

电力系统继电保护

下 册

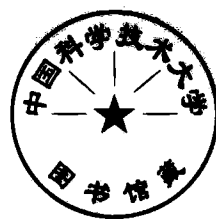
許 敬 賢 張 道 民

中 国 工 业 出 版 社

电力系统继电保护

下 册

許敬賢 張道民



中国工业出版社

全书共分上、中、下三册。本册对发电厂变电所的各种电气设备，其中包括：变压器、发电机、电动机、母线以及低压引出线的保护装置作了系统而又完整的阐述。书中详细介绍了各种保护装置的基本原理、整定计算方法 and 接线图的拟制原则。近年来继电保护新技术和运行经验等方面的资料，也适当地纳入了书中有关章节内。书中并附有必要的计算示例和典型接线图。

本书可供从事继电保护装置的运行、调试、设计和施工工作的工程技术人员学习参考用，也可作为电工院校的教学参考书。

电力系统继电保护

下 册

許敬賢 张道民

水利电力部办公厅图书编辑部编辑(北京阜外月坛南营房)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙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 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张28·插页1·字数628,000

1965年9月北京第一版·1965年9月北京第一次印刷

印数0001—7,380·定价(科六)3.30元

统一书号：15165·4050(水电-534)

目 录

第十一章 变压器的保护	769	的断线监视装置	858
11-1. 变压器的各种故障和不正常运 行方式	769	11-21. 变压器的防止外部短路的电流 保护装置	867
11-2. 变压器保护装置的装设原则	774	11-22. 变压器的防止外部短路的电流 保护装置的配置原则	876
11-3. 变压器的瓦斯保护装置	776	11-23. 变压器的过负荷保护装置	882
11-4. 变压器的电流速断装置	781	11-24. 变压器的接地保护装置	883
11-5. 利用差动保护装置来保护变压 器	783	11-25. 变压器的防止碰接外壳的保护 装置	890
11-6. 变压器差动保护装置的特点	784	11-26. 附加调压变压器在电网中的应 用及其相序等价网络的繪 制	894
11-7. 变压器的励磁涌流	790	11-27. 附加调压变压器的差动保护装 置	902
11-8. 避越励磁涌流的方法	796	11-28. 附加调压变压器的带外部故障 闭锁的过电流保护装置	906
11-9. 变压器的差动电流速断装置	797	11-29. 附加调压变压器的带制动特性 的过电流保护装置	910
11-10. 带速饱和变流器的纵联差动保护装 置	798	11-30. 自耦变压器在电网中的应用及 其相序等价网络的繪制	914
11-11. 助磁式差动继电器在变压器差动保 护装置中的应用	801	11-31. 自耦变压器的差动保护装置	922
11-12. 带短路线圈的助磁式差动继电器的 动作原理	803	11-32. 自耦变压器的后备保护装 置	923
11-13. 带 PHT-562 型助磁式差动继 电器的纵联差动保护装置的 整定计算	808	11-33. 自耦变压器的过负荷保护装 置	926
11-14. 在計及电流互感器实际误差的 情况下, 纵联差动保护装置 的整定计算	821	11-34. 变压器保护装置的接线图	926
11-15. 扩大 PHT-562 型助磁式差动 继电器使用范围的方法	825	11-35. 线路-变压器组保护装置的 特点	932
11-16. 带磁制动特性的助磁式差动继 电器的动作原理	828	11-36. 厂用变压器的保护装置	937
11-17. 多侧制动的变压器的差动保护 装置的拟制原则	833	第十二章 同步发电机和调相机的 保护	942
11-18. 带 $\Delta 3T-1$ 型助磁式差动继电器 的纵联差动保护装置的整定 计算	841	12-1. 发电机的各种故障和不正常运 行方式	942
11-19. 利用整流式差动继电器构成的 带制动特性的纵联差动保护 装置	850	12-2. 发电机保护装置的装设原则	948
11-20. 变压器差动保护装置电流回路		12-3. 发电机定子线卷的纵联差动保 护装置	950
		12-4. 与发电机定子线卷两相式纵联	

	差动保护装置配合使用的防止两点接地短路的保护装置.....	957		
12-5.	发电机定子线卷的电流速断装置.....	964	13-1.	发电机-变压器组保护装置的 特点及其装设原则.....
12-6.	发电机定子线卷的横联差动保护装置.....	965	13-2.	发电机-变压器组的纵联差动 保护装置.....
12-7.	发电机电压电网的中性点接地 方式.....	971	13-3.	装设在发电机-变压器组大接 地电流电网侧的接地保护装 置.....
12-8.	发电机各相定子线卷的对地电 容.....	973	13-4.	发电机-变压器组的发电机电 压电网的中性点接地方 式.....
12-9.	发电机接地保护装置的构成.....	973	13-5.	装设在发电机-变压器组发电 机电压侧的接地保护装置.....
12-10.	发电机接地保护装置参数选择 的一般原则.....	976	13-6.	发电机-变压器组保护装置的 接线图.....
12-11.	助磁式零序电流互感器.....	978	第十四章 母线保护、后备接线和 低压引出线的保护装置	
12-12.	发电机接地保护装置的整定计 算和计算示例.....	984	14-1.	母线故障和对母线保护的 要求.....
12-13.	由磁放大器构成的发电机接 地保护装置.....	989	14-2.	母线保护的装设原则.....
12-14.	发电机中性点装设有消弧线圈 时,实现接地保护装置的特 点.....	991	14-3.	母线的电流保护装置.....
12-15.	发电机接地电容电流的补偿.....	992	14-4.	母线的电流电压保护装置.....
12-16.	发电机的防止外部短路的电流 保护装置和过负荷保护装 置.....	993	14-5.	母线的方向保护装置.....
12-17.	滤过式过电流保护装置灵敏度 的评价.....	1000	14-6.	利用母线上连接元件的保护装 置构成的母线保护装置.....
12-18.	电流互感器二次回路断线时, 负序电流保护装置的工作情 况.....	1005	14-7.	母线的距离保护装置.....
12-19.	发电机的过电压保护装置.....	1009	14-8.	母线差动保护装置的动作原 理.....
12-20.	发电机励磁回路的一点接地保 护装置.....	1011	14-9.	单母线的完全母线差动保护装 置.....
12-21.	发电机励磁回路的两点接地保 护装置.....	1018	14-10.	元件非固定连接的双母线的母 线差动保护装置.....
12-22.	发电机的灭磁装置.....	1026	14-11.	元件固定连接的双母线的母线 差动保护装置.....
12-23.	同步调相机的保护装置.....	1031	14-12.	装设空气断路器时元件固定连 接母线差动保护装置的实现 原则.....
12-24.	发电机和调相机保护装置的接 线图.....	1033	14-13.	当平行线路上装设横联差动保 护装置时元件固定连接母线 差动保护装置的实现原则.....
第十三章 发电机-变压器组的保 护		1043	14-14.	当采用母线自动重合闸时元件 固定连接母线差动保护装置

的实现原则.....1108	数选择.....1162
14-15. 具有旁路母线时元件固定连接 母线差动保护装置的拟制原 则.....1110	第十五章 异步和同步电动机的保 护.....1168
14-16. 连接元件具有两个断路器的母 线差动保护装置.....1113	15-1. 异步电动机的各种故障和不正 常运行方式.....1168
14-17. 不完全母线差动保护装置.....1116	15-2. 异步电动机保护装置的装设原 则.....1170
14-18. 母线差动保护装置的闭锁装 置.....1123	15-3. 异步电动机的机械时间常数、 阻力矩和电动机的情行.....1172
14-19. 加速连接元件保护动作的母线 保护装置.....1125	15-4. 异步电动机的自启动.....1175
14-20. 母线相差动保护装置.....1127	15-5. 防止异步电动机多相短路的电 流保护装置.....1184
14-21. 另外几种母线差动保护装置的 动作原理.....1136	15-6. 防止异步电动机过负荷的电流 和热力保护装置.....1187
14-22. 母线联络断路器和旁路断路器 保护装置的装设原则.....1139	15-7. 防止异步电动机单相接地的零 序电流保护装置.....1189
14-23. 母线联络断路器和旁路断路器 保护装置的接线图.....1140	15-8. 防止异步电动机两相运行的保 护装置.....1189
14-24. 后备接线的拟制原则.....1141	15-9. 异步电动机的低电压保护装 置.....1191
14-25. 双母线或分段母线上的后备接 线.....1148	15-10. 1000伏电压以下异步电动机的 保护装置.....1194
14-26. 装设在多角形接线母线上的后 备接线.....1152	15-11. 同步电动机的各种故障、不正 常运行方式和应用的保护装 置类型.....1205
14-27. 3~10千伏线路保护装置的装 设原则.....1157	15-12. 防止同步电动机在非同期方式 下运行的保护装置.....1207
14-28. 3~10千伏线路保护装置的构 成.....1158	主要参考书.....1209
14-29. 3~10千伏线路保护装置的参	

第十一章 变压器的保护

11-1 变压器的各种故障和不正常运行方式

现代变压器的结构是简单和可靠的。但是在实际运行中仍有可能发生故障和出现不正常运行方式，因此为了保证电力系统的连续运行，同时限制故障和不正常运行方式的影响，在变压器上通常皆需装设专用的继电保护装置。

变压器的故障可分成内部故障和外部故障两种。

变压器的内部故障有相间短路和线卷的匝间短路。近年来由于对变压器结构的不断改善和绝缘的加强，在三相变压器中发生内部相间短路的可能性是很小的。在由三台单相变压器构成的变压器组中，内部相间短路一般是不可能发生的。变压器的内部故障最常见的是线卷的匝间短路。

当变压器铁芯间的绝缘损坏时，由于故障点磁滞损耗和涡流损耗的增加，可能引起变压器铁芯的局部发热，从而将导致绝缘的进一步损坏，甚致烧伤铁芯。这种故障虽然严重，但是实际运行中发生的可能性很小。

变压器的外部故障最常见的是绝缘套管的故障，这种故障可能引起变压器出线端的相间短路或一相线卷碰接变压器的外壳。

如果变压器外壳损坏，以致变压器油不断漏出时，也可能引起变压器发生故障。

在大接地电流电网中，当变压器的线卷内发生多相短路、匝间短路或单相接地短路时，变压器的保护装置应该尽快地动作于它的断路器跳闸。

对于小接地电流电网中的变压器，通常不装设专用的防止线卷单相接地的保护装置。但是在稀有的情况下，如果向其供电的电网中装设有动作于跳闸的接地保护装置时，则在由该电网供电的变压器上，亦应按照选择性的条件装设相应的接地保护装置。

现在讨论当变压器引出端或线卷内部发生短路时，短路电流在一次和二次线卷中的分布情况。如果将变压器的励磁电流忽略不计，则短路电流的上述分布情况可以根据同一铁芯上线卷磁化力相互平衡的原理求出。这时为了简单起见，还假设变压器的负荷电流为零且其变压比 $\Pi_r = 1$ 。对于线卷按 Y/Y 方式连接的变压器而言， $\Pi_r = 1$ 相当于变压器两侧的线卷匝数相等；如果变压器的线卷连接成 Y/Δ ，则其 Δ 侧的线卷匝数 w_Δ 应为 Y 侧线卷匝数 w_Y 的 $\sqrt{3}$ 倍。

图11-1示出当变压器引出端上发生短路时，一次和二次线卷中的电流分布图。必须指出，在根据同一铁芯上线卷磁化力相互平衡的原理求图11-1, θ 中的电流分布时， Y_0 侧短路电流 I_{K0} 中的零序分量不能传变到 Y 侧，因此在 Y 侧实际上仅流过短路电流的正序和负序分量；与此相似，在图11-1, θ 中， Y_0 侧短路电流的零序分量虽然能够传变到 Δ 侧，但是 Δ 侧的零序电流仅能在该侧的三相线卷中环流，所以 Δ 侧的各相线电流实际上亦仅包括短路电流的正序和负序分量。

当变压器发生内部故障时（图11-2），变压器各侧的电流分布可由下法求出。假设故障点的短路电流为 $I_{K0\alpha}$ ，故障线卷被短路的匝数 w_α 与其总匝数 w 之比为 α ，则：

一、Y/Y连接的变压器二次线卷内发生相间短路(图11-2, a)
 在这种情况下, 一次线卷内的短路电流 $I_{\kappa s}$ 决定于以下的等式:

$$I_{\kappa s} w = I_{\kappa s \alpha} w_{\alpha}$$

所以

$$I_{\kappa s} = \frac{w_{\alpha}}{w} I_{\kappa s \alpha} = \alpha I_{\kappa s \alpha} \quad (11-1)$$

二、 Δ/Y 连接的变压器二次线卷内发生匝间短路(图11-2, b)
 这时因为 $I_{\kappa s} w_{\Delta} = I_{\kappa s \alpha} w_{\alpha}$, 所以

$$I_{\kappa s} = \frac{w_{\alpha}}{w_{\Delta}} I_{\kappa s \alpha} = \frac{w_{\alpha}}{\sqrt{3} w_Y} I_{\kappa s \alpha} = \frac{\alpha}{\sqrt{3}} I_{\kappa s \alpha} \quad (11-2)$$

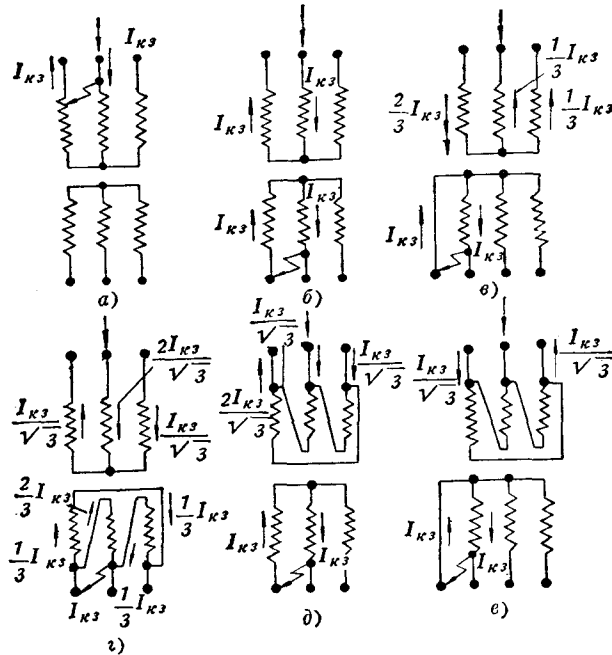


图 11-1 变压器引出端上发生短路时, 一次和二次线卷中的电流分布图

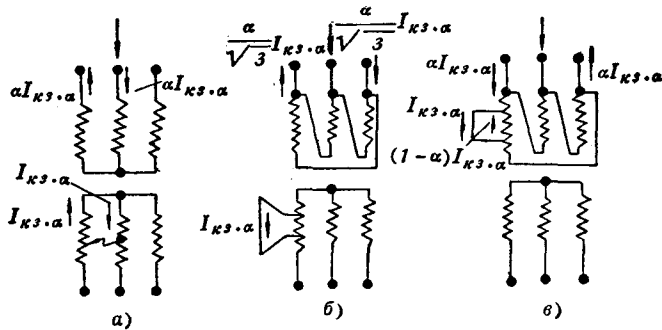


图 11-2 变压器线卷内部短路时, 一次和二次线卷内的电流分布图

三、 Δ/Y 连接的变压器一次线卷内发生匝间短路(图11-2, θ)

由于 $I_{\kappa s}(w_{\Delta} - w_{\alpha}) = (I_{\kappa s\alpha} - I_{\kappa s})w_{\alpha}$, 所以

$$I_{\kappa s} = \frac{w_{\alpha}}{w_{\Delta}} I_{\kappa s\alpha} = \alpha I_{\kappa s\alpha} \quad (11-3)$$

由此得出结论, 当变压器发生内部故障时, 如果 α 的数值很小, 则即使故障点的短路电流 $I_{\kappa s\alpha}$ 的数值很大, 由电源侧流来的短路电流 $I_{\kappa s}$ 可能仍然很小, 因此反应短路电流值的保护装置的灵敏度也会不够。鉴于上述情况, 在实际运行中广泛采用了根据非电气原理构成的瓦斯保护装置来反应变压器内部的各种故障。

变压器的不正常运行方式有过负荷、由外部短路引起的过电流、不允许的油面降低和电压升高等。

一、过负荷

过负荷可能是由于尖峰负荷或超铭牌运行所引起, 也可能在事故情况下, 例如突然断开一台并列运行的变压器时发生。

变压器的允许过负荷问题对于设计和运行都是很重要的。变压器的额定容量系指在给定的冷却方式和使用期限(一般为15~20年, 其期限主要决定于绝缘的衰老程度)的情况下, 当周围空气温度最高不超过35°C时, 允许连续通过的容量。由于昼夜和年负荷经常有所变动, 因此如果变压器的安装容量选择得合适, 有计划地短时间过负荷, 并不致缩短变压器的使用期限。

变压器允许过负荷的数值和持续时间也与变压器的安装地点有关, 并且决定于相应的运行规程的规定。例如在过负荷运行方式下, 过负荷持续时间在5昼夜内不超过6小时, 则变压器允许过负荷40%, 此时昼夜负荷曲线的填满系数应不超过0.75, 换句话说, 昼夜平均负荷电流与最大负荷电流之比应为:

$$\frac{I_{\text{назр. ср. сут}}}{I_{\text{назр. макс}}} = \frac{I_{\text{назр. ср. сут}}}{1.4 I_{\text{ном}}} \leq 0.75$$

在事故情况下当发生不允许的过负荷时, 变压器短时间的过负荷倍率应遵照制造厂家的规定, 这时可不受上述填满系数的限制。在无制造厂家的规定时, 对于自然通风和强力通风的油浸式变压器而言, 允许过负荷倍率和持续时间参见表11-1。

表 11-1 变压器允许过负荷倍率和持续时间

过负荷电流/额定电流	1.3	1.6	1.75	2.0	2.4	3.0
过负荷持续时间(分)	120	30	15	7.5	3.5	1.5

自耦变压器的容量可以分成通过容量和计算(型式)容量两种。假设低压侧的电流 $I_n = 0$, 则自耦变压器的通过容量等于高压侧或中压侧的电流和电压的乘积(图11-3), 即:

$$S_{np} = U_e I_e \approx U_c I_c$$

计算容量决定于自耦变压器的尺寸和重量, 且其值等于:

$$S_{pacu} = \Delta U I_a \approx U_c I_{\sigma_{\omega}} = U_c (I_c - I_a)$$

自耦变压器的计算容量小于其通过容量，两者之比称为效益系数，并用下式表示：

$$K_{noa} = \frac{S_{pacu}}{S_{np}} = \frac{\Delta U I_a}{U_a I_a} = \frac{\Delta U}{U_a} = \frac{U_a - U_c}{U_a} = 1 - \frac{1}{\Pi_{AT}} \quad (11-4)$$

减小自耦变压器高、中压侧的变压比 $\Pi_{AT} = \frac{U_a}{U_c}$ ，则 K_{noa} 也减小，因而计算容量也随着降低。显然自耦变压器低压线卷的容量不能超过计算容量，当自耦变压器的变压比为 2 时，其容量为通过容量的 50%。

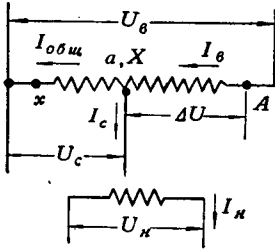


图 11-3 自耦变压器的接线图

自耦变压器允许的负荷和过负荷在线卷 AX 部分系决定于通过容量，而在公共线卷 ax 部分和低压线卷则决定于计算容量。

由于自耦变压器不同电压侧的负荷和电源有各种不同的组合方式，因此自耦变压器也会出现各种不同的运行方式。分析指出，在某些情况下，自耦变压器可能会过负荷，而在另外一些情况下，自耦变压器的容量却又不能充分利用，所以在采用自耦变压器时，必须对其运行方式加以特别的注意。

表 11-1 所示数据对于自耦变压器也仍然适用。

综上所述，即使在最严重的过负荷情况下，也没有必要将变压器或自耦变压器瞬时切除。因此过负荷保护装置通常系动作于信号，而在上述过负荷情况下，由运行人员来手动减轻变压器或自耦变压器的负荷。仅在无运行人员并且没有遥远监视的变电所中，过负荷保护装置才允许动作于自动减负荷或跳闸。

二、由外部短路引起的过电流

在发生外部短路时，流过变压器或自耦变压器的短路电流将超过其额定电流。变压器或自耦变压器的最大外部短路电流 $I_{k3. \text{вн. макс}}$ 相当于电源侧为无限大电源（系统综合阻抗为零）并且仅受变压器或自耦变压器的电抗 $x_k\%$ 所限制的短路电流，即：

$$I_{k3. \text{вн. макс}} = \frac{100}{x_k\%} I_{\text{ном.т}} \quad (11-5)$$

变压器或自耦变压器的结构能够承受流过 $I_{k3. \text{вн. макс}}$ 时所产生的机械应力。但是如果长时间流过短路电流，由于它的热效应，可能导致变压器或自耦变压器的线卷损坏。根据现行变压器运行规程的规定，短路电流通过的时间应不超过 $t = \frac{900}{K^2}$ 秒，式中 K 为稳态短路电流与变压器额定电流之比。电力系统中后备保护装置的动作时限通常不超过几秒钟，在这段时间内，外部短路电流尚不致严重地损坏变压器或自耦变压器的线卷的绝缘。

但是从整个电力系统中继电保护装置选择性动作的观点出发，短路故障应借距故障点最近的元件来切除。所以在变压器或自耦变压器上需装设防止外部短路的保护装置，这种保护装置不仅作为相邻元件的后备保护，而且也是变压器或自耦变压器本身的后备保护。

三、油面过低

当温度大量下降、油量不足和外壳漏油时，都可能产生油面过低现象。在这种情况下，装设专用的保护装置是合适的。根据油面降低的程度，保护装置动作于信号或跳闸。当有

运行人员时，保护装置仅动作于信号。

四、电压升高

当电网中发生接地故障时，变压器或自耦变压器的非故障相上的电压将会升高，如果这些变压器的中性点未接地，则在中性点亦将出现电压。在小接地电流电网中，这些电压可能分别达到线电压和相电压的数值。在大接地电流电网中，这些电压比较小，其值与电力系统的零序和正序等价电抗之比有关。

如果电网中所有的中性点皆接地，则当电网中发生接地故障时，电压升高一般不会超过绝缘的允许值。

在大接地电流电网中，为了限制单相接地短路电流，以及为了使接地保护装置能较可靠地工作而尽量少受接地点数量变化的影响，往往仅将一部分变压器的中性点直接接地。假设电网中具有高压侧中性点不接地的变压器时（低压侧有电源），则当在该变压器高压侧母线上发生接地短路，并且电网中接地保护装置将流过接地短路电流的相应连接元件切除以后，接地短路故障可能并未消除。在这种情况下，该变压器将带着绝缘中性点继续运行，因而在变压器上可能出现不允许的过电压。为了防止上述过电压，可以装设专用的保护装置。顺便指出，专用的保护装置的实现原则与变压器的绝缘情况有关。当变压器为分级绝缘时，应在出现危险的过电压之前，先将中性点不接地的变压器切除，然后再切除中性点接地的变压器，因此应装设特殊保护装置，例如零序电流电压保护装置等。当变压器为全绝缘时，虽然变压器能够承受这一过电压，但是为了防止由于电压升高而使电压互感器烧毁以及接地点间隙性电弧作用下产生的高电压，亦应装设专用的保护装置，例如带时限动作于变压器跳闸的零序过电压保护装置。

假设自耦变压器的中性点不接地，则当自耦变压器高压侧电网中发生单相接地故障时，在其中压侧线卷上将出现过电压。通常过电压倍数与自耦变压器的变比 Π_{AT} 有关。图11-4示出高压侧A相接地时，自耦变压器的电压向量图。如果自耦变压器高、中压侧的额定相电压分别用 U_{BA} 、 U_{BB} 、 U_{BC} 和 U_{CA} 、 U_{CB} 、 U_{CC} 表示，则：

$$U_{BA} = \Pi_{AT} U_{CA}$$

$$U_{BB} = \Pi_{AT} U_{CB}$$

$$U_{BC} = \Pi_{AT} U_{CC}$$

当自耦变压器高压侧A相接地时，它的中性点的对地电位将会发生位移。从图11-4中可以看出，自耦变压器中压线卷侧非故障相对地电压的数值 U 为：

$$\begin{aligned} U &= \sqrt{(U_{BA} + U_{CB} \sin 30^\circ)^2 + (U_{CB} \cos 30^\circ)^2} \\ &= \sqrt{\left(\Pi_{AT} U_{CA} + \frac{1}{2} U_{CB}\right)^2 + \frac{3}{4} U_{CB}^2} \\ &= U_{CB} \sqrt{\Pi_{AT}^2 + \Pi_{AT} + 1} \end{aligned}$$

所以过电压倍数为：

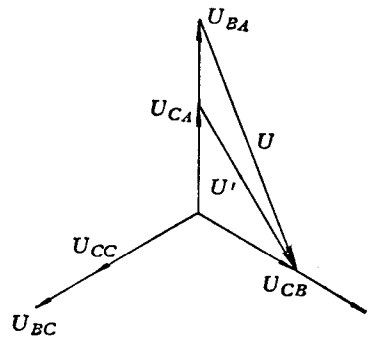


图 11-4 高压侧A相接地时，自耦变压器的电压向量图

$$\frac{U}{U_{CB}} = \sqrt{\Pi_{AT}^2 + \Pi_{AT} + 1} \quad (11-6)$$

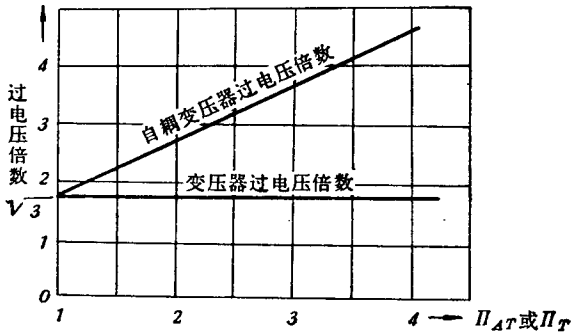


图 11-5 过电压倍数与变压比的关系曲线

直接接地，或者经过小电抗器接地。

图11-5中示出根据式(11-6)绘制的自耦变压器的过电压倍数与变压比的关系曲线。为了便于比较起见，图中亦绘出了普通变压器的过电压倍数与变压比的关系曲线。

从图11-5中可以看出，自耦变压器的变压比 Π_{AT} 愈大，则其中压线卷的过电压倍数愈高。为了避免发生上述现象，在实际运行中自耦变压器的中性点必须

11-2 变压器保护装置的装设原则

根据“继电保护和自动装置规程”的规定，在变压器上应装设防止下列各种故障和正常运行方式的继电保护装置：

- 一、线卷内及其引出端上的多相短路；
- 二、线卷内的匝间短路；
- 三、在大接地电流电网中的单相接地短路；
- 四、由外部短路引起的过电流；
- 五、由过负荷引起的过电流；
- 六、油面降低。

容量为1000千伏安及以上的变压器应装设瓦斯保护装置，以便在发生各种伴有瓦斯分解的内部故障时，能够起保护作用。在出现轻微瓦斯及油面下降时，保护装置应动作于信号；但是在出现大量瓦斯时，保护装置通常应动作于跳闸。

对于容量为320千伏安及以上的车间变压器，亦应装设瓦斯保护装置。假设变压器各侧未装设断路器时，瓦斯保护装置可以仅动作于信号，但是在这种情况下，瓦斯继电器的各元件应分别装设信号装置。

为了保护变压器引出端上发生的故障以及变压器的内部故障，应装设动作于跳闸的瞬动纵联差动保护装置或电流速断装置。

纵联差动保护装置通常装设在并列运行的容量为5600千伏安及以上的变压器上，或者装设在单独运行的容量为7500千伏安及以上的变压器上。

容量为5600千伏安及以上的工作厂用变压器亦应装设纵联差动保护装置。对于备用厂用变压器，为了简化保护，允许装设电流速断装置来代替纵联差动保护装置。

对于容量为1000~7500千伏安的变压器，如果电流速断装置的灵敏度不够($K_s < 2$)，并且过电流保护装置的动作时限在0.5秒以上，或者为了提高线路保护装置的灵敏度时，亦应装设纵联差动保护装置。

除了上述情况以外，可以装設电流速断装置。

纵联差动保护装置可用一組动作电流按避越励磁涌流整定的差动电流继电器来构成，当其不能滿足灵敏度要求，以及当采用这种保护而需要平衡自耦变流器时，則可装設具有速饱和变流器或者具有短路线圈的助磁式差动电流继电器的纵联差动保护装置。如果采取上述措施仍然不能滿足灵敏度的要求，則可在保护装置中装設具有制动特性的差动电流继电器。

在构成纵联差动保护装置时，除了利用变压器套管內的电流互感器的情况以外，应将变压器与母线間的连接綫包括在保护范围以內。

为了防止由于外部短路引起的过电流以及作为变压器本身主保护的后备，在变压器上需要装設动作于跳閘的后备保护装置。后备保护装置可借帶低电压起动或不帶低电压起动的过电流保护装置以及滤过式过电流保护装置来实现。

如果为了實現足够的后备作用，因而将导致变压器后备保护装置的接线大大复杂化时，允許縮短对相邻线路的后备作用范围，并且在某些个别故障情况下，可以不考虑变压器主保护拒絕动作的情况。

变压器后备保护装置对各电压側母线上的三相短路应具有必要的灵敏度，它的职能应尽可能独立，而不由发电机的后备保护来代替。变压器后备保护装置最好既能反应不对称短路，又能反应对称短路，此外它应能切除卷綫型电流互感器与断路器之間的短路故障。

在进行多卷变压器后备保护装置的配置时，应考虑到各电压側均有分別断开的可能性。但是允許不考虑在主电源側（例如三卷升压变压器的发电机电压側或系統联络变压器的大电源側）断路器断开的运行方式下，变压器主保护拒絕动作的稀有情况。

通常过电流保护装置应装設在双卷变压器的主电源側。在与三台及以上断路器連接的多卷变压器上，則装設在变压器的各电压側，根据电网的具体情况，允許在其中一側不装保护，但是这时主电源側的保护应具有两段动作时限，并且以較小的时限动作于未装設保护側的断路器跳閘。

在供电給分开运行的母线段的双卷降压变压器上，后备保护装置应装設在电源側和每段母线側。

在三卷降压变压器上，如果低压側母线上装設有不完全的母线差动保护装置，并且按照灵敏度的条件，它可以作为相邻連接元件的后备保护时，允許不在低压側装設后备保护装置。

对多側电源的多卷变压器而言，如果根据选择性的条件要求后备保护装置具有方向性时，則可附加装設方向元件。

为了避免后备保护接线复杂化以及由于运行人員的过失而造成誤切除变压器的情况，通常不推荐利用发电机后备保护动作于变压器的断路器跳閘的措施。在水电站中，当升压变压器的后备保护装置的灵敏度不能滿足要求时，允許利用发电机的后备保护装置来动作于变压器的断路器跳閘。在这种情况下，如果变压器和发电机上装設的都是复合电压起动或帶低电压起动的过电流保护装置，最好采用将发电机和变压器后备保护装置中的电流元件彼此并联的接线。对于火力发电厂中的升压变压器而言，当其后备保护不能滿足灵敏度的要求，并且又无其他較好的保护措施时，亦允許利用发电机的后备保护来保护变压器。

当利用負序电流保护装置来实现变压器的后备保护时，它对引出綫上的不对称短路具

有較高的灵敏度，因此負序电流保护装置推荐采用在容量为31.5兆伏安及以上的升压变压器和系統联络变压器上。順便指出，复合电压起动的过电流保护装置的使用范围不受上述的限制。

在設計变压器的后备保护时，應該照顾到整个发电厂或变电所后备保护方案的一致性。例如当工作在同一母线上的发电机或并列运行的大容量变压器上需要采用負序电流保护装置时，則在其他容量較小的变压器上，亦可采用負序电流保护装置。

在降压变电所中，当低压側装設有分段断路器时，为了簡化接线，允許利用变压器低压側的后备保护以第一段时限动作于分段断路器跳閘。

容量为320千伏安及以上的变压器，当数台并列运行或单独运行而有备用电源自动投入装置时，应根据过负荷的可能性及其大小装設有负荷保护装置。过负荷保护装置接于某一相电流中，并且通常系动作于信号。

容量为1000千伏安及以上的升压或降压变压器，当其大接地电流側有接地的中性点并且必須具有防止接地短路的后备保护时，应在該側装設防止外部接地短路的零序过电流保护装置。

在一次电压为10千伏及以下的厂用变压器上，当其容量为320千伏安及以上并且线卷系接 Y/Y 。中性点接地的方式連接时，应在其低压側装設防止单相接地的保护装置。該保护装置可借厂用变压器的过电流保护装置来实现，当其灵敏度不够时，可以装設专用的零序电流保护装置。

当变压器具有带負荷調压变压器时，除了上述各种保护装置外，还必须附加以下的保护装置：

- 一、調压变压器的瓦斯保护装置；
- 二、具有外部短路閉鎖的或具有制动作用的电流保护装置；
- 三、包括調压变压器（調节部分除外）的差动保护装置，或者包括主变压器及与主变压器线卷串联的調压变压器线卷的零序差动保护装置。

11-3 变压器的瓦斯保护装置

当油浸式变压器油箱內发生任何一种故障时，故障点电弧和其它反应故障特点的因素（例如变压器鉄芯的发火），将使油及其他絕緣材料分解，因而产生气体。气体形成的强烈程度与故障的程度及其性质有关。

根据变压器发生內部故障时将会产生气体的这一特点，可以构成瓦斯保护装置。

瓦斯保护装置的构成方式与变压器的結構有关。在大多数情况下，它系反应于分解出的气体的体积及其形成速度。

現在先介紹构成瓦斯保护装置的瓦斯继电器的动作原理。图11-6示出III-22型瓦斯继电器的內部构造图，在继电器的儲油器中，装設有兩個具有水銀接点的浮筒。浮筒系作封閉式的，它固定在軸上，并且可以繞軸轉动。

在正常情况下，继电器的儲油器內充滿着油，浮筒浮起，这时继电器的接点也保持打开（图11-7，a）。

当故障不严重时，形成的气体較少，分解出来的气体由于比油輕而向上升，并且聚积在继电器的儲油器內，将油排出。继电器的上浮筒随着油面逐步下降（图11-7，b），并且

閉合位于信号回路中的接点。在这种情况下，保护装置仅动作于信号（輕瓦斯），因为气体充滿儲油器上部后，繼續分解出来的气体不会再在儲油器內聚积，而将上升到变压器的油枕內，所以儲油器內的油面不会繼續下降。

当发生严重故障时，由于分解出的大量气体的作用，将迫使变压器油从油箱內上升至油枕，油流将继电器下浮筒冲倒（图11-7,б），并且閉合位于跳閘回路中的接点。在发生严重故障的情况下，继电器几乎是瞬时动作于跳閘（重瓦斯）；但是继电器动作于信号却具有一定的延时，因为当儲油器上部充滿气体后，上浮筒內的水銀接点才可能接通信号回路。

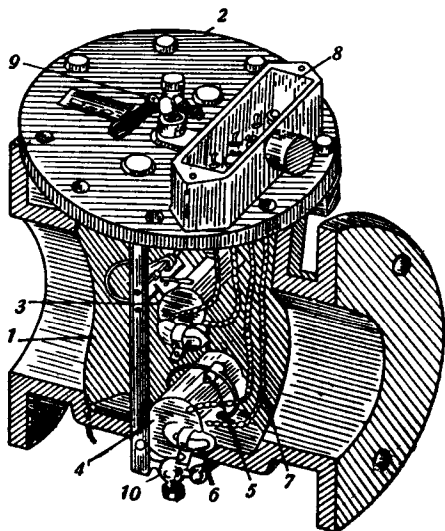


图 11-6 ПГ-22型瓦斯继电器的内部构造图

1—继电器的儲油器； 2—頂盖； 3—信号用上浮筒；
4—跳閘用下浮筒； 5—調整浮筒动作的重物； 6—水
銀接点； 7—陶瓷絕緣中的連接导线； 8—端盒中的
接线端子； 9—排气閥； 10—試驗閥

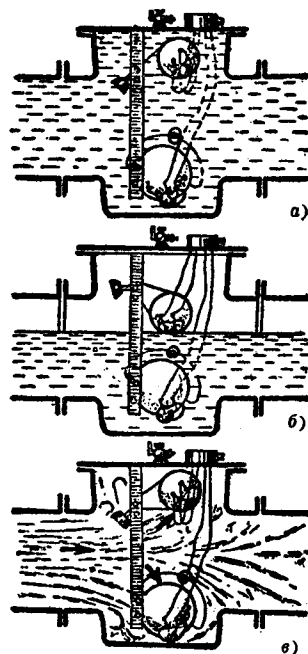


图 11-7 瓦斯继电器浮筒的位置
а—正常运行情况； б—不允許的油面降低情况；
в—故障情况

如果变压器內油面大量降低（例如油箱漏油、油量不足并且周围环境溫度过低等），瓦斯继电器儲油器內的油面不断地下降，于是信号接点首先閉合，随后又閉合跳閘接点。

当发生外部短路时，在短路电流热效应的作用下，分解出来的气体可能使瓦斯继电器动作于信号；由于油的体积的增加，甚至可能动作于跳閘。所以瓦斯继电器应该調整到在发生外部短路时不动作。

此外，由于調整不当，瓦斯继电器曾經在对被保护变压器并不严重的过負荷情况下，发生过誤动作。

为了調整继电器，使其在預定的油速下开始动作，在继电器下浮筒上装有一个小杆，且在其上有一个可以沿杆移动的重物。

运行經驗指出，变压器結構本身的振动和基础的不均匀下沉以及外部振动和冲击等原因，也可能导致瓦斯继电器誤动作。

如果瓦斯继电器发生故障，例如下浮筒漏油，瓦斯继电器也可能誤动作于跳閘。

按照瓦斯继电器的动作原理，它反应于气体和油的流动速度，因此在某些情况下，例如当变压器接入负荷时油中的空气经加热后而升入油枕，在强迫油循环冷却系统中油泵的起动和停止以及在换油过程中，瓦斯继电器都有误动作的可能。

瓦斯保护装置是反应变压器内部故障的一种很灵敏的保护装置，并且结构亦较简单，应该推广采用。但是由于瓦斯继电器存在着上述一些缺点，近年来国内一些运行单位往往将其闲置不用或者将重瓦斯亦切换到动作于信号。实际上最积极的措施是从各方面来消除瓦斯继电器可能发生误动作的原因，使其能够正确地反应变压器的内部故障。

在变压器灌油后或将新变压器投入运行时，应将重瓦斯切换到动作于信号（历时2~3昼夜），直至停止散发气体为止。在瓦斯继电器上设有供收集气体的试验阀，在瓦斯继电器动作后应立即收集气体，检查气体的化学成分和可燃性，随后根据气体的分析结果，即可作出变压器运行状态的结论。

在实际运行中应经常注意瓦斯继电器下浮筒的密封性，在破坏密封性时油将渗入下浮筒，使浮筒失去可浮性并且闭合水银接点。因此必须对新投入的和定期对运行中的瓦斯继电器作密封性试验。试验时可将浮筒和水银接点浸在煤油中，加一个大气压力并在常温下历时12小时，然后再检查浮筒的密封性。

为了保证瓦斯继电器能够正确动作并且具有足够的灵敏度，重瓦斯的动作油速一般可整定为0.6~1米/秒；对于强迫油循环的变压器，其动作油速的整定值应不小于1.2米/秒。

运行经验指出，将ΠΓ-22型瓦斯继电器的下浮筒改成旋转档板后，可以提高重瓦斯动作上的可靠性。图11-8示出档板式瓦斯继电器的内部结构示意图。档板固定在框架上，框架可绕支持架上的水平轴转动。在档板上具有若干孔洞，以便用来调节档板的斜率。当重瓦斯未动作时，框架系处于垂直位置。

调节档板式浮筒上重物的重量或位置，即可改变瓦斯继电器的动作油速。档板式瓦斯继电器的动作油速可用下式求出：

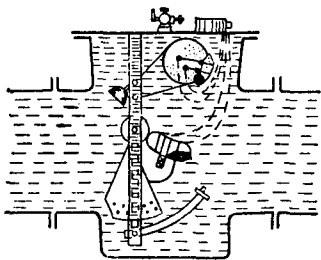


图 11-8 档板式瓦斯继电器的内部结构示意图

$$v_{\text{max. c.p.}} = \sqrt{\frac{Pl_p g}{\rho A l}} \quad (11-7)$$

式中 P ——附加平衡重锤的重量，克；
 l_p ——重锤至转轴的距离，厘米；
 g ——重力加速度，厘米/平方秒；
 ρ ——油的密度，克/立方厘米；
 A ——档板的面积，平方厘米；
 l ——档板重心至转轴的距离，厘米。

档板的重心通常应对准油管的中心，档板的尺寸可取为 5×5 或 4×5 平方厘米。

图11-9示出根据差动气压表原理构成的瓦斯继电器，这种继电器亦包括动作于跳闸（重瓦斯）和信号（轻瓦斯）两个环节。

重瓦斯由具有盛水银的U形管的接点式差动气压表所组成。由于重瓦斯没有可动部分，因而对于振动而言，它是不灵敏的。

继电器的外壳系用绝缘性能和机械强度很高的透明有机玻璃作成，所以在装设继电器的地点可以直接观察继电器内水银面和充油的状况。

变压器油可借孔洞1在油箱和油枕之间流通，孔洞1的总截面较连接管的截面为小。