

目 录

	页数
1. 概论.....	I
2. 国际标准.....	II
3. 电源及接地系统.....	III
4. 短路电流及计算.....	IV
5. 负荷的计算.....	V
6. 导体的截面积.....	VI
7. 低压开关设备和控制设备.....	VII
8. 保护电器的选择.....	VIII
9. 接地保护.....	IX
10. 功率因素改善.....	X

第一章

概论

说明

- √ 低压电器元件的选用取决于：
 - λ 需用设备功率
 - λ 电源系统
 - λ 短路电流
 - λ 无功电量
 - λ 低压配电系统
 - λ 防止触电
 - λ 相关技术和工业标准

第二章

国际标准

-  从 1997 年开始，有关 IEC 标准号有所改变。即将以 6 为标准号的第一位数字，原标准号为 3 位的前加 60，例：IEC947 改为 IEC 60947；原标准号为 4 位的前加 6，例：IEC1008 改为 IEC61008。

-  为了避免较多地更改本书的内容，我们未根据新规定改动标准号。这并不影响实质性的内容，除非标准本身已修订或今后修订。

国际标准

低压电器的标准

标准名称	家用及类似用途标准代号	等效采用的国家标准	工业及商用 (<1000V 等级) 标准代号	等效采用的国家标准
低压开关设备和控制设备 第一部分 总则	-	-	IEC60947-1	GB/T14048.1 -2000
低压断路器	IEC898 (CEE19)	GB10963 - 1999(AC)	IEC60947-2 (IEC157-1)	GB14048.2 - 2001
	-	GB10963.2 - 2003(AC/DC)	-	-
低压开关,隔离器,隔离开关 以及熔断器组合电器	IEC699-1 (CEE24)	-	IEC60947-3 (IEC408)	GB14048.3 - 2002
低压机电式接触器和电动机启动器	IEC1095	-	IEC947-4- 1 (IEC158-1) (IEC292)	GB14048.4 - 2003
机电式控制电路电器	-	-	IEC60947-5-1	GB14048.5 - 2001
交流半导体电动机控制器和起动机	-	-	IEC60947-4- 2	GB14048.6 -1998
铜导体的接线端子排	-	-	IEC60947-7- 1	GB14048.7 -1998
铜导体的保护导体接线端子排	-	-	IEC60947-7- 2	GB14048.8 -1998
控制开关与保护电器 (CPS)	-	-	IEC60947-6- 2	GB14048.9 -1998
接近开关	-	-	IEC60947-5-2	GB14048.10 - 1999
自动转换开关电器	-	-	IEC60947-6-1	GB14048.11 - 2002
不带过电流保护的剩余电流动作断路器(RCCB)	IEC61008 (CEE27)	GB16916.1	IEC755 (差动电流保护断路器)	GB6829
带过电流保护的剩余电流动作断路器(RCBO)	IEC61009	GB16917.	IEC947-2 (92版附录 B)	-
不带过电流保护的移动式剩余电流装置	IEC61540	在准备中	-	-

ABB 技术培训教材

标准名称	家用及类似用途标准代号	等效采用的国家标准	工业及商用 (<1000V 等级) 标准代号	等效采用的国家标准
低压熔断器	-	GB13539.1	IEC269-1	GB 13539.1 - 2002
非熟练人员使用熔断器补充要求	IEC269-3	GB 13539.6 - 1999-	-	-
专职人员使用熔断器补充要求	-	-	IEC269-2	GB13539.3 - 1999
半导体保护用熔断器的补充要求	-	-	IEC269-4	GB13539.4 - 1999
非熟练人员使用熔断器补充要求 标准化熔断器示例	IEC269-3-1	GB 13539.5 - 2002	-	-
专职人员使用熔断器补充要求 标准化熔断器示例	-	-	IEC269-2-1	GB13539.6 - 2002-

建筑用电气安装	-	-	IEC60364	-
低压成套开关设备和控制设备	-	-	IEC60439.1	GB7251.1 - 1997
对母线干线系统(母线槽)的特殊要求)	-	-	IEC60439.2	GB7251.2 - 1997
非专业人员使用配电板的特殊要求	-	-	IEC60439.3	GB7251.3 - 1997
对建筑工地成套设备(ACS)的特殊要求	-	-	IEC60439.4	GB7251.4 - 1998
动力配电网用电缆分接箱(CDCs)的特殊要求	-	-	IEC60439.5	GB7251.5 - 1998
智能型成套配电设备通用技术要求	-	-	-	GB7251.8 - 2005

NOTES

我国准备采用条文强制的方法。定期型式试验将取消。

本表更新日期：2005年10月12日根据 www.chinastandard.com.cn 查询更新。

IEC947 与 IEC898 之间的差别

IEC 947 的适用范围：

- 由有经验的专职人员选择，安装和使用 IEC947-2 所包括的工业用断路器。

IEC 898 的适用范围：

- 由非熟练人员选择，安装和使用 IEC898 包括的无需进行维修的断路器。

NOTES

其他不同之点及说明：

- IEC898 不适用于保护电动机的断路器。
- IEC898 不适用于用户要求整定电流可调节的断路器。
- 过载保护特性的不同见下表：

脱扣特性 / 标准类别	IEC898	IEC947-2
I_t =约定脱扣电流	$I_t = 1.45I_r$	$I_t = 1.30I_r, I_n < 63A$ $I_t = 1.25I_r, I_n > 63A$
I_{nt} =约定不脱扣电流	$I_{nt} = 1.13I_r$	$I_{nt} = 1.05I_r$

- IEC898 规定断路器适用于交流 50Hz 或 60Hz, 额定电压 (U_n) 小于 400V, 额定电流 I_n 小于 125A、额定短路能力 (I_{cu}) 不超过 25000A。
- IEC947 规定断路器适用额定电压 (U_n) 交流小于 1000V, 直流小于 1500V, 任何额定电流值的使用条件。
- IEC898 用来保护建筑物的线路设施及类似用途, 在故障情况下还可用于防触电保护, 即更适用于住宅和民用。
- 有经验专职人员---指受过专业训练和培训的。
- 非熟练人员---指未受过训练和培训的。

经协调后的重要更改

标称值改为额定值

根据 IEC27-1 修正版 4 (1983) ，脚注“ n” 应改为“ r” 目前尚未获得普遍贯彻。过渡阶段内，在标准、规范与规程中这两种概念都会同时存在。

例：

新名称	额定电压 Ur	额定电流 Ir	额定功率 Sr	额定通断能力 Icr	额定故障电流 IΔr
原来名称	标称电压 Un	标称电流 In	标称功率 Sn	标称通断能力 Icn	标称故障电流 I Δn

标准电压：

以前适用的 50Hz 电网使用的标称电压 220V、230V 和 240V 或 380V、400V 和 415V ， IEC38“ IEC 标准电压” 1983 年第 6 版已统一规定为 230V 或 400V ，大多数欧洲国家已推行实施。

标准电压的公差范围：

电压波动的上下限值几乎仍保持不变，在 220V 时的自由公差范围规定的是±10% ，即 198V—242V ，而目前推行 230V 的公差范围是+6%/-10% ，即 207V—244V 。即变动范围约在 200V~240V 之间。

NOTES

 ABB 公司设计和制造的低压系列产品标注的标称电压已符合相关标准的要求。

 因采用新的电压标准值，电力电容器的容量在 380V 和 400V 时会略有差别，但作为功率因数补偿问题是不大的。

第三章

电源及接地系统

一般规则

标准规范

符合国际标准 IEC364 对人身安全防护的规定

接地概念

工作原因和保护原因。应用接地可以是出于工作原因（功能接地和工作接地），也可以是出于保护需要（保护接地）

接地系统的适用性

每种接地系统都有其适用性，遵照规则选用，它们都是具有良好的适用性，它们中没有一种是超优的接地系统。

需要注意

-  保护电路的连续性的重要性
-  对专职人员在维护工作中的技能要求

其他

-  考虑某些负载的特性，电动机有反馈电流，某些负载绝缘水平较低。
-  考虑接地系统合并的可能性，使用一台 LV/LV 变压器使接地系统适合于负载的需要。

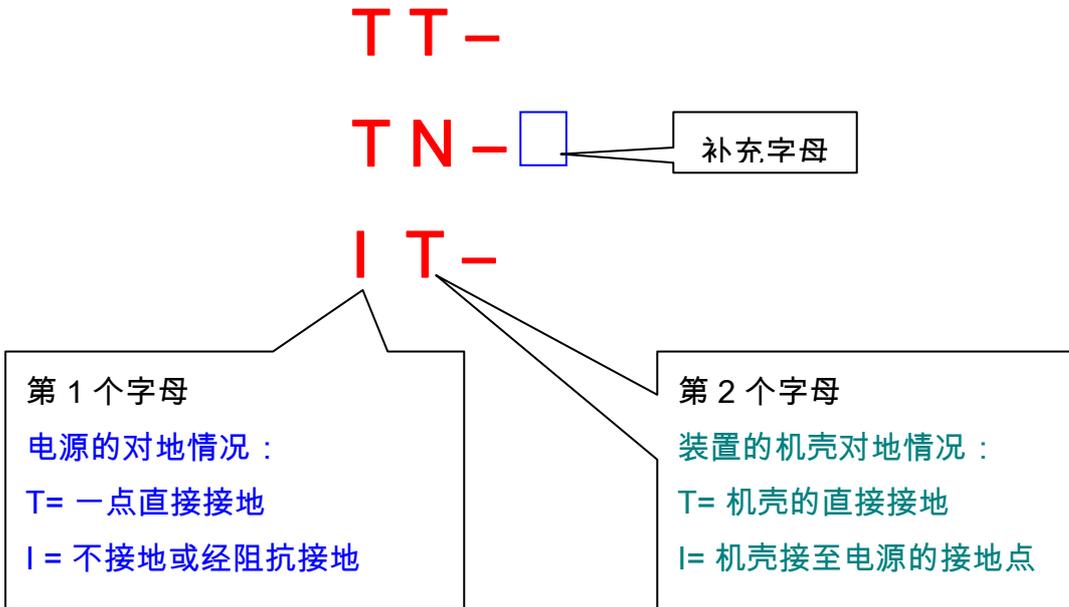
NOTES

 为减少电机反馈电流影响，采用 IT 系统，过电流保护器，绝缘监测电器，可以减小电动机对线路短路电流的影响，有利于保护断路器分断短路电流，但是要注意单相接地保护措施和双重故障的危险。

 某些负载绝缘水平较低，应用低电压保护（如在潮湿环境中使用的电器）

电源系统的不同型式

接地系统



TN 系统附有补充字母

- 补充字母的含义如下：
- S = 保护导体 PE 线与接地的 N 线或与接地的带电导体（相线）分开
 - C = 保护导体 PE 线与 N 线合一（PEN）

NOTES

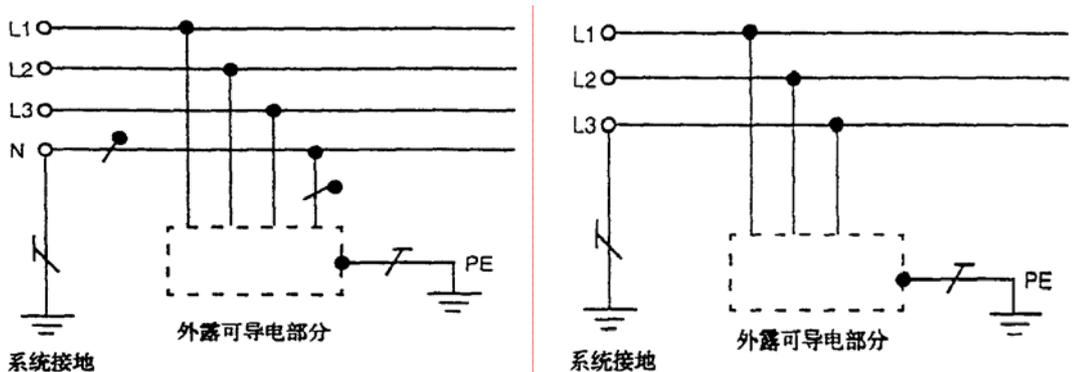
- 在 TN 系统中有三种情况：
TN-S，TN-C，TN-C-S
- 相线接地，只是在 TN-S 系统中才是可能的，接地的相线不允许用作 PEN 导线，即在整个过程中相线与保护线必须分开敷设。一般只在三相 220V（三角形接线）系统中一点作为功能接地。
- 按照 IEC617-11(1983)字母的解释

	中性线(N)
	保护线(PE)
	保护线和中性线合一(PEN)

TT 系统的不同型式

🔗 TT 系统：

有一点直接接地,装置的外露可导电部分连接到接地极,在电气上它与电力系统的接地极无关.



NOTES

🔗 TT 系统的 PE 线互不连通，杜绝了局部故障时危险电位沿 PE 线传递的隐患。适合于城乡架空线路供电，单相负荷为主，维护力量薄弱的公共低压电网。

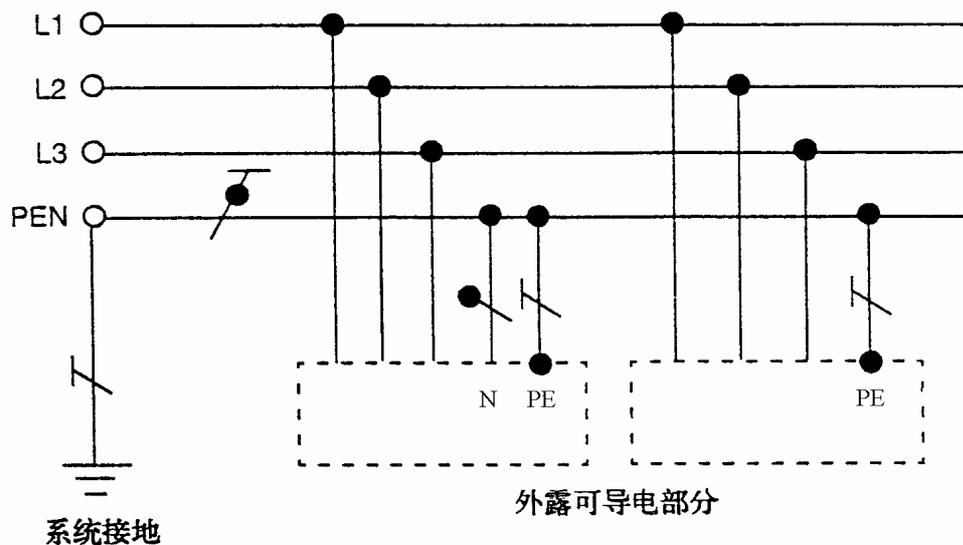
🔗 使用中性线必须注意：

在过电流保护装置通过分断进行保护时,中性线中的过电流检测是必须的,中性线不允许先于相线分断或后于相线合上.如果中性线上无过电流保护装置,则在发生故障时相线必须在 $\leq 0.2s$ 中进行分断.

TN-C 系统的不同型式

🔗 TN-C 系统：

中性线和保护线功能在整个系统中合并成一个单根导线。



NOTES

🔗 PEN 在某些情况下,中性导体和保护性导体的功能在规定条件下可合二为一.即经过中性点电位平衡电流不能影响各设备对电位平衡的要求,这是必要条件.

🔗 相对于 TT 系统, TN-C 系统有利于增加接地故障电流从而使保护脱扣器易于动作,一般用于三相负荷基本平衡,有专职维护人员, PEN 损伤可能性很小的工业配电中。

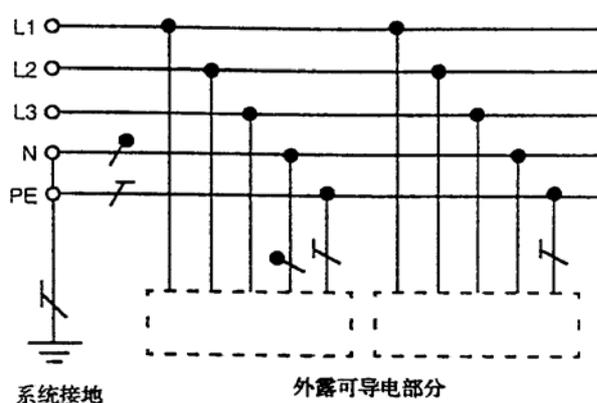
🔗 TN-C 系统对于存在大量不平衡负荷和谐波电流的民用建筑不适用。《住宅设计规范》GB50096-1999 第 6.5.2 条规定住宅电气系统不得采用 TN-C 接地形式。

电源及接地系统

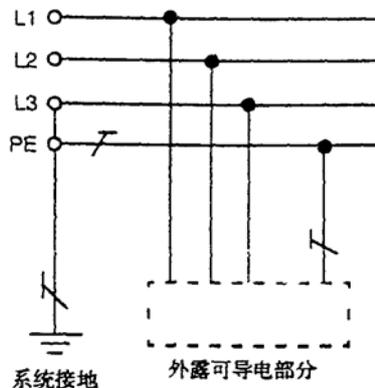
TN-S 系统的不同型式

🔌 TN-S 系统：

整个系统使用一根分开的保护线。



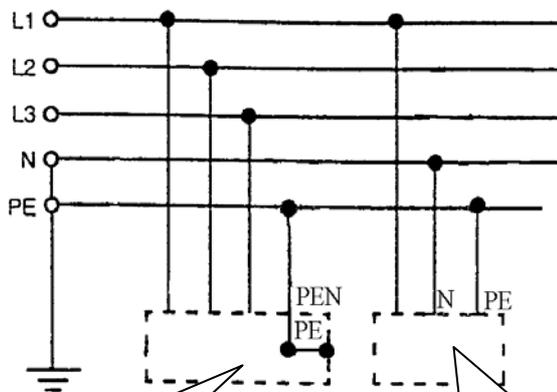
整个系统的中性线与保护线分开



整个系统的接地相线与保护线分开

🔌 TN-C-S 系统：

🔌 有部分中线和保护线是合一的，但一旦在重复接地处分开后就不允许合并；即以此重复接地点为界：之前为 TN-C 系统，之后为 TN-S 系统。



中性线和保护线合用(PEN)

中性线 N 和保护线 PE 分开

NOTES

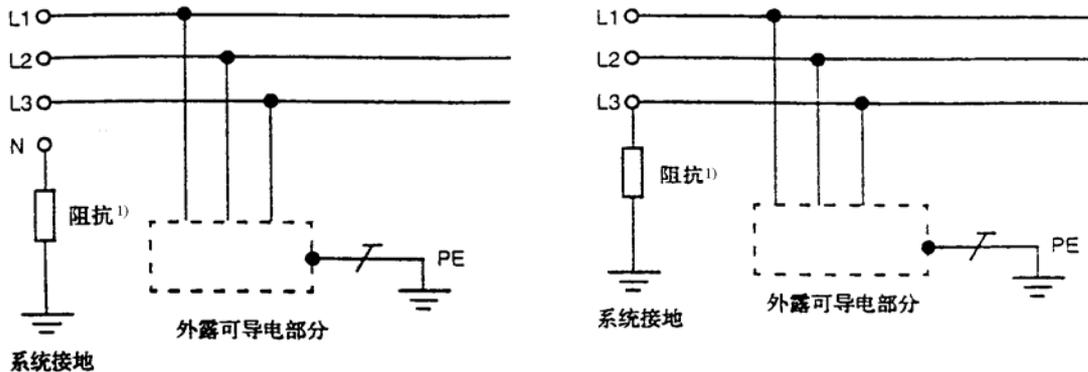
🔌 TN-S 系统 PE 干线在进入一个具有独立接地网的建筑物前可重复接地；其他不宜多点接地，以免多个接地回路并联且有杂散电流流经时可能产生磁场干扰。TN-S 系统的 N 截面不应小于相线截面，且 N 线既不应单独断开更不应重复接地。

🔌 TN-C-S 比 TN-S 节省投资，在 TN-C 和 TN-S 分离点 N 线重复接地降低了中性线电位偏离和回路阻抗；又有 TN-S 的优点。是工业和民用建筑常用的电源系统。

IT 系统的不同型式

IT 系统：

IT 系统将所有带电部件对地隔离或者一点通过阻抗接地,电气装置的外露可导电部分是单独或共同接地,或接至系统的接地.



- 1) 系统可以对地隔离
- 2) 中性线可以配出或不配出

NOTES

机壳直接接地(在此情况下需要通过附加等电位技术进行保护)

当使用配出的中性线时必须注意所用的电气设备的绝缘强度！中性线中的过电流检测是必需的，这必须使各相线包括中性线进行分断。中性线不允许先于相线分断或后于相线合上。

IT 系统因电源侧不接地，允许单点接地运行，但必须有绝缘监视装置提醒人员消除故障；另外，因接地故障回路阻抗大，接地电流小，因漏电造成的危害也小一些。

IT 系统一般用于要求保持供电连续性的场合，如输电网络，矿井，医院，化工企业，有爆炸火灾危险的场合等。

中性线开断的讨论

 中性线开断多种看法，在此仅提供有关标准的部分阐述：

 “民用建筑电气设计规范” (JGJ/T 16-92)中规定：

- 8.5.10 在 TN，TT 系统中，无电源转换或虽有电源转换但零序电流分量很小的三相四线配电线路，其隔离电器或开关电器不宜断开 N 线。
- 8.5.11 在 TN，TT 系统中，如果单相相电压回路前端**已**装设具有检测中性线对地电压的中性线断线保护的双极开关和具有电气专业人员维护的用户，则其后各级开关电器均可不切断 N 线。但开关电器宜有防止相线与 N 线接错的信号指示装置或跳闸装置。
- 8.5.12 在 TN，TT 系统中，如果单相相电压回路前端**未**装设具有检测中性线对地电压的中性线断线保护的双极开关时，则各级隔离电器应将 N 线同相线一起断开。

该规范又指出：

在 TT，TN-S 系统中如含有较大的零序电流分量，用作电源转换或联络用的功能性开关应将 N 线与相线一起断开或接通，且不应使这些电路并联运行。

 “低压配电设计规范”规定：

在 TT 及 TN-S 系统中，N 线上不宜装设电器使 N 线单独断开，当需要断开时，应该安装相线与 N 线一起切断的保护电器。

变压器

 变压器的额定值：

变压器容量 / 额定电流	In(A)			
	400V	420V	433V	480V
空载电压	400V	420V	433V	480V
额定容量 (kVA)				
50	72	69	67	60
100	144	137	133	120
160	231	220	213	192
250	361	344	333	301
315	455	433	420	379
400	577	550	533	481
500	722	687	667	601
630	909	866	840	758
800	1155	1100	1067	962
1000	1443	1375	1333	1203
1250	1804	1718	1667	1504
1600	2309	2199	2133	1925
2000	2887	2749	2667	2406
2500	3608	3437	3333	3007

IEC 标准化的 HV/LV 三相配电变压器的 kVA 额定值和相应的满载额定电流值。

NOTES

 在一台三相变压器低压侧的满载额定电流由下式算出：

$$I_n = \frac{P_a \cdot 10^3}{U \cdot \sqrt{3}}$$

式中：

P_a = 变压器的额定容量kVA， U = 空载时相对相电压* (单位为伏) (即线电压)

I_n = 额定电流，单位为安。对于 400V (三相有载) 的简化公式: $I_n = kVA \times 1.4$

 对于单相变压器：

$$I_n = \frac{P_a \cdot 10^3}{V}$$

式中：

V = 空载时在低压出线端之间的电压* (单位为伏)

 电力变压器应符合的常见国际标准是 IEC60076。

*正如变压器铭牌上给出的，对于上述计算，额定电压 400V 绕组的空载电压是用 420V。

配电盘的功能和型式

配电盘：

是低压开关设备与配电装置介于两侧之间的连接环节，即一侧为发电（发电机），输出（电缆，架空线）和变电（变压器）设备，而另一侧为用电设备，如电动机，电磁阀，采暖器，空调，照明等，也可以是某些用电设备的组合。

按配电盘的功能区分：

-  电源总配电盘
-  就地总配电盘
-  分配电盘

按配电盘的主结构区分：

传统配电盘：

开关及熔断器等都固定在箱内后部底板上，指示和控制电器（表计、按钮、灯）都装在正面。

功能性配电盘：

由功能组件作成具有特殊的功能，它包括开关装置及各种设备，连同安装及联接用附件。它可以是整体抽出式的，也可以是主体可抽出分离的。

NOTES

-  电源总配电盘，变压器低压侧主开关设备组合的成套配电盘，包括电源系统的负荷中心（PC）。有时亦将电机控制中心（MCC）和负荷中心（PC）组合在一起。就地总配电盘，负荷侧或分支配电线路上集中配电盘。俗称动力配电箱。
-  分配电盘，分支末端线路配电盘。俗称照楼层配电箱或照明配电箱。
-  传统配电盘。基本上是固定面板式和固定安装封闭形配电盘。
-  功能性配电盘，由功能单元，功能组件组成的多种标准化单元灵活组成的配电盘，能方便适应不同的工作需要。可用作电源总配电屏和就地总配电屏，负荷中心（PC）及电动机控制中心（MCC）。
-  采用插入式或抽出式元件并按功能分隔安装的配电盘应列为功能配电盘范畴。

配电盘的功能和型式

配电盘的主要适用标准：IEC439-1

 IEC439-1 涉及千伏级开关设备及控制设备的装配、制造和对整体设备的型式试验

 IEC439-1 低压成套开关设备和控制设备。

对型式试验和部分型式试验成套设备的要求。

✦ TTA----全部型式试验成套设备

✦ PTTA---部分型式试验成套设备

 IEC439-1 根据利用隔板或分成不同间隔的内部分隔等级，规定四种装配“结构”

 配电盘标准中四种装配的基本“结构”。(1)开启式结构，(2)固定面板式结构，(3)封闭型结构，(4)抽屉型结构

 按照 BS 5750 Part1 亦有类似的说明如下：

✦ 结构 1 (Form 1)

✦ 结构 2 (Form 2)

✦ 结构 3 (Form 3)

✦ 结构 4 (Form 4)

 各种分隔结构分别应能达到：

- 防触及相邻功能单元的带电部件的保护
- 限制发生不测故障的可能性
- 防外来固体从装置的一个单元进入相邻单元的保护
-

 GB7251-87 第 6.7.4 指出：利用挡板或隔板对装置内部进行隔离典型形式如下：

• FORM1(形式 1)

母线与功能单元，功能单元之间，功能单元与进线或出线端子都不隔离。

• FORM2(形式 2)

母线与进线和出线单元隔离。但功能单元之间，功能单元与进线或出线端子都不隔离。

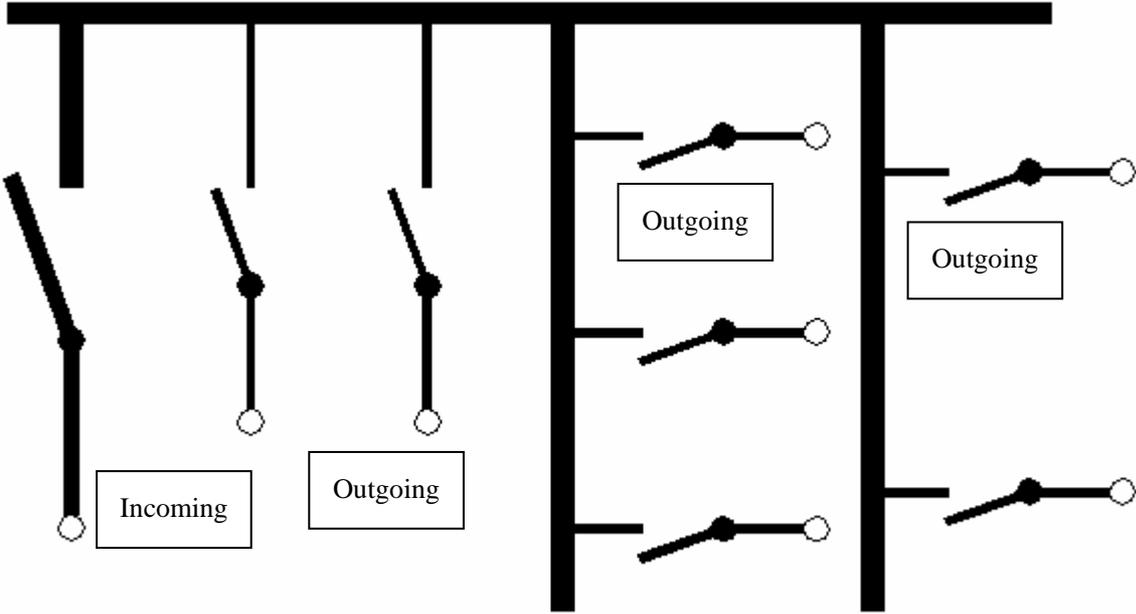
• FORM3(形式 3)

母线与功能单元，功能单元之间，功能单元与进线和出线端子都隔离。但进线与出线端子之间或与其他端子之间不隔离。

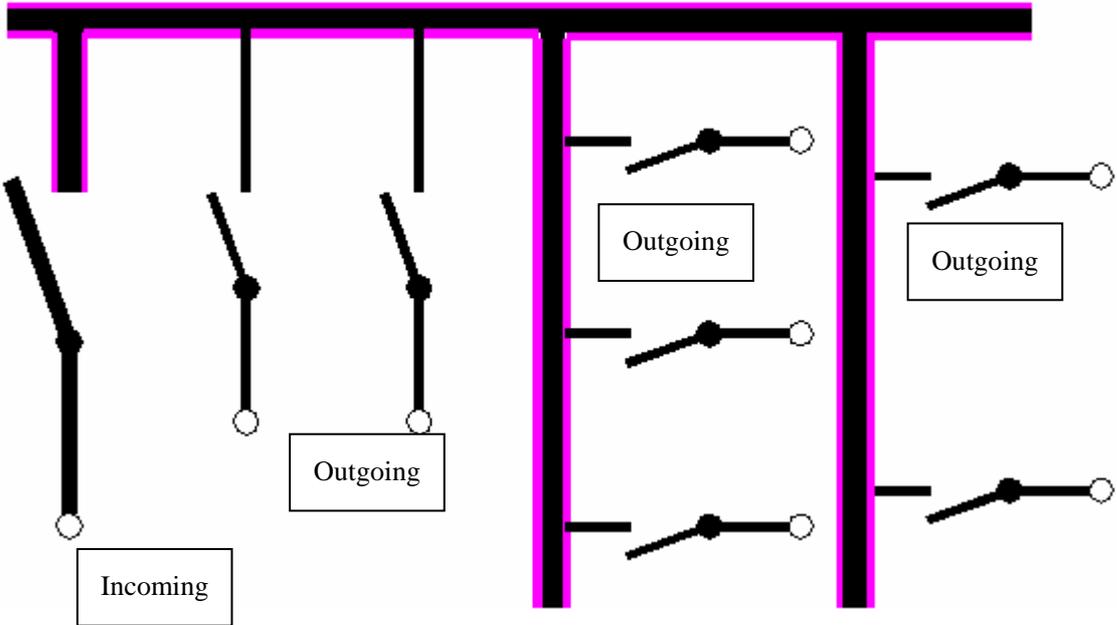
• FORM4(形式 4)

母线与功能单元，功能单元之间，功能单元与进线和出线端子都隔离。进线与出线端子之间或与其他端子之间也隔离。

Form1

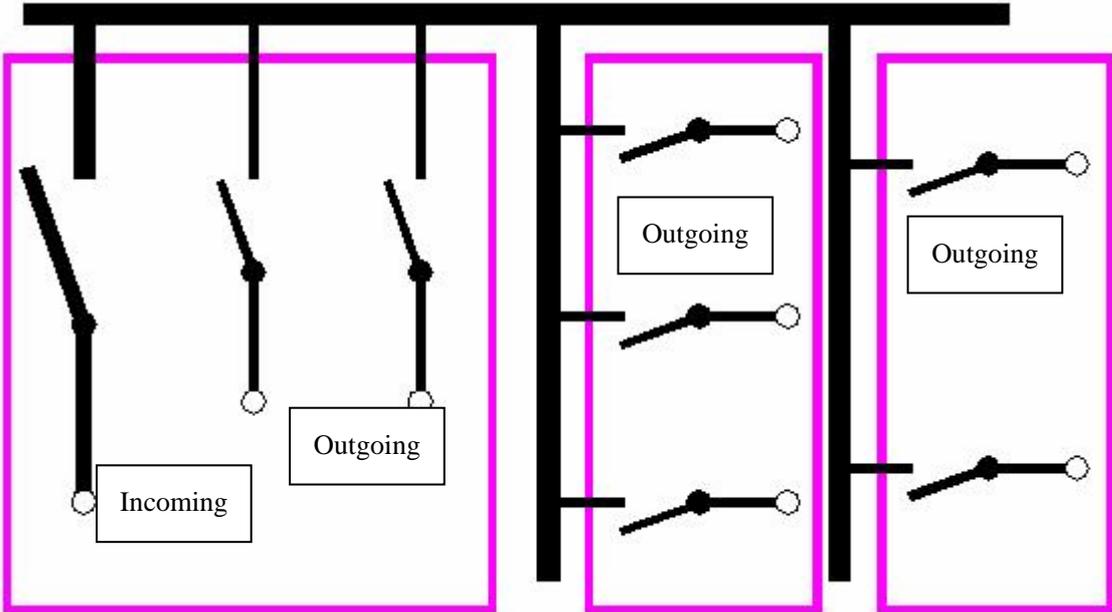


Form2A



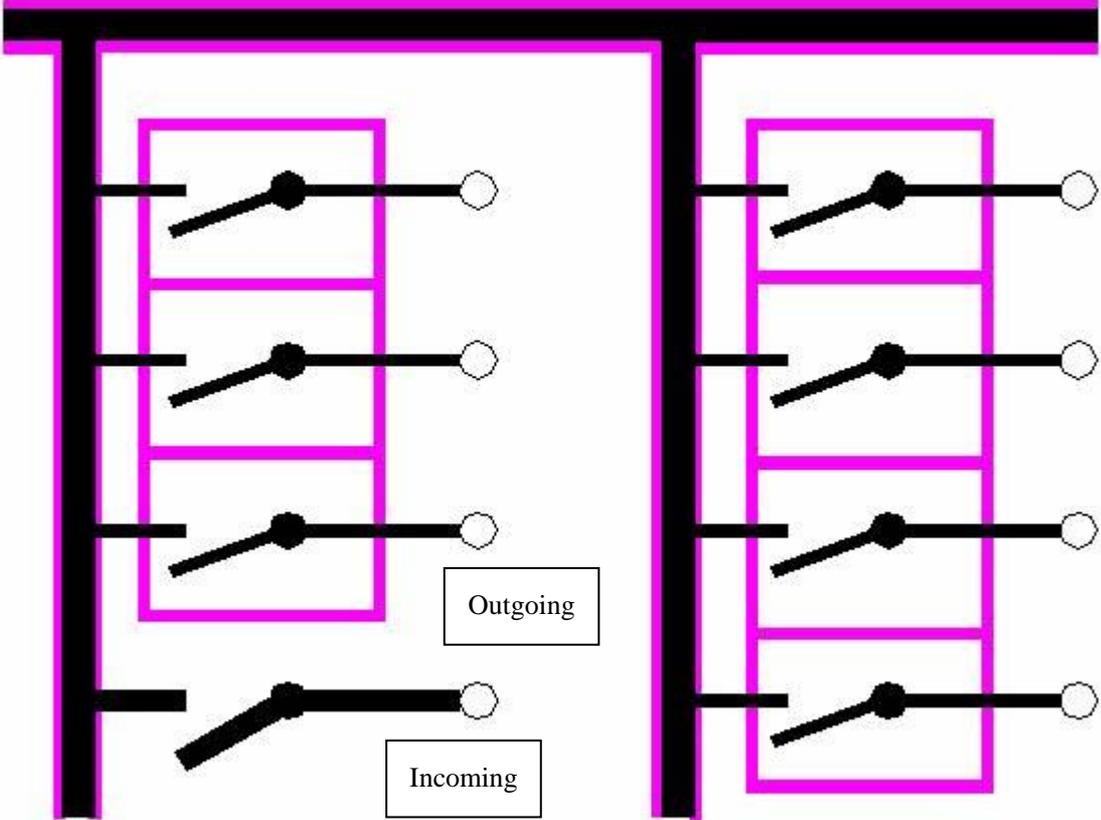
FORM2A 表示母线隔离可用绝缘覆盖实现，例：护套，绕包，涂层等。

Form2B



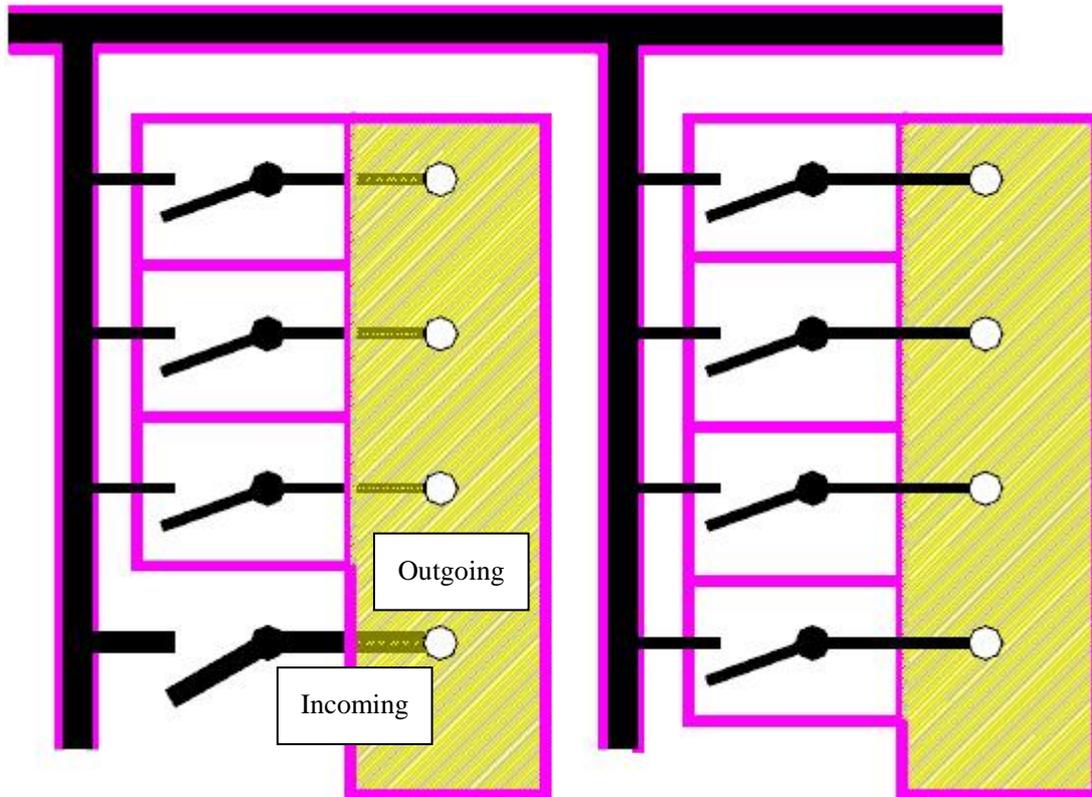
FORM2B 表示母线隔离可用金属或非金属硬质栅栏或分隔板实现。

Form3A



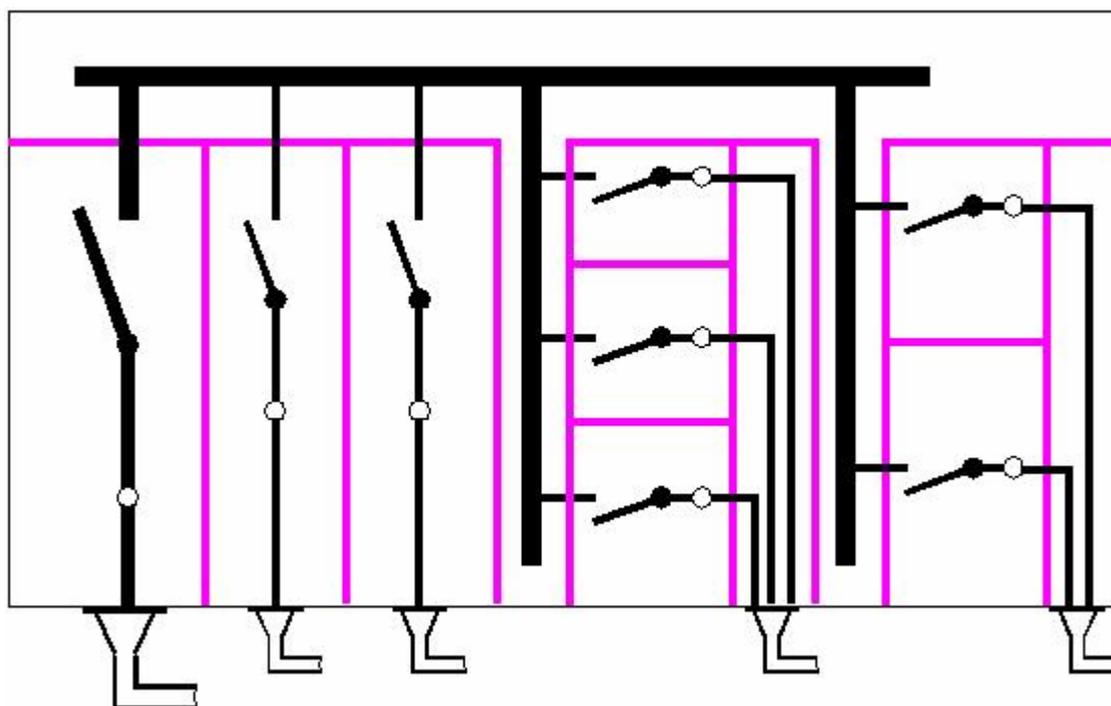
FORM3A 表示母线隔离可用绝缘覆盖实现，例：护套，绕包，涂层等。

Form3B



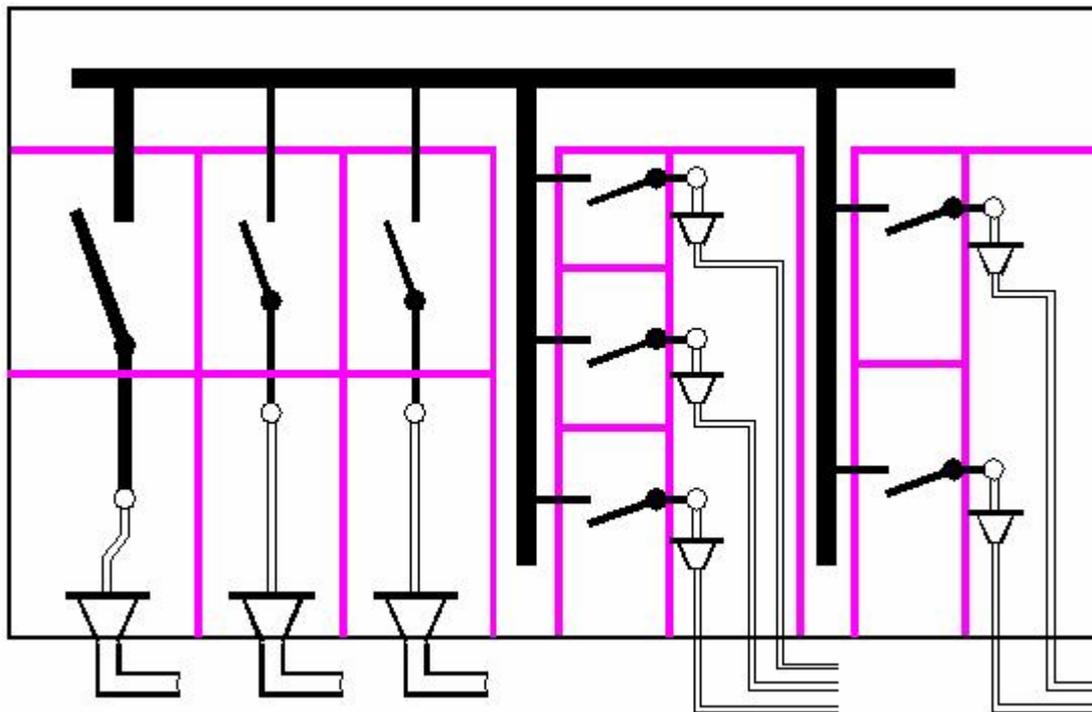
FORM3B 表示母线隔离可用金属或非金属硬质栅栏或分隔板实现。

Form4A



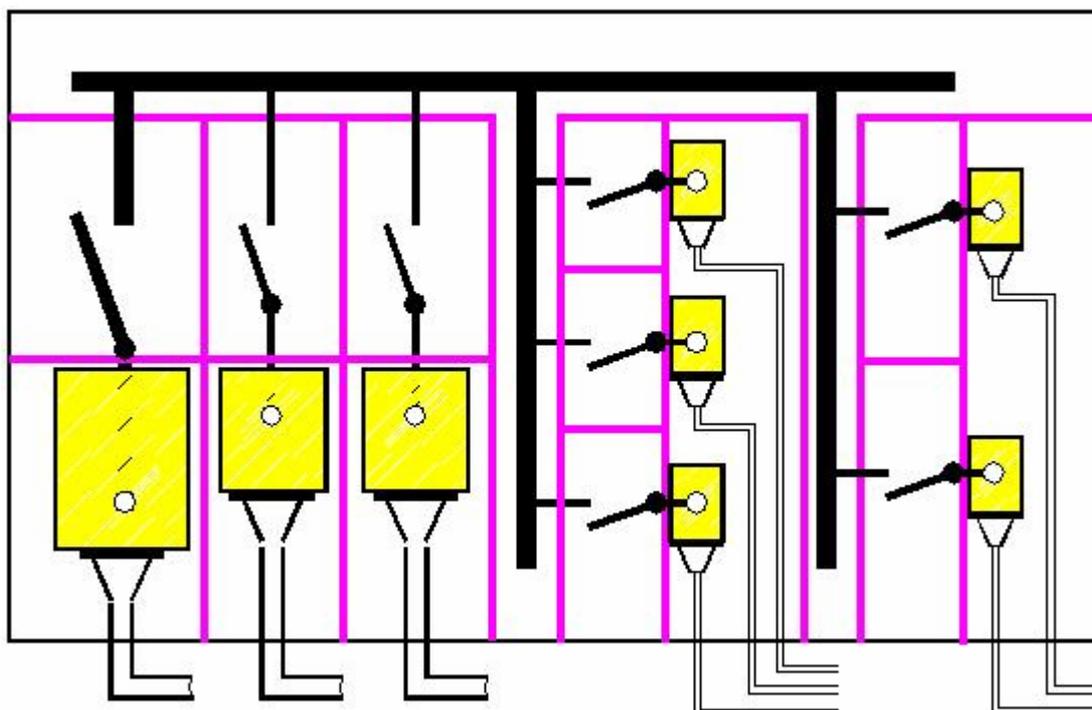
FORM4A 表示母线隔离可用绝缘覆盖实现，例：护套，绕包，涂层等。

Form4B



FORM4B 表示母线隔离可用金属或非金属硬质栅栏或分隔板实现。

Form4C



FORM4C 表示所有隔离要求都用金属或非金属硬质栅栏或分隔板实现，且每个功能单元的端子都单独包封。

第四章

短路电流及计算

短路电流及计算

总则

-  根据 IEC364-434.2 和 IEC364-533.2 条文中的规定,必须计算在电路电源点的预期最大短路电流和电路末端的预期最小短路电流.
-  预期最大短路电流对确定如下是必要的.
 -  断路器的分断能力(I_{cu}), I_{cu} 应大于或等于预期最大短路电流 I_{sc} .
 -  电器的接通能力.
 -  电气管线和配电装置的热稳定和电动力稳定.
-  预期最小短路电流对确定如下是必要的.

当下列情况时,应考虑选择脱扣器(曲线)和熔断器的动作特性:

 -  人身保护取决于所选的脱扣器和熔断器(TN / IT 系统)
 -  电缆很长时
 -  电源阻抗大(机组)时
-  在所有情况下,保护装置应与电缆的热效应 $\int i^2 dt \leq K^2 S^2$ 相适应.

NOTES

-  I_{cu} = 为断路器的额定极限短路分断能力。是制造厂按相应的额定工作电压,规定断路器在标准规定的试验条件下能分断的极限短路分断能力值.用预期分断电流(kA)表示(在交流情况下用交流分量有效值).
-  I_{sc} = 当短路时,没有被保护装置衰减的可能流过的电流。
-  电器的接通能力意指断路器额定短路接通能力。 I_{cm} 是制造厂规定的值,按照有关功率因数的条件,确定与额定极限短路分断能力之间比值,用最大预期峰值电流表示.
-  电路末端的预期最小短路电流,是选择保护电器动作时间的依据,取决于回路的阻抗和相应的系统特征.
-  电动力稳定校验,可按如下近似计算.

假如 2 根并列母线,产生相互作用力 $F_{计算}$ (吸引力或斥力) , 材料 $F_{允}$ —母线材料允许机械应力。

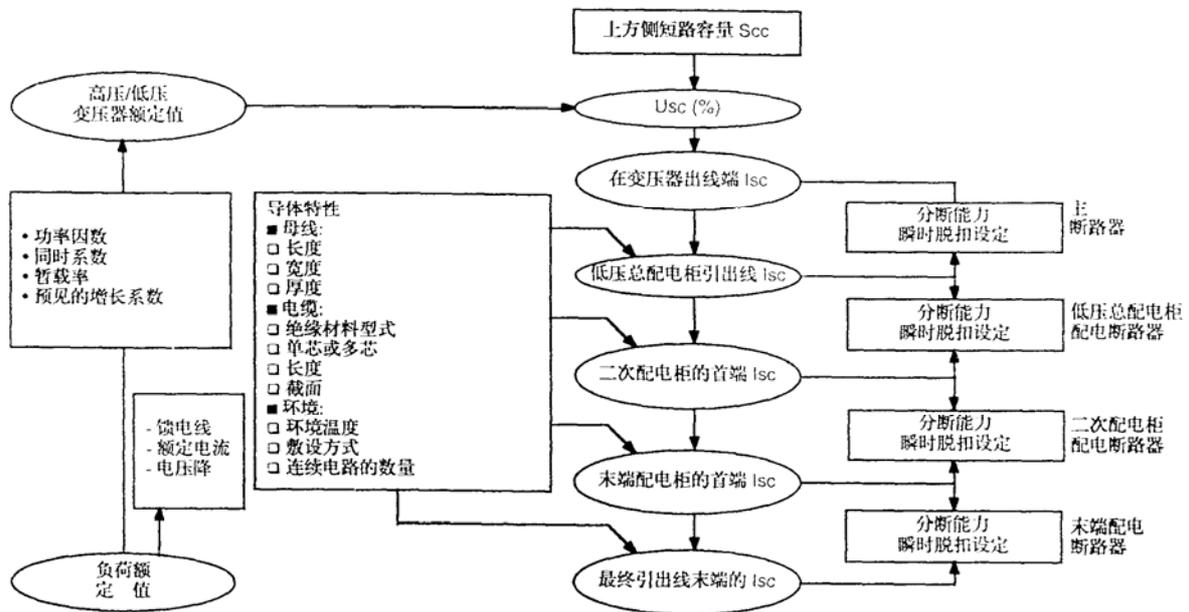
$$F_{计算} = 0.2 I_{sc}^2 \frac{l}{a}$$

$$F_{计算} < F_{允许}$$

式中: 本公式忽略母线位置摆放及特性短路电流周期因数并假定预期短路电流已知。 F -力(N); I_{sc} 短路电流(kA); l 导体长度/母线支架距离(cm); a 导体中心距(cm)。

-  保护装置分断短路电流按所吸收的焦耳积分 $\int i^2 dt$ 应小于在电缆中产生的 $K^2 S^2$ 的热效应, 它能够有效保护电缆的过热。

短路电流计算步骤



👁️ 短路电流计算有关系的因数：

👁️ 系统短路电流的计算和校验步骤：

- (1) 制定系统图，确定短路计算点。
- (2) 根据不同的短路类型和短路点在系统中的位置，归纳短路电源。
- (3) 收集和变换阻抗数据。
- (4) 合并和转换阻抗。
- (5) 计算短路电流。
- (6) 保护电器脱扣整定值设定。
- (7) 母线，电缆及设备的稳定性（电动力和热效应）校验。

NOTES

短变压器副边短路电流计算

🔍 第一种方法(比较规范的计算方法)

思路：

- 🔍 计算短路回路中各主要元件的阻抗(电网，变压器，母线，电缆)
- 🔍 简化并作出等效回路，求得短路回路的总阻抗。
- 🔍 计算短路电流的相关参数

例：

10kV 电网短路阻抗：（假定 $R_q = 0.1 X_q$ ，短路容量 = 500 MVA）

$$Z_{(1)Q} = \frac{1.1 \times 10^2 \text{ kV}}{S_{KQ}''} = \frac{1.1 \times 10^2 \text{ kV}}{500} = 0.22 \Omega$$

$$\therefore R_Q = 0.1 X_Q \text{ (DINVDE0102)}$$

$$\therefore Z_{(1)Q} = \sqrt{R_{(1)Q}^2 + X_{(1)Q}^2} = \sqrt{(0.1 X_{(1)Q})^2 + X_{(1)Q}^2} = 1.005 X_{(1)Q}$$

$$X_{(1)Q} = \frac{Z_{(1)Q}}{1.005} = \frac{0.22 \Omega}{1.005} = 0.219 \Omega$$

$$Z_{(1)Q} = (0.0219 + j0.219) \Omega$$

$$Z_{(1)at} = Z_{(1)Q} \times \left(\frac{0.4 \text{ kV}}{10 \text{ kV}}\right)^2 = (0.000035 + j0.00035) \Omega$$

Transformer: $DYn5$, $S_{rT} = 1600 \text{ kVA}$, $10 \text{ kV} / 0.4 \text{ kV}$, $U_{R_r} = 1.24\%$, $U_{K_r} = 6\%$

$$U_{X_{rT1}} = \sqrt{U_{K_r T1}^2 - U_{R_r T1}^2} = \sqrt{6^2 - 1.24^2} = 5.87\%$$

$$R_{(1)T1} = \frac{U_{R_r T1} \times U_{rT1US}^2}{100\% \times S_{rT1}} = \frac{1.24\% \times 0.4^2 \text{ kV}}{100\% \times 1.6 \text{ MVA}} = 0.00124 \Omega$$

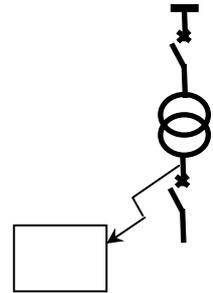
$$X_{(1)T1} = \frac{U_{X_r T1} \times U_{rT1US}^2}{100\% \times S_{rT1}} = \frac{5.87\% \times 0.4^2 \text{ kV}}{100\% \times 1.6 \text{ MVA}} = 0.00587 \Omega$$

$$Z_{(1)T1} = (0.00124 + j0.00587) \Omega$$

$$Z_K = Z_{(1)at} + Z_{(1)T1} = (0.001275 + j0.00622) \Omega$$

$$Z_K = \sqrt{0.001275^2 + 0.00622^2} = 0.006340 \Omega$$

$$I_{K3\max}'' = \frac{1.1 \times U_n}{\sqrt{3} \times Z_K} = \frac{1.1 \times 0.4 \text{ kV}}{\sqrt{3} \times 0.006340 \Omega} = 40 \text{ kA}$$



NOTES

🔍 当计算两相短路，对地短路等不对称短路时十分繁复，往往采用简化方法。例如对于对地短路时可用相零回路阻抗法。

🔍 忽略低压侧电动机及补偿电容的反馈电流等，且认为短路是三相金属性短路。

短路电流及计算

短变压器副边短路电流计算

第二种方法(比较简易的计算方法)

假设和前提:

认为变压器高压侧的短路容量为无穷大,在高层建筑密集的大城市(或大型工业区附近)的区域变电站,站内的变压器容量大,10kV 侧的短路容量一般为 200~400MVA,甚至更大,是 1000kVA 变压器短路容量的 10~20 倍以上.将它作为无穷大计算,使计算出来的短路电流值虽然偏大,但误差小于 10~5%,此误差用于设备选型是完全可以的.

不考虑变压器出线总断路器及低压母线的阻抗,也使计算出来的短路电流比实际值偏大,但因断路器(除限流型外)和母线阻抗很小,也可忽略.

不考虑低压侧电动机及补偿电容等的反馈电流.

上述第三项的误差和第一,第二项的误差是方向相反的,会有所抵销,故从实际情况看,此种简化的方法还是有可取之处.

副边电压 U_{2n} 为 380V 时变压器负载侧的短路电流 : (较为保守的计算值)

Pn[kVA]	63	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Ucc[%]	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	6.25	6.25	6.25
In[A]	91	144	180	230	289	361	455	577	722	909	1155	1443	1804	2309	2887	3608
Isc	2.3	3.6	4.5	5.8	7.2	9	11.4	14.4	18	22.7	23.1	28.9	36.1	37	46.2	57.7

般实践表明,当电源经过 5 米左右的母线到达低压主断路器时,其短路电流会下降到上述值的 85%左右.

以上表格按下列公式计算 :

$$I_n = P_n / (\sqrt{3} * U_{2n}), \quad I_{sc} = I_n * 100 / U_{cc}\%$$

NOTES

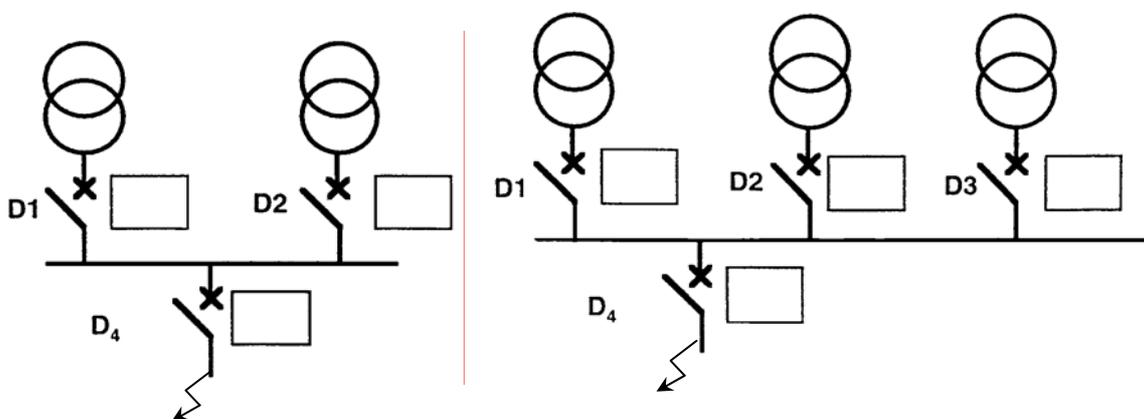
副边电压 U_{2n} 不是 380V 时变压器负载侧的短路电流 :

U _{2n} [V]	220	380	400	415	440	500	660
K	1.73	1	0.95	0.91	0.86	0.76	0.57

$$I_{sc}(\text{non-380}) = I_{sc}(380) * K$$

由几台并联的变压器对一母线供电的情况

👁️ 每个断路器的分断能力多大



NOTES

👁️ 两台相同结构、容量和结线变压器并联，D4 接在 D1 与 D2 汇流母线中央，且馈电长度相同。若 D4 下方短路时则有：

👁️
$$I_{k1} = I_{k2} = \frac{1}{2} I_{k4}$$

👁️ 若 D4 馈电支路在母线上的连接和布置不对称,则短路电流的分配随着馈电线的阻抗成反比例.

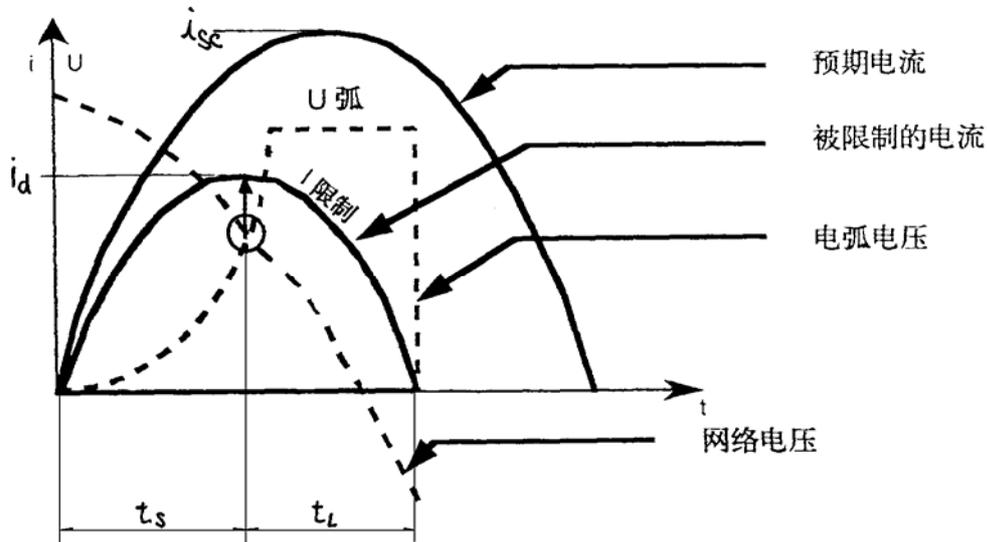
👁️ 三台相同结构、容量和结线变压器并联且短路点在 D4 下方，则有 $I_{k4} = I_{k1} + I_{k2} + I_{k3}$ ， I_{k4} 要承载三路电源的短路电流且 $I_{k4} > I_{k2} > I_{k1} > I_{k3}$ ，(若 D2 比 D1 近 D4，D1 比 D3 近 D4)

👁️ 不建议两台不同容量的变压器并联，因除了两变压器对应相的电压差不得超过 0.4% 外，还要求变压器短路电压百分比相同，否则变压器之间的环流不利变压器运行。

👁️ 多路电源并联时的短路电流(见 SACE Picture Nr = GSSC0051)

$n = \text{Number of transformers, } I_{ccA} = I_{cc} * (n-1), I_{ccB} = I_{cc} * n, I_{cc} = \text{Short circuit current on the load side of each transformer}$

限流的原理



i_d - 允通电流 (截断电流)

t_s - 弧前时间

t_L - 灭弧时间

NOTES

🌀 限流作用和允通电流。

🌀 当预期短路电流很大时，断路器（或熔断器）将在短路电流达到其峰值 i_{sc} 之前动作，在这动作过程中可达到的最高瞬态电流值为 i_d 允通电流（截断电流），反映了断路器（熔断器）的限流作用。

🌀 Megamax-F1(H.V.L),Megamax-F2(H.V.L)型断路器和 Isomax-S 型断路器(L)均具有限流性能。其中 H, V 为具有一般限流功能；L 为具有增强限流功能。它的额定极限分断能力 I_{cu} , Megamax-F 型断路器按其规格对应应有 85kA, 130kA 两种, Isomax-S 型断路器按其规格对应应有 85kA, 100kA 两种。

第五章

负荷的计算

负荷的计算

概念,需要研究条件

-  各工作状态下用电设备功率运行方式的知识,稳态功率需要量,起动状态。
-  识别不同的负载及有关系数:电动机、加热器、照明负载、功率因数、效率。
-  所有单独设备不会同时以全额的标称功率运行,即同时系数 K_s 一般不会等于 1。
-  电动机等负载可能长期于欠载工况下运行,即存在负荷系数 α 。
-  上述个因素是供电设备(变压器、开关设备、电缆等)考虑负荷计算,容量选择中影响经济性的要素。

NOTES

负荷的计算

概念，需要研究条件

🔌 功率需要量：

电器成套设备，建筑物或组合群体的功率需要量 P_{max} ，只是在特殊情况下(如单台设备)才等于用电设备的装机容量的总和。在考虑功率因数 $\cos\varphi$ 的前提下，它是由全部用电设备的额定装机总量乘上**同时系数 K_s** 和**电动机的负荷系数 α** 而得。

🔌 同时系数 K_s ：

考虑到各用电设备(组)不可能同时接通，同时系数总是 <1 ，且随用电设备数量的增多而减小，也就是说从用电设备从下层到上层同时系数是逐步下降的。

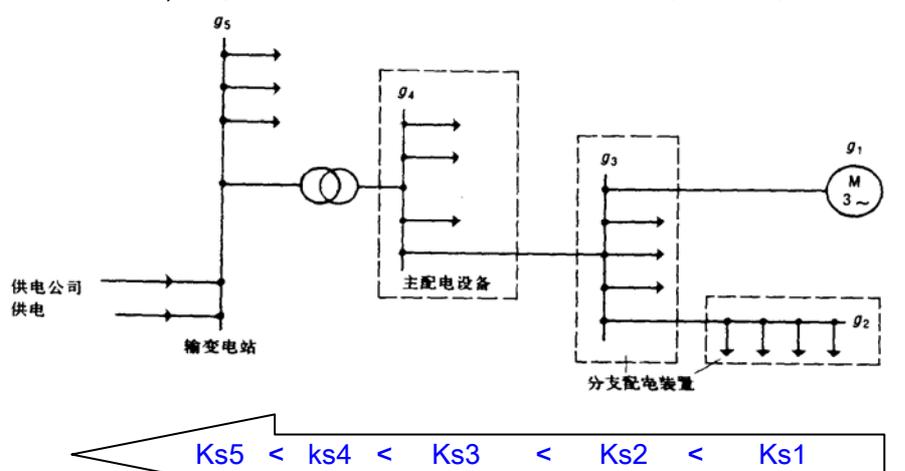


图 4-1 配电网中同时系数 K_s 的特性

🔌 同时系数的确定在任何情况下必须与当地的具体条件及用户对象相适应。

下表给出了办公楼，医院与商店中各种不同用电设备同时系数 K_s 的参考值。

用电设备组	办公大楼	医院	商店
照明设备	0.85-0.95	0.70-0.90	0.85-0.95
空调设备	1	0.9-1	0.9-1
厨房设备	0.5-0.85	0.6-0.8	0.6-0.8
直升电梯/滚动电梯	0.7-1	0.5-1	0.7-1
插座	0.1-0.15	0.1-0.2	0.2

🔌 特殊情况下，还应考虑在某段时间内可能会有集中负荷产生。如南方地区民用建筑中，晚间时分空调设备与电热淋浴设备同时使用会产生集中负荷。

🔌 功率因数 $\cos\varphi$

需要考虑用电设备功率因数 $\cos\varphi$ 的影响,即用电设备对无功功率的需要量将会造成发电机,变压器,开关设备,电缆引起的电压降,并产生附加损耗,增加了功率需要量。

🔌 电动机负荷系数 α

电动机负荷系数 α 考虑了空载时间与电动机工作循环内机械负荷与额定功率关系。

负荷的计算

同时系数的确定例一

 当建筑设备的性质未知或仅需粗略估算同时系数时，可采取下列表格作为参考。

 **根据供电回路数量确定同时系数 Ks**

下表所示是对许多回路供电的配电盘的 Ks 假定值.这些回路没有指明总的负荷在它们之间的分配方式.倘若这些回路主要是照明负载,则建议采用 Ks 值接近于 1。

回路数	同时系数 Ks
在所有选定的情况下对整组回路作了测定	1
2 和 3	0.9
4 和 5	0.8
6 至于	0.7
10 至更多	0.6

 **根据供电回路功能确定同时系数 Ks**

回路功能	同时系数 Ks
照明	1
加热器或空调器	1
电梯和食物提升机: *功率最大的电动机 *功率第二大的电动机 *其他所有电动机	1 ☞ 75 0.60
电源插座	0.1-0.2

NOTES

负荷的计算

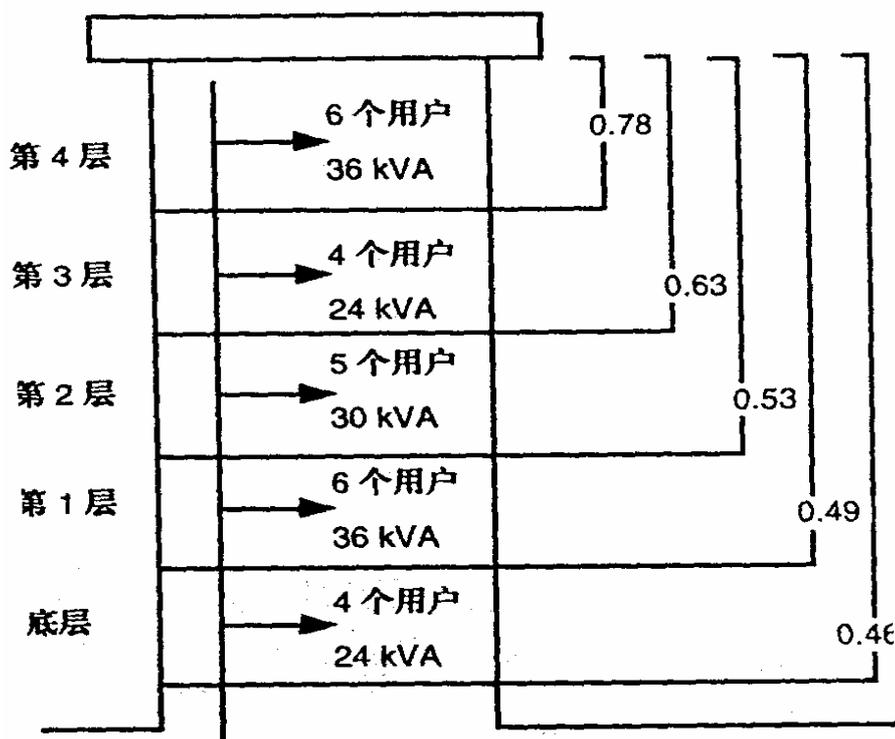
同时系数的确定例二

🏠 公寓等民用建筑可采取下列表格作为参考。

🏠 在一幢公寓大厦内的同时系数 K_s

下方侧用户数	同时系数 K_s
2-4	1
5-9	0.78
10-14	0.63
15-19	0.53
20-24	0.49
25-29	0.46
30-39	0.44
35-39	0.42
40-49	0.41
50 及更多	0.40

🏠 以 5 层公寓大厦为例，从上表可查同时系数 K_s 如下：

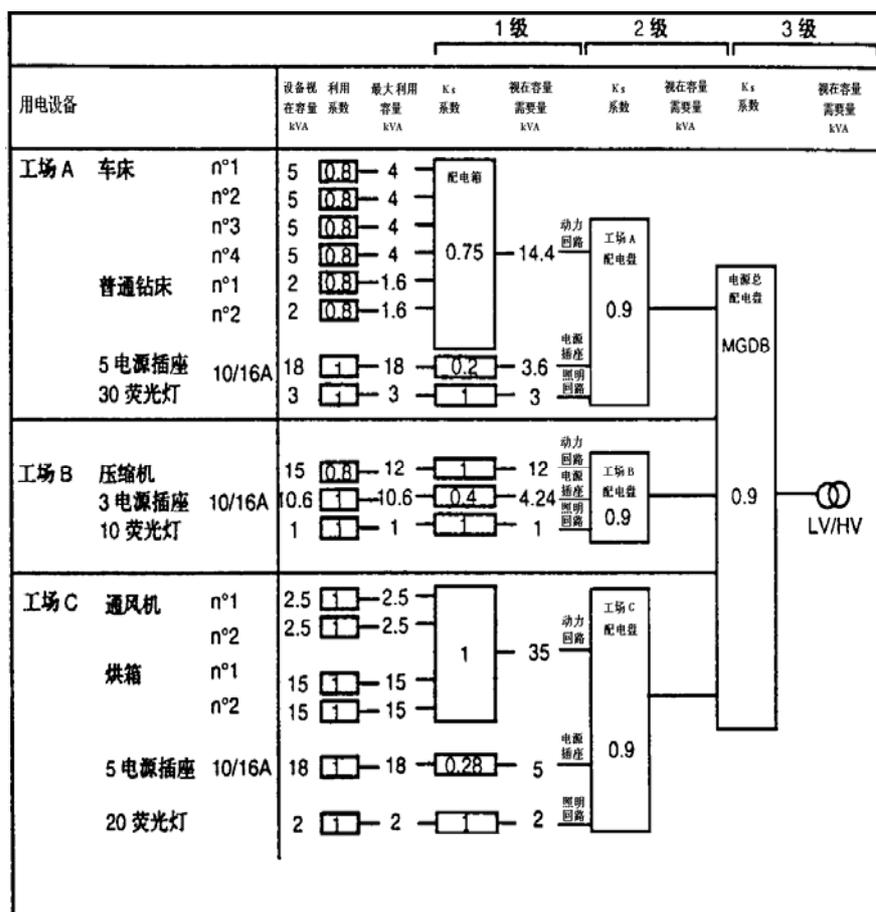


负荷的计算

同时系数的确定例三

电动机的负荷系数 α 及同时系数 K_s 的确定示例。

估算在各级的一套装置,从各个负载地点到供电点实际最大 kVA 需要量的示例.在这一示例中,总的安装视在功率为 126.6kVA,它在 HV/LV 变压器的低压侧相应的实际(估算的)最大值仅 65kVA.



NOTES

- 表中所示的“利用系数”即为负荷系数 α 。
- 为了选择各配电回路电缆的规格,由下式确定流过回路的电流 I(单位为安)。

$$I = \frac{kVA \times 10^3}{U \sqrt{3}}$$

式中 kVA 是图中所示有关回路的实际三相最大视在容量,而 U 是相对相电压(单位为伏)。

负荷的计算

加热器和照明

 电阻型加热器和白炽灯(普通或卤素)额定功率需用电流(A)

额定功率	需用电流(A)			
	单相	单相	三相	三相
kW	127V	230V	230V	400V
0.1	0.79	0.43	0.25	0.14
0.2	1.57	0.87	0.50	0.29
0.5	3.94	2.17	1.26	0.72
1	7.9	4.35	2.51	1.44
1.5	11.8	6.52	3.77	2.17
2	15.7	8.70	5.02	2.89
2.5	19.7	10.9	6.28	3.61
3	23.6	13	7.53	4.33
3.5	27.6	15.2	8.79	5.05
4	31.5	17.4	10	5.77
4.5	35.4	19.6	11.3	6.5
5	39.4	21.7	12.6	7.22
6	47.2	26.1	15.1	8.66
7	55.1	30.4	17.6	10.1
8	63	34.8	20.1	11.5
9	71	39.1	22.6	13
10	79	43.5	25.1	14.4

NOTES

 上表未考虑灯具的功率因数，作大致参考用。

 黄色区域为国内电网一般的电压范围及灯具的功率范围。

第六章

导体的截面积

导体的截面积

导体与保护电器之间协调配合

为恰当地保护电缆应该遵守 IEC60364-4-433-2 的有关规定

原则：

$$1) I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$2) I_2 \leq 1.45 I_z$$

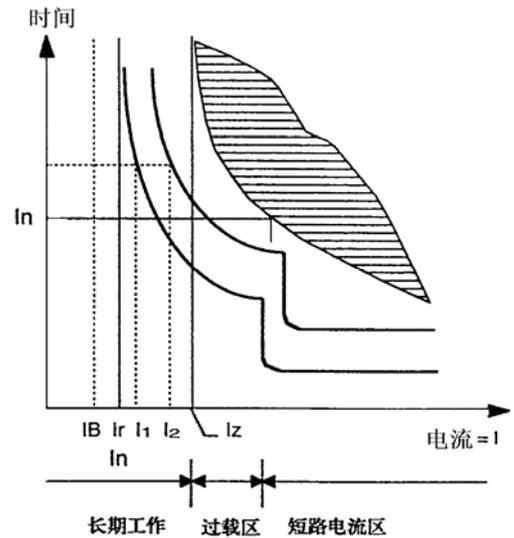
式中：

I_b - 负载电流

I_z - 导体允许承载电流

I_r (或 I_n) - 为保护电器(熔体或脱扣器)的额定电流

I_1, I_2 - 为保护电器过载时，熔体或脱扣器动作电流



当使用民用断路器时

$$I_1 = 1.13 I_n \text{ (约定不脱扣最大值按 IEC898 规定)}$$

$$I_2 = 1.45 I_n \text{ (约定脱扣动作最小值按 IEC898 规定)}$$

I_1 为约定不脱扣电流， I_2 为约定脱扣电流；(I_n 小于 63A时约定时间 1 小时， I_n 大等于 63A时约定时间 2 小时)

当使用工业断路器时

$$I_1 = 1.05 I_n, I_2 = 1.30 I_n \text{ (按 IEC947-2 规定)}$$

当使用熔断器时

$$I_1 = 1.25 I_n \text{ 为最大不熔化电流}$$

$$I_2 = 1.6 I_n \text{ 为最小熔化电流}$$

NOTES

导体与保护电器之间的协调配合：

是为导体提供保护，防止不允许的过载和短路电流。

导体的截面积

铜、铝导体及安装在空气中和地下的电缆允许载流能力

 电缆允许承载电流可查下表来选取：

 取决因数：电缆安装方式 / 电缆成组的根数 / 电缆绝缘种类受温度的影响

不成束铜电缆允许承载电流 I_z(A) 环境温度:30°C(空气) 20°C(地下)

安装方式	负载导体数和绝缘的种类																																																																																																																																																				
A	3	2	-	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-		PVC	PVC		XLP	XLP										B	-	-	3	2	3	-	2	-	-	-	-	-	-	-				PVC	PVC	XLP		XLP								C	-	-	-	3	2	3	-	2	-	-	-	-	-	-					PVC	PVC	XLP		XLP							D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	2	3												PVC	PVC	XLP	XLP		E-F	-	-	-	-	3	2	3	-	2	-	-	-	-	-						PVC	PVC	XLP		XLP					
	PVC	PVC		XLP	XLP										B	-	-	3	2	3	-	2	-	-	-	-	-	-	-				PVC	PVC	XLP		XLP								C	-	-	-	3	2	3	-	2	-	-	-	-	-	-					PVC	PVC	XLP		XLP							D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	2	3												PVC	PVC	XLP	XLP		E-F	-	-	-	-	3	2	3	-	2	-	-	-	-	-						PVC	PVC	XLP		XLP																				
B	-	-	3	2	3	-	2	-	-	-	-	-	-	-				PVC	PVC	XLP		XLP								C	-	-	-	3	2	3	-	2	-	-	-	-	-	-					PVC	PVC	XLP		XLP							D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	2	3												PVC	PVC	XLP	XLP		E-F	-	-	-	-	3	2	3	-	2	-	-	-	-	-						PVC	PVC	XLP		XLP																																			
			PVC	PVC	XLP		XLP								C	-	-	-	3	2	3	-	2	-	-	-	-	-	-					PVC	PVC	XLP		XLP							D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	2	3												PVC	PVC	XLP	XLP		E-F	-	-	-	-	3	2	3	-	2	-	-	-	-	-						PVC	PVC	XLP		XLP																																																		
C	-	-	-	3	2	3	-	2	-	-	-	-	-	-					PVC	PVC	XLP		XLP							D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	2	3												PVC	PVC	XLP	XLP		E-F	-	-	-	-	3	2	3	-	2	-	-	-	-	-						PVC	PVC	XLP		XLP																																																																	
				PVC	PVC	XLP		XLP							D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	2	3												PVC	PVC	XLP	XLP		E-F	-	-	-	-	3	2	3	-	2	-	-	-	-	-						PVC	PVC	XLP		XLP																																																																																
D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	2	3												PVC	PVC	XLP	XLP		E-F	-	-	-	-	3	2	3	-	2	-	-	-	-	-						PVC	PVC	XLP		XLP																																																																																															
										PVC	PVC	XLP	XLP		E-F	-	-	-	-	3	2	3	-	2	-	-	-	-	-						PVC	PVC	XLP		XLP																																																																																																														
E-F	-	-	-	-	3	2	3	-	2	-	-	-	-	-						PVC	PVC	XLP		XLP																																																																																																																													
					PVC	PVC	XLP		XLP																																																																																																																																												

C.S.A. Sq.m														
Cu														
1	10.5	11	12	13.5	14.5	17	18	19	21	18	14.5	21	17	
1.5	13	14.5	15.5	17	18.5	22	23	24	26	22	18	26	22	
2.5	18	19.5	21	23	25	30	32	33	36	29	24	34	29	
4	24	26	28	31	34	40	42	45	49	38	31	44	37	
6	31	34	36	40	43	52	54	58	63	47	39	56	46	
10	42	46	50	54	60	71	75	80	86	63	52	73	61	
16	56	61	68	73	80	96	100	107	115	81	67	95	79	
25	73	80	89	95	101	119	127	138	149	104	86	121	101	
35				117	126	147	157	171	185	125	103	146	122	
50				141	153	179	192	210	225	148	122	173	144	
70				179	196	229	246	269	289	183	151	213	178	
95				216	238	278	298	328	352	216	179	252	211	
120				249	276	322	346	382	410	246	203	287	240	
150				285	318	371	399	441	473	278	230	324	271	
185				324	362	424	456	506	542	312	257	363	304	
240				380	424	500	538	599	641	360	297	419	351	
300				435	496	576	620	693	741	407	336	474	396	

NOTES

-  不成组敷设电缆是指两根电缆之间存在的空隙大于是 2D (D 为最大电缆的外径)
-  PVC 聚氯乙烯 (温度最高至 70°C) , XLPE 为聚乙烯或丙烯乙烯合成物 EPR (最高温度至 90°C) , 对低温下敷设电缆依据电缆制造厂方的建议
-  对于铝电缆须乘以 0.62 系数
-  XPLE= Cross Linked Polythylene , 交联聚乙烯 ; EPR= Ethylene Propylene Rubber , 丙烯乙烯合成橡胶 ; PVC= Polyvinyl Chloride, 聚氯乙烯。
-  国标《布线系统载流量》GB/T16895.15-2002 已发布生效。

导体的截面积

关于铜母线的选取 (根据 DIN43671 和 DIN43670)

开关柜和电气管槽中铜母线的电流载流量 (DIN43671-1975)

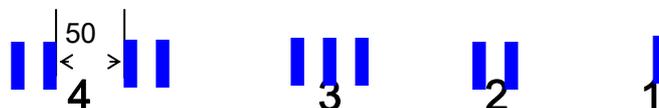
环境温度=35°C , 最终导体温度=65°C , 导纳=56m/Ω mm² (ρ =0.0178Ω mm²/m)

导体特性			开关柜内 电流载流量								电气管内 电流载流量							
hxs	CSA	重量*	有涂层导体				裸露导体				有涂层导体				裸露导体			
mm	mm ²	kg/m	1	2	3	4	1	2	3	4**	1	2	3	4	1	2	3	4
12x2	23.5	0.209	123	202	228		108	182	216		123	202	233		108	182	220	
15x2	29.5	0.262	148	240	261		128	212	247		148	240	267		128	212	252	
15x3	44.5	0.396	187	316	381		162	282	361		187	316	387		162	282	365	
20x2	39.5	0.351	189	302	313		162	264	298		189	302	321		162	266	303	
20x3	59.5	0.529	237	394	454		204	348	431		237	394	463		204	348	437	
20x5	99.1	0.882	319	560	728		274	500	690		320	562	729		274	502	687	
20x10	199.0	1.770	497	924	1320		427	825	1180		499	932	1300		428	832	1210	
25x3	74.5	0.663	287	470	525		245	412	498		287	470	536		245	414	506	
25x5	124.0	1.110	384	662	839		327	586	795		384	664	841		327	290	794	
30x3	89.5	0.796	337	544	593		285	476	564		337	546	608		286	478	575	
30x5	149.0	1.330	447	760	944		379	672	896		448	766	950		380	676	897	
30x10	299.0	2.660	676	1200	1670		573	1060	1480		683	1230	1630		579	1080	1520	
40x3	119.0	1.06	435	692	725		366	600	690		436	696	748		367	604	708	
40x5	199.0	1.77	573	952	1140		482	836	1090		576	966	1160		484	848	1100	
40x10	399.0	3.55	850	1470	2000	2580	715	1290	1770	2280	865	1530	2000		728	1350	1880	
50x5	249.0	2.220	697	1140	1330	2010	583	994	1260	1920	703	1170	1370		588	1020	1300	
50x10	499.0	4.440	1020	1720	2320	2950	852	1510	2040	2600	1050	1830	2360		875	1610	2220	
60x5	299.0	2.66	826	1330	1510	2310	688	1150	1440	2210	836	1370	1580	2060	696	1190	1500	1970
60x10	599.0	5.33	1180	1960	2610	3290	985	1720	2300	2900	1230	2130	2720	3580	1020	1870	2570	3390
80x5	399.0	3.55	1070	1680	1830	2830	885	1450	1750	2720	1090	1770	1990	2570	902	1530	1890	2460
80x10	799.0	7.11	1500	2410	3170	3930	1240	2110	2790	3450	1590	2730	3420	4490	1310	2380	3240	4280
100x5	499.0	4.44	1300	2010	2150	3300	1080	1730	2050	3190	1340	2160	2380	3080	1110	1810	2270	2960
100x10	999.0	8.89	1810	2850	3720	4530	1490	2480	3260	3980	1940	3310	4100	5310	1600	2890	3900	5100
120x10	1200	10.70	2110	3280	4270	5130	1740	2860	3740	4500	2300	3900	4780	6260	1890	3390	4560	6010
160x10	1600	14.20	2700	4130	5360	6320	2220	3590	4680	5530	3010	5060	6130	8010	2470	4400	5860	7710
200x10	2000	17.80	3290	4970	6430	7490	2690	4310	5610	6540	3720	6220	7460	9730	3040	5390	7150	9390

NOTES

注：在几个平行导体的情况下，导体间的间隙假设为等于单个导体的厚度。对于交流，相间的间隙，应为大于 0.8 倍相中心轴间的距离

**最小间隙示意图：



导体的截面积

铜母线的选取

对于下列情况的铜母线，表中给出电流载流量应于修正：

修正后的电流： $I = I_{表} \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5$

修正系数 K 的定义

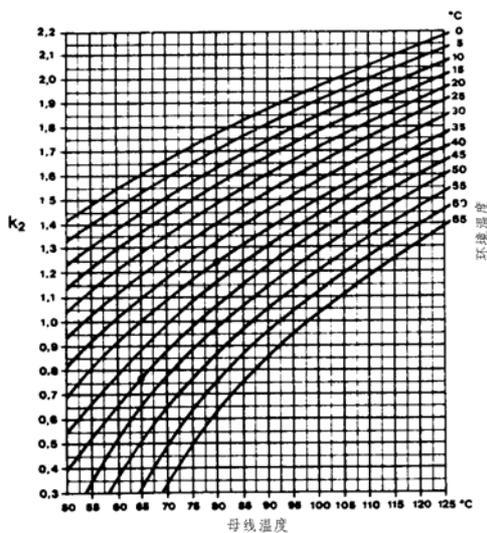
K_1 = 不同材料时，导电性不同的修正系数（本表是以铜材料 E-Cu F30）

K_2 = 不同环境温度时修正系数

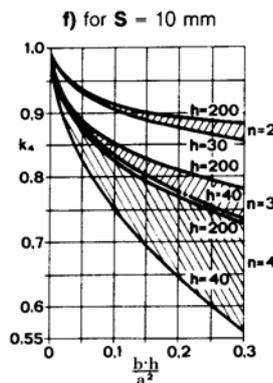
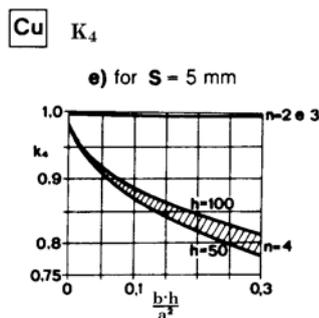
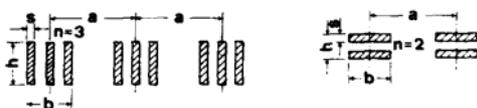
K_3 = 导体竖直放置或水平放置，不同方式的修正系数

K_4 = 根据母线相互间距和尺寸大小不同，并且在 2m 内没有分支母线连接，因趋肤效应考虑不同的修正系数

K_5 = 安装在高于海拔 1000m 时，降低载流量的修正系数



导体数目	导体宽度 mm	导体厚度 mm	K_3	
			裸露的	有涂层的
1	50/200		0.85	0.90
	50/80	5/20		
2			0.80	0.85
			0.80	
3				0.85
		100/125	0.75	0.80
4	160		0.70	0.75
	200		0.65	0.70



m	K_5	
N.N.	室内	室外
1000	1	0.98
2000	0.99	0.94
3000	0.96	0.87
4000	0.9	0.83

导体的截面积

用电线路的电压降

IEC60364-5-525 : 考虑到

-  无其他要求时 ,建议在用户装置首端与设备之间的电压降实际上应不大于装置额定电压的 4%
-  其他要求包括起动电流大的电动机及设备的起动时间
-  由于不正常运行引起的电压瞬态和电压变动等可不考虑。

计算稳定负载条件下的电压降

使用公式

回路	电压降 (Δ U) 单位为伏
单相 : 相/相	$\Delta U = 2I_B L(R \cos \varphi + X \sin \varphi)$
单相 : 相/中性点	$\Delta U = 2I_B L(R \cos \varphi + X \sin \varphi)$
三相平衡 : 三相(带或不带中性线)	$\Delta U = \sqrt{3}I_B L(R \cos \varphi + X \sin \varphi)$

-  电压降一般不用上述绝对值 , 而对额定电压的相对百分比 % 表示 , 即 :

$$\frac{100\Delta U}{U_n} = \%$$

NOTES

-  为了保证用电设备正常运行 , 减小线路的电压损失 (即电压降) 对二次配电系统的影响 , 是重要的。
-  需要考虑照明负载对电压损失的要求 :
-  对视觉要求较高的室内照明 , 不宜低于额定值的 97.5%

导体的截面积

电动机起动时的电压降

 需要考虑的问题：

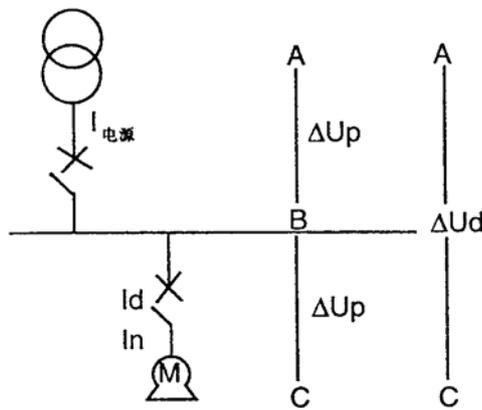
 电动机起动的电压降：

- 1) 起动或许有困难,
- 2) 起动的 ΔU 不要超过 10%

 在电动机馈电线上方侧的起动电压降：

- 1) 校验对邻近馈电线引起的干扰是否容许.

例如: $\Delta U_{ABd} = \Delta U_{ABp} \times K2$ $\Delta U_{ACd} = \Delta U_{ABd} + \Delta U_{BCd}$



 K2 系数是电动机馈电线在起动时对上方侧电压降增大的系数.

		起动						
		星-三角		直接				
Id/In		2	3	4	5	6	7	8
I 电源/Id	2	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
	4	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75
	6	1.17	1.34	1.50	1.67	1.84	2	2.17
	8	1.13	1.25	1.38	1.5	1.63	1.75	1.88
	10	1.10	1.23	1.34	1.45	1.56	1.67	1.78
	15	1.07	1.14	1.20	1.27	1.34	1.4	1.47

第七章

低压开关设备和控制设备

低压开关设备和控制设备

基本概念

开关设备和控制设备是一个基本术语，它包括开关电器及其与辅助的控制、检测、保护、调整装置的组合，它也包括具有内部连线、辅助器件、外壳、支持结构件的电器和装置的组合体。

用于发电、输电、配电和电能转换功能的为开关设备。用于耗电装置的控制功能的为控制设备。

开关设备和控制设备涉及三个基本概念：

隔离

为了安全，切断电源或将装置或母线段与每个供电电源隔开的办法，构成装置的孤立段（例如，当需要在带电导体上工作时）

负荷开关，隔离开关，具有隔离功能的断路器等。

控制（通断）

为了运行与维修的目的，在正常运行条件下进行接通或断开接触器及电机启动器，开关，紧急开关等。

保护

防止电缆，设备和人身的不正常情况，如过载，短路及接地故障，利用断开故障电流的方法，因而将故障隔离

断路器，开关熔断器组，保护继电器和控制电器组合等。

低压开关设备和控制设备

定义和功能

不同低压开关设备和控制设备的功能和符号：

器件	功能	电气保护		控制(通断)		隔离	图例 符号
		检测	分断	人力	遥控		
隔离开关	在断开位置上能符合规定的隔离功能要求						
负荷开关	在正常的电路条件下(包括规定的过载),能接通、承载和分断电流						
接触器	非手动操作的能接通承载和分断正常电路条件(包括过载运行条件)下电流						
熔断器	能分断非正常电路条件下的电流						
断路器	能接通、承载以及分断正常和非正常电路条件下的电流						

熔断器组合电器		
开关熔断器组	隔离器熔断器组	隔离开关熔断器组
熔断器式开关	熔断器式隔离器	熔断器式隔离开关

NOTES

- 兼有开关作用的隔离器称为隔离开关，它具有一定的短路接通能力。
- 隔离器和熔断器串联组合成一个单元，即为隔离器熔断器组。
- 隔离器的动触头由熔断器体或带熔断体的熔芯组成时，即为熔断器式隔离器。
- 刀形开关和熔断器串联组合成负荷开关。刀开关的动触头由熔断体组成时，即为熔断器式刀开关。

隔离功能

 隔离：出于安全原因，通过把所有电器或其一部分电器与电源分开的办法，以切断电器一部分或整个电器电源的功能

 要遵守的条件：

 IEC60947-1 和 IEC60947-3 有关要求

 若有多根带电导体，应一起分断（除 PEN 外）

 可自锁或可加挂锁锁住

 按 IEC60947-1-7.1.6.1 附加要求，可由下述手段检查动触点位置：

- 操动器的位置

- 可视的动触点

- 独立的机械指示

 哪些是隔离设备？

 隔离器

 负荷开关/隔离开关

 断路器式隔离开关

 具有隔离功能的断路器或插件

 安装：

 在各回路的始端

NOTES

 具有隔离功能电器的附加安全要求：

隔离电器在断开位置时必须具有符合隔离功能安全要求的隔离距离，并应配备显示动触头位置的指示器。此位置指示器应与动触头可靠地联结。手柄可以作为这样的指示器。当电器按正常使用加罩（如有的话）安装就位时，如果触头分开在外部可见，则不需要这种指示器。

控制（通断）功能

正常工作条件通断

用途：在正常运行中使装置的任何部件通电或断电。

紧急条件下分断：

 紧急分断已成危险的电器或回路（触电，着火）。

 紧急停止危险的运转状态。

对机械维修的分断

用途：对机械部件进行维修工作时，主回路分断，而使机器停止或处于停机状态。

哪些元件可作为通断设备？

 负荷开关/熔断开关

 接触器

 断路器

 选择开关或额定电流不大于 16A 的电源插座

 半导体固态电器

安装：

 在装置的始端或在负载一级。

NOTES

开关，断路器

在紧急状态下，切断电源使设备和回路断电，即能消除因继续带电会造成一切可能危害的需要。

接触器，起动器

当设备发生继续运转有危险，则必须立即停止时，接触器，起动器，可以满足就地或遥控进行紧急停止控制。

对系统，设备和电缆的保护主要有三种：

过载保护

- 当工作过电流持续时间过长或设备（如电动机或电缆）的规格选择不当时，便可能发生过载现象。
- 过载电流使电动机绕组的温升超过允许值，并会缩短其绝缘材料的使用寿命。
- 过载电流越大，达到允许温升的时间就越短，对应的允许负载时间也就愈短。
- 过载保护的任务是：必须允许正常的工作过载电流通过，但又必须在超过允许的负载时间以前将其切断，起到保护设备的作用。

短路保护

- 由于短路电流很大，使线路电缆温升过高，对线路设备产生很大的机械应力，可造成很大危害。因此，短路保护的任务是，必须及时检测出短路电流，并在几毫秒之内将其切断，从而把短路电流的危险后果限制到最小程度，能有限流作用的则更为有利。

接地故障保护

- 由于绝缘损坏引起的剩余电流可能在 20~100% 的相电流的范围，一般断路器的过载或短路保护对此都无能为力，但 ABB 智能化断路器则能达到这一保护目的。

注：漏电是一种相对不严重的接地故障，有时也会造成火灾，触电等设备人身损失，。

对人身保护有两种：

设备在故障情况下发生的间接接触保护

这是为使人接触到正常情况下虽不带电而在绝缘损坏时会带电导体的保护。当外露可导电部分出现危险电压时保护电器将电源切断。

正常工作条件下发生的直接接触保护

这种保护只能在直接接触防护措施失效或意外触及情况下，作为直接接触防护的补充保护。它对直接接触防护措施起扩大功能作用，但不能替代其他直接接触的防护措施或单独进行采用。

保护方式与接地系统(TT/TN/IT)有关

熔断器/断路器/剩余电流保护器/热继电器/绝缘监测器等都有保护功能

熔断器：

-  主要作为短路保护，当电路发生短路或严重过载时自动熔断，切断电路起到保护作用。分普通型和半导体专用型。

负荷开关/熔断器式开关（开关熔断器组）：

-  能接通、承载及分断正常电流，也能在非正常情况下承载电流的机械式开关电器(这些开关不能分断非正常的短路电流)

框架断路器（ACB）：

-  额定电流达 6300A，额定电压至 1000V
-  分断能力达 150kA
-  采用微处理器技术的保护脱扣器

塑壳断路器（MCCB）：

-  额定电流达 3200A，额定电压至 690V
-  分断能力达 200kA
-  采用热敏电磁或微处理器技术的保护脱扣器

微型断路器（MCB）

-  额定电流不大于 125A，额定电压至 690V
-  分断能力达 50kA
-  采用热敏电磁保护脱扣器

剩余电流（漏电）断路器（RCCB/RCBO）

剩余电流断路器一般由 MCB 和剩余电流附件组合而成 RCBO。只有剩余电流保护的微型断路器称为 RCCB，剩余电流保护器件称为 RCD。

控制类设备

接触器和控制器

-  机电式接触器和电机起动器
-  交流半导体控制器和起动器
-  交流半导体控制器和非电机负载接触器

控制回路装置和开关元件

-  机电式控制回路装置
-  接近开关
-  位置传感器
-  信号放大和转换
-  电参数或非电参数检测控制
-  时间或事件检测控制
-  可变程序控制器

多功能设备

-  切换开关设备 (ATS)
-  控制和保护开关设备 (CPS)

过载保护继电器

-  双金属片热过载继电器 TOR
-  电子型过载保护继电器 EOL

NOTES

控制类设备功能已多元化，除控制以外，也可在内部配置过载保护功能。

第八章

保护电器的选择

断路器 - 基本特性

电气特性：

-  额定工作电压 U_e ,
-  额定电流 I_n ,
-  脱扣电流 (热脱扣 I_{rth} , 瞬时脱扣 I_{rm}) ,
-  额定短时间耐受电流 I_{cw} (Cat A 和 Cat B) ,
-  短路分断能力 (I_{cu} 和 I_{cs}) ,
-  短路接通能力 (额定短路接通能力 I_{cm}) ,
-  辅助控制操作系统的额定电压或电流等 ,

机械特性：

-  多极分断 (同时或不同时) ,
-  可见的分断点或肯定的分断指示 ,
-  可锁性 ,
-  可隔离性 ,
-  接线方式 ,
-  操作方式 ,

保护电器的选择

断路器 - 基本特性

额定短时耐受电流 I_{cw} (IEC947-2 标准规定最小值)

额定电流 I_n (A)	额定短时耐受电流 I_{cw} 的最小值 (kA)
$I_n \leq 2500$	$12I_n$ 或 5kA , 取较大者
$I_n > 2500$	30kA

短时耐受电流相应的延时应不小于 0.05s , 其优选值为 0.05-0.1-0.25-0.5-1s.

必须注意断路器适用于两种不同的使用类别。

使用类别	选择性的应用
A	在短路情况下 , 断路器无明确指明用作串联在负载侧的另一短路保护装置的选择性保护 , 即在短路情况下 , 选择性保护无人为短延时 , 因而 无额定短时耐受电流要求 。
B	在短路情况下 , 断路器明确用作串联在负载侧的另一短路保护装置的选择性保护 , 即在短路情况下 , 选择性保护有人为的短延时 (可调节) 。这类断路器 具有额定短时耐受电流要求 。

I_{cs} 额定运行短路分断能力和 I_{cu} 额定极限短路分断能力间的标准比值。

使用类别 A ($I_{cu}\%$)	使用类别 B ($I_{cu}\%$)
25	-
50	50
75	75
100	100

I_{cm} 额定短路接通能力。

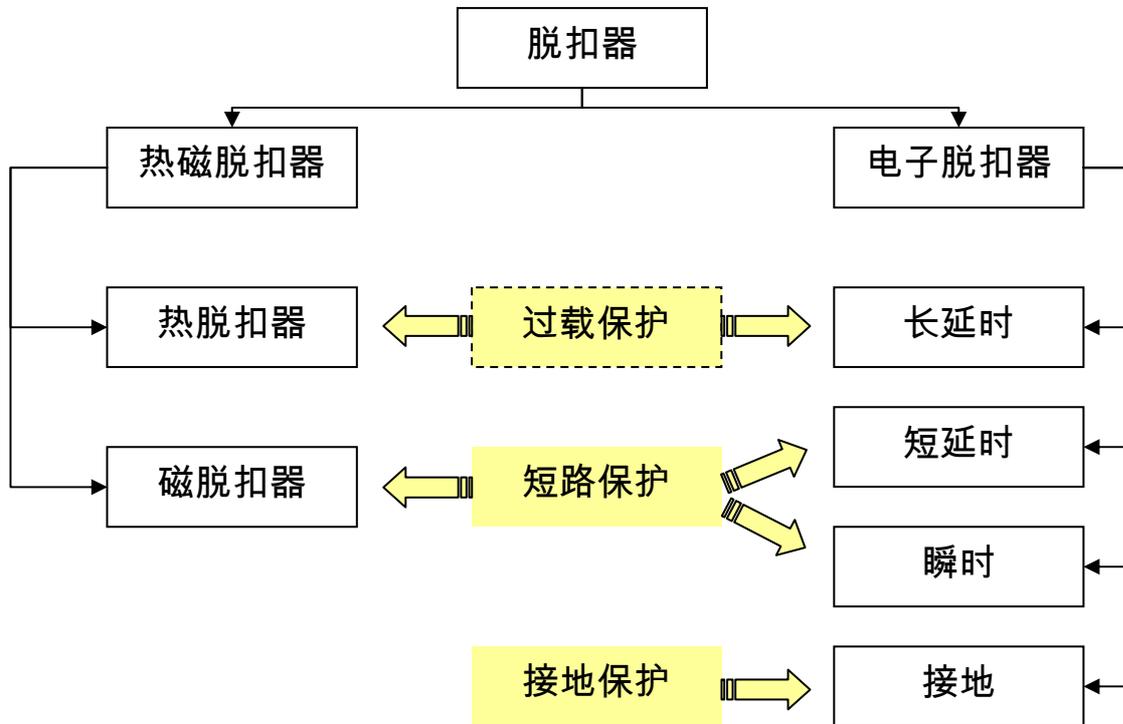
是在规定的额定工作电压 , 额定功率以及一定的功率因数 (交流) 或时间常数 (直流) 下断路器的短路接通能力值。用最大预期峰值电流表示。

短路分断能力 [*] (kA, 有效值)	功率因数	短路接通能力 短路分断能力
$4.5^{**} < I \leq 6$	0.7	1.5
$6 < I \leq 10$	0.5	1.7
$10 < I \leq 20$	0.3	2.0
$20 < I \leq 50$	0.25	2.1
$50 < I$	0.20	2.2

断路器的分断能力按 I_{cu} 还是按 I_{cs} 选用主要应从供电连续性要求考虑。

保护电器的选择

断路器 - 脱扣器的型式



🔧 有两种基本脱扣器：

- 🔧 机电的（通常被称为热/磁脱扣器）
- 🔧 电子的（也称为固态脱扣器或微处理器脱扣器）

🔧 脱扣器的基本功能：

- 🔧 构成过流保护并断开故障回路

🔧 电子脱扣器的附加功能：

- 🔧 故障时可选择报警或动作
- 🔧 有可选择的延时设定（瞬时短路保护除外）
- 🔧 有可选择的保护特性曲线
- 🔧 有电流矢量计算功能可实现接地故障保护
- 🔧 有其他附加功能：热容量记忆，逻辑控制，电参数显示等
- 🔧 易实现远程设定、监控和数据通讯

保护电器的选择

断路器 - 脱扣器动作电流

 脱扣动作电流 I_m :

-  由 IEC898 对家用型式断路器选定 I_m ;
-  或者按照有关标准, 尤其是 IEC947-2, 由制造厂对工业用型式的断路器标明 I_m 。

低压断路器的过载及保护电器的脱扣电流范围表

	保护继电器的型式	过载保护	短路保护		
			低设定型 B $3I \leq I_m < 5I_n$	标准设定型式 C $5I_n \leq I_m < 10I_n$	高设定回路型式 D $10I_n \leq I_m < 20I_n$ (1)
家用断路器 IEC-898	热-电磁式	$I_r = I_n$	低设定型 B $3I \leq I_m < 5I_n$	标准设定型式 C $5I_n \leq I_m < 10I_n$	高设定回路型式 D $10I_n \leq I_m < 20I_n$ (1)
模数化工业用(2)断路器	热-电磁式	固定的 $I_r = I_n$	低设定 型式 B 或 Z 固定值	标准设定 型式 C 固定值	高设定 型式 D 或 K 固定值
工业用(2)断路器 IEC947-2	热-电磁式	固定的 $I_r = I_n$	固定值: $I_m = 5-10I_n$		
		可调: $0.7I_n \leq I_r < I_n$	可调: -低设定: $2-5I_n$ -标准设定: $5-10I_n$		
	电子式	长延时 $0.4I_n \leq I_r < I_n$	短延时, 可调 $1.5I_r \leq I_m < 10I_r$ 瞬时(1) $I \approx 12-15I_n$		

(1) IEC898 中定为 $20I_n$, 大部分欧洲制造厂认为这一数值高得不切实际从而降低了出厂整定值。

(2) IEC898 标准, 对于工业用没有规定专门值。表中所列数值仅作普通用。

NOTES

 家用断路器(IEC898)----例如: S250, S260, S270, S280 系列

 模数化工业用断路器(IEC898, IEC947)---- 例如: S500 系列

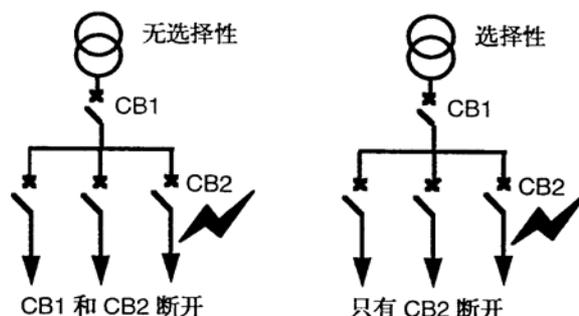
 工业用断路器(IEC947) ---- 例如: Emax, Tmax 系列

保护电器的选择

选择性和后备保护

选择性定义

当电网某点出现的故障只单独由安装在最靠近故障点上方的保护装置来排除。这有助于供电的持续性。



选择性保护三种方式：（概念）

- 全部选择性: 在任何情况下，后接保护电器单独断开直至到它的额定分断能力。
- 局部选择性: 后接保护电器单独断开一定的短路电流值—即选择性界限。从这一选择性界限开始，允通电流脉冲足以使前接保护电器也脱扣。

选择性的确定

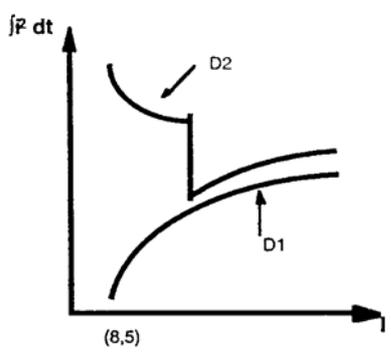
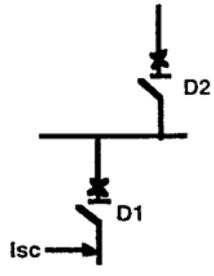
- 时间-电流曲线的比较
- I^2t -曲线的比较
- 制造厂提供的选择性配合表。
- 制造厂提供的区域选择性连锁功能

后备保护（级联）

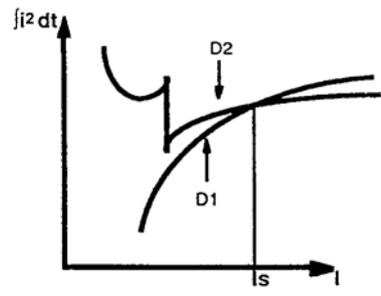
- 是两个串联的保护装置间的过电流配合，保护装置通常在电源侧；即使无其它保护装置协助，它也可完成过电流保护且不对另一保护装置产生过分损害。(IEC 60947-1, 2.5.24)。换言之，它利用上级断路器的快速性和限流性在不损坏下级断路器的前提下切断故障电流。
- 所谓级联是利用上级断路器的限流作用，可选择较低分断能力的下级断路器以节约投资费用。它和后备保护的定义是一致的。实际上因后备保护要求上级断路器快速动作，而选择性要求上级断路器延缓动作；利用上级断路器主触头的抖动来限流是不可靠的，也是触头系统稳定性设计的忌讳之处。这是一对难以协调的矛盾要求，一般只有特殊结构的断路器（如 ABB S700 系列）才能满足类似的要求。

保护电器的选择

实现选择性



全部选择性



局部选择性

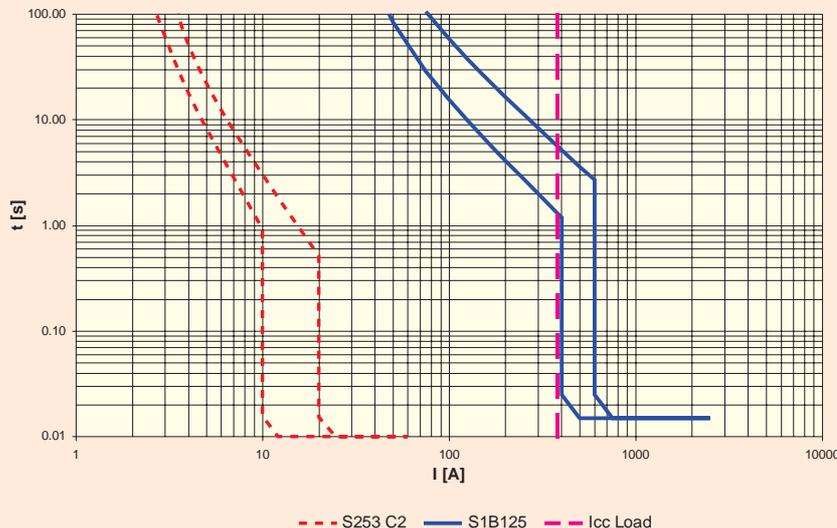
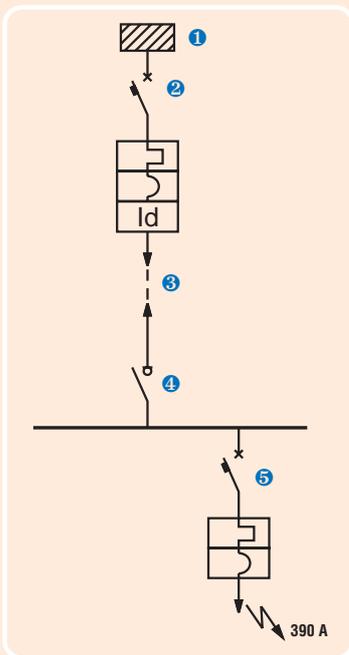
I_{sc} — 选择性极限电流，
D1 — 为限流型断路器，
D2 — 为非限流型断路器。

NOTES

- 利用电流设定实现选择性
- 利用电流 + 响应时间设定实现选择性
- 利用限流和限能实现选择性
- 利用逻辑控制实现选择性
- ABB SACE 给出了断路器之间的选择性配合表。应注意到表中的选择性配合时由断路器自身的特性所定而非采取了人为延时等手段。

电流选择性

Selettività Amperometrica



1 Rete	400 V 10,4 MVA (15 kA) 50 Hz	4 MCS	S2D125
2 MCCB	S1B125 R25 ($I_m = 500$ A) RC 210/1	5 MCB	S253 C2
3 Cavo	L=35 m S=6 mm ²		

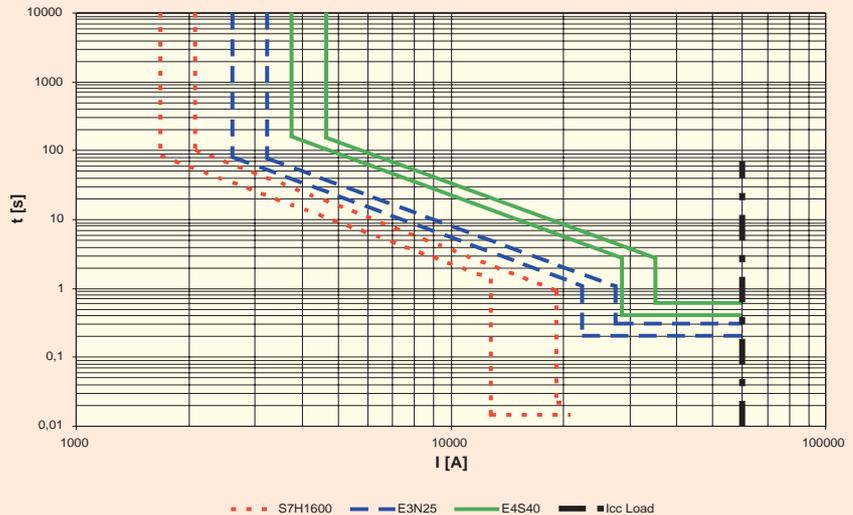
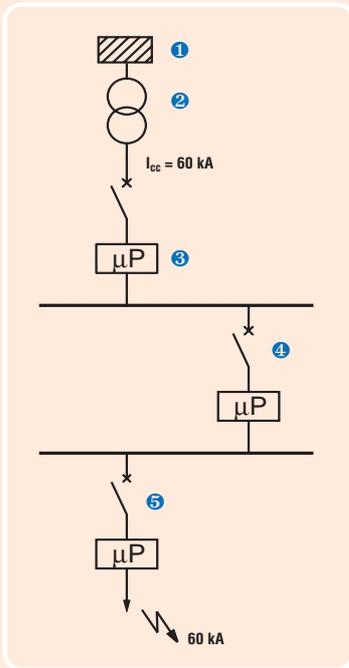
NOTES

- 故障发生点离电源侧愈远，短路电流愈小，于是有可能借助短路电流设定隔离故障区域，因其下级配电装置保护区内的短路电流一般低于在其电源侧设定的保护门限。
- 通常只在特殊情况下才能实现完全选择性，例如；故障电流不高；在两级保护之间有很长电缆或电缆截面变小等；因此很容易识别相差甚异的短路电流。一般用时间-电流曲线就能够即刻、方便、经济地评估选择性。
- 须注意的是：
 - 因选择性电流极限通常较低，通常只有局部选择性。
 - 若设定较高的选择性电流极限，则往往超过系统安全容许限度，与减少短路损害的目标产生矛盾。
 - 在某装置发生自身故障时，不能提供冗余保护来切断过电流。
- 更须注意的是：

一些厂商给出上下级断路器整定电流相差 1.6 ~ 3.0 倍可满足“全选择性”，实际上这是针对过流（一般是 $10I_n$ ）而言的全选择性，并非指到下级断路器分断极限为止的选择性。实际上，一旦短路电流达到上级断路器的短路瞬动整定值的 80%（一般整定值有 20% 的误差）时，上级断路器就可能跳闸从而失去了选择性。

时间 - 电流选择性

Selettività Tempo-Corrente



① Rete	15 kV 50 Hz	④ ACB	E3N25 PR111/P LSI I _n = 2500 A
② Trasformatore	2500 kVA 15/0,4 kV v _{cc} %=6%	L	I ₁ = 1 x I _n curva A
③ ACB	E4S40 PR111/P LSI I _n = 4000 A	S	I ₂ = 10 x I _n curva C t=k
L	I ₁ = 0,9 x I _n curva B	I	I ₃ = OFF
S	I ₂ = 8 x I _n curva D t=k	⑤ MCCB	S7H1600 PR211/P LI I _n = 1600 A
I	I ₃ = OFF	L	I ₁ = 1 x I _n curva A
		I	I ₃ = 10 x I _n

NOTES

时间-电流选择性中保护装置的动作既取决于电流也取决于电流持续时间。在上级断路器设定的延时范围内，下级断路器应迅速切断由它管辖的短路故障。串联保护装置延时级差要考虑电源侧允许承受短路故障的时间。

此类配合的优点是：

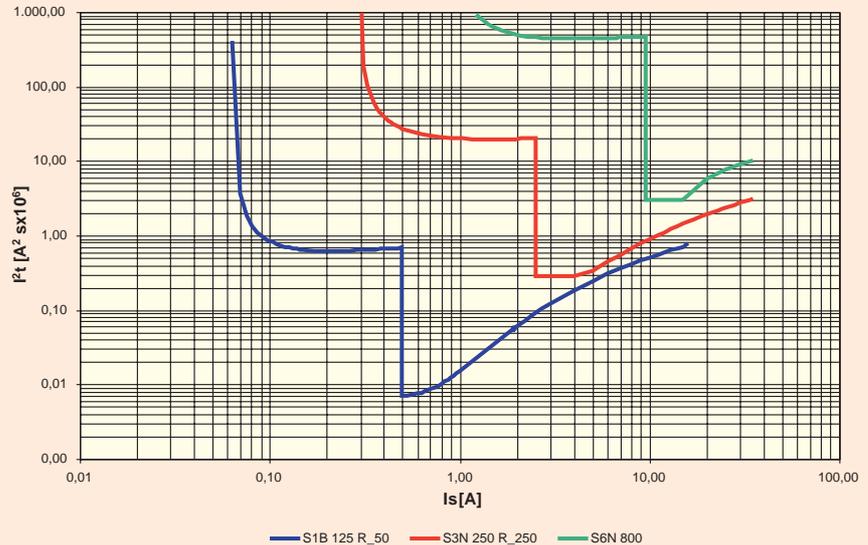
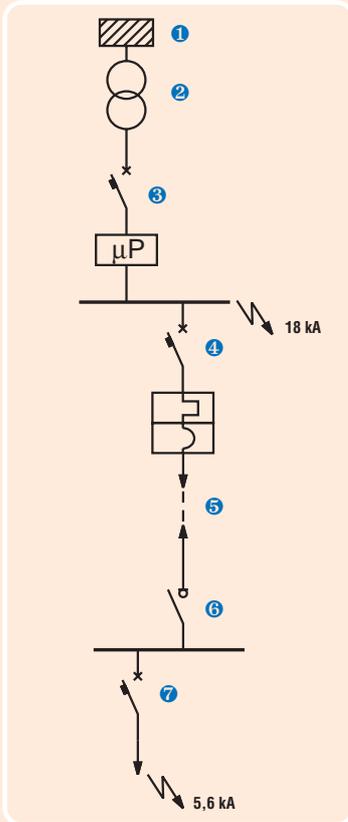
- 容易评估选择性，保护系统总体经济性好。
- 满足选择性极限取决于电源侧断路器能承受的短路电流。(此值一般很高)
- 可提供冗余保护功能，并可给控制系统提供重要信息。

此类配合的缺点是：

- 电源端断路器须承受高焦耳积分能量，导致对电源侧断路器采用更大设计裕度。
- 视不同配电层，需选用具有选择性特性的断路器(B类断路器，IEC 60947-2)。
- 持续的短路电流会使非故障区的供电电压出现波动，这可能引起电子或电磁装置误动。例如：当故障电流持续时间大于 200 ms 时可产生 40% 的电压降，与此电源直接联接的微型计算机可能产生故障。

能量选择性

Selettività energetica



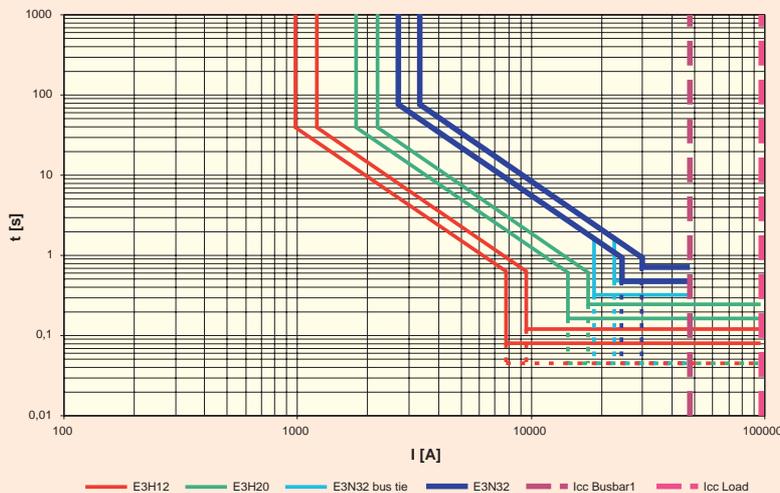
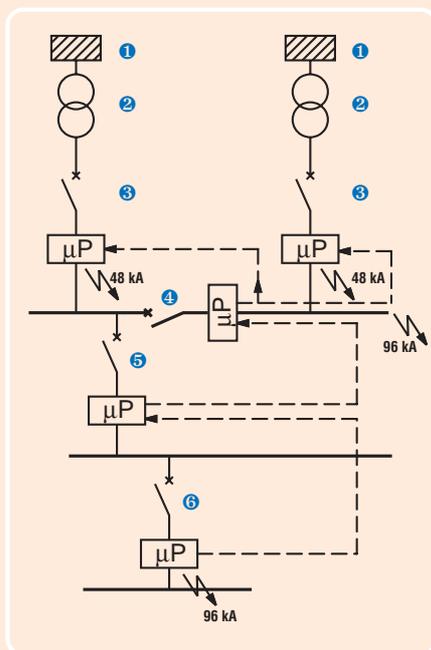
① Rete	15 kV 50 Hz	④ MCCB	S3N250 R250 I _{th} = 220 A ; I _m = 2500 A
② Trasformatore	630 kVA 15/0,4 kV V _{CC} %=5%	⑤ Cavo	ℓ = 140 m ; S = 95 mm ² (3EPR)
③ MCCB	S6N800 PR211/P LI I _n = 800 A	⑥ MCS	S3D250
L	I ₁ = 1 × I _n	⑦ MCCB	S1B125 R50 I _m = 500 A
I	I ₃ = OFF		

NOTES

- ❗ 负载侧断路器脱扣能量应低于使电源侧断路器完全分闸的能量。为达到高可靠性，还需根据限流特性曲线和触头排斥设定值等数据进行计算。
- ❗ 实现这类选择性保护配合更不容易，因保护协调在很大程度上取决两个串联装置(波形或其它要素)之间的相互作用。生产厂家提供的表格、计算尺、软件可查询计算不同断路器组合之间短路时的最大选择性极限。根据 IEC 60947-2，附录 A，这些数据是根据理论计算和大量试验验证的方法获得的。
- ❗ 此类保护配合的优点是：
 - 短路电流越大脱扣时间越短，热应力和电动力损害越小，电源系统扰动也减小。
 - 系统成本低，选择性层面不再受到装置的 I_{cw} 限制。
 - 可以实现保护协调层数较多。
 - 不同限流器件间(熔管、断路器等)也可以实现配合，包括配电中间层装置。
 - 此类配合常用于额定电流低于 1600 A 的二级和终端配电。

区域连锁选择性

Selettività Logica



① Rete	15 kV 50 Hz	⑤ ACB	E3H20 PR112/P LSI $I_n = 3200$ A	
② Trasformatore	2000 kVA 15/0,4 kV $V_{cc}\% = 6\%$	L	$I_1 = 0.85 \times I_n$ $t_1 = 6$	
③ ACB	E3N32 PR112/P LSI $I_n = 3200$ A	S	$I_2 = 8 \times I_n$ $T_2 = 0.2$ t=k	
	L	$I_1 = 0.8 \times I_n$ $t_1 = 12$	I	$I_3 = \text{OFF}$
	S	$I_2 = 8.5 \times I_n$ $T_2 = 0.6$ t=k		
	I	$I_3 = \text{OFF}$		
④ ACB	E3N32 PR112/P LSI $I_n = 3200$ A	⑥ ACB	E3H12 PR112/P LSI $I_n = 1250$ A	
L	$I_1 = 0.8 \times I_n$ $t_1 = 12$	L	$I_1 = 0.75 \times I_n$ $t_1 = 6$	
S	$I_2 = 6.5 \times I_n$ $T_2 = 0.4$ t=k	S	$I_2 = 7 \times I_n$ $T_2 = 0.1$ t=k	
I	$I_3 = \text{OFF}$	I	$I_3 = \text{OFF}$	

区域连锁的方法不属于脱扣装置间的协调，而是一种保护功能之间的协调。

NOTES

- 区域选择性由时间-电流选择性发展而来。区域选择性有直接保护型和间接保护型。通过在电流测量装置间建立对话功能，一旦检测到电流超过设定门限，故障区域立即被识别且仅切断故障区域的供电。
- 实际上可有两种实现方法：
 - 测量装置向监控系统发送电流超过设定门限的信息，由系统决定应由那个保护装置动作。(间接保护型)
 - 当电流高于保护装置保护设定门限时，通过直接连线或总线对其上级保护装置发送闭锁信号。同时，断路器脱扣动作的前提是其负载侧保护装置未发出类似闭锁信号。因此只有故障点最直接电源侧的保护装置才会动作。(直接保护型)
- 间接保护型脱扣时间为 0.5-5s，特适合于电力输送方向不定的低短路电流场合。
- 长通道照明系统是集中控制区域选择性的典型运用。由于它的配电线路电压较高(690 V ~ 1000 V AC)，有利于减少线路压降。

保护电器的选择

熔断器 – 有关标准

四个应用范围所对应的四种主要型式的熔断器

熔断器型式	IEC 标准	应用范围	电压
		额定值	
微型	IEC127	32mA-6.3A	<500V(AC)
家用	IEC269-3	<100A ⁽²⁾	<500V(AC)
低压工业用 (HRC)	IEC269-2 ⁽¹⁾	2A-1250A	<1000V(AC)
高压	IEC282		>1000V(AC)

(1) IEC269-2 未规定结构外形等机械方面的条款。

(2) 但是通常<30A

地区影响

除日本外，在每个地区均有实际上相同的国家标准

就欧洲而言，虽然每个国家有它自己的标准和习惯。但由 BS 和 DIN 标准 (差别主要在外形尺寸上) 划定了两个主要使用地区。

地区影响表

	美国，北美 ⁽¹⁾	英国	欧洲+其他 ⁽²⁾	日本
实施标准	ANSI.1/C97.1.1	BS88	VDE0636 DIN	JIS
与 IEC269 比较	差别不大	相同	相同	不同

(1) 包括加拿大，即使 ANSI 标准规定了一类可再填料，不限流的熔断器。

(2) 每个国家有它自己的标准和习惯：

-南欧 (西班牙，葡萄牙，意大利，法国)：使用管状熔断器

-北欧 (德国，斯堪的那维亚)：使用片状熔断器

保护电器的选择

熔断器 – 使用类别和熔断特性

分断范围和使用类别

IEC60269 第 571 节规定工业用熔断器用 2 个字母代号，见下表中说明

第 1 个字母：型式 (分断范围)	第 2 个字母：使用类别 (被保护回路)	回路 配电	电动机 控制
g：一般用途熔断器 (可分断在分断能力下的全范围电流)	gG		
	gM		
a：后备熔断器(只从 4In 以上开始分断)	aM		

一般用途全范围熔断器 (g 熔断器) 除短路保护外，兼有过载保护功能，主要用作电缆，母线等线路保护。

部分范围熔断器 (a 熔断器) 的作用主要是短路保护，由于低倍过电流不能使这种熔断器动作，故需要过载保护时，应另外配用过载保护元件，(如热继电器)。

结构形式：

- ◆ 专职人员使用一般多采用开启式结构，如刀形触头熔断器(NT)，螺栓连结熔断器(母线式)等。
- ◆ 非熟练人员使用熔断器(即家用或类似用途熔断器)安全要求比较严格，其结构多采取封闭式或半封闭式，如螺旋式，插入式等。

工作类型和使用类别：

工作类型			使用类别	
符号	连续电流可达	分断电流	符号	保护对象
“全范围”熔断器			gG	一般用途(包括电缆，各类负载)
g	In	≥ I _{min}	gL	电缆，母线
			gR	半导体
			gB	矿山设备
“部分范围”熔断器			aM aR	电动机 半导体
a	In	≥ 4In		
		≥ 2.7In		

注：

I_{min} 为最小熔化电流，即约定不熔断电流，其值一般为 1.25~1.5 倍额定电流；在约定时间(1~4h)内熔断的电流称约定熔断电流，一般为 1.6~2.1 倍额定电流。详值可参阅 IEC60269-1 和 IEC60269-2。

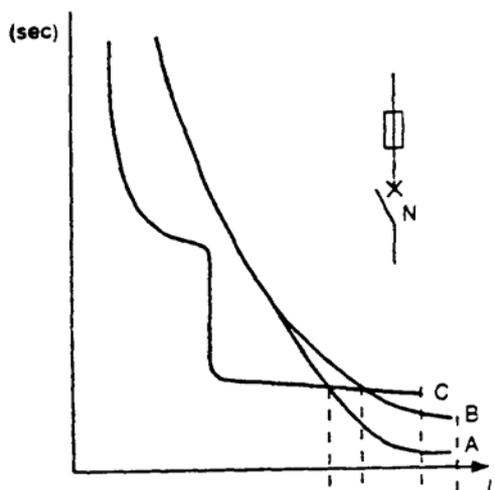
保护电器的选择

断路器与熔断器之间的选择性

在短路条件下，断路器(或其他控制电器)与连接在同一电路中另一短路保护器(SCPD)的配合。

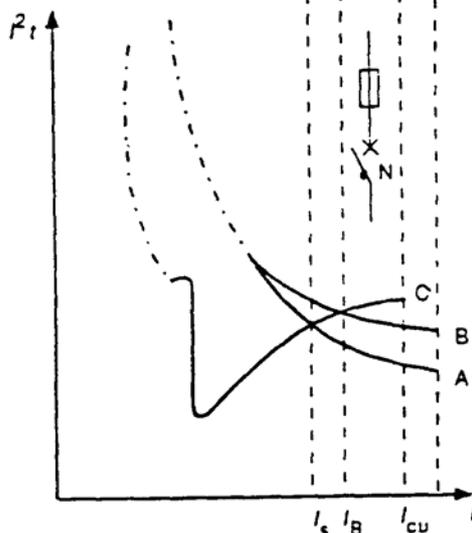
对于短路电流，串联动作的两台仅对比各自时间—电流特性是不够的，因为各自的阻抗不同，应用 I^2t 来比较。

配合：包括选择性和后备保护的含义。



I = 预期短路电流
 I_{cu} = 额定极限短路分断能力
 I_s = 选择性极限电流
 I_B = 交接电流
A = 熔断器弧前特性
B = 熔断器熔化特性
C = 断路器动作特性，非限流 (N)
(分断时间 / 电流和 I^2t / 电流)

注：1. A是下限值；
B和C是上限值。
2. 虚线表示 I^2t 的非绝热区。



断路器和熔断器或熔断器作后备保护之间的
过电流配合：动作特性

保护电器的选择

保护与协调配合

 接触器，起动器等与短路保护电器协调配合。IEC947-4-1 标准规定接触器，起动器等与短路保护电器之间的 SCPD 要求，以使接触器和起动器得到保护。

两种协调配合类型

类型 1(Type1)

在按规定短路试验时，接触器和继电器的下列损伤是容许的：

- 对使用者无危害
- 除了接触器和继电器外无危害

组合电器的分断能力必然就是短路保护电器的分断能力。

类型 2(Type2)

在按规定短路试验时，接触器和继电器的下列损伤是容许的：

在容易清除的情况下，允许损伤只是接触器或起动器的触头的轻微熔焊。

组合电器的分断能力由试验结果确定。

选择一种协调配合类型

类型 1：

- 维护要求较高，
- 减少电器的体积，
- 成本较低，
- 在更换故障电机的期间不要求持续供电，

类型 2：

- 维护工作量小，
- 电器体积较大，成本较高，
- 供电持续性较好，

类型 3：

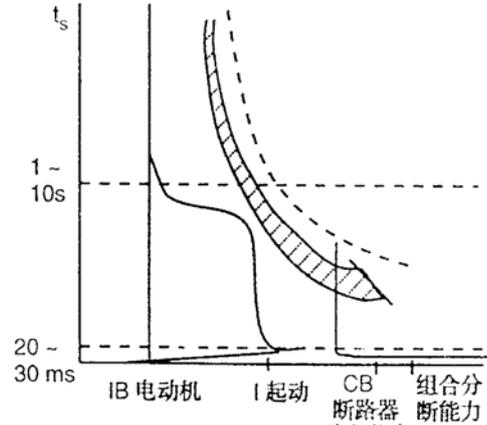
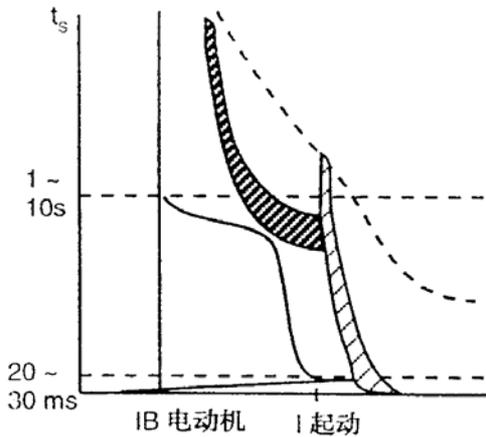
- 按照 IEC947-6-2 (新)

NOTES

保护与协调配合

熔断器+热继电器的组合

断路器+接触器+热继电器



电器组合中，保护范围的配合要满足电动机时间-电流特性

- 热继电器保护电动机馈电电缆和接触器不受过载损坏。
- 熔断器，断路器对接触器，热继电器，电动机馈电电缆和电动机本身的短路负责保护。
- 热继电器和熔断器的时间-电流特性必须满足保证电动机从零速起动到全速的延时范围。

NOTES

熔断器+热继电器组合，（或开关熔断器组+接触器+热继电器）

断路器+接触器+热继电器

- 对电动机应满足电动机起动时间内最大起动电流（或临界值）不动作
- 熔断器或断路器必须能保护热继电器不受可能超过其额定电流 10 倍的大电流破坏，必须能分断接触器不能分断的大电流（高达接触器额定工作电流 8 倍或 10 倍以上的电流）
- 熔断器或断路器必须能在短路时保护接触器不致触头熔焊或轻度熔焊（即 SCPD 的要求）。

保护电器的选择

使用类别和工作制

☞ 标准 IEC34-1 规定，S1-S8 八种工作制分类：

☞ 八种工作制区分：

- ☞ S1，长期（不间断）工作制，在恒定负载（如额定功率）下，长时间连续运行，并达到热平衡条件。
- ☞ S2，短时工作制，在额定工作电流 I_e 恒定的一个工作周期内不会达到允许温升，其温升决定于从负载特性得出的电流均方根值 I_q 。
- ☞ S3，断续周期工作制，是一种周期性地接通和分断，有载时间和无载时间性都很短。断续周期工作制，用负载因数 $d \cdot f$ （即称通电持续率）来描述，即用百分值表示。
- ☞ S4，包括起动的断续周期工作制。
- ☞ S5，包括电制动的连续运行周期工作制。
- ☞ S6，连续运行周期工作制。

☞ 接触器，电动机起动器的使用类别

负载类别	负载	控制功能	典型用途
AC1	非电感性 Pf=0.8	接通	加热系统 配电
AC2	绕线型电动机 Pf=0.65	起动 运转时断开 再生制动 点动	拔丝机
AC3	笼型电动机 Pf=0.45 $I_e \leq 100A$ 或 Pf=0.35 用于 $I_e > 100A$	起动 运转时断开	压缩机 电梯 搅拌机 泵 自动电梯 风扇 运输机 空气调节器
AC4	笼型电动机 Pf=0.45 用于 $I_e \leq 100A$ 或 Pf=0.35 用于 $I_e > 100A$	起动 运转时断开 再生制动 可逆转 点动	印刷机械 拔丝机

保护电器的选择

热继电器级别

 热继电器的脱扣级别必须按照电动机的起动时间来选择

按 IEC947-4-1:

过载脱扣等级	10A	10	20	30
最大脱扣时间 1.5× I _e 整定电流 S (热态)	120	240	480	720
最大脱扣时间 7.2× I _e 整定电流 S (冷态)	2 ~10	4 ~10	6 ~20	9 ~30
1.05× 整定电流	不脱扣			

 电动机正常起动一般指起动持续时间 ≤ 2s，重载起动其起动持续时间为 10s ≤ t_s ≤ 30s。标准 IEC947-4-1 热敏过载继电器的脱扣级别:

级别	规定条件下的脱扣时间 T _{PS}
10A	2 < T _{PS} ≤ 10
10	4 < T _{PS} ≤ 10
20	6 < T _{PS} ≤ 20
30	9 < T _{PS} ≤ 30

 标准 IEC947-4-1 规定各极都通电延时电磁过载继电器的动作极限值。

过载继电器型式	整定电流倍数				周围空气温度
	A	B	C	D	
无环境温度变化补偿的热式和电磁式	1.0	1.2	1.5	7.2	+40°C
有环境温度变化补偿的热式	1.05	1.2	1.5	7.2	+20°C

A 倍整定电流值，从冷态开始在 2h 内不脱扣。

- ◆ B 倍整定电流值，从热态上升到整定值，应在 2h 内脱扣。
- ◆ C 倍整定电流值，对于 10A 级过载继电器，热态开始上升到整定值，应在 2min 内脱扣。
- ◆ 对于 10，20 和 30 级过载继电器，热态开始通以 C 倍整定电流，应对应在 4，8 和 12min 内脱扣。
- ◆ D 倍整定电流值，从冷态开始，对应于脱扣器级别（表中所给出的 T_{PS} 值）所给出的极限值内应动作。

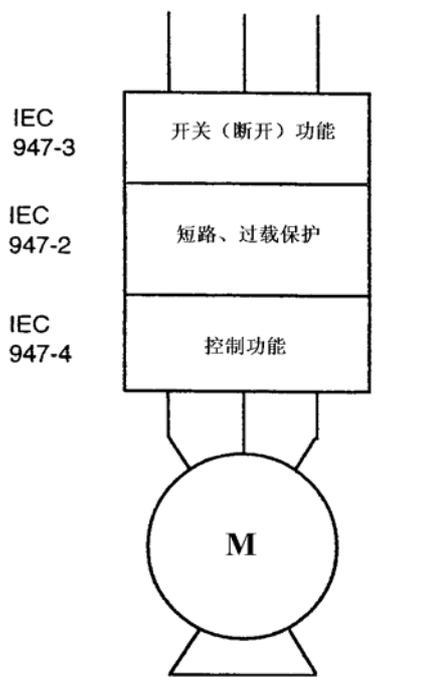
 IEC 标准对断续工作制或间断工作制提出了优选的级别为：

- ◆ 对接触器，每小时操作循环次数：1，3，12，30，120，300 和 1200
- ◆ 对起动器，每小时操作循环次数：1，3，12 和 30

保护电器的选择

电动机起动保护 - 原理和基本功能

🔧 电动机的保护和控制能用一、二个或三个电器完成，例如下：



🔧 《ABB 电机控制保护器件选用表》

🔧 所列出的保护电器控制器在不同操作频率（频繁程度）和负载（轻重程度）的工况下的组合方式可以实现电动机要求的基本功能。

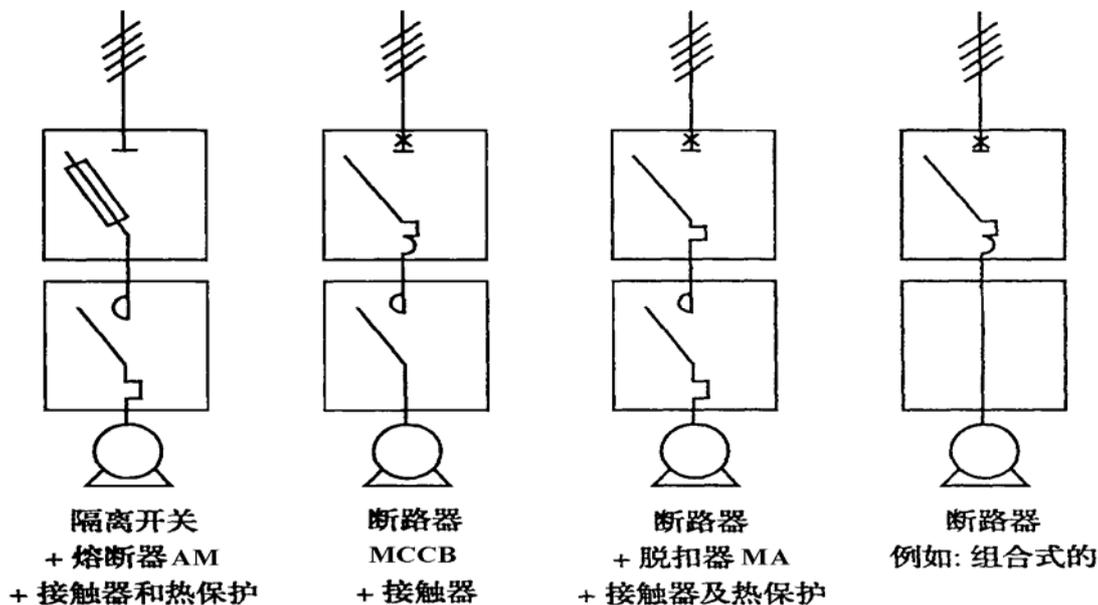
🔧 《ABB 电机控制保护器件选用表》可从《ABB 低压电器元件选用表》中查阅。

NOTES

保护电器的选择

电动机起动保护 – 保护和协调配合

■ 不同的保护型式



电动机起动保护由具有规定功能的电器组合完成，图示四种保护型式。并且按负载对起动工作方式要求不同，可以分别接成直接（全压）起动，星-三角起动，自耦减压起动，电抗减压起动，电阻减压起动等常见的异步电动机起动方式。

短路及热保护器件与 ABB 生产的软起动器组合能满足机械负载最佳的起动要求。又是另一种起动方式。

NOTES

保护型式（1）：

开关熔断器组+ 组合型接触器（接触器+ 热继电器）
开关熔断器组+ Y-Δ 型接触器组合+ 热继电器

保护型式（2）：

断路器（复式脱扣器）+ 接触器

对重复短时和短时工作的电动机及 1kW 以下的长期工作电动机，不需要设置热继电器（也可适用于电动机可逆运行状态）

保护型式（3）：

断路器（带过电流脱扣长延时）+ 接触器和热继电器的组合

保护型式（4）：

断路器（瞬时和长延时）或 MS325 等新型器件（适用于不频繁起动电动机）

保护电器的选择

电动机起动保护 - 笼型电动机起动方式

直接起动方式----DOL (全电压直接起动)

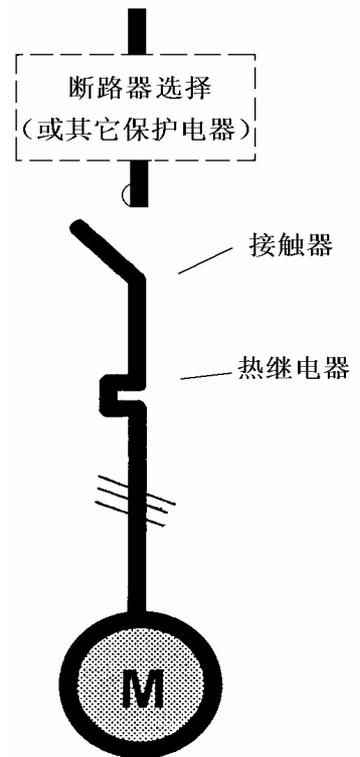
笼型转子异步电动机应优先采用直接起动

应满足条件：

- 1) 起动电流对电网造成的电压降不超过规定值。
- 2) 起动功率不超过供电设备和电网的过载能力。
- 3) 电动机起动转矩应大于机械要求的静阻转矩。
- 4) 忽略起动转矩对设备的冲击或磨损时。

特点：

- 高起动电流
- 高起动转矩
- 最短的起动时间
- 起动电压降大
- 起动方法简便，价格便宜。



NOTES

起动时，允许对电网造成电压降的要求：

电动机起动模式	对电网造成的电压降
经常起动	不超过 10%
偶尔起动	不超过 15%，在不影响其他可允许 20%

按电网容量允许直接起动的笼型电动机功率：

电网容量	允许直接起动的笼型电动机功率
小容量发电厂	每 1kVA 发电机容量为 0.1-0.12kW
变电所	经常起动时，不大于变压器容量的 20% 不经常起动时，不大于变压器容量的 30%
高压线路	不超过电动机连接线路上的短路容量的 3%
变压器-电动机组	电动机功率不大于变压器容量的 80%

保护电器，接触器，热继电器配合协调及其相适应的组合，可根据电动机参数从 ABB 公司提供的低压电器元件选用表中获得。

保护电器的选择

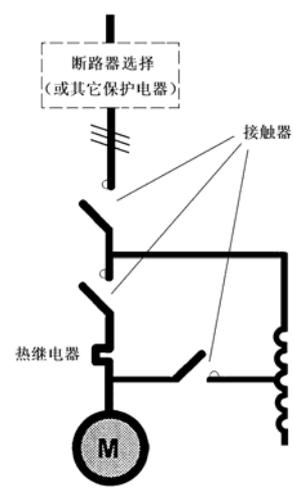
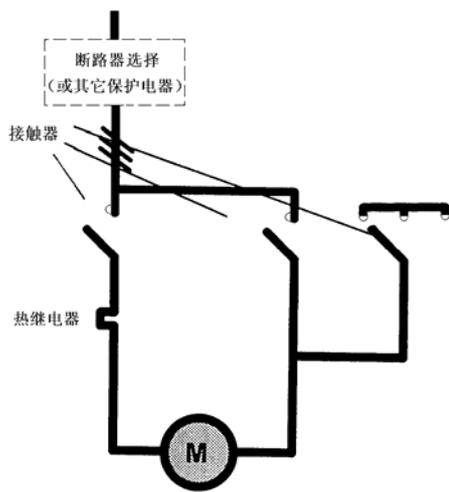
电动机起动保护 - 笼型电动机起动方式

🔌 降压起动

笼型电动机不能满足全电压直接起动条件时，需采用降压起动。

🔌 常见的降压起动方式

- 🔌 星-三角起动 (Y-Δ)
- 🔌 抽头变压器起动 (自耦变压器)



🔌 特点：

起动方式	Y-Δ 起动	抽头 (自耦变压器起动)
起动电压	$\frac{1}{\sqrt{3}} U_n$	aU_n
起动电流	$\frac{1}{3} I_s$	$a^2 I_s$
起动转矩	$\frac{1}{3} M_s$	$a^2 M_s$
特点	起动电流不能调节，起动电流小，转矩小，星三角切换时电流和转矩有冲击，起动时间长。	起动电流可有级调节，起动电流较小，起动转矩较大 (对 Y-Δ 而言) 在切换时有冲击存在，起动时间长，使用控制电器较多。

式中：

U_n -额定电压； I_s -全电压起动电流； M_s -全电压起动转矩；

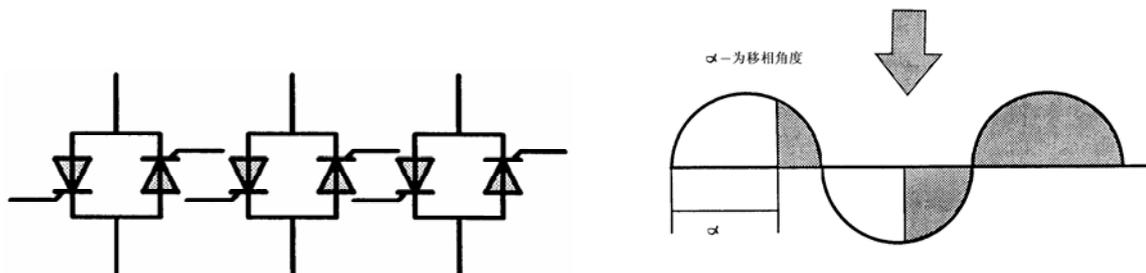
a -降压系数；一般 $\left(\frac{U_s'}{U_n}\right)$ $a=0.8, 0.65, 0.5$ 等； U_s' -为抽头起动时电压。

保护电器的选择

电动机起动保护 - 笼型电动机起动方式

软起动器工作原理

软起动器应用反并联可控硅连接方式作为电压控制器，来改变施加到电动机上的电压波形，（右图所示），使电动机起动特性改善。

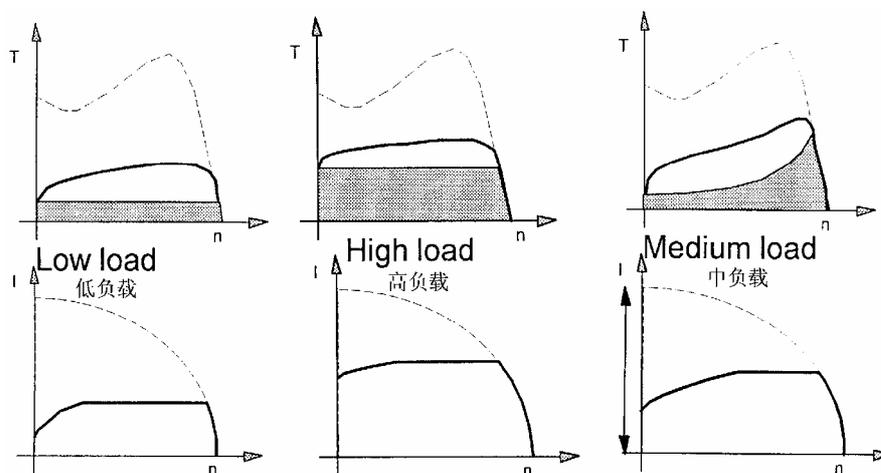


软起动器电路设计通过 α 移相角控制来达到电动机起动时各种功能要求。

特点：

- 可调起动电流 ($I_{lini}=2...5 \times I_n$)
- 可校调起动转矩
- 可实现软停车的过程
- 适当的起动时间
- 对机械设备和管道的最小的磨损

由于可调起动电流和可校调起动转矩，故能最大限度适合负载转矩匹配，如下图。



最佳的起动转矩和起动电流与三种不同负载转矩的匹配

保护电器的选择

电动机起动保护 - 软起动器

 软起动器在主回路中配合要求：

 配置短路保护电器.按 IEC947 规定选择适当元件.本装置推荐样本列出的熔断器或同样性能快速熔断器规格,也可配置带熔断器的组合开关.

 建议配置热保护电器

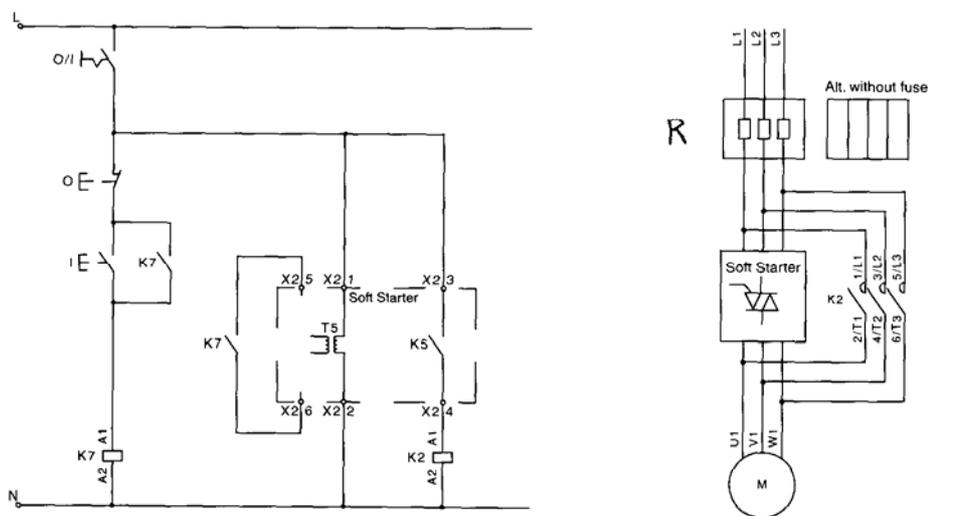
软起动器完成起动完毕后，建议配置热继电器与旁路接触器组合，使用于连续运行状态。

 配置旁路接触器

软起动器能单独用于连续运行状态（视各国法规而定），也可选择适当的旁路接触器配合使用.参考电路图如下。

当采用旁路接触器 K2，短路保护电器 R

通过软起动器内部信号继电器 K5 起动旁路接触器的电路接线图



注：要注意到接触器线圈驱动功率较大时，采取中间继电器是必要的，以免 K5 的输出接点损坏。

NOTES

 软起动器使用中须注意的问题：

- 1) 软起动器能直接长期带电机运行但软起动器不短接时应考虑散热问题
- 2) 软起动器能切换运行，一台软起动器带多台电机应于短接切换
- 3) 短路保护应使用半导体保护快速熔断器(注意,断路器与快熔 I^2t 比较有数量级差)
- 4) 根据安全和操作的要求,可安装隔离开关或接触器

第九章

接地保护

接地保护

保护导线的截面积

 保护线的截面积应按照 IEC 364-543.1.2 附加条款表 54F 或 IEC364-543.1.3 进行选择:

 按 IEC 543.1.2 (Table 54F):

装置的相导线截面积 S(mm ²)	相应保护线的最小截面积 SpE(mm ²)
S ≤ 16	S
16 < S ≤ 35	16
S > 35	S/2

表 54F 中的数值,只有当保护线的材料与相导线的材料相同时才是正确的.如果不是这样,应以这一方式来确定保护线的截面积,即得出的电导与利用表得出的电导相等效.

 按 IEC 543.1.3:

电缆的电线或护套不应作为每个保护线的截面积的组成部分,在任何情况下,保护导线的截面积不应小于:

- 有机械防护时 2.5mm²
- 无机械防护时 4.0mm²

NOTES

 根据DIN VDE0100 第 540 部分的表 2,单独敷设的保护导线(PE) 最小截面 2.5mm², (有防护)和 4mm²(无防护)。

 根据DIN VDE0100 第 540 部分第 8.2.1 节规定,铜制PEN导线 ≥ 10mm².

 所谓防护,是指机械强度防护,(考虑承受对故障时的短路电流强度)。

接地保护

外壳防护等级

下表表示 IP XX 的简要说明

		保护设备的含义	保护人员的含义
		防止固体异物进入	防止下列部位触及壳内危险部位
第一位特征数字	0	不防护	不防护
	1	≥ 50mm 直径	手背
	2	≥ 12.5mm 直径	手指
	3	≥ 2.5mm 直径	工具
	4	≥ 1.0mm 直径	电线
	5	防止灰尘	电线
	6	密封防尘	
		防止具有受害作用的水进入	
第二位特征数字	0	(不防护)	
	1	垂入滴水	
	2	倾斜(15°滴水)	
	3	水雾	
	4	溅水	
	5	喷水	
	6	强劲喷水	
	7	短时浸水	
	8	长期浸水	
			防止下列部位触及壳内危险部位:
附加字母(任选)	A		手背
	B		手指
	C		工具
	D		电线
		专门补充资料规定对:	
补充字母(任选)	H	高压设备	
	M	在运行情况下作水试验	
	S	静止情况下作水试验	
	W	气候条件	

除了防护代号 IP 缩写之外,完整的代码由两个(第一位,第二位)数字后面跟两个(任选)附加字母组成.

接地保护

抗气候影响

 使用寿命和操作可靠性主要受造成腐蚀的许多气候因素的影响

附加在气候条件上的其他因素也会造成破坏,如包括真菌,昆虫(白蚁),灰尘,房屋所在地污染,腐蚀性大气中所含有盐或硫等,往往在应用现场方能确定其危害影响。

 气候影响标准和试验方法在国际标准 IEC68、德国标准 DIN50 系列有规定。

 安装控制装置地点的气候不是主要的选择因素。应考虑的因素是：

- 靠近设备的环境(屏障或房屋,热源和通风)
- 现场直接环境造成影响的种类
- 设备停机时间持续长度和频度

NOTES

 ABB 设备在相关样本中所称“抗交变气候”系按照超过 30 周期的 DIN50017。

名称	缩写	周期	单项影响经历时间	试验室温度°C	相对湿度%
有凝水产生的 交变气候	KFW	24 小时	8 小时,包括预热	40°C+3	100
			16 小时,包括冷却 (敞开式设备)	环境温度	低于 75

它们也符合 UTE63-100 刊物(法国电工协会)的要求,试验包括湿热 40°C 温度和 95% 相对湿度的运转周期。ABB 设备已在潮湿和热的气候(巴西,印尼,印度)或船上经多年的使用,显示 ABB 设备的“抗交变气候”能在全世界适用。

 下列条件是推荐采用抗冷凝加热器的场所。

环境		设备运行情况	气候	箱柜内加热器
室内	不滴水,不潮湿	不停或无停机期	全气候	无
	滴水	不停	全气候	无
		频繁或长期停机	温带	无
室内,有屏蔽	无滴水,无潮湿	不停或有期停机	热带	有
			温带	无
室外,近海边	滴水	不停	全气候	无
		频繁或长期停机	温带	无
			热带	有

 经常有凝露产生(例如因温度急剧变化产生冷凝)的箱柜内一定要安装加热器。(每立方米箱柜选用 100-250W 的加热器)。

剩余电流和保护原则

剩余电流(漏电流)

 是低压开关设备和控制设备防止由于绝缘故障引起的电流危害的基本原理。采用剩余电流装置 (RCD) 检测主回路的电流矢量和在正常工作时其值应为零。当人接触到带电体或所保护的线路及设备绝缘损坏时，破坏了上述准则从而出现剩余电流。

 因保护电器在配电网中的位置不同，此类故障电流的响应和保护是不同的。

接地故障保护

当配电回路的额定工作电流较大时，一般无必要对几安培以下的剩余电流作出响应。但因绝缘损坏或不严重的短路造成的剩余电流达到 20~100% 相电流时，就会使导线过载，并使中性线或设备外壳电位达到危险的电平。对于此类故障电流，可由 ACB/MCCB 的接地故障保护功能进行保护。

确有必要时可配用 ACB 中的 SGR 互感器附件（安装于电源中心点）或另配 RCD 剩余电流继电器进行保护。

人身触电体保护

要求采用 30mA 及以下的数值作为剩余电流保护装置的动作电流。对于间接接触保护，则要满足 $R_a \cdot I_a \leq U_c$ （ U_c 为接触电压极限值， I_a 为该电器额定漏电动作电流（ $I_{\Delta n}$ ）， R_a 为与接地系统型式有关的故障回路接地电阻。

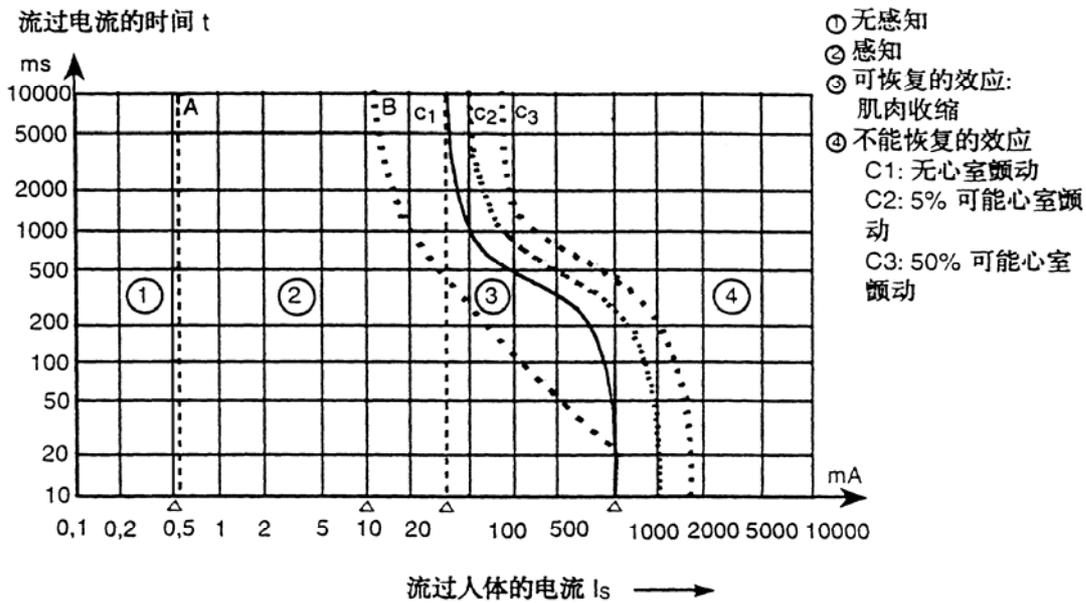
接地保护

电流在人体中的效应

当超过 30mA 的电流流过人体的某部分时，如果不能在极短的时间内切断该电流，对人有严重危险。

依照相应的国家标准和法定的规章，实施的规范，官方的导则和通令，在低压设备中必须设置防人身电击保护。

电流在人体中的效应：



NOTES

- 🌀 A 曲线 (<0.5 mA) 为带域 1
- 🌀 A 曲线与 B 曲线之间为带域 2
- 🌀 B 曲线与 C1 曲线之间为带域 3
- 🌀 C1、C2、C3 曲线范围及其以外为带域 4

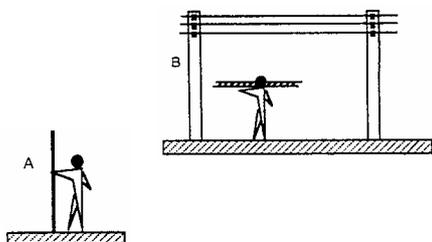
带域	生理效应
带域 1	通常无反应
带域 2	通常无危险的生理效应
带域 3	通常对组织无危险，肌肉可能收缩而且呼吸困难，形成恢复的损伤并且波及心脏搏动，包括心房颤动和心脏短时停止，而无心室纤维性颤动，症状随电流强度的增大和时间的延长而加重
带域 4	除了带域 3 的效应外，可能有心室纤维性颤动，在曲线 C2 或然率约高 5%，在曲线 C3 高达 50%，C3 曲线以外会大于 50%，随着电流强度和时间的增加，会出现病态性生理效应，例如心脏停止，呼吸停止和严重的灼伤

接地保护

对直接接触及带电零部件的防护

 直接接触防护由以下构成：确保不会碰到带电零部件的预防性措施：

 将带电部件完全绝缘



在绝缘材料中。

完全绝缘是指带电零部件完全被基础绝缘所包围。只有通过破坏才能将其拆离，有时候对电气设备正常工作

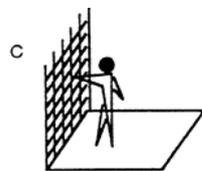
来说，此绝缘功能更为重要。

如：ABB MNS 产品中带电的功能连接件全部嵌装

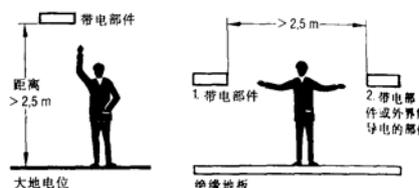
 装设栅栏或外壳

◆ 利用栅栏或挡板属于半封闭或部分防护，只能防止人体的非有意触及。

◆ 栅栏和外壳的防护，有防护等级的要求，一般不低于 IP2X。并只能是用钥匙或工具才能拆卸的罩盖、外壳。

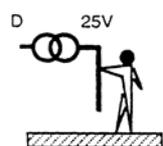


 将带电部件安装得触及不到之处



 使用安全超低压 (25V)

安全超电压电路的布置应满足以下条件：

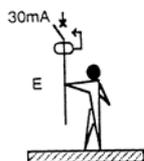


- ◆ 带电零件不得与其他电路接地件，带电件和保护导体相连
- ◆ 其外露导电件不应和其他电路中的保护导体及外露导电件相连
- ◆ 其带电零件应和电压更高的电路从电气上分开
- ◆ 其电路导体应尽量与其它电路导体分开
- ◆ 其所用插头应不能插入其它电气系统的插座中

◆ 移动式安全电源应按 II 级设备的要求选用和安装

- ◆ 当额定电压交流 < 25V 或直流 < 60V 时，带电零部件可采取直接接触防护

 在不能用上述措施的某些特殊情况下，使用附加保护装置（不大于 30mA 的高灵敏度保护电器）



利用漏电流动作保护进行防护是一种附加措施，起扩大其它防护措施功能的作用。这种防护措施不能单独采用。它也不能取代上述四种措施中的任何一种。

接地保护

对间接触及带电零部件的防护

用自动切断电源实现保护

必须满足以下两个条件：

1. 所有机座和能够触及的可导电部分必须互相连接并且接地。能同时触及到的外露可导电部分应单独地、成组地或全体地、连接到同一接地系统。
2. 在设备出现绝缘故障时，应切除所有带电导体。接触电压越高，必须越快断开设备的故障部分。

所以切断电源应当在规定时间内完成。如下表所列：

最长分断时间 S	预期接触电压 V	
	AC	DC
∞	<50	<120
5	50	120
1	75	140
0.5	90	160
0.2	110	175
0.1	150	200
0.05	220	250
0.03	280	310

不同类型的配电系统对保护电器要求不同。如 TN，TT，IT 系统有不同要求。

不用断开电路的保护

- 使用超低电压
- II 级绝缘装置
- 放置设备不可触及或设置阻挡物

NOTES

间接触及带电零部件的防护又称故障条件下的防护或称补充防护，是指对人和家畜因触及在故障条件下带电的外露导体或外部导电件而造成的危险的防护。

不用断开电路的保护：(使用超低电压，II 级绝缘装置 D，放置设备触不到或设置阻挡物) 同样适用 <对直接接触及带电零部件防护> 的 A、B、C、D 四种表示型式。

根据标准 IEC536 〈电气和电子设备按防电击措施的分级〉按防电击措施把电气设备分成 O，I，II，III 四级 (亦为 IEC364 引用)

- O 级----设备的防护能力靠基本绝缘保证。这种设备和保护导体不相连，当绝缘遭受破坏时，其可靠性由安装位置周围条件决定。
- I 级----设备的防护能力除靠基本绝缘保证外，其可接近的导电件还和系统的保护 (接地) 导体相连，以确保其在基本绝缘破坏之后，也不会带电。
- II 级---设备的防护能力不仅靠基本绝缘保证，还增加双重绝缘或加强绝缘等类措施。这种设备不与保护导体或接地导体相连，其可靠性也不受安装条件影响 (电路上可用***符号来表示)。
- III 级---设备由安全超低压电源供电，它不会产生高于规定的安全超低压电压值的电压。III 级设备也不能和保护或接地导体相连。

TT 系统的接地方式

TT 型式(带有中性线)

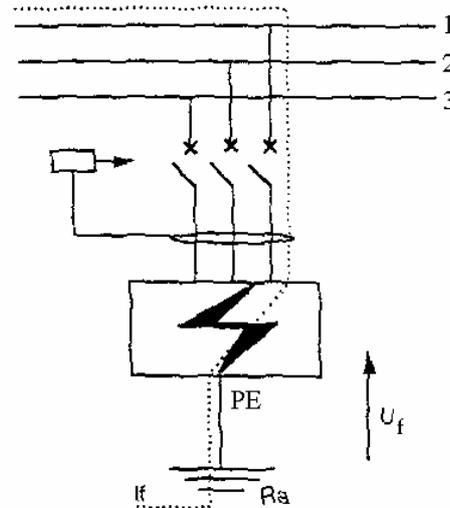
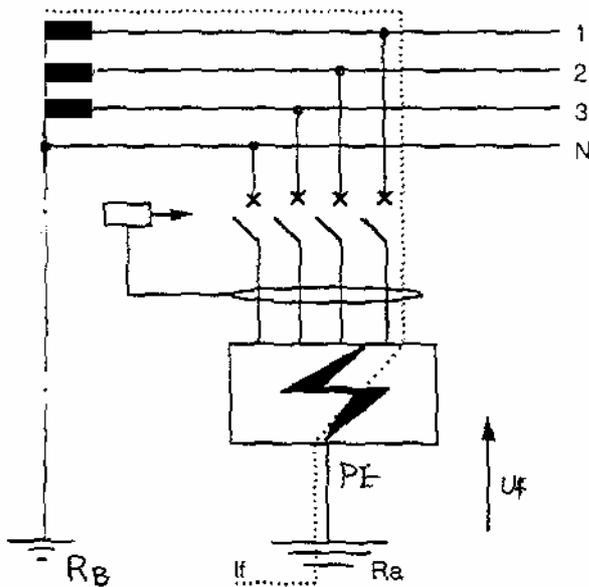
TT 型式(不带中性线)

RCD 的灵敏度即脱扣动作电流 $I_{\Delta n}$:

RCD(漏电附件)的灵敏度即脱扣动作电流 $I_{\Delta n}$:

$I_{\Delta n}$:

$I_{\Delta n}$:



NOTES

🌀 绝缘故障后果：

装置的外露可导电部分对人身接触时产生危险接触电压.允许持续接触电压 U_L 极限值按照国际上约定,交流为 50V,直流为 120V,特殊情况下,也采用AC25V,DC 60V. 在TT系统中:还需满足 $U_L \leq I_a * R_a$ (U_L 是允许持续接触电压的极限值)

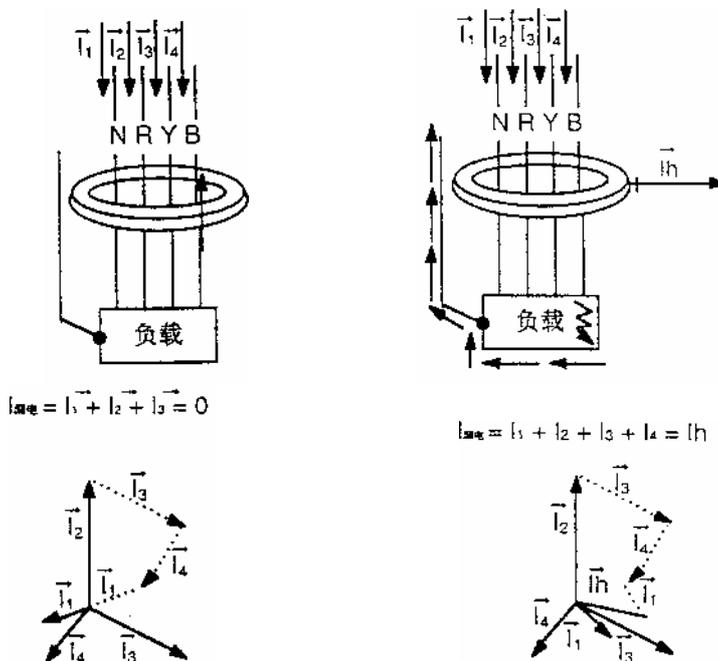
🌀 其他说明

- RCD 即为剩余电流装置.(有时叫“ 剩余电流动作保护器”)
- I_{Δ} 为剩余电流 (即通过剩余电流装置主回路的电流瞬时值矢量的有效值)
- $I_{\Delta n}$ 为额定剩余动作电流, 即为使 RCD 必须脱扣动作的剩余动作电流值, 也就是 RCD 灵敏度
- U_f 为故障电压,V
- I_f 为故障电流,A
- R_a 为机壳接地的过渡电阻, Ω

接地保护

TT 系统的接地保护

RCD 原理

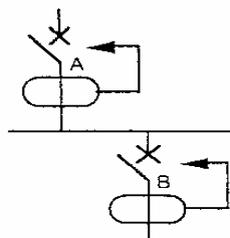


在正常情况下，通过电流互感器电流的合成矢量和即零序电流等于零（左图）

在故障情况下，通过电流互感器电流的合成矢量和即零序电流不等于零，零序互感器检测到 $I_f \geq I_{\Delta n}$ 剩余电流保护装置即脱扣动作（右图）。



RCD 选择性



TT 系统中接地故障电流超过 RCD 额定动作值倍数与最大允许分断时间优先选用：

- 1 $I_{\Delta n}$ 2s
- 2 $I_{\Delta n}$ 0.2s
- 5 $I_{\Delta n}$ 0.04s

当对同时流过 A 和 B 的 RCD 保护器的 I_f 实际接地故障电流要满足 RCD 选择性保护要求,应按下述条件选用配合：

1. $I_{\Delta n}(A) > I_{\Delta n}(B)$
2. A 的动作时间(延时) > B 的动作时间(延时)

TT 系统接地故障时允许最大分断时间

UL=25V 时最大分断时间			UL=50V 时最大分断时间		
接触电压预期值	对脱扣器的最大分断时间		接触电压预期值	对脱扣器的最大分断时间	
	AC	DC		AC	DC
25	5	5	<50	5	5
50	0.48	5	50	5	5
75	0.30	2	75	0.60	5
90	0.25	0.80	90	0.45	5
110	0.18	0.50	120	0.34	5
150	0.10	0.25	150	0.27	1
			220	0.17	0.4
			280	0.12	0.3
			350	0.08	0.2
			500	0.04	0.1

NOTES

要满足 $R_a \times I_a \leq U$ 条件,

式中,

I_a 为剩余电流装置额定动作电流值 $I_{\Delta n}$

R_a 为外露导体所用接地的电阻

U 取 U_L 为允许持续接触的电压极限值

上述表中的最大分断时间, 当故障发生之后故障电流可能造成的过高接触电压(预期值), 在尚未造成危险的条件下, 把电源切断, 也就是允许脱扣器分断电源最大分断时间。

TT 系统的优缺点:

	优点	缺点
TT	<ol style="list-style-type: none"> 1. 运行简单 2. 电磁适应性较好 3. 不需检验电缆长度 4. 漏电保护, 计算设定方便 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 没有供电连续性 2. 不是最便宜 3. 配合不方便

接地保护

TN 系统--应遵守的规定

🔍 TNC 系统的 PEN 线 (中性线和 PE 线合一) 和 TNS 系统中的 PE 线绝对不能断开。

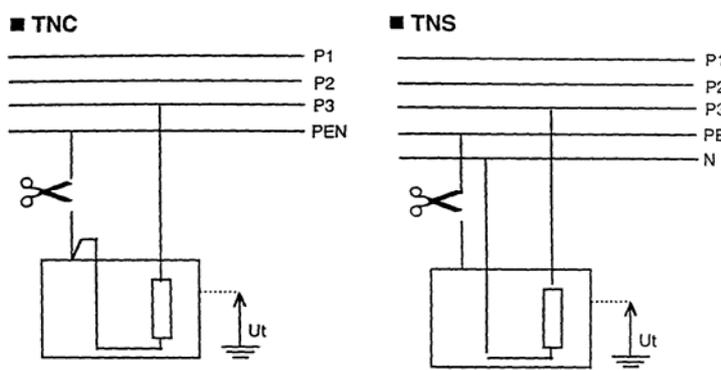
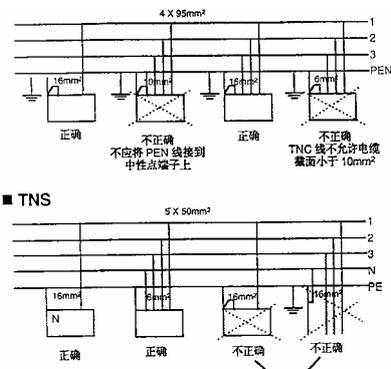
🔍 在 TNC 系统, “ 接地保护 ” 的功能总是比 “ 中性线 ” 的功能重要, 尤其是 PEN 线必须总是连接到用电设备的 “ 接地 ” 端子之间作一跨接线。

🔍 可以在同一装置中使用 TNC 和 TNS 系统, 然而 TNC 系统总是应位于 TNS 系统的上方侧。

🔍 PEN 须使用截面不小于 10mm² 的铜芯电缆或不小于 16mm² 的铝芯电缆和软电缆。

🔍 截面积小于 10mm² (Cu) 的 PEN 必须分成 PE 保护导线和 N 中性线或要求采用在 TN-S 系统。

🔍 TN 系统断开 PEN 或 PE 线的后果



相线接地时, 系统对地电压会升高, N 或 PEN 导线电压升高。使故障处机壳对地产生较高接触电压, 对人员带来生命危险。

对于 TNC 系统 :

- 设备回路断开, 不能正常工作。
- 接触电压接近相电压, 因人的电阻比系统中性点的接地电阻大得多。

🔍 对于 TNS 系统 :

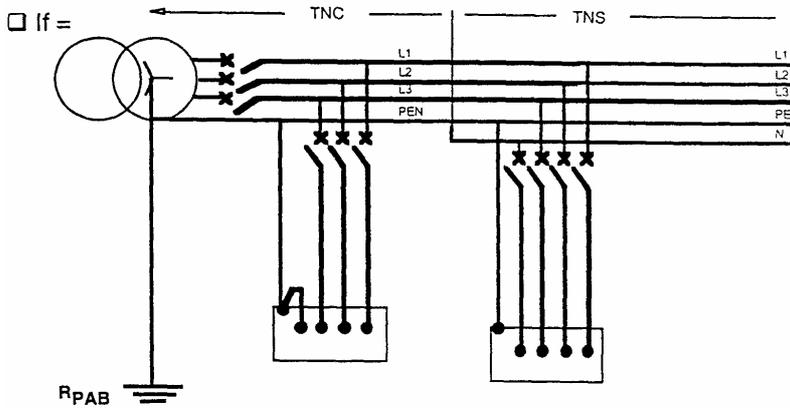
- 设备可以维持继续工作
- 故障时, 产生危险接触电压。

🔍 改善措施 :

- 降低工作接地电阻 R_{PAB} 减小与保护导体连接电阻。
- 保护导体的截面积不能太小。
- 注意保护导体的补充接地和接地位置的影响。

TN 系统故障与脱扣

校验脱扣条件



计算最大长度

$$L_{max} = \frac{0.8 \cdot U_o \cdot S_{ph}}{\rho \cdot (1+m) \cdot I_m}$$

$$m = \frac{S_{ph}}{S_{PE(N)}}$$

假设：当故障时相与中性线之间的电压降为 20%

$$I_d = \frac{0.8 \cdot U_o}{R_{ph} + R_{PE(N)}}$$

$$= \frac{0.8 \cdot U_o}{\rho \cdot \frac{L}{S_{ph}} + \rho \cdot \frac{L}{S_{PE(N)}}}$$

$$L_{max} = \frac{0.8 \cdot U_o \cdot S_{ph}}{\rho \cdot \left(\frac{S_{ph}}{S_{ph}} + \frac{S_{ph}}{S_{PE(N)}} \right) \cdot I_m}$$

$$L_{max} = \frac{0.8 \cdot U_o \cdot S_{ph}}{\rho(1+m) \cdot I_m}$$

$$L_{max} = \frac{0.8 \cdot U_o}{\rho \cdot \left(\frac{1}{S_{ph}} + \frac{1}{S_{PE(N)}} \right) \cdot I_m}$$

$$= \frac{0.8 \cdot U_o}{\rho \cdot \left(\frac{L}{S_{ph}} + \frac{L}{S_{PE(N)}} \right) \cdot \frac{S_{ph}}{S_{ph}}}$$

$$m = \frac{S_{ph}}{S_{PE(N)}}$$

NOTES

装置的脱扣器要具备带有剩余电流检测和动作功能

$I_d \geq I_{\Delta n}$ (故障电流 \geq RCD 脱扣器额定动作电流)

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{U_L}{U_o - U_L}$$

R_B 为并联各连接接地极的有效总接地电阻,

R_E 为没有与保护导线相连但可能通过它产生接地短路外露导电部件最小接地电阻

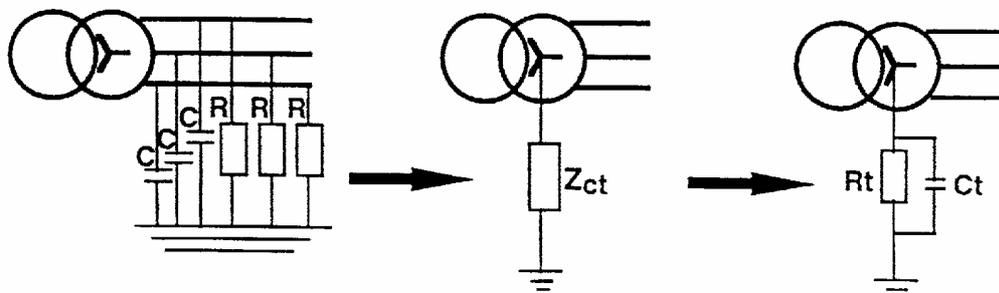
当连接导线相当长,需用公式验算最大长度.

脱扣器满足最大接通、分断能力 I_m 的要求.

满足完成脱扣要求的动作时间。

IT 型式 - 概念

IT 型式-泄漏电抗



实际上,由于以下原因不能认为装置对地是完全绝缘:

电缆的绝缘电阻($R_t=10M\Omega /km$ -电缆)

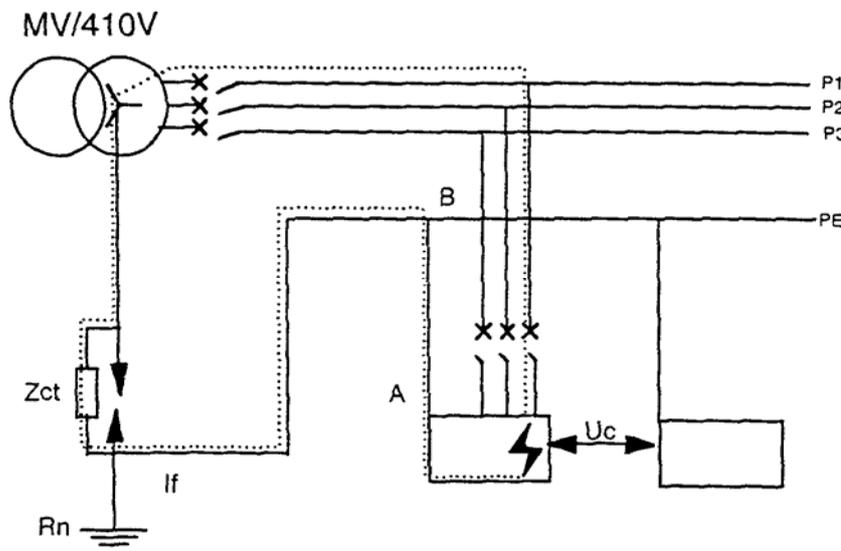
电缆的对地电容(对于低压电缆 $C_t=0.3F/km$)因而对于 1km 电缆能作一个等效阻抗 Z_{ct} 约为 $3.5K\Omega$ 接在星形中性点与大地之间。参考图。这一阻抗主要呈电容性而限制故障故障电流值,因此在用电设备绝缘故障情况下,也限制了机座上的电压。

IT 接地系统可称为电源不接地系统,根据要求,使用高阻抗接地是允许的。

在 IT 系统中,连接设备是可以通过 PE 导线或设备共用 PE 导线直接接地。

IT 型式 - 第一次绝缘故障

第一次绝缘故障的后果



NOTES

第一次绝缘故障是发生相对地双重故障的可能条件.

当两个机壳距离 $\leq 2.5\text{m}$, U_c 需要电位平衡, 避免由此带来接触电压.

保护措施.

1. 故障电流保护装置
2. 增加后备保护(如熔断器)
3. 手可触及的两个机壳之间距离 $\geq 2.5\text{m}$

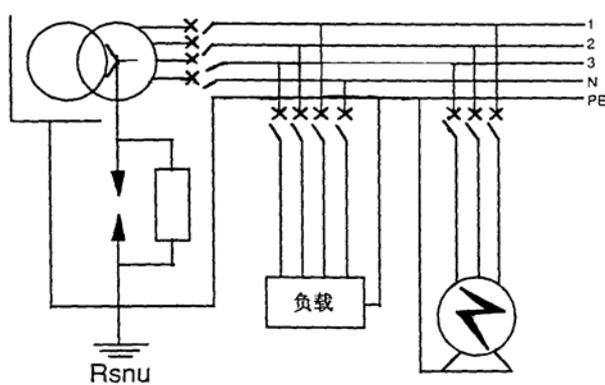
Zct 表示高阻抗接地或不接地, 也可用能发出声和光报警的绝缘监测仪器来监测首次接地故障的泄漏电流.

接地保护

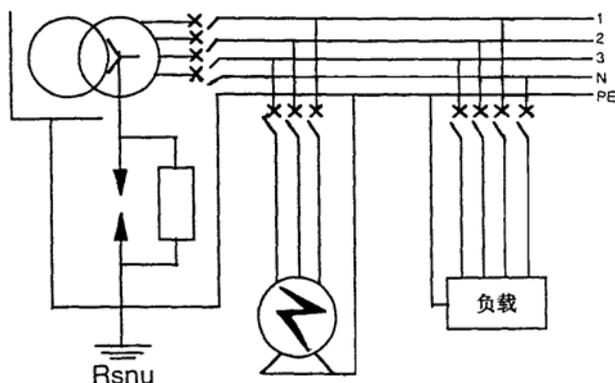
IT 系统 - 双重故障

☑ 配出中性线时的双重故障

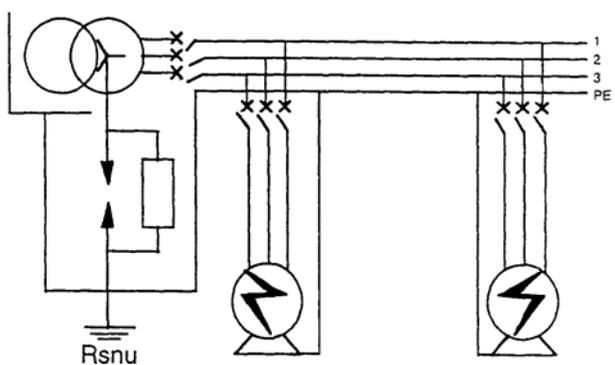
☑ 中性线不出现在计算的回路中



☑ 中性线出现在计算的回路中



☑ 不配出中性线时的双重故障



IT 系统 分断时间表

IT 系统的分断时间

 对 $U_i=50V$

装置额定电压 $U_{O/U}$ (V)	分断时间 (S)	
	不配出中性线	配出中性线
120-240	0.8	5
230/400	0.4	0.8
400/690	0.2	0.4
580/1000	0.1	0.2

注：

1. 对于在 IEC38 所述的容差范围内的电压,使用标称电压的分断时间是合适的.
2. 对于中间的电压值,应使用表中下一个较高电压值的分断时间.

 对 $U_i=25V$

装置额定电压 $U_{O/U}$ (V)	分断时间 (s)	
	不配出中性线	配出中性线
120-240	0.4	1
230/400	0.2	0.5
277/480	0.2	0.5
400/690	0.06	0.2
580/1000	0.02*	0.08

1. U_o 为相对中性点电压
2. 如果不能保证分断时间,需要采取其他保护措施,例如设辅助等电位联结.

NOTES

 IT 系统优点:

最大限度保证供电连续性,电磁适应性好.

 IT 系统缺点:

需要有经验的维护,必须设单相接地检测,对电压侧的浪涌反应灵敏.

第十章

功率因数改善

功率因数改善

功率因数概念

大部分交流用电设备需要电网供给有功功率 P 和无功功率 Q，合成为总的视在功率 S。

设备使用的电流一般有两部分：

✦ 有功电流：一个电流在电阻性负载上吸收转换成有用功消耗 P(单位 kW)。

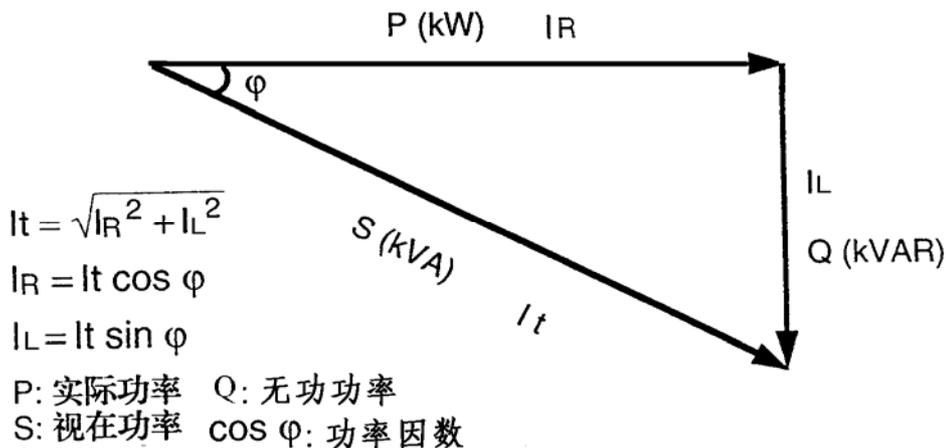
✦ 无功电流：一个电流对于感性负载吸收转换成无用功消耗 Q (kVAR)，并迟后 90°电角度。

实际有功功率与总的视在功率之比即为功率因数。

对某个用电设备，有功功率和无功功率大小变化，会使功率因数变化。

在电路中接入一个电容负载，产生一个超前 90°电角度的无功分量电流，与感性电流相反，有互相抵消补偿作用，（这是改善功率因数的基本原理）。

在交流电路中，某些电器需要无功功率工作。如，电容器，电感线圈等。



NOTES

功率因数改善

常见用电设备的功率因数

按照所连接电气设备的特性，在不同电路中的功率因数会有变化。电器装置消耗的无功功率量会不同。

功率因数，或 $\cos\varphi$ 以 0 到 1.0 之间的数值来表示。

- ✦ 功率因数为 1.0 不含无功功率。
- ✦ 功率因数低于 0.9 一般认为较差。
- ✦ 系统中有较多的无功功率，其功率因数会较低。

设备		功率因数
◆ 普通的感应电动机 工作在:	0%负载	0.17
	25%负载	0.55
	50%负载	0.73
	75%负载	0.80
	100%负载	0.85
◆ 白炽灯 ◆ 荧光灯 ◆ 气体放电灯		≈ 1.0
		≈ 0.5
		0.4-0.6
◆ 电阻炉 ◆ 感应炉 ◆ 介质加热炉		≈ 1.0
		≈ 0.85
◆ 电阻焊接机 ◆ 固定式单相电弧焊接机 ◆ 旋转式电弧焊接机 ◆ 变压器-整流电弧焊接机		0.8-0.9
		≈ 0.5
		0.7-0.9
		0.7-0.8
◆ 电弧炉		0.8

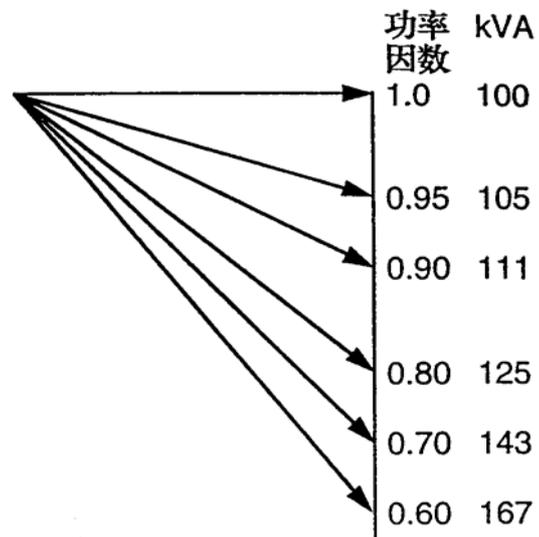
功率因数改善的需要

改善功率因数意义

如果不减小低功率因数的高视在负荷，则从发电站到工厂支路的整个电气网络，必须能承载比需要的还要大的电流负荷。

为此理由，电力公司制定了收费奖励罚款办法，当用户的设备以低功率因数运行时，要支付比实际需要更高的电力费用。

功率因数低的设备会增加工作温度、损耗、电压降并且使电能的使用效率降低。



改善功率因数的基础

电力电容器：是提供极简单的改善功率因数的基础。

使用电力电容器的主要优点：

- † 能有效配合感应电动机低功率因数运行负荷的需要。
- † 电容器没有转动的部分，使用维护简单，（除控制设备）。
- † 不需要复杂的基础结构。
- † 增加负荷时利用增加电容器办法能有效把功率因数提高到所要求的水平。
- † 电容器的本身损耗很低。（尤其是 ABB JUMET CLMB/CLMD 型）

功率因数改善

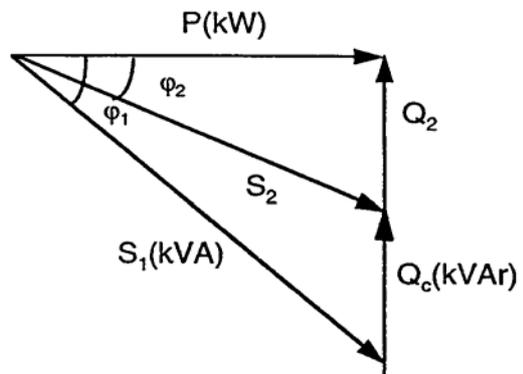
计算补偿用电容器的容量 KVAR

了解要改善的功率因数和改善后的功率因数，你应参照下页所给的表格取得一系数

$\cos\varphi_1=0.75$ 改善前的

$\cos\varphi_2=0.93$ 改善后的

系数=0.487



将网络的负荷千瓦乘以系数，你将获得为完成改善所需要的 KVAR
例：

$P=225KW$

系数=0.487

需要的 $kVAR=Q_c=225 \times 0.487=124kVAR$ $P=225kW$

$S_1=340kVA$

$S_2=274kVA$

$\cos\varphi_1=0.75$

$\cos\varphi_2=0.93$

$Q_c=124kVAR$

NOTES

$Q_c = P (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) = 225 \times 0.487 = 124kVAR$

其中： $\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2 =$ 系数=0.487

$\tan\varphi_1$ 和 $\tan\varphi_2$ 可以分别从函数表查取。

为方便起见，ABB 低压系统及产品部所编“ ABB 低压电器元件选用手册”

98 版的第九章亦可直接查询电容补偿的计算参数和元件选用。

电容器补偿点的选择

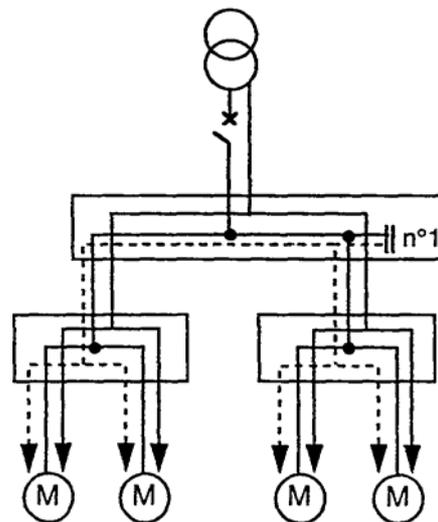
电容器在电源进线处集中补偿

原理

电容器连接在低压总开关柜上并保证对所有装置进行补偿

备注

- ✦ 无功电流 (I_r) 仍旧出现在装置的 1 级与用电设备之间
- ✦ 由于焦耳效应引起的线路损失 (kWh) 未减少



益处

- ✦ 减少因消耗过量无功功率的罚款
- ✦ 根据装置需要的有功功率 kW 调节到预定的视在功率 S (单位为 kVA)
- ✦ 降低电源变压器的负荷 (有功功率, 单位 kW)
- ✦ 对断路器额定值的要求有所降低

电容器补偿点的选择

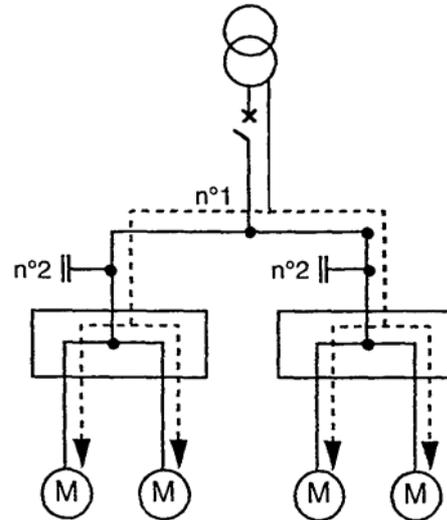
电容器在分区段成组补偿

原理

- ✦ 电容器连接在区配电盘上，并且对带有无功功率的车间装设几组电容器。

备注

- ✦ 无功电流 (I_r) 仍旧出现在装置的 2 级与用电设备之间存在。
- ✦ 由于焦耳效应引起的线路损失 (KWh) 未减少。



益处

- ✦ 省却因消耗过量无功功率的罚款。
- ✦ 使装置的部件最适宜，即在 1 级和 2 级之间不再流过无功电流。
- ✦ 降低低压变压器的负荷 (有功功率，单位 KW)。
- ✦ 对电容器侧线路上的断路器额定值要求降低。

电容器补偿点的选择

电容器就地单独补偿

原理

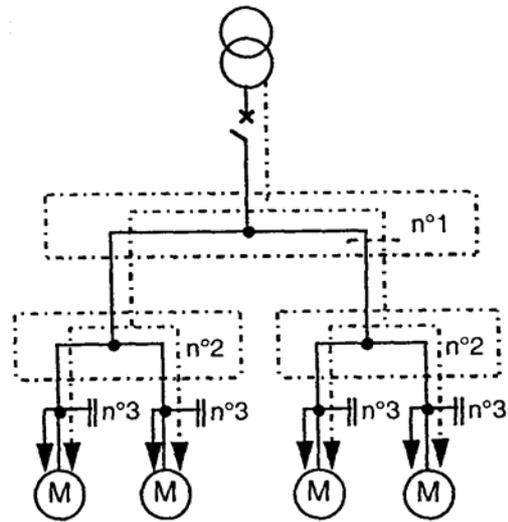
- ✦ 电容器直接连接到每个感应负载(大多数为电动机上)
- ✦ 当电动机容量占了装置的大部分容量时,应考虑单独补偿

备注

- ✦ 电容器容量约为电动机容量的 25%
- ✦ 在总配电柜可以需要装补充电容器
- ✦ 在装置中不再存在无功电流

益处

- ✦ 省却因消耗过量无功功率的罚款
- ✦ 减少低压变压器的负荷(有功功率,单位为 kW)
- ✦ 能使用截面减小的电缆
- ✦ 减少由于焦耳效应引起的线路损失



NOTES

谐波对电容器的影响

基本分析

当电容器接入到含有谐波的网络时，应分析谐波的强度，并采取相应的措施。大致可分三种情况：

$\frac{P_{SC}}{R} > 240$: 使用额定电压的电容器

$120 < \frac{P_{SC}}{R} < 240$: 使用+10%额定电压的电容器

$\frac{P_{SC}}{R} < 120$: 使用+10%额定电压的电容器和电抗器(或滤波器)

式中：

R 为起谐波发生源作用的工作设备，用它们额定值 kVA 的算术和表示

P_{SC} = 变压器的短路容量，kVA，即：变压器的额定值 / 变压器的阻抗

例如，1000kVA 变压器，阻抗 4.75%，

$P_{SC} = 1000 / 0.0475 = 21025 \text{ kVA}$

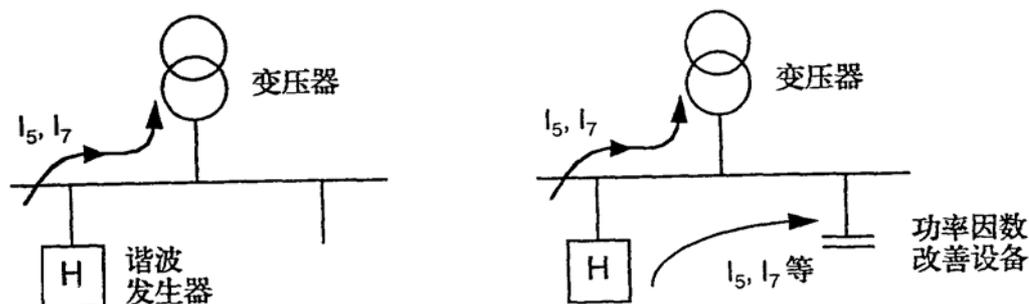
在不同系统中谐波的各种影响使得很难估计何时会发生有害的情况，为了估计可能的危害和选择最佳的技术经济方案，应作技术的估算。

谐波对电容器的影响

因低损耗和在高电压强度下工作，改善功率因数的电容器获得单位容积的无功功率高，由此 IEC831 规定电容器应能耐一定的过电压，但避免在中度的过电压下长期工作，以防止介质破坏。

电容器对频率较高的电流，例如谐波，呈现较低的阻抗。由于电容器是伴有高电场强度的无功负载（ I^2t 的热效应），这对电容器的介质和端部连接带来很损坏。

对于谐波和电容器的另一主要危害是有可能谐振。当电容器接到电力系统时，等于使有关谐波的放大、谐振、振荡或摆动加剧。



防止电容器过载保护措施

 由于谐波电流存在，会使电容器过载而损坏，可以考虑如下方法来解决：

 谐波含量低可使用标准的电容器

解决方法：用标准的 CLMD 系列电容器

 谐波含量高到足以导致降低额定值的电容器损坏，并且由于形成的谐振电路，也许能使谐波更加放大

解决方法：用串联电抗的电容器组

 将每级电容器串接一个电抗器，就能将形成的 LC 回路调谐到远离自然谐振频率，并且远离会出现不同谐波强度的那些频率。这些方法防止使存在的谐波强度放大，而且阻止谐波电流流过电容器和防止了过载情况。

 CLMD 电容器已符合：

 达到国际标准 (IEC831 部分 1 及 2) 规定，电容器应能长期耐受过电压 10% 和持续的过电流 30%。(但会影响其寿命)

 为谐波保护而降低了额定值的电容器，其额定电压至少应允许增大 10%。

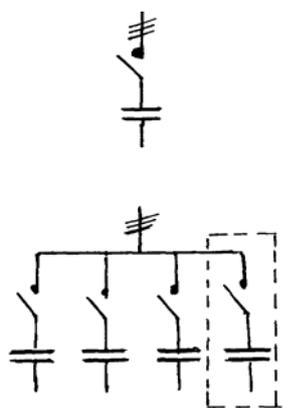
NOTES

功率因数改善

改善功率因数的装置

当电容器被接入一个电感电路或进行切换时，需要有执行操作的开关接触器，并要求满足如下：

必须经得起一个短时的高峰接通电流 \hat{I}



单级电容器组接通 $\hat{I} \leq 30I_n$

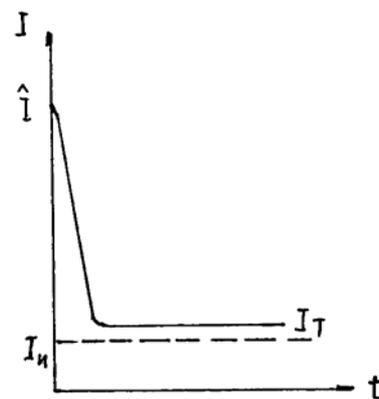
持续时间：

1-2 微秒

频率 3-15KHz

多级电容器组接通 $\hat{I} \leq 160I_n$

频率 3-15kHz



必须能承载一个比电容器额定电流高的发热电流 I_T 。因谐波电流存在及电网电压波动，产生一个近似为电容器额定电流 1.3 倍的电流；因制造上的误差，一个全功率的电容器工作时可达到其正常功率的 1.10 倍。其结果是电容器开关和接触器必须能够承受一个热电流 $I_T = 1.3 \times 1.1 \times I_n = 1.43I_n$ 。



连接补偿电容器的装置的三种主要型式：

多级全自动装置

用这种装置，对电容器要装设无功功率控制器和专用的接触器。对于自动分级型式，通常一级在 25 到 50kVAr 之间，并且自动无功功率控制器将功率因数控制在所需要的水平，正常可达 0.98(滞后)。

不切换的单个装置

这种电容器用于负荷较小的场所(小于 60kW)，以及因为负荷特性的多变不能使用单独电动机功率因数改善电容器的场所。实际上，通常不装设容量大于 25kVAr 的电容器。

电动机就地补偿装置

在这一型式中，是利用连接在设备电源端子上的电容器，直接对低功率因数的电动机或其他设备进行功率因数改善。