

376032

成都工学院图书馆

基本馆藏

[苏联] A. M. 费多谢也夫著

张瑞琰 黄永昌 游登裕译



继电保护原理

下 册

中国工业出版社

继电保护原理

下 册

〔苏联〕A·M·费多谢也夫著

张瑞岐 吴竞昌 陈德裕译

中国工业出版社

本书阐述三相电力系统（包括电网、同步发电机、变压器、电动机以及发电厂和变电所母线）的继电保护技术原理。

这是1952年出版的同一著者的“电力系统继电保护”一书的修订本。

书中反映了许多国家在继电保护方面发展的新趋向。故本书除可供高等院校有关专业的师生参考外，对从事继电保护工作的工程技术人员也有参考价值。

下册讲述差动电流保护、高频保护和无线电保护、电网保护、同期发电机的保护、变压器的保护、发电机-变压器组及发电机-自耦变压器组的保护、发电厂和变电所的母线保护，以及用电设备的保护。

А. М. Федосеев

ОСНОВЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1961

* * *

继电保护原理

下 册

张瑞岐 吴竞昌 陈德裕 译

*

水利电力部办公厅图书编辑部编辑（北京阜外月坛南路）

中国工业出版社出版（北京德胜门内大街10号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $11^{1/8}$ ·字数278,000
1965年12月北京第一版·1965年12月北京第一次印刷

印数0001—6,610·定价(科五)1.50元

* * *

统一书号：15165·4230(水电-579)

目 录

第五章 差动电流保护	1
5-1 作用原理	1
5-2 不平衡电流	3
5-3 提高保护装置的可靠性及灵敏度的方法	9
5-4 经过中间速饱和变流器而联接继电器	11
5-5 具有制动作用的差动继电器的应用	16
5-6 具有制动作用的机电式继电器的应用	18
5-7 制动作用在以整流式继电器构成的保护装置中的 应用	24
5-8 磁制动的应用	25
5-9 线路的差动保护装置的类型	28
5-10 线路的纵差动保护的实现	29
5-11 线路的纵差动保护的特别接线方式	33
5-12 辅助导线完整性的监督装置	34
5-13 对纵差动保护的评价及其应用范围	35
5-14 横差动电流方向保护的作用原理	36
5-15 横差动方向保护的計算	41
5-16 横差动方向保护装置的特殊起动元件	45
5-17 当线路发生断线并有一侧短路时,横差动方向保护装置 的行为	47
5-18 横差动方向保护装置实现方法的示例	48
5-19 对横差动方向保护装置的评价及其应用范围	50
5-20 平衡式横差动电流保护装置的作用原理及其应用	50
第六章 高频保护和无线电保护	53
6-1 高频保护的构成方法	53
6-2 高频通道和无线电通道的构成	55
6-3 带闭锁的方向保护的作用原理及其类型	60
6-4 带高频闭锁的方向保护	61

IV

6-5	具有高频闭锁的负序方向保护的构成原理	69
6-6	具有高频闭锁及远方起动发信机的方向保护的构成原理	70
6-7	高频方向闭锁保护与距离保护的组合	73
6-8	电流差动高频保护的工作原理	75
6-9	相差动高频保护	77
6-10	高频保护和无线电保护的应用范围及其评价	85
第七章	电网保护的原则	88
7-1	电网保护的问题	88
7-2	后备保护的问题	88
7-3	电网结构及其个别元件的联接方式的影响	99
7-4	中性点接地方式的影响	101
7-5	串联电容补偿的影响	103
7-6	非全相运行的影响	108
7-7	继电保护与自动重合闸装置动作的配合	113
7-8	借传送信号来加速切除故障	115
7-9	各种电压电网的保护特点	116
7-10	带有分支的线路的保护特点	122
7-11	发电厂和变电所母线联络开关和旁路开关上的保护	125
第八章	同期发电机的保护	127
8-1	发电机的不正常运行情况和故障的类型及对其保护装置的要求	127
8-2	静子线卷中的多相短路	128
8-3	静子线卷中的匝间短路	130
8-4	静子线卷中的一相接地	131
8-5	过电流	134
8-6	过电压	137
8-7	励磁回路的一点接地和第二点接地	138
8-8	所采用的保护装置型式	139
8-9	静子线卷的纵联差动电流保护	140
8-10	静子线卷的横联差动电流保护	146
8-11	静子线卷单相接地专用保护装置的构成原则	149
8-12	带有零序电流互感器的电流保护装置的接线方式、	

参数选择及其作用	150
8-13 保护发电机用的零序电流互感器	156
8-14 带有助磁式零序电流互感器的电流保护的計算特点	160
8-15 在外国的实践中接地保护的构成方法	161
8-16 针对外部短路和过负荷的电流保护	162
8-17 励磁回路一点接地的专用保护装置	171
8-18 励磁回路第二点接地的专用保护装置	173
8-19 发电机的灭磁装置	175
8-20 直接运行于主母线上的发电机保护装置的出口回路的 构成	178
8-21 发电机保护装置的結线全图	180
第九章 变压器及自耦变压器的保护	183
9-1 变压器和自耦变压器的故障和不正常运行情况的类型 及其保护装置的要求	183
9-2 变压器及自耦变压器中的短路	184
9-3 变压器及自耦变压器的不正常运行状态	186
9-4 使用的保护装置的类型	191
9-5 具有阶段式时限特性的电流保护装置	192
9-6 瓦斯保护	197
9-7 差动电流保护装置在变压器及自耦变压器上的应用	204
9-8 变压器及自耦变压器所用的差动电流保护装置的 类型	211
9-9 差动保护的結线构成方面的一般問題	214
9-10 簡化的差动电流保护装置	216
9-11 差动电流速断装置	218
9-12 具有中間速飽和变流器的差动电流保护装置	219
9-13 具有中間速飽和变流器及磁制动作用的差动电流保护 装置	222
9-14 以整流电流进行制动的差动电流保护装置	225
9-15 电流互感器組数多于兩組的元件上的差动电流保护 装置的构成方面的特点	227
9-16 具有几个制动系統的差动电流保护装置	230
9-17 对差动电流保护装置的評价及其应用范围	233

V

9-18	带接地导线的零序电流保护装置	234
9-19	针对外部短路的电流保护装置	236
9-20	针对过负荷的电流保护装置	245
9-21	变压器上针对在中性点不接地的运行方式下的外部 接地短路而采用的专门的后备保护装置	246
9-22	具有外装式带负荷纵调压设备的变压器及自耦变压器 的保护装置在构成方面的特点	249
9-23	带负荷调压用的附加变压器的专用保护装置	252
9-24	与线路结合成组而运行的变压器及自耦变压器的继电 保护的特点	254
9-25	变压器及自耦变压器的保护装置的全图	260
第十章 发电机-变压器组及发电机-自耦变压器组 的保护		
10-1	机组的保护装置的特点	263
10-2	机组的发电机电压侧电力系统的中性点的接地方式	264
10-3	针对发电机定子线卷接地故障的零序电压保护装置	266
10-4	机组的纵差动电流保护装置	271
10-5	机组的针对外部短路及过负荷的电流保护装置	274
10-6	具有内冷式线卷的大容量汽轮发电机所组成的机组 的保护装置的特点	275
10-7	包括发电机-变压器-线路的机组的保护装置的 特点	277
第十一章 发电厂和变电所的母线保护		
11-1	故障的类型和对保护装置的要求	279
11-2	保护的构成方法及其类型	279
11-3	电流保护	281
11-4	比较连接至母线的元件上功率符号的方向保护	282
11-5	距离保护	284
11-6	差动电流保护的应用	286
11-7	元件正常工作于一个母线系统上的双母线系统的 电流差动保护装置	292
11-8	母线系统之间具有固定元件分配的双母线系统的 差动电流保护	293

11-9	不完全的差动电流保护	299
11-10	提高灵敏度的不完全差动保护	303
11-11	元件經两个开关连接的結线中母线保护的特点	307
11-12	国外母线保护的类型	307
第十二章	用电设备的继电保护	311
12-1	装設继电保护装置的用电设备的主要种类	311
12-2	非同期电动机的異常运行情况和故障的类型以及对 它们的保护所提出的要求	311
12-3	非同期电动机保护装置的类型	319
12-4	非同期电动机的多相短路保护	320
12-5	防御非同期电动机过电流的电流和热力保护	323
12-6	非同期电动机的特殊負序电流保护	325
12-7	非同期电动机的差动电流和零序电流保护	327
12-8	非同期电动机的低电压保护	327
12-9	同期电动机故障及異常运行的种类和采用的保护装置 的类型	333
12-10	同期电动机的失去同期保护	336
12-11	同期調相机保护装置的特点	338
12-12	換流设备水銀整流器組的保护	339
12-13	电弧炉设备用变压器保护的特点	341
附录 I	汽輪发电机及水輪发电机的相对地电容	342
附录 II	以母綫型零序电流互感器构成的接地保护装置的 数据	343
参考文献		344

第五章 差动电流保护

5-1 作用原理

差动电流保护是根据对被保护元件两端或其他任意点的电流进行直接比较的原理而作成的保护装置。它开始出现于1908年。

为了构成这种保护装置，要在被保护元件的两端或对电流进行比较的其他点安装同一变比 n_T 的电流互感器（图5-1）。它们的属于同一相的二次线圈要用辅助导线联接起来并按下述方式联接到电流继电器的线圈上：当发生外部短路时，继电器中没有电流；当发生内部短路时，继电器中的电流决定于故障点的电流。有两种接线方法可以满足上述要求，它们被称为环流式接线法和均压式接线法。在环流式接线法中（图5-1, a），给定之相的电流互感器的二次线圈靠近被保护元件的端子联接起来，外侧的端子也联接起来，并将电流继电器的线圈与之并联（电流互感器一次线圈和二次线圈的同名端子假定总是位于同一侧的）。

为了求出继电器中的电流，必须对接线图中所有的电流任意给定一个规定的正方向。根据图5-1, a的接线图中箭头所指的方向，可以得出，

$$\dot{I}_p = \dot{I}_{I\theta} - \dot{I}_{II\theta} \quad (5-1)$$

继电器中的电流等于两个电流互感器中电流的几何差。在联

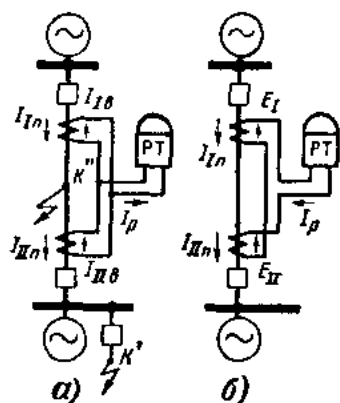


图 5-1 差动电流保护的单相原理接线图

a—环流式；b—均压式

接两个电流互感器二次线圈的辅助导线中，环流着电流互感器的电流。因此，这种保护装置被称为差动的，而这种接线法被称为环流式接线法。

在正常情况下及以两个电流互感器为界的范围外面发生短路时（ K' 点），一次电流 $\dot{I}_{1n}$ 及 $\dot{I}_{2n}$ 相等（忽略掉被保护元件的电容电流及漏泄电流）。因此，在准确变换的条件下，二次电流也是相等的， $I_p=0$ ，因而继电器不动作。

由此可见，这种保护装置根据其构成原理而具有“绝对的”选择性，不需要依靠时限来保证选择性。

在以两个电流互感器为界的保护范围内部发生短路时（ K'' 点），电流 $\dot{I}_{1n}$ 及 $\dot{I}_{2n}$ 的大小通常是不一样的，而且相位不同。根据规定的方向，故障点的电流为 $\dot{I}_{K''}=\dot{I}_{1n}-\dot{I}_{2n}$ 。因此，在继电器中出现电流 $\dot{I}_p=\dot{I}_{K''}:n_r$ 。如果此电流大于或等于继电器的动作电流，即 $I_p \geq I_{c.p}$ ，则继电器动作并将故障元件断开。在一侧有电源的情况下，故障处只有一个电流，例如，在 $I_{2n}=0$ 时，即只有电流 I_{1n} 。可以近似地认为此电流全部流入继电器而不流入电流为 $I_{2n}=0$ 的电流互感器的二次线圈，因为电流互感器的阻抗一般要比继电器线圈的阻抗大很多倍。因此，电流 $I_p=I_{1n}$ ，在 $I_p > I_{c.p}$ 的情况下，保护装置也要动作。

在均压式接线法中（图 5-1, 6），给定之相的电流互感器的二次线圈是按下述方式联接的，一个电流互感器的靠近被保护元件的端子是与另一个电流互感器在被保护元件外侧的端子联接起来的。电流继电器的线圈串接在辅助导线的电路中。

根据所取的规定正方向， $\dot{I}_p=(\dot{E}_1-\dot{E}_2):Z$ ，其中， $\dot{E}_1$ 及 $\dot{E}_2$ 为电流互感器二次线圈的电动势，而 Z 为保护装置电流回路的全部阻抗。在内部故障的情况下， $\dot{E}_1 \approx \dot{E}_2$ 。因此，在继电器中要出现电流，而且，如果 $I_p > I_{c.p}$ 时，它就要动作而将故障元件断开。在正常情况下及发生外部短路时， $\dot{E}_1=\dot{E}_2$ 而电流 $I_p=0$ ，所以保护装置不动作。在这些情况下，全部一次电流都是激磁电流。这就可能使二次回路中出现对于绝缘及运行人员有危险的电压，并引起磁路钢铁的过热。因此，在使用标准的电流互感器时，不能应用这种接线方式。为了构成实际上可用的均压式接线法，举例言之，

可将保护装置的回路经过特殊的中間电流互感器而供电。此时，主电流互感器是以这些中間电流互感器的阻抗作为负载，因而是工作于可以容許的方式下。研究結果也指出[文献147]，在构成主电流互感器时，只要选取适当的参数（小的磁路截面等等），也可以使之工作于相当于二次线圈开路的方式下。

均压式接线法要求采用具有特殊结构的电流互感器（要长期地在 $I_s=0$ 的方式下运行）或者复杂的构成方法（以便有可能使用标准的电流互感器），因而在目前的生产实际中极少应用。因此，对差动保护的进一步阐述都是相应于环流式接线法而进行的。

利用高频通道或无线电通道代替辅助导线而构成的保护装置，原则上也属于差动电流保护。对保护装置的这些方案将在第六章中加以介绍。

5-2 不平衡电流

在分析差动保护的作用原理时（§5-1），假定为理想情况，即在正常情况下以及发生外部短路时，继电器中没有电流。

在实际条件下，考虑到 $\dot{I}_{1a} = \dot{I}'_{1n} - \dot{I}'_{1naM}$ ， $\dot{I}_{2a} = \dot{I}'_{2n} - \dot{I}'_{2naM}$ （图2-36），以及表达式（5-1），当保护范围内没有短路时，继电器中是有电流的，此电流称为不平衡电流，等于：

$$\dot{I}_p = \dot{I}_{\mu 0} = \dot{I}_{1a} - \dot{I}_{2a} = \dot{I}'_{1naM} - \dot{I}'_{2naM} \quad (5-2)$$

即使是同一结构的两个电流互感器，其激磁电流 $\dot{I}'_{1naM}$ 及

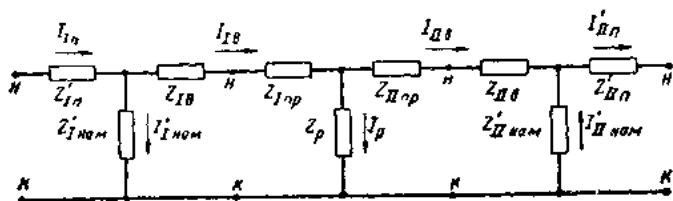


图 5-2 图 5-1, a 中所示差动电流保护装置及其所保护线路的等值接线图

Z_{μ} 为被保护线路各相的阻抗

$I'_{0\alpha\alpha}$ 实际上也不相同。因此，不平衡电流 $I_{\alpha\sigma}$ 总有一个有限值。

对于图 5-1, α 所示保护装置的等值接线图 (图 5-2) 进行研究, 就可以阐明决定电流 $I_{\alpha\sigma}$ 的因素 [文献 148]。在此图中, 每个电流互感器都代以如图 2-36 所示的等值接线图。保护装置各“臂”——从电流互感器的端子到继电器的辅助导线——的阻抗以 Z_{1np} 及 Z_{2np} 代表之。

将结点的电流方程式及电压降方程式代入此接线图中, 则可得:

$$\begin{aligned} I_{1\sigma} &= I'_{1\sigma} - I'_{1\alpha\alpha}; \\ I_{2\sigma} &= I'_{2\sigma} - I'_{2\alpha\alpha}; \\ I'_{1\sigma} &= I'_{0\sigma}; \\ I_{\alpha\sigma} &= I_{1\sigma} - I_{2\sigma}; \\ I'_{1\alpha\alpha} Z'_{1\alpha\alpha} &= I_{1\sigma} (Z_{1\sigma} + Z_{1np}) + I_{\alpha\sigma} Z_p; \\ I'_{2\alpha\alpha} Z'_{2\alpha\alpha} &= I_{2\sigma} (Z_{2\sigma} + Z_{2np}) + I_{\alpha\sigma} (Z_{\alpha\sigma} + Z_{2np}) \\ &\quad - I'_{1\alpha\alpha} Z'_{2\alpha\alpha}. \end{aligned}$$

解此联立方程以求 $I_{\alpha\sigma}$, 可得:

$$I_{\alpha\sigma} = \frac{Z'_{1\alpha\alpha} Z_p - Z'_{2\alpha\alpha} Z_{1\sigma}}{Z_p (Z_{1\sigma} + Z_{2\sigma} + Z'_{1\alpha\alpha} + Z'_{2\alpha\alpha}) + (Z_{1\sigma} + Z'_{1\alpha\alpha})(Z_{2\sigma} + Z'_{2\alpha\alpha})} I'_{1\sigma} \quad (5-3)$$

其中, $Z_{1\sigma} = Z_{1\sigma} + Z_{1np}$ 而 $Z_{2\sigma} = Z_{2\sigma} + Z_{2np}$ 。

$Z_{1\sigma}$ 及 $Z_{2\sigma}$ 和 $Z'_{1\alpha\alpha}$ 及 $Z'_{2\alpha\alpha}$ 相比, 总是很小的, 因而分母中的 $Z_{1\sigma}$ 及 $Z_{2\sigma}$ 可以忽略掉; 还可以认为 $Z'_{1\alpha\alpha} Z'_{2\alpha\alpha} = Z_{1\alpha\alpha}^2$, 再采用下列记号:

$$Z'_{1\alpha\alpha} - Z'_{2\alpha\alpha} = \Delta Z'_{1\alpha\alpha} \quad \text{和} \quad Z_{2\sigma} - Z_{1\sigma} = \Delta Z,$$

则表达式 (5-3) 可以简化 [文献 149]。

于是, 可以得出:

$$I_{\alpha\sigma} \approx \frac{\Delta Z'_{1\alpha\alpha} Z_{1\sigma} + \Delta Z Z'_{1\alpha\alpha}}{Z_{1\sigma}^2 + 2 Z'_{1\alpha\alpha} Z_p} I'_{1\sigma} \quad (5-4)$$

保护装置各“臂”的阻抗与电流互感器激磁支路阻抗 $Z'_{1\alpha\alpha}$ 及 $Z'_{2\alpha\alpha}$ 的比值对 $I_{\alpha\sigma}$ 的大小有很大的影响。为了减小不平衡电流, 一般情况下, 将容量较小的电流互感器 (其激磁支路的阻抗比较小) 的负载减小, 是适当的办法。当采用同样的电流互感器时, 应使辅助导线的阻抗 Z_{1np} 及 Z_{2np} 也要尽可能相同。

随着一次电流倍数的增长，电流互感器的 Z_{HAM} 之差以及激磁电流之差要因而增大，所以，不平衡电流通常也要增大。在发生外部短路的初始周波内，由于接线图（图 5-2）中同一相的两个电流互感器将要短时间严重地饱和而其饱和程度又不相等，不平衡电流 I_{HO} 特别大。其所以会出现这种情况，是因为在短路电流中存在着不易变换的非周期分量，而且两个铁心原有的残磁可能不同。

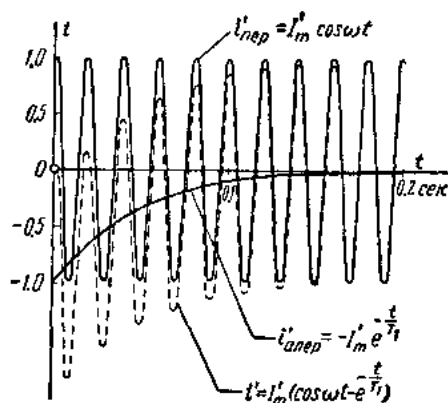


图 5-3 短路全电流以及其周期分量和非周期分量
($I'_m=1$; $T_1=0.05$ 秒) 的瞬间值依时间而变化的情况

电流互感器不仅变换一次短路电流的周期分量 $i'_{nep}=I'_m \cos \omega t$ ，而且变换其非周期分量 $i'_{anep}=-I'_m e^{-\frac{t}{T_1}}$ （图 5-3）。这是因为，非周期分量的符号虽然保持恒定，却也要随时间而变化，即按照电力系统到短路点的一次回路的时间常数 T_1 而衰减。但是，这两种变换的特性是不相同的。

在图 5-4 中给出了一个电流互感器及其所联接的负载的简化等值接线图 ($r'_{H\Delta}=0$)。一次电流的周期分量和非周期分量在激磁支路及二次回路中的分布情况与它们的阻抗成反比。但是，这些阻抗之值是完全不同的。在由线性元件构成的电路中，对于周期性电流的有效值而言，

$$Z_{H\Delta} = Z_1 + Z_{H\Delta} = r_1 + r_{H\Delta} + j\omega(L_1 + L_{H\Delta}),$$

而

$$Z_{H\Delta} = j\omega L_{H\Delta},$$

对于此电流的非周期分量而言，则由该接线图的微分方程的解可知，

$$Z_{\Sigma, \text{ант.р.}} = r_{\Sigma} + r_{\text{ант.р.}} - \frac{L_{\Sigma} + L_{\text{ант.р.}}}{T_1}$$

而

$$Z_{\text{нам, ант.р.}} = -\frac{L_{\text{нам}}}{T_1}$$

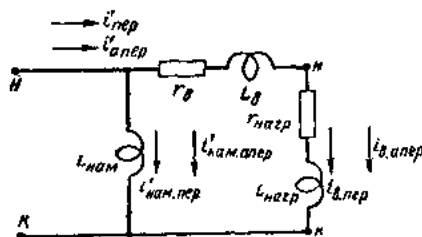


图 5-4 电流互感器及其所联接的负载的简化 ($r'_{\text{ант.р.}}=0$) 等值接线图

由于电流互感器等值接线图中的支路对周期性电流及非周期性电流的阻抗不同的结果，比周期分量难以变换的非周期分量的很大一部分要流经激磁支路，从而使激磁电流较其稳定值超过很多倍。 T_1 愈增大，则非周期分量的变换愈减小。在电力系统中，大容量发电机的 T_1 的最大值可达 0.25 ~ 0.3 秒。平均说来， T_1 是在 0.01 ~ 0.1 秒的范围内变动。因此，在靠近大容量发电机出口处发生短路时，非周期分量的变换最坏。

在电流互感器具有电感性的二次回路及铁心中，磁通之值并不能在短路时跃增。因此，在由 $L_{\text{ант.р.}}$ 、 L_{Σ} 、 r_{Σ} 、 $L_{\text{нам}}$ 及 $r_{\text{нам}}$ 所组成的闭合的二次回路中，要出现非周期的自由分量，以在起始瞬间将激磁支路及二次回路中的电流补偿到零。此非周期的自由分量以其固有的时间常数 T_2 而衰减。 T_2 一般要大于 T_1 。此自由分量的初始值决定于激磁支路或二次回路中在 $t=0$ 时的强制电流之和（它们是彼此相等的，而且在二次电路中是沿着同一的方向，因为在图 5-4 的接线图中各结点的所有电流的代数和应该等于零，同时由周期分量及非周期分量所组成的合成一次电流，也等于零）。

图 5-5 为电流互感器的激磁电流的全电流及其基本分量的瞬间值在过渡过程中随时间而变化的大略曲线，这是根据使一次短路电流按图 5-3 而变化的一些关系数据而绘制的。图中个别量的含义如下： $i'_{\text{ант.р.}}$ ——由短路电流的周期分量 $i_{\text{ант.р.}} = I_m \cos \omega t$ 所决定的激磁电流的份额； $i'_{\text{ант.р.пер}}$ ——由一次电流的非周期分量 $i'_{\text{ант.р.}}$ 所决定的激磁电流的份额； $i'_{\text{ант.р.пер}}$ ——对激磁支路中在起始瞬间 ($t=0$) 的强制电流 $i'_{\text{ант.р.пер}} - i'_{\text{ант.р.пер}}$ 进行补偿的非

周期自由分量: $i'_{\text{нп}}$ ——合成的激磁电流。

由图5-5可以看出, $i'_{\text{нп}}$ 在过渡过程中主要决定于自由分量与强制的非周期分量之差。在 $T_2 > T_1$ 的情况下, 经过几个周波之后, 强制分量显著地衰减, 剩下的主要是非周期的自由分量, 使激磁电流超过其稳定值很多倍。这样, 特别是在考虑剩磁时, 将使电流互感器短时间地饱和并使激磁电流进一步地增长。

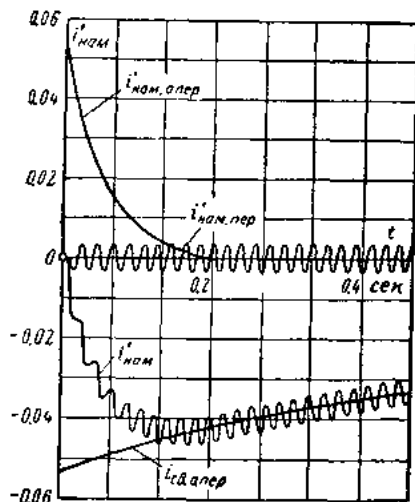


图 5-5 电流互感器的激磁电流及其基本分量的瞬间值随时间而变化的情况 ($I'_m=1$; $T_1=0.05$ 秒; $T_2=1$ 秒)

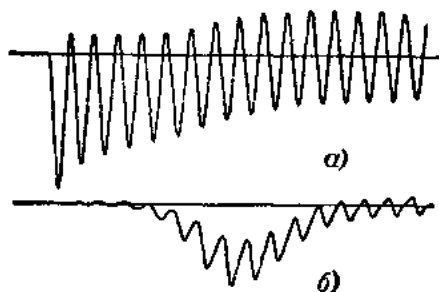


图 5-6 外部短路的一次电流的瞬间值随时间而变化的情况(a)及差动保护的继电器回路中不平衡电流的瞬间值随时间而变化的情况(b)

铁心中原有的剩余磁感应强度的大小和符号对电流互感器在过渡过程中的激磁电流有强烈的影响。

在切除短路时、管型避雷器工作时以及电流互感器二次回路断线时等等，都会出现剩余磁感应强度。以A.A.斯基罗夫命名的实验室在此领域内完成了一系列有价值的研究工作，根据它们的资料[文献150]，剩余磁感应强度 B_{res} 可能高达6~7千高斯，而且随时间而减小的过程可能很缓慢，因为工作电流的去磁磁感应强度总共只有几百高斯。因此，在存在着 B_{res} 的情况下发生短路，还是很有可能的。如果此 B_{res} 和短路电流的非周期分量所形成的磁感应强度的符号相同，则激磁电流要猛烈地增长。

为了在考虑电流互感器的反磁或剩磁的条件下计算激磁电流，全苏电力科学研究院[文献151]及苏联科学院电工研究所[文献152]研究出了图解的方法。

在图5-5中给出了决定 I_{σ} 的两个激磁电流之一的变化情况。但是，等于激磁电流之差的 I_{σ} 通常也具有类似的随时间而变化的特性。当接线图中的元件为线性元件时（忽略饱和），类似的 $i_{\sigma}=f(t)$ 的依从关系可以直接根据（5-3）式求得。为此，要将其中的阻抗 Z 代以形式为 $Z(p)=r+L(p)$ 的运算符阻抗。

适合于实际应用而且又足够准确的计算过渡的不平衡电流的方法迄今尚未找到。因此，为了进行数量上的评价，有时还必须采取利用试验资料的方法。在图5-6, 6中给出了由很大容量的电流互感器组成的接线中典型的 $i_{\sigma\sigma}=f(t)$ 依从关系。根据对该图以及其他一些资料的分析，可知：

1) 过渡方式下的 $i_{\sigma\sigma}$ 可能超过其稳定值（一般不超过几十或几百毫安）的很多倍，甚至可能达到大于其最大工作电流的数值；

2) $i_{\sigma\sigma}$ 的最大值并不是在发生短路的起始瞬间得到的，而是在稍迟一些的时间得到；

3) 由于铁心中剩余磁感应强度的影响，短路后的 $i_{\sigma\sigma}$ 稳定值可能大于短路前 $i_{\sigma\sigma}$ 的稳定值；

4) $i_{\sigma\sigma}$ 数值很大的时间不超过几分之一秒。

还必须注意一次系统（短路点之前）及保护装置的二次回路

的时间常数对 $i_{\text{нс}}$ 的影响。它们越增大，过渡过程越要拖长，不平衡电流也要增大。

为了保证差动保护在外部短路时的正确工作，它的电流继电器的动作电流应能躲开不平衡电流的上述值。对于图 5-1, a 中所示接线图而言，

$$I_{\text{с.р}} \geq k_{\text{н}} I_{\text{нб.макс.расч}} \quad (5-5)$$

式中， $I_{\text{нб.макс.расч}}$ ——对应于最大外部短路电流的最大计算不平衡电流的有效值。

5-3 提高保护装置的可靠性及灵敏度的方法

差动保护的灵敏度以灵敏系数表征之。对图 5-1, a 中所示接线方式而言，在 $\tau_{\text{н}}=0$ 的情况下流经保护范围中的故障点的最小二次电流与继电器的动作电流之比，即其灵敏系数。一般认为取 $k_{\text{ч.мин}} \approx 2$ 是必要的。

为使继电器的动作电流躲开不平衡电流 $I_{\text{нс}}$ 的很大过渡值，在许多情况下，灵敏系数 $k_{\text{ч}}$ 会显得不足。由于不可能精确地求出 $I_{\text{нб.макс.расч}}$ ，也可能导致保护装置可靠性的降低。

有很多种提高保护装置的灵敏度及可靠性的方法，其效力和详细程度不同。其中包括：

1. 使保护装置的動作帶有一定的時延，其大小等於很大的過渡性 $I_{\text{нс}}$ 存在的時間（約達 0.3~0.5 秒）。這種方法要降低保護裝置的主要長處——動作的迅速性。因此，在現代化的電力系統中，照例不主張採用這種方法。

2. 使主電流互感器或由其供電的中間電流互感器（圖 5-7, a）工作在其磁性曲線的飽和部分。在圖 5-7, б 中表示出由此而得到的關係。保護裝置的繼電器中的電流 $I_{\text{р}} = I'_{\text{г}} - I'_{\text{д}}$ 。要達到其動作電流 $I_{\text{н.}}$ 之值是與主電流互感器在不同的電流差 $I_{\text{г}} - I_{\text{д}}$ 之下的二次電流 $I_{\text{г}}$ 有關的。電流 $I_{\text{г}}$ 愈大，則為使保護裝置動作所必需的電流之差愈大。在達到基本上完全飽和時，相位相同的電流之差已經不能使保護裝置開始動作；為此需要在電流之間有一定的相位差。這樣一來，保護裝置的動作電流可以隨著外部短路電流