

第四章 防触电技术



第一节 绝缘防护

一、绝缘防护的作用

使用绝缘材料将带电导体封护或隔离起来，使电气设备及线路能正常工作，防止人身触电事故的发生。

二、常用绝缘材料

电工技术上将电阻率在 $1000\text{M}\Omega\cdot\text{m}$ 以上的材料称为绝缘材料。

绝缘材料按形态分为气体、液体、固体绝缘材料；按化学性质可分为无机、有机和混合绝缘材料。

常用的气体绝缘材料有空气、氮气、二氧化碳、六氟化硫等。

液体绝缘材料有变压器油、电容器油、电缆油、硅油、蓖麻油等。

固体绝缘材料使用最广泛。

绝缘性能包括电气性能、机械性能、热性能、吸潮性能、化学稳定性以及抗生物性等。

电气性能是绝缘材料的主要性能。引起绝缘电气性能过早恶化和破坏的原因主要有：

(1) 产品制造质量低劣；(2) 在搬运、安装、使用及检修过程中受到机械损伤；(3) 由于设计、安装、使用不当，绝缘材料与其工作条件不相适应。



耐热性能是绝缘材料的重要性能之一。绝缘材料温度升高后，其绝缘性能将下降。绝缘材料容许的极限工作温度称为耐热等级。绝缘材料的耐热等级与极限工作温度见下表。

绝缘材料的耐热等级与极限工作温度

级 别	极限工作温度(°C)
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
C	180以上

三、预防电气设备绝缘事故的措施

- (1) 不使用质量不合格的电气产品；
- (2) 搬运、安装、运行和维修中避免绝缘受机械损伤、受潮、脏污；
- (3) 按规程和规范安装；
- (4) 按工作环境和条件正确选用电气设备；
- (5) 按照技术参数使用电气设备；
- (6) 正确选用绝缘材料；
- (7) 按规定周期和项目对电气设备进行绝缘预防性试验，对有绝缘缺陷的设备及时进行处理；
- (8) 改善绝缘结构；



第二节 屏护

屏护就是用防护装置将带电部位、场所或范围隔离开来。其作用主要有：
（1）防止工作人员意外碰触或过分接近带电体；（2）作为检修部位与带电体的距离小于安全距离时的隔离措施；（3）保护电气设备不受机械损伤。

常用的屏护装置有遮拦、护罩、护盖、围墙等。

一、遮拦

用于室内高压配电装置，宜做成网状，金属遮拦必须妥善接地并加锁。

二、栅栏

用于室内、室外配电装置，金属制作的栅栏应妥善接地。

三、围墙

室外落地安装的变配电设施应有完好的围墙。

四、保护网

保护网分为铁丝网和铁板网两种。

屏护装置应符合间距的要求及有关规定，并根据需要配以明显标志，以引起人们的注意。要求较高的屏护装置还应装设信号指示和连锁装置。所有的屏护装置应符合防火、防风要求并具有足够的机械力学强度。



第三节 安全距离

安全距离又称间距，是指为防止发生事故或短路故障而规定的带电体之间、带电体与地面之间、带电体与其他设施之间、工作人员与带电体之间必须保持的最小距离或最小空气间隙。**安全距离的大小取决于电压的高低、设备的类型和安装方式等，并在规程中作出明确规定。**

一、线路间距

架空线路导线与地面或水面的距离不应低于下表所列的数值。

导线与地面或水面的最小距离（m）

线路经过地区	线路电压（kV）		
	1以下	10	35
居民区			
非居民区	6	6.5	7
交通困难地区	5	5.5	6
不能通航或浮运的河、湖冬季水面（或冰面）	4	4.5	5
不能通航或浮运的河、湖最高水面（50年一遇的洪水水面）	5	5	5.5
	3	3	3

架空线路应避免跨越建筑物，架空线路不应跨越燃烧材料作屋顶的建筑物。架空线路必须跨越建筑物时，应与有关部门协商并取得有关部门的同意。架空线路与建筑物的距离不应低于下表所列的数值。

导线与建筑物的最小距离（m）

线路电压（kV）	1以下	10	35
垂直距离	2. 5	3. 0	4. 0
水平距离	1. 0	1. 5	3. 0

架空线路导线与街道或厂区树木的距离不应低于下表所列的数值。

导线与树木的最小距离（m）

线路电压（kV）	1以下	10	35
垂直距离	1. 0	1. 5	3. 0
水平距离	1. 0	2. 0	3. 5



架空线路应与有爆炸危险的厂房和有火灾危险的厂房保持必要的防火间距，与铁道、道路、管道、索道及其它架空线路之间的距离应符合有关规程的规定。

几种线路同杆架设时应取得有关部门同意，并应符合下列要求：

1. 电力线路在通讯线路上方，高压线路在低压线路上方。
2. 通讯线路与低压线路之间的距离不得小于1.5m；低压线路之间不得小于0.6m；低压线路与10kV高压线路之间不得小于1.2m；10kV高压线路与10kV高压线路之间不得小于0.8m。

10kV接户线对地距离不应小于4.0m；低压接户线对地距离不应小于2.5m；低压接户线跨越通车街道时，对地距离不应小于6m；跨越通车困难的街道或人行道时，不应小于3.5m。

直接埋地电缆埋设深度不应小于0.7m。



二、设备间距

变配电设备各项安全距离一般不应小于下表所列的数值。

变配电设备的最小允许距离（mm）

额定电压（kV）		1以下	1~3	6	10	20	35	60
不同相带电部分之间及带电部分与接地部分之间	户外	75	200	200	200	300	400	500
	户内	20	75	100	125	180	300	550
带电部分至板状遮栏	户外							
	户内	50	105	130	155	210	330	580
带电部分至网状遮栏	户外	175	300	300	300	400	500	700
	户内	100	175	200	225	280	400	650
带电部分至栅栏	户外	825	950	950	950	1050	1 150	1350
	户内	800	825	850	875	930	1050	1300
无遮栏裸导体至地面	户外	2500	2700	2700	2700	2800	2900	3 100
	户内	2500	2500	2500	2500	2500	2600	2850
需要不同时停电检修的无遮栏裸导体之间	户外	2000	2200	2200	2200	2300	2400	2600
	户内	1875	1875	1900	1925	1980	2100	2350

室内安装的变压器，其外廓与变压器室四壁应留有适当距离。变压器外廓至后壁及侧壁的距离，容量1000kVA及以下者不应小于0.6m，容量1250kVA及以上者不应小于0.8m；变压器外廓至门的距离，分别不应小于0.8m和1.0m。

配电装置的布置，应考虑设备搬运、检修、操作和试验方便。为了工作人员的安全，配电装置需保持必要的安全通道。

低压配电装置正面通道的宽度，单列布置时不应小于1.5m；双列布置时不应小于2m。

低压配电装置背面通道应符合以下要求：

1. 宽度一般不应小于1m，有困难时可减为0.8m。
2. 通道内高度低于2.3m无遮栏的裸导电部分与对面墙或设备的距离不应小于1m；与对面其它裸导电部分的距离不应小于1.5m。
3. 通道上方裸导电部分的高度低于2.3m时，应加遮护，遮护后的通道高度不应低于1.9m。

配电装置长度超过6m时，屏后应有两个通向本室或其它房间的出口，且其间距离不应超过15m。

室内吊灯灯具高度一般应大于2.5m；受条件限制时可减为2.2m；如果还要降低，应采取适当安全措施。当灯具在桌面上方或其它人碰不到的地方时，高度可减为1.5m。户外照明灯具一般不应低于3m；墙上灯具高度允许减为2.5m。

三、检修间距

在检修工作中，为了防止人体及其所携带工具触及或接近带电体，必须保证足够的检修间距。

在低压工作中，人体或其所携带工具与带电体的距离不应小于0.1m。

在高压无遮栏操作中，人体或其所携带工具与带电体之间的最小距离，10kV及以下者不应小于0.7m；20~35kV者不应小于1.0m。用绝缘杆操作时，上述距离分别可减为0.4m和0.6m。不能满足上述距离时，应装设临时遮栏。

在线路上工作时，人体或其所携带工具与临近线路带电导线的最小距离，10kV以下者不应小于1.0m；35kV者不应小于2.5m。



第四节 安全距离

从保护人身安全的意义来说，我们把人头持续接触而不会使人直接致死或致残的电压叫做安全电压。

安全电压是为防止触电事故而采用的特定电源供电的电压系列，其涵义有三：（1）采用安全电压可以防止触电事故；（2）安全电压必须由特定的电源供电；（3）安全电压有一系列的数值，各适用于一定的用电环境。

一、安全电压值

安全电压值 U_s 的规定是以通过人体的电流 I_s （不超过安全电流30mA）与人体电阻 R_b 的乘积为依据的。即 $U_s = I_s R_b$ 。

理论上安全电压不是确定值，但我们能在一定条件下对安全电压的上限值作出规定：

人体在状态正常、手脚皮肤干燥的情况下，在接触电压有较大危险性场所，可取安全电流 $I_s = 30\text{mA}$ ，人体电阻 $R_b = 1700\Omega$ ，相应工频安全电压上限值为 $U_s = I_s R_b = 30\text{mA} \times 1700\Omega \approx 50\text{V}$ 。

二、安全电压的选用

我国规定工频有效值的额定值有42V、36V、24V、12V和6V。特别危险环境中使用的手持电动工具应采用42V安全电压；有电击危险环境中使用的手持照明灯和局部照明灯应采用36V或24V安全电压；金属容器内、特别潮湿处等特别危险环境中使用的手持照明灯应采用12V安全电压；水下作业等场所应采用6V安全电压。当电气设备采用24V以上安全电压时，必须采取直接接触电击的防护措施。

三、安全电压的取得

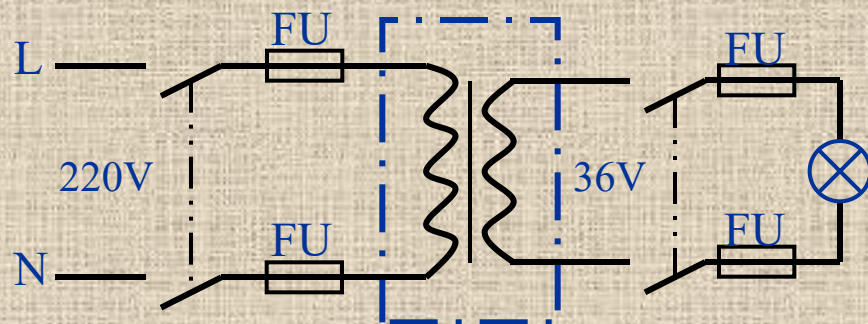
为了确保人身安全，提供安全电压的电源必须符合下列条件：

(1) 安全电压必须由双绕组变压器降压获得，而不能由自耦变压器或分压器获得。

(2) 工作在安全电压下的电路，必须与其他电路系统和任何无关的可导电部分实行电气上的隔离。

(3) 当电气设备采用24V以上安全电压时，必须采取防止直接接触带电体的保护措施。

(4) 安全变压器的铁芯和外壳均应接地，以防止一、二次侧绕组间绝缘击穿时高压窜入低压回路引起触电事故；此外，还应在高低压回路中装设熔断器做短路保护。安全变压器的接线如下图所示。



安全变压器接线图

第五节 电气隔离与等电位连接

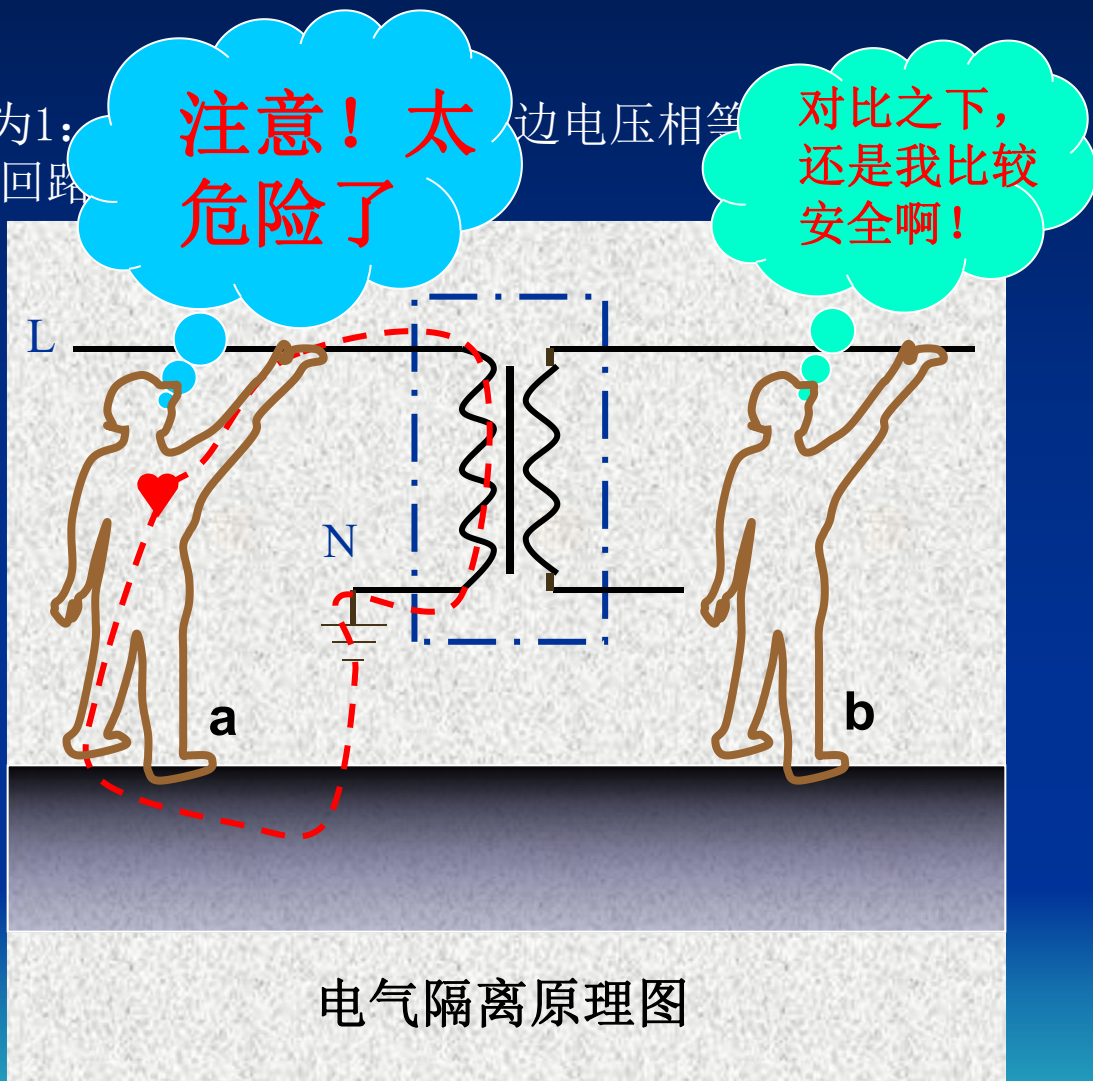
一、电气隔离

电气隔离是采用电压比为1:1的隔离变压器实现工作回路与其他电气回路隔离。

1. 电气隔离安全原理

电气隔离安全实质是将接地的电网转换成一范围很小的不接地电网。原理如右图所示。

在正常时情况下，图中a、b两人的遭遇是大不相同的。由于N线（或PEN线）是直接接地的，流经a的电流将沿系统的工作接地和重复接地成回路，a的危险性很大；而流经b的电流只能沿绝缘电阻和分布电容构成回路，电击危险性可以得到控制。



2. 电气隔离的安全条件

应用电气隔离须满足以下安全条件：

(1) 隔离变压器必须具有加强绝缘的结构，其温升和绝缘电阻应符合要求。

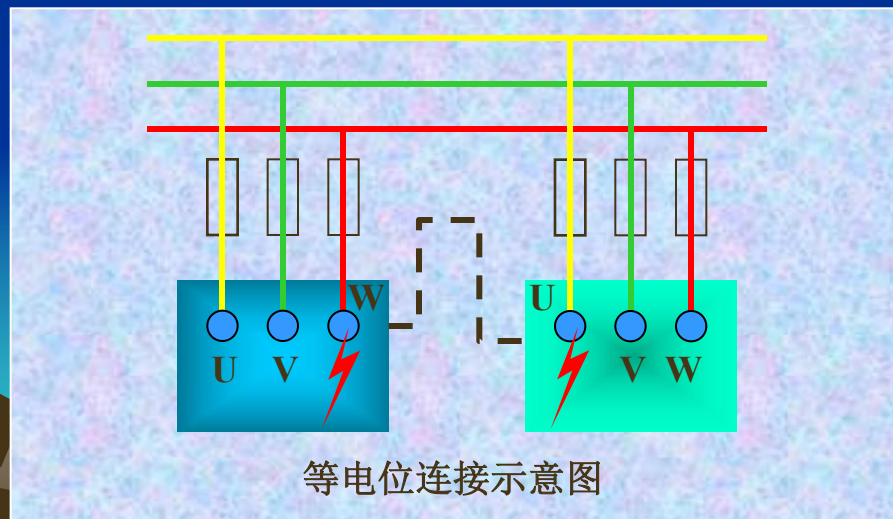
(2) 最大容量单相变压器不得超过 $25\text{kV} \cdot \text{A}$ 、三相变压器不得超过 $40\text{kV} \cdot \text{A}$ ；空载输出电压交流不应超过 1000V 、脉动直流不应超过 1000V 、负载时电压降低一般不得超过额定电压的 $5\% \sim 15\%$ 。

(3) 二次侧绕组必须保持独立。如果变压器的二次侧绕组接地，当有人在二次侧绕组受单相电击时，电流很容易流经人体和二次侧绕组接地点构成回路，危险性将会很大，原因可通过电气隔离原理图分析。

(4) 二次边线路电压过高或副边线路过长，都会降低回路对地绝缘水平，增大故障接地的危险，并增大故障接地电流。因此，必须限制电源电压和二次边线路的长度。按照规定，应保证电源电压 $U \leq 500\text{V}$ 、线路长度 $L \leq 200\text{m}$ 、电压与长度的乘积 $UL \leq 100000\text{V} \cdot \text{m}$ 。

二、等电位连接

右图中虚线是等电位联结线。如果没有等电位联结线，当隔离回路中两台相距较近的设备发生不同相线的碰壳故障时，这两台设备的外壳将带有不同的对地电压。如果有人同时触及这两台设备，则接触电压为线电压，电击危险性极大。



第六节 漏电保护

漏电保护是目前人们开发出的较完善的防止触电事故的保护措施。其意义主要表现在三个方面：1. 当人体触及带电体时，能在0.01秒内切断电源，从而减轻电流对人体的伤害程度；2. 电气设备或线路发生漏电或接地故障时，能在人尚未接触之前就把电源切断；3. 可以防止漏电引起的火灾事故。

一、漏电保护器的类型

1. 按反映信号的种类分，漏电保护器主要有电压型和电流型两大类。
2. 按执行机构分有机械脱扣器和电磁脱扣器两种。
3. 按极数可分为单极二线、两极、两极三线、三极、三极四线、四极。

二、漏电保护器的主要技术参数

1. 脱扣器额定电流

在规定的条件下，漏电保护器正常工作所允许长期通过的最大电流值。

2. 额定漏电动作电流

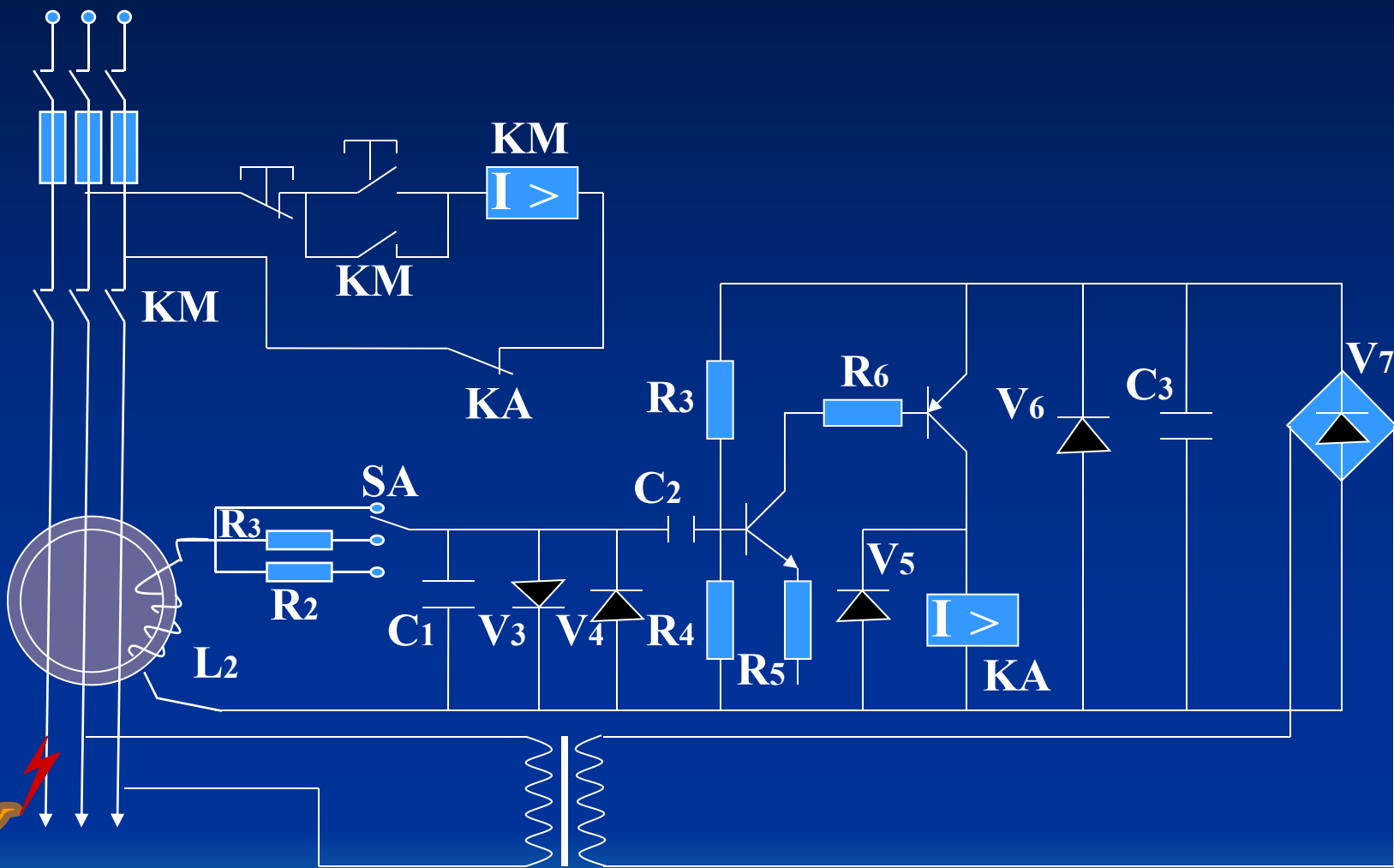
制造厂规定的漏电保护器必须动作的漏电动作电流值。

3. 漏电动作时间

保护器检测元件从实加漏电动作电流起，到被保护电路切断为止的时间。

三、电流型漏电保护器的工作原理

电流型漏电保护器主要由零序电流互感器、输入电路、放大电路、执行电路以及整流电源五部分组成。具体分析见下图。



电子放大式漏电保护器原理图

正常情况：

零序电流互感器一次侧无零序电流→二次侧L2无感生电动势→V1输入电压为零→V1截止→V2输入电压为零→V2输出截止→继电器KA无电流通过→KA常闭触点闭合→交流接触器KM处于闭合状态，电路正常运行。

当发生人触电或线路漏电情况：

零序电流互感器一次侧有零序电流→二次侧L2感生电动势→二次侧L2与电容器C2产生电谐振→V1有输入电压→V1导通→V2基极电位下降→V2正向偏置，V2导通→执行继电器KA有电流通过并动作→KA常闭触点打开→交流接触器KM主触头断开，切断电源。

四、漏电保护方式

电流型漏电保护器的保护方式通常有以下四种：

1. 全网总保护 三种安装方式，即安装在电源中性点接地线上、总电源上、引出支路。
2. 对于移动式电力设备，临时用电设备和用电的家庭，应安装末级保护。
3. 较大低压电网应多级保护。
4. 对于保护器动作切断电源会造成事故或重大经济损失的用户，其低压电网的漏电保护可由用户申请，经供电企业批准，而采取漏电报警方式。

五、漏电保护装置的选用、安装使用及运行维护

1. 漏电保护装置选用

- (1) 漏电保护器设置的场所
- (2) 漏电保护装置的動作電流數值選擇
- (3) 根據安裝地點的實際情況

2. 漏电保护装置安装使用

3. 漏电保护装置运行维护

- (1) 漏电保护器投入运行后，应每年对保护系统进行一次普查。
- (2) 电工每月至少对保护器用试跳器试验一次，每当雷击或其他原因使保护动作后，应作一次试验。
- (3) 保护器动作后，若经检查未发现事故点，允许试送电一次。如果再次动作，应查明原因，找出故障，不得连续强送电。
- (4) 严禁私自撤除保护器或强迫送电。
- (5) 漏电保护器故障后要及时更换，并由专业人员修理。

