

1327

71471
6041

继电保护整定计算基础

吴希再 何惠慈 赵家奎编著



武汉工业大学出版社

鄂新登字 13 号

内 容 摘 要

本书主要讲述各种继电保护的整定计算方法，它与高等学校教材“电力系统继电保护原理与运行”（华中理工大学编、水利电力出版社出版）一书相配套。

全书共分两篇。第一篇讲述与整定计算有关的电力系统知识及晶体管电路；第二篇介绍常用继电保护的整定计算方法和进行整定计算分析。

本书是有关专业的本、专科师生的教学参考书，也可供从事电力系统继电保护工作的工程技术人员和自学者参考。

继电保护整定计算基础
吴希再 何惠慈 赵家奎 编著

武汉工业大学出版社发行
武汉汉阳大山印刷厂印刷

开本：787×1097 1/16 印张：18.5 字数：400 千
1993 年 4 月第一版 1993 年 4 月第一次印刷
印数 1—2000

ISBN 7-5629-0750-1/TM·12

定价：14.50 元

引 言

实践证明，电力系统在运行过程中总是可能发生各种故障和不正常运行情况的，发生这些情况后，电气设备和电力用户的正常工作将遭受破坏。因此，必须靠装设在每个电气设备上的继电保护装置来防止电力系统事故的扩大，保证无故障部分连续供电以及维持系统运行的稳定性。

但是，要完成上述任务，除了要选用原理正确、性能良好的继电保护装置外，正确的进行继电保护整定计算也是十分重要的。本书正是为达到这一目的而编写。它与高等学校教材“电力系统继电保护原理与运行”（华中理工大学编）一书相配套。“运行”一书主要叙述原理，而本书则从整定计算方面对它进行补充。因此，对学习继电保护的人来说肯定会得益不浅。

本书共分两篇。第一篇介绍进行继电保护整定计算所必须的基础知识，第二篇介绍各种常用继电保护的整定计算原则与方法。第一篇由何惠慈编写，第二篇由吴希再、何惠慈、赵家奎编写。全书由吴希再统稿。

本书经朱家万同志审阅，并提出许多宝贵意见，作者谨在此表示深切的谢意。

本书得以出版是因为得到了中国水利电力企业管理协会城市供用电研究会的支持及帮助，作者亦表示感谢。

由于作者水平有限，编写时间仓促，错误难免，敬请读者批评指正。

编著者

1993.3

目 录

第一篇 基础知识

第一章 对称分量法与对称分量滤波器	(1)
§ 1-1 对称分量法的基本原理	(1)
§ 1-2 变换器与对称分量滤波器	(3)
§ 1-3 参数计算举例	(15)
第二章 电力系统元件的等值电路及参数计算	(25)
§ 2-1 序阻抗的含义及等值的概念	(25)
§ 2-2 同步电机的电抗	(26)
§ 2-3 变压器的等值电路及参数计算	(28)
§ 2-4 输电线路的等值电路及参数计算	(32)
§ 2-5 计算举例	(35)
第三章 短路电流、电压的计算方法	(38)
§ 3-1 标么值	(38)
§ 3-2 电力系统三相短路时起始次暂态电流的实用计算举例	(43)
§ 3-3 电力系统不对称短路时电流、电压的计算	(45)
第四章 继电保护中常用的晶体管电路	(60)
§ 4-1 几种常用晶体管电路的简单原理	(60)
§ 4-2 参数分析计算	(72)
第五章 直线和圆的数学表达式	(80)
§ 5-1 直线的数学表达式	(80)
§ 5-2 圆的数学表达式	(81)

第二篇 整定计算

第六章 输电线路相间短路的电流、电压保护	(93)
§ 6-1 整定计算公式	(93)
§ 6-2 整定计算分析	(99)
第七章 输电线路接地短路零序电流、电压保护	(124)
§ 7-1 整定计算公式	(124)
§ 7-2 整定计算分析	(127)
第八章 输电线路距离保护的整定计算及阻抗继电器静态运行特性的分析法	

.....	(146)
§ 8-1 概述	(146)
§ 8-2 距离保护的整定计算公式	(146)
● § 8-3 阻抗继电器静态运行特性的分析方法	(151)
§ 8-4 整定计算分析	(159)
第九章 输电线路高频保护的整定计算	(192)
§ 9-1 概述	(192)
§ 9-2 高频相差保护的整定计算	(192)
§ 9-3 高频闭锁方向保护的整定计算	(198)
§ 9-4 整定计算分析	(201)
第十章 输电线路的三相自动重合闸	(221)
§ 10-1 三相自动重合闸装置的整定计算	(221)
§ 10-2 计算分析	(223)
第十一章 电力变压器的保护	(230)
§ 11-1 电力变压器的故障及应装设的保护	(230)
§ 11-2 变压器保护的整定计算原则	(230)
§ 11-3 整定计算分析	(237)
第十二章 同步发电机的保护	(253)
§ 12-1 同步发电机的故障及应装设的保护	(253)
§ 12-2 同步发电机保护的整定计算	(254)
§ 12-3 整定计算分析	(260)
第十三章 母线保护	(272)
§ 13-1 装设母线保护的一般原则	(272)
§ 13-2 母线保护的整定计算	(272)
§ 13-3 计算分析	(274)
附录一	(282)
附录二	(283)
参考文献	(284)

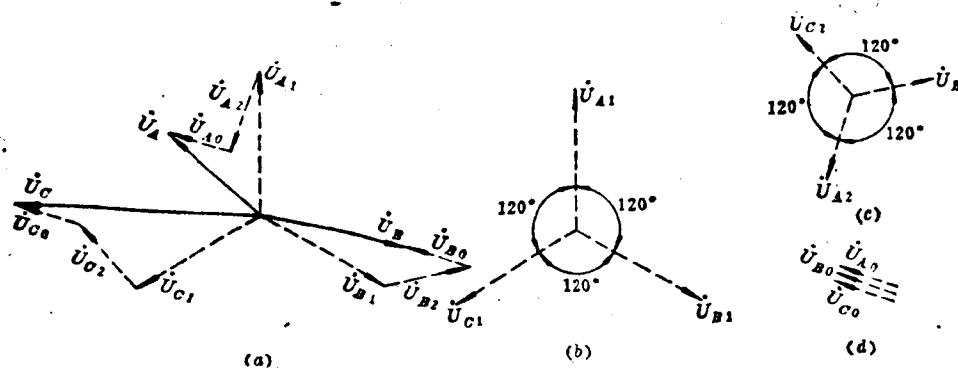
第一篇 基础知识

第一章 对称分量法与对称分量滤波器

§ 1-1 对称分量法的基本原理

在分析线性三相不对称电路系统，如单相接地短路、两相接地短路、两相短路、两相运行等系统时，对系统中的不对称电量（电压、电流等）一般采用对称分量法分析。

所谓对称分量法就是将一组三相不对称电量，例如 \dot{U}_A 、 \dot{U}_B 、 \dot{U}_C 如图 1-1 (a) 所示，先分解成三个不同的对称系统，图 1-1 (b)、(c)、(d)，所示，然后再将这三个对称系统分别按对称三相电路求解，最后将结果迭加即得到不对称三相电路的解答。



(a) 不对称电压向量图 (b) 正序系统 (c) 负序系统 (d) 零序系统

图 1-1 不对称分量和各序对称分量

以上所说的三个对称系统分别是：

正序系统：如图 1-1 (b) 所示， \dot{U}_{A1} 、 \dot{U}_{B1} 、 \dot{U}_{C1} 它们构成 \dot{U}_A 、 \dot{U}_B 、 \dot{U}_C 的正序对称分量。其绝对值相等，相位差 120° 。其相序与系统正常对称运行时的相序相同。若以 A 相为基准，则：

$$\dot{U}_{A1} = \dot{U}_{A1} e^{j0^\circ} \quad \dot{U}_{B1} = \dot{U}_{A1} e^{j240^\circ} \quad \dot{U}_{C1} = \dot{U}_{A1} e^{j120^\circ}$$

负序系统：如图 1-1 (c) 所示， \dot{U}_{A2} 、 \dot{U}_{B2} 、 \dot{U}_{C2} 它们构成 \dot{U}_A 、 \dot{U}_B 、 \dot{U}_C 的负

序对称分量。其绝对值相等，相位差 120° ，相序与系统正常对称运行时相反。若以 A 相为基准，则：

$$\dot{U}_{A2} = \dot{U}_{A2} e^{j0^\circ} \quad \dot{U}_{B2} = \dot{U}_{A2} e^{j120^\circ} \quad \dot{U}_{C2} = \dot{U}_{A2} e^{j240^\circ}$$

零序系统：如图 1-1 (d) 所示， \dot{U}_{A0} 、 \dot{U}_{B0} 、 \dot{U}_{C0} 它们构成 \dot{U}_A 、 \dot{U}_B 、 \dot{U}_C 的零序对称分量。其绝对值相等，相位相同。

于是利用迭加原理，三组对称分量构成的一组不对称分量为：

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0} \\ \dot{U}_B &= \dot{U}_{B1} + \dot{U}_{B2} + \dot{U}_{B0} \\ \dot{U}_C &= \dot{U}_{C1} + \dot{U}_{C2} + \dot{U}_{C0} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

那么，任意一组不对称分量是否都能找到与之相对应的完全确定的三组对称分量呢？

为了解决此问题，首先引入运算符号 a ，令 $a = 1 \cdot e^{j120^\circ}$ ，则 a 有如下性质：

$$a^2 = a \cdot a = 1 \cdot e^{j240^\circ}, \quad a^3 = 1, \quad 1 + a + a^2 = 0,$$

把 a 代入 (1-1) 式中有：

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{U}_{A0} + \dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} \\ \dot{U}_B &= \dot{U}_{A0} + a^2 \dot{U}_{A1} + a \dot{U}_{A2} \\ \dot{U}_C &= \dot{U}_{A0} + a \dot{U}_{A1} + a^2 \dot{U}_{A2} \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

上式用矩阵形式表示为：

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_A \\ \dot{U}_B \\ \dot{U}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_{A1} \\ \dot{U}_{A2} \\ \dot{U}_{A0} \end{bmatrix} \quad (1-3)$$

因 (1-3) 式参数矩阵：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix}$$

非奇异，它的唯一的逆阵为：

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

根据线性变换的原则将 (1-3) 式两端分别左乘 A^{-1} ，可得

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{A1} \\ \dot{U}_{A2} \\ \dot{U}_{A0} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_A \\ \dot{U}_B \\ \dot{U}_C \end{bmatrix}$$

即:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{A1} &= \frac{1}{3}(\dot{U}_A + a\dot{U}_B + a^2\dot{U}_C) \\ \dot{U}_{A2} &= \frac{1}{3}(\dot{U}_A + a^2\dot{U}_B + a\dot{U}_C) \\ \dot{U}_{A0} &= \frac{1}{3}(\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C) \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

(1-4) 式为任何一组三相不对称系统分解为三个对称系统的线性变换式。以上分析表明这种分解是唯一的。

§ 1-2 变换器与对称分量滤过器

目前, 在电力系统继电保护中, 广泛采用序分量构成保护装置。由于有些序分量, 例如负序分量、零序分量, 只有在故障情况下才出现, 所以易同时满足选择性和灵敏度的要求。还可以减少使用继电器的数目, 从而提高保护的可靠性。因此, 近年来对称分量滤过器已成为继电保护装置的重要组成部分。

所谓对称分量滤过器是一种能从三相全电流或全电压中滤出正序、负序或零序分量的装置, 当输入端引进三相全电流或全电压时, 输出端即可得到与引进电气量中存在的某一个相序分量, 或某两个不同的相序分量, 或与复合相序分量成比例的电气量。

由于对称分量滤过器往往是各种小型变压器(或称变换器)和其他电气元件组成的。因此, 在介绍对称分量滤过器的构成之前, 先介绍继电保护中经常用到的几种变换器的作用及工作特点。

一、变换器 YH (YB), LH (LB), KH (DKB) 的工作特点。

在晶体管继电保护中, 广泛采用了变换器。目前, 最常用的变换器有电流变换器(LH), 电压变换器(YH)和电抗变换器(KH)三种, 这三种变换器的表示符号如

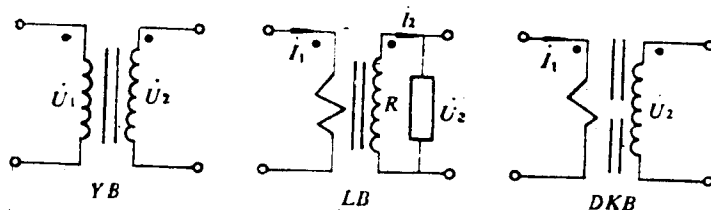


图 1-2 三种铁芯元件的表示法

图 1-2 所示。下面, 简单介绍它们在继电保护中的作用和工作特性。

(一) 变换器在继电保护中的作用

1、晶体管保护装置是在弱电信号下工作的，而一次电流、电压通过电流互感器(CT)和电压互感器(PT)变换之后的二次值通常为5A和100V，这些电流、电压不能适应晶体管逻辑电路的要求，为此，采用变换器以降低它们的幅值。

2、晶体管保护的逻辑电路，大都采用电压量来工作，但电流互感器的二次输出却是电流，它不能适应晶体管电路工作的需要，为此，要借用变换器，将电流变换成电压。

3、系统中根据安全的需要，CT、PT的二次侧往往都接地运行，而晶体管电路却不允许接地运行。同时，CT、PT的输出是交流强电信号，而晶体管电路却是直流弱电信号，为此，借用变换器进行电的隔离。

4、继电保护装置在运行中，常会碰到一些干扰信号，对于电磁型继电器来说，因其灵敏度低，短时的干扰信号不会对它有多少危害。但晶体管保护装置的灵敏度高，干扰信号可能使其误动。使用变换器后，可以在一次线圈与二次线圈之间加一个接地的屏蔽层，当交流电源侧有干扰信号侵入时，干扰信号通过屏蔽层与一次、二次线圈的分布电容流入地，从而避免了干扰信号侵入晶体管电路引起的误动作。

5、由于图1-2所示的三种变换器具有不同的工作特性，利用这些特性可以改变原方、副方电量之间的相位。还可以利用这些特性的组合，构成各种不同的对称分量滤波器。

6、除上述之外，还利用变换器副方(或原方)抽头位置的改变，使晶体管保护的整定值可变。

(二) YH、LH和KH的工作特点

YH、LH和KH都是具有铁芯的电感元件，但它们的结构和使用条件却不相同。它们的主要区别是：

1、从磁路上看，YH、LH的铁芯是由不带气隙的矽钢片迭成的，而KH的铁芯却带有气隙。因此，YH、LH的励磁阻抗 Z_m 很大，而KH的 Z_m 却很小。

2、从电路上看，虽然这三种变换器都可以用图1-3所示的T型等效电路来表示(图中， I_1 、 I_2 、 I_m 分别为一次电流，二次电流和励磁电流， Z_L 为负荷阻抗)，但其工作条件，工作特性却有很大差异。

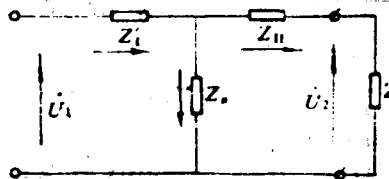


图1-3 变换器T型等效电路

(1) YH的一次绕组接在PT的二次侧，输入电压量，输出也是电压量。由于励磁阻抗 Z_m 和负荷阻抗 Z_L 数值较大，因此，从图1-3可见，在略去漏抗 Z_1 、 Z_2 影响的

情况下, 输入电压 $\dot{U}_1 \approx \dot{U}_\Pi$ 。

(2) LH 的一次绕组接在 CT 的二次侧, 输入输出都是电流量, 在励磁阻抗 Z_ν 很大的情况下, 为了在输出端得到电压量, LH 副方接有一个小电阻 R , 从而使负荷阻抗 Z_L 变小, 于是从等值图上可得出输出电压, 即

$$\dot{U}_\Pi = \dot{i}_\Pi R \approx \dot{i}'_1 R \quad (1-5)$$

(3) KH 的一次绕组虽然也接在 CT 的二次侧, 输入为电流, 但因励磁阻抗 Z_ν 很小, Z_L 很大 (即 $Z_\nu \ll Z_L$), 从等值图上看, Z_L 相当于开路状态, 因此, $\dot{i}'_1 \approx \dot{i}'_\nu$, 输出电压为:

$$\dot{U}_\Pi = \dot{i}'_1 Z_\nu = \dot{i}'_1 (R_\nu + jX_\nu) = \dot{i}'_1 jx_\nu \quad (1-6)$$

(三) LH 和 KH 工作特性的比较

在三种铁芯元件中, LH 和 KH 这两种元件的一次绕组都输入电流, 二次侧都输出电压, 表面上看, 其工作情况相似, 但由于其参数不同, 变换的效果也不相同, 其主要不同之处在于:

1、 KH 有移相作用, LH 没有移相作用。对 LH 说, 由式 (1-5) 知, 在略去励磁电流影响的情况下, 输出电压 U_Π 基本上与输入电流 I_1 同相位。对 KH 说, 由式 (1-6) 可见, (1) 输出电压 U_Π 与输入电流 I_1 之间相差一个阻抗, 这阻抗称为 KH 的转移阻抗, 在阻抗继电器中, 常用它作模拟阻抗用。(2) 在略去励磁电阻 R_ν 的情况下, U_Π 超前 I_1 的相位角为 $\frac{\pi}{2}$, (当考虑 R_ν 时, 实际角度略小些) 就是说和纯电感元件相似, KH 有移相的作用。

2、 KH 对高次谐波有放大作用, 而 LH 没有放大作用

设一次电流由很多谐波组成, 其表达式为:

$$i_1 = I_{1m} \sin \omega t + I_{2m} \sin 2\omega t + \dots + I_{nm} \sin n\omega t$$

当采用 LH 变换器时, 由式 (1-5) 知,

$$u_2 = i_1 R = RI_{1m} \sin \omega t + RI_{2m} \sin 2\omega t + \dots + RI_{nm} \sin n\omega t$$

显然, 二次电压基本上和一次电流的波形相同。

当采用 KH 变换时, 由前述已知, KH 相当于纯电感元件, 若其两线圈之间的互感系数为 M , 则 $u_2 = M \frac{di_1}{dt} = MI_{1m} \omega \cos \omega t + MI_{2m} 2\omega \cos 2\omega t + \dots + MI_{nm} n\omega \cos n\omega t$ 。由式可见, 在变换过程中, KH 将一次电流中的各次谐波按其谐波频率的倍数加以放大, 例如二次谐波放大两倍, n 次谐波放大 n 倍等等。

3、 KH 对直流分量有抑制作用, LH 没有这种作用。

设一次电流中的直流分量为 $i_1 = I_m e^{-\frac{t}{Ta}}$ 式中 Ta ——原方电流非周期分量的时间常数。

对 LH 说，在铁芯未饱和时，励磁阻抗 Z_m 很大，直流分量可以直接传变到二次侧。

对于 KH, $u_2 = M \frac{di_1}{dt} = -\frac{MI_m}{Ta} e^{-\frac{t}{Ta}}$, 就是说, KH 的输出电压与一次电流的时间

常数 Ta 有关, Ta 愈大则 u_2 愈小, 即输出电压中直流分量缩小了 Ta 倍。

4、变换时, KH、LH 对输出电压波形的畸变情况不同。因为 LH 铁芯无气隙, 当直流分量较大时, 铁芯易饱和, 磁阻下降, 使一次电流难以传变到二次侧, 因而二次电压波形将发生畸变。而 KH 铁芯有气隙, 磁路不易饱和, 故不会有这种现象。

但如前所说, KH 会放大高次谐波, 所以也畸变周期分量的波形。

根据以上的对比分析可知, YH、LH 和 KH 的应用必须考虑具体的电路情况。一般说, PT 反应的信号由 YH 变换, CT 反应的信号由 LH 或 KH 变换。在后两者中直流分量小或铁芯不易饱和的电路最好用 LH, 否则最好采用 KH。

二、对称分量滤过器构成原理

电力系统在正常运行时一般三相是对称的, 只有正序分量。而当出现故障或不正常运行情况时, 才会有正、负序或正、负、零序分量。在继电保护中, 为了提高灵敏度, 保证选择性和可靠性, 常常利用其中的一个分量或两个分量来构成保护, 为此, 必须将所需的一个或两个分量取出。采用对称分量滤过器就可以达以这个目的。下面先从对称分量滤过器的基本原理入手, 介绍滤过器的构成原理。

由前述已知, 所谓对称分量滤过器, 是一种能从全电流或全电压中取出所需分量 (正序、负序或零序分量) 的装置。图 1-4 可以用来说明对称分量滤过器的构成原理。

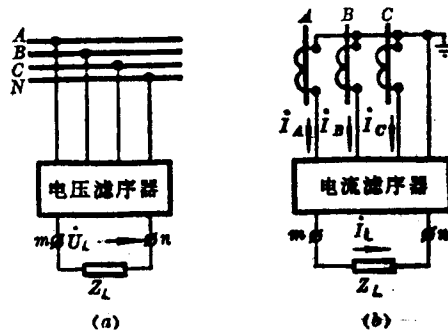


图 1-4 对称分量滤过器示意图

当将包含有某序分量的全电流 (或全电压) 输入给电流 (或电压) 滤过器时, 在输出端就会出现预想的某种序量。例如, 为得到负序分量, 可以将包含各序分量的全电流或全电压输入给负序分量滤过器, 则其输出端就会得到所需的负序分量。

下面以电压滤过器为例, 说明其原理。

设在图 1-4 (a) 中, 输入给滤过器的是相电压 \dot{U}_A 、 \dot{U}_B 、 \dot{U}_C , 而滤过器中元件的参数是不随电流、电压变化的。那么, 滤过器输出端的电压为:

$$\dot{U}_{ov} = \dot{n}_A \dot{U}_A + \dot{n}_B \dot{U}_B + \dot{n}_C \dot{U}_C \quad (1-7)$$

式中, \dot{n}_A 、 \dot{n}_B 、 \dot{n}_C ——是复数比例常数。

在式(1-7)中, 当 \dot{U}_A 、 \dot{U}_B 、 \dot{U}_C 用各序分量表示时, 可将式(1-2)代入, 得:

$$\dot{U}_{ov} = \dot{n}_A(\dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}) + \dot{n}_B(a^2\dot{U}_{A1} + a\dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}) + \dot{n}_C(a\dot{U}_{A1} + a^2\dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0})$$

将上式进行整理, 得:

$$u_{ov} = \dot{K}_1 \dot{U}_{A1} + \dot{K}_2 \dot{U}_{A2} + \dot{K}_0 \dot{U}_{A0} \quad (1-8)$$

式中

$$\dot{K}_1 = \dot{n}_A + a^2 \dot{n}_B + a \dot{n}_C$$

$$\dot{K}_2 = \dot{n}_A + a \dot{n}_B + a^2 \dot{n}_C$$

$$\dot{K}_0 = \dot{n}_A + \dot{n}_B + \dot{n}_C$$

式(1-8)说明, 在线性参数的情况下, 滤波器输出端得到的电压是输入端存在的各序电压按一定的比例关系组合起来的, 如要得到某一序量的电压, 可以通过消除公式中的某些项来得到, 例如:

1、要得到负序电压, 可以令式(1-8)中的 $\dot{K}_1 \dot{U}_{A1} = 0$, $\dot{K}_0 \dot{U}_{A0} = 0$, 则

$$\dot{U}_{ov} = \dot{K}_2 \dot{U}_{A2} \quad (1-9)$$

就是说, 为得到负序电压, 必须设法消除零序和正序分量。

2、要得到正序电压, 可以令式(1-8)中的

$$\dot{K}_2 \dot{U}_{A2} = 0, \dot{K}_0 \dot{U}_{A0} = 0, \text{ 则 } \dot{U}_{ov} = \dot{K}_1 \dot{U}_{A1} \quad (1-10)$$

3、要得到零序电压, 可以令式(1-8)中的 $\dot{K}_1 \dot{U}_{A1} = 0$, $\dot{K}_2 \dot{U}_{A2} = 0$, 则

$$\dot{U}_{ov} = \dot{K}_0 \dot{U}_{A0} \quad (1-11)$$

对其它类型的滤波器, 都可以用类似的方法来设法实现, 无非是滤波器输出的序量不同, 其必须满足的条件也不同而已。

对电流滤波器, 其分析方法相同, 不再重复。

下面例举保护中用到的几种常见滤波器的构成并进行分析。

三、几种常用滤波器的构成举例

(一) 零序分量滤波器

根据式(1-4)和式(1-11)可得:

$$\dot{U}_{ov} = \frac{1}{3} \dot{K}_0 (\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C)$$

此式说明, 要得到零序分量, 只需对包含零序分量的全电流(或全电压)直接相加。

1、零序电流滤波器接线

如图1-5所示, 将A、B、C三相电流互感器副方同极性端相联, 则其中线上的电流即为: $\dot{i}_a + \dot{i}_b + \dot{i}_c = 3 \dot{i}_0$ 。这种接线称为零序电流滤波器接线, 在正常运行情况

下，因不存在零序电流，中线上只流过三相 CT 特性不一致引起的不平衡电流。这电流很小，所以，当中线上接入电流继电器时，即使整定值较灵敏，正常时也不大可能误动作。而当接地故障时，输入全电流中存在有零序分量，故 $3I_0$ 很大，继电器动作。

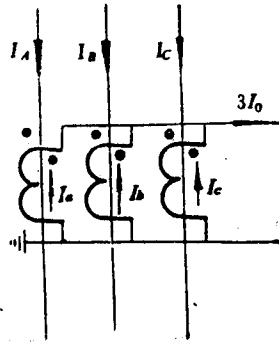


图1-5 零序电流滤过器接线

2、零序电压滤过器接线

和零序电流相似，为取得零序电压，可以用一种副方接成开口三角形的电压互感器来得到，如图 1-6 所示。三相电压互感器中，副方绕组接成开口三角形。开口三角形绕组输出电压为：

$$U_{0w} = (U_a + U_b + U_c) = \frac{1}{n_{PT}} (\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C) = \frac{3\dot{U}_0}{n_{PT}}$$

这种接线称零序电压滤过器接线。

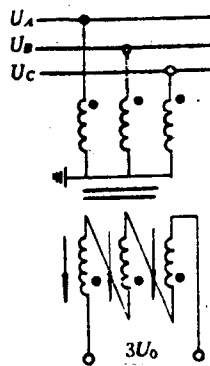


图1-6 零序电压滤过器接线

(二) 负序分量滤过器

由式 (1-9) 可知，欲构成负序分量滤过器应消除零序分量和正序分量。通常，消除零序分量采用接线的方法，消除正序分量采用选择滤过器参数的办法。现举例如下：

1、负序电压滤过器

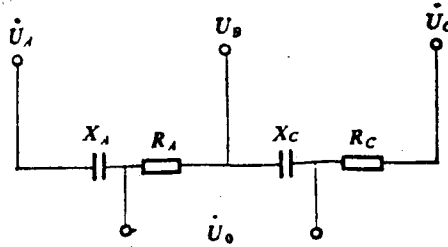
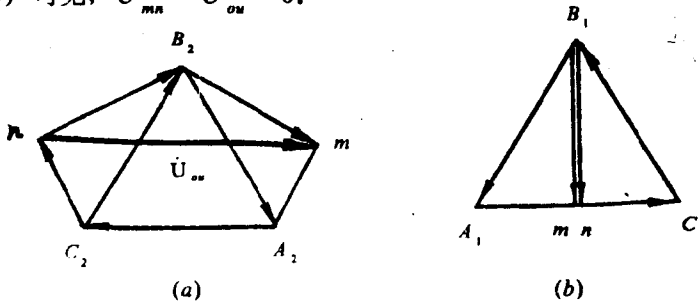


图1-7 负序电压滤过器接线

图1-7是一种应用很广泛的负序电压滤过器的例子。由于输入端接线电压，所以输入滤过器的零序电压已消除。为了使正序分量为零，滤过器采用了下列参数：

$R_A = \sqrt{3} X_A$, $X_C = \sqrt{3} R_C$ ，采用这种参数之后，回路阻抗呈容性，电流超前电压。对AB支路，电流超前电压 30° ，对BC支路，电流超前电压 60° 。由于电阻上的压降与电流同相位，电容上的压降滞后电流 90° 相角。因此，当负序电压加入负序电压滤过器时，由图1-8(a)可见，输出电压为 $U_{ou} = 1.5U_{ab}$ ；当正序电压加入负序电压滤过器时，由图1-8(b)可见， $U_{mn} = U_{ou} = 0$ 。



(a)输入负序电压时 (b)输入正序电压时

图1-8 负序电压滤过器的矢量分析

2、负序电流滤过器

晶体管继电保护中用到的负序电流滤过器，从接入电流的情况看，可分为三相式和两相式两类。从构成滤过器的铁芯元件看，可分为电阻——电容型和电阻——电感型两种。现分别介绍如下：

(1) 电阻——电感型负序电流滤过器

图1-9为这种滤过器的原理图。它由一个电流变换器LH及一个电抗变换器KH组成，每个变换器有两个电流绕组，其中 $W_0 = \frac{1}{3} W_A$, $W_B = W_C$ 。在图示极性情况

下, KH , LH 副方输出电压分别为:

$$\dot{U}_M = j(\dot{i}_B - \dot{i}_C)X_M = j\left[(\dot{i}_{B1} - \dot{i}_{C1}) + (\dot{i}_{B2} - \dot{i}_{C2})\right]X_M$$

$$\dot{U}_R = \frac{\dot{i}_{A1} - 3\dot{i}_0 \cdot \frac{1}{3}}{n_{LH}} \cdot R = \frac{\dot{i}_A - \dot{i}_C}{n_{LH}} \cdot R = \frac{\dot{i}_{A1} + \dot{i}_{A2}}{n_{LH}} \cdot R$$

输出电压为 $\dot{U}_{ou} = \dot{U}_R - \dot{U}_M$

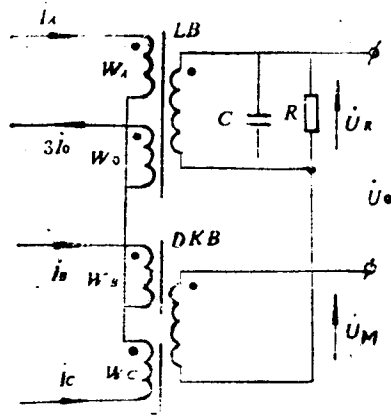


图1-9 R-L型负序电流过滤器

显然, 这种接线已使零序电流为0, 为了消除正序分量, 必须选择 $R/n_{LH} = \sqrt{3}X_M$, 在这种参数下通入正序电流时, KH 、 LH 副方输出电压分别为:

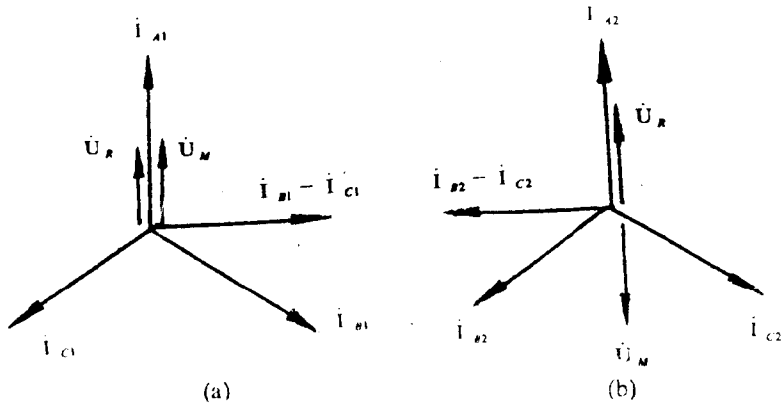
$$\dot{U}_M = j(\dot{i}_{B1} - \dot{i}_{C1})X_M$$

$$\dot{U}_R = \dot{i}_{A1} \cdot R/n_{LH} = \frac{\dot{i}_{A1}}{n_{LH}} \cdot \sqrt{3}n_{LH} \cdot X_M = \sqrt{3}\dot{i}_{A1}X_M$$

由图1-10(a) 矢量图可见, 输出电压 $\dot{U}_{ou} = \dot{U}_R - \dot{U}_M = 0$, 当输入负序电流时, $\dot{U}_M = j(\dot{i}_{B2} - \dot{i}_{C2})X_M$, $\dot{U}_R = \frac{\dot{i}_{A2}R}{n_{LH}} = \sqrt{3}\dot{i}_{A1}X_M$, 由图1-10(b) 的矢量图

可见, $\dot{U}_{ou} = 2\dot{U}_R$.

值得注意的是, 上述分析都是理想条件下进行的, 即认为 LH 变换时没有角误差, KH 的移相为 90° 。事实上, LH 的角误差为副方超前 $5^\circ \sim 7^\circ$, KH 的移相角度为 $88^\circ \sim 89^\circ$ 。由于角误差的存在, 使正序时, $\dot{U}_{ou} \neq 0$, 负序时 $\dot{U}_{ou} \neq 2\dot{U}_R$, 因此, 必须对角误差进行补偿。补偿的办法是在 LB 的副方并联一个电容, 用它将 LB 励磁支路电感补偿掉, 甚至稍变为容性, 从而大大减少角误差。



(a) 输入正序电流时 (b) 输入负序电流时

图 1-10 R-L 平衡序电流滤波器的矢量分析

(2) 电阻——电容型负序电流滤波器

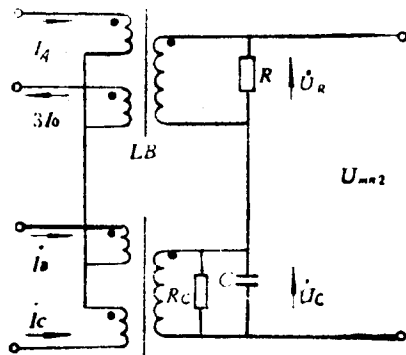


图 1-11 R-C 型负序电流滤波器

图 1-11 为这种滤波器的原理图。它与电阻——电感型滤波器很相似，不同之处在于，这种滤波器用一个带上电容负载的电流变换器代替电抗变换器，使原来的 $\dot{U}_M = j(\dot{i}_B - \dot{i}_C)X_M$ 变成 $\dot{U}_C = j(\dot{i}_B - \dot{i}_C)X_C$ ，并使 B、C 相变换器副方的接法换一个极性，即输出电压 $\dot{U}_{ou} = \dot{U}_R + \dot{U}_C$ ，这样，就可以使得通过正序电流时， $\dot{U}_{ou} = 0$ 。通过负序电流时， $\dot{U}_{ou} = 2\dot{U}_R$ 。其向量图可用电阻——电感型方法得出，这里不再叙述。

同样道理，这种分析也是在理想情况下的结论。事实上，LH 变换器也会有角度误差，为此，在 B、C 相变换器副方并接一个电阻，使角偏移比 -90° 小些，从而减少角误差的影响。

(3) 两相式负序电流滤过器

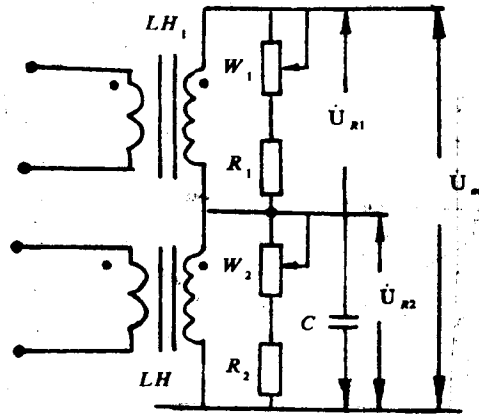
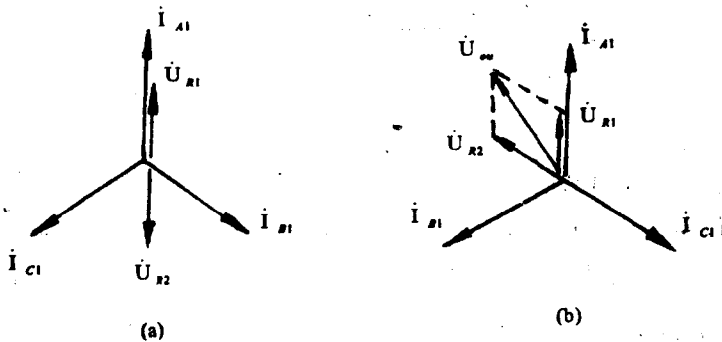


图1-12 两相式负序电流滤过器

图1-12为两相式负序电流滤过器原理图。它由两个LH，两个电阻，两个电位器和一个电容组成。变换器 LH_1 二次输出电压 \dot{U}_{R1} 看做与原方A相电流同相位，调节 LH_2 副方的电阻值，使其二次输出电压 \dot{U}_{R2} 比B相电流滞后 60° ，同时，通过电位器 W_1 、 W_2 的配合调整，可以使其输出电压相等。在图示极性下，当通过正序A、B相电流时，由图1-13(a)的矢量图可看出， $\dot{U}_{ou} = \dot{U}_{R1} + \dot{U}_{R2} = 0$ 。当通过负序A、B相电流时，由图1-13(b)的矢量图可以看出，输出电压 $\dot{U}_{ou} = \dot{U}_{R1} + \dot{U}_{R2} = \sqrt{3}\dot{U}_{R1}$ 。



(a)正序时; (b)负序时

图1-13 两相式负序电流滤过器的矢量分析

由于这种滤过器没有采取消除零序电流分量的措施，因此，只能在小接地电流系统中使用，因为这种系统零序电流可以不予考虑。发电机电压系统为小接地电流系统，所以，可以采用这种负序电流滤过器。