

电力系统继电保护讲义

第一册

阿城继电器厂教育科编印

电力系统继电保护讲义

第 一 册

阿 城 继 电 器 厂 教 育 科 编 印

内 容 提 要

本讲义详细讲述GCH—IA相差动高频保护的工作原理及调试方法。

本册共分七章，分别介绍 GCH—IA 相差动高频保护继电器部分、SF—IA收发讯机及高频通道等三个部分的工作原理及调试方法。

本讲义是从事继电保护工作的运行、管理、调试、设计人员的专业读物，并可作为高等院校的教学参考书。

前 言

为了适应四个现代化建设的需要，为了满足我厂技职人员和工人以及电力部门与广大用户调试，运行、管理、设计人员学习需要，我们组织编写了《电力系统继电保护讲义》做为内部学习用书。

《电力系统继电保护讲义》第一册由郑龙淳同志编写，第二册由蒋茂官、杨子山、姜振山、胡金声等四名同志分篇编写一、二、三、四篇，又承刘义生等同志校阅。

讲义初稿写出后，得到全国电力系统使用部门一百多个单位有关同志的大力支持和协助，特此表示感谢。

由于编写时间仓促，加之我们缺乏经验，此书缺点在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

一九八〇年五月

目 录

概 述

第一章 GCH—IA型相差动高频保护的构成及原理

- 第一节 GCH—IA型相差动高频保护的工作原理……………(2)
- 第二节 负序电流滤过器及起动部分……………(6)
- 第三节 复合电流滤过器及操作部分……………(9)
- 第四节 相位比较回路……………(19)
- 第五节 阻抗继电器……………(24)
- 第六节 直流回路……………(25)

第二章 GCH—IA型相差动高频保护的技术数据及结构

- 第一节 结构……………(29)
- 第二节 技术数据……………(29)

第三章 GCH—IA相差动高频保护之调试

……………(31)

第四章 SF—IA型收发讯的工作原理

概 述

- 第一节 振荡回路……………(46)
- 第二节 操作回路……………(48)
- 第三节 中间电压放大回路……………(53)
- 第四节 功率放大回路……………(54)
- 第五节 发讯机输出回路……………(56)

第六节	收讯机入口回路.....	(59)
第七节	收讯机入口高频放大器.....	(77)
第八节	收讯检波器及输出回路.....	(78)
第九节	通话回路.....	(81)
第十节	电源、灯丝及测量回路.....	(83)
第十一节	收讯机的灵敏特性曲线.....	(86)
第十二节	收讯机的选择性特性曲线.....	(90)
第十三节	收发讯机的操作特性.....	(92)
第十四节	收发讯机的若干性能.....	(94)

第五章 SF—IA 收发讯机调试

.....	(97)
-------	--------

第六章 高频通道的构成原理

第一节	高压输电线的高频通道.....	(127)
第二节	高频阻波器.....	(130)
第三节	耦合电容器及连结合滤波器.....	(139)
第四节	高频电缆.....	(146)
第五节	高频通道检验.....	(149)

第七章 负荷电流负荷电压试验

.....	(153)
-------	-------

概 述

随着我国社会主义建设事业的迅速发展，现代高压电网的规模越来越大，装机容量及输送容量也越来越大，对系统稳定性的要求也越来越高，要求在输电线路任何一点发生故障时，必须瞬时切除两侧电源。

但一般所采用的只反映输电线路一端电气量变化的电流方向保护及距离保护等装置，由于电压互感器和电流互感器的误差，装置本身性能及整定试验误差以及故障时受过渡过程影响，不能满足上述要求。

线路纵差保护虽能满足上述要求，但线路长度超过10~20公里时，受技术和经济条件限制以及所采用的辅助导线本身发生故障时降低装置可靠性之原因不能得到广泛应用。

在远距离高压输电线路广泛采用以电力线路作为高频通道，比较线路两侧电气量的高频保护。

高频保护从高频信号所起作用可分传送闭锁信号的保护、传送跳闸信号的保护和传送允许跳闸信号的保护。

它一般有三种，一种是比较两侧电流相位的称之为相差动高频保护，另一种是比较线路两侧功率方向的称之为方向高频保护，还有一种是本侧保护起动后，发出高频信号使线路对侧保护跳闸的远方跳闸式高频保护。

这几种高频保护在我国均得到广泛采用，并有长期运行经验，实践证明，高频保护与其他保护比较，正确动作率高，运行维护方便等优点。

这几种高频保护均由继电器部分、高频收发讯机、高频通道等三个部分所组成。

下面介绍对GCH—IA型相差动高频保护的继电器部分、SF—IA收发讯机及高频通道的工作原理及调试。

第一章 GCH—IA型 相差动高频保护的构成及原理

第一节 GCH—IA型相差动高频保护的工作原理

相差动高频保护的原理接线图如图 1—1 所示。它由继电保护、收发讯机、高频通道等三个部分所组成。

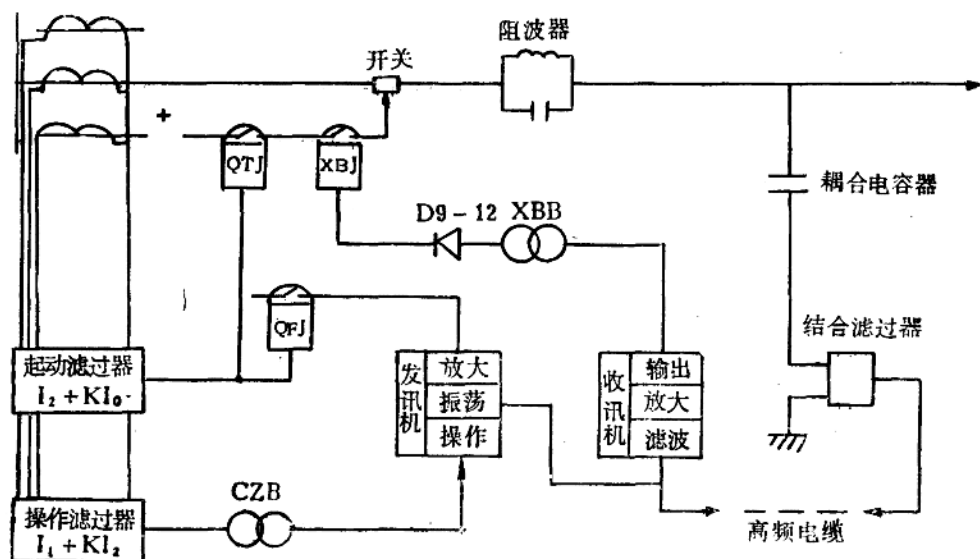


图 1—1

继电保护部分主要由起动元件、操作元件、相位比较元件以及直流辅助继电器等四个元件组成。

起动元件 $I_2 + KI_0$ 之起动滤过器，QFJ、QTJ 起动继电器所构成，操作元件由 $I_1 + KI_2$ 操作滤过器以及操作变压器 CZB 而构成，相位比较元件由 XBB 相位比较变压器 $D_9 \sim D_{12}$ 整流桥及相位比较继电器 XBJ 所构成。

收发讯机由发讯机与收讯机所构成。

高频通道由电力线、阻波器、耦合电容器、连接滤波器、高频电缆等元件所构成。

相差动高频保护当线路发生短路时，利用两侧收发讯机发出的高频讯号来比较两侧电流相位，以决定故障点发生于线路内部还是外部，由于它仅比较两侧电流相位，故不反映振荡，可在串联电容补偿线路上应用，线路两相运行时不会误动作等特点。

当线路发生短路故障时，起动滤波器有输出，两个起动继电器QFJ、QTJ动作，QFJ去起动发讯机，QTJ去接通跳闸回路。与此同时， $I_1 + KI_2$ 之操作元件，有单相操作正弦电压输出经CZB操作变压器来操作发讯机，发讯机发出经操作的方块波一方面通过高频通道传送至对侧，另一方面送至本侧收讯机，这样两侧收讯机同时收到两侧发讯机发出的高频方块波。

当短路点在线路内部时，两侧高频方块波重迭，经收讯机放大检波后输出脉动电流输出给比相变压器XBB，其二次感应电势经整流后使比相继电器XBJ动作，去跳开断路器。

当短路点在保护区外时，两侧高频方块波间隙相互填满，经收讯机放大检波后，加至输出管栅极电位为负，板极电流为零，比相变压器一次侧没有电流，其二次也没有感应电势，XBJ不动作。

现将各元件之作用简述如下：

一、起动元件

起动元件利用故障电流中的负序及零序电流分量，使继电器QFJ、QTJ动作，QFJ起动发讯机，QTJ去准备跳闸回路。

从相差动高频保护工作原理来说，它是比较两侧电流高频信号的相位关系，并不需要起动元件，但为什么设置起动元件呢？其目的在于：

- ①鉴别系统发生故障与正常运行；
- ②防止发讯机长期工作，提高电子管的寿命；
- ③防止高频收发讯机长期运行，其本身发生故障时，保护装置可能误动作。

对起动元件的基本要求是在保证线路两侧的发讯机均已发讯后，才能比相回路接入及准备跳闸回路。并起动元件返回后带一延时准备跳闸回路断开以后停讯。

起动元件为什么要设置两个？如果只用一只继电器，既用来起动发讯机又用来准备跳闸回路，在下述情况下将发生误动作。当保护线路发生外部短路时，而短路电流又恰

好等于起动值时,由于仪表误差等可能会引起一侧发讯而另一侧不发讯,而造成误跳闸。为了避免这一问题,设置两个起动继电器, QFJ作为起动发讯机, 它的整定值比较灵敏, QTJ用来准备跳闸, 它的动作值整定比较大, 一般QFJ继电器的整定应按躲开最大负荷电流来考虑, QTJ至少比QFJ大1.6~2倍, 而QTJ整定时应满足下列两个条件:

①在最不利的条件下, 任何一侧QTJ动作时, 应保证两侧QFJ已动作。

②最小运行方式下, 应保证于内部短路故障时, 对QTJ有足够的灵敏度, 灵敏系数应大于1.5。

准备跳闸回路的动作时间应较起动发讯机回路为慢, 以防止由于一侧发讯机未动作前, 可能产生的误动作, 同理, 发讯机停止发讯的时间, 应较准备跳闸回路为晚。

起动元件QFJ、QTJ只能反映系统的不对称故障。除此之外, 装置还设有反映对称故障的电流继电器LJ1、LJ2和阻抗继电器ZKJ。

二、操作元件

操作元件是利用故障电流中以正序与负序分量电流通过操作滤过器, 将其变为一个和电流成正比例及有一定相位关系的单相电压, 再通过操作变压器CZB操作发讯机, 以便进行相位比较。

操作滤过器采用 $I_1 + KI_2$ 的复合滤过器, 其主要原因是充分利用负序电流的相位不受两侧电源相角差的影响, 从而提高保护装置在保护范围内部不对称故障的灵敏度。在三相对称短路时, 此时无负序分量, 所以仅仅利用负序电流操作, 不能保证保护装置在对称短路时的正确工作, 此时需依靠正序电流操作, 但如果仅利用正序电流 I_1 操作发讯机, 它不但受到两侧电源相角差的影响, 在某些严重情况下, 保护装置不能正确工作。

三、相位比较元件

该元件的作用是判定短路故障发生的地点在区内还是在区外, 判定方法是根据线路两侧发讯机发出的高频脉冲间的相位角差。对相位比较元件之基本要求:

①能正确反应两侧电流的相位角差。

②在保证对侧能正确比相的高频讯号到达之后才开始工作。

其工作原理如下:

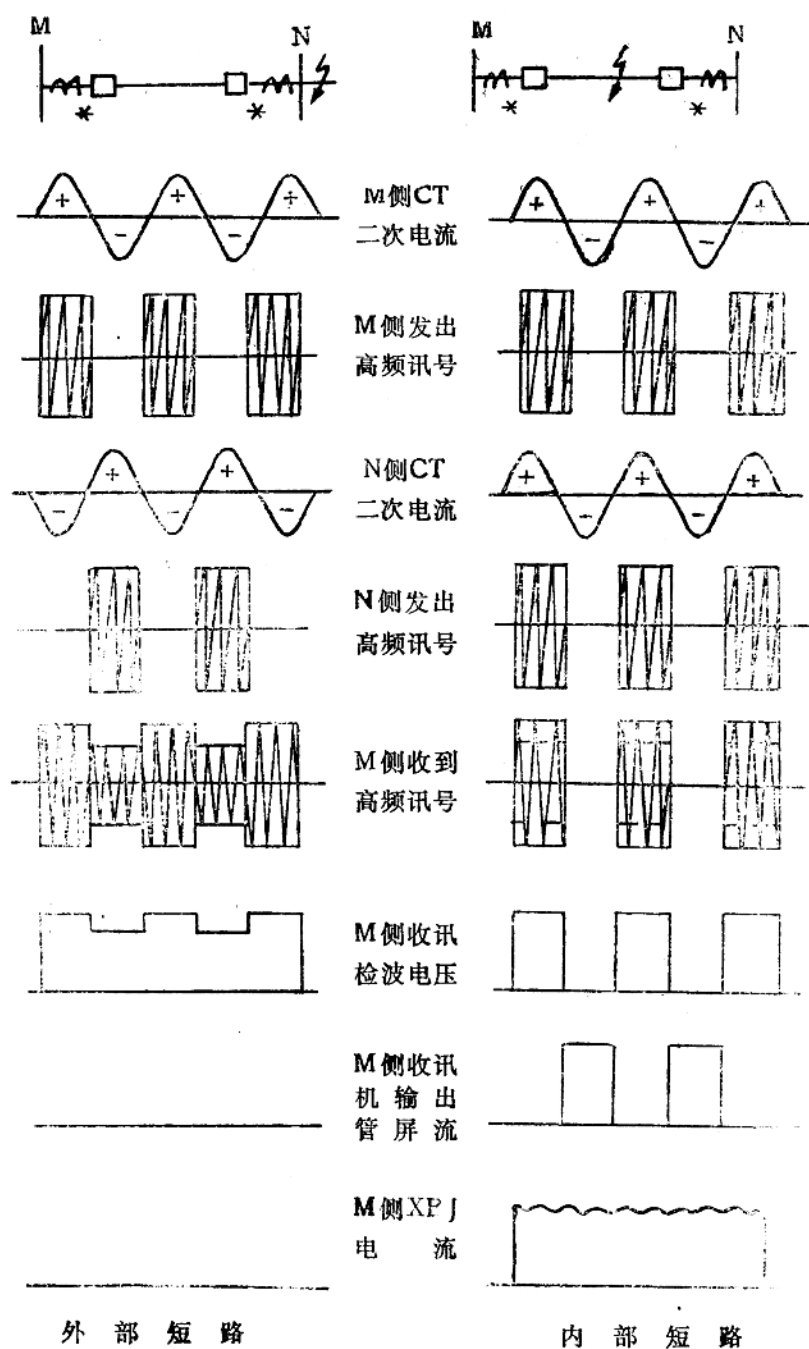


图 1-2

图 1—2 中,线路两侧的电流互感器都接成母线指向线路为正极性,当线路发生外部故障时, M侧短路电流方向为正极性, N侧短路电流方向为反极性,在理想情况下相位相差 180° ,因两侧收发讯机均在正半周操作,所以两侧收讯机均收到连续高频讯号,此时在收讯机输出管的栅极上长期出现负的栅压,使屏流下降为零。此时XBB比相变压器一、二次均无电流,XBJ不动作。

当线路发生内部故障时,两侧电流同极性(同相),此时两侧收讯机均收到重叠的间隔为 180° 的断续高频讯号,收讯机输出管输出对应50周脉动电流通过比相变压器XBB的一次侧,在其二次感应一交流电势,通过 D_9-i_2 整流桥整流,使XBJ继电器动作去跳闸。

四、直流辅助继电器

它用来满足在各种不同故障情况下,预先考虑好的逻辑关系,使装置正确工作。

第二节 负序电流滤过器及起动部分

负序电流滤过器由带气隙的电抗变压器DKB1,电流互感器LH及电阻 $1R_1$ 组成。其原理接线图如图 1—3 所示。

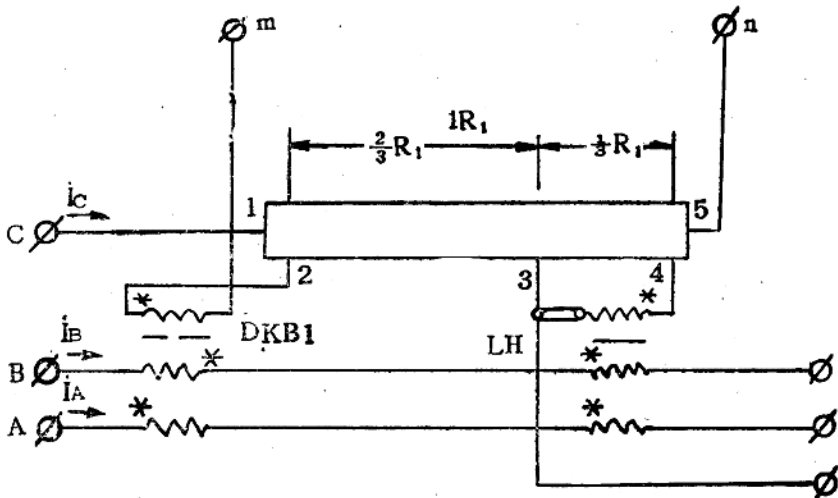


图 1—3

LH电流互感器一、二次各绕组匝数相同,可消除零序分量,二次侧线圈接于 R_1 工作部分电阻的 $\frac{2}{3}$ 处。为消除零序分量电抗变压器的互感抗为 X_m , X_m 满足 $R_1/\sqrt{3}$,此时

滤波器输出总电势 $\dot{U}_{mn}$ 将只反映负序分量，不反映正序分量和零序分量。其原理如下：

负序电流滤波器的输出电压为：

$$\begin{aligned}\dot{U}_{mn} &= -\dot{U}_D + \frac{2}{3}\dot{I}_C R_1 - \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \dot{I}_B) R_1 \\ &= -j \frac{R_1}{\sqrt{3}}(\dot{I}_A - \dot{I}_B) + \frac{2}{3}\dot{I}_C R_1 - \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \dot{I}_B) R_1\end{aligned}$$

1、当输入正序电流时其输出电压：（其向量图如图1—4所示）

$$\begin{aligned}\dot{U}_{mu} &= -j \frac{R_1}{\sqrt{3}}(\dot{I}_{A1} - \dot{I}_{B1}) + \frac{2}{3}R_1\dot{I}_{C1} - \frac{1}{3}R_1(\dot{I}_{A1} + \dot{I}_{B1}) \\ &= -R_1\dot{I}_{C1} + \frac{2}{3}R_1\dot{I}_{C1} + \frac{1}{3}R_1\dot{I}_{C1} = 0\end{aligned}$$

输入正序电流时滤波器输出电压为零。

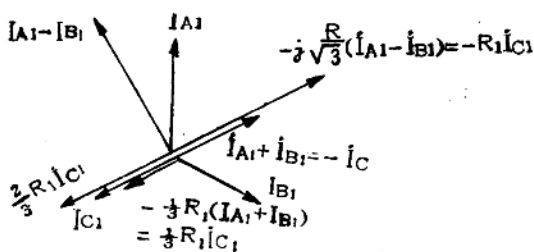


图 1—4

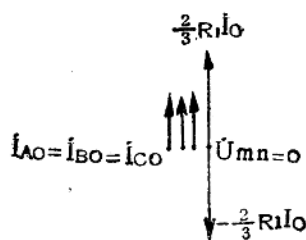


图 1—5

2、当输入零序电流时其输出电压：（向量图如图1—5所示）

$$\begin{aligned}\dot{U}_{mn} &= -j \frac{R_1}{\sqrt{3}}(\dot{I}_{A0} - \dot{I}_{B0}) + \frac{2}{3}R_1\dot{I}_{C0} - \frac{1}{3}R_1(\dot{I}_{A0} + \dot{I}_{B0}) \\ &= 0 + \frac{2}{3}R_1\dot{I}_{C0} - \frac{2}{3}R_1\dot{I}_{C0} = 0\end{aligned}$$

输入零序电流时其输出电压亦为零。

3、当输入负序电流时其输出电压：（向量图如图1—6所示）

$$\begin{aligned}\dot{U}_{mn} &= -j \frac{R_1}{\sqrt{3}}(\dot{I}_{A2} - \dot{I}_{B2}) + \frac{2}{3}R_1\dot{I}_{C2} - \frac{1}{3}R_1(\dot{I}_{A2} + \dot{I}_{B2}) \\ &= -j \frac{R_1}{\sqrt{3}}j\sqrt{3}\dot{I}_{C2} + \frac{2}{3}R_1\dot{I}_{C2} + \frac{1}{3}R_1\dot{I}_{C2} = 2R_1\dot{I}_{C2}\end{aligned}$$

输入负序电流时其输出电压为2倍之 $\dot{I}_{C2}R_1$ 。

序号	通入电流	相当各相流	负序电流滤波器输出电压计算式	负序电流滤波器输出电压向量图
1	$\dot{I}_{AB}$	$I_A = \dot{I}_{AB}$ $I_B = -\dot{I}_{AB}$ $I_C = 0$	$\dot{U}_{mn} = -2jX_m \dot{I}_{AB}$ $ \dot{U}_{mn} = 2X_m I_{AB} = \frac{2}{\sqrt{3}} R_1 I_{AB}$	
2	$\dot{I}_{BC}$	$I_A = 0$ $I_B = \dot{I}_{BC}$ $I_C = -\dot{I}_{BC}$	$\dot{U}_{mn} = jX_m \dot{I}_{BC} - R_1 \dot{I}_{BC}$ $ \dot{U}_{mn} = \sqrt{R_1^2 + X_m^2} \cdot I_{BC}$ $= 2X_m I_{BC} = \frac{2}{\sqrt{3}} R_1 I_{BC}$	
3	$\dot{I}_{CA}$	$I_A = -\dot{I}_{CA}$ $I_B = 0$ $I_C = \dot{I}_{CA}$	$\dot{U}_{mn} = jX_m \dot{I}_{CA} + R_1 \dot{I}_{CA}$ $ \dot{U}_{mn} = \sqrt{X_m^2 + R_1^2} \cdot I_{CA}$ $= 2X_m I_{CA} = \frac{2}{\sqrt{3}} R_1 I_{CA}$	
4	$\dot{I}_{AO}$	$I_B = I_C = 0$ $I_A = \dot{I}_{AO}$	$\dot{U}_{mn} = -jX_m \dot{I}_{AO} - \frac{1}{3} R_1 \dot{I}_{AO}$ $ \dot{U}_{mn} = \sqrt{X_m^2 + 1/9 R_1^2} I_{AO}$ $= \frac{2}{\sqrt{3}} X_m I_{AO} = \frac{1}{3} R_1 I_{AO}$	
5	$\dot{I}_{BO}$	$I_A = I_C = 0$ $I_B = \dot{I}_{BO}$	$\dot{U}_{mn} = jX_m \dot{I}_{BO} - \frac{1}{3} R_1 \dot{I}_{BO}$ $ \dot{U}_{mn} = \frac{2}{\sqrt{3}} X_m I_{BO} = \frac{1}{3} R_1 I_{BO}$	
6	$\dot{I}_{CO}$	$I_A = I_B = 0$ $I_C = \dot{I}_{CO}$	$\dot{U}_{mn} = \frac{1}{3} \dot{I}_{CO} R_1$ $ \dot{U}_{mn} = \frac{1}{3} R_1 I_{CO}$	

表 1—1 通入不同电流时滤波器输出计算式和向量图

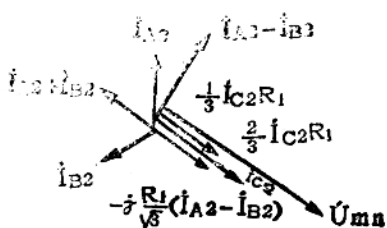


图 1-6

$$\dot{U}_{mnk_2} = 2 X_m \dot{I}_{k_2} = \frac{2}{\sqrt{3}} R_1 \dot{I}_{k_2}$$

$$\dot{U}_{mnk_1} = \frac{2}{\sqrt{3}} X_m \dot{I}_{k_1} = \frac{2}{3} R_1 \dot{I}_{k_1}$$

所以当负序电流滤过器输入电流满足 $I_{A2} = I_{B2} = I_{C2} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{A0} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{B0} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{C0}$ 时输出电压相等。通过不同电流时，滤过器输出计算式和向量图如表 1-1 所示。

起动部分除负序滤过器外还设有速饱和变流器 BLH₂ 及 BLH₀。

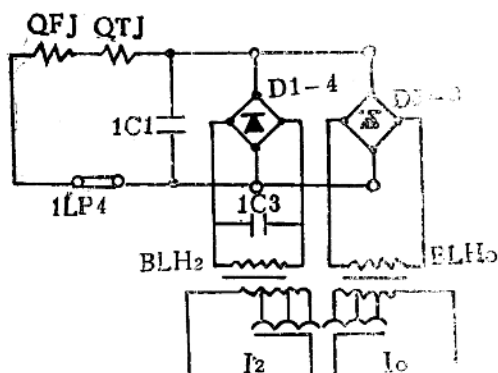


图 1-7

起动回路输出执行部分如图 1-7 所示。

负序与零序输出经两个速饱和变流器 BLH₂ 及 BLH₀。整流后去起动 QFJ、QTJ 两个起动继电器。

1C₃ 电容作五次谐波滤波用，1C₁ 为整流滤波电容。

第三节 复合电流滤过器及操作部分

复合电流 $(I_1 + KI_2)$ 滤过器由电抗变压器 DKB4 和电阻 $2R_3$ 构成。调整 DKB4 之二次线圈匝数可改变 K 值。其原理接线图如图 1-8 所示。

滤过器输出电压为:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{mn} &= \dot{U}_D + \dot{U}_A + \dot{U}_{BC} \\ &= jX_m (\dot{I}_B - \dot{I}_C) - \frac{2}{3} \dot{I}_A R_3 + \frac{1}{3} (\dot{I}_B + \dot{I}_C)\end{aligned}$$

式中 $\dot{U}_D$: DKB 4 的二次电势;

$\dot{U}_A$: $\dot{I}_A$ 在 $\frac{2}{3}R_3$ 上电压降;

$\dot{U}_{BC}$: $(\dot{I}_B + \dot{I}_C)$ 在 $\frac{1}{3}R_3$ 上电压降。

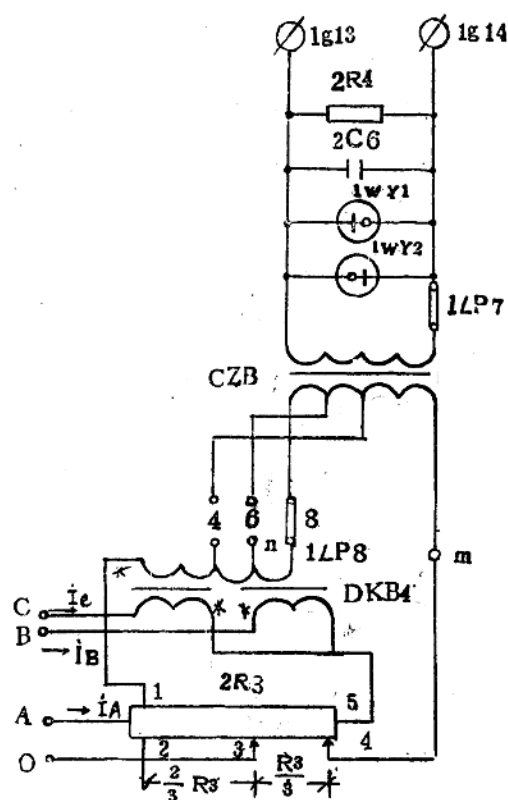


图 1-8

总的输出:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{mn} &= \dot{U}_{mn1} + \dot{U}_{mn2} + \dot{U}_{mno} \\ &= (\sqrt{3} X_m - R_3) \dot{I}_{A1} - (\sqrt{3} X_m + R_3) \dot{I}_{A2}\end{aligned}$$

现利用对称分量法分析该滤过器的
总输出电压如下: (向量图如图 1-9)
对正序分量:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{mn1} &= jX_m (\dot{I}_{B1} - \dot{I}_{C1}) \\ &\quad - \frac{2}{3} \dot{I}_{A1} R_3 + \frac{1}{3} (\dot{I}_{B1} + \dot{I}_{C1}) R_3 \\ &= \sqrt{3} X_m \dot{I}_{A1} - \frac{2}{3} \dot{I}_{A1} R_3 - \frac{1}{3} \\ &\quad j_{A1} R_3 = (\sqrt{3} X_m - R_3) \dot{I}_{A1}\end{aligned}$$

对负序分量:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{mn2} &= jX_m (\dot{I}_{B2} - \dot{I}_{C2}) - \\ &\quad \frac{2}{3} \dot{I}_{A2} R_3 + \frac{1}{3} R_3 (\dot{I}_{B2} + \dot{I}_{C2}) \\ &= -\sqrt{3} X_m \dot{I}_{A2} - \frac{2}{3} \dot{I}_{A2} R_3 - \frac{1}{3} \\ &\quad R_3 \dot{I}_{A2} = -(\sqrt{3} X_m + R_3) \dot{I}_{A2}\end{aligned}$$

对零序分量:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{mno} &= jX_m (\dot{I}_{B0} - \dot{I}_{C0}) \\ &\quad - \frac{2}{3} \dot{I}_{A0} R_3 + \frac{1}{3} R_3 (\dot{I}_{B0} + \dot{I}_{C0}) \\ &= 0\end{aligned}$$

以 $\dot{I}_1$ 代替 $\dot{I}_{A1}$ ， $\dot{I}_2$ 代替 $\dot{I}_{A2}$ ，并以 $\sqrt{3} X_m - R_s$ 除等式两边得到，

$$\frac{\dot{U}_{mn}}{\sqrt{3} X_m - R_s} = \dot{I}_1 + \frac{R_s + \sqrt{3} X_m}{R_s - \sqrt{3} X_m} \dot{I}_2 = \dot{I}_1 + K \dot{I}_2$$

$$\therefore K = \frac{R_s + \sqrt{3} X_m}{R_s - \sqrt{3} X_m} = \frac{R_s / \sqrt{3} X_m + 1}{R_s / \sqrt{3} X_m - 1}$$

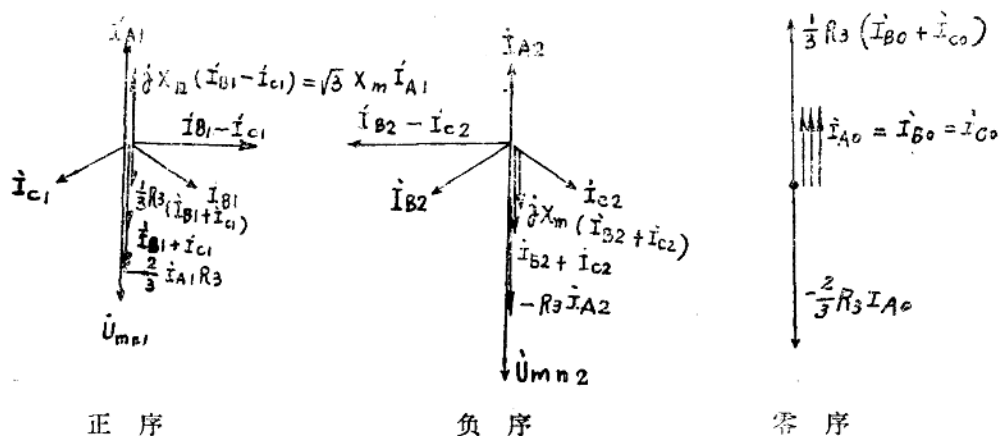


图 1—9

从上式可知改变 X_m （即改变DKB 4 的二次抽头），可改变 K 值的大小。

由以上分析可以看出：因为 $(\sqrt{3} X_m - R_s)$ 为一常数，所以该滤波器的输出电压 U_{mn} 与 $\dot{I}_1 + K \dot{I}_2$ 成正比。 K 值中 R_s 为 $2 R_s$ 的工作部分， X_m 为DKB 4 的互感抗，其数值求法和负序电流滤波器的 X_m 相同。

为了使保护装置动作可靠，对 K 值稳定性要求很严格，根据上式给出 $K = f\left(\frac{R_s}{X_m}\right)$ 曲线如图 1—10 所示。

由曲线可知：

①当 $K \geq 8$ 时，由于 R_s 电阻值或DKB 4 互感抗 X_m 的不稳定，而使 $\frac{R_s}{X_m}$ 的微小变化对 K 值的影响甚大；

②当 $K \leq 4$ 时， $\frac{R_s}{X_m}$ 的变化对 K 值的影响较小，但 K 值取小后，在两相短路接地故障时，保护装置的可靠性较差。