

內 容 提 要

本書是根据苏联中央电工研究院論文集第二集內的數篇論文編譯而成，它介紹了苏联 400 千伏綫路的相差动高频保护裝置，对我國从事 330 千伏和 650 千伏高压綫路繼电保护設計和运行方面的工程技術人員頗有参考价值。

苏联 400 千伏綫路的相差动高频保护裝置

刘 葵 光編

*

1695D469

水利电力出版社出版（北京西郊科學路二里路）

北京市書刊出版業營業許可證出字第105号

北京市通州区印刷厂印刷 新华書店发行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * $\frac{1}{16}$ 印張 * 18千字

1958年12月北京第1版

1959年12月北京第2次印刷（9101—4, 930册）

統一書号：15143·1331 定价（第11类）0.18元

苏联400千伏綫路的 相差动高频保护装置

刘 蓼 光編

水利电力出版社

介紹苏联 400 千伏綫路的相差动 高頻保护裝置

对于 400 千伏長距离輸电綫路的繼电保护，主要困难在于輸电綫路在运行和故障时具有特殊的参数。苏联在这方面作了許多研究工作。根据苏联研究的結果指出，長距离輸电綫路具有以下特点：

1) 在長距离輸电綫路上，往往采用縱向补偿电容器，以提高綫路的輸送容量和系統的稳定性。当綫路具有縱向补偿电容器时，將破坏短路阻抗随短路点距离变化关系的單純性，同时在短路故障的过渡历程中促使产生高次諧波和低次諧波电流，其数值与基波电流大小相近，甚至大于基波电流。此外，由于裝設有保护串联电容器用的放电間隙和短路遮断器^①，使綫路的阻抗值和相角的变化更趋于复杂。

2) 由于長距离輸电綫路与大电力系统相連接，在很多情况下，短路电流的数值將非常大。同时，由于綫路內串有补偿电容器，綫路的总阻抗將变得很小，即是在很远点短路，短路电流仍然很大；但若放电間隙或短路遮断器將串联电容器短路，則綫路的阻抗將变得很大，短路电流亦將变得很小，甚至于小于正常負荷电流。由此可見，長距离輸电綫路上的最大短路电流和最小短路电流之比可能达到非常大的数值。相应地，正常电压与在被保护綫路末端短路时的残余电压之比亦可能达到非常大的数值。例如，苏联古比雪夫—莫斯科 400 千伏輸电綫上，

① 当流经串联电容器的短路电流值相当大时，电容器元件之間电压将成度相应增加，有可能將电容器元件击穿，为此須裝設放电間隙和短路遮断器。当短路电流值大于某一数值时，利用放电間隙的击穿將电容器短接，以防止电容器两端承受高电压，同时利用短路遮断器的自动短接，以消除放电間隙的持續放电。

最大短路电流与最小短路电流之差别能达20, 而且电压在
线路末端短路时的残余电压之差别能达50%。

3)在正常情况下,线路两侧的电动势相角差很大,为保证电力系统并列运行的稳定性,要求快速切除故障部分。例如,古比雪夫—莫斯科400千伏输电线路的动稳定计算指出:在最大负荷情况下切除线路相间短路的最大允许时间不应超过0.12秒。为保证系统的动稳定,在设计中规定继电保护装置的动作时间不应大于0.04秒。

4)由于线路间及线对地间具有较大的电容,充电电流往往大于短路电流,这就使继电保护装置很难判别故障情况。

5)线路阻抗角大,这就容易发生谐振使短路过渡过程拖长,尤其在串联电容的线路上,这种现象更为严重。由于过渡过程的拖长,将影响继电保护装置的快速动作。

但线路阻抗角大也有其优点,对于区别正常情况和故障情况有很大的方便。

6)当系统产生振荡时,线路两侧电势的相角差很大,因此要求继电保护装置即是在两侧电势相角差达 180° 时亦不产生动作。

7)当线路上采用单相自动重合闸装置时,要求继电保护装置能长期处于非全相运行情况下运行,为此,在考虑非全相运行的线路上,继电保护装置很难利用负序启动,有时连零序启动也很难利用。

8)当线路上装设有串联补偿电容器时,电容器本身内部短路以及其保护放电间隙动作,都将影响线路的不对称情况,这就使继电保护装置难于有选择性地动作。此外,由于与受电系统连接的变压器容量非常大,当受电系统发生故障时,对长距离输电线路的主干线有很大影响,使继电保护装置也难以达到

有选择性地动作。

根据以上这些特点指出，对于长距离输电线路继电保护装置不仅从数量上提出了特殊的要求，而且从质量上也提出了特殊的要求。苏联在设计古比雪夫—莫斯科400千伏输电线路时，在继电保护方面作了很多研究工作，并研究出适用于长距离输电线路的新型相差动高频保护装置、新型方向高频保护装置和新型距离保护装置。

在古比雪夫—莫斯科400千伏的主干线路及环形线路上，采用相差动高频保护作为保护所有短路故障的主要保护。用在400千伏环形线路上的相差动高频保护装置（ДФЗ-400K型）是利用ДФЗ-2型相差动高频保护装置改装的；为了加速保护装置的动作，将ДФЗ-2型保护装置的接线图作了一些不大的改进。用在400千伏主干线上的相差动高频保护装置采用了新型的相差动高频保护装置（ДФЗ-400型）。这种新型相差动高频保护装置针对长距离输电线路的上述特点作了很多技术上的措施。例如，启动元件采用了以负序电压为主的复式相序启动元件，这种启动元件与ДФЗ-2型所采用的以负序电流为主零序电流为辅的相序启动元件比较，有它显著的优越性，它可以满足长距离输电线路保护装置的选择性和灵敏度的要求。此外，新型相差动高频保护装置的高频发讯器操作元件和电流相位比较元件也都有很大改进。在高频发讯器操作元件上加装线路电容电流补偿装置和频率滤波器，这样即可避免线路电容电流和过渡过程中产生的谐波对保护装置的影响。在电流相位比较元件上亦采取了加速动作时间的措施。

由于新型相差动高频保护装置采用了一系列的技术措施，不但使保护装置能够正确反应线路故障，而且使保护装置的动作时间加速到0.03~0.04秒（ДФЗ-2型的动作时间为0.06~

0.08秒)，这就使得新型相差动高频保护装置能够胜任 400 千伏线路的主要保护的任务。

由于在古比雪夫—莫斯科 400 千伏线路上，对继电保护装置的快速动作及可靠性提出了严格的要求，这就有必要采用第二套快速动作的保护装置作为主要保护的后备。

在古比雪夫—莫斯科 400 千伏线路上，采用方向高频保护装置作为保护所有不对称短路故障的后备保护（第二套快速动作保护）。这种保护装置是采用相灵敏接线方式的新型方向高频保护，苏联电站部中央电工科学研究试验所在 1950 年即已开始试制这种新型方向高频保护，现已试制成功并已用在古比雪夫—莫斯科 400 千伏线路上。

在古比雪夫—莫斯科 400 千伏输电线路上，除了采用相差动高频保护作为主要保护和方向高频保护作为后备保护而外，还装设了下列的后备和辅助保护装置：

- 1) 保护相间短路的一段式方向距离保护装置（带有时限）；
- 2) 保护平行线路的相间短路的横差动方向保护装置，并作为上述距离保护装置的启动元件；
- 3) 保护相间短路的电流速断装置（假设在线路上有条件装设电流速断装置时）；
- 4) 接于零序滤过器上的、快速动作和带时限动作的电流保护和方向电流保护装置（具有不同的灵敏度）；
- 5) 当线路两相长期运行时，利用单相自动重合闸装置（ОАПВ）的选相元件作为接地短路的后备保护，此选相元件是由具有混合式特性圆的阻抗继电器所构成。

由以上的简单介绍，可以大致了解 400 千伏长距离输电线路继电保护装置的一般特点，并明了新型相差动高频保护装置在保护长距离输电线路上的所起的重要作用。

下面介紹苏联电站部中央电工科学研究試驗所制造的新型相差动高频保护装置(ДФ3-400型)。

图1表示新型相差动高频保护装置的交流回路展开图,图中a)为启动元件,б)为高频发訊器操作元件,в)为电压回路断线閉鎖裝置。

图2表示新型相差动高频保护装置的直流回路展开图,图中a)为直流操作回路,б)为电流相位比較元件,в)为信号回路。

下面分別介紹各元件的構造和特性:

1) 启动元件

启动元件采用了以負序电压为主的复式相序启动元件,即

$$I_p = f(|\dot{U}_2 - \dot{i}_2 Z_{2x}|, |3\dot{i}_0 - 3\dot{U}_0 Y_{0x}|)。$$

式中 $\dot{U}_2$ 和 $\dot{U}_0$ ——裝設保护裝置处的負序电压和零序电压;

$\dot{i}_2$ 和 $\dot{i}_0$ ——裝設保护裝置处的負序电流和零序电流;

Z_{2x} 和 Y_{0x} ——启动元件补偿裝置的阻抗和电导。

图1中, C_2, R_2, C_0, R_0 以及 TKH 組成 $U_{2p} = |\dot{U}_2 - \dot{i}_2 Z_{2x}|$ 电阻-电容式的負序濾过器, 經過稳定变压器 CTII 和氧化銅整流器 B1 接至极化繼电器 ИП 1 和 ИП 2 的綫圈上。电容 C_0 和饱和变压器 THH 組成 $3I_{0p} = |3\dot{i}_0 - 3\dot{U}_0 Y_{0x}|$ 零序濾过器, 經過氧化銅整流器 B 2 接至极化繼电器 ИП 1 和 ИП 2 的綫圈上。

上述負序濾过器中之 $\dot{i}_2 Z_{2x}$ 一項是为补偿綫路兩端負序电压的不相等而設置的。这种兩端負序电压不一致的現象可能发生于保护区外部短路、被保护綫路帶电投入、綫路非全相运行等故障情况和运行情况。

Z_{2x} 值的选定应按照在被保护区外短路时使被保护綫路兩端的两个半套保护裝置中所反应的負序电压值相等。若以母綫流向被保护綫路为电流的正方向, 則滿足上述要求的条件应为:

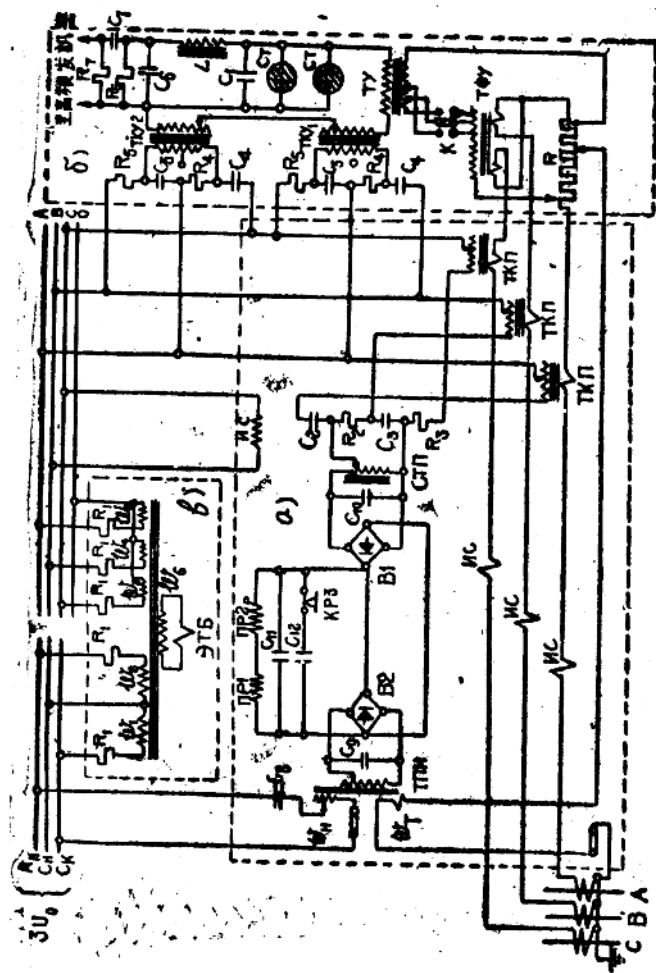


图 1 保护装置的交流回路展开图

a) 自动元件; б) 高频继电器操作元件; в) 电压同路新接閉鎖装置。

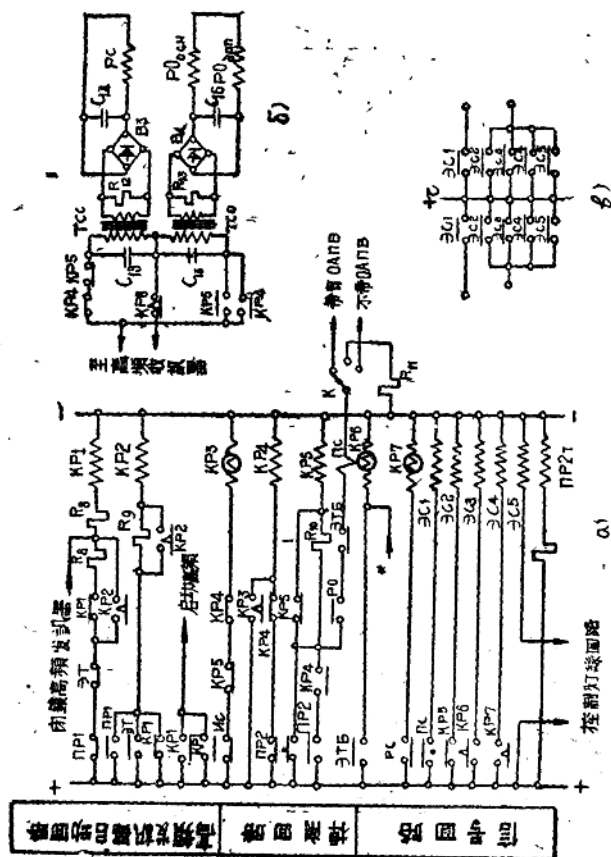


图2 保护装置直流回路展开图

■) 直流操作回路; 6) 电流相位比较元件; a) 信号回路。*—从电压互感器操作隔离开关控制键的阻值接点进行取值。

$$\dot{U}_{2m} - \dot{I}_{2m} Z_{2\kappa} = \dot{U}_{2n} + \dot{I}_{2n} Z_{2\kappa}$$

即

$$Z_{2\kappa} = \frac{\dot{U}_{2m} - \dot{U}_{2n}}{\dot{I}_{2m} + \dot{I}_{2n}} \quad (1)$$

式中 $\dot{U}_{2m}$ 和 $\dot{U}_{2n}$ —— 被保护线路两端的负序电压, $\dot{U}_{2m}$ 表示离短路点远的一侧的负序电压, $\dot{U}_{2n}$ 表示离短路点近的一侧的负序电压。

$\dot{I}_{2m}$ 和 $\dot{I}_{2n}$ —— 被保护线路两端的负序电流, $\dot{I}_{2m}$ 表示离短路点远的一侧的负序电流, $\dot{I}_{2n}$ 表示离短路点近的一侧的负序电流。

从线路的四端网络可知:

$$\dot{U}_{2m} = A\dot{U}_{2n} + B\dot{I}_{2n}$$

$$\dot{I}_{2m} = C\dot{U}_{2n} + D\dot{I}_{2n}$$

式中

$$A = D = \operatorname{ch} \theta$$

$$B = Z_{oA} \operatorname{sh} \theta$$

$$C = \frac{1}{Z_{oA}} \operatorname{sh} \theta$$

$$\theta = \sqrt{(R + j\omega L)j\omega C}$$

$$Z_{oA} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{j\omega C}}$$

并知

$$A^2 - BC = 1$$

把以上这种关系代入(1)式即得:

$$\begin{aligned} Z_{2\kappa} &= \frac{B\dot{I}_{2n} + (A-1)\dot{U}_{2n}}{C\dot{U}_{2n} + (D+1)\dot{I}_{2n}} = \\ &= \frac{B}{1+A} \cdot \frac{B(A+1)\dot{I}_{2n} + (A^2-1)\dot{U}_{2n}}{BC\dot{U}_{2n} + B(D+1)\dot{I}_{2n}} = \\ &= \frac{B}{1+A} = \frac{Z_{oA} \operatorname{sh} \theta}{1 + \operatorname{ch} \theta} = Z_{oA} \operatorname{th} \left(\frac{\theta}{2} \right) \end{aligned}$$

将上式按无穷级数展开即得:

$$Z_{\Sigma K} = Z_{0A} \left[\frac{\theta}{2} - \frac{1}{3} \left(\frac{\theta}{2} \right)^3 + \frac{2}{15} \left(\frac{\theta}{2} \right)^5 - \dots \right] \quad (2)$$

取近似值則

$$Z_{\Sigma K} \approx Z_{0A} \frac{\theta}{2} = \frac{1}{2} Z_A = \frac{1}{2} (\gamma_0 + j\omega l_0) l \quad (3)$$

式中 Z_{0A} ——线路的特性阻抗；

Z_A ——线路的全阻抗；

γ_0 ——线路单位长度的电阻；

l_0 ——线路单位长度的电感；

l ——线路长度。

对于长距离输电綫，利用(2)式和(3)式計算出的差值不超过1%，因此(3)式完全可以用来計算 $Z_{\Sigma K}$ 之值。

輔助互感器 TKII 是專用来調整 $Z_{\Sigma K}$ 之值的。互感器 TKII 的磁导体具有空气隙，用以保証电流值成綫性变化关系。

C_2, R_2, C_3, R_3 为电容-电阻式負序濾过器，它从电压互感器和互感器 TKII 取来的电气量 $\dot{U} - jZ_k$ 濾过其負序部分，即 $\dot{U}_2 - jZ_{k0}$ 。

稳定变压器 CTII 的作用是保护整流器 B1 在短路电流值很大时不致承受过大的电压。

$3\dot{I}_{op} = |3\dot{I}_0 - 3\dot{U}_0 Y_{0K}|$ 零序濾过器中之 $3\dot{U}_0 Y_{0K}$ 一項是为补偿綫路的电容电流而設置的。当被保护区以外短路时，应使被保护綫路兩端保护裝置中的零序电流数值相等而相位相反（以同方向流动时的相位为反相）。满足上述要求的条件应为：

$$\dot{I}_{op} + \dot{U}_{on} Y_{0K} = \dot{I}_{om} - \dot{U}_{om} Y_{0K}$$

$$\text{即} \quad Y_{0K} = \frac{\dot{I}_{om} - \dot{I}_{on}}{\dot{U}_{om} + \dot{U}_{on}}$$

类似(2)式的推导方法，可得：

$$Y_{0\kappa} = \frac{A-1}{B} = \frac{\operatorname{ch} \theta - 1}{Z_{0A} \operatorname{sh} \theta} = \frac{1}{Z_{0A}} \operatorname{th} \left(\frac{\theta}{2} \right)$$

$$\text{或 } Y_{0\kappa} = \frac{1}{Z_{0A}} \left[\frac{\theta}{2} - \frac{1}{3} \left(\frac{\theta}{2} \right)^3 + \frac{2}{15} \left(\frac{\theta}{2} \right)^5 - \dots \right] \quad (4)$$

$$Y_{0\kappa} \approx \frac{1}{Z_{0A}} \cdot \frac{\theta}{2} = \frac{1}{2} Y_A = \frac{1}{2} j\omega Cl \quad (5)$$

式中 Y_A ——线路的全导纳；

C ——线路单位长度的电容；

l ——线路长度。

饱和互感器 TИH 有两方面的作用，一方面用来保护整流器 B2 不承受过电压，再方面用来调整 $Y_{0\kappa}$ 之值。

设 w_T 表示互感器 TИH 的电流线圈匝数， w_H 表示互感器 TИH 的电压线圈匝数，为了补偿线路的电容电流，须使电容电流在互感器 TИH 上产生的安匝数与零序电压在互感器 TИH 上产生的安匝数相等；为使电容电流与零序电压的相位一致，在零序电压回路内串接电容器 C_8 ，于是可列出以下等式：

$$\frac{3I_{0c} W_T}{n_T} = -j \frac{3U_0}{x_{c8} n_H} W_H \quad (6)$$

式中 $3I_{0c}$ ——一次侧电容电流；

U_0 ——一次侧零序电压；

x_{c8} ——电容 C_8 的阻抗值；

n_T 及 n_H ——电流互感器的变比，电压互感器的变比。

补偿条件是 $3I_{0c} = Y_{0\kappa} 3U_0$ ，代入 (6) 即得：

$$\left| Y_{0\kappa} \right| = \frac{1}{x_{c8}} \cdot \frac{W_H}{W_T} \cdot \frac{n_T}{n_H} \quad (7)$$

调整 w_H 之值即可整定 $Y_{0\kappa}$ 之值。

启动元件的灵敏度，由调整极化继电器 ПП1 和 ПП2 的动

作电流而定。

繼电器 $\Pi P2$ 在 $I_{op}=0$ 和制動綫圈 $\Pi P2_r$ 接通时，按負序电压 U_{2p} 整定，有三种整定值即 5、6、7 伏。繼电器 $\Pi P2$ 在 $U_{2p}=0$ 和制動綫圈 $\Pi P2_r$ 接通时，按零序电流 $3I_{op}$ 整定，亦有三种整定值即 0.4、0.5、0.6 安。

繼电器 $\Pi P2$ 和 $\Pi P1$ 的动作电压的比值，当繼电器 $\Pi P2$ 制動綫圈接通时，等于 2，当繼电器 $\Pi P2$ 制動綫圈断开时，等于 1.4。

根据运行可能出现的不平衡情况以及各种短路故障情况，在保证足够灵敏度的条件下来选定启动元件的整定值。也即是說，当全相运行的綫路在一相断开时，繼电器 $\Pi P2$ 不应动作，而在被保护区以内发生各种短路故障时，繼电器 $\Pi P2$ 和 $\Pi P1$ 应保证以足够的灵敏度动作。

启动元件的灵敏度在負序和零序同时作用下，可由灵敏度特性曲綫查出。图 3 表示整定值調整到 $U_{2p}=5$ 伏和 $3I_{op}=0.4$ 安时的启动元件灵敏度特性曲綫。当故障所反应的 U_{2p} 和 $3I_{op}$ 为已知时，即可查得 $k_k = I_p / I_{cp}$ 的数值。

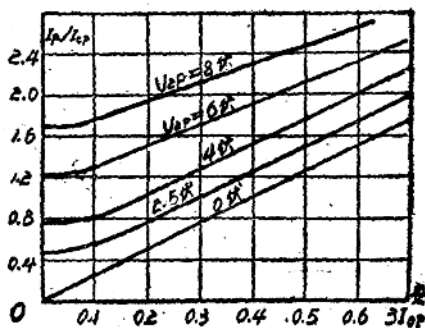


图 3 当整定值調整到 $U_{2p}=5$ 伏和 $3I_{op}=0.4$ 安时的启动元件灵敏度特性曲綫

2) 高频发訊器操作元件

如图 1 中所示，高频发訊器操作元件由复式濾过器 ($I_1 +$

kI_1 型)、中間互感器 TY 、电压稳定器 OT 、电容 C_1 、綫路电容电流补偿装置、頻率濾过器等所組成。这种高频发訊器操作元件的特点是可以防止綫路电容电流以及过渡过程中諧波的影响。

电容电流补偿装置由正、負序电压濾过器(电阻-电容式的)和中間互感器 TKY_1 和 TKY_2 所組成。补偿电容电流有两种可能的方案,一种方案是考虑在綫路兩側进行补偿,而另一种方案是考虑在綫路一側进行补偿。当采用第一种方案时,在帶电投入故障綫路的情况下,由于被保护綫路兩側的兩個半套保护装置所用的电压互感器都直接接到綫路側,保护装置将不动作。这是第一种方案的一大缺点。当采用第二种方案时,这个缺点即可以避免。因为采用第二种方案可以借遮断器或三相重合閘裝置的閉鎖接点將高频发訊器閉鎖。也即是說当綫路三相断开时,借閉鎖接点而將补偿装置閉鎖。对于第一种方案采用这种閉鎖方法是不可能的,因为,当非故障綫路每相不同投入时,由于仅在半套保护装置上有补偿,这就有可能产生足以操作高频发訊器的电压,使保护装置产生誤动作。

具体实现电容电流的补偿方法可參閱图4。

图4中的向量数值都以換算至互感器 TY 二次側表示。图中符号:

$\dot{E}'_T$ —— $\dot{I}_1 + k\dot{I}_2$ 濾过器从綫路电容电流供給的电势;

$\dot{E}'_{1H}$ ——电阻-电容式正序电压濾过器的电势;

$\dot{E}'_{2H}$ ——电阻-电容式負序电压濾过器的电势;

Z'_{KT} —— $\dot{I}_1 + k\dot{I}_2$ 濾过器和互感器 TY 的阻抗(当 $\dot{I}_1 + k\dot{I}_2$ 濾过器一次回路开路时換算至 TY 互感器二次側的阻抗值);

R_{cm} ——电压稳定器的阻抗。

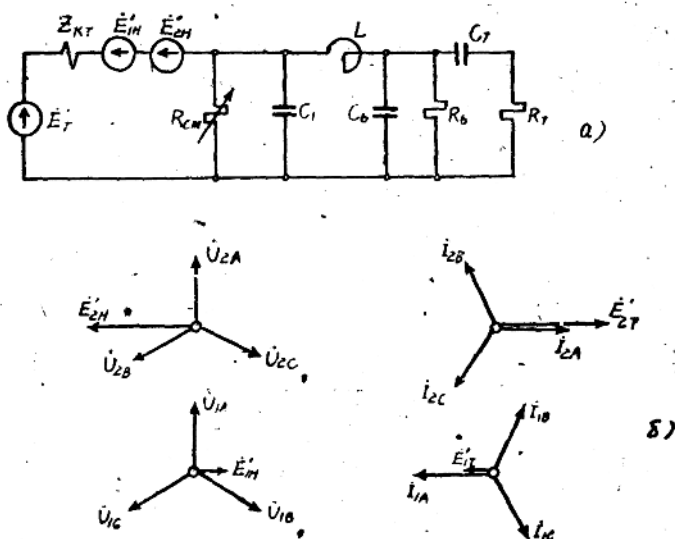


图4 高频发讯器操作元件的a) 等价回路和b) 向量图

由于补偿装置的电压过滤器和互感器 $TKY1$ 和 $TKY2$ 的阻抗，换算至互感器 $TKY1$ 和 $TKY2$ 的二次侧的数值很小，所以在图4中未能考虑。

电势 E'_T 可以被認為是正、負序的总电势，正序电势和負序电势由下式所决定：

$$\dot{E}'_{1T} = \frac{2R\dot{I}_1}{k+1} n_g \quad (8)$$

$$\dot{E}'_{2T} = \frac{2kR\dot{I}_2}{k+1} n_g \quad (9)$$

式中 $k = \dot{I}_1 + k\dot{I}_2$ ，滤波器的系数；

$R = \dot{I}_1 + k\dot{I}_2$ ，滤波器的电阻；

n_y ——互感器TY的变比。

为了达到电容电流补偿条件的要求，必须使 $\dot{E}'_{1H}$ 、 $\dot{E}'_{2H}$ 和 $\dot{E}'_{1T}$ 、 $\dot{E}'_{2T}$ 在数值上相等而相位上相反，亦即 $\dot{E}'_{1H} = -\dot{E}'_{1T}$ ， $\dot{E}'_{2H} = -\dot{E}'_{2T}$ 。从图46)中的向量关系可以写出：

$$\dot{E}'_{1H} = 1.5\sqrt{3}\dot{U}_{1B}e^{j30^\circ}n_{ky1} \quad (10)$$

$$\dot{E}'_{2H} = -1.5\sqrt{3}\dot{U}_{2C}e^{j30^\circ}n_{ky2} \quad (11)$$

式中 $\dot{U}_{1B}$ 和 $\dot{U}_{2C}$ ——B 相和 C 相在滤波器引入端上的正序电压和负序电压；

n_{ky1} 和 n_{ky2} ——互感器TKY1和TKY2的变比。

从图46)中可以看出， $\dot{E}'_{1T}$ 和 $\dot{E}'_{1H}$ 的相位相反， $\dot{E}'_{2T}$ 和 $\dot{E}'_{2H}$ 的相位相反，但其向量的绝对值不一定相等，需要靠调整互感器TKY1和TKY2变比来达到相等。

调整 n_{ky1} 和 n_{ky2} 可根据补偿条件来进行。如果采用第一种补偿方案时，则根据(5)式可类似求得：

$$Y_{1K} = Y_{2K} = \frac{1}{2}j\omega Cl$$

$$\text{或} \quad Y_{1K} = Y_{2K} = \frac{1}{2}j\omega Cl \frac{n_H}{n_T} \quad (12)$$

令(8)式的绝对值等于(10)式的绝对值，(9)式的绝对值等于(11)式的绝对值，则得：

$$n_{ky1} = \frac{2Rn_y}{1.5\sqrt{3}(k+1)} \cdot \frac{I_1}{U_1} = \frac{2Rn_y}{1.5\sqrt{3}(k+1)} Y_{1K} \quad (13)$$

$$n_{ky2} = \frac{2kRn_y}{1.5\sqrt{3}(k+1)} \cdot \frac{I_2}{U_2} = \frac{2kRn_y}{1.5\sqrt{3}(k+1)} Y_{2K} \quad (14)$$

把(12)式代入(13)式和(14)式即得：

$$n_{ky1} = \frac{\omega CRln_y}{1.5\sqrt{3}(k+1)} \cdot \frac{n_H}{n_T} \quad (15)$$

$$n_{ky2} = \frac{\omega CkRln_y}{1.5\sqrt{3}(k+1)} \cdot \frac{n_H}{n_T} \quad (16)$$

如果采用第二种补偿方案时，则可將(15)式和(16)式中的 n_{xy1} 和 n_{xy2} 的匝数减半，即

$$n'_{x1} = \frac{\omega C R l n_y}{1.5 \sqrt{3} \cdot 2(k+1)} \cdot \frac{n_H}{n_T} \quad (17)$$

$$n'_{x2} = \frac{\omega C R k l n_y}{1.5 \sqrt{3} \cdot 2(k+1)} \cdot \frac{n_H}{n_T} \quad (18)$$

高频发讯器操作元件的频率滤波器，由电感 L 、电阻 R_6 和 R_7 、电容 C_6 和 C_7 組成。频率滤波器的任务是限制高次谐波或低次谐波电流通向高频发讯器，亦即仅允許50赫芝电流通向高频发讯器。此外，为了加速保护裝置的动作时间，应限制短路电流非周期分量通向高频发讯器，频率滤波器中的 C_7 即起限制非周期分量通过的作用。

当滤波器 $i_1 + ki$ 输出端的电流数值变化时，要求在高频发讯器操作元件输出端上的电压相位保持于不变。为此，频率滤波器应由电容和电阻組成。

频率滤波器的参数，是按照在频率为50赫芝时频率滤波器的阻抗为有效阻抗的条件来选择的。当频率为50赫芝时，使频率滤波器的阻抗为下列关系：

$$R_7 = R_6; x_{C6} = x_{C7} = \frac{R_6}{2}; x_L = 0.3 R_6 \quad (19)$$

频率滤波器在50赫芝时的阻抗等于 $0.25 R_6$ 。

频率滤波器在50赫芝时的传输系数(即滤波器的输出电压对输入电压的比值)等于1.2。由于频率滤波器的输出电压提高了一些，所以高频发讯器操作元件的灵敏度也相应地提高了一些。

高频发讯器操作元件的频率特性曲线如图5所示。从图5中曲线可以看出，在高次谐波或低次谐波情况下，频率滤波器都有良好的限制作用。