{\alpha^2+\nu_1^2}-\frac{1}{\nu_1^2}\left(\frac{j\nu_1}{-\alpha+j\nu_1}\right)_{\nu_1 t}\varepsilon^{-\alpha t}=\frac{1}{(n\omega)^2}\Big\{1-(\cos\nu_1 t+\frac{\alpha}{\nu_1}\sin\nu_1 t)\varepsilon^{-\alpha t}\Big\}$$

$$\frac{p\omega}{\{(p+\alpha)^2+\nu_1^2\}(p^2+\omega^2)}\mathbb{1}$$

$$=-\frac{\omega}{\nu_1^2}\left(\frac{j\nu_1}{(-\alpha+j\nu_1)^2+\omega^2}\right)_{\nu_1 t}\varepsilon^{-\alpha t}-\frac{\omega}{\omega^2}\left(\frac{j\omega}{(\alpha+j\omega)^2+\nu_1^2}\right)_{\omega t}$$

$$=\frac{1}{(\alpha^2+\nu_1^2)^2+2\omega^2(\alpha^2-\nu_1^2)+\omega^4}\Big[-\frac{\omega}{\nu_1}\left(\overline{j(\alpha^2-\nu_1^2+\omega^2)-2\alpha\nu_1}\right)_{\nu_1 t}\varepsilon^{-\alpha t}-\left(\overline{j(\alpha^2+\nu_1^2-\omega^2)+2\alpha\omega}\right)_{\omega t}\Big]$$

$$=\frac{1}{(n^2-1)^2\omega^2+4\alpha^2}\Big[\Big\{2\frac{\alpha}{\omega}\cos\nu_1 t+\frac{\omega}{\nu_1}\Big(n^2-1+2\frac{\alpha^2}{\omega^2}\Big)\sin\nu_1 t\Big\}\varepsilon^{-\alpha t}-2\frac{\alpha}{\omega}\cos\omega t+(n^2-1)\sin\omega t\Big]$$

ゆえに

$$v_a'=(n\omega)^2\Big[\frac{1}{(n\omega)^2}-\frac{1}{(n\omega)^2}\Big(\cos\nu_1 t+\frac{\alpha}{\nu_1}\sin\nu_1 t\Big)\varepsilon^{-\alpha t}-\Big(\frac{n^2-1}{n^2}\Big)\frac{A}{\omega^2}\Big\{-\Big(\overline{n^2-1}\cos\theta+2\frac{\alpha}{\omega}\sin\theta\Big)\cos\nu_1 t-\frac{\omega}{\nu_1}\Big(\frac{\alpha}{\omega}\overline{n^2+1}\cos\theta+\overline{n^2-1+2\frac{\alpha^2}{\omega^2}}\Big)\sin\nu_1 t\Big\}\varepsilon^{-\alpha t}-\Big(\frac{n^2-1}{n^2}\Big)\frac{A}{\omega^2}\Big\{(n^2-1)\cos(\omega t+\theta)+2\frac{\alpha}{\omega}\sin(\omega t+\theta)\Big\}\Big]\sqrt{2}\,E$$

これに数値を入れると

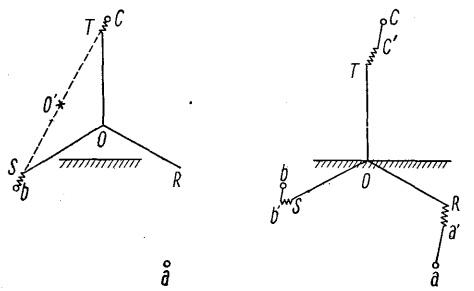
$$v_a'=\{1-0.629\cos\nu_1 t\varepsilon^{-\alpha t}-0.96\cos(\omega t+53°50')\}\sqrt{2}\,E$$

またこの場合には　$v_b'=v_c'=-\dfrac{1}{2}v_a'$

であるからｂ相およびｃ相の電位も容易に計算できる。

前章で述べたと同様に電位ベクトルについて調べると第21図のごとくなり，（ａ）は再発弧直前を表わしているがこれまでは0′を中心として三角形 $R\,b\,c$ が角速度 ω をもって回転しているのに対し，(b)は再発弧直後を表わしているが今度は０を中心として三角 $a'\,b'\,c'$ が角速度 ω をもって回転し，さらに a', b', c' を中心として角速度 ν_1 でその半径が $\varepsilon^{-\alpha t}$ をもって減衰するような回転ベクトルが付加される。

三角形 $a'\,b'\,c'$ はａ相に抵抗が入った場合の定常状態を表わしていることはいうまでもない。



(a)　　(b)

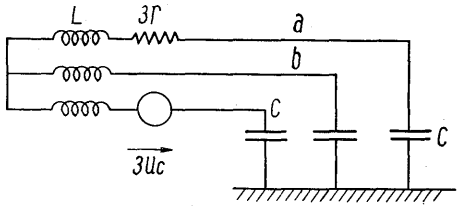
第21図　ａ相再発弧時のベクトル図
（a）再発弧直前　（b）再発弧直後

Fig. 21. Vector diagram for reignition of "a" phase
(a) at a instant, just before reignition
(b) at a moment, soon after reignition

XXI-2 a相再発弧後のc相遮断

a相再発弧直後は減衰効果が少いから前章の計算と余り異らず先ずc相電流が零点を通るので，その時にc相遮断がおこなわれたとする。

この場合の補足回路は第22図で表わされる．回路を解くと次のようになる。



第22図　c相遮断時の補足回路

Fig. 22. Complementary circuit for interruption of "c" phase

$$u_c=\frac{\left(pL+\frac{K_1}{p}\right)\left(pL+\frac{K_1}{p}+2r\right)}{2\left(pL+\frac{K_1}{p}\right)+3r}i_c'$$

$$=\frac{L}{2}\frac{\left(p^2+\frac{K_1}{L}\right)\left(p^2+2p\frac{r}{L}+\frac{K_1}{L}\right)}{\{(p+\beta)^2+\nu_2^2\}p}i_c'$$

$$i_a'=\frac{-\left(pL+\frac{K_1}{p}\right)}{2\left(pL+\frac{K_1}{p}\right)+3r}i_c'$$

$$=-\frac{1}{2}\frac{p^2+\frac{K_1}{L}}{(p+\beta)^2+\nu_2^2}i_c'$$

$$i_b'=\frac{-\left(pL+\frac{K_1}{p}+3r\right)}{2\left(pL+\frac{K_1}{p}\right)+3r}i_c'$$

$$=-\frac{1}{2}\frac{p^2+3p\frac{r}{L}+\frac{K_1}{L}}{(p+\beta)^2+\nu_2^2}i_c'$$

c相電流が零点を通過した後にも電流が流れているとすれば

$$i_c=\{(-0.622\sin\nu_1t+0.263\cos\nu_1t)\varepsilon^{-\alpha t}$$
$$-(0.948\sin\omega t+0.0868\cos\omega t)\}\sqrt{2}\,I=-i_c'$$

上式で i_a' だけを解けば $i_c'-i_a'=i_b'$ であるから i_b' の方は解く必要はない．また当然のことであるがa相電流とb相電流は大さが等しく符号だけ異なるものとなるはずである。

先ず i_a' を求めることとするがそれには次の計算をおこなわねばならない。

$$\frac{\left(p^2+\frac{K_1}{L}\right)p\nu_1}{\{(p+\beta)^2+\nu_2^2\}\{(p+\alpha)^2+\nu_1^2\}}\mathbb{1}$$

$$=\nu_1\left[-\frac{1}{\nu_2^2}\left(\frac{j\nu_2\left\{(-\beta+j\nu_2)^2+\frac{K_1}{L}\right\}}{(\alpha-\beta+j\nu_2)^2+\nu_1^2}\right)_{\nu_2 t}\varepsilon^{-\beta t}\right.$$
$$\left.-\frac{1}{\nu_1^2}\left(\frac{j\nu_1\left\{(-\alpha+j\nu_1)^2+\frac{K_1}{L}\right\}}{(\beta-\alpha+j\nu_1)^2+\nu_2^2}\right)_{\nu_1 t}\varepsilon^{-\alpha t}\right]$$

$$=\frac{\nu_1}{\nu_2}\sin\nu_2t\,\varepsilon^{-\beta t}-2\sin\nu_1t\varepsilon^{-\alpha t}$$

$$\frac{\left(p^2+\frac{K_1}{L}\right)p(p+\alpha)}{\{(p+\beta)^2+\nu_2^2\}\{(p+\alpha)^2+\nu_1^2\}}\mathbb{1}$$

$$=-\frac{1}{\nu_2^2}\left(\frac{j\nu_2\left\{(-\beta+j\nu_2)^2+\frac{K_1}{L}\right\}(\alpha-\beta+j\nu_2)}{(\alpha-\beta+j\nu_2)^2+\nu_1^2}\right)_{\nu_2 t}\varepsilon^{-\beta t}$$
$$-\frac{1}{\nu_1^2}\left(\frac{j\nu_1\left\{(-\alpha+j\nu_1)^2+\frac{K_1}{L}\right\}(j\nu_1)}{(\beta-\alpha+j\nu_1)^2+\nu_2^2}\right)_{\nu_1 t}\varepsilon^{-\alpha t}$$

$$=3\left(\cos\nu_2t+\frac{\alpha-\beta}{\nu_2}\sin\nu_2t\right)\varepsilon^{-\beta t}-2\cos\nu_1t\,\varepsilon^{-\alpha t}$$

$$\frac{\left(p^2+\frac{K_1}{L}\right)p\omega}{\{(p+\beta)^2+\nu_2^2\}(p^2+\omega^2)}\mathbb{1}$$

$$=\omega\left[-\frac{1}{\nu_2^2}\left(\frac{j\nu_2\left\{(-\beta+j\nu_2)^2+\frac{K_1}{L}\right\}}{(-\beta+j\nu_2)^2+\omega^2}\right)_{\nu_2 t}\varepsilon^{-\beta t}\right.$$
$$\left.-\frac{1}{\omega^2}\left(\frac{j\omega\left(-\omega^2+\frac{K_1}{L}\right)}{(\beta+j\omega)^2+\nu_2^2}\right)_{\omega t}\right]$$

$$=B\left[2\beta\{(n^2-1)\omega\cos\nu_2t+(n^2+1)\beta\sin\nu_2t\}\varepsilon^{-\beta t}\right.$$
$$\left.-(n^2-1)\{2\beta\omega\cos\omega t+(n^2-1)\omega^2\sin\omega t\}\right]$$

ただし　$B=\frac{1}{(n^2-1)^2\omega^2+4\beta^2}$

$$\frac{\left(p^2+\frac{K_1}{L}\right)p^2}{\{(p+\beta)^2+\nu_2^2\}(p^2+\omega^2)}\mathbb{1}$$

$$=-\frac{1}{\nu_2^2}\left(\frac{j\nu_2\left\{(-\beta+j\nu_2)^2+\frac{K_1}{L}\right\}(-\beta+j\nu_2)}{(-\beta+j\nu_2)^2+\omega^2}\right)_{\nu_2 t}\varepsilon^{-\beta t}$$
$$-\frac{1}{\omega^2}\left(\frac{-\omega^2\left(-\omega^2+\frac{K_1}{L}\right)}{(\beta+j\omega)^2+\nu_2^2}\right)_{\omega t}$$

$$=B\left[\left\{-\frac{2\beta}{\nu_2}(n^2\overline{n^2+1}\,\omega^2-2\nu_2^2)\sin\nu_2t\right.\right.$$
$$\left.\left.+4\beta^2\cos\nu_2t\right\}\varepsilon^{-\beta t}\right.$$
$$\left.+(n^2-1)\{(n^2-1)\omega^2\cos\omega t+2\beta\omega\sin\omega t\}\right]$$

数値を入れてまとめると

$$i_a'=\{-1.06\sin(\nu_2t-21°20')\varepsilon^{-\beta t}$$
$$+0.705\sin(\nu_1t-21°50')\varepsilon^{-\alpha t}$$

$-0.248\sin(\omega t-11°10)\}\sqrt{2}\,I$

次に u_c を求めるには次の計算をおこなわねばならない。

$$\frac{\left(p^2+\frac{K_1}{L}\right)\left(p^2+2p\frac{r}{L}+\frac{K_1}{L}\right)}{\{(p+\beta)^2+\nu_2^2\}p}\times\frac{p\nu_1}{(p+\alpha)^2+\nu_1^2}\,\mathbb{1}$$

$$=\frac{\left(p^2+\frac{K_1}{L}\right)\left(p^2+2p\frac{r}{L}+\frac{K_1}{L}\right)}{\{(p+\beta)^2+\nu_2^2\}\{(p+\alpha)^2+\nu_1^2\}}\,\mathbb{1}$$

$$=\nu_1-\frac{\nu_1}{\nu_2^2}\left(\frac{j\nu_2\left\{(-\beta+j\nu_2)^2+\frac{K_1}{L}\right\}}{(-\beta+j\nu_2)}\right.$$

$$\left.\frac{\left\{(-\beta+j\nu_2)^2+2(-\beta+j\nu_2)\frac{r}{L}+\frac{K_1}{L}\right\}}{\{(\alpha-\beta+j\nu_2)^2+\nu_1^2\}}\right)_{\nu_2 t}\varepsilon^{-\beta t}$$

$$-\frac{\nu_1}{\nu_1^2}\left(\frac{j\nu_1\left\{(-\alpha+j\nu_1)^2+\frac{K_1}{L}\right\}}{(-\alpha+j\nu_1)}\right.$$

$$\left.\frac{\left\{(-\alpha+j\nu_1)^2+2(-\alpha+j\nu_1)\frac{r}{L}+\frac{K_1}{L}\right\}}{\{(\beta-\alpha+j\nu_1)^2+\nu_2^2\}}\right)_{\nu_1 t}\varepsilon^{-\alpha t}$$

$$=\nu_1+3\frac{\alpha\nu_1}{\nu_2}\sin\nu_2 t\,\varepsilon^{-\beta t}-4\alpha\sin\nu_1 t\,\varepsilon^{-\alpha t}$$

$$\frac{\left(p^2+\frac{K_1}{L}\right)\left(p^2+2p\frac{r}{L}+\frac{K_1}{L}\right)}{\{(p+\beta)^2+\nu_2^2\}p}\times\frac{p(p+\alpha)}{(p+\alpha)^2+\nu_1^2}\,\mathbb{1}$$

$$=\frac{\left(p^2+\frac{K_1}{L}\right)\left(p^2+2p\frac{r}{L}+\frac{K_1}{L}\right)(p+\alpha)}{\{(p+\beta)^2+\nu_2^2\}\{(p+\alpha)^2+\nu_1^2\}}\,\mathbb{1}$$

$$=\alpha-\frac{1}{\nu_2^2}\left(\frac{j\nu_2\left\{(-\beta+j\nu_2)^2+\frac{K_1}{L}\right\}}{(-\beta+j\nu_2)}\right.$$

$$\left.\frac{\left\{(-\beta+j\nu_2)^2+2(-\beta+j\nu_2)\frac{r}{L}+\frac{K_1}{L}\right\}}{\{(\alpha-\beta+j\nu_2)^2+\nu_1^2\}}\right)_{\nu_2 t}\varepsilon^{-\beta t}$$

$$-\frac{1}{\nu_1^2}\left(\frac{j\nu_1\left\{(-\alpha+j\nu_1)^2+\frac{K_1}{L}\right\}}{(-\alpha+j\nu_1)}\right.$$

$$\left.\frac{\left\{(-\alpha+j\nu_1)^2+2(-\alpha+j\nu_1)\frac{r}{L}+\frac{K_1}{L}\right\}(j\nu_1)}{\{(\beta-\alpha+j\nu_1)^2+\nu_2^2\}}\right)_{\nu_1 t}\varepsilon^{-\alpha t}$$

$$=\alpha+3\frac{\alpha}{\nu_2}\left\{\nu_2\cos\nu_2 t+(\alpha-\beta)\sin\nu_2 t\right\}\varepsilon^{-\beta t}$$

$$-4\alpha\cos\nu_1 t\varepsilon^{-\alpha t}$$

$$\frac{\left(p^2+\frac{K_1}{L}\right)\left(p^2+2p\frac{r}{L}+\frac{K_1}{L}\right)}{\{(p+\beta)^2+\nu_2^2\}p}\times\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\,\mathbb{1}$$

$$=\frac{\left(p^2+\frac{K_1}{L}\right)\left(p^2+2p\frac{r}{L}+\frac{K_1}{L}\right)\omega}{\{(p+\beta)^2+\nu_2^2\}(p^2+\omega^2)}\,\mathbb{1}$$

$$=n^2\omega-\frac{\omega}{\nu_2^2}\left(\frac{j\nu_2\left\{(-\beta+j\nu_2)^2+\frac{K_1}{L}\right\}}{(-\beta+j\nu_2)}\right.$$

$$\left.\frac{\left\{(-\beta+j\nu_2)^2+2(-\beta+j\nu_2)\frac{r}{L}+\frac{K_1}{L}\right\}}{\{(-\beta+j\nu_2)^2+\omega^2\}}\right)_{\nu_2 t}\varepsilon^{-\beta t}$$

$$-\frac{\omega}{\omega^2}\left(\frac{\left(-\omega^2+\frac{K_1}{L}\right)\left(-\omega^2+\frac{K_1}{L}+2j\omega\frac{r}{L}\right)}{(\beta+j\omega)^2+\nu_2^2}\right)_{\omega t}$$

$$=n^2\omega+2\frac{\alpha\beta\omega}{\nu_2}B\{(n^2-1)\nu_2\cos\nu_2 t$$

$$+(n^2+1)\beta\sin\nu_2 t\}\varepsilon^{-\beta t}$$

$$-\omega(n^2-1)B[\{(n^2-1)^2\omega^2+8\alpha\beta\}\cos\omega t$$

$$-\omega(n^2-1)(4\alpha-2\beta)\sin\omega t]$$

$$\frac{\left(p^2+\frac{K_1}{L}\right)\left(p^2+2p\frac{r}{L}+\frac{K_1}{L}\right)}{\{(p+\beta)^2+\nu_2^2\}p}\times\frac{p^2}{p^2+\omega^2}\,\mathbb{1}$$

$$=\frac{t\left(p^2+\frac{K_1}{L}\right)\left(p^2+2p\frac{r}{L}+\frac{K_1}{L}\right)}{\{(p+\beta)^2+\nu_2^2\}(p^2+\omega^2)}\,\mathbb{1}$$

$$=-\frac{1}{\nu_2^2}\left(\frac{j\nu_2\left\{(-\beta+j\nu_2)^2+\frac{K_1}{L}\right\}}{\{(-\beta+j\nu_2)^2\}}\right.$$

$$\left.\frac{\left\{(-\beta+j\nu_2)^2+2p(-\beta+j\nu_2)+\frac{K_1}{L}\right\}}{+\omega^2\}}\right)_{\nu_2 t}\varepsilon^{-\beta t}$$

$$-\frac{1}{\omega^2}\left(\frac{j\omega\left(-\omega^2+\frac{K_1}{L}\right)\left(-\omega^2+2j\frac{r}{L}+\frac{K_1}{L}\right)}{(\beta+j\omega)^2+\omega^2}\right)_{\omega t}$$

$$=B\left[\frac{2\alpha\beta}{\nu_2}\left\{2\beta\nu_2\cos\nu_2 t-\left(n^4+n^2+2\frac{\beta^2}{\omega^2}\right)\sin\nu_2 t\right\}\varepsilon^{-\beta t}\right.$$

$$\left.+(n^2-1)^2\omega^2\{(2\alpha+\beta)\cos\omega t+(n^2-1)\omega\sin\omega t\}\right]$$

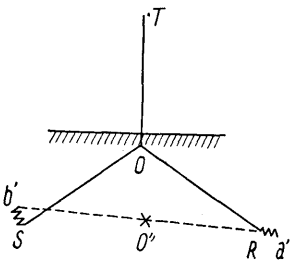
数値を入れてまとめると

$$u_c=0.528-0.062\cos(\nu_2 t+72°10')\varepsilon^{-\beta t}$$
$$+0.0717\cos(\nu_1 t+67°)\varepsilon^{-\alpha t}$$
$$-0.435\cos(\omega t+8°10')$$

この結果を例の通り電位ベクトルで考察すると定常状態では第 23 図において T 点は RS の中点 $0'$ を中心として回転せず，$a'\ b'$ の中点 $0''$ を中心として角速度 ω で回転していることとなる．そして $0''$ はｃ相消弧瞬前のａ相およびｂ相電位の中点であるが，この状態に達するまでにａ相およびｂ相電位は数式中の過渡項に相当した変位をおこなっているものと考えれば説明がつく。

これ等の結果を取まとめると第24図のような電流，電位曲線が得られる．v_a' および v_b' の計算は省略するが，各相電位を求めるには数式によらず電流曲線からその面積を測っても目的を達することができる．第

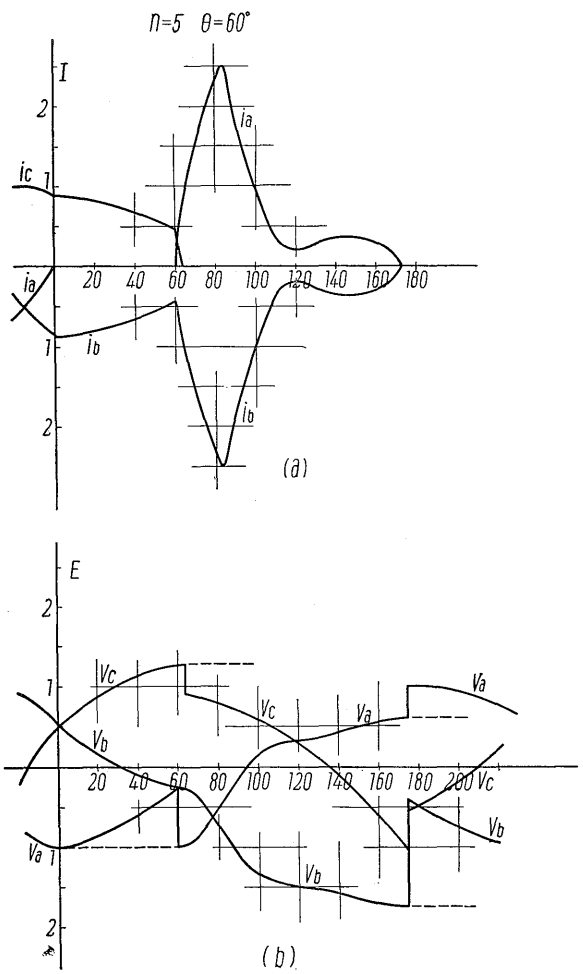
°C



第23図
c 相遮断後のベクトル図
（定常状態として表わす）

Fig. 23.
Vector diagram after interruption of "c" phase (shown as steady state)

18 図と比較してみると電流は高周波分は急速に減衰するため定常状態に近い形となってしまい，したがって各相電位はその形が変っているけれども最後の大さがほとんど同じになっている．もちろん異常電圧という程の大さになっていないから問題はないが，ここでは抵抗の効果はあまり現われてこない。



第24図　固有周波数が第5高調波の場合抵抗を通しての再発弧電流および各相電位（計算値 第18図との比較）

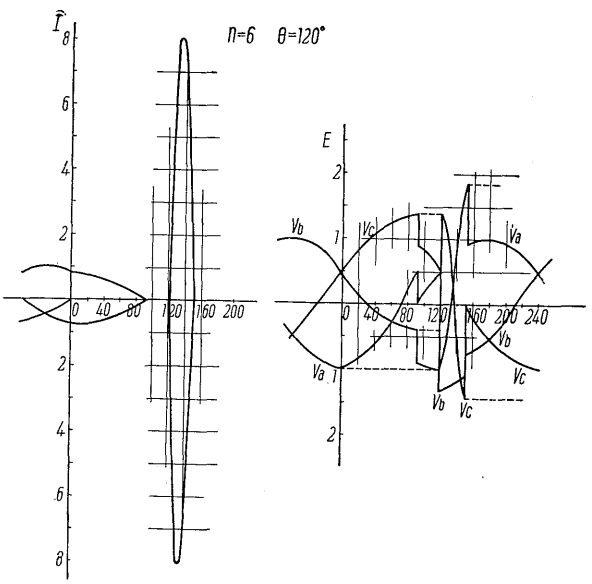
Fig. 24. Calculated reignition current through resistance and potential of each phase, taking the natural frequency as the 5th harmonics (comparison for the Fig. 18)

XXII. 2 相 再 点 弧

前章においては再点弧についての計算を省略したが，抵抗効果の点を証明する目的で簡単にその結果だけを記して置く。

先ず第1相（a 相）遮断がおこなわれて後に，非接地端で遮断の場合は$\omega t=90°$の時に b, c 相が遮断されることは既述の通りである．次に発生する再点弧は多くの場合 a—c 相で起るので，ここでは第1相遮断後 $\omega t=120°$ のとき a—c 相間に再点弧があったものとして求めたものである。

L および r の値は前節と同じ値を取って，$n=6$ としているので前節との比較にはならないが計算結果を取まとめると第25図（抵抗の入っていない場合）および第26図（抵抗の入っている場合）のようになる．電流の高

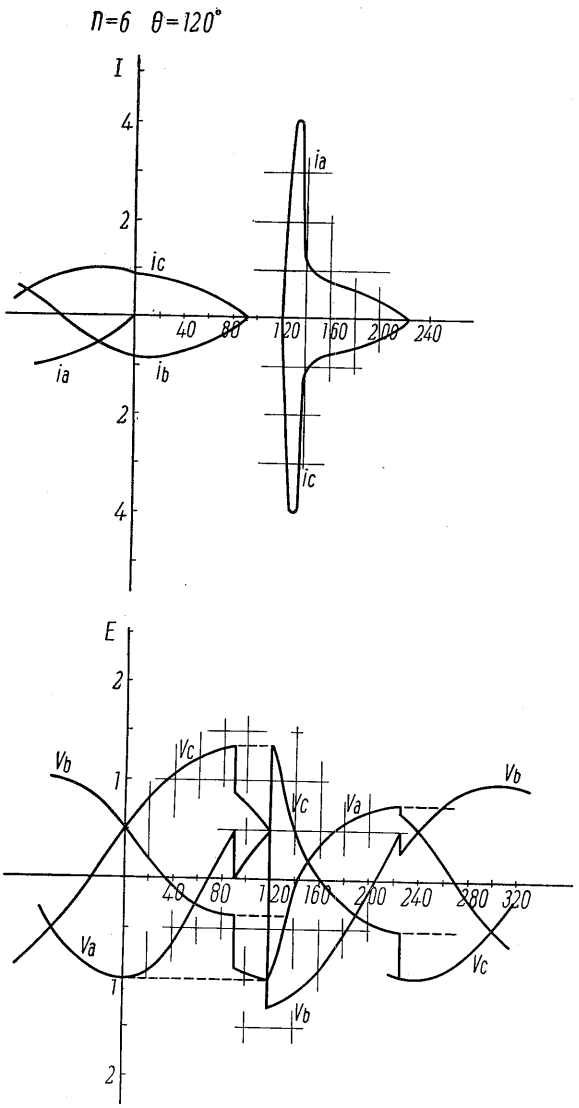


第25図　固有周波数が第6高調波の場合の再点弧電流および各相電位（計算値）

Fig. 25. Calculated restriking current and potential of each phase taking the natural frequency as the 6th harmonics

周波分が急速に減衰することはいうまでもないが，両図を比較してみると電流曲線の囲む面積に著しく相異のあること，したがって異常電圧の発生が有効に抑制されていることが認められる。

抵抗値の選定の一般的条件は簡単にはいえないのであって，非接地系の場合について例えば直列 L—C 回路の自由振動に対する臨界抵抗を選ぶとしても，C の値したがって充電電流値の大さを何程であると考えたらよいかが先ず一つの基礎となる．C が小さければ当然 ω_1 も大



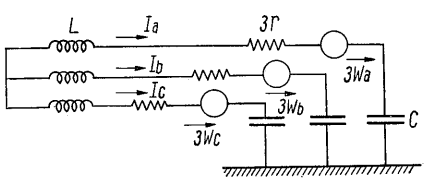
第26図　固有周波数が第6高調波の場合抵抗を通しての再点弧電流および各相電位（計算値 第25図との比較）

Fig. 26. Calculated restriking current through resistance and potential of each phase, compared with the Fig. 25

きくなるので，臨界条件を満足せしめるべき r の値も大きくしなければならないが，これをあまり大きくしたのでは遮断時に抵抗へ電流が通ったときの端子電圧が過大となり端子間の閃絡を生じて抵抗の効果が失われるおそれがある．一般にいって C の小さいことはまた同時に充電電流値が小さいことで，ある程度以下の電流は抵抗に頼らなくとも比較的容易に遮断し得るものであるから，抵抗値の選定は遮断器の特性，回路の諸条件（例えば最大充電電流，固有周波数等）を勘案して適当に決めるべきものである。

XXIII. b) 方式による遮断に対する一般式

第 27 図のような並列抵抗を持った遮断器において，電流零点通過の都度電流が抵抗に移るものとしてその際の現象を取扱うべき一般式を導き出すには対称座標法によるのが便利である．換言すれば対称座標法の一応用を示すに過ぎないのであるが，短絡電流の抵抗遮断にも適用できるからここに掲げても無意味ではないと考える．またこれまでの計算で明らかなように普通のベクトル算法で数式を求めて置いて後で $Z(j\omega)$ を $Z(p)$ の形にすればよいので，ここではすべてベクトルの形で計算して置くこととする。



第27図　抵抗遮断の補足回路

Fig. 27. Complementary circuit of interruption through resistance

XXIII-1　第1相に抵抗を挿入する場合

a 相に $\dot{I}_a$ が流れていた時，この相に抵抗 $3r$ を挿入すれば，この場合各相電流の変化は a 相に $-3\dot{I}_a r$ なる起電力を加えたときに生ずる電流に等しい（補償の理論）。

そこで例の通り補足回路により変化分 $\dot{I}_a'$, $\dot{I}_b'$, $\dot{I}_c'$ を求めるのであるが，それには a 相だけに抵抗 $3r$ を挿入しかつこの相に $\dot{W}_a=-3\dot{I}_a r$ なる起電力を加えたものとすればよい。

したがって　$\dot{W}_a=-3\dot{I}_a r$　　$\dot{W}_b=\dot{W}_c=0$

$$\dot{W}_0=\dot{W}_1=\dot{W}_2=-\dot{I}_a r$$

不平衡インピーダンス $3r$ に対して

$$\dot{Z}_0'=\dot{Z}_1'=\dot{Z}_0'=r$$　　とし，

$\dot{I}_a'$, $\dot{I}_b'$, $\dot{I}_c'$ の対称分を $\dot{I}_0'$, $\dot{I}_1'$, $\dot{I}_2'$ とすれば

$$\begin{pmatrix} \dot{Z}_0+\dot{Z}_0' & \dot{Z}_2' & \dot{Z}_1' \\ \dot{Z}_1' & \dot{Z}_1+\dot{Z}_0' & \dot{Z}_2' \\ \dot{Z}_2' & \dot{Z}_1' & \dot{Z}_1+\dot{Z}_0' \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \dot{I}_0' \\ \dot{I}_1' \\ \dot{I}_2' \end{pmatrix}$$

$$=\begin{pmatrix} \dot{Z}_0+r & r & r \\ r & \dot{Z}_1+r & r \\ r & r & \dot{Z}_1+r \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \dot{I}_0' \\ \dot{I}_1' \\ \dot{I}_2' \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} W_0' \\ \dot{W}_1' \\ \dot{W}_2' \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}W_0'$$

したがって

$$\begin{pmatrix} \dot{I}_0' \\ \dot{I}_1' \\ \dot{I}_2' \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \dot{Z}_0+r & r & r \\ r & \dot{Z}_1+r & r \\ r & r & \dot{Z}_1+r \end{pmatrix}^{-1}\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}\dot{W}_0'$$

$$=\frac{1}{\Delta}\begin{pmatrix}\dot{Z}_1(\dot{Z}_1+2r) & -\dot{Z}_1 r & -\dot{Z}_1 r\\ -\dot{Z}_1 r & \dot{Z}_1\dot{Z}_0+(\dot{Z}_1+\dot{Z}_0)r & -\dot{Z}_0 r\\ -\dot{Z}_1 r & -\dot{Z}_0 r & \dot{Z}_1\dot{Z}_0+(\dot{Z}_1+\dot{Z}_0)r\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1\\1\\1\end{pmatrix}\dot{W}_0'$$

ただし　$\Delta=\dot{Z}_1\{\dot{Z}_0(\dot{Z}_1+2r)+\dot{Z}_1 r\}$

ゆえに

$$\begin{pmatrix}I_0'\\ \dot{I}_1'\\ I_2'\end{pmatrix}=\frac{1}{Z_0(Z_1+2r)+Z_1 r}\begin{pmatrix}\dot{Z}_1\\ \dot{Z}_0\\ \dot{Z}_0\end{pmatrix}\dot{W}_0$$

$$\begin{pmatrix}\dot{I}_a'\\ \dot{I}_b'\\ \dot{I}_c'\end{pmatrix}=\frac{1}{Z_0(Z_1+2r)+Z_1 r}\begin{pmatrix}\dot{Z}_1+2\dot{Z}_0\\ \dot{Z}_1-\dot{Z}_0\\ \dot{Z}_1-\dot{Z}_0\end{pmatrix}\dot{W}_0$$

$r\to\infty$ とすれば a 相遮断の場合を示すものであるが，そのときは明らかに $\dot{I}_a'=-\dot{I}_a$ となる．換言すれば今求められたものが一般的の数式であって，遮断だけを論じたのは $r\to\infty$ の特殊な場合であったともいい得る。

XXIII-2　第2相に抵抗を挿入する場合

a 相に抵抗挿入後 c 相に抵抗を挿入する場合を，同じく補足回路によって考えてみる．このときは不平衡インピーダンスに対して

$$\dot{Z}_0'=2r,\ \dot{Z}_1'=(1+a)r=-a^2 r,\ \dot{Z}_2'=(1+a^2)r=-ar$$

$$\dot{W}_a=\dot{W}_b=0\qquad \dot{W}_c=-3\dot{I}_c r$$

すなわち　$\dot{W}_0=-\dot{I}_c r,\ \dot{W}_1=-a^2\dot{I}_c r=a^2 W_0,$

$$\dot{W}_2=-a\dot{I}_c r=a\dot{W}_0$$

したがって

$$\begin{pmatrix}\dot{Z}_0+Z_0' & \dot{Z}_2' & \dot{Z}_1'\\ \dot{Z}_1' & \dot{Z}_1+\dot{Z}_0' & \dot{Z}_2'\\ \dot{Z}_2' & \dot{Z}_1' & \dot{Z}_1+\dot{Z}_2'\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\dot{I}_0'\\ \dot{I}_1'\\ \dot{I}_2'\end{pmatrix}$$

$$=\begin{pmatrix}\dot{Z}_0+2r & -a^2 r & -ar\\ -ar & \dot{Z}_1+2r & -a^2 r\\ -a^2 r & -ar & \dot{Z}_1+2r\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\dot{I}_0'\\ \dot{I}_1'\\ \dot{I}_2'\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\dot{W}_0\\ \dot{W}_1\\ \dot{W}_2\end{pmatrix}$$

$$=\begin{pmatrix}1\\ a^2\\ a\end{pmatrix}\dot{W}_0$$

$$\begin{pmatrix}\dot{I}_0'\\ \dot{I}_1'\\ \dot{I}_2'\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\dot{Z}_0+2r & -a^2 r & -ar\\ -ar & \dot{Z}_1+2r & -a^2 r\\ -a^2 r & -ar & \dot{Z}_1+2r\end{pmatrix}^{-1}\begin{pmatrix}1\\ a^2\\ a\end{pmatrix}\dot{W}_0$$

$$=\frac{1}{\Delta}\begin{pmatrix}(\dot{Z}_1+r)(\dot{Z}_1+3r) & a^2 r(\dot{Z}_1+3r) & ar(\dot{Z}_1+3r)\\ ar(\dot{Z}_1+3r) & (\dot{Z}_0+2r)(\dot{Z}_1+2r)-r^2 & a^2 r(Z_0+3r)\\ a^2 r(\dot{Z}_1+3r) & ar(Z_0+3r) & (Z_0+2r)(Z_1+2r)-r^2\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1\\ a^2\\ a\end{pmatrix}\dot{W}_0$$

$$=\frac{1}{\Delta}\begin{pmatrix}(\dot{Z}_1+r)(\dot{Z}_1+3r)+ar(\dot{Z}_1+3r)+a^2 r(\dot{Z}_1+3r)\\ ar(\dot{Z}_1+3r)+a^2\{(\dot{Z}_0+2r)(\dot{Z}_1+2r)-r^2\}+r(\dot{Z}_0+3r)\\ a^2 r(\dot{Z}_1+3r)+r(\dot{Z}_0+3r)+a\{(\dot{Z}_0+2r)(\dot{Z}_1+2r)-r^2\}\end{pmatrix}\dot{W}_0$$

ただし　$\Delta=(\dot{Z}_1+3r)\{(\dot{Z}_0+2r)(\dot{Z}_1+r)-2r^2\}$

$$\begin{pmatrix}I_a'\\ I_b'\\ I_c'\end{pmatrix}=\frac{1}{\Delta}\begin{pmatrix}\dot{Z}_1^2+\dot{Z}_0\dot{Z}_1+4r^2\\ (\dot{Z}_1+3r)(\dot{Z}_1-\dot{Z}_0)\\ (\dot{Z}_1+3r)(\dot{Z}_0+\dot{Z}_1)+\dot{Z}_1(\dot{Z}_0+3r)\end{pmatrix}\dot{W}_0$$

XXIII-3　第3相に抵抗を挿入する場合

a および c 相に抵抗挿入後 b 相に抵抗を挿入した場合は補足回路において

$$\dot{W}_a=\dot{W}_c=0,\ W_b=-3\dot{I}_b r$$

したっがて　$\dot{W}_0=-\dot{I}_b r,\ \dot{W}_1=-a\dot{I}_b r=a\dot{W}_0$

$$\dot{W}_2=-a^2 I_b r=a^2\dot{W}_0$$

$$(Z_0+3r)\dot{I}_0'=\dot{W}_0$$

$$(\dot{Z}_1+3r)\dot{I}_1'=\dot{W}_1=a\dot{W}_0$$

$$(\dot{Z}_2+3r)\dot{I}_2'=\dot{W}_2=a^2 W_0$$

ゆえに　$\begin{pmatrix}\dot{I}_a'\\ \dot{I}_b'\\ \dot{I}_c'\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\dfrac{1}{\dot{Z}_0+3r}-\dfrac{1}{\dot{Z}_1+3r}\\ \dfrac{1}{\dot{Z}_0+3r}+\dfrac{2}{\dot{Z}_1+3r}\\ \dfrac{1}{\dot{Z}_0+3r}-\dfrac{1}{\dot{Z}_1+3r}\end{pmatrix}\dot{W}_0$

V. 総　　括

Conclusion

In this chapter, concluding the discussion, the writer will illustrate that there are some matters to be attended for applying the circuit equation, for instance the capacitance of reactor, transformer and etc. Lastly it can be asserted, that the number of times of reignition or restriking is not neccessary to be less than one time, when abnormal voltage can be suppressed lower, and therefore the construction of circuit breaker can be simplified than the present construction provided with additional oil blast arc quenching chamber.

XXIV. 総　　括

充電電流遮断に付随する問題として，遮断器の極間電圧に始まり，再発弧，再点弧の現象を数式的に取扱い，これに物理的説明を加えてきたものであるが計算上にはある程度の簡略化が必要であるため，実験結果と比較す

るとそのままでは差異のあることは免れない．しかし大雑把に全般を考察するにはこれで充分であって，さらに細部について検討するにはそれだけの条件を付加して第2段，第3段の計算をおこなえばよい．例えば消弧線輪系統における充電電流遮断時の電流，極間電圧変化についてB.B.C. Review Vol. 38. Dec.1951 に記載されてある実測オシロと本文第8図のものと比較してみると大局的には良く一致しているが，実測オシロにはさらに高周波振動が加わっていることが認められる．それは消弧線輪中の静電容量に起因するものと考えられるのであって，特定の部分だけを検討するにはその付近で静電容量の影響を取入れる方が計算も容易でありまた考察にも便利であろう。

再発弧，再点弧に関する試験も既に種々おこなわれてきていて，測定装置も非常に進歩してきているが，計算と対応して検討しようとする場合には案外完備した資料が少い。

例えば折角線路側の電位は測定したが電源側電位は測定していなかったとかで，中々一貫して計算との比較検討が難しい．時によっては電流だけの測定により再点弧回数を数えて済ませていることもあるが，異常電圧発生の有無は必らずしもその回数に関係するものでなく，ことに線路の中間で充電電流遮断をおこなった場合には再点弧による固有周波数は一般に著しく高くしたがって電流値も大きくなるから，単に電流だけをみたのではいなはだしく異常電圧を発生しているかのごとくに見えるが実際にはそれ程高い電圧にはならない．これについても計算をおこなってみたいと考えながらまだおこなっていないので，いずれ別の機会に調べてみる積りである。

遮断器自体に関する問題としては再発弧，再点弧が極間電圧の変化とどんな関係にあるか，また開極速度，強制油吹付方式等はそれに関連していかに選ぶべきかを解決しなければならない．しかしながらこれは容易に説明つけられる事柄ではなく，矢張り実験に頼るより他はないであろう。

その際に再点弧1回以下を固執すべきか，再点弧回数は問題とせず異常電圧だけに関心を置くかで解答も定まってくる訳であるが，回路条件によっては唯1回の再点弧によっても相当の異常電圧を発生することもあり得るし，何回再発弧，再点航を繰返しても異常電圧を発生しないこともあり得ることを付記して置きたい．なおまた異常電圧発生の原因を非接地系統における弧光地絡の場合と同様な累積異常電圧の説明をもって片付けることが時折は見受けられるが実情に合わないのであると考えている。

いわゆる小電流遮断に関する項目を何等かの形で規程に織り込もうとする場合にどんな点に注目したらば妥当であるか，今後討議の的となるであろうが無再点弧を条件とすれば最も簡単である．しかしながら多くの遮断器は充電電流遮断に際し必らず再発弧，再点弧を伴うものであり，しかも試験条件によっては過酷度に非常な相異があることは明らかである．したがって工場試験の方法も適正と思われるものを定めなければならないし，また従来工場試験では無再点弧であったものが現地試験では再点弧したという例のあるのは両試験の条件に大に差があったものと考えられるので試験条件も充分に検討して置かねばならない．特に現地試験の際は線路運転の面から条件が支配され，正常状態とは異ったものとなり場合によっては過酷度がはなはだしくなっていることもあるであろう。

最近は空気吹付遮断器が現われて異常電圧の問題はむしろ励磁電流遮断時の截断現象に関心が向けられているが自力型遮断器はその性質上励磁電流遮断時に異常電圧を発生することはない．充電電流遮断の問題を同じく異常電圧の大さだけで抑えるならば，他力消弧室も不要となり構造は遙かに簡単になるはずである．本文はかような主張を理論的に説明する意図をもって書き始めたものであるが，漸くこの程度しかできず到底充分に述べ尽せない．いずれ折にふれて試験成績と対照して詳論してみたいと考える。

終りに臨み本文起稿の動機となった他，種々参考となった下記の文献につき各著者に敬意を表する。

文　　献

大　富：3相充電電流遮断の理論（富士時報 26巻 5号）
後　藤：消弧コイル系統送電線の一線断線時の過渡現象（電学誌　昭 25.2）
別　宮：対称座標法解説（改訂版）

（完）

＊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。