



ETAP 保护配合与自动评估

ETAP BJ – 高志勇

议程

目的

ETAP-Star操作过程&需求数据

ETAP保护设备

后备配合规则

ETAP-Star保护功能概述

ETAP设备数字术语

ETAP 保护设备-TCC曲线

ETAP 保护功能

保护配合自动评估 (ETAP 14)

保护曲线与设备固有曲线配合规则

保护曲线之间的配合规则

保护装置之间时间选择性配合规则

过电流继电器

低压断路器

低压熔断器

目的

- 人身安全
 - 预防受伤和死亡
- 保护设备
 - 保证正常运行
 - 一旦处于不正常运行状态隔离设备
- 选择性\分段\自动功能识别
 - 一旦处于不正常运行状态，最小化隔离网络，最小化降低损失
 - 保证其他非隔离网络正常运行
- 可靠性和成本
 - 以最小成本化获得保护可靠性最大化

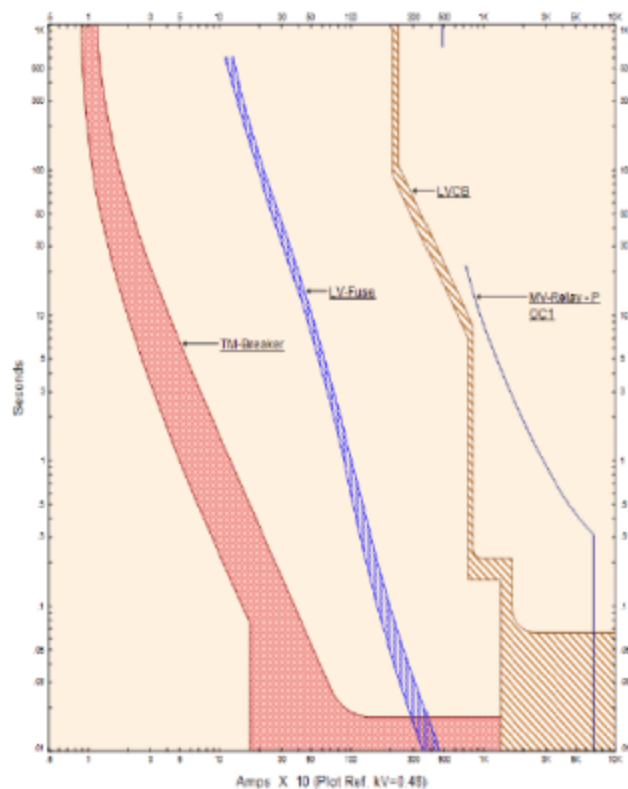
- 准备一个准确的保护单线图
- 获取有效的系统电流(运行负荷、过负荷、短路)
- 确定保护设备执行标准
- 选择合适的保护设备和定值
- 生成固定曲线(运行/损坏曲线、额定电流、载流量)
- 获取或者绘制设备特性曲线
- 结果分析

- 系统侧短路电流数据和保护定值
- 发电机数据
- 变压器数据
- 电动机数据
- 负荷数据
- 故障电流
- 电缆和传输线数据
- 母线数据
- 电流/电压互感器数据
- 保护设备数据

过电流保护特性

- 继电器(OC&OL)
 - 无公差带
 - TOC, IOC
 - 单/多功能继电器
- 低压断路器
 - 带有公差带
 - 塑壳式, 框架式, 隔离式
- 熔断器
- 过载发热器

Time-Current-Characteristics (TCC)

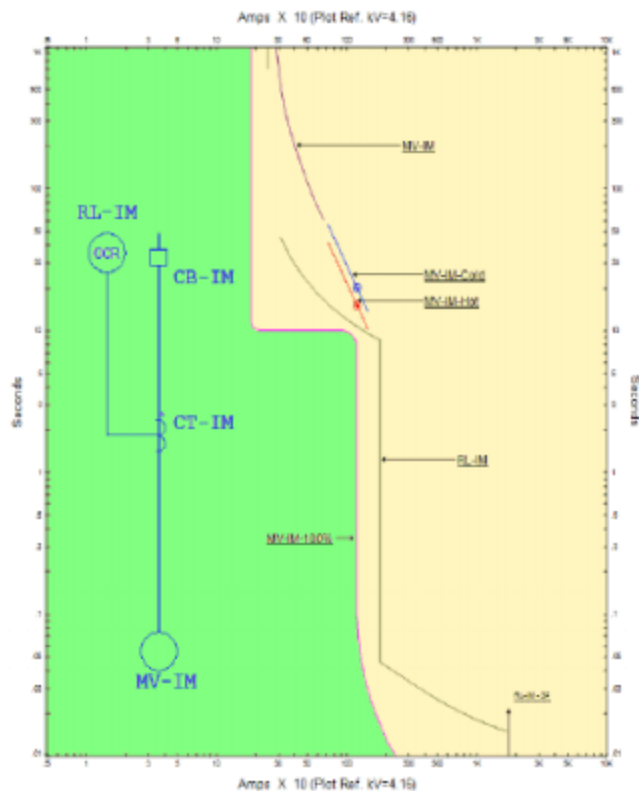


- 保护曲线与设备固有曲线的配合规则
- 保护曲线之间的配合规则
- 保护设备之间的时间选择性配合规则

保护内容

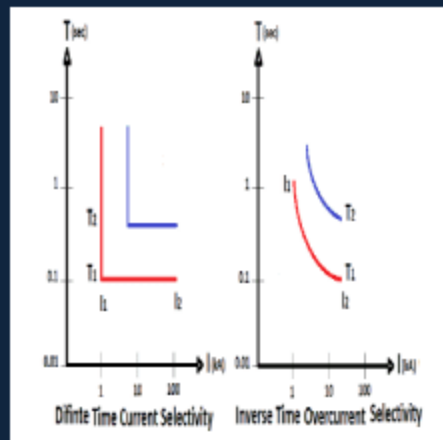
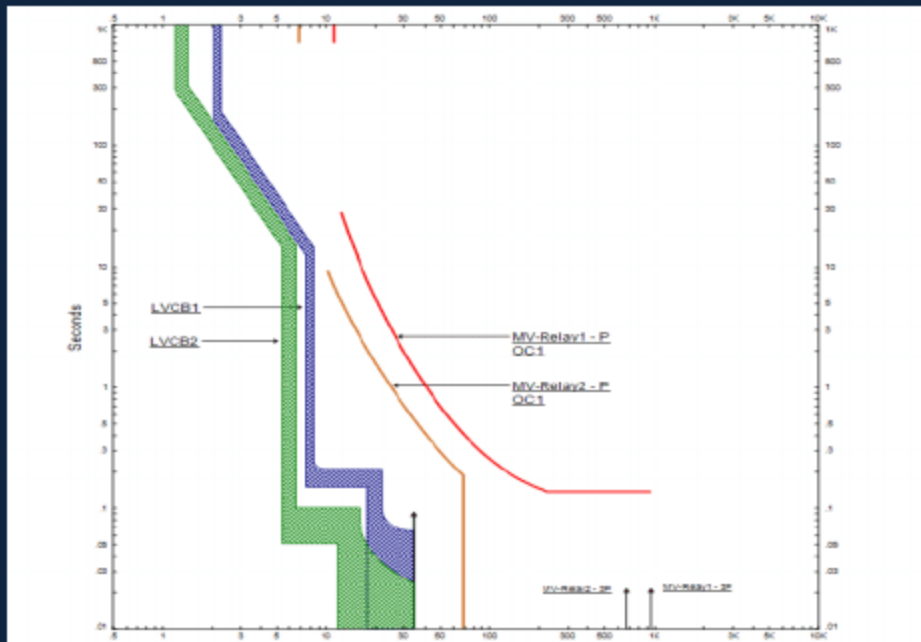
- 保护设备TCC设置
 - 处于设备损坏曲线的左下方
 - 设备运行曲线右上方

Motor Protection Example



ETAP过电流选择性规则

- 下游设备曲线应位于上游设备曲线的适用电流范围内的左下方
- 保证下游动作与上游配合上有足够的时间余量



保护装置之间时间选择性配合规则

- 继电器 — 继电器
 - $0.12s - 0.22s + \text{下游断路器分闸时间}$
- 继电器 — 熔断器/低压断路器
 - $0.12s - 0.22s$
- 熔断器/低压断路器 — 继电器
 - $0.12s + \text{下游断路器分闸时间}$
- 熔断器/低压断路器 — 熔断器/低压断路器
 - 保证曲线之间有清楚的空间（可通过有效的保护校正）

● ETAP具备的保护功能

- 过载保护 — 基于CT-Relay&嵌入式(49)
- 相、中性线、接地、负序过电流(51/50)
- 带电压控制与约束的过电流保护(51VC/51VR)
- 方向过电流保护(67)
- 高阻抗&百分数差动继电器(87)
- 电子&液压式重合闸(79)
- 带有继电器的HVCB、开关、接触器联锁
- CT变比和多连接方式
- 低压/过压保护(27/59)

*反向功率继电器(32)和低频/过频继电器(81)应用于暂态仿真

- 21 — 距离保护
- 27 — 低压保护
- 32 — 功率方向保护
- 49 — 热过负荷
- 50 — 瞬时过电流保护
- 51 — 交流反时限过电流
- 52 — 交流回路断路器
- 59 — 过压保护
- 67 — 交流方向过电流
- 79 — 交流重合闸
- 81 — 频率继电器
- 87 — 差动继电器
- P — 相
- N — 中性点
- G — 接地
- SG — 灵敏接地
- V — 电压
- VC — 电压控制
- VC — 电压约束

- 过流继电器 (OCR)
- 低压断路器 (LVCB)
- 熔断器 (Fuse)

过流继电器 (OCR)

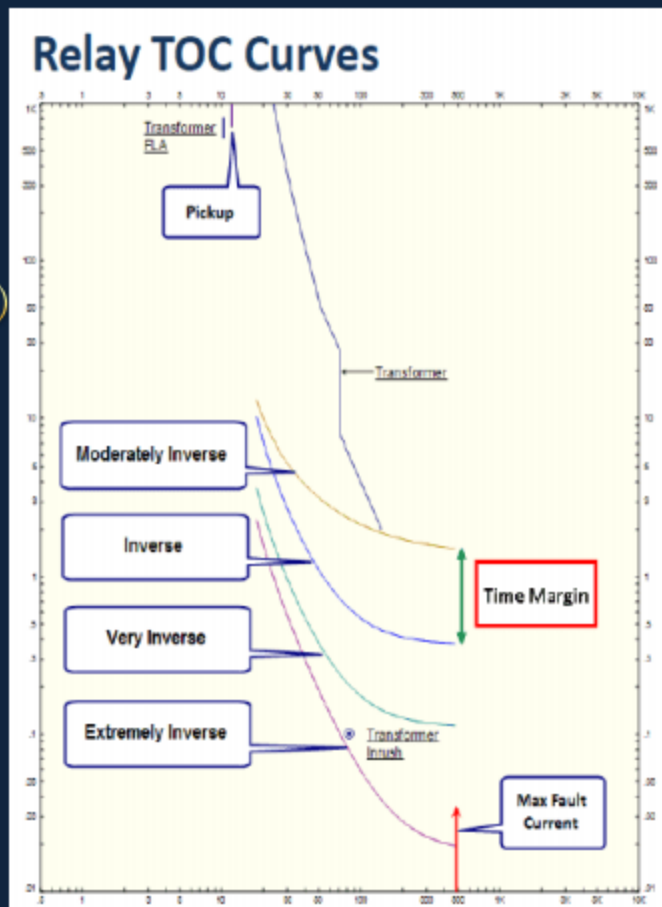
继电器按照动作原理可分类:

- 电磁型
- 感应型
- 整流型
- 电子型
- 数字型



继电器 TOC 特性

- 曲线特性可调整(定时限、反时限)
- 依据设备固有保护曲线
- 时间选择性
 - 在故障电流下的时间边界选择



低压断路器 (LVCB)

原创力文档
max.book118.com
预览与源文档一致, 下载高清无水印

- 低压断路器(LVCB)按结构分类
 - 框架式(PCB) / 空气开关(ACB)
 - 隔离式(ICCB)
 - 塑壳式(MCCB)
 - 小型模数式(MCB)

● LVCB脱扣器

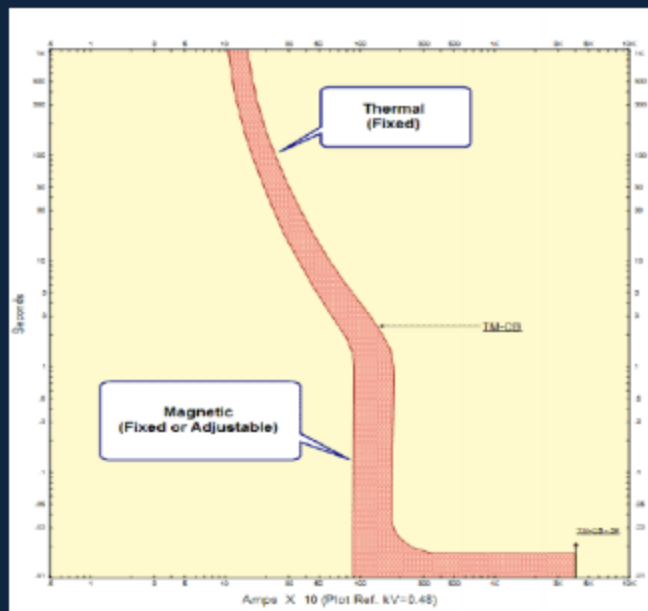
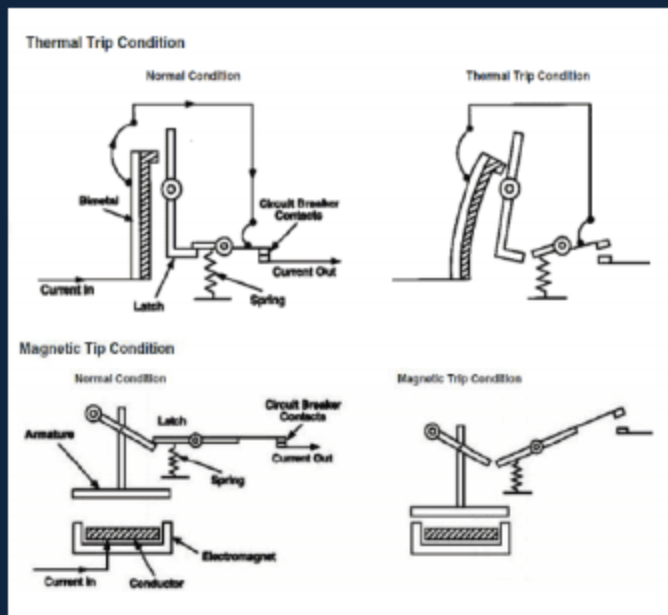
- 热磁脱扣
- 电机回路保护器(MCP)
- 固态(SST)或基于电子微处理器脱扣器
- 电磁脱扣



● 热磁脱扣器

— **热脱扣器**是采用双金属热膨胀不同的原理制成的，当超过整定值的电流流过双金属热脱扣器时，双金属都发热膨胀，但是由于膨胀系数不同，双金属就断开了，由于热脱扣器与开断元件（接触器或者断路器）是串联在一起的，所以热脱扣器断开，回路也就断开了，开断元件也断开了。

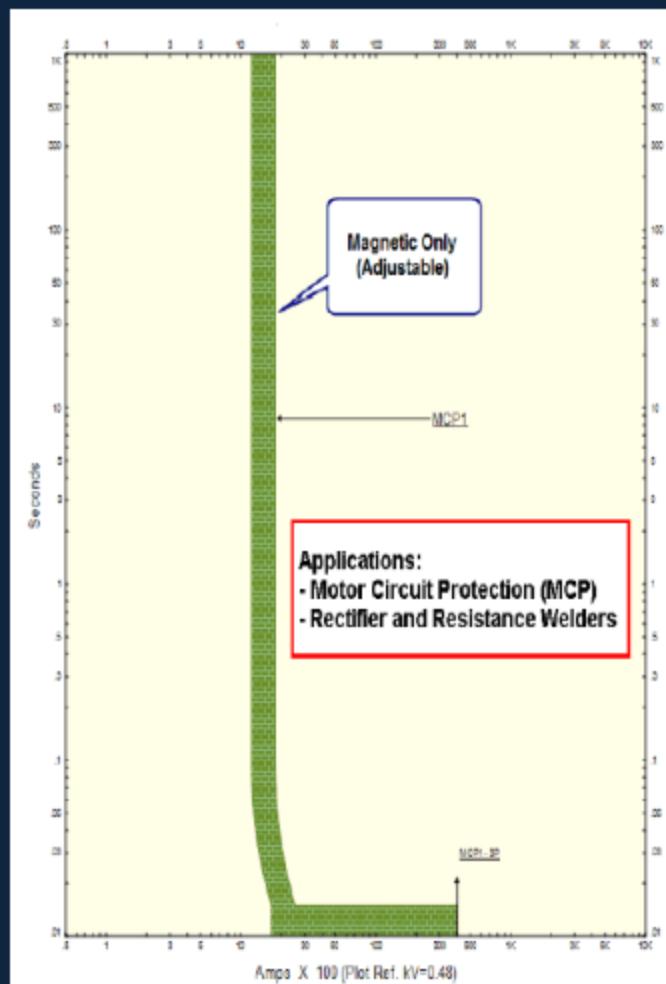
— **磁脱扣器**是短路电流超过瞬时脱扣整定值，电磁脱扣器产生足够大的吸力，将衔铁吸合，并撞击杠杆，使塔沟与锁扣脱开，锁扣在反力弹簧的作用下，断开回路。



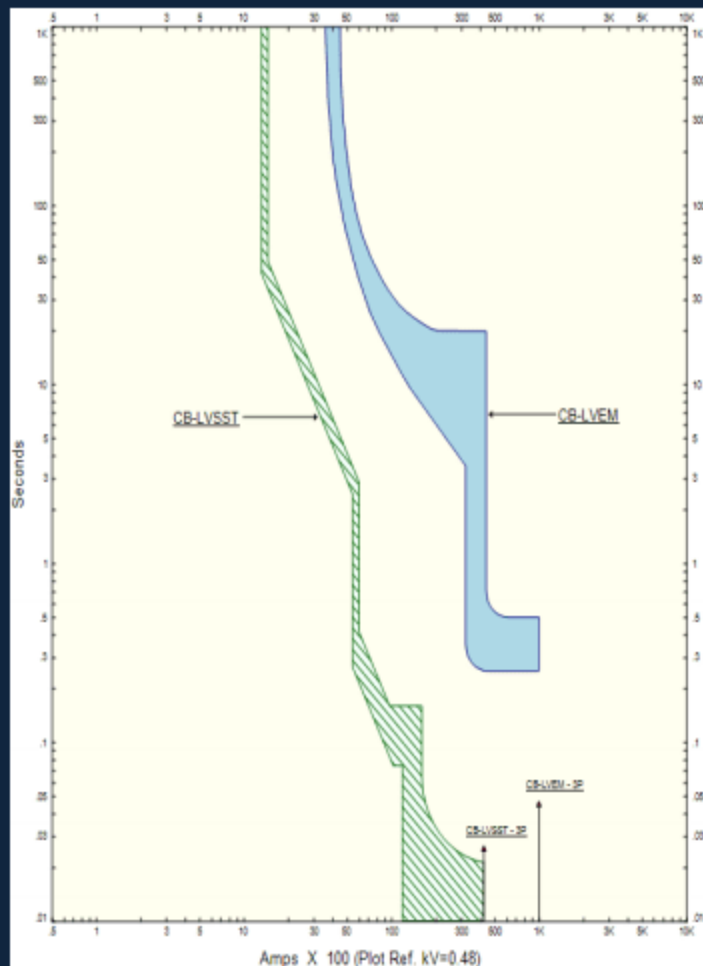
只有磁脱口

应用:

- 电机回路保护(MCP)
- 整流器和电阻焊接机



- 三段脱扣器
 - 固态脱扣或基于微处理器脱扣器
 - 长延时
 - 短延时
 - 瞬时
 - 电磁脱扣器



熔断器 (Fuse)

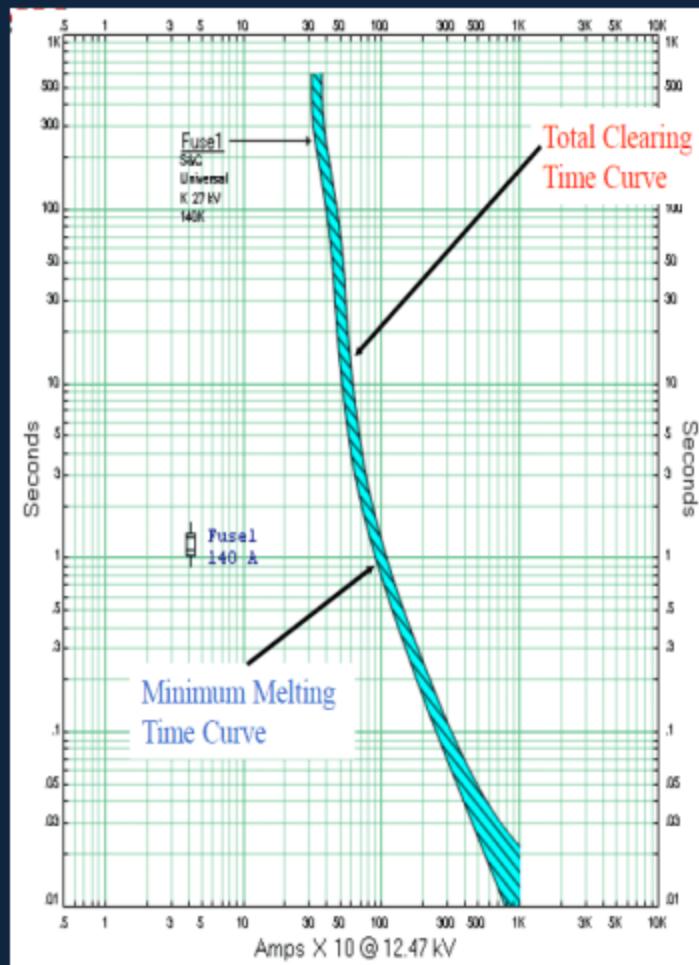
- 喷射式熔断器(Non - CLF)
- 电流限制熔断器(CLF)
- 电子式熔断器

一般来说:

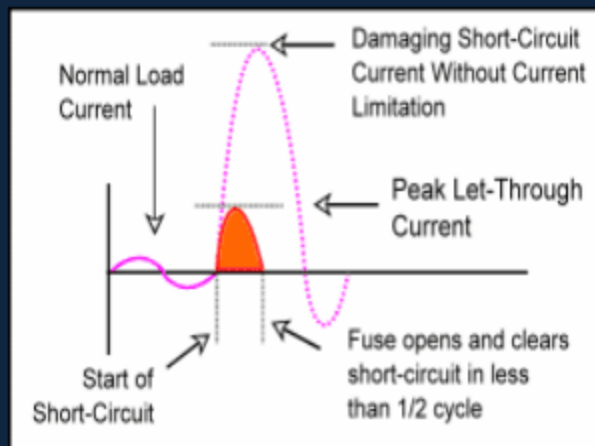
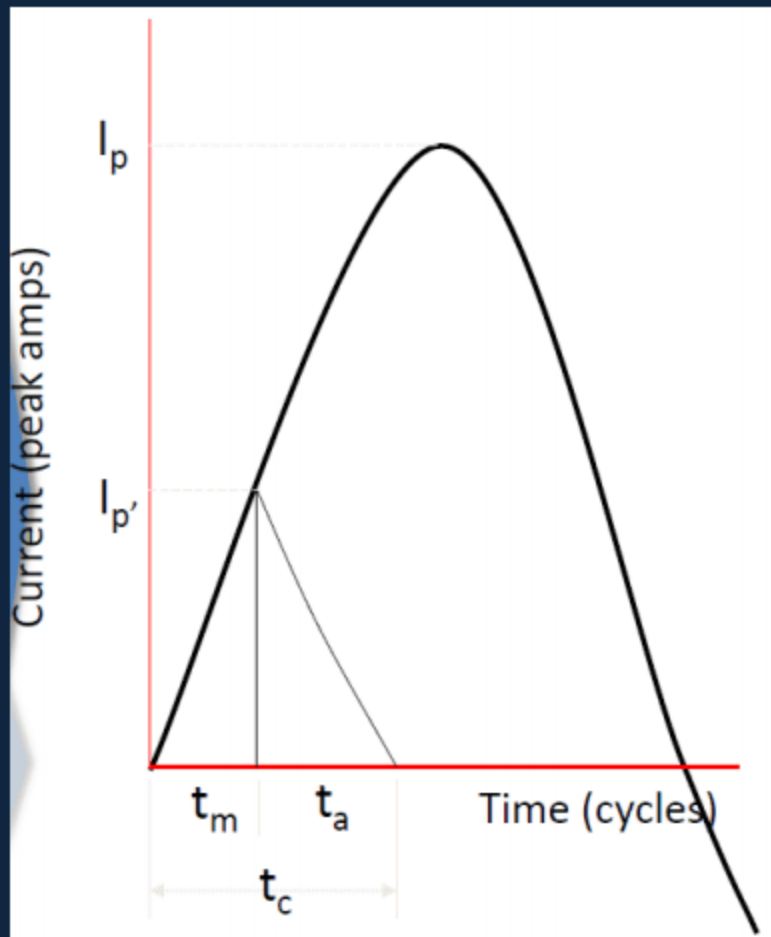
- 电流限制熔断器是更好的断路保护选择
- 喷射式熔断器是过负荷保护的更好选择
- 电子式熔断器由于电子控制调节, 更加容易进行配合



- 不可调节设备(除电子式)
- 连续和中断额定电流
- 电压水平(Max KV)
- 中断额定电流 (校验 Sym, Asym)
- 特性曲线
 - 最小化熔断
 - 全部清除



CLF电流限制特性



$$t_a = t_c - t_m$$

t_a = Arcing Time

t_m = Melting Time

t_c = Clearing Time

I_p = Peak Current

$I_{p'}$ = Peak Let-thru

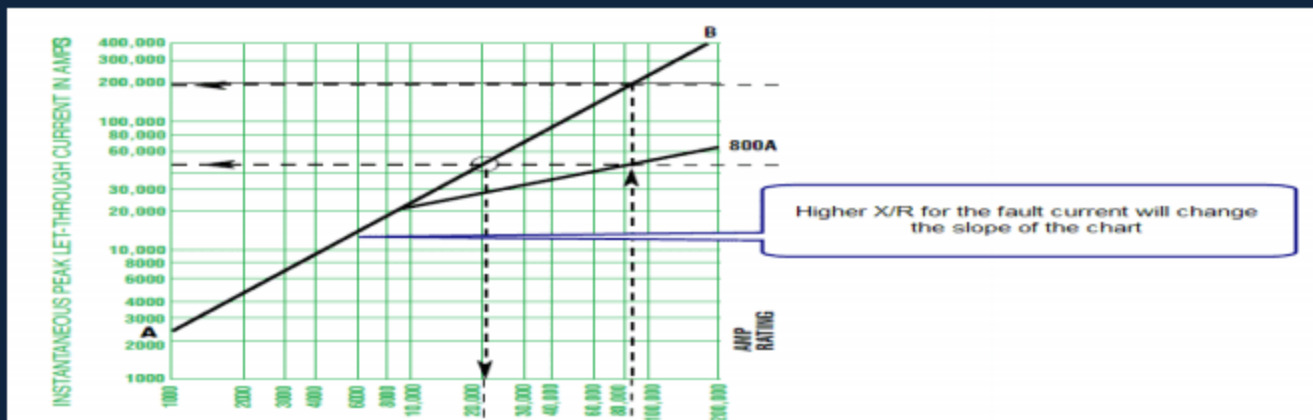
Current

● 设想:

① 短路功率 $X/R \leq$ 测试 X/R , 或短路功率因数 $\geq$ 测试功率因数

熔断器测试功率因数:

熔断器本身是电阻型设备, 其电感值系数极小, 忽略不计, 标明的功率因数表示熔断器在此功率因数下的极限开断电流为某一值, 当功率因数变小后, 表示电流中电感分量增加, 熔断器开断电感能力比较弱, 也就是极限分断会下降, 总的来说测试功率因数越高, 分段能力越好。



● 设想:

② 故障在负荷终端

● 考虑下游断路器的影响

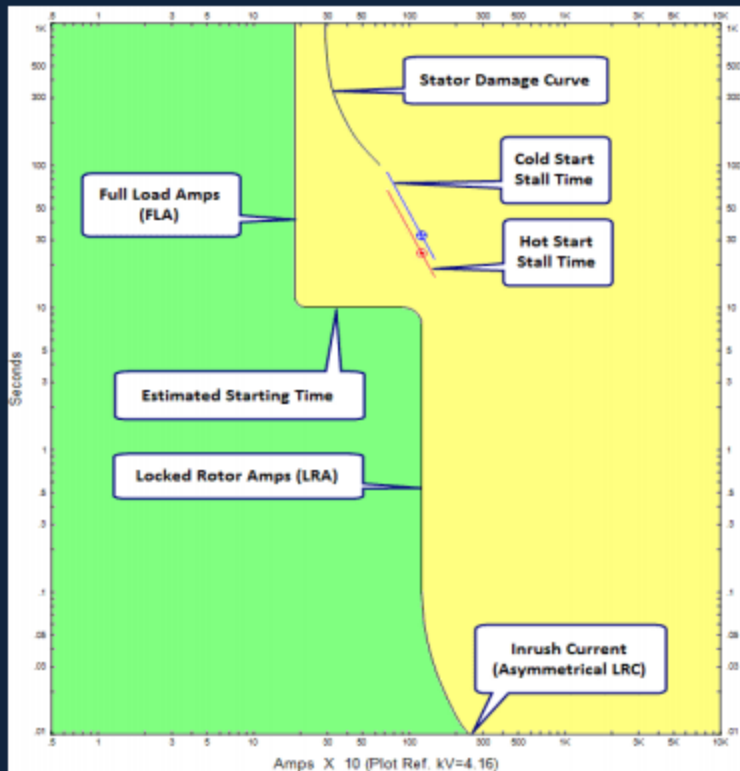
- 此时故障电流通过两个保护设备
- 因为断路器跳闸的不同的跳闸时间可能熔断器降低所需允通电流(CLF — LTC)
- 组合测试确保熔断器最合适的规格



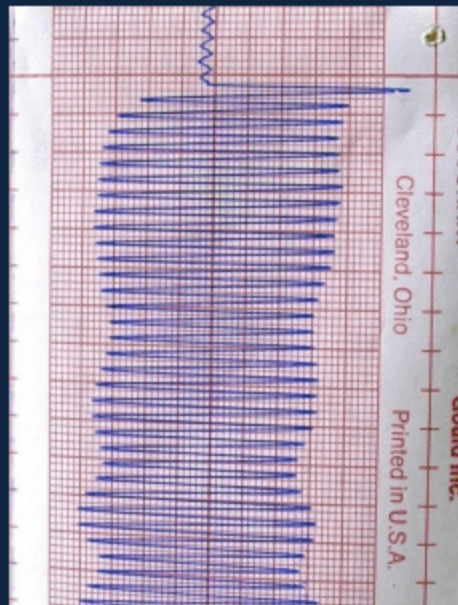
电动机保护

● 形成保护与被保护设备表示的区域保护配合

- 电动机起动曲线
- 热保护
- 堵转保护
- 过电流保护

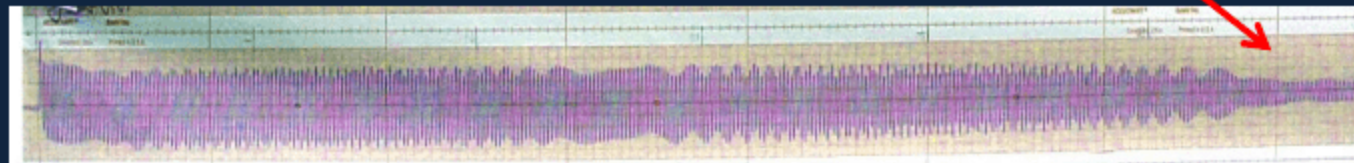


4000HP, 12KV, 1800转的起动电流



← 第一个半个周波显示的电流偏移

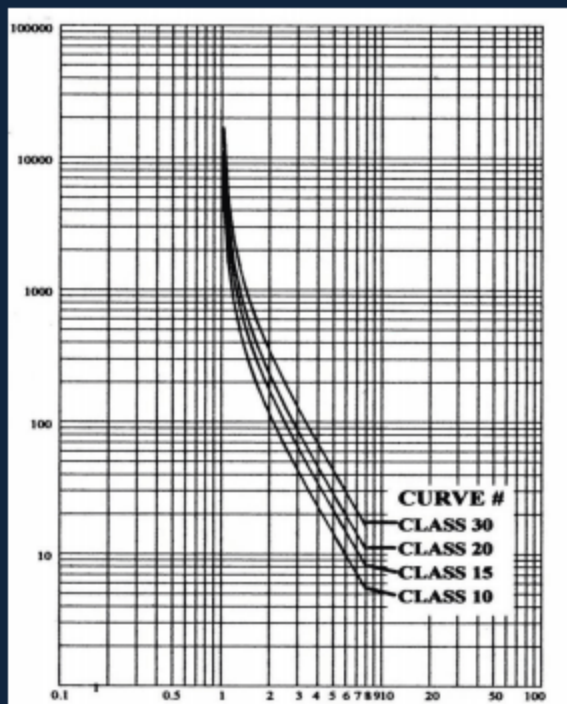
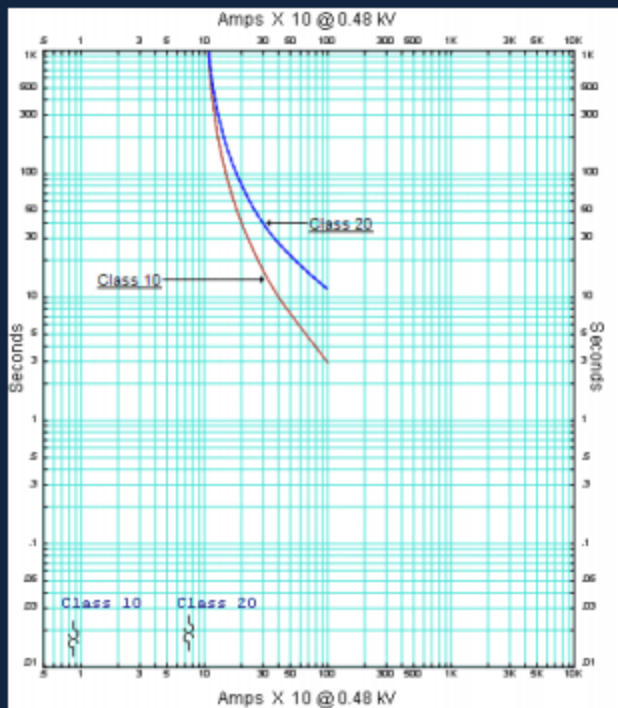
电机吸入电流显示电机达到同步转速



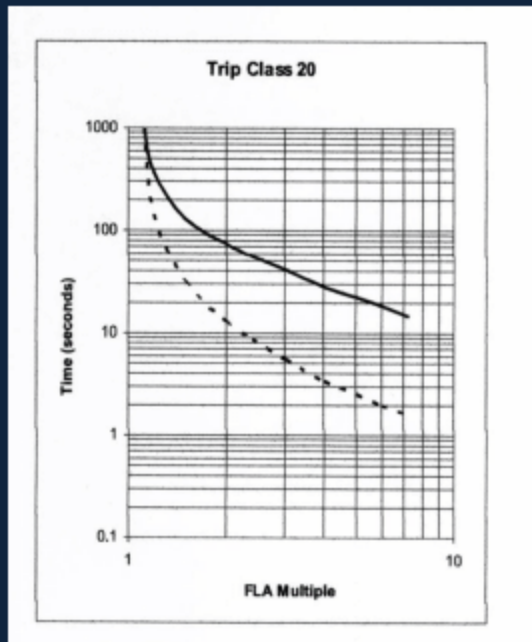
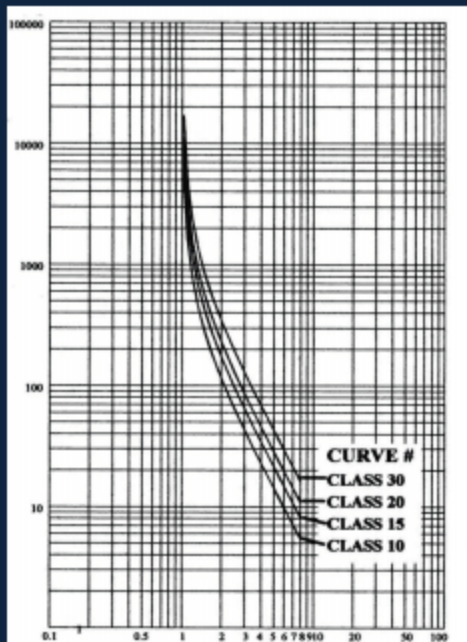
- 过负荷继电器包括双金属、熔合金以及电子式
- 电机过负荷保护是源于模拟一个设备绕组的温度上升过程
- 当温度达到损坏电机的点时，电机断电



如图Class 10和Class 20的热过负荷曲线, 区别是什么?



- 起动电流为600%:
- — Class10跳的更快, 在10s以内
- — Class20跳闸时间为20s左右
- — 也有Class15和30用于长延时跳闸(一般出现在电子式过载继电器中)

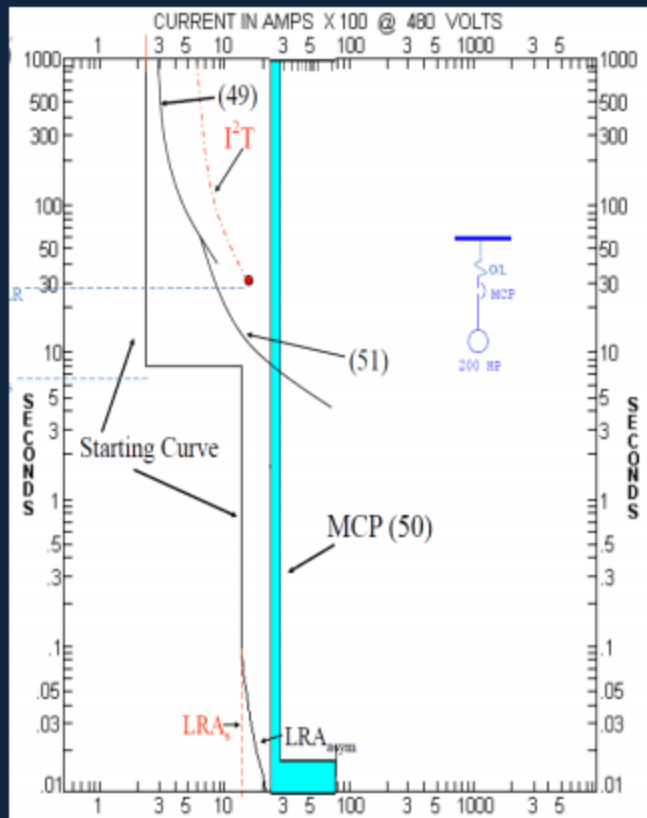


- 热继保护(49)定值
 - 电动机带有特殊标记应用因子
 - 定值=125%*额定电流 (≥ 1.15)
 - 定值=115%*额定电流 (≤ 1.15)
 - 电动机温升不超过40摄氏度
 - 定值=125%*额定电流
 - 其他所有电机
 - 115%*额定电流

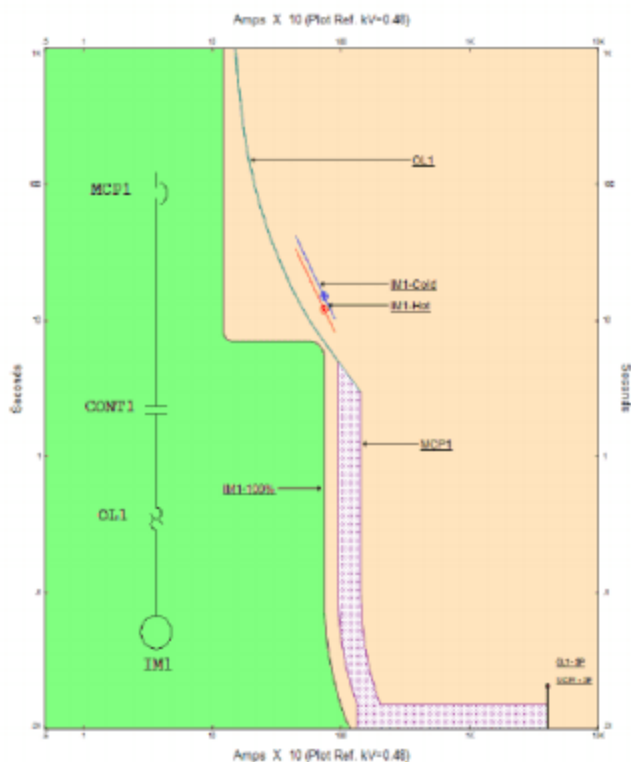
- 热堵转(过电流)
- 堵转延时 > 电机启动时间
- 堵转电流LRA
 - LRA Sym
 - LRA Asym
 - $(1.5-1.6 \times LRA_{sym}) + 10\% \text{ margin}$

*自动判断电机在过流时是处于完全纯堵转状态, 还是运行状态或电机短路状态

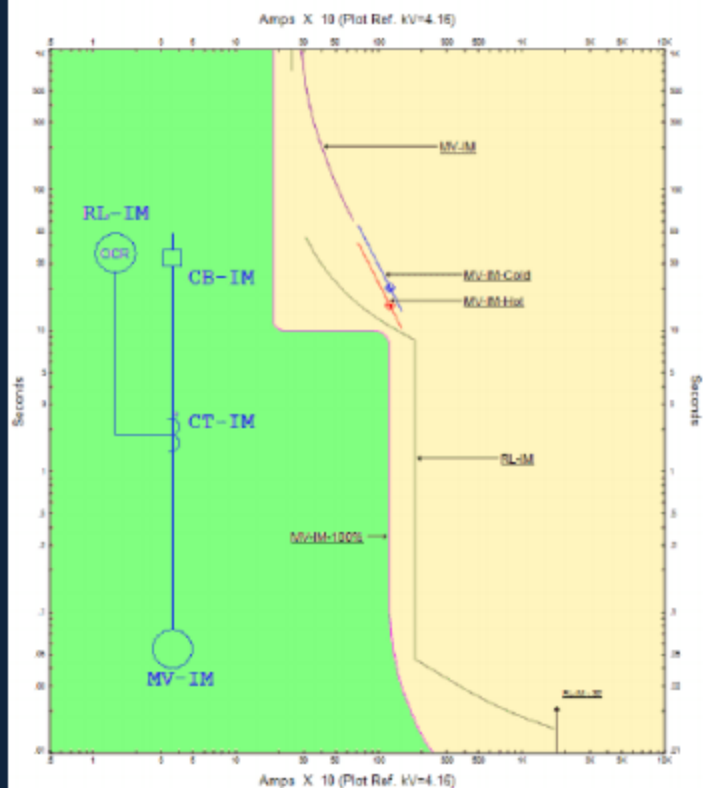
- 无时限延时熔断器
 - 定值=300%*额定电流
- 双元件配合(带延时熔断器)
 - 定值=175%*额定电流
- 瞬时断路器
 - 800% — 1300%*额定电流*
- 反时限过流断路器
 - 250%*额定电流



LV Motor Protection



MV Motor Protection



● Standards & References

- IEEE Std 620–1996 IEEE Guide for the Presentation of Thermal Limit Curves for Squirrel Cage Induction Machines.
- IEEE Std 1255–2000 IEEE Guide for Evaluation of Torque Pulsations During Starting of Synchronous Motors
- ANSI/ IEEE C37.96–2000 Guide for AC Motor Protection
- NEMA MG–1 Motors and Generators
- The Art of Protective Relaying –General Electric

电缆保护

电缆温升曲线通过已知的短路电流和时间计算

$$A = \sqrt{\frac{I^2 t}{0.0297 \log \left[\frac{T_2 + 234}{T_1 + 234} \right]}}$$

Where:

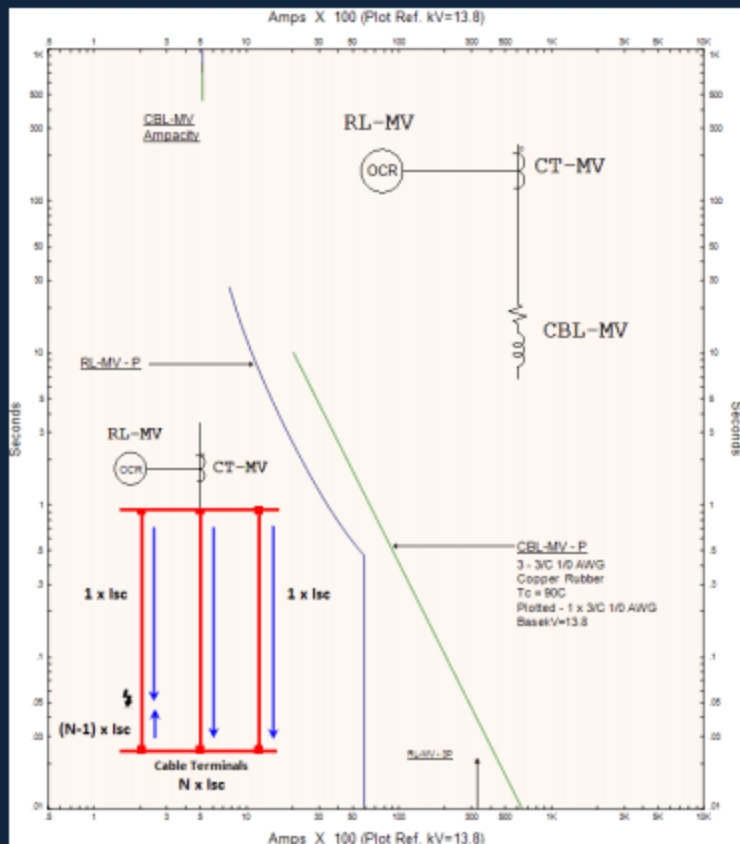
A= Conductor area in circular-mils

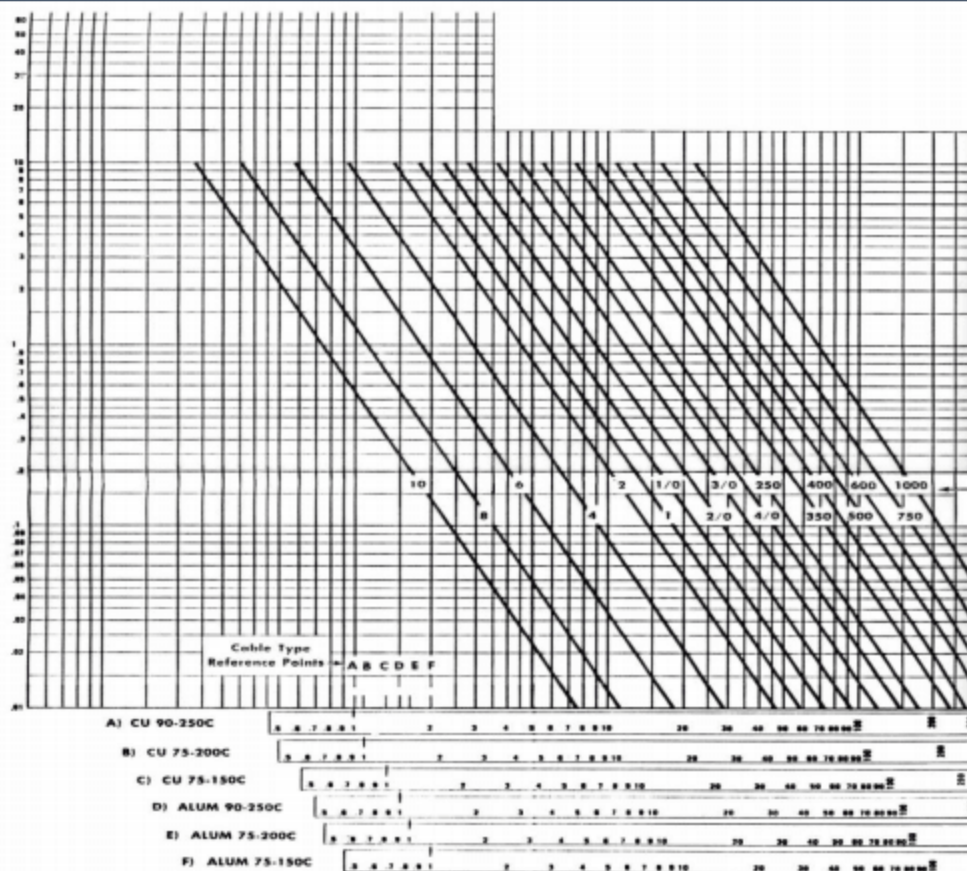
I = Short circuit current in amps

t = Time of short circuit in seconds

T_1 = Initial operation temperature (75°C)

T_2 = Maximum short circuit temperature (150°C)



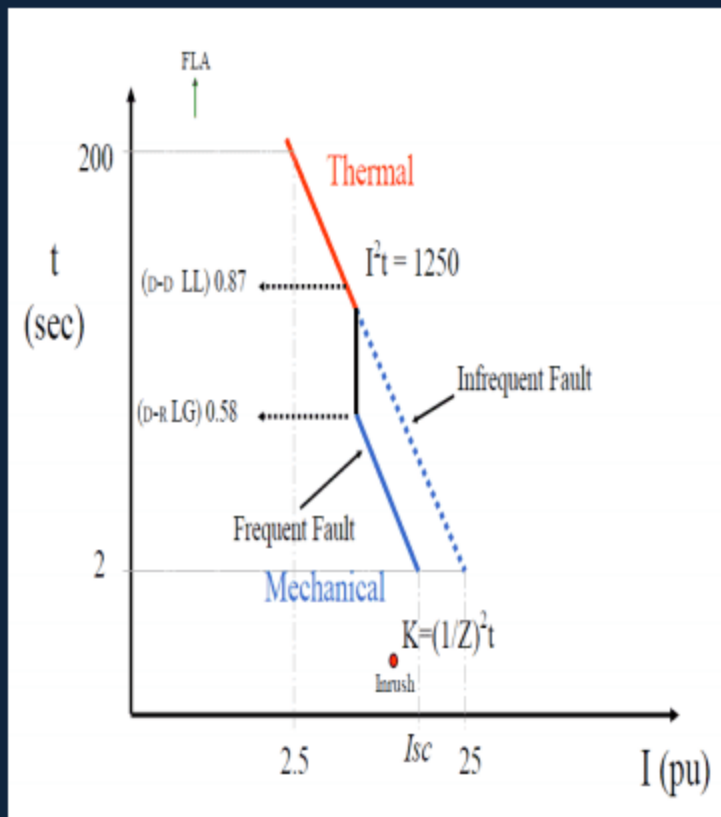


CURRENT IN TOTAL RMS KILOAMPS
INSULATED CABLE
SHORT CIRCUIT HEATING LIMITS

- Standards & References

- IEEE Std. 242-2001, IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems (IEEE Buff Book)
- IEEE Std 835-1994 IEEE Standard Power Cable Ampacity Tables
- IEEE Std 848-1996 IEEE Standard Procedure for the Determination of the Ampacity Derating of Fire-Protected Cables
- IEEE Std 738-1993 IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors
- The Okonite Company Engineering Data for Copper and Aluminum Conductor Electrical Cables, Bulletin EHB-98 (美国奥克电缆)

变压器保护



IEC标准

— 只考虑热损坏曲线, 故障频率灰色

ANSI标准

— 考虑故障频发-机械损坏曲线

— 故障频发

应用于故障频发, 损坏曲线表示变压器主要遭受热损坏和机械损坏, 这种情况适用于变压器二次侧是桥架线

— 故障不频发

应用在故障不频发, 损坏曲线表示变压器主要遭受热损坏, 这种情况适用于变压器二次侧导体封闭在管道中

Category	Minimum nameplate (kVA)	
	Single-phase	Three-phase
I	5-500	15-500
II	501-1667	501-5000
III	1668-10,000	5001-30,000
IV	above 10,000	above 30,000

变压器机械损坏曲线

(ANSI/IEEE C57.109-1985 Standard)

Liquid Immersed Transformer
 Mechanical Damage Curve for Frequent/Infrequent Faults
 ANSI/IEEE C57.109-1985 Standard

Transformer Min kVA			Cumulative Mechanical Damage Curve Plot	
Category	Single Phase	3-Phase	Frequent Faults	Infrequent Faults
I	5-500	15-500	No	No
II	501-1667	501-5000	Yes	No
III	1668-10 000	5001-30 000	Yes	No
IV	above 10 000	above 30 000	Yes	Yes

类型I：频发故障和非频发故障都是非频发故障曲线
 类型IV：频发故障和非频发故障都是频发故障曲线

Dry Type Transformer
 Mechanical Damage Curve for Frequent/Infrequent Faults
 ANSI/IEEE C57.12.59-2001 Standard

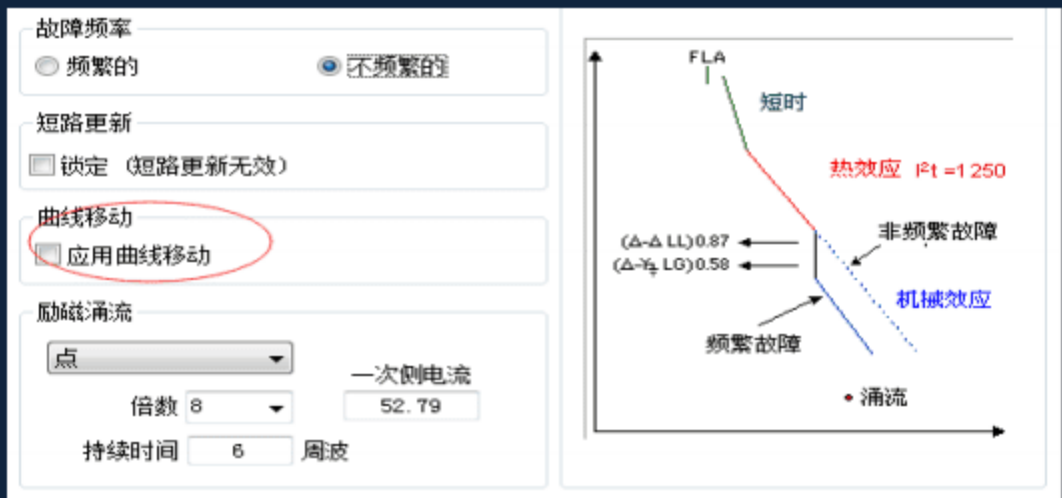
Transformer Min kVA			Cumulative Mechanical Damage Curve Plot		
Category	Single Phase	3-Phase	Frequent Faults	Infrequent Faults	Notes
I	5-500	15-500	No	No	
II	501-1667	501-5000	Yes	No	
III	1668-10 000	5001-30 000	Yes	No	1
IV	above 10 000	above 30 000	Yes	No	1, 2

类型I：频发故障和非频发故障都是非频发故障曲线

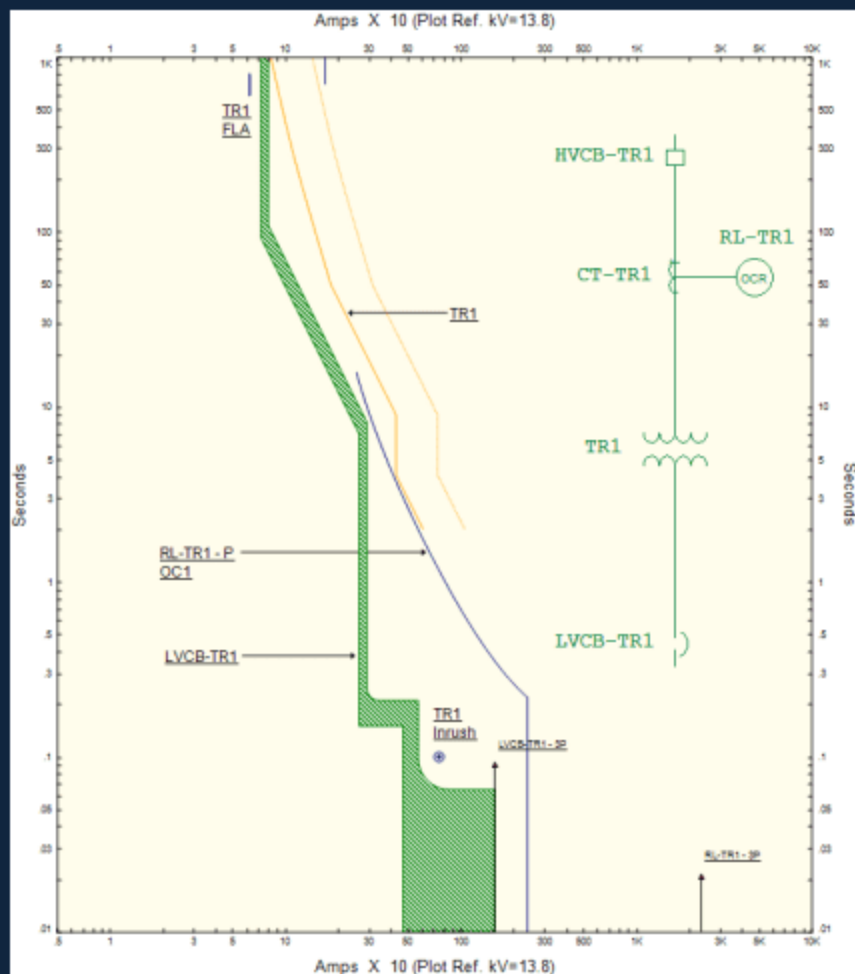
变压器曲线移动因子

(IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. IA-22)

Transformer Connection	Winding Connections		Factor
	Source and Protection on	Fault on	
Shell, Core 3-Limb, Core 4-Limb, Core 5-Limb, (3) 1-Phase	Delta	Delta	0.87
	Delta	Wye Solid Grounded	0.58
Core, 3 Limb	Wye Open	Wye Solid Grounded	0.67



Protective system	Winding and/or power system grounded neutral grounded		Winding and/or power system neutral ungrounded	
	Up to 10 MVA	Above 10 MVA	Up to 10 MVA	Above 10 MVA
Differential	-	√	-	√
Time over current	√	√	√	√
Instantaneous restricted ground fault	√	√	-	-
Time delayed ground fault	√	√	-	-
Gas detection		√	-	√
Over excitation	-	√	√	√
Overheating	-	√	-	√



● Standards & References

- National Electric Code 2011 Edition
- IEEE Std 242-1986; IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems
- C37.91-2000; IEEE Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers
- C57.12.59; IEEE Guide for Dry-Type Transformer Through-Fault Current Duration.
- C57.109-1985; IEEE Guide for Liquid-Immersed Transformer Through-Fault-Current Duration
- APPLIED PROTECTIVE RELAYING; J.L. Blackburn; Westinghouse Electric Corp; 1976
- PROTECTIVE RELAYING, PRINCIPLES AND APPLICATIONS; J.L. Blackburn; Marcel Dekker, Inc; 1987

接地保护

● 基本概念

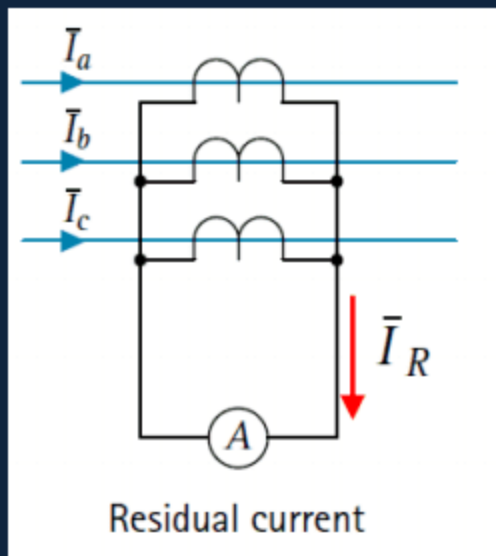
● 剩余电流 (I_R)或零序电流 ($3I_0$)

- $I_R = 3I_0 = I_a + I_b + I_c$

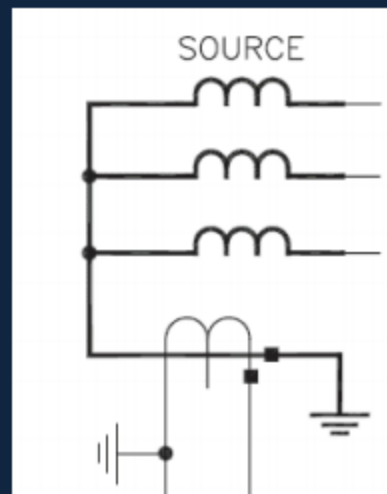
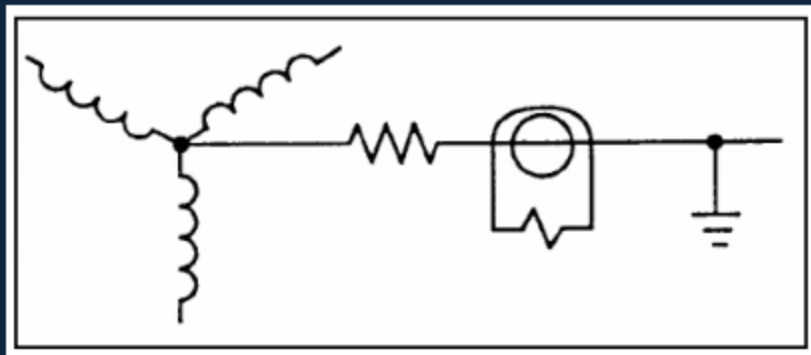
(矢量和)

- 平衡状态 : $I_a = I_b = I_c$, $I_R = 3I_0 = 0$

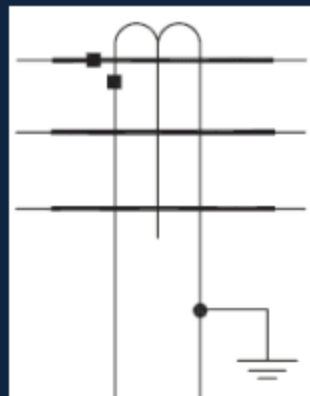
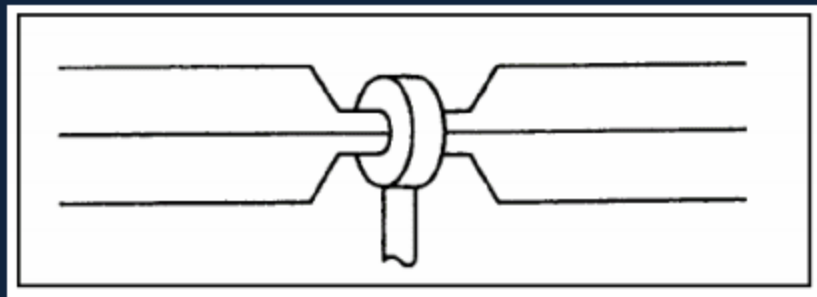
- 不平衡状态 : $I_a \neq I_b \neq I_c$, $I_R = 3I_0 > 0$



- 直接接地 (50G/51G)
- 接地相电流(3I0)直接通过安装在接地导体上的CT检测

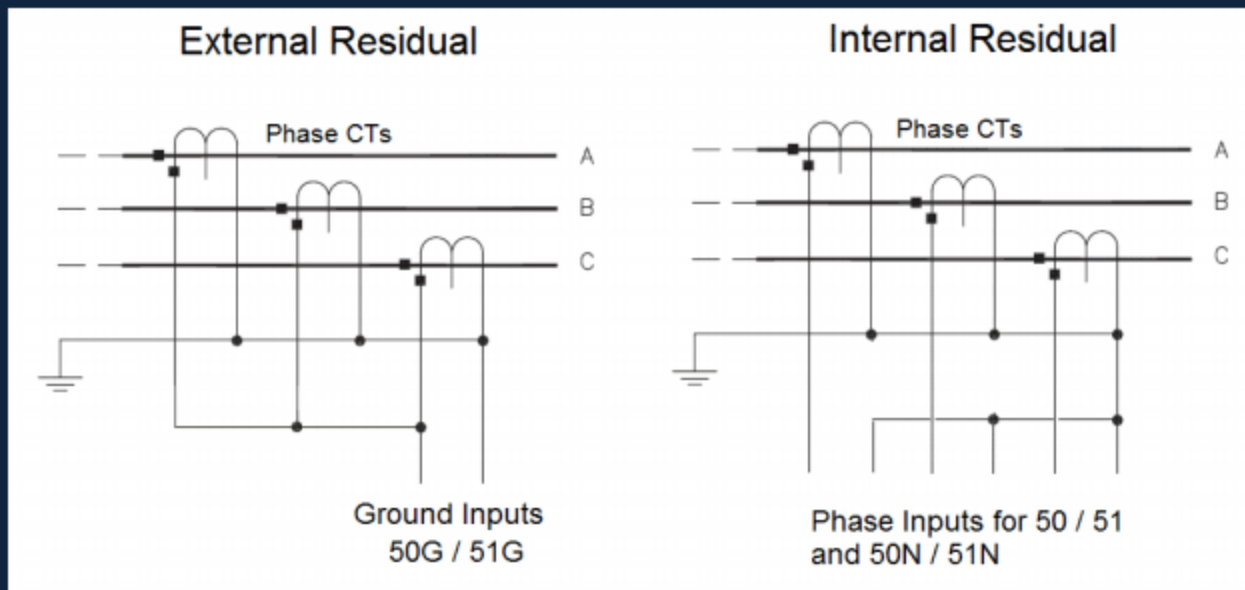


- 平衡通量
(磁平衡或零序CT)
 - 接地相电流 (I_R) 通过环形CT安装在三相导体上

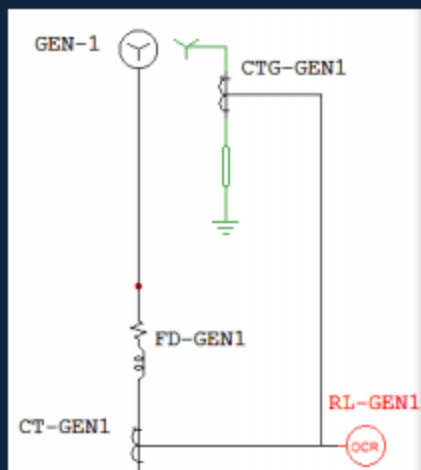


● 剩余电流

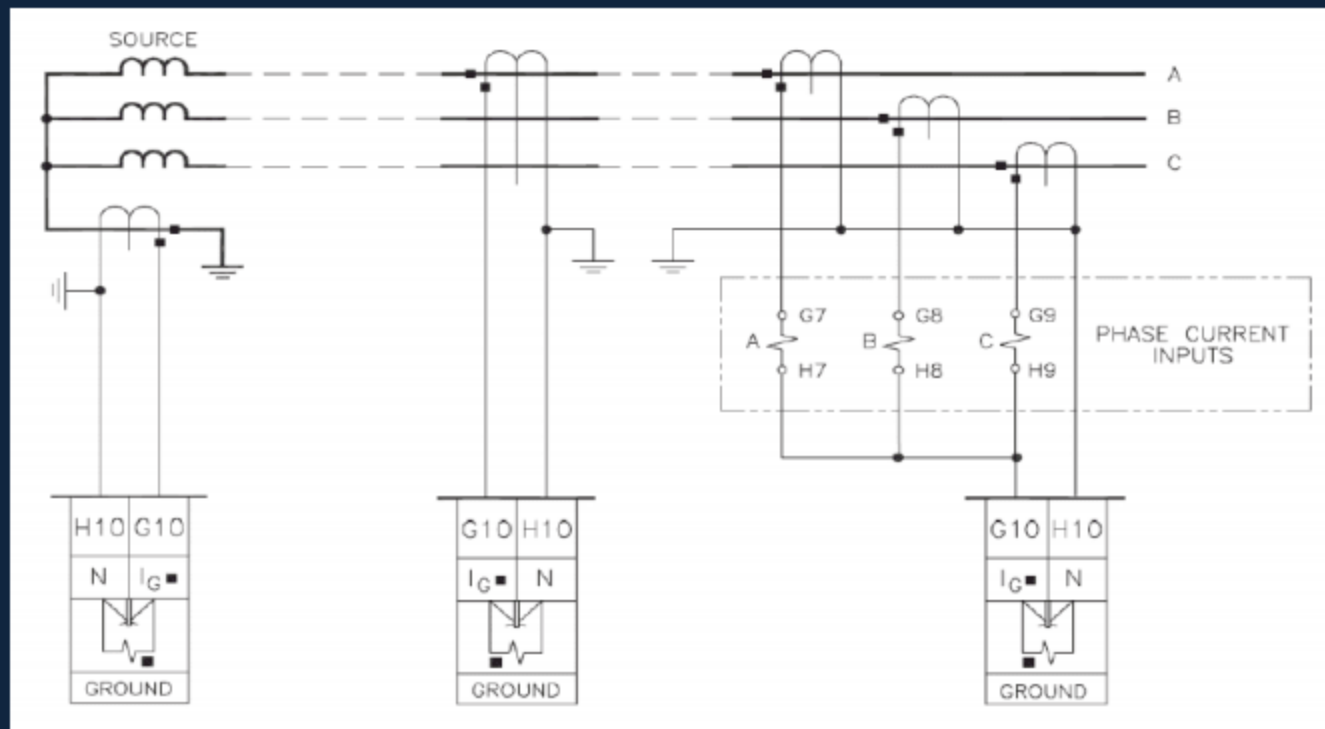
- 通过相CT检测接地相电流产生的不平衡电流
 - 外部计算剩余电流
 - 内部计算剩余电流



- 继电器接地功能(50/51G)
 - 外部计算测量剩余电流(2输入端)
 - 表明继电器有一个接地CT
- 继电器中性线功能(50/51N)
 - 继电器内部计算测量剩余电流(6个输入端)
 - 表明继电器内部计算来自相CT的剩余电流(3I0)



Info	Input	Output	OCR	TCC kA	Model Info	Checker	Remarks	Comment
GE Multilin 750/760								
Current ☐ Current Summar								
Terminal	ID	Type	Prim. Amp	Sec. Amp				
Phase	CT-GEN1	Phase	300	5				
Ground	CT-GEN1	Phase	300	5				
Sen. Ground	CTG-GEN1	Ground	50	5				

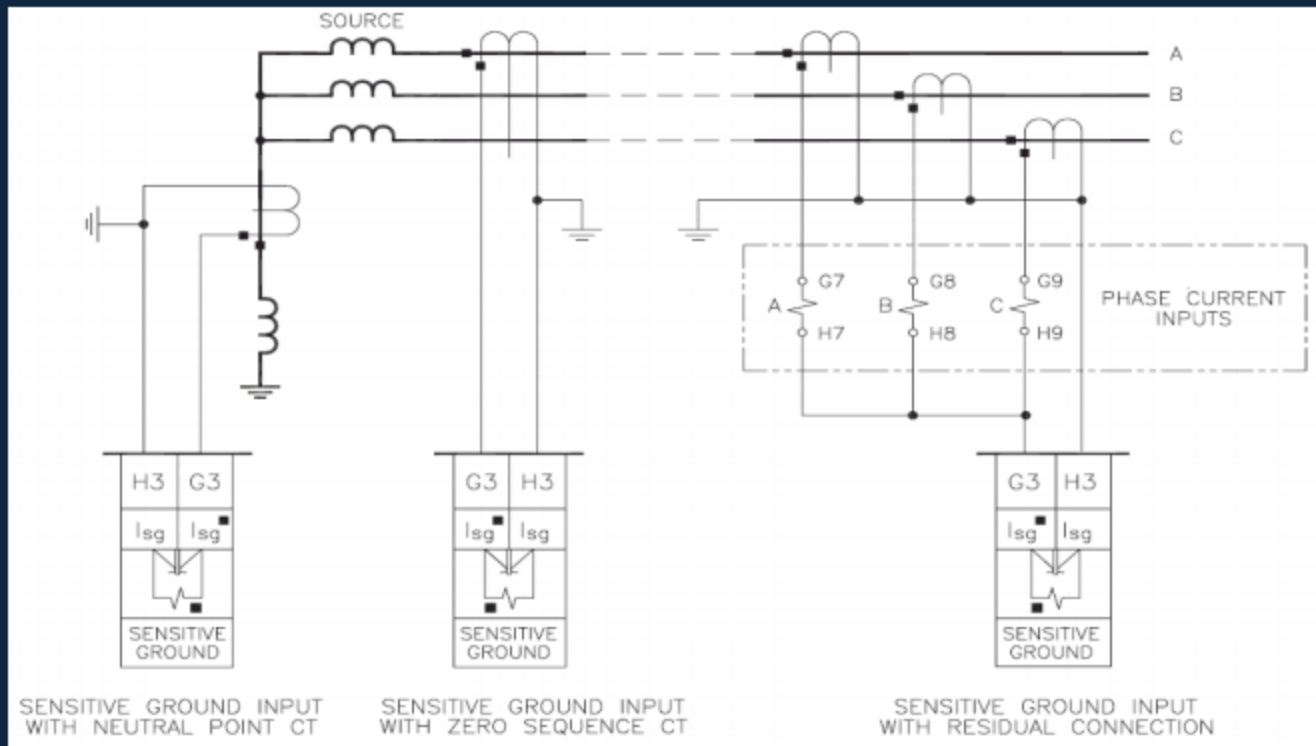


接地电流输入用于起偏

接地电流输入使用零序
CT

接地电流输入使用相连接方式

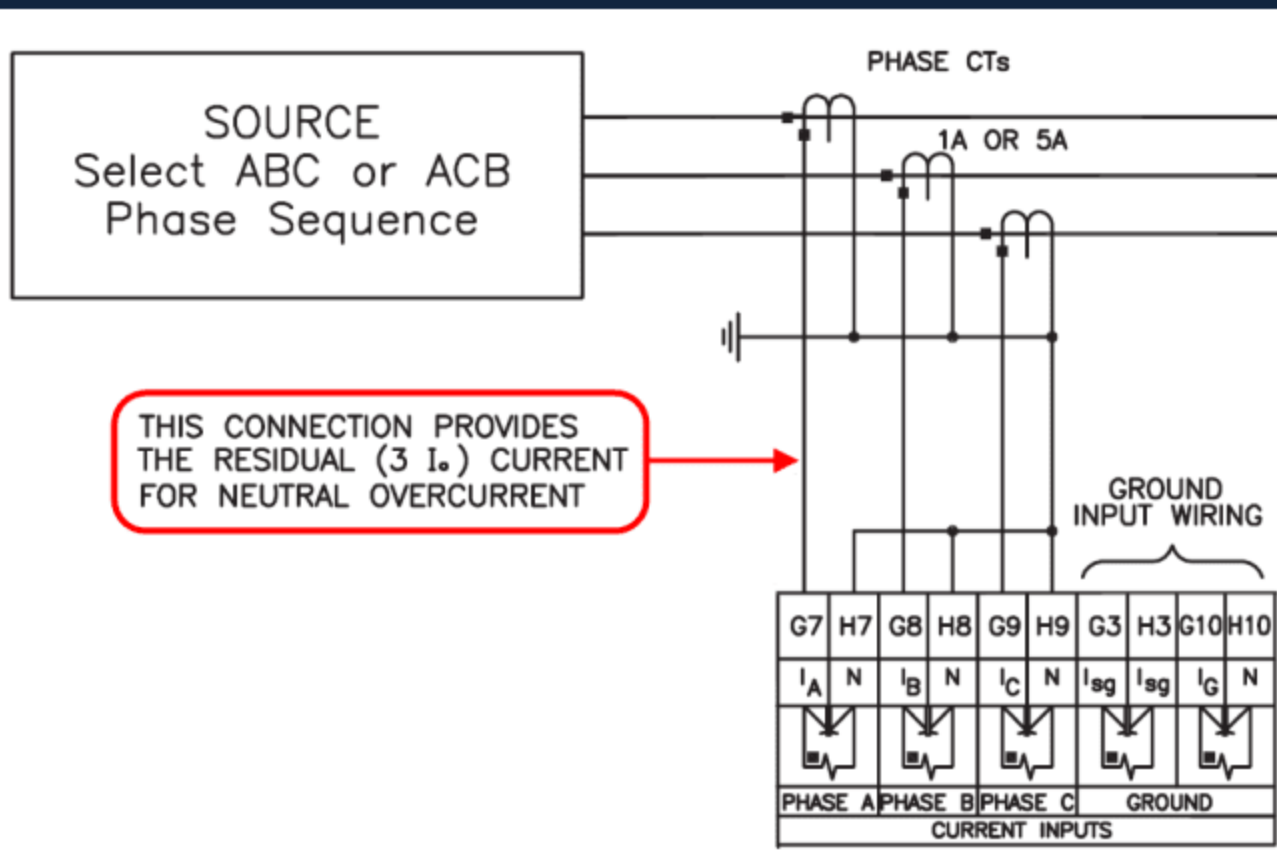
继电器-Sen-G灵敏接地输入



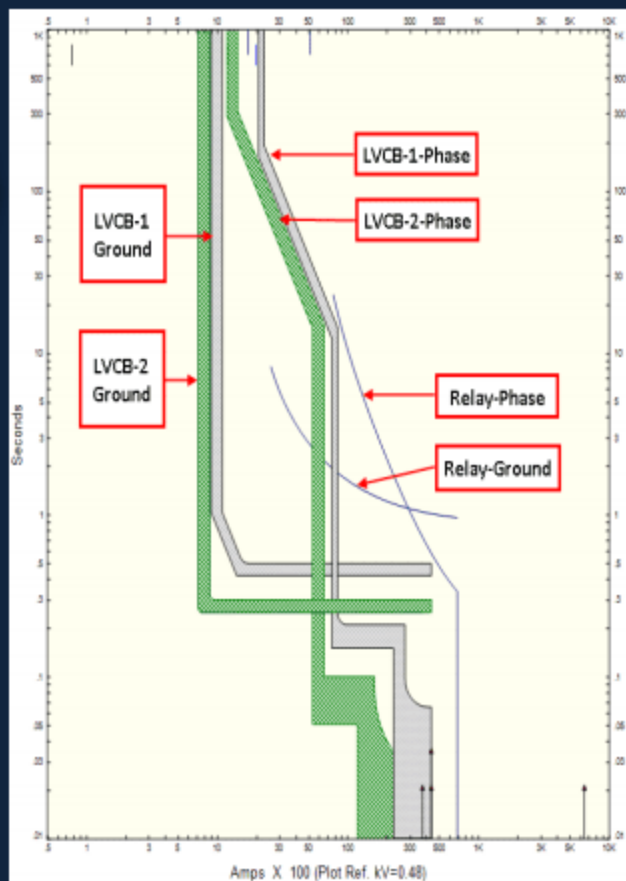
接地电流输入用于中性
点CT

接地电流输入使用零序
CT

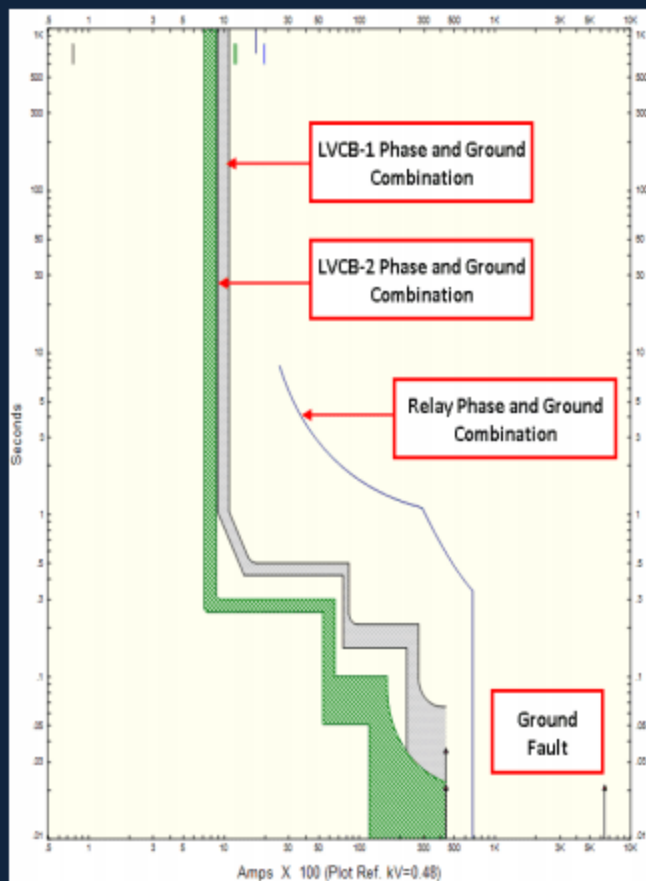
接地电流输入使用相连
接方式



单独的相和接地故障曲线



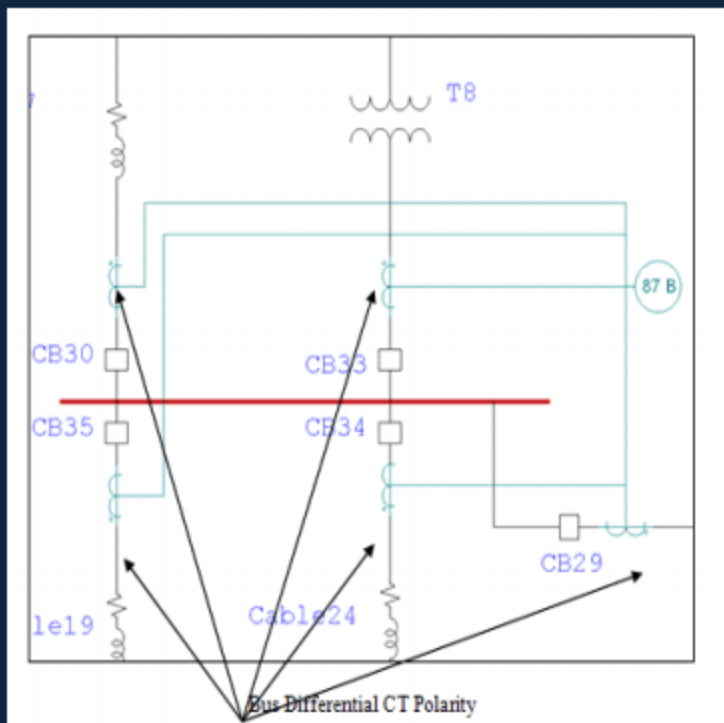
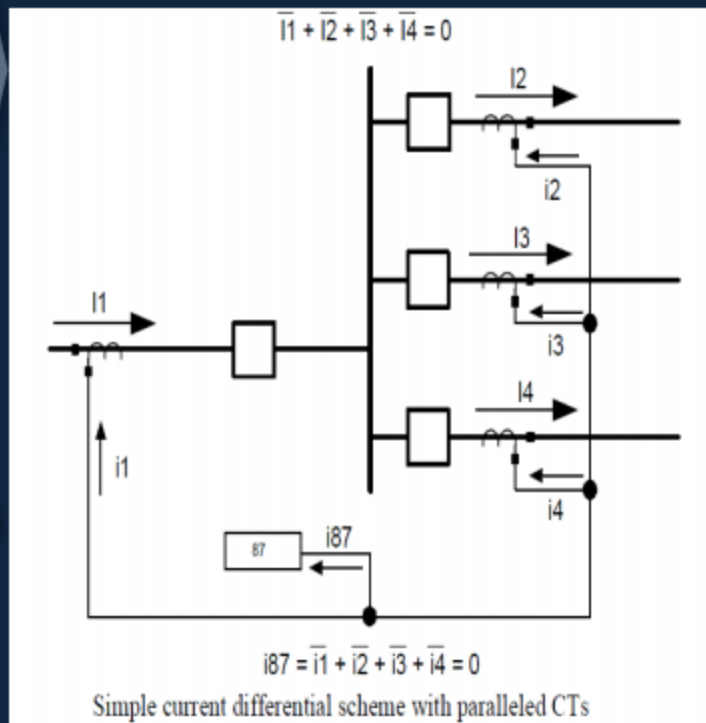
合并之后的相和接地故障曲线



母线差动保护

● 母线差动保护

- 高阻抗差动
- 百分率差动



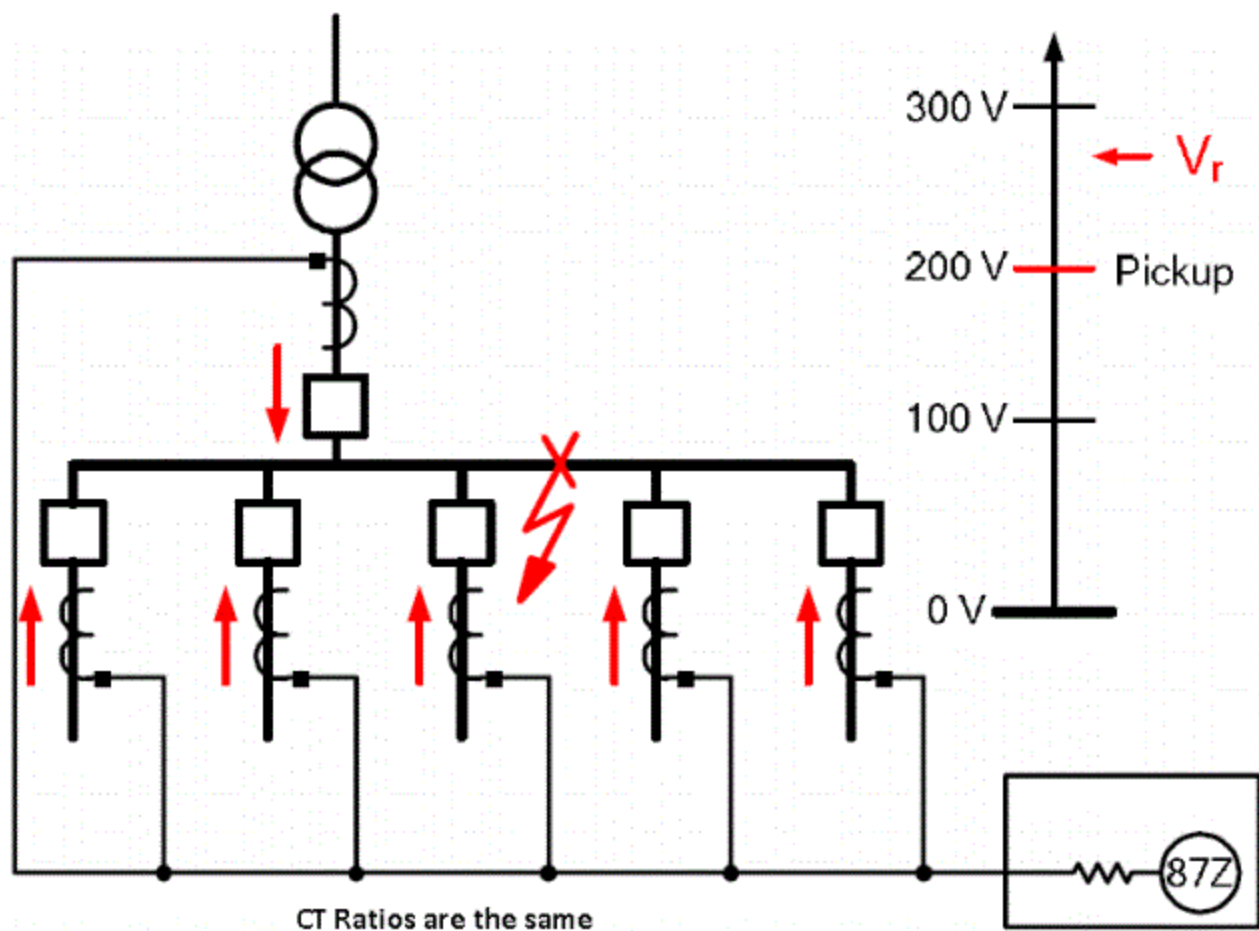
原理：

在外部短路时，若电流互感器无误差，则非故障支路二次电流之和与故障支路二次电流大小相等、方向相反，非故障支路二次电流都流入故障支路CT的二次绕组，外部故障最严重的情况是，故障支路的CT出现极度饱和的情况，其励磁阻抗近似为零，一次电流全部流入励磁支路。由于电压继电器的内阻很高，非故障支路二次电流都流入故障支路CT的二次绕组，差动继电器中电流很小，不动作，在内部短路时所有引出线电流都流入母线，所有支路的二次电流都流向电压继电器，由于内阻很高($2.5 \sim 7.5K\Omega$)，电压继电器端出现高电压，于是电压继电器动作

● 母线高阻抗差动特点

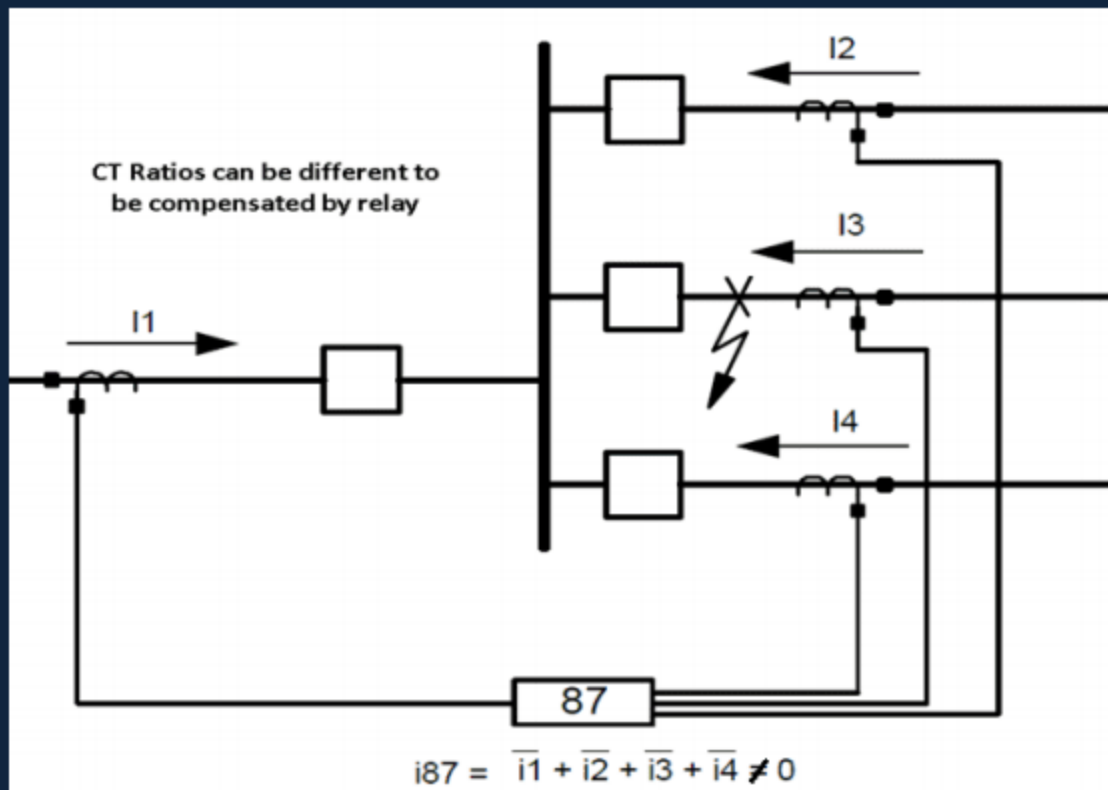
- 继电器连接所有支路并行CT
- CT必须有同样的变比，CT二次侧电阻和漏抗要小
- 当通过连接二次侧所有电流流过继电器内阻，导致电压继电器电压越限，发生过电压动作
- 在一定程度上可防止母线发生外部短路CT饱和时母线保护的误动作

母线高阻抗母线差动



● 百分率差动

- 继电器通过CT变比补偿消除匹配CT的需求



保护配合自动评估 (ETAP14)

- 基本功能
 - 自动化和智能化检测保护区域
 - 自动保护配合评估
 - 根据规则制定的评估标准
 - 美国国家电气法规
 - 评估个故障电流类型设置
 - 表格和图形化显示评估结果
 - 图形快照和评估报告

- 智能化保护区监测

- 电源(发电机)
- 母线(单段、多段、母联)
- 负荷(同步/异步电机、静态、等效负荷)
- 负荷区域(电源与支路、连续多个支路、支路与母线、母线与负荷)

● 保护定值规则

- 基于工业系统实践ETAP默认标准规则
- 基于标准化或用户自定义方式的可调节评估标准
- NEC标准过负荷保护规则

例如：

- NEC 240.101 高压电缆保护
- NEC 430.32 电机保护
- NEC 450.3 变压器保护

● 保护时间配合规则

- 延时裕度
- 全部或者单个HV/MV断路器开断时间考虑
- 可选择的在主线和母联之间的时间配合考虑

- 保护规则选择
- 评估内容选择
 - 保护定值
 - 保护配合
 - 保护定值&保护配合
- 故障类型选择
 - 相
 - 接地(保护配合)
 - 相和接地
- 设置报告显示评估结果信息

- 表格和图形化评估结果
- 最大通过故障电流显示
- 色彩标注评估结果指示
- 评估结果信息报警显示
- 修改保护定值/延时, 评估结果自动更新
- 默认IEC和ANSI/NEC保护规则书查看

- Star 自动评估
 - 大幅减少保护配合评估时间
 - 容易地排除大范围的保护设置故障
 - 继保工程师的利器
 - 保护配合指导和监管的完美工具

