
电气运行工人技术问答

继电保护

李素芯

水利电力出版社

内 容 提 要

本书以问答形式，介绍了发电厂和变电站的继电保护原理、整定原则及运行问题。全书包括九部分：基本知识、6~35kV线路保护、距离保护、高频保护、零序保护、发电机电机保护、变压器保护、母线保护、电动机保护。

本书可供电力系统及其它部门中具有一定电气运行实践经验的电气运行工人自学时使用，也可供继电保护工人或其他从事电气工作的人员参考。

电气运行工人技术问答

继电保护

李紫芯

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 11.5印张 250千字

1986年9月第一版 1986年9月北京第一次印刷

印数00001—23910册 定价2.00元

书号 15143·5926

前 言

本书是“电气运行工人技术问答”一套书中的一个分册。

该书的编写旨在提高电力系统电气运行工人的继电保护水平。全书共分九部分：基本知识、10~35kV线路保护、距离保护、高频保护、零序保护、发电机保护、变压器保护、母线保护、电动机保护。书中叙述了继电保护的基本原理、整定原则以及运行中的问题，而不涉及具体的装置。

书稿经黑龙江省电力设计院许先德同志审阅。书稿编写过程中，得到华北电管局继电保护科、北京石景山发电厂、北京供电局等有关同志的帮助，在此一并表示衷心的感谢。限于水平，书中错误和不当之处，敬希读者批评指正。

李素芯

1984.11.

目 录

前 言

基本知识	1
1. 什么叫向量和相量? 如何进行向量和相量的加减运算?	1
2. 为什么分析计算交流电路时要假设电流、电压的正方向?	5
3. 什么叫对称分量?	6
4. 什么叫同极性端?	10
5. 什么叫谐振?	13
6. 什么叫谐波?	17
7. 电容的充放电过程是怎样进行的?	20
8. 什么叫调制和解调?	24
9. 什么叫匹配?	25
10. 什么叫输入阻抗和输出阻抗?	26
11. 什么叫波阻抗?	28
12. 什么叫电平?	31
13. 什么叫负序电压滤序器?	33
14. 什么叫负序电流滤序器?	36
15. 什么叫复合电流滤序器?	42
16. 三相式负序电流滤序器的工作原理是怎样的?	42
17. 什么叫电流互感器的10%误差曲线? 如何测绘10%误差曲线?	47
18. 如何进行六角图检验?	53
19. 电力系统短路是怎么回事?	57

20. 发电机接至无穷大电源系统母线上运行时的功角特性是怎样的?	58
21. 什么叫电力系统稳定和振荡?	61
22. 继电保护装置应满足哪些基本要求?	67
23. 什么叫主保护、后备保护和辅助保护?	69

10~35kV线路保护.....71

24. 电流速断、限时电流速断和过电流保护有什么区别?	71
25. 过电流保护有哪几种接线方式?	76
26. 一个继电器的两相电流差接线为什么不能反应 Δ/Δ 、 Δ/Δ 接线变压器后面的两相短路和 Δ/Δ 、 Δ/Δ 接线变压器后面的单相接地短路?	79
27. 为什么要用方向电流保护?	82
28. 怎样判断功率方向继电器接线的正确性?	88
29. 什么叫电压速断保护?	90
30. 为什么要用电流电压联锁速断保护?	92
31. 为什么有的短线路要装设纵联差动保护?	94
32. 什么叫横联差动方向保护?	97
33. 母差保护动作时为什么要闭锁双回线横差方向保护?	102
34. 什么叫电流平衡保护?	103
35. 并联电容器装置应装设哪些保护?	106

距离保护..... 110

36. 什么叫距离保护? 距离保护的时限阶梯特性是怎么回事?	110
37. 距离保护由哪些主要部件组成?	112
38. 方向阻抗继电器的特性圆是怎么回事?	113
39. 方向阻抗继电器为什么要加记忆回路?	121
40. 什么叫全阻抗继电器?	126

41. 什么叫偏移特性的阻抗继电器?	131
42. 阻抗继电器的最小精确工作电流是怎么回事? 它有什么实际意义?	137
43. 保护相间短路的距离继电器为什么通常采用接入相间电压和相间电流的 0° 接线?	139
44. 距离保护为什么有时在事故过负荷时误动作?	143
45. 为什么距离保护需经振荡闭锁装置闭锁?	145
46. 如何利用短路和振荡的差异来实现距离保护的振荡闭锁装置。	150
47. GH-11 型距离保护的 BZ-11 型振荡闭锁装置在运行中有些什么问题?	151
48. 为什么要采用负序加零序电流增量起动的振荡闭锁装置?	153
49. 距离保护中为什么要用断线闭锁装置? 断线闭锁装置是怎样构成的?	158
50. 运行中切换母线时, 距离保护要注意什么?	161
高频保护	163
51. 什么叫高频保护? 为什么要采用高频保护?	163
52. 什么叫高频通道?	164
53. 什么叫相差动高频保护?	167
54. 相差动高频保护的相位特性是怎么回事?	172
55. 相差动高频保护的 $\dot{I}_1 + K\dot{I}_2$ 操作滤波器为什么选取负序分量 \dot{I}_2 比正序分量 \dot{I}_1 大?	177
56. 什么叫高频闭锁方向保护?	178
57. 高频保护为什么用两组灵敏度不同的起动元件?	181
58. 什么叫高频闭锁距离保护?	182
59. 高频保护运行时, 为什么运行人员每天要交换信号以检查高频通道?	184
60. 高频收发讯机由哪些部分组成?	187

61. 什么叫收讯机的灵敏度? 191

零序保护 193

62. 什么叫中性点直接接地电网? 什么叫中性点非直接接地电网? 193

63. 中性点直接接地电网单相接地短路时零序电压和零序电流是怎样分布的? 194

64. 为什么要采用零序电流保护作为中性点直接接地电网的接地保护? 它是怎样构成的? 199

65. 为什么要用方向性零序电流保护? 零序功率方向继电器的最大灵敏角为什么是 70° ? 201

66. 如何用负荷电流检查零序功率方向继电器接线的正确性? 204

67. 中性点非直接接地电网单相接地时, 电流和电压是怎样分布的? 212

68. 中性点非直接接地电网的绝缘监视装置起什么作用? 217

69. 怎样实现中性点非直接接地电网的零序电流保护? 对零序电流互感器的安装有什么要求? 218

70. 为什么有的中性点非直接接地电网的线路采用零序电流方向保护作接地保护? 220

71. 中性点经消弧线圈接地的电网单相接地时电流分布有什么特点? 222

72. 如何利用五次谐波反应接地故障? 224

发电机保护 226

73. 发电机纵差保护起什么作用? 226

74. 纵差保护投入运行前要做些什么试验? 229

75. 发电机的横差保护起什么作用? 231

76. 为什么可以用零序电压构成发电机的定子接地保护? 235

77.反应零序电流的发电机定子绕组接地保护是怎样构成的?	237
78.利用三次谐波电压构成的100%定子接地保护是怎样实现的?	242
79.如何实现转子一点接地保护?	249
80.如何实现转子两点接地保护?	253
81.发电机的复合电压起动的过电流保护起什么作用?	255
82.发电机的负序电流保护起什么作用?	258
83.发电机失磁对系统和发电机本身有什么影响?	262
84.如何实现发电机的失磁保护?	266
85.为什么水轮发电机要装设过电压保护?	271
86.发电机的过负荷保护是怎样实现的?	272
87.同步调相机应装设哪些保护?	274
变压器保护	277
88.瓦斯保护起什么作用?	277
89.变压器瓦斯保护动作后如何进行取气试验?	282
90.变压器的电流速断保护起什么作用?	282
91.变压器的纵差保护有些什么特点?	284
92.变压器纵差保护的不平衡电流是怎样产生的?	288
93.什么叫比率制动式差动保护?	291
94.什么叫二次谐波制动的差动保护?	293
95.变压器差动保护动作后应如何检查、判断和处理?	295
96.如何利用外加电源对变压器进行一次通电试验?	296
97.如何求取纵差保护用的电流互感器二次负荷阻抗?	298
98.变压器零序电流保护起什么作用?	300
99.变压器的接地保护是怎样适应变压器中性点运行方式变化的?	302
100.Y/Y ₀ 接线的低压厂用变压器的零序电流保护是如何构成的?	305

101. 变压器的过电流保护起什么作用?307
102. 如何实现变压器的过负荷保护?307
103. 自耦变压器的零序差动保护起什么作用?308
104. 自耦变压器的接地保护是如何实现的?310
105. 自耦变压器的过负荷保护有些什么特点?314

母线保护315

106. 什么叫母线完全差动电流保护?315
107. 什么叫母线不完全差动电流保护?317
108. 什么叫元件固定连接的双母线完全差动电流保护?319
109. 母联相位差动保护是如何实现的?324
110. 什么叫电流比相式母线保护?329
111. 母线联络断路器代替线路断路器运行时, 母线保护
应如何处理?335
112. 母线检修完投入运行时发生故障, 母线保护怎么
动作?336
113. 母线保护盘上的电流表起什么作用?337
114. 什么叫断路器失灵保护?338

电动机保护339

115. 如何实现高压电动机的相间保护?339
116. 380V 低压电动机的相间短路保护是如何构成的?341
117. 电动机的过负荷保护是如何实现的?343
118. 如何实现电动机的单相接地保护?344
119. 电动机的低电压保护起什么作用?346
120. 同步电动机应装设哪些保护?350

基 本 知 识

1. 什么叫向量和相量？如何进行向量和相量的加减运算？

向量是既有大小、又有方向的量。它可用一个有一定长度和方向的有向线段来表示。线段的长度（又称向量的模）表示向量的大小（其长度比例可任意选定），其箭头所指的方向表示向量的方向。不带箭头的那端称向量的始端，带箭头的那端称向量的终端。向量的记号表示为 \vec{A} 、 \vec{B} ……时，向量的模则表示为 $|\vec{A}|$ 、 $|\vec{B}|$ ……。

向量的相加是这样进行的：将进行相加的两向量 \vec{A} 、 \vec{B} 的始端放在一起，以 \vec{A} 、 \vec{B} 两向量为平行四边形的邻边作平行四边形，则平行四边形的对角线即为 \vec{A} 、 \vec{B} 两向量的和 $(\vec{A} + \vec{B})$ 。这种求和规则称为向量加法的平行四边形规则。如图1-1(a)所示。换言之，如果把向量 \vec{B} 的始端和向量 \vec{A} 的终端放在一起，再将向量 \vec{A} 的始端和向量 \vec{B} 的终端相联，则箭头指向向量 \vec{B} 终端的连线所代表的向量即为二向量之和 $(\vec{A} + \vec{B})$ 。如图1-1(b)所示。这种求和规则称向量加法的三角形规则。

利用向量加法规则，可进行多个向量的相加。例如 $\vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$ 可这样进行：将向量 \vec{A} 的终端和 \vec{B} 的始端放在一起，再将 \vec{C} 的始端和 \vec{B} 的终端放在一起，连接 \vec{A} 的始端和 \vec{C} 的终端，则箭头指向 \vec{C} 终端的连线所代表的向量即为 $\vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$ ，如图1-1(c)所示。

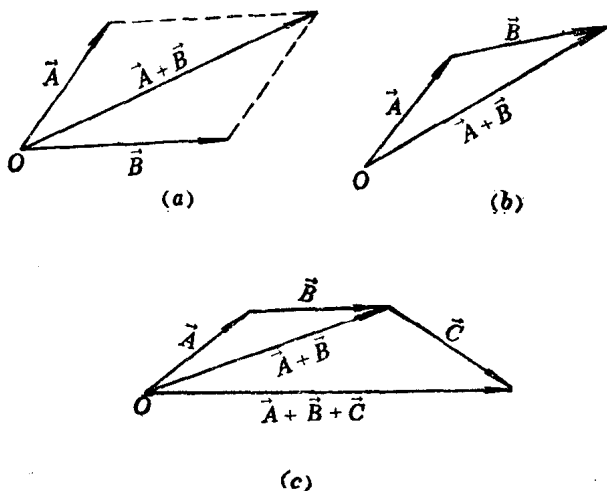


图 1-1 向量的相加

(a) 向量加法的平行四边形规则；(b) 向量加法的三角形规则；
(c) 多个向量的相加

向量的相减可根据向量的相加法推出。例如，根据向量加法的平行四边形规则知：平行四边形的一条邻边所代表的向量即为对角线所代表的向量 \vec{A} 减去另一邻边所代表的向量 \vec{B} ，如图 1-2(a) 所示；根据向量加法的三角形规则知，向量 \vec{A} 减去向量 \vec{B} 所得两向量之差，可这样求得：将 \vec{A} 、 \vec{B} 两向量的始端放在一起，再将其终端相联，联线的箭头指向被减向量 \vec{A} 终端，则连线所代表的向量即为 $\vec{A} - \vec{B}$ ，如图 1-2(b) 所示。

由于向量的加减运算比较简单明了，因此我们在进行交流电路分析时，常常将稳态交流电路的正弦量的运算转化为向量的运算。

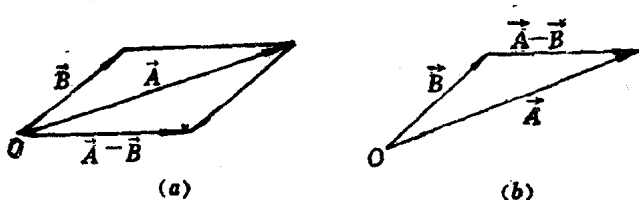


图 1-2 向量的相减

(a)向量减法的平行四边形规则；(b)向量减法的三角形规则

下面举两个例子：

例 1 是阻抗的加减运算。由于阻抗 Z 是一个包括电阻 R 和电抗 X 的复数量，因此可表示为：

$$Z = R + jX$$

阻抗 Z 可在复数平面上表示。在平面上取一直角坐标系，横坐标为 R ，纵坐标为 jX 。则根据向量加法的平行四边形规则，阻抗向量 Z 为以 R

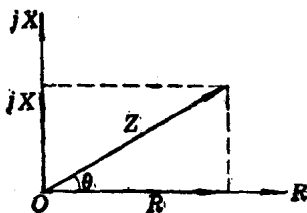


图 1-3 阻抗向量在复数平面上的表示法

和 jX 作邻边的平行四边形的对角线。如图 1-3 所示。

图中阻抗向量 Z 和横坐标的夹角即为阻抗角 θ 。这样，阻抗的加减运算就可按照向量的加减运算进行。

例 2 是稳态正弦交流电路的正弦量运算。

我们知道，正弦波的三要素为：最大值（振幅）、频率（角频率或周期）和初相角。有了这三个参数，就可确定一个正弦波。而我们在分析稳态的正弦交流电路时，经常遇到的是电流电压这样的同频率的正弦波。这些正弦波仅在最大

值和初相角上有所区别。因此，在电工学中，引出相量这一名词，来表征同频率的正弦波。所谓相量，实际上是一个模（即大小）为正弦波的最大值而幅角为正弦波的初相角的一个复值常数，记作 \dot{A} 、 \dot{B} ……。如电流相量，可写作：

$$\dot{I} = I_m e^{j\varphi} = I_m / \varphi$$

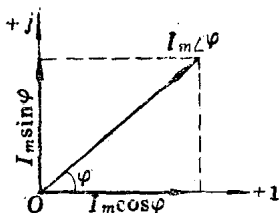


图 1-4 电流相量图

相量表示在复平面上，就是一个大小为 I_m 而幅角（和横坐标夹角）为 φ 角的向量。如图 1-4 所示。这样，相量的加减运算就可以按照向量的加减运算进行。

由于相量只体现了正弦波的两要素：最大值和初相角。因此，还须考虑频率这个要素。通常，用旋转相量 $\dot{i} e^{j\omega t} = I_m / \varphi \cdot e^{j\omega t} = I_m / \varphi + \omega t$ 来表征正弦波。这个旋转相量的大小等于正弦波的最大值，旋转相量的起始位置和横坐标的夹角等于正弦波的初相角 φ 。该旋转相量以等于正弦波角频率 ω 的角速度逆时针方向旋转。旋转相量（设为电流）在纵坐标上的投影即为下式所表示的正弦电流：

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

图 1-5 显示了旋转相量在 $t=0$ 和 $t=t_1$ 两个不同瞬时的位置。图中右侧波形即表示旋转相量在纵坐标上的投影随时间 t 变化的规律。

由于同频率的正弦波用旋转相量表示时，其转向和转速是相同的，故各旋转相量处在相对静止之中，因此只要画出某一瞬时它们之间的相对关系，就可表示其旋转时的相对相位关系。通常，在分析交流电路问题时，着重研究的是各电量间的相位关系，因此只需画出某一瞬时各相量间的相位关

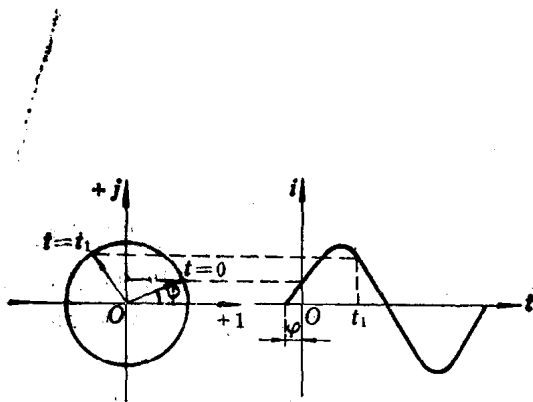


图 1-5 旋转相量及其在纵坐标上的投影

系，即可进行研究。

由于各旋转相量都是按逆时针方向旋转的，因此在表示各相量的相对关系时，就出现了超前和滞后的问题。通常认为： \dot{A} 相量超前 \dot{B} 相量指的是： \dot{A} 相量相对 \dot{B} 相量逆时针转一角度。 \dot{A} 相量滞后 \dot{B} 相量指的是： \dot{A} 相量相对 \dot{B} 相量顺时针转一角度。如图1-6所示。

最后需要指出，旋转相量是一时间相量，它在复平面上的位置和方向是随时间而变的。而向量表示的是在空间具有大小和方向的量。两者务必不要混淆。

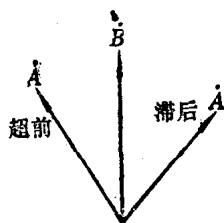


图 1-6 相量的超前和滞后

2. 为什么分析计算交流电路时要假设电流、电压的正方向？

在交流电路中，由于电流电压的真实方向随时在改变，很难用一个固定的箭头来表示其真实方向，而在进行电路的分析计算，求解电路各物理量时，却需知道电流、电压的方向，为了解决这个困难，引进了参考方向或正方向这个概念。

参考方向就是人为地给每个交变的电量规定一个正方向。正方向可以任意选定，在电路中用一个箭头表示。

选定电流电压的正方向后，就可以根据选定的正方向进行电路的分析计算。如果求得的电流电压为正值，则电流电压的真实方向和选定的正方向相同；如果求得的电流为负值、电压为正值，则电流的实际方向和假定的正方向相反，电压的真实方向和假定的“正方向”相同。这样，我们就可以利用计算所得的电流电压的正负值结合假定的正方向来求得电流电压的真实方向。

在分析电路时，电流、电压的正方向原是可以任意假定的。但为了方便起见，常常采用关联的参考方向。即：电流的参考方向和电压的参考方向一致（电压的正方向用箭头表示时是从+极到-极）。如图2-1所示。一般假定电压和电流的正方向为从电源的中性点指向故障点。

采用关联的参考方向计算功率时，如求得的功率为正值，则表示这功率是消耗掉的功率；如求得的功率为负值，则表示这功率是产生的功率。

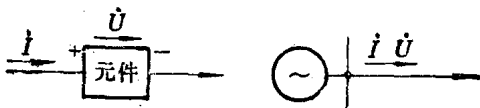


图 2-1 关联的参考方向

3. 什么叫对称分量？

对称分量法是研究三相系统出现不对称情况时最简便的方法。通常应用对称分量法将不对称的短路转化为三相对称短路计算。这样可以大大简化计算。

数学上可以证明，任意不对称的三个相量可以分解为三组对称分量，而三组对称分量的合成也可组成三个不对称相量。

三组对称分量是：

(a) 正序分量： \dot{A}_1 、 \dot{B}_1 、 \dot{C}_1 三个对称相量按顺时针方向排列，相互间夹角为 120° ，如图3-1(a)所示。

(b) 负序分量： \dot{A}_2 、 \dot{B}_2 、 \dot{C}_2 三个对称相量按逆时针方向排列，相互间夹角为 120° ，如图3-1(b)所示。

(c) 零序分量： \dot{A}_0 、 \dot{B}_0 、 \dot{C}_0 三个对称相量方向相同，如图3-1(c)所示。

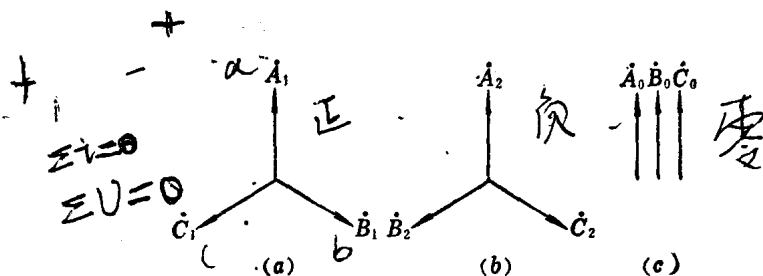


图 3-1 三组对称分量

(a)正序分量；(b)负序分量；(c)零序分量

下面举例说明三组对称分量相加，可得不对称分量。将图3-1中的三组对称分量，按照相量加法三角形规则进行相加，可得图3-2。图中：

$$\dot{A} = \dot{A}_1 + \dot{A}_2 + \dot{A}_0 = 3\dot{A}_1 \quad (3-1)$$

$$\dot{B} = \dot{B}_1 + \dot{B}_2 + \dot{B}_0 = 0 \quad (3-2)$$

$$\dot{C} = \dot{C}_1 + \dot{C}_2 + \dot{C}_0 = 0 \quad (3-3)$$