

电力系统中的电能质量问题及 典型治理方案

南方电网广东珠海金湾供电局
南方海上风电先进电源实验室



1

电力系统中的电能质量问题概述

2

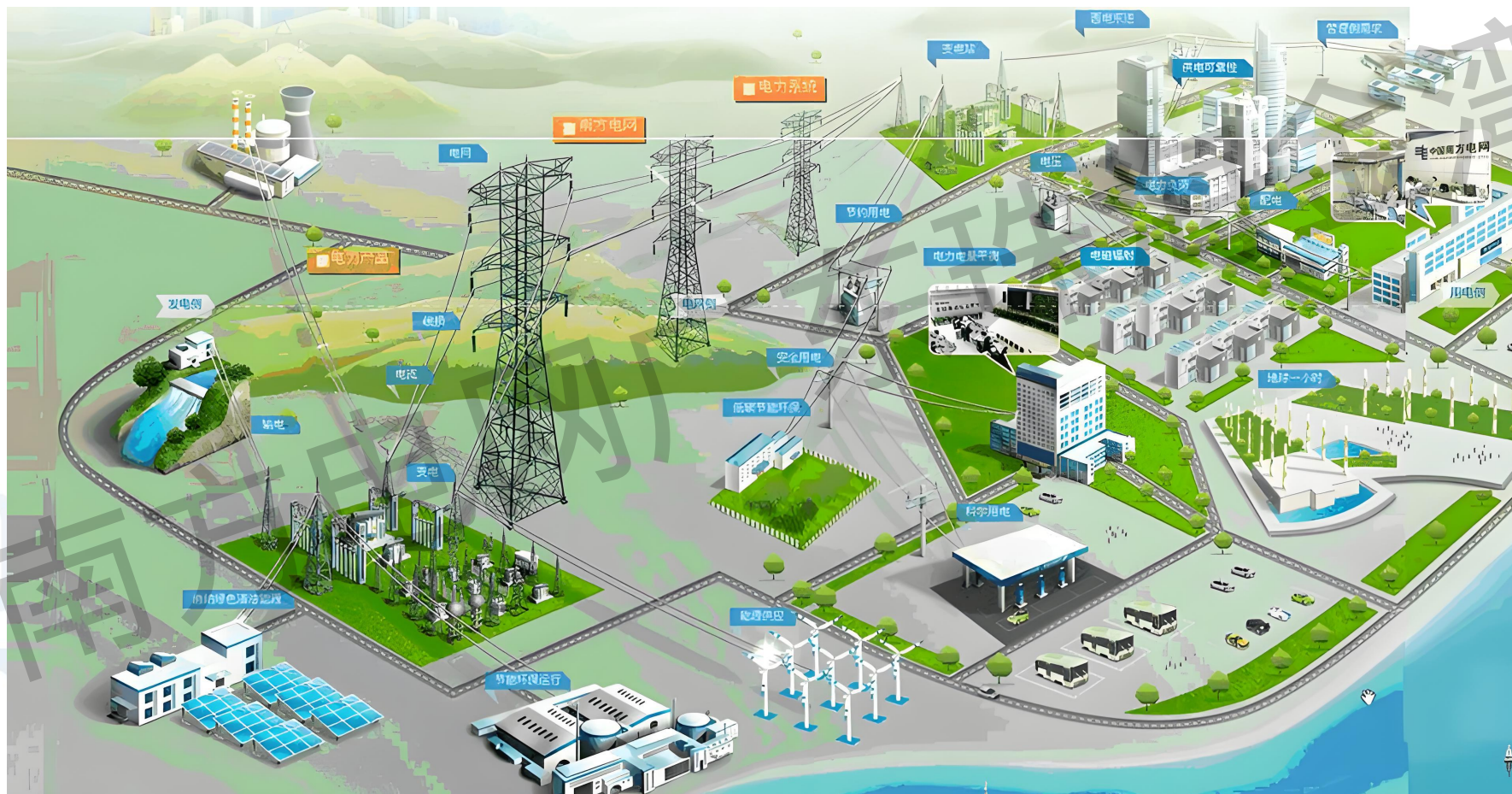
各种电能质量问题的典型治理措施

3

电压暂降治理案例介绍

第一章：电力系统中的电能质量问题概述

1、什么是电能质量问题



电能质量问题的本质是**电磁兼容**问题，提出电磁兼容概念的目的在于要在电力系统中构建一个“**电气和谐社会**”。

中国电力系统的规矩是先把供电质量定为标准，然后针对这个标准，对用户侧的设备提出电磁兼容“**抗扰度**”和“**发射**”的要求。

2、都有哪些电能质量问题

2.1、供电质量问题，也就是电压质量问题（规定了用户设备的抗扰度）

《GB/T 12325-2008 电能质量 供电电压偏差》、《GB/T 15945-2008 电能质量 电力系统频率偏差》、《GB/T 15543-2008 电能质量 三相电压不平衡度》、《GB/T 12326-2008 电能质量 电压波动和闪变》、《GB/T 14549-1993 电能质量 公用电网谐波》、《GB/T 24337-2009 电能质量 公用电网间谐波》、《GB/T 30137-2013 电能质量 电压暂降与短时中断》、《GB/T 18481-2001 电能质量 暂时过电压和瞬态过电压》

2.2、用电质量问题，也就是电流质量问题（规定了用户设备的发射）

《GB/T 14549-1993 电能质量 公用电网谐波》、《GB/T 24337-2009 电能质量 公用电网间谐波》、《GB/T 40427-2021 电力系统电压和无功电力技术导则》、《全国供用电规则》

3、我国现行法律对电能质量问题都有哪些规定

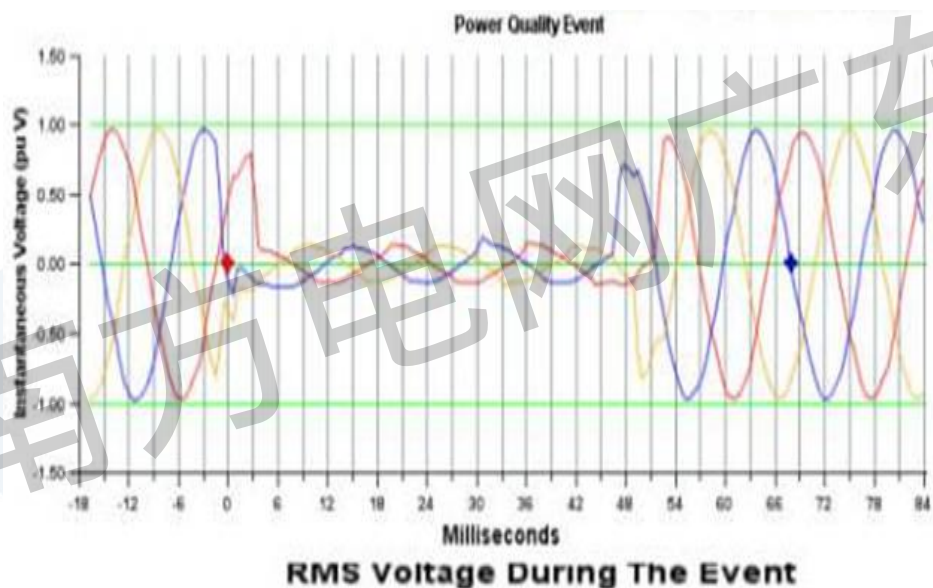
1、电力法第二十八条：供电企业应当保证供给用户的**供电质量符合国家标准**。对公用供电设施引起的供电质量问题，应当及时处理。用户对供电质量有特殊要求的，供电企业应当根据其必要性和**电网的可能**，提供相应的电力。

2、民法典第三编：合同；第二分编：典型合同：第十章：供用电、水、气、热力合同：供电人应当按照国家规定的**供电质量标准和约定**安全供电。供电人未按照国家规定的供电质量标准和约定安全供电，造成用电人损失的，应当**承担赔偿责任**。

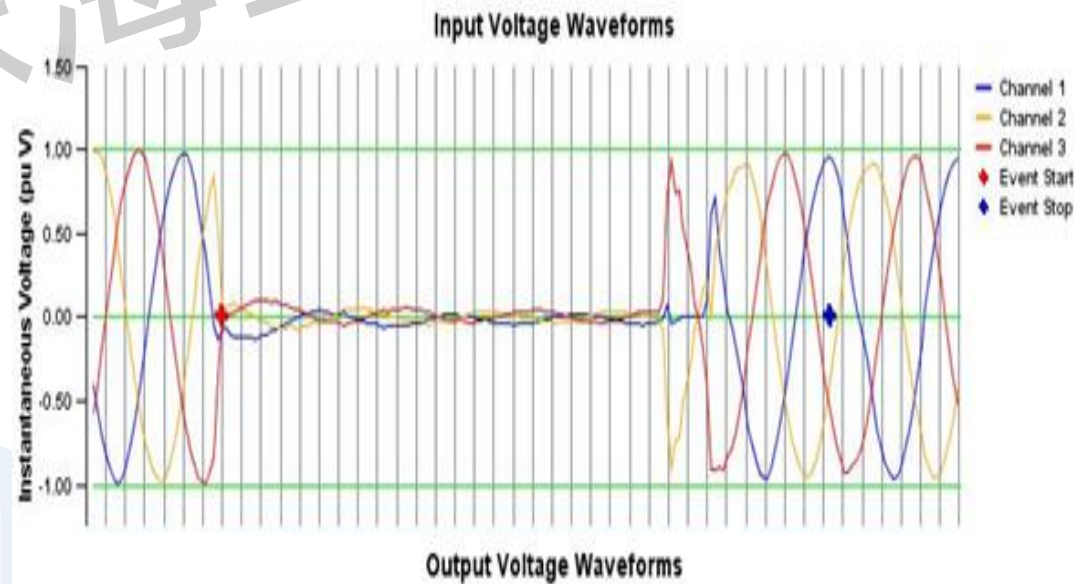
3、供用电合同解读：（一）电力既是生产生活中的必需品，**又是特殊商品**，法律必须对其予以**特别的规制**；（二）因此，供用电合同是**定型化、格式化合同**，条款由供方单位拟定，用方**只能决定是否同意订立合同，而不能决定合同内容**；（三）如发生供电质量偏差，供方**只按偏差电量的部分进行赔偿**，不赔偿由于供电质量偏差引起的生产损失。

1、电压质量：电压的暂降与短时中断定义与波形特征

国标中的定义：电压暂降是指电力系统中某点工频电压方均根值突然降低至 $0.1\text{p.u.} \sim 0.9\text{p.u.}$ ，并在短暂持续 $10\text{ms} \sim 1\text{min}$ 后恢复正常的现象。电压短时中断是电压方均根值突然降至 0.1p.u. 以下，并短暂持续 $10\text{ms} \sim 1\text{min}$ 后恢复正常的现象



电压暂降的录波



电压短时中断的录波

2、电压质量：电压的暂降与短时中断的成因和危害特征量

■ 大气事件

- 雷电、暴风雨、冰雪
- 空气污染、空气漂浮物

■ 机械性干扰破坏

- 车辆、建筑挂碰，施工，树障
- 蓄意破坏，小动物触碰

■ 电网和设备故障

- 设备老化、破损、制造或施工缺陷

■ 电网事故和误操作

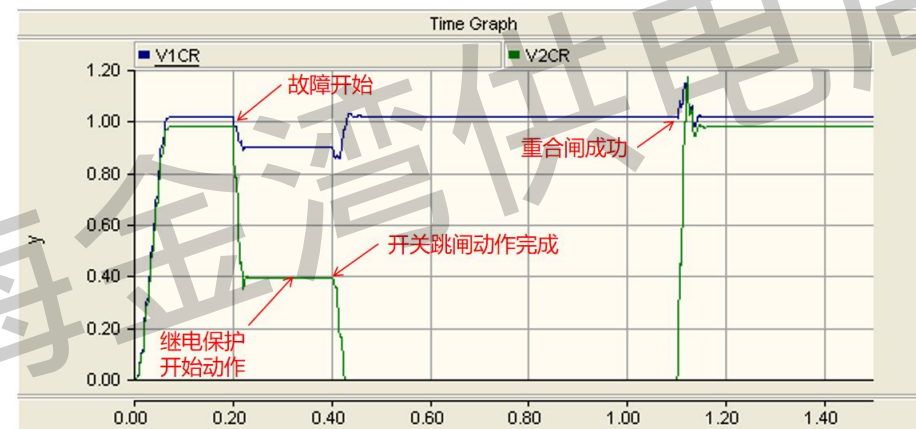
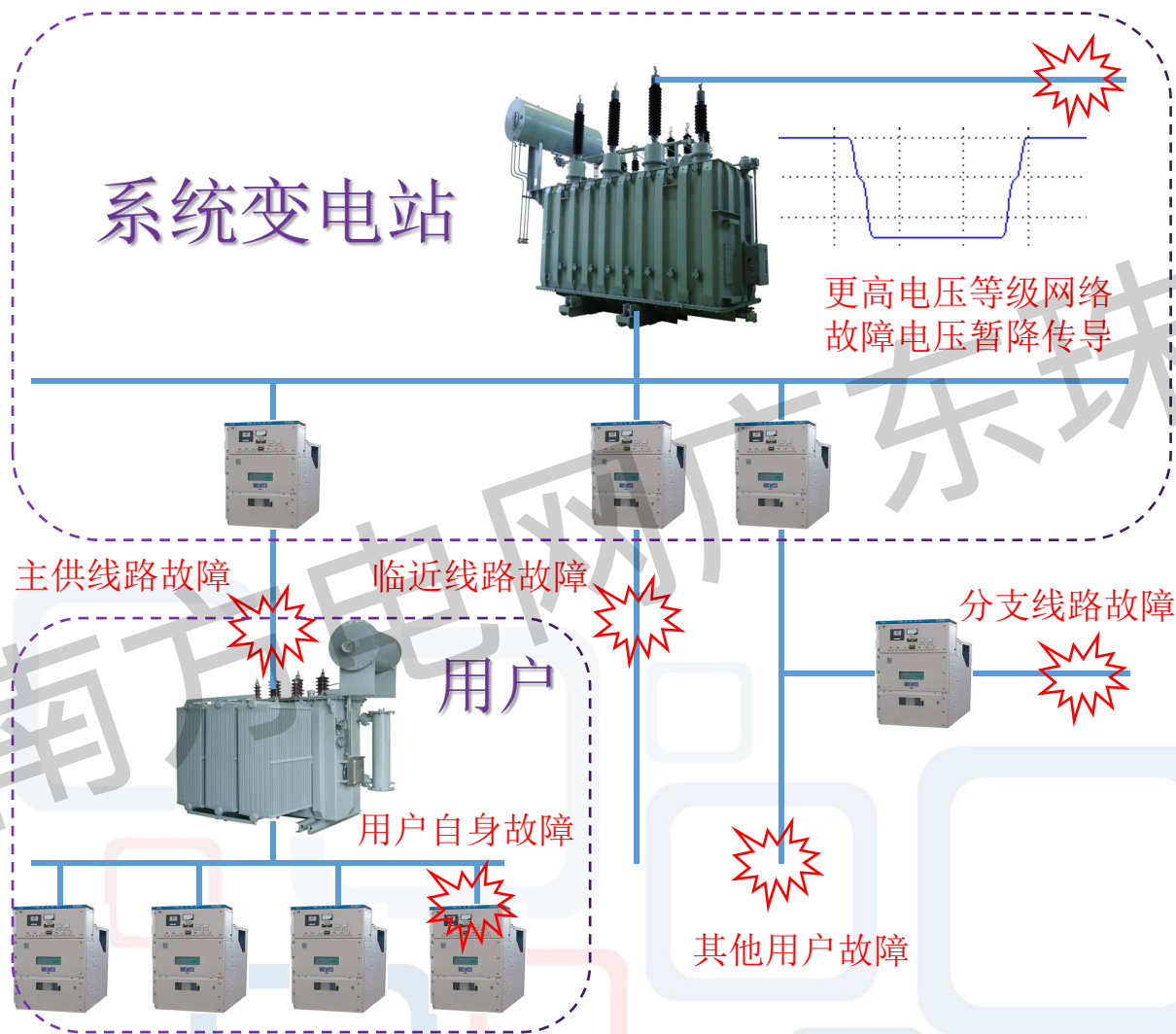
■ 自然灾害

- 洪水、滑坡、地震、雪崩



第二章：各种电能质量问题的典型治理措施

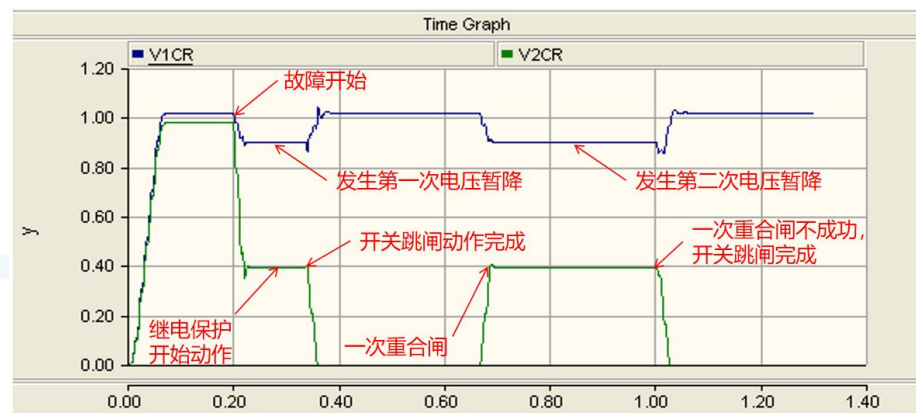
2、电压质量：电压的暂降与短时中断的成因和危害特征量



故障线路的电压有效值曲线

附近正常线路的电压有效值曲线

(一次重合闸成功的电压波形)

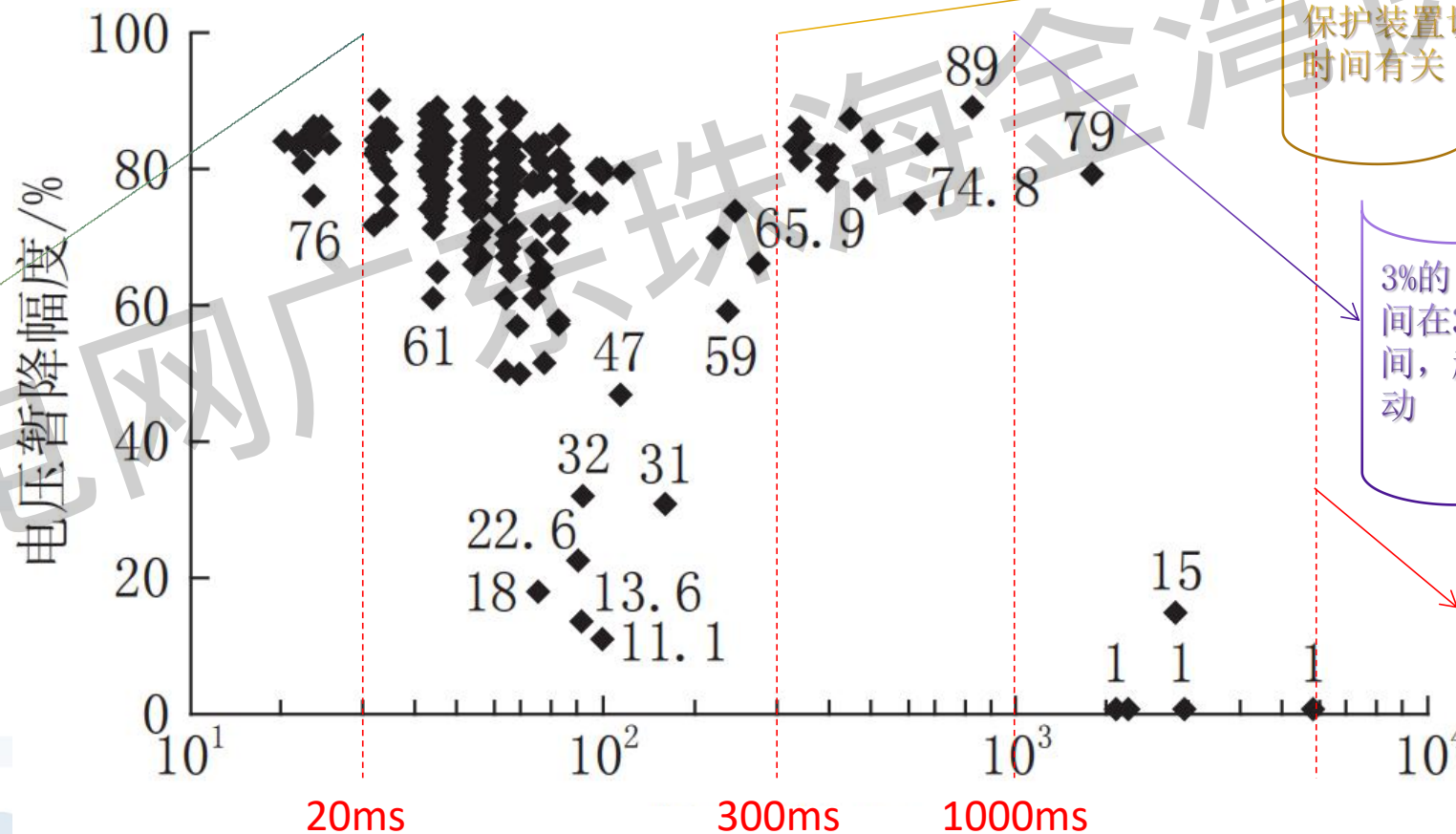


故障线路的电压有效值曲线

附近正常线路的电压有效值曲线

(一次重合闸不成功的电压波形)

2、电压质量：电压的暂降与短时中断的成因和危害特征量



6%的电压暂降持续时间小于20ms，起因是变压器励磁涌流、电容器合闸涌流

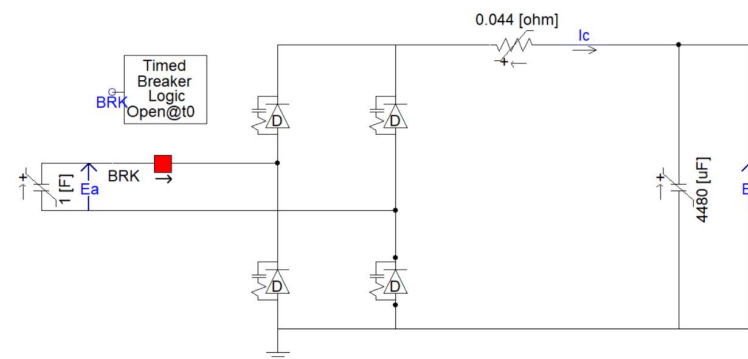
90%的电压暂降持续时间小于300ms，与继电保护装置切除故障的时间有关

3%的电压暂降持续时间在300ms~1000ms之间，起因是大负荷启动

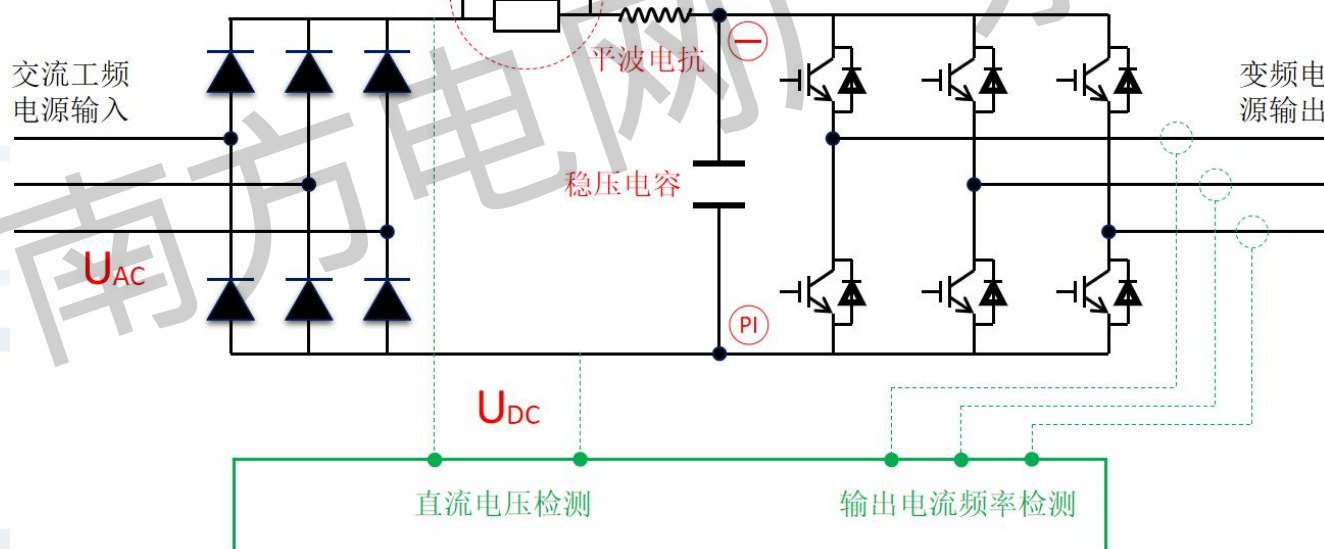
1%的电压短时中断持续时间大于1秒，起因是本级线路故障的重合闸

第二章：各种电能质量问题的典型治理措施

3、电压质量：电压的暂降与短时中断对设备的影响——变频器、伺服控制器

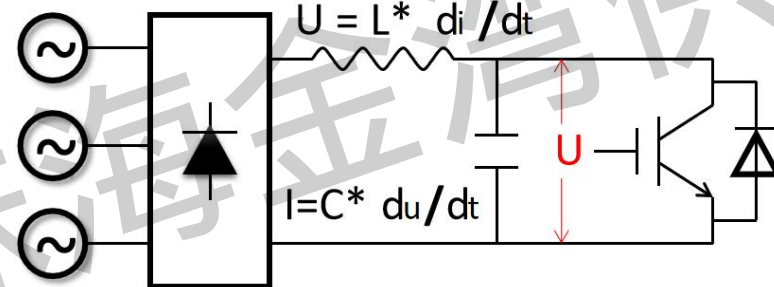
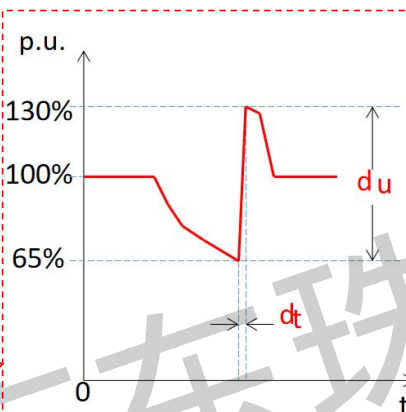


预充电回路

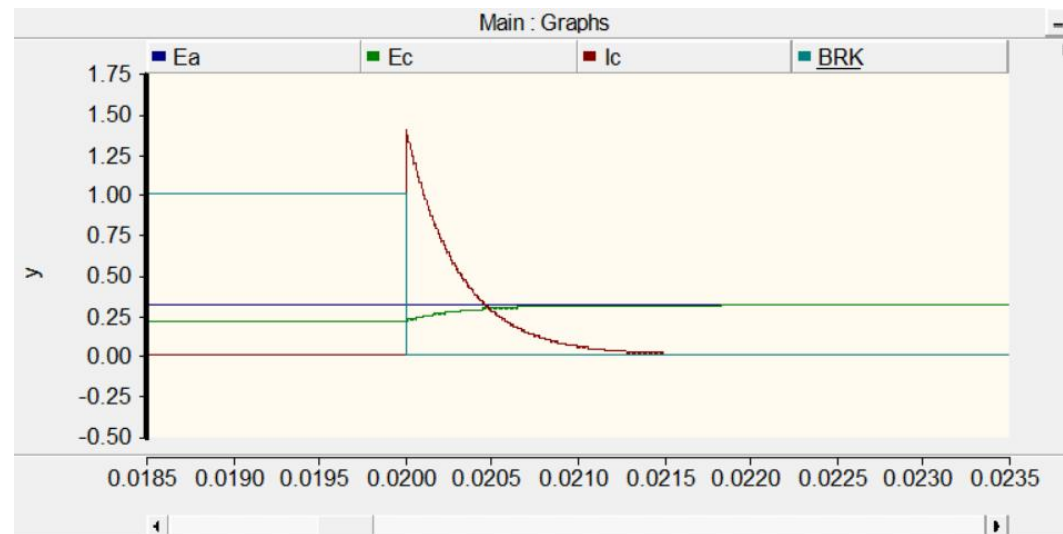


直流电压检测

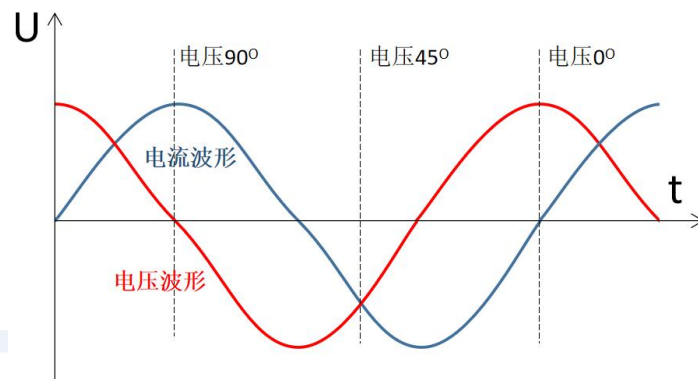
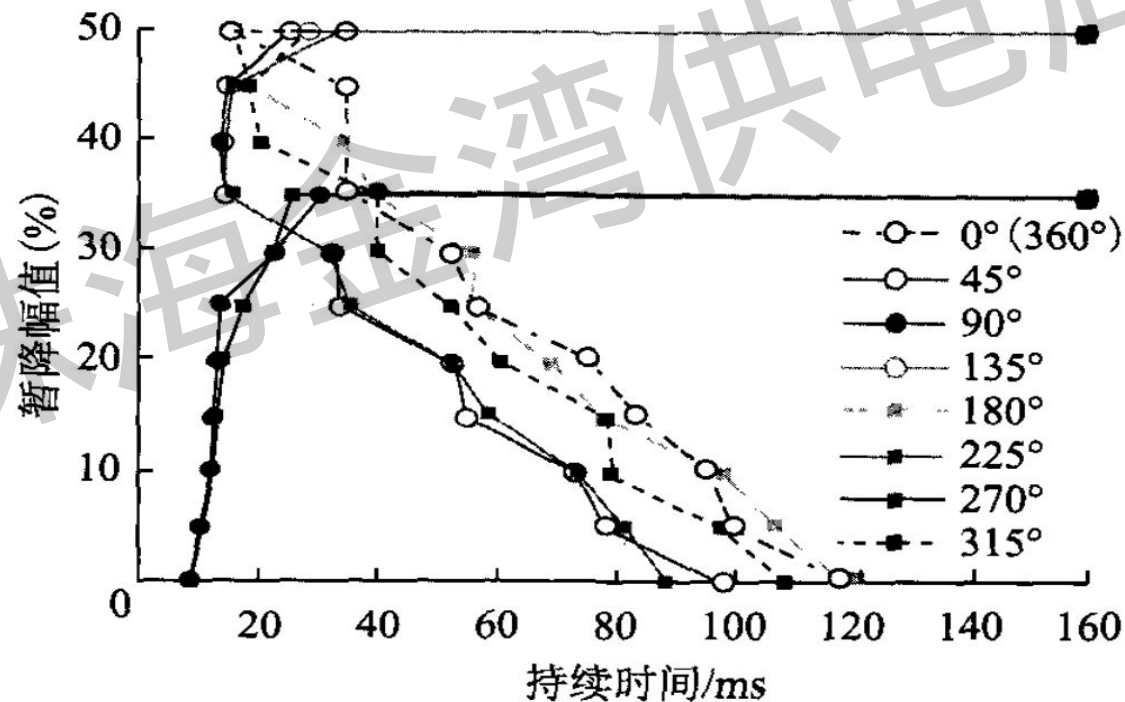
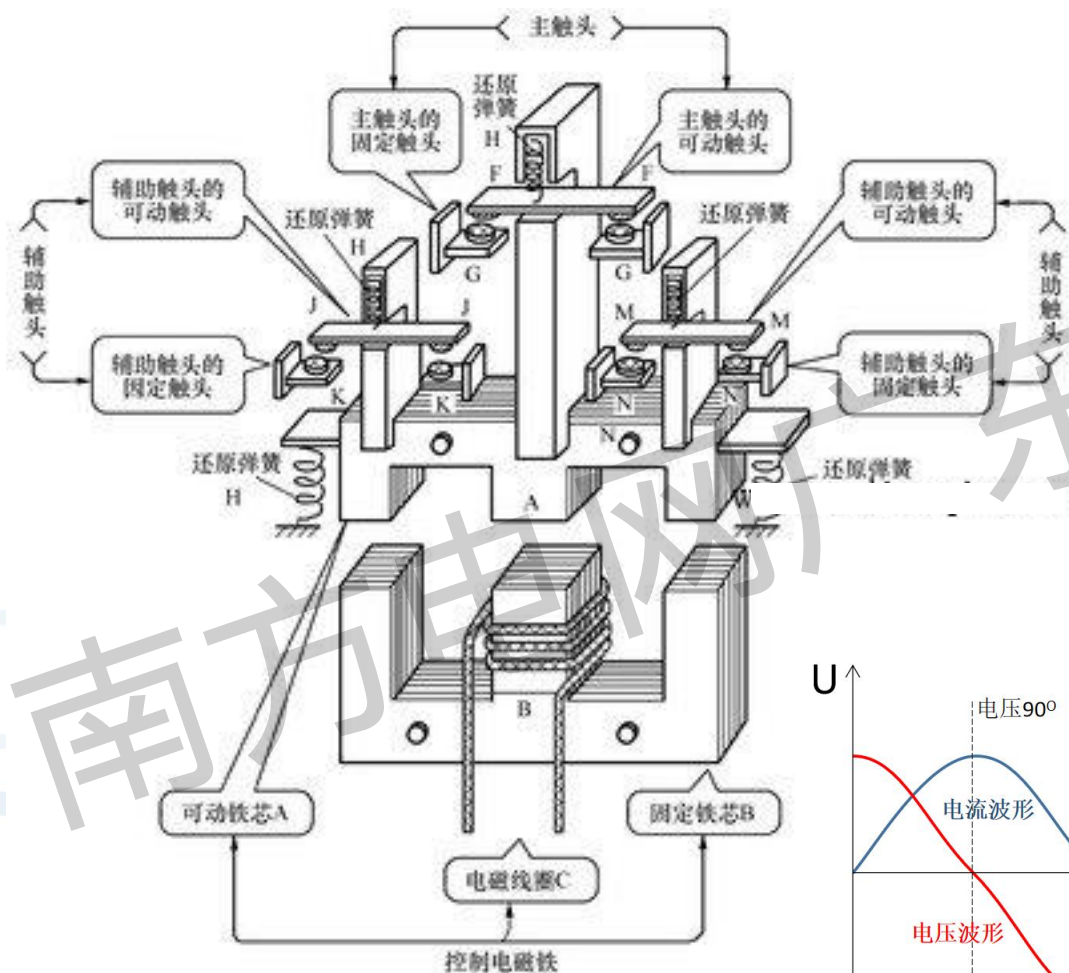
输出电流频率检测



电压暂降不但会使变频器停机，还有可能损坏变频器



4、电压质量：电压的暂降与短时中断对设备的影响——交流接触器

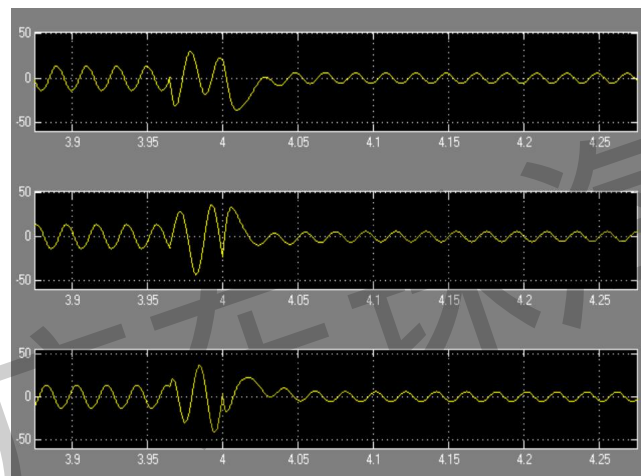


电压暂降的幅值、持续时间和暂降发生的起始点，对交流接触器的电压抗扰度都有非常大的影响。最短2ms，最长120ms就会发生跳闸。

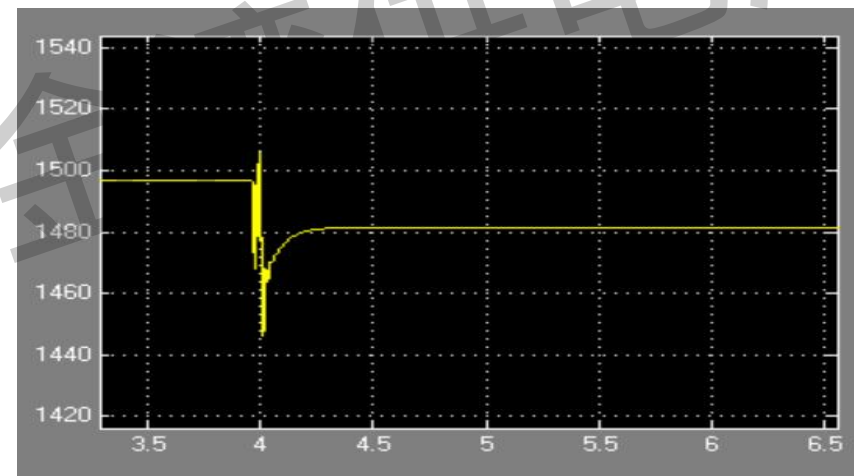
5、电压质量：电压的暂降与短时中断对设备的影响——交流异步电动机



电压



电流

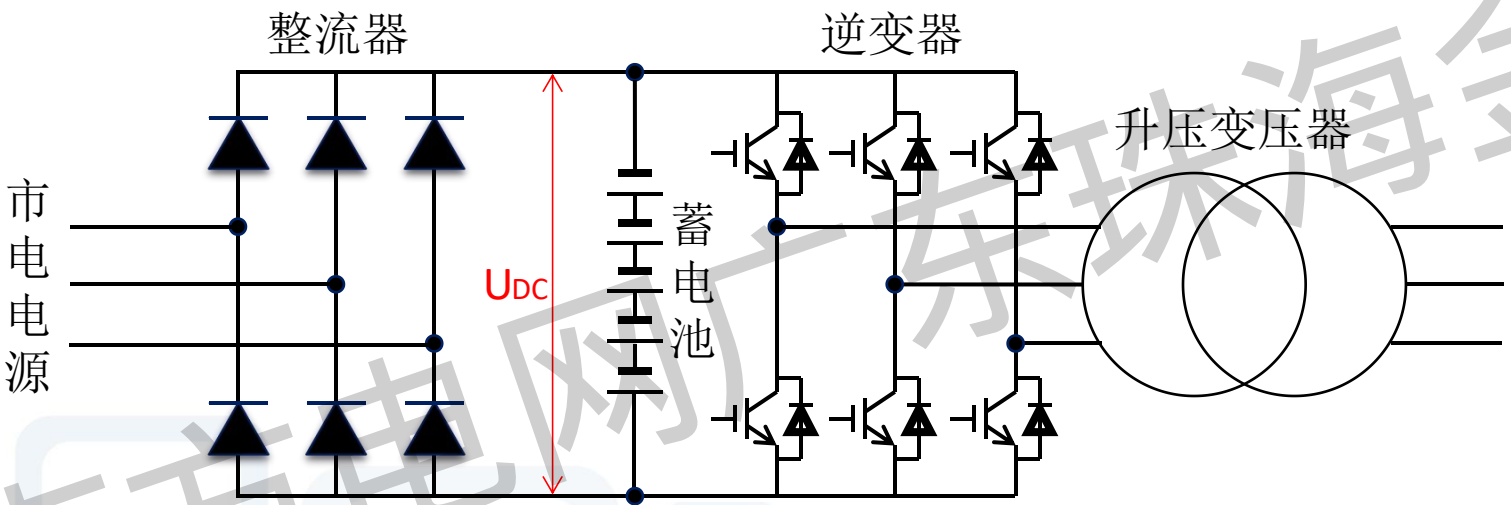


转速

根据交流三相异步电动机转速公式： $N=60F_1/P*(1-S)$ ，其中转差率 $S=E/E_2$ ，当输入电压下降的瞬间，异步电动机因为转子电势 E 未来得及改变，会产生一个反电势，电机电流有几个周波的突然增加，随后电机转速开始降低，并稳定运行。需要特别指出的是，短时的电压降低并不会造成异步电动机停机，但长时间的电压降低，除非带的是平方性负载，否则将引起电动机热保护动作。

1、电压质量：电压的暂降与短时中断的典型治理措施

1.1、不间断电源UPS（工频机）



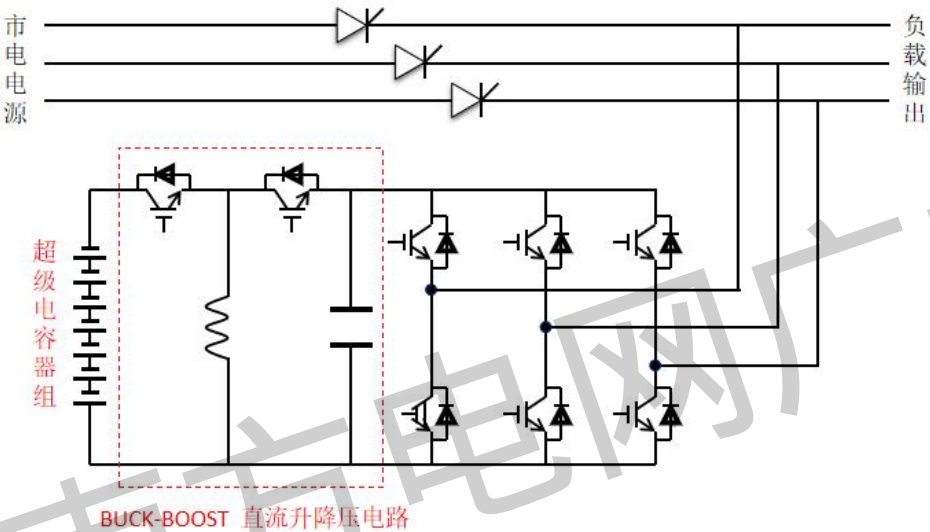
工作原理：市电正常时，通过整流器将交流市电变为直流，再通过逆变器逆变为交流输出，两次转换导致电压损失，再通过升压变压器恢复到额定电压。当市电电源电压发生暂降或中断时，蓄电池的端电压并不会发生改变，所以逆变器的输出电压就不会发生改变。

适用场合	优点	缺点
数据中心、通信服务器、继电保护电源等无冲击性负荷的场所	输出电压精度高、持续供电时间长、技术成熟稳定	体积庞大、能耗高（15%左右）、蓄电池对环境温度有要求且使用寿命一般不超过5年、不适合带电动机等有冲击性的工业负载

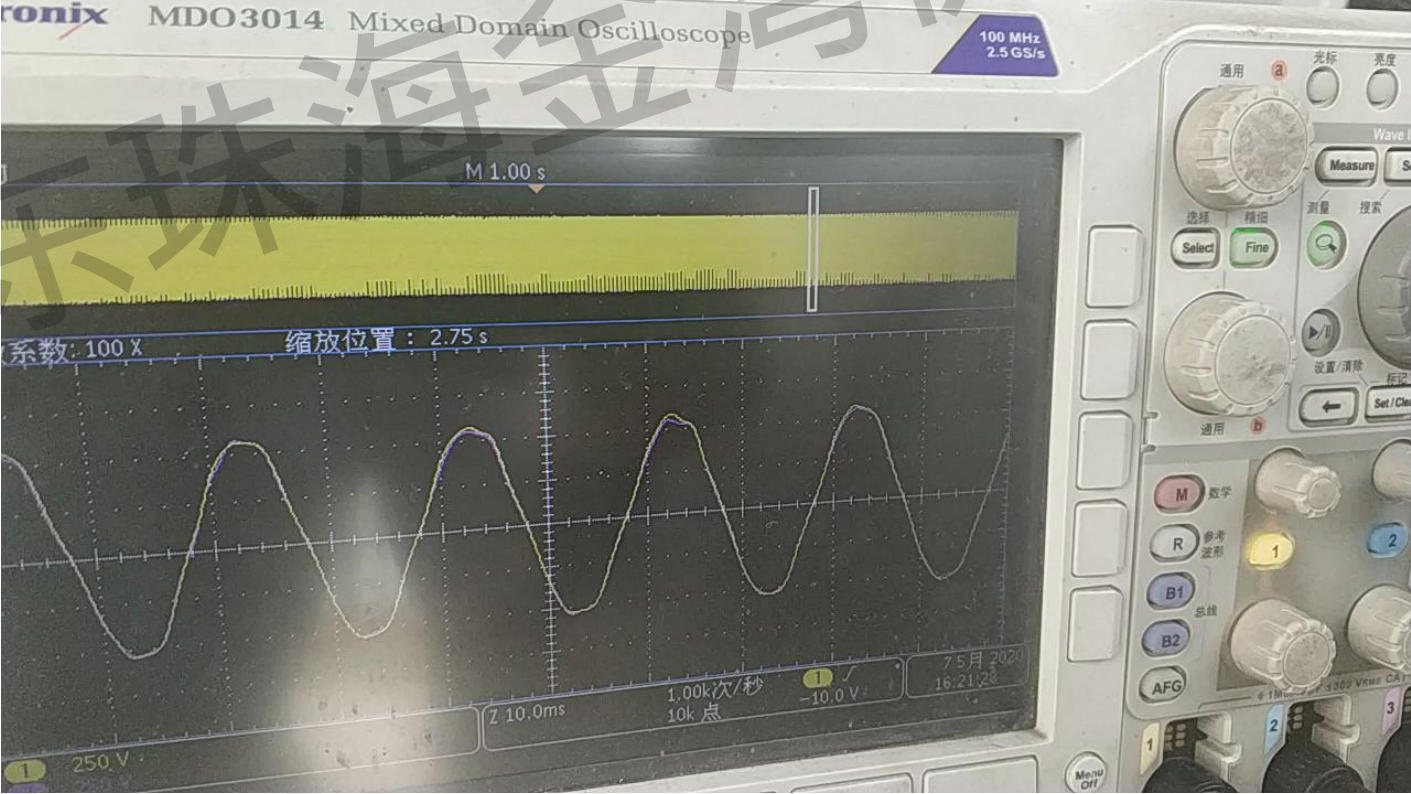
第二章：各种电能质量问题的典型治理措施

1、电压质量：电压的暂降与短时中断的典型治理措施

1.2、动态电压恢复器（DVR）



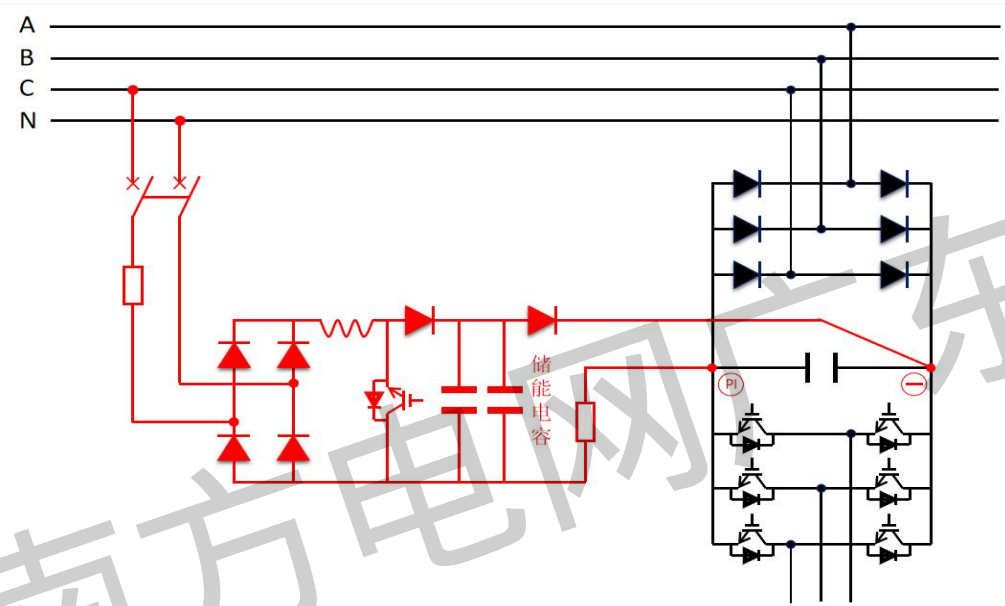
适用场合	优点	缺点
全场合	能耗低、占地面积小、使用寿命长	昂贵



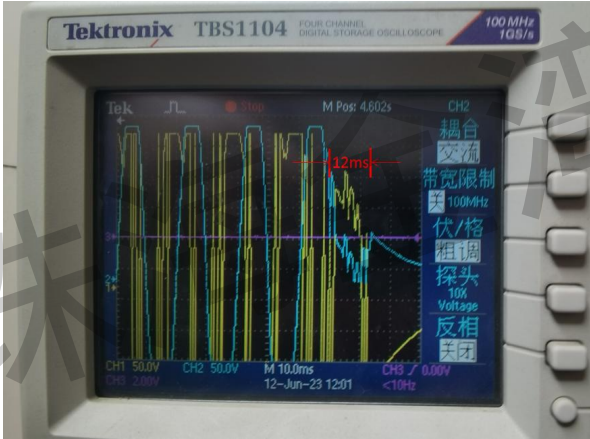
第二章：各种电能质量问题的典型治理措施

1、电压质量：电压的暂降与短时中断的典型治理措施

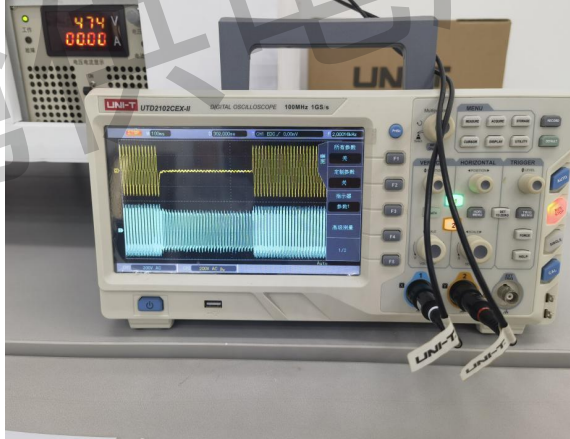
1.3、短时能量源 (STPS)



适用场合	优点	缺点
变频器、伺服控制器等有直流段的设备	价格便宜、可靠性高、环境适应性强	应用范围窄



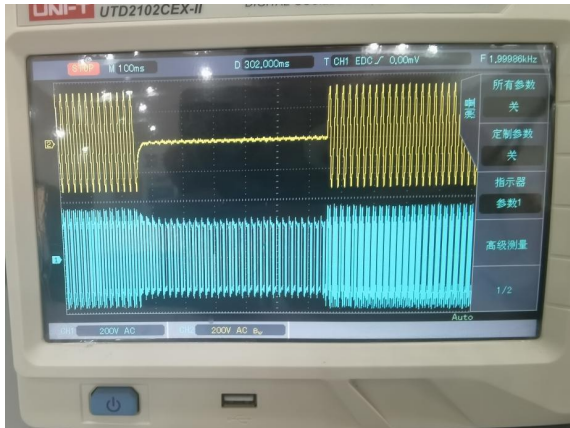
变频器自身的低电压耐受能力



2000次断电补偿试验录波



短时能量源实测补偿时间



2000次断电补偿试验录波

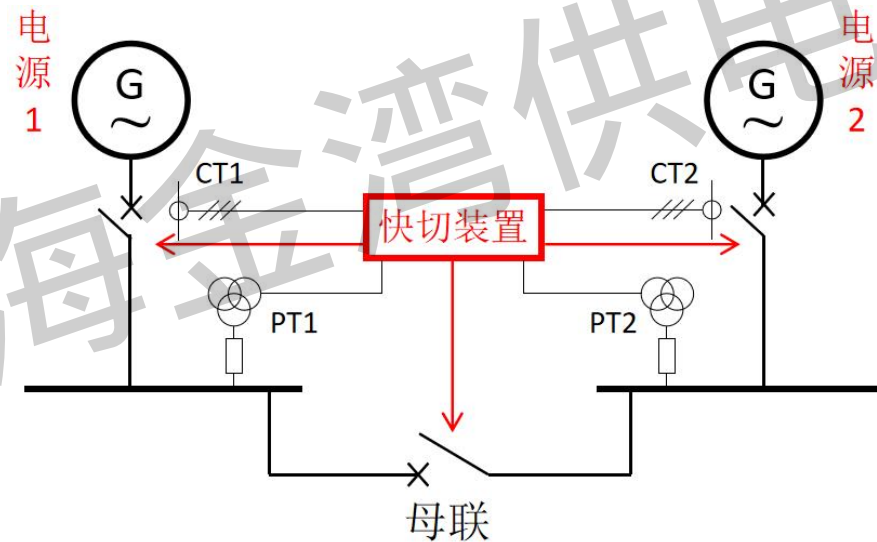
1、电压质量：电压的暂降与短时中断的典型治理措施

1.4、10kV快切系统

备自投装置



快切装置



《DL/T 478-2001 静态继电保护及装置通用技术条件》

备自投动作要满足**4个条件**：

- (1) 工作电源电压小于无压定值；
- (2) 工作电源电流小于无流定值；
- (3) 备用电源电压大于有压定值；
- (4) 无其他闭锁条件。

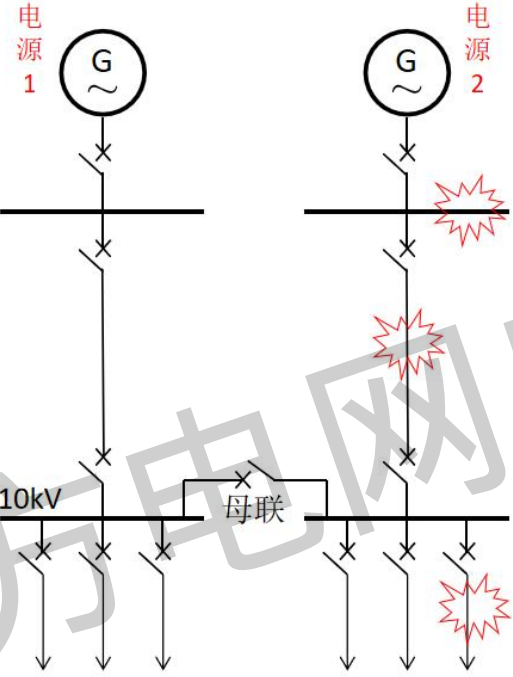
《DL/T 1073-2007 电厂厂用电源快速切换装置通用技术条件》

快切动作只要满足**3个条件中的任意一个**就可以动作：

- (1) 频率差小于 $2.0\text{Hz} \sim 3.0\text{Hz}$ ，且相位差小于 $20^\circ \sim 40^\circ$ ；
- (2) 电压矢量差的幅值小于 $40\text{V} \sim 60\text{V}$ ；
- (3) 电压矢量差与频率差之积小于 $80\text{V} \cdot \text{Hz} \sim 80\text{V} \cdot \text{Hz}$ ；

1、电压质量：电压的暂降与短时中断的典型治理措施

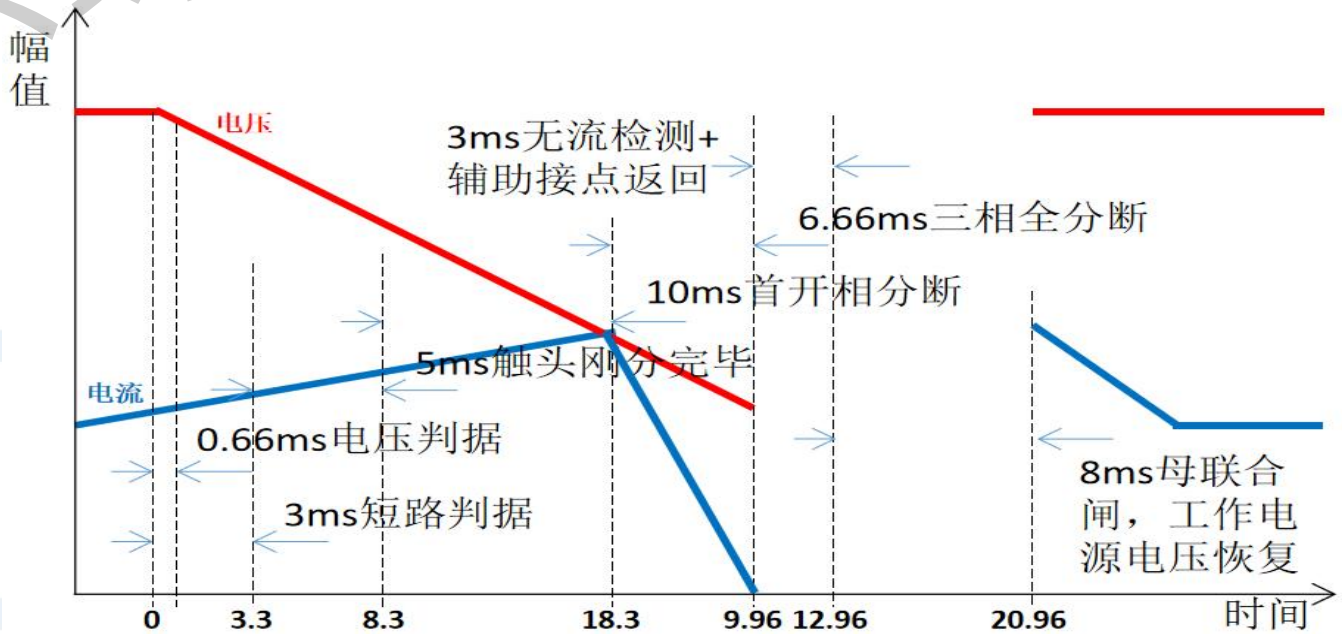
1.4、10kV快切系统



进线侧采用快切要满足2个条件：

- (1) 设备低电压耐受时间大于20ms；
- (2) 要获得当地供电部门的批准。

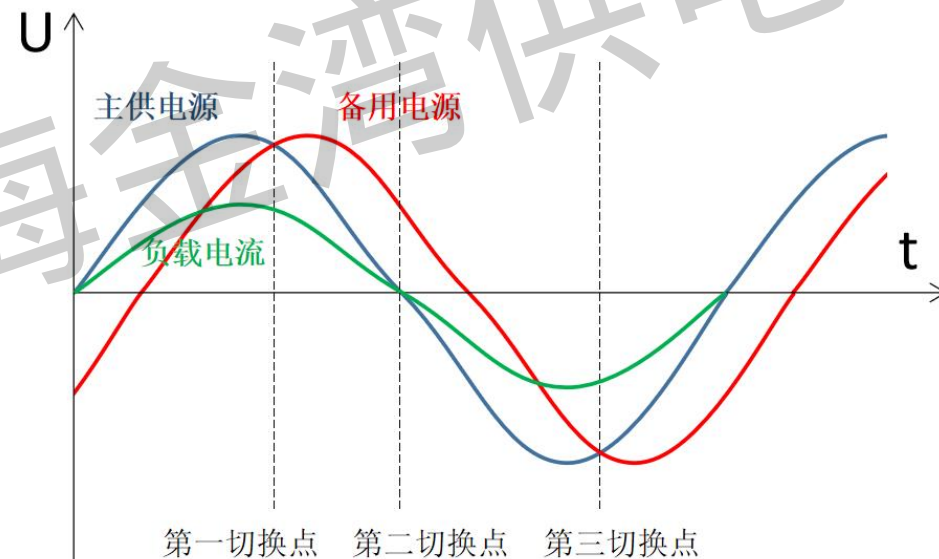
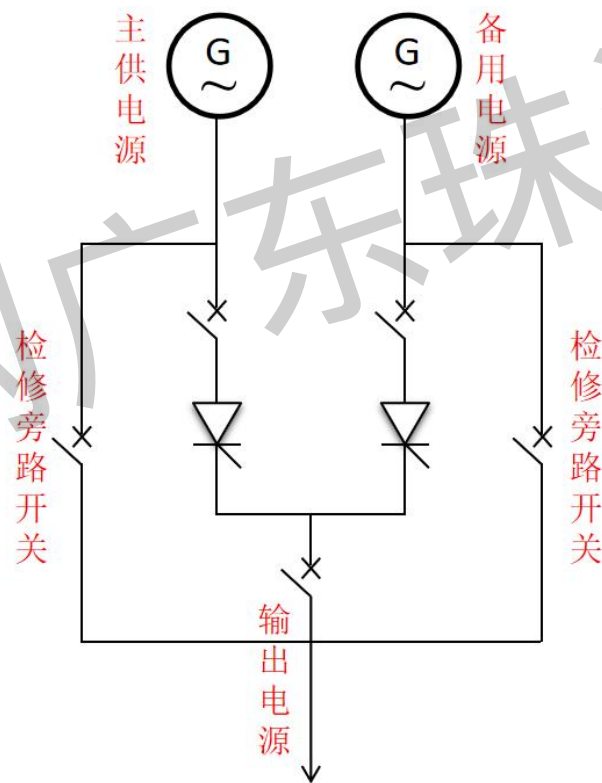
序号	科目	原理	时间
1	电压超下限判据	采用d-q变换+趋势算法	0.66ms
2	未发生短路的电流判据	采用d-q变换得出	3ms
3	故障电源进线开关刚分	记忆金属材料退磁	5ms
4	首开相至二开相全分断	电流过零灭弧	10ms
5	分闸辅助触点返回+电流检测无流	双重闭锁	3ms
6	母联断路器合闸	记忆金属励磁	8ms



第二章：各种电能质量问题的典型治理措施

1、电压质量：电压的暂降与短时中断的典型治理措施

1.5、双电源静态转换开关 (SSTS)

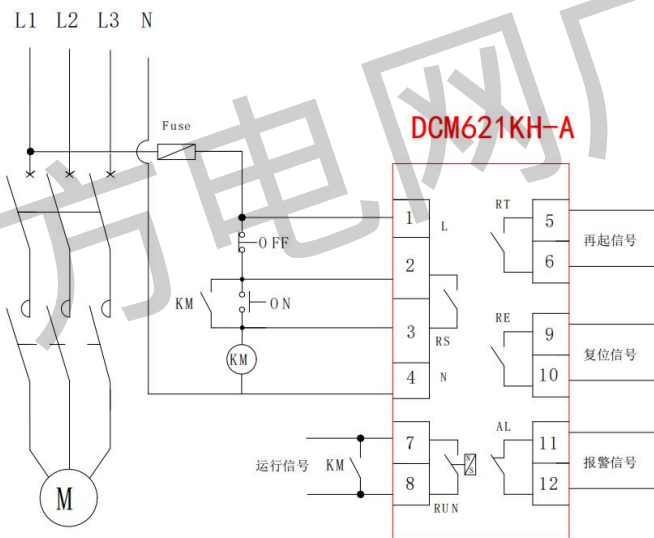
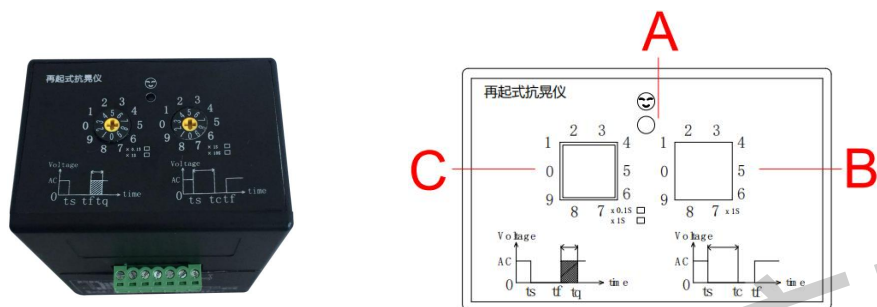


SSTS采用电压趋势算法，电压暂降判据速度最长0.66ms，晶闸管导通纳秒级，1个周波以内有三次切换机会，整机响应速度小于8ms。缺点是如果两个电源同时发生暂降，SSTS无效，负载发生强烈短路时，有可能烧毁晶闸管。

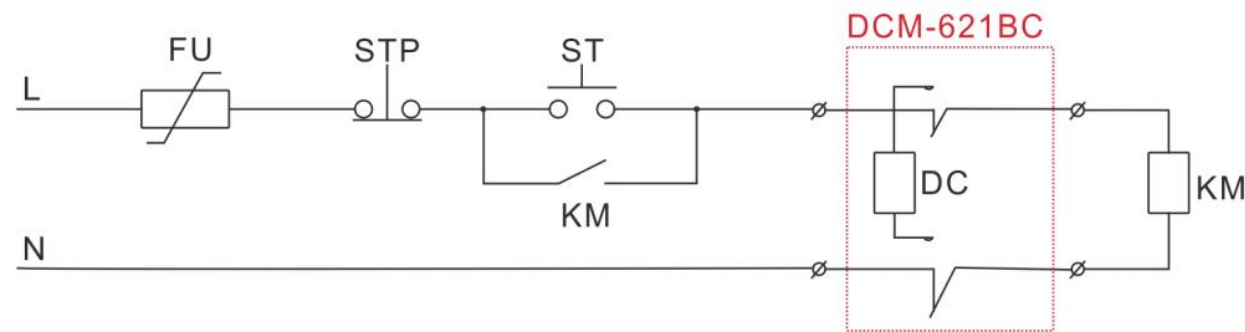
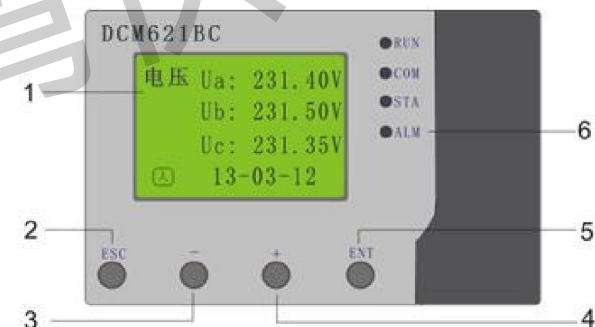
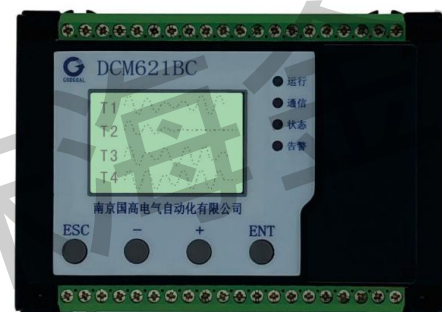
第二章：各种电能质量问题的典型治理措施

1、电压质量：电压的暂降与短时中断的典型治理措施

1.6、抗晃电交流接触器



断电再启动型



直流不间断电源型

1、电压质量：电压的暂降与短时中断的典型治理措施

1.7、高低压开关欠压保护的设置



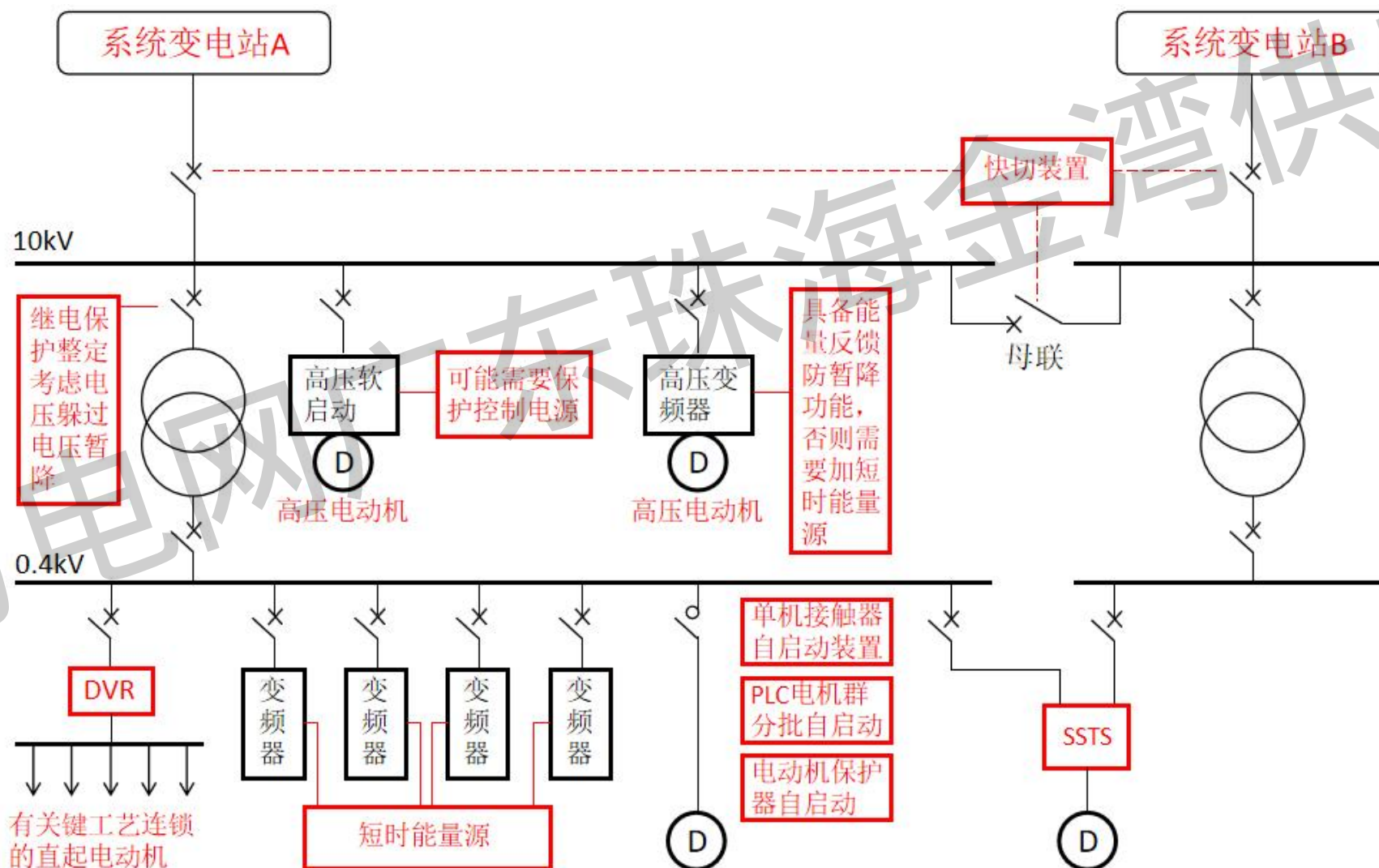
设备名称	20BH03#2增压风机		保护型号	MMPR-610Hb
序号	整定项目	单位	设计值	实际整定值
2	散热时间常数		9	9
3	K_1		0.2	0.2
4	K_2	s	1	1
5	热告警系数	%	70	70
(五)	低电压保护			
1	低电压定值	V	60	60
2	低电压延时	s	0.5	0.5

欠压保护：是为了避免电源恢复后，突然的电压对负载造成冲击而设置的一个保护。因此建议保留，对于低压断路器，在增加欠压保护模块的同时，必须增加延时模块，对于高压断路器，在继电保护设置时应增加延时。一般0.5s的延时即可躲过一次电压暂降。

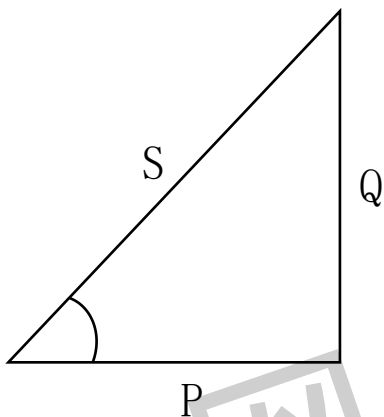
	设备名称	额定容量(KW)	额定电流(A)	保护装置种类	门限值	动作电流(电压)	动作时间(秒)	
1	锅炉补给水 MCC B		307A	瞬时短路保护	1.96	1237A	0	跳闸
				低电压保护		0.45 Ue	0.5"	跳闸
2	锅炉补给水 MCCII 电源一		329A	瞬时短路保护	1.66	1050A	500"	跳闸
				低电压保护		0.45 Ue	0.5"	跳闸
3	循环水泵房 MCC B		94.3A	瞬时短路保护	1.4	561A	500"	跳闸
				低电压保护		0.45 Ue	0.5"	跳闸
4	循环水处理 MCC B		150A	瞬时短路保护	0.56	225A	500"	跳闸
				低电压保护		0.45 Ue	0.5"	跳闸

第二章：各种电能质量问题的典型治理措施

2、电压质量：连续生产企业高可靠性供电系统全图



1、电流质量：无功和谐波的定义

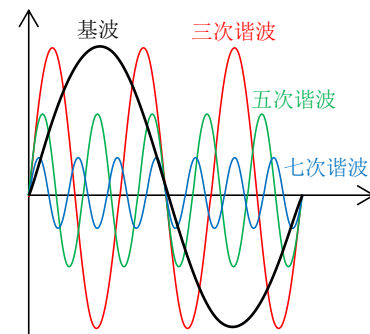
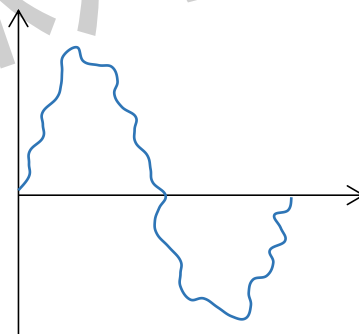
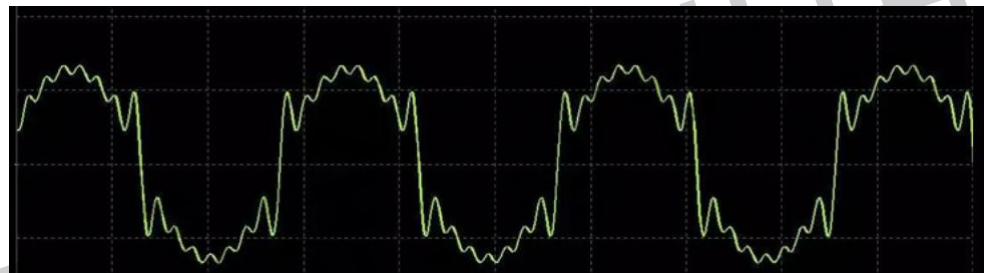


无功功率定义：在正弦电流电路中，复功率的虚部，且供给电感的无功功率为正值。

$$Q^2 + P^2 = S^2$$

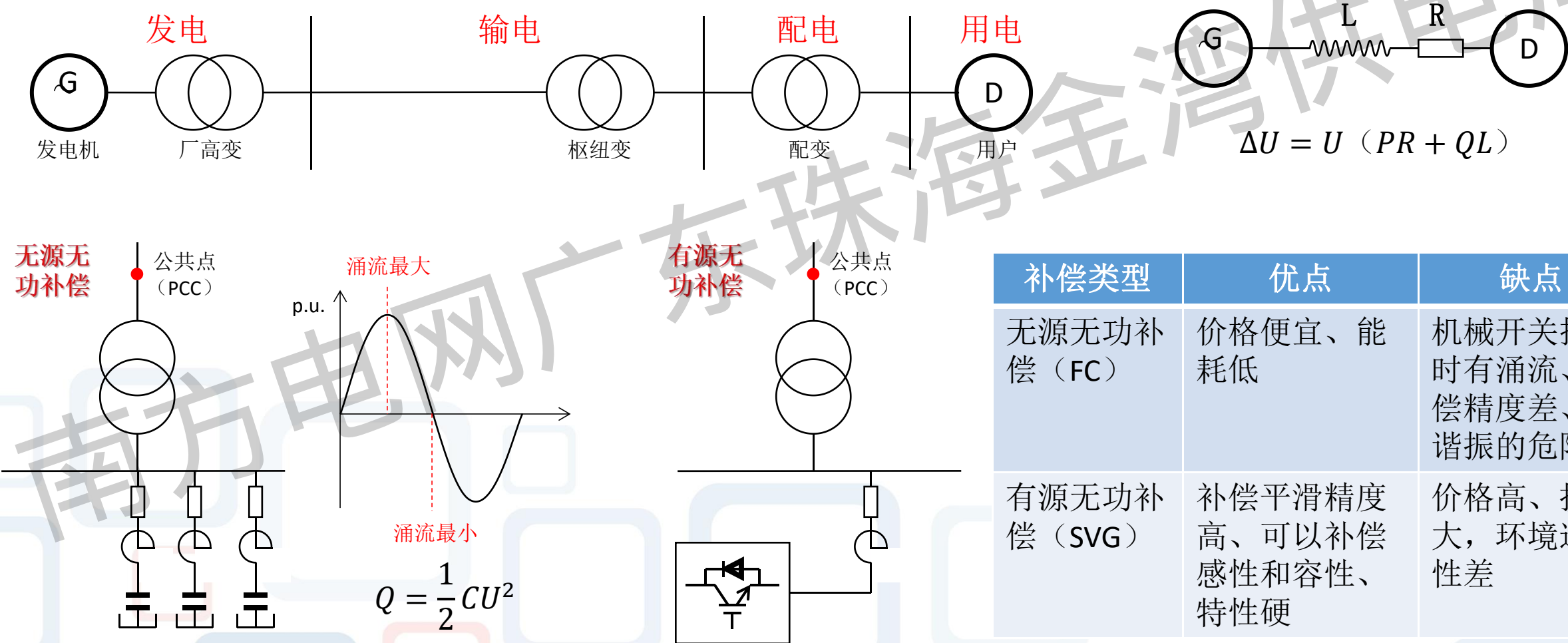
$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$\cos\phi = P/S = \frac{P}{\sqrt{3}UI}$$



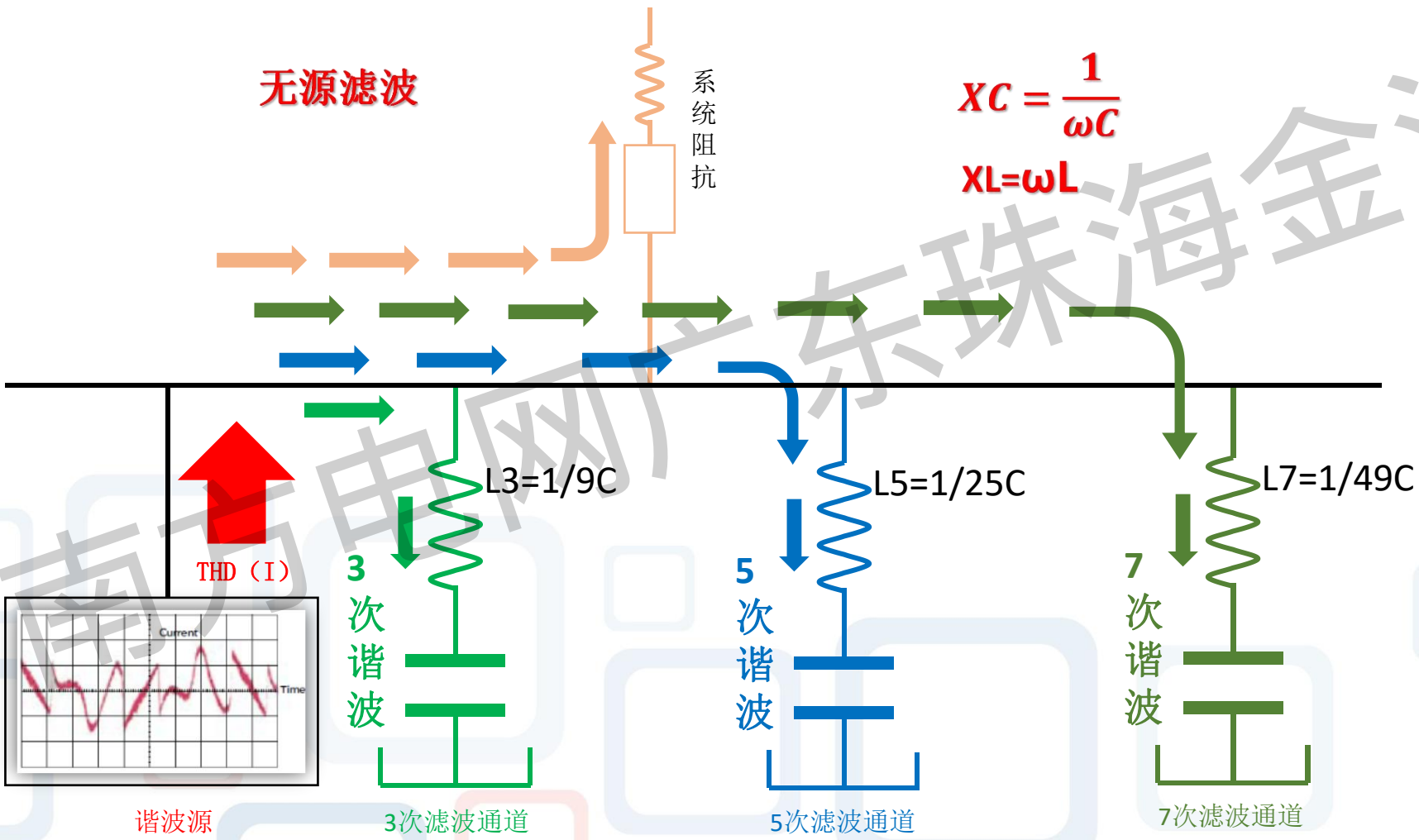
谐波（分量）定义：对周期性交流量进行傅里叶级数分解，得到频率为基波频率大于1整数倍的分量。

2、电流质量：两种无功补偿方式



补偿类型	优点	缺点
无源无功补偿 (FC)	价格便宜、能耗低	机械开关投切时有涌流、补偿精度差、有谐振的危险
有源无功补偿 (SVG)	补偿平滑精度高、可以补偿感性和容性、特性硬	价格高、损耗大，环境适应性差

3、电流质量：两种谐波滤除方式-无源滤波的工作原理



优点

价格便宜、能耗低、环境适应性强

缺点

滤波效果受系统阻抗影响、随着容值下降，有谐振的风险、如果谐波次数丰富，则滤波通道会很多，有时候无法兼顾无功补偿

第二章：各种电能质量问题的典型治理措施

4、电流质量：两种谐波滤除方式-无源滤波的现场效果

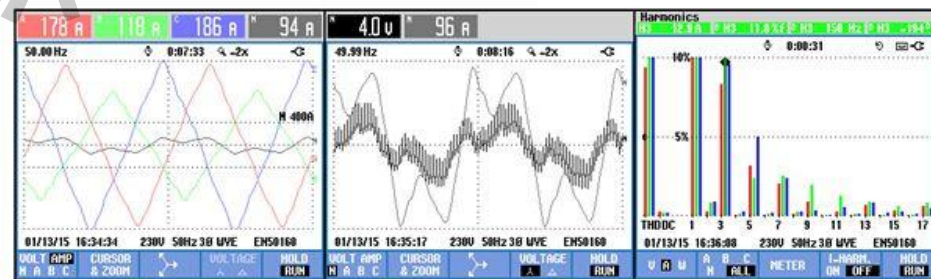
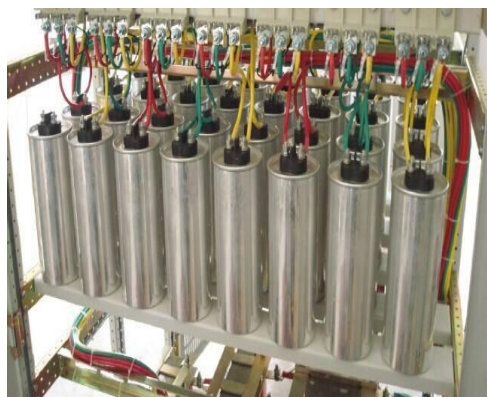
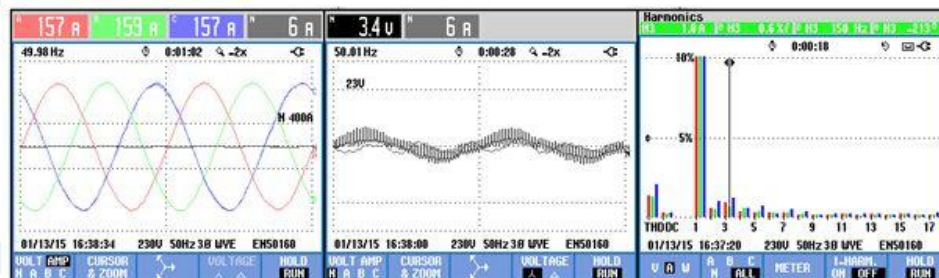


图 4-1 治理之前 A、B、C、N 相电流波形和电流频谱



第二章：各种电能质量问题的典型治理措施

5、电流质量：两种谐波滤除方式-有源滤波的工作原理

有源滤波

考核点

用户
负载

有源
滤波

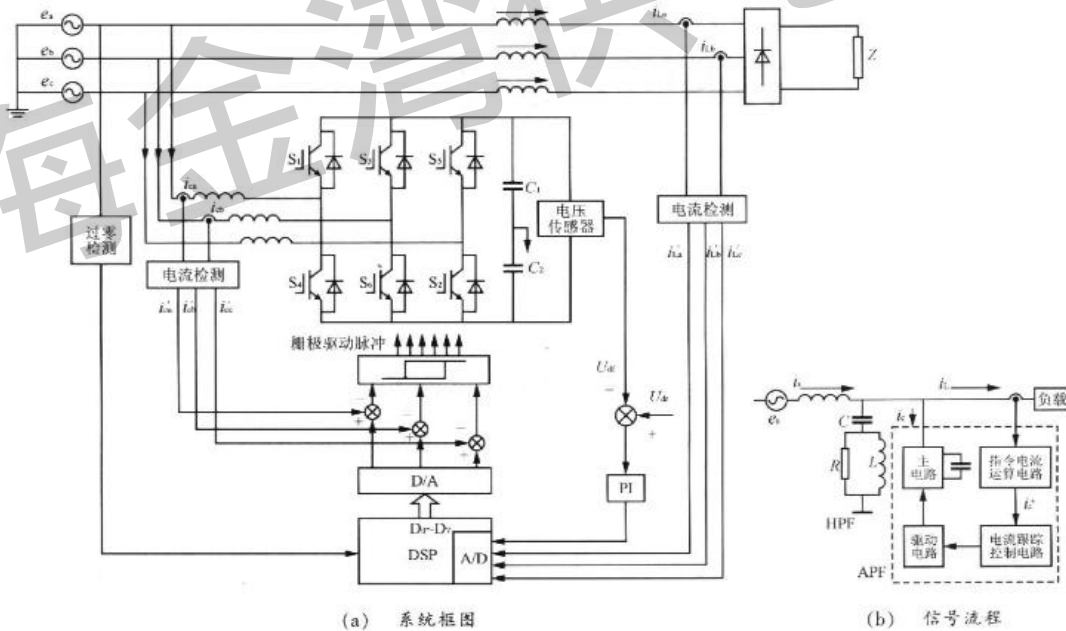
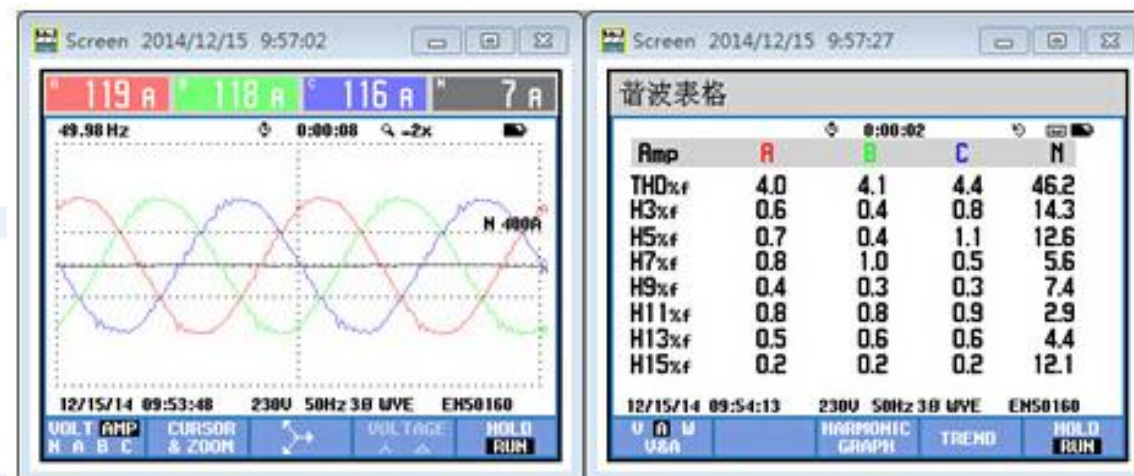
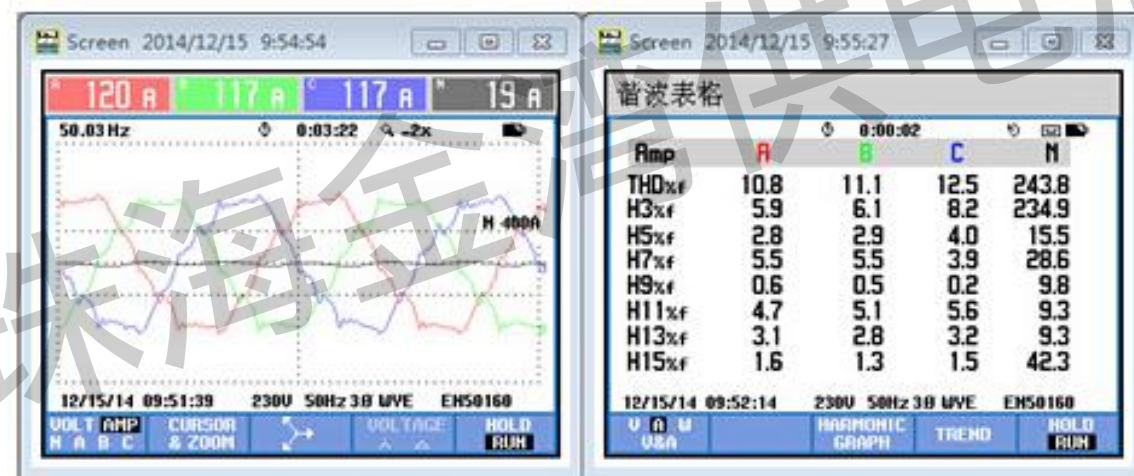


图1 并联型有源电力滤波器的原理

第二章：各种电能质量问题的典型治理措施

6、电流质量：两种谐波滤除方式-有源滤波的现场效果

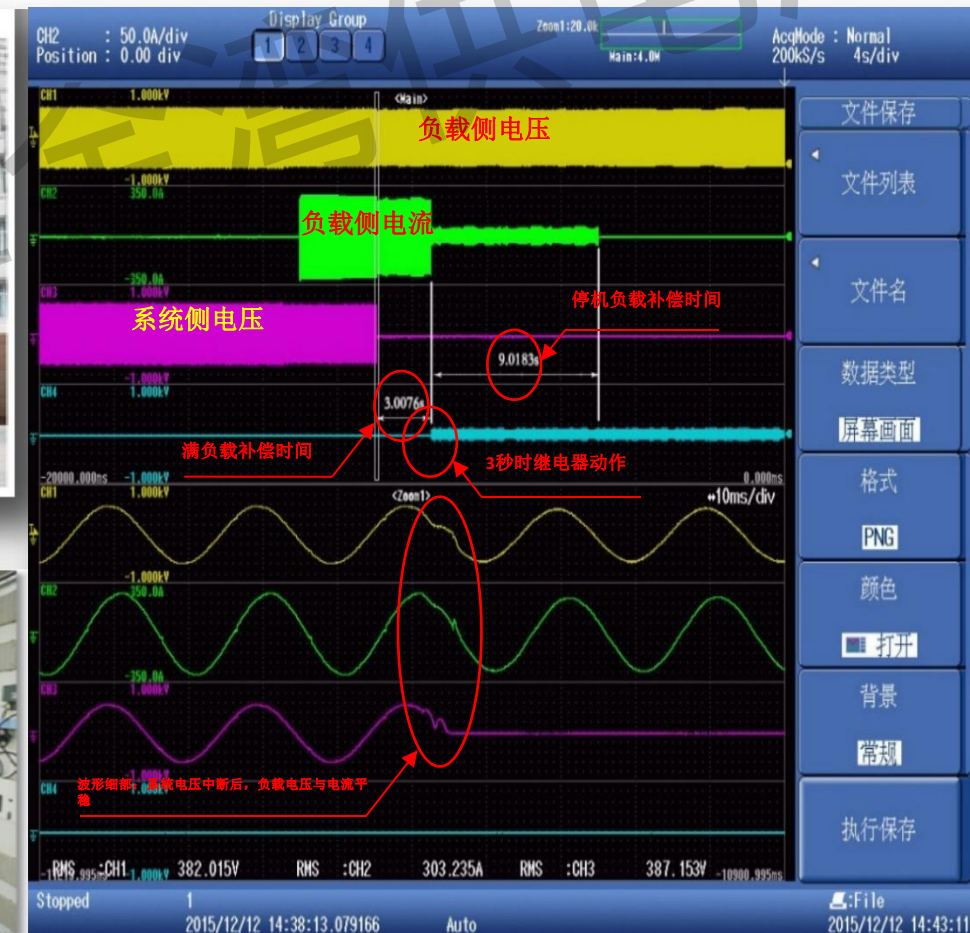


第三章：电压暂降治理案例介绍

1、某航空生产线电压暂降治理

某飞机制造公司，生产线电源保障项目

概况：一期工程于2015年3月投运，总容量315kVA；二期工程于2018年5月投运，总容量400kVA；三期工程于2019年10月投运，总容量400kVA
目前全厂共计投运：总容量1115kVA。



2、某电视台转播塔电压暂降治理

某台电视转播塔，转播电源 保障项目

概况：一期工程于2019年8月
投运，总容量400kVA；共计投
运：总容量1455kVA.



第三章：电压暂降治理案例介绍

3、某发动机生产线电压暂降治理

某汽车零部件有限公司，汽车发动机生产线电源保障项目

概况：工程于2019年4月投运，总容量2275kVA，至今已动作50余次，为用户挽回巨额经济损失，获得高度评价。



第三章：电压暂降治理案例介绍

4、某公司第四代半导体生产线电压暂降治理

某半导体有限公司，第四代
共生半导体生产线电源保障
项目

概况：工程于2019年4月投运，
总容量1000kVA



第三章：电压暂降治理案例介绍

5、某卫星发射基地发射区电压暂降治理

某卫星发射中心，发射区燃料加注系统电源保障项目

概况：一期工程于2020年10月投运，总容量150kVA。



THE END

感谢倾听，请多指教！

