# 充電電流遮断について (II)

技術部電力器具課　水谷明蔵

# On the Problem of Interruption of Charging Current (II)

By Haruzō Mizutani

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

**Synopsis**

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 impedance, 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, Vol. 28), this important problem will be solved in this article.

## VI. 非接地系統の電源端における充電電流遮断

Vにおけると同様の仮定をすれば

$K_{1s}=0$, $K_{0s}=\infty$ であるから，

$K_1=K_{1s}+K_{1l}=K_{1l}$

$K_0=K_{0s}+K_{0l}=\infty$

したがって　$Z_1=\dfrac{K_1}{p}$

$Z_0=\infty$

### VI—1 第1相遮断の計算

(a) 第1相遮断の補足回路

$$\frac{Z_1Z_0}{Z_1+2Z_0}=\frac{Z_1}{2}=\frac{1}{2}\frac{K_1}{p}$$

$$\frac{Z_1-Z_0}{Z_1+2Z_0}=-\frac{1}{2}$$

したがって

$$u_a=\frac{1}{2}\frac{K_1}{p}\left(-\sqrt{2}\,I\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\right)\mathbb{1}$$

$$=-\sqrt{2}\,I\frac{K_1}{\omega}\times\frac{1}{2}(1-\cos\omega t)$$

$$=-\sqrt{2}\,E\times\frac{1}{2}(1-\cos\omega t)$$

$$i_b'=i_c'$$

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

$$=\sqrt{2}\,I\times\frac{1}{2}\sin\omega t$$

(b) 第1相遮断後の状態

a 相極間電圧

$$3u_a=-\sqrt{2}\,E\times1.5(1-\cos\omega t)$$

b 相電流

$$i_b=\sqrt{2}\,I\{\sin(\omega t-120^\circ)+0.5\sin\omega t\}$$

$$=-\sqrt{2}\,I\times\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\omega t$$

c 相電流　$i_c=\sqrt{2}\,I\{\sin(\omega t+120^\circ)+0.5\sin\omega t\}$

$$=\sqrt{2}\,I\times\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\omega t$$

a 相の線路側電位は $-\sqrt{2}E$ に保たれるはずであるから，直接接地系の場合と異なって，電源側の中性点が変動することになる．また極間電圧から逆に電源側の電位が計算される。

電源側の a 相電位

$$V_{as}=V_{al}-3u_a$$

$$=-\sqrt{2}E+\sqrt{2}E\times1.5(1-\cos\omega t)$$

$$=-\sqrt{2}E(-0.5+1.5\cos\omega t)$$

電源側の b 相電位（線路側も同じ）

$$V_{bs}=-\sqrt{2}\,E\cos(\omega t-120^\circ)+\frac{K_1}{p}\cdot i_b'$$

$$=-\sqrt{2}E\cos(\omega t-120^\circ)+\sqrt{2}E\times\frac{1}{2}(1-\cos\omega t)$$

$$=\sqrt{2}E\left(\frac{1}{2}-\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\omega t\right)$$

電源側の c 相電位（線路側も同じ）

$$V_{cs}=-\sqrt{2}E\cos(\omega t+120°)+\frac{K_1}{p}i_b'$$
$$=-\sqrt{2}E\cos(\omega t+120°)+\sqrt{2}E$$
$$\times\frac{1}{2}(1-\cos\omega t)$$
$$=\sqrt{2}E\left(\frac{1}{2}+\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\omega t\right)$$

$\omega t=90°$ のとき　$i_b=i_c$

VI—2　**第 2 相および第 3 相同時遮断の計算（遮断時を t=0）**

この場合には第 2 相および第 3 相が同時に遮断されるので補足回路には $(Z_0-Z_1)(i_b'+i_c')$ の形式が入る。

この計算に対して　　$Z_0-Z_1=\infty$

$$i_b+i_c'=0$$

であるから，両者の積は零とならない．しかもその値が後述のように計算によって異なってくるので注意を要する．いずれにせよ電流が消失する直前には電源側中性点の電位は $\sqrt{2}E\times\frac{1}{2}$ になっているが，電流消失後はどうなるかの考え方によるものである。

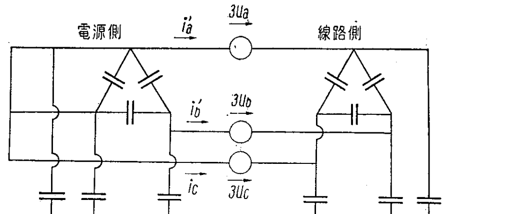
（ i ）電源側中性点は電流消失後も $\sqrt{2}E\times\frac{1}{2}$ の点に止まったままで，電源の電圧ベクトルはこの点を中心として回転を続ける。

（ ii ）電源側中性点は電流消失と同時に急に零点に移動し，電源の電圧ベクトルはこの点を中心として回転する。

いずれにしても直接接地系の場合よりも極間電圧は過酷となる。

## VII.　非接地系線路の中間における充電電流遮断

非接地系において送電端で充電電流を遮断した場合は直接接地系の場合より遮断器の極間電圧としては過酷であることは，前述の通りであるが，同じ非接地系の線路の中間で充電電流を遮断した場合には極間電圧は幾分軽減される．この場合について線路の $L$ を無視して $C$ だけを考えるとすれば，補足回路は第 5 図のように表わされる。




第 5 図　非接地系統における充電電流遮断の補足回路

Fig. 5.　Complemental circuit of charging current interruption on nonearthed lines

図から明らかなように電源側では $K_{1s}$ は短絡された形であるから

$$K_1=K_{1l}=\frac{1}{2}K_{0l}$$
$$K_0=K_{0s}+K_{0l}=(m+1)K_{0l}$$

ただし $K_{0s}=m\,K_{0l}$

$K_{1s}$，$K_{1l}$，$K_{0s}$ および $K_{0l}$ は線路長に逆比例するものであるから

$m=0$ のときは　$K_{0s}=0$ となり，遮断点は無限に長い線路の受電端にあることを示す。

$m=1$ のときは　$K_{0s}=K_{0l}$ となり，遮断点は線路の中央にあることを示す。

$m=\infty$ のときは $K_{0s}=\infty$ となり，遮断点は線路の電源端にあることを示す。

また充電電流の実効値は前節と同様に

$$E=I\frac{K_1}{\omega}$$

をもって表わされる。

なおこの場合は第 1 相遮断の比較だけに止めることとする。

VII—1　**第 1 相遮断の計算**

(a)　第 1 相遮断の補足回路

$$\frac{Z_1Z_0}{Z_1+2Z_0}=\frac{\dfrac{K_1}{p}\,\dfrac{K_0}{p}}{\dfrac{K_1}{p}+2\dfrac{K_0}{p}}$$
$$=\frac{K_1K_0}{p(K_1+2K_0)}$$
$$=\frac{2m+2}{4m+5}\,\frac{K_1}{p}$$

$$\frac{Z_1-Z_0}{Z_1+2Z_0}=\frac{\dfrac{K_1}{p}-\dfrac{K_0}{p}}{\dfrac{K_1}{p}+2\dfrac{K_0}{p}}$$
$$=\frac{K_1-K_0}{p(K_1+2K_0)}$$
$$=-\frac{2m+1}{4m+5}\,\frac{K_1}{p}$$

$$u_a=-\frac{2m+2}{4m+5}\,\frac{K_1}{p}\left(\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\sqrt{2}I\right)\mathbb{1}$$
$$=-\sqrt{2}I\frac{K_1}{\omega}\,\frac{2m+2}{4m+5}(1-\cos\omega t)$$

$$i_b'=i_c'=\frac{2m+1}{4m+5}\left(\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\sqrt{2}I\right)\mathbb{1}$$
$$=\sqrt{2}I\frac{2m+1}{4m+5}\sin\omega t$$

(b) 第1相遮断後の状態

a 相極間電圧

$$3u_a=-\sqrt{2}E\frac{6(m+1)}{4m+5}(1-\cos\omega t)$$

b 相電流

$$i_b=\sqrt{2}I\left\{\sin(\omega t-120°)+\frac{2m+1}{4m+5}\sin\omega t\right\}$$

c 相電流

$$i_c=\sqrt{2}I\left\{\sin(\omega t+120°)+\frac{2m+1}{4m+5}\sin\omega t\right\}$$

これらに対して $m=0,\ 1,\ \infty$ の場合を比較してみると次のようになる。

$m=0$ のとき

$$3u_a=-\sqrt{2}E\times1.2(1-\cos\omega t)$$

$$i_b=\sqrt{2}I\{\sin(\omega t-120°)+0.2\sin\omega t\}$$

$$i_c=\sqrt{2}I\{\sin(\omega t+120°)+0.2\sin\omega t\}$$

すなわち前節 V—1 の結果と同じである。

$m=1$ のとき

$$3u_a=-\sqrt{2}E\times\frac{4}{3}(1-\cos\omega t)$$

$$i_b=\sqrt{2}I\left\{\sin(\omega t-120°)+\frac{1}{3}\sin\omega t\right\}$$

$$i_c=\sqrt{2}I\left\{\sin(\omega t+120°)+\frac{1}{3}\sin\omega t\right\}$$

この場合は極間電圧が上記の 1.2 より 10% 程度増加する。

$m=\infty$ のとき

$$3u_a=-\sqrt{2}E\times1.5(1-\cos\omega t)$$

$$i_b=\sqrt{2}I\times\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\omega t$$

$$i_c=-\sqrt{2}I\times\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\omega t$$

すなわち前節 VI—1 の結果と同じである。

一般に $$1.5\geqq\frac{6(m+1)}{4m+5}\geqq1.2$$

であり，$m$ の大きい程 1.5 に近くなるのであるから，極間電圧は遮断点が電源側に近い程増加し，遠い程減少することがうかがわれる。

$m\to\infty$ では $\omega t=90°$ で $i_b$, $i_c$ がともに零となることも明らかである。

また $$i_b+i_c=\sqrt{2}I\left\{-\sin\omega t+\frac{2(2m+1)}{4m+5}\sin\omega t\right\}$$

$$=-\sqrt{2}I\frac{3}{4m+5}\sin\omega t$$

となり，$\omega t=90°$ 以後の時間を $\tau$ をもって表わせば

$$i_b+i_c=-\sqrt{2}I\frac{3}{4m+5}\sin(\omega\tau+90°)$$

$$=-\sqrt{2}I\frac{3}{4m+5}\cos\omega\tau$$

**VII—2 $m\to\infty$ としたときの第2相および第3相同時遮断（遮断時を t=0）**

(a) 補足回路の計算

前節で述べたように $m\to\infty$ とすれば $i_b=i_c=0$ となる瞬時ができるわけであり，それに対しては

$$i_b'=-\sqrt{2}I\times\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\omega t$$

$$i_c'=\sqrt{2}I\times\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\omega t$$

$$i_b'+i_c'=\lim_{m\to\infty}\sqrt{2}I\frac{3}{4m+5}\cos\omega t$$

したがって

$$\lim_{m\to\infty}(Z_0-Z_1)(i_b'+i_c')$$

$$=\lim_{m\to\infty}\sqrt{2}I\frac{2m-1}{2}\frac{K_{01}}{p}\cdot\frac{3}{4m+5}\frac{p^2}{p^2+\omega^2}\mathbb{1}$$

$$=\lim_{m\to\infty}\sqrt{2}I\frac{K_1}{\omega}\frac{3(2m-1)}{4m+5}\sin\omega t$$

$$=\sqrt{2}E\times\frac{3}{2}\sin\omega t$$

したがって

$$3u_a=\frac{1}{3}(Z_0-Z_1)(i_b'+i_c')$$

$$=\sqrt{2}E\times\frac{1}{2}\sin\omega t$$

また

$$Z_1i_b'=\frac{K_1}{p}\left(-\sqrt{2}I\times\frac{\sqrt{3}}{2}\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\right)\mathbb{1}$$

$$=-\sqrt{2}E\times\frac{\sqrt{3}}{2}(1-\cos\omega t)$$

$$Z_1i_c'=\frac{K_1}{p}\left(\sqrt{2}I\times\frac{\sqrt{3}}{2}\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\right)\mathbb{1}$$

$$=\sqrt{2}E\times\frac{\sqrt{3}}{2}(1-\cos\omega t)$$

(b) 遮断後の状態

a 相極間電圧

$$3u_a=-\sqrt{2}E\left\{\frac{3}{2}(1+\sin\omega t)-\frac{1}{2}\sin\omega t\right\}$$

$$=-\sqrt{2}E\left(\frac{3}{2}+\sin\omega t\right)$$

b 相極間電圧

$$3u_b=-\sqrt{2}E\left\{-\frac{1}{2}\sin\omega t+\frac{\sqrt{3}}{2}(1-\cos\omega t)\right\}$$

$$=-\sqrt{2}E\left\{\frac{\sqrt{3}}{2}-\cos(\omega t-30°)\right\}$$

c 相極間電圧

$$3u_c=-\sqrt{2}\,E\left\{-\frac{1}{2}\sin\omega t-\frac{\sqrt{3}}{2}(1-\cos\omega t)\right\}$$

$$=-\sqrt{2}\,E\left\{-\frac{\sqrt{3}}{2}+\cos(\omega t+30°)\right\}$$

この数式は電源側中性点の電位が遮断後も $\frac{\sqrt{2}}{2}E$ に保たれているとした場合に相当している。

## VIII. 抵抗接地系統の電源端における充電電流遮断

接地抵抗を $R$ とすれば

$$R_0=3R$$

したがって　$K_{1s}=0$　$K_{1l}=K_1$　$Z_1=\frac{K_1}{p}$

$Z_{0s}=R_0$　$K_{0l}=K_0$　$Z_0=R_0+\frac{K_0}{p}$

$R_0\to\infty$ は非接地系統の場合，$R_0\to 0$ は直接接地系統の場合に相当するものである．抵抗接地系統の場合は両者の中間の状態であるが，これも第1相遮断について検討してみよう。

### VIII—1　第1相遮断の計算

(a)　第1相遮断の補足回路

$$\frac{Z_1Z_0}{Z_1+2Z_0}=\frac{\frac{K_1}{p}\left(\frac{K_0}{p}+R_0\right)}{\frac{K_1}{p}+2\left(\frac{K_0}{p}+R_0\right)}$$

$$=\frac{K_1}{p}\cdot\frac{K_0+pR_0}{(K_1+2K_0)+2pR_0}$$

$$\frac{Z_1-Z_0}{Z_1+2Z_0}=\frac{\frac{K_1}{p}-\left(\frac{K_0}{p}+R_0\right)}{\frac{K_1}{p}+2\left(\frac{K_0}{p}+R_0\right)}$$

$$=\frac{(K_1-K_0)+pR_0}{(K_1+2K_0)+2pR_0}$$

したがって

$$u_a=-\frac{Z_1Z_0}{Z_1+2Z_0}\,\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\sqrt{2}\,\mathbb{1}$$

$$=-\sqrt{2}\,IK_1\omega\frac{K_0+pR_0}{(K_1+2K_0)+2pR_0}\cdot\frac{1}{p^2+\omega^2}\,\mathbb{1}$$

$$=-\sqrt{2}\,I\frac{K_1}{\omega}\left\{\frac{K_0}{K_1+2K_0}+\frac{K_1\varepsilon^{-\alpha t}}{2(K_1+2K_0)}\cdot\frac{1}{1+\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)^2}\right.$$

$$\left.-\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{1+\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)^2}\left(\left(\frac{K_0}{R_0}+j\omega\right)\left(\frac{\alpha}{\omega}-j\right)\right)_{\omega t}\right\}$$

$$=-\sqrt{2}\,E\times\left[\frac{K_0}{K_1+2K_0}+\frac{K_1\varepsilon^{-\alpha t}}{2(K_1+2K_0)}\cdot\frac{1}{1+\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)^2}\right.$$

$$-\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{1+\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)^2}\left\{\left(\frac{K_0}{R_0\omega}\,\frac{\alpha}{\omega}+1\right)\cos\omega t\right.$$

$$\left.\left.-\frac{K_1}{2R_0\omega}\sin\omega t\right\}\right]$$

ただし　$\alpha=\frac{K_1+2K_0}{2R_0}$

$$i_b'=i_c'=-\frac{Z_1-Z_0}{Z_1+2Z_0}\,\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\cdot\sqrt{2}\,I\,\mathbb{1}$$

$$=-\sqrt{2}\,I\omega\frac{K_1-K_0-pR_0}{K_0+2K_0+2pR_0}\cdot\frac{p}{p^2+\omega^2}\,\mathbb{1}$$

$$=-\sqrt{2}\,I\omega\left[\frac{3K_1}{4R_0}\,\frac{\varepsilon^{-\alpha t}}{\alpha^2+\omega^2}-\frac{1}{\omega^2}\cdot\frac{1}{\alpha^2+\omega^2}\right.$$

$$\left.\left(\left(\frac{K_1-K_0}{2R_0}-j\frac{\omega}{2}\right)(\alpha-j\omega)(j\omega)\right)_{\omega t}\right]$$

$$=-\sqrt{2}\,I\frac{1}{1+\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)^2}\left[\frac{3K_1}{4R_0\omega}\varepsilon^{-\alpha t}-\frac{1}{2}\right.$$

$$\left.\left\{\frac{3K_1}{2R_0\omega}\cos\omega t-\left(\frac{K_1-K_0}{R_0\omega}\,\frac{\alpha}{\omega}-1\right)\sin\omega t\right\}\right]$$

(b)　第1相遮断後の状態

求められた数式はかなり複雑であるが t=0 の瞬間をみると次のようになる。

$$(3u_a)_{t=0}=-\sqrt{2}\,E\left\{\frac{K_0}{K_1+2K_0}+\frac{K_1}{2(K_1+2K_0)}\right.$$

$$\left.\frac{1}{1+\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)^2}-\frac{1}{2}\,\frac{\frac{K_0}{R_0\omega}\,\frac{\alpha}{\omega}+1}{1+\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)^2}\right\}$$

$$=-\sqrt{2}\,E\left[\frac{K_0}{K_1+2K_0}-\frac{1}{1+\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)^2}\right.$$

$$\left.\frac{K_0}{K_1+2K_0}\left\{1+\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)^2\right\}\right]=0$$

$R_0$ が大きい程 $\varepsilon^{-\alpha t}$ の減衰は少い。

$$i_b=\sqrt{2}\,I\left[\sin(\omega t-120°)-\frac{1}{1+\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)^2}\,\frac{3K_1}{4R_0\omega}\varepsilon^{-\alpha t}\right.$$

$$+\frac{1}{2}\,\frac{1}{1+\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)^2}\left\{\frac{3K_1}{2R_0\omega}\cos\omega t\right.$$

$$\left.\left.-\left(\frac{K_1-K_0}{R_0\omega}\,\frac{\alpha}{\omega}-1\right)\sin\omega t\right\}\right]$$

$$i_c=\sqrt{2}\,I\left[\sin(\omega t+120°)-\frac{1}{1+\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)^2}\,\frac{3K_1}{4R_0\omega}\varepsilon^{-\alpha t}\right.$$

$$+\frac{1}{2}\,\frac{1}{1+\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)^2}\left\{\frac{3K_1}{2R_0\omega}\cos\omega t\right.$$

$$\left.\left.-\left(\frac{K_1-K_0}{R_0\omega}\,\frac{\alpha}{\omega}-1\right)\sin\omega t\right\}\right]$$

$$i_b+i_c=\sqrt{2}\,I\left[-\sin\omega t-\frac{1}{1+\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)^2}\,\frac{3K_1}{2R_0\omega}\varepsilon^{-\alpha t}\right.$$

$$+\frac{1}{1+\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)^2}\left\{\frac{3K_1}{R_0\omega}\cos\omega t\right.$$
$$\left.-\left(\frac{K_1-K_0}{R_0\omega}\frac{\alpha}{\omega}-1\right)\sin\omega t\right\}\Bigg]$$

$R_0\to\infty$ に対しては

$$3u_a=-\sqrt{2}E\times\frac{3}{2}(1-\cos\omega t)$$
$$i_b=-\sqrt{2}I\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\cos\omega t$$
$$i_c=\sqrt{2}I\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\cos\omega t$$
$$i_b+i_c=\lim_{R_0\to\infty}\sqrt{2}I\left(-\frac{3}{2}\frac{K_1}{R_0\omega}-\frac{3}{2}\frac{K_1}{R_0\omega}\sin\omega t\right)$$

$\omega t=90°$ のとき $i_b=i_c=0$

**VIII—2　$R_0\to\infty$ としたときの第2相および第3相遮断（遮断時を t=0）**

(a) 補足回路の計算

$i_b$ および $i_c$ が零になったとき同時遮断されたとすれば

$$i_b'+i_c'=\lim_{R_0\to\infty}\sqrt{2}I\left(\frac{3}{2}\right)\frac{K_1}{R_0\omega}(1+\sin\omega t)$$
$$\lim_{R_0\to\infty}(Z_0-Z_1)(i_b'+i_c')$$
$$=\lim_{R_0\to\infty}\left(\frac{K_0-K_1}{p}+R_0\right)\sqrt{2}I\left(\frac{3}{2}\right)\left(\frac{K_1}{R_0\omega}\right)$$
$$\left(1+\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\right)1$$
$$=\sqrt{2}I\times\frac{3}{2}\frac{K_1}{\omega}(1+\sin\omega t)$$
$$=\sqrt{2}E\times\frac{3}{2}(1+\sin\omega t)$$
$$\lim_{R_0\to\infty}Z_1i_b'=\frac{K_1}{p}\left(-\sqrt{2}I\times\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}1$$
$$=-\sqrt{2}E\times\frac{\sqrt{3}}{2}(1-\cos\omega t)$$
$$\lim_{R_0\to\infty}Z_1i_c'=\frac{K_1}{p}\left(\sqrt{2}I\times\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}1$$
$$=\sqrt{2}E\times\frac{\sqrt{3}}{2}(1-\cos\omega t)$$

(b) 遮断後の状態

a 相極間電圧

$$3u_a=-\sqrt{2}E\left\{\frac{3}{2}(1+\sin\omega t)-\frac{1}{2}(1+\sin\omega t)\right\}$$
$$=-\sqrt{2}E(1+\sin\omega t)$$

b 相極間電圧

$$3u_b=-\sqrt{2}E\left\{-\frac{1}{2}(1+\sin\omega t)\right.$$
$$\left.+\frac{\sqrt{3}}{2}(1-\cos\omega t)\right\}$$
$$=-\sqrt{2}E\left\{-\frac{1}{2}+\frac{\sqrt{3}}{2}-\cos(\omega t-30°)\right\}$$

c 相極間電圧は同様にして

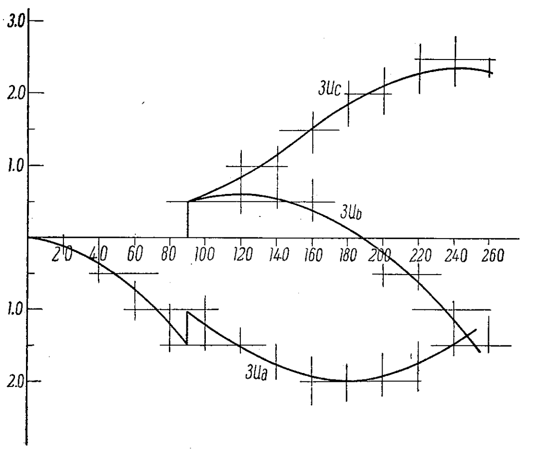
$$3u_c=-\sqrt{2}E\left\{-\frac{1}{2}-\frac{\sqrt{3}}{2}+\cos(\omega t+30°)\right\}$$

この場合は $\omega t=0$ において

$$3u_b=3u_c=\sqrt{2}E\times\frac{1}{2}$$

すなわち遮断と同時にこれだけの極間電圧が $b$ および $c$ 相に現われる．これは電源側の中性点電位が急に零電位に移行することを示している。

非接地系統の電源側における充電電流遮断に対してはVIIとVIIIとのいずれの極限を採るべきであるかであるが，取扱いが簡単であるから本文では極間電圧としてVIIIによる結果を採用する．これに対する極間電圧の変化は第6図に示すようになる。




第6図　非接地系統における充電電流遮断各相極間電圧の変化

Fig. 6.　Recovery of each poles in case of charging current interruption on nonearthed lines

## IX.　消弧リアクトル接地系統における充電電流遮断

消弧リアクトル接地系統でも受電端にリアクトルがあり，送電端が非接地である場合には送電端で充電電流を遮断したとすれば，遮断点に対して直列回路を考えると $Z_0=\infty$ となってしまい，VI非接地系統のときと全く変りない．したがって電源側に消弧リアクトルがあり，そこで充電電流を遮断するものとして計算をしてみよう。

消弧リアクトルは完全補償の場合とすれば

$$\omega L_0=\frac{K_0}{\omega}$$

また前節と同様に　$K_0=2K_1$　としておく。

したがって

$$Z_{0s}=pL_0 \qquad Z_{0l}=\frac{K_0}{p} \qquad \therefore\ Z_0=pL_0+\frac{K_0}{p}$$

$$Z_{1s}=0 \qquad Z_{1l}=\frac{K_1}{p} \qquad \therefore\ Z_1=\frac{K_1}{p}$$

$$E=I\frac{K_1}{\omega}$$

である。

直接接地系統の場合には電源側中性点の電位，非接地系統の場合には線路側の遮断相電位が一定に保たれることが初めから判っていたために比較的簡単に理解できたが，今回の場合はどこの電位も一定の位置にあるとは考えられないので面倒である。

極間電圧の他に電源側中性点の変動を

$$V_0=-Z_0 i_0$$

によって計算して参考とする。

### IX—1　第1相遮断の計算

(a)　第1相遮断の補足回路

$$\frac{Z_1 Z_0}{Z_1+2Z_0}=\frac{\frac{K_1}{p}\left(pL_0+\frac{K_0}{p}\right)}{\frac{K_1}{p}+2\left(pL_0+\frac{K_0}{p}\right)}$$

$$=\frac{1}{2}\frac{p^2+\frac{K_0}{L_0}}{p^2+\frac{K_1+2K_0}{L_0}}$$

$$=\frac{1}{2}\frac{p^2+\omega^2}{p^2+\omega_1^2}$$

ただし　$\omega_1^2=\frac{K_1+2K_0}{L_0}=\frac{5}{4}\frac{K_0}{L_0}=1.25\omega^2$

$$\frac{Z_1-Z_0}{Z_1+2Z_0}=-\frac{pL_0+\frac{K_0-K_1}{p}}{\frac{K_1}{p}+2\left(pL_0+\frac{K_0}{p}\right)}$$

$$=-\frac{1}{2}\frac{p^2+\frac{K_1}{L_0}}{p^2+\frac{K_1+2K_0}{L_0}}$$

$$=-\frac{1}{2}\frac{p^2+\frac{1}{2}\omega^2}{p^2+\omega_1^2}$$

$$u_a=-\frac{1}{2}\frac{K_1}{p}\cdot\frac{p^2+\omega^2}{p^2+\omega_1^2}\left(\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\sqrt{2}I\right)\mathbb{1}$$

$$=-\sqrt{2}IK_1\omega\times\frac{1}{2}\frac{1}{p^2+\omega_1^2}\mathbb{1}$$

$$=-\sqrt{2}I\frac{K_1}{2}\frac{\omega}{\omega_1^2}(1-\cos\omega_1 t)$$

$$=-\sqrt{2}E\times\frac{1}{2}\left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)^2(1-\cos\omega_1 t)$$

$$=-\sqrt{2}E\times 0.4(1-\cos\omega_1 t)$$

$$i_b'=i_c'=\frac{1}{2}\frac{p^2+\frac{1}{2}\omega^2}{p^2+\omega_1^2}\cdot\left(\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\sqrt{2}I\right)\mathbb{1}$$

$$=\sqrt{2}I\frac{\omega}{2}\frac{p\left(p^2+\frac{1}{2}\omega^2\right)}{(p^2+\omega_1^2)(p^2+\omega^2)}\mathbb{1}$$

$$=\sqrt{2}I\frac{\omega}{2}\left[-\frac{1}{\omega_1^2}\left(\frac{j\omega_1\left(-\omega_1^2+\frac{1}{2}\omega^2\right)}{\omega^2-\omega_1^2}\right)_{\omega_1 t}-\frac{1}{\omega^2}\left(j\omega\left(-\omega^2+\frac{1}{2}\omega^2\right)\right)_{\omega t}\right]$$

$$=\sqrt{2}I\frac{\omega}{2(\omega_1^2-\omega^2)}\left\{-\frac{1}{\omega_1}\left(-\omega_1^2+\frac{1}{2}\omega^2\right)\sin\omega_1 t-\frac{\omega}{2}\sin\omega t\right\}$$

$$=\sqrt{2}I\frac{\omega}{0.5\omega^2}\{(-0.891)(-0.75)\omega\sin\omega_1 t-0.5\sin\omega t\}$$

$$=\sqrt{2}I(1.332\sin\omega_1 t-0.5\sin\omega t)$$

$$i_0'=\frac{1}{3}(i_a'+i_b'+i_c')$$

$$=\frac{1}{3}\left\{-\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}+\frac{p\left(p^2+\frac{1}{2}\omega^2\right)\omega}{(p^2+\omega_1^2)(p^2+\omega^2)}\right\}\sqrt{2}I\mathbb{1}$$

$$=\frac{1}{3}\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\left(-1+\frac{p^2+\frac{1}{2}\omega^2}{p^2+\omega_1^2}\right)\sqrt{2}I\mathbb{1}$$

$$=\frac{1}{3}\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\frac{(-0.75)\omega^2}{p^2+\omega_1^2}\sqrt{2}I\mathbb{1}$$

$$V_0'=-pL_0\times\frac{1}{3}\times\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\frac{(-0.75\omega^2}{p^2+\omega_1^2}\sqrt{2}I\mathbb{1}$$

$$=\sqrt{2}I\frac{K_0}{\omega^2}\times 0.25$$

$$\times\frac{p^2\omega^3}{(p^2+\omega^2)(p^2+\omega_1^2)}\mathbb{1}$$

$$=\sqrt{2}I\frac{K_1}{\omega}\times 0.5\omega^2\frac{p^2}{(p^2+\omega^2)(p^2+\omega_1^2)}\mathbb{1}$$

$$=\sqrt{2}E\times 0.5\times\frac{\omega^2}{\omega_1^2-\omega^2}(\cos\omega t-\cos\omega_1 t)$$

$$=\sqrt{2}E\times 2(\cos\omega t-\cos\omega_1 t)$$

(b)　第1相遮断後の状態

a 相極間電圧

$$3u_a=-\sqrt{2}E\times 1.2(1-\cos\omega_1 t)$$

b 相電流

$$i_b=\sqrt{2}\,I\{\sin(\omega t-120°)-\sin\omega t+1.332\sin\omega_1 t\}$$
$$=\sqrt{2}\,I\{\sqrt{3}\sin(\omega t-150°)+1.332\sin\omega_1 t\}$$

c 相電流

$$i_c=\sqrt{2}\,I\{\sin(\omega t+120°)-\sin\omega t+1.332\sin\omega_1 t\}$$
$$=\sqrt{2}\,I\{\sqrt{3}\sin(\omega t+150°)+1.332\sin\omega_1 t\}$$

電源側中性点電位

$$V_0=\sqrt{2}\,E\times 2(\cos\omega t-\cos\omega_1 t)$$

上式を計算すれば第7図のようになり，

$\omega t\fallingdotseq 80°$ において $i_c=0$

これから以後にも電流が流れているとすれば，(遮断時を t=0)

$$i_c=\sqrt{2}\,I\{\sqrt{3}\sin(\omega t+230°)+1.332\sin(\omega_1 t+89.4°)\}$$
$$=\sqrt{2}\,I\{-1.155\sin\omega t-1.285\cos\omega t+0.067\sin\omega_1 t+1.33\cos\omega_1 t\}$$

### IX—2 第2相遮断の計算

(a) 第2相遮断の補足回路

$$i_c'=\sqrt{2}\,I\left(1.155\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}+1.285\frac{p^2}{p^2+\omega^2}-0.067\frac{p\omega_1}{p^2+\omega_1^2}-1.33\frac{p^2}{p^2+\omega_1^2}\right)\mathbb{1}$$

(i) a 相極間電圧

$$-\frac{Z_1(Z_1-Z_0)}{Z_0+2Z_1}=-\frac{K_1}{p}\frac{\left(\frac{K_1-K_0}{p}-pL_0\right)}{pL_0+\frac{K_0+2K_1}{p}}$$
$$=\frac{K_1}{p}\cdot\frac{p^2+\frac{K_1}{L_0}}{p^2+\frac{4K_1}{L_0}}$$
$$=\frac{K_1}{p}\frac{p^2+0.5\omega^2}{p^2+2\omega^2}$$

したがって $\frac{K_1}{p}\cdot\frac{p^2+0.5\omega^2}{p^2+2\omega^2}\cdot\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\mathbb{1}$

$$=K_1\omega\frac{p^2+0.5\omega^2}{(p^2+2\omega^2)(p^2+\omega^2)}\mathbb{1}$$
$$=K_1\omega\left[\frac{1}{4}\frac{1}{\omega^2}-\frac{1}{\omega^2}\left(\overline{\frac{-\omega^2+0.5\omega^2}{2\omega^2-\omega^2}}\right)_{\omega t}-\frac{1}{2\omega^2}\left(\overline{\frac{-2\omega^2+0.5\omega^2}{\omega^2-2\omega^2}}\right)_{\sqrt{2}\,\omega t}\right]$$
$$=\frac{K_1}{\omega}(0.25+0.5\cos\omega t-0.75\cos\sqrt{2}\,\omega t)$$

$$\frac{K_1}{p}\frac{p^2+0.5\omega^2}{p^2+2\omega^2}\cdot\frac{p^2}{p^2+\omega^2}\mathbb{1}$$
$$=K_1\frac{p(p^2+0.5\omega^2)}{(p^2+2\omega^2)(p^2+\omega^2)}\mathbb{1}$$
$$=K_1\left[-\frac{1}{\omega^2}\left(\overline{\frac{j\omega(-\omega^2+0.5\omega^2)}{2\omega^2-\omega^2}}\right)_{\omega t}-\frac{1}{2\omega^2}\left(\overline{\frac{j\sqrt{2}\,\omega(-2\omega^2+0.5\omega^2)}{\omega^2-2\omega^2}}\right)_{\sqrt{2}\,\omega t}\right]$$
$$=\frac{K_1}{\omega}(-0.5\sin\omega t+1.06\sin\sqrt{2}\,\omega t)$$

$$\frac{K_1}{p}\cdot\frac{p^2+0.5\omega^2}{p^2+2\omega^2}\cdot\frac{p\omega_1}{p^2+\omega_1^2}\mathbb{1}$$

(ただし　$\omega_1^2=1.25\omega^2$)

$$=K_1\omega_1\frac{p^2+0.5\omega^2}{(p^2+2\omega^2)(p^2+\omega_1^2)}\mathbb{1}$$
$$=K_1\omega_1\left[-\frac{1}{4}\frac{1}{\omega_1^2}-\frac{1}{2\omega^2}\left(\overline{\frac{-2\omega^2+0.5\omega^2}{\omega_1^2-2\omega^2}}\right)_{\sqrt{2}\,\omega t}-\frac{1}{\omega_1^2}\left(\overline{\frac{-\omega_1^2+0.5\omega^2}{2\omega^2-\omega_1^2}}\right)_{\omega_1 t}\right]$$
$$=\frac{K_1}{\omega}(0.2-\cos\sqrt{2}\,\omega t+0.8\cos\omega_1 t)$$

$$\frac{K_1}{p}\cdot\frac{p^2+0.5\omega^2}{p^2+2\omega^2}\cdot\frac{p^2}{p^2+\omega_1^2}\mathbb{1}$$
$$=K_1\frac{p(p^2+0.5\omega^2)}{(p^2+2\omega^2)(p^2+\omega_1^2)}\mathbb{1}$$
$$=K_1\left[-\frac{1}{2\omega^2}\left(\overline{\frac{j\sqrt{2}\,\omega(-2\omega^2+0.5\omega^2)}{\omega_1^2-2\omega^2}}\right)_{\sqrt{2}\,\omega t}-\frac{1}{\omega_1^2}\left(\overline{\frac{j\omega_1(-\omega_1^2+0.5\omega^2)}{2\omega^2-\omega_1^2}}\right)_{\omega_1 t}\right]$$
$$=\frac{K_1}{\omega}(1.414\sin\sqrt{2}\,\omega t-0.893\sin\omega_1 t)$$

これらを総合すれば

$$3u_a=\sqrt{2}\,E\{1.155(0.25+0.5\cos\omega t-0.75\cos\sqrt{2}\,\omega t)+1.285(-0.5\sin\omega t+1.06\cos\omega_1 t)-0.067(0.2-\cos\sqrt{2}\,\omega t+0.8\cos\omega_1 t)-1.33(1.414\sin\sqrt{2}\,\omega t-0.893\sin\omega_1 t)\}$$
$$=\sqrt{2}\,E(0.276-0.643\sin\omega t+0.5775\cos\omega t+1.188\sin\omega_1 t-0.06\cos\omega_1 t-0.52\sin\sqrt{2}\,\omega t-0.789\cos\sqrt{2}\,\omega t)$$

(ii) c 相極間電圧

$$\frac{Z_1(Z_1+2Z_0)}{Z_0+2Z_1}=\frac{K_1}{p}\cdot\frac{2pL_0+\frac{2K_0+K_1}{p}}{pL_0+\frac{K_0+2K_1}{p}}$$
$$=\frac{K_1}{p}\cdot\frac{2p^2+\frac{5K_1}{L_0}}{p^2+\frac{4K_1}{L_0}}$$
$$=\frac{K_1}{p}\cdot\frac{2p^2+2.5\omega^2}{p^2+2\omega^2}$$

したがって

$$\frac{K_1}{p}\cdot\frac{2p^2+2.5\omega^2}{p^2+2\omega^2}\cdot\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\mathbb{1}$$

$$=K_1\omega\frac{2p^2+2.5\omega^2}{(p^2+2\omega^2)(p^2+\omega^2)}\mathbb{1}$$

$$=K_1\omega\left[1.25\frac{1}{\omega^2}-\frac{1}{\omega^2}\left(\frac{-2\omega^2+2.5\omega^2}{2\omega^2-\omega^2}\right)_{\omega t}-\frac{1}{2\omega^2}\left(\frac{-4\omega^2+2.5\omega^2}{\omega^2-2\omega^2}\right)_{\sqrt{2}\omega t}\right]$$

$$=\frac{K_1}{\omega}(1.25-0.5\cos\omega t-0.75\cos\sqrt{2}\,\omega t)$$

$$\frac{K_1}{p}\cdot\frac{2p^2+2.5\omega^2}{p^2+2\omega^2}\cdot\frac{p^2}{p^2+\omega^2}\mathbb{1}$$

$$=K_1\frac{p(2p^2+2.5\omega^2)}{(p^2+2\omega^2)(p^2+\omega^2)}\mathbb{1}$$

$$=K_1\left[-\frac{1}{\omega^2}\left(\frac{j\omega(-2\omega^2+2.5\omega^2)}{2\omega^2-\omega^2}\right)_{\omega t}-\frac{1}{2\omega^2}\left(\frac{j\sqrt{2}\,\omega(-4\omega^2+2.5\omega^2)}{\omega^2-2\omega^2}\right)_{\sqrt{2}\omega t}\right]$$

$$=\frac{K_1}{\omega}(0.5\sin\omega t+1.06\sin\sqrt{2}\,\omega t)$$

$$\frac{K_1}{p}\cdot\frac{2p^2+2.5\omega^2}{p^2+2\omega^2}\cdot\frac{p\omega_1}{p^2+\omega_1^2}\mathbb{1}$$

$$=K_1\omega_1\frac{2p^2+2.5\omega^2}{(p^2+2\omega^2)(p^2+\omega_1^2)}\mathbb{1}$$

$$=K_1\omega_1\left[1.25\frac{1}{\omega_1^2}-\frac{1}{2\omega^2}\left(\frac{-4\omega^2+2.5\omega^2}{\omega_1^2-2\omega^2}\right)_{\sqrt{2}\omega t}-\frac{1}{\omega_1^2}\left(\frac{-2\omega_1^2+2.5\omega^2}{2\omega^2-\omega_1^2}\right)_{\omega_1 t}\right]$$

$$=\frac{K_1}{\omega}\times1.12(1-\cos\sqrt{2}\,\omega t)$$

$$\frac{K_1}{p}\cdot\frac{2p^2+2.5\omega^2}{p^2+2\omega^2}\cdot\frac{p^2}{p^2+\omega_1^2}\mathbb{1}$$

$$=K_1\frac{p(2p^2+2.5\omega^2)}{(p^2+2\omega^2)(p^2+\omega_1^2)}\mathbb{1}$$

$$=K_1\left[-\frac{1}{2\omega^2}\left(\frac{j\sqrt{2}\,\omega(-4\omega^2+2.5\omega^2)}{\omega_1^2-2\omega^2}\right)-\frac{1}{\omega_1^2}\left(\frac{j\omega_1(-2\omega_1^2+2.5\omega^2)}{2\omega^2-\omega_1^2}\right)_{\omega_1 t}\right]$$

$$=\frac{K_1}{\omega}\times1.414\sin\sqrt{2}\,\omega t$$

これらを総合すると

$$3u_c=\sqrt{2}\,E\{1.155(1.25-0.5\cos\omega t-0.75\cos\sqrt{2}\,\omega t)+1.285(0.5\sin\omega t+1.06\sin\sqrt{2}\,\omega t)-0.067\times1.12(1-\cos\sqrt{2}\,\omega t)-1.33\times1.414\sin\sqrt{2}\,\omega t\}$$

$$=\sqrt{2}\,E(1.367+0.643\sin\omega t-0.578\cos\omega t-0.517\sin\sqrt{2}\,\omega t-0.791\cos\sqrt{2}\,\omega t)$$

(iii)　b 相電流

$$\frac{Z_1-Z_0}{Z_0+2Z_1}=\frac{\frac{K_1}{p}-\left(pL_0+\frac{K_0}{p}\right)}{\left(pL_0+\frac{K_0}{p}\right)+2\frac{K_1}{p}}$$

$$=-\frac{p^2+0.5\omega^2}{p^2+2\omega^2}$$

したがって

$$-\frac{p^2+0.5\omega^2}{p^2+2\omega^2}\cdot\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\mathbb{1}$$

$$=-\omega\left[-\frac{1}{\omega^2}\left(\frac{j\omega(-\omega^2+0.5\omega^2)}{2\omega^2-\omega^2}\right)_{\omega t}-\frac{1}{2\omega^2}\left(\frac{j\sqrt{2}\,\omega(-2\omega^2+0.5\omega^2)}{\omega^2-2\omega^2}\right)_{\sqrt{2}\omega t}\right]$$

$$=-(-0.5\sin\omega t+1.06\sin\omega t)$$

$$-\frac{p^2+0.5\omega^2}{p^2+2\omega^2}\cdot\frac{p^2}{p^2+\omega^2}\mathbb{1}$$

$$=-\left[-\frac{1}{\omega^2}\left(\frac{-\omega^2(-\omega^2+0.5\omega^2)}{2\omega^2-\omega^2}\right)_{\omega t}-\frac{1}{2\omega^2}\left(\frac{-2\omega^2(-\omega^2+0.5\omega^2)}{\omega^2-2\omega^2}\right)_{\sqrt{2}\omega t}\right]$$

$$=-(-0.5\cos\omega t+1.5\cos\sqrt{2}\,\omega t)$$

$$-\frac{p^2+0.5\omega^2}{p^2+2\omega^2}\cdot\frac{p\omega_1}{p^2+\omega_1^2}\mathbb{1}$$

$$=-\omega_1\left[-\frac{1}{\omega_1^2}\left(\frac{j\omega_1(-\omega_1^2+0.5\omega^2)}{2\omega^2-\omega_1^2}\right)_{\omega_1 t}-\frac{1}{2\omega^2}\left(\frac{j\sqrt{2}\,\omega(-2\omega^2+0.5\omega^2)}{\omega_1^2-2\omega^2}\right)_{\sqrt{2}\omega t}\right]$$

$$=-(-\sin\omega_1 t+1.582\sin\sqrt{2}\,\omega t)$$

$$-\frac{p^2+0.5\omega^2}{p^2+2\omega^2}\cdot\frac{p^2}{p^2+\omega_1^2}\mathbb{1}$$

$$=-\left[-\frac{1}{\omega_1^2}\left(\frac{-\omega_1^2(-\omega_1^2+0.5\omega^2)}{2\omega^2-\omega_1^2}\right)_{\omega_1 t}-\frac{1}{2\omega^2}\left(\frac{-2\omega^2(-2\omega^2+0.5\omega^2)}{\omega_1^2-2\omega^2}\right)_{\sqrt{2}\omega t}\right]$$

$$=-(-\cos\omega_1 t+2\cos\sqrt{2}\,\omega t)$$

これらを総合すれば

$$i_b'=\sqrt{2}\,I\{1.155(0.5\sin\omega t-1.06\sin\sqrt{2}\,\omega t)+1.285(0.5\cos\omega t-1.5\cos\sqrt{2}\,\omega t)-0.067(\sin\omega_1 t-2\cos\sqrt{2}\,\omega t)-1.33(\cos\omega_1 t-2\cos\sqrt{2}\,\omega t)\}$$

$$=\sqrt{2}\,I(0.577\sin\omega t+0.642\cos\omega t-0.067\sin\omega_1 t-1.33\cos\omega_1 t-1.116\sin\sqrt{2}\,\omega t+0.735\cos\sqrt{2}\,\omega t)$$

(iv)　中性点電位

$$3i_0'=i_b'+i_c'$$

$$=\sqrt{2}\,I\Big\{(1.155+0.577)\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}$$
$$+(1.285+0.642)\frac{p^2}{p^2+\omega^2}$$
$$-(0.067+0.067)\frac{p\omega_1}{p^2+\omega_1^2}$$
$$-(1.33+1.33)\frac{p^2}{p^2+\omega_1^2}-1.116\frac{p(\sqrt{2}\,\omega)}{p^2+2\,\omega^2}$$
$$+0.735\frac{p^2}{p^2+2\,\omega^2}\Big\}1\!\!1$$
$$=\sqrt{2}\,I\Big(1.732\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}+1.927\frac{p^2}{p^2+\omega^2}$$
$$-0.134\frac{p\omega_1}{p^2+\omega_1^2}-2.66\frac{p^2}{p^2+\omega_1^2}$$
$$-1.58\frac{p\omega}{p^2+2\,\omega^2}+0.735\frac{p^2}{p^2+2\,\omega^2}\Big)1\!\!1$$

$$V_0'=-p\,L_0\times\frac{1}{3}i_0$$
$$=-\sqrt{2}\,I\times\frac{K_0}{\omega^2}p\Big(0.577\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}$$
$$+0.642\frac{p^2}{p^2+\omega^2}-0.045\frac{p\omega_1}{p^2+\omega_1^2}$$
$$-0.887\frac{p^2}{p^2+\omega_1^2}-0.527\frac{p\omega}{p^2+2\omega^2}$$
$$+0.245\frac{p^2}{p^2+2\omega^2}\Big)$$
$$=-\sqrt{2}\,I\times\frac{2K_1}{\omega^2}p\Big(0.557\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}$$
$$-0.642\frac{\omega^2}{p^2+\omega^2}-0.045\frac{p\omega_1}{p^2+\omega_1^2}$$
$$+0.887\frac{\omega_1^2}{p^2+\omega_1^2}-0.527\frac{p\omega}{p^2+2\omega^2}$$
$$-0.245\frac{2\,\omega^2}{p^2+2\omega^2}\Big)$$
$$=-\sqrt{2}\,E\times\frac{2}{\omega}(0.577\,\omega\cos\omega t-0.642\,\omega\sin\omega t$$
$$-0.045\,\omega_1\cos\omega_1 t+0.887\,\omega_1\sin\omega_1 t$$
$$-0.527\,\omega\cos\sqrt{2}\,\omega t-0.245\,\omega\sin\sqrt{2}\,\omega t)$$
$$=-\sqrt{2}\,E(1.154\cos\omega t-1.284\sin\omega t$$
$$-0.11\cos\omega_1 t+1.984\sin\omega_1 t$$
$$-1.054\cos\sqrt{2}\,\omega t-0.49\sin\sqrt{2}\,\omega t)$$

(b) 第2相遮断後の状態

(i) a相極間電圧

$$3u_a=\sqrt{2}\,E\{-1.2+1.2\cos(\omega_1 t+89.4^\circ)$$
$$+0.276-0.643\sin\omega t+0.5775\cos\omega t$$
$$+1.118\sin\omega_1 t-0.06\cos\omega_1 t$$
$$+0.102\sin\sqrt{2}\,\omega t-0.789\cos\sqrt{2}\,\omega t\}$$
$$=\sqrt{2}\,E(-0.924-0.643\sin\omega t+0.577\cos\omega t$$
$$-0.152\sin\sqrt{2}\,\omega t-0.789\cos\sqrt{2}\,\omega t)$$

(ii) c相極間電圧

$$3u_c=\sqrt{2}\,E(1.367+0.643\sin\omega t-0.578\cos\omega t$$
$$-0.517\sin\sqrt{2}\,\omega t-0.791\cos\sqrt{2}\,\omega t)$$

(iii) b相電流

$$i_b=\sqrt{2}\,I\{\sqrt{3}\sin(\omega t-70^\circ)+1.332$$
$$\sin(\omega_1 t+89.6^\circ)+0.577\sin\omega t$$
$$+0.642\cos\omega t-0.067\sin\omega_1 t-1.33\cos\omega_1 t$$
$$-1.116\sin\sqrt{2}\,\omega t+0.735\cos\sqrt{2}\,\omega t\}$$

(iv) 中性点電位

$$V_0=\sqrt{2}\,E\{2\cos(\omega t+80^\circ)-2\cos(\omega_1 t+89.4^\circ)$$
$$-1.154\cos\omega t+1.284\sin\omega t+0.11\cos\omega_1 t$$
$$-1.984\sin\omega_1 t+1.054\cos\sqrt{2}\,\omega t$$
$$+0.49\sin\sqrt{2}\,\omega t\}$$
$$=\sqrt{2}\,E(-0.7068\cos\omega t-0.6856\sin\omega t$$
$$+1.054\cos\sqrt{2}\,\omega t+0.49\sin\sqrt{2}\,\omega t)$$

上式を計算すれば第7図のようになり $\omega t\fallingdotseq 100^\circ$ において $i_b=0$ となる。

$\omega t=100^\circ$ 以後に $i_b$ が流れていたとすれば

$$i_b=\sqrt{2}\,I\{\sqrt{3}\sin(\omega t+30^\circ)$$
$$+0.577\sin(\omega t+100^\circ)+0.642\cos(\omega t+100^\circ)$$
$$-1.116\sin(\sqrt{2}\,\omega t+141.2^\circ)$$
$$+0.735\cos(\sqrt{2}\,\omega t+141.2^\circ)\}$$
$$=\sqrt{2}\,I\{1.5\sin\omega t+0.866\cos\omega t$$
$$+0.577(-0.1736\sin\omega t+0.9848\cos\omega t)$$
$$+0.642(-0.1736\cos\omega t-0.9848\sin\omega t)$$
$$-1.116(-0.779\sin\sqrt{2}\,\omega t$$
$$+0.6271\cos\sqrt{2}\,\omega t)$$
$$+0.735(-0.779\cos\sqrt{2}\,\omega t$$
$$-0.6271\sin\sqrt{2}\,\omega t)\}$$
$$=\sqrt{2}\,I(0.67\sin\omega t+1.332\cos\omega t$$
$$+0.36\sin\sqrt{2}\,\omega t-1.278\cos\sqrt{2}\,\omega t)$$

### IX—3 第3相遮断の計算

(a) 補足回路の計算

$$i_b'=-\sqrt{2}\,I\Big(0.67\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}+1.332\frac{p^2}{p^2+\omega^2}$$
$$+0.36\frac{p\sqrt{2}\,\omega}{p^2+2\omega^2}-1.278\frac{p^2}{p^2+2\,\omega^2}\Big)1\!\!1$$

(i) a相およびc相極間電圧

$$Z_0-Z_1=pL_0+\frac{K_0}{p}-\frac{K_1}{p}$$
$$=\frac{L_0}{p}\Big(p^2+\frac{1}{2}\omega^2\Big)$$

$$=\frac{2K_1}{\omega^2}\frac{p^2+\frac{1}{2}\omega^2}{p}$$

$$=\frac{K_1}{\omega^2}\frac{2p^2+\omega^2}{p}$$

$$\frac{2p^2+\omega^2}{p}\cdot\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\mathbb{1}=\omega\frac{2p^2+\omega^2}{p^2+\omega^2}\mathbb{1}$$

$$=\omega\left(2-\frac{\omega^2}{p^2+\omega^2}\right)\mathbb{1}$$

$$=\omega(1+\cos\omega t)$$

$$\frac{2p^2+\omega^2}{p}\cdot\frac{p^2}{p^2+\omega^2}\mathbb{1}=\frac{p(2p^2+\omega^2)}{p^2+\omega^2}\mathbb{1}$$

$$=\left(2p-\frac{p\omega^2}{p^2+\omega^2}\right)\mathbb{1}$$

$$=2p\mathbb{1}-\omega\sin\omega t$$

$$\frac{2p^2+\omega^2}{p}\cdot\frac{\sqrt{2}\,p\omega}{p^2+2\omega^2}\mathbb{1}=\sqrt{2}\,\omega\frac{2p^2+\omega^2}{p^2+2\omega^2}$$

$$=\sqrt{2}\,\omega\left(2-\frac{3\omega^2}{p^2+2\omega^2}\right)$$

$$=\sqrt{2}\,\omega\left\{2-\frac{3}{2}(1-\cos\sqrt{2}\,\omega t)\right\}$$

$$=\frac{\sqrt{2}\,\omega}{2}(1+3\cos\sqrt{2}\,\omega t)$$

$$\frac{2p^2+\omega^2}{p}\cdot\frac{p^2}{p^2+2\omega^2}\mathbb{1}=\frac{p(2p^2+\omega^2)}{p^2+2\omega^2}\mathbb{1}$$

$$=\left(2p-\frac{3p\omega^2}{p^2+2\omega^2}\right)\mathbb{1}$$

$$=2p\mathbb{1}-\frac{3\sqrt{2}}{2}\omega\sin\sqrt{2}\,\omega t$$

$2p\mathbb{1}$ に対する係数は $1.332-1.278=0.044$ であるが，これは途中の計算の簡略化のために出たもので実際は零と考えられる。

したがって

$$3u_a'=3u_c'$$

$$=-\sqrt{2}\,I\frac{K_1}{\omega}\times\frac{1}{3}\{0.67(1+\cos\omega t)$$
$$-1.332\sin\omega t+0.255(1+3\cos\sqrt{2}\,\omega t)$$
$$+2.7\sin\sqrt{2}\,\omega t\}$$
$$=-\sqrt{2}\,E(0.308-0.44\sin\omega t$$
$$+0.223\cos\omega t+0.9\sin\sqrt{2}\,\omega t$$
$$+0.255\cos\sqrt{2}\,\omega t)$$

(ii)　c 相極間電圧

$$2Z_1+Z_0=2\frac{K_1}{p}+pL_0+\frac{K_0}{p}$$

$$=\frac{L_0}{p}(p^2+2\omega^2)$$

$$=\frac{2K_1}{\omega^2}\frac{p^2+2\omega^2}{p}$$

$$\frac{p^2+2\omega^2}{p}\cdot\frac{p\omega}{p^2+\omega^2}\mathbb{1}=\omega\frac{p^2+2\omega^2}{p^2+\omega^2}$$

$$=\omega\left(1+\frac{\omega^2}{p^2+\omega^2}\right)$$

$$=\omega(2-\cos\omega t)$$

$$\frac{p^2+2\omega^2}{p}\cdot\frac{p^2}{p^2+\omega^2}\mathbb{1}=\frac{p(p^2+2\omega^2)}{p^2+\omega^2}\mathbb{1}$$

$$=\left(p+\frac{p\omega^2}{p^2+\omega^2}\right)\mathbb{1}$$

$$=p\mathbb{1}+\omega\sin\omega t$$

$$\frac{p^2+2\omega^2}{p}\cdot\frac{\sqrt{2}\,p\omega}{p^2+2\omega^2}\mathbb{1}=\sqrt{2}\,\omega$$

$$\frac{p^2+2\omega^2}{p}\cdot\frac{p^2}{p^2+2\omega^2}\mathbb{1}=p\mathbb{1}$$

$p\mathbb{1}$ の係数は前と同じでやはり零となる。

したがって

$$3u_b=-\sqrt{2}\,I\frac{K_1}{\omega}\times\frac{2}{3}\{0.67(2-\cos\omega t)$$
$$+1.332\sin\omega t+0.36\times\sqrt{2}\}$$
$$=-\sqrt{2}\,E(1.23+0.89\sin\omega t$$
$$-0.446\cos\omega t)$$

(b)　第 3 相遮断後の状態

a 相極間電圧

$$3u_a=\sqrt{2}\,E\{-0.924-0.643\sin(\omega t+100°)$$
$$+0.577\cos(\omega t+100°)$$
$$-0.52\sin(\sqrt{2}\,\omega t+141.2°)$$
$$-0.789\cos(\sqrt{2}\,\omega t+141.2°)-0.308$$
$$+0.44\sin\omega t-0.223\cos\omega t$$
$$-0.9\sin\sqrt{2}\,\omega t-0.255\cos\sqrt{2}\,\omega t\}$$
$$=\sqrt{2}\,E(-1.232-\cos\omega t)$$

c 相極間電圧

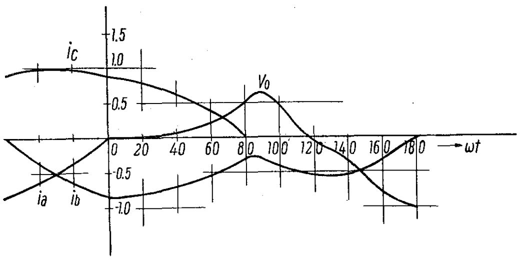
$$3u_c=\sqrt{2}\,E\{1.367+0.643\sin(\omega t+100°)$$
$$-0.578\cos(\omega t+100°)$$
$$-0.517\sin(\sqrt{2}\,\omega t+141.2°)$$
$$-0.789\cos(\sqrt{2}\,\omega t+141.2°)$$
$$-0.308+0.44\sin\omega t-0.223\cos\omega t$$
$$-0.9\sin\sqrt{2}\,\omega t-0.255\cos\sqrt{2}\,\omega t$$
$$=\sqrt{2}\,E\{1.059-\cos(\omega t+120°)\}$$

b 相極間電圧

$$3u_b=\sqrt{2}\,E\{-1.23-\cos(\omega t-120°)\}$$

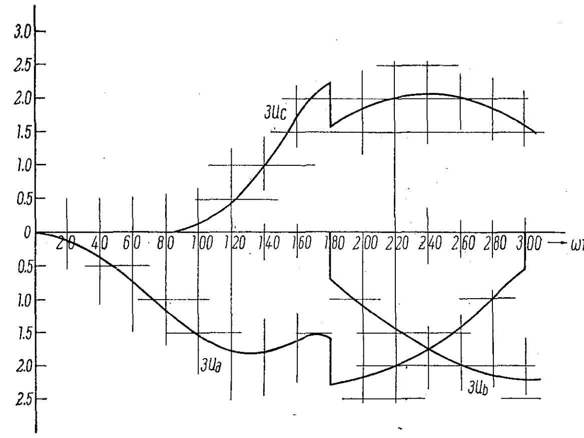
### IX—4　消弧リアクトル接地系統の電源端における充電電流遮断に対する考察

上記の計算はかなり手数がかかっており，幾分の誤




第7図　消弧リアクトル系統における充電電流遮断各相電流およびリアクトル電位の変化

Fig. 7. Variation of each phase current and reactor voltage in case of charging current interruption on arc-suppressing reactor lines




第8図　消弧リアクトル系統における充電電流遮断各相極間電圧の変化

Fig. 8. Recovery of each poles in case of charging current interruption on arc-suppressing reactor lines

差が出ているが，第7図および第8図のようにまとめられる．中性点電位は第2相電流遮断の際には連続的の変化をしているが，第3相遮断と同時に急に零電位にもどり，各相極間電圧も第3相遮断と同時に急変することが窺える．非接地系統の充電電流遮断の場合における極間電圧の変化との過酷程度を比較してみると，第1相遮断時は両者ほとんど同じであり，第2相遮断後の初めの中は非接地系統の方が厳しく，後になって消弧リアクトル系統の方が厳しくなる．結局いずれの系統の方が厳しいかは即断できず，一方の系統で無再点弧であっても他方の系統でそれを期待するわけにはいかない。（II章終り，以下次号）

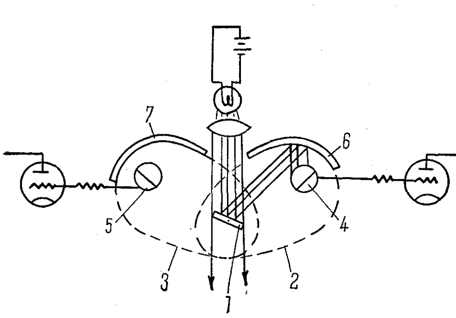
# 光　電　装　置

（特許第185314号）

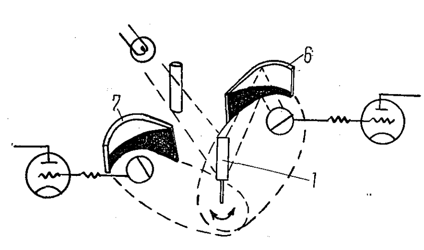
測定あるいは制御に関して機械的回転量を電気的変化量に変えたい場合が多い．この発明は光電管を使ってこれをおこなう一方法である。

第1図に示すように振動体にミラー1を取付けてこれを両楕円2，3の共通焦点に置き，各楕円2，3の別の焦点に光電管4，5を置きまた両楕円の周上にミラー6，7を置く．この際ミラー1に光源より一定光量を当てるとミラー1の回転角に応じて反射量が変わって各光電管に達する．したがって回転角に応じた電気的変化量を各光電管に起こさせることができる。

またミラー1で光量を変えず第2図に示すようにミラー6，7で光量を変えるようにしてもよい．この場合はもちろんミラー1は光源よりの縦幕状の光を全部反射するものであり，ミラー6，7における反射部と吸収部とを任意に定めることができるから，電気量への変換状態を直線状にも曲線状にもすることができて便利である。　（技術部　池上）




第1図




第2図

e-Front runners