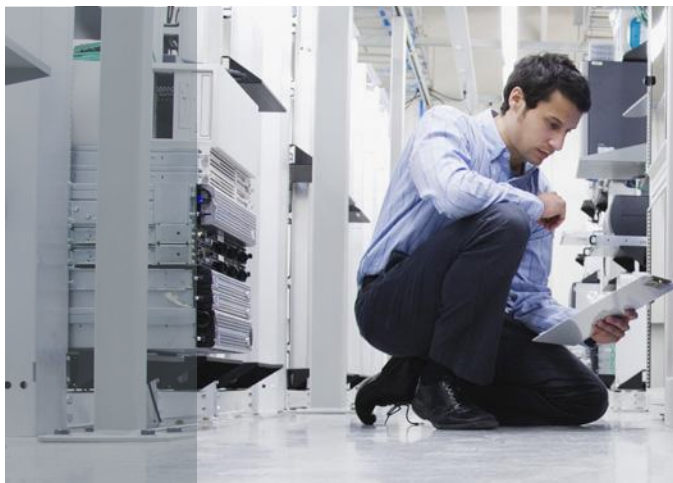


大功率逆变器的测试技术

泰克科技（中国）有限公司



Tektronix[®]

泰克的历史

- 泰克的历史，也正是示波器的历史
- 1946年，泰克成立，随后Howard Vollum（首席设计师）和Jack Murdock发明了世界上第一台商用示波器
- “国宝”级的企业——高技术的代表，一直受到美国政府关注
- 全球60%以上的示波器，是泰克制造的
- 国内第一次认识泰克，是来自尼克松总统访华时的国礼：当时泰克最顶级的4台示波器



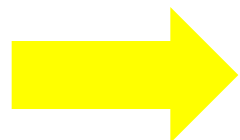
泰克的今天

泰克公司是为测试，测量，监测领域提供产品，解决方案，服务的领先供应商。

- ▶ 全球销售额超过 1 0 亿美元
- ▶ 财务收支健康良好
- ▶ 致力于创新
- ▶ 享誉全球的品牌知名度
- ▶ 重要产品类别市场份额第一
- ▶ 业务遍布全球各地



大纲



- 逆变器概念
- 逆变器分类
- 逆变器应用
- 光伏逆变技术
- 风能逆变技术
- 逆变器的测试技术
- Tektronix的测试方案

逆变器

- 概念：逆变器是一种将直流电（DC）转化为交流电（AC）的装置。
 - 交流侧接电网为有源逆变。
 - 交流侧接负载为无源逆变
- 分类：逆变器根据发电源的不同
 - 煤电逆变器
 - 太阳能逆变器
 - 风能逆变器
 - 核能逆变器。

逆变器的分类

按应用范围

- 普通型逆变器

直流12V或24V输入，交流220V、50Hz输出，功率从75W到5000W,有些型号具有交、直流转换即UPS功能。

- 逆变/充电一体机

在此类逆变器中，用户可以使用各种形式的电源为交流负载供电：有交流电时，通过逆变器使用交流电为负载供电，或为蓄电池充电；无交流电时，用蓄电池为交流负载供电。它可与各种电源结合使用：如蓄电池、发电机、太阳能电池板和风力发电机等。

- 邮电通信专用逆变器

为邮电、通信提供高品质的48V逆变器，其产品质量好、可靠性高、模块式（模块为1KW）逆变器，并具有N+1冗余功能、可扩充（功率从2KW到20KW）。

- 航空、军队专用逆变器

此类逆变器为28Vdc输入，可提供下列交流输出：26Vac、115Vac、230Vac，其输出频率可为：50Hz、60Hz及400Hz,输出功率从30VA到3500VA不等。还有供航空专用的DC-DC转换器及变频器。

逆变器的分类

按输出波形

■ 方波逆变器

- 特点：方波逆变器输出的交流电压波形为方波。此类逆变器所使用的逆变线路也不完全相同，但共同的特点是线路比较简单，使用的功率开关管数量很少。设计功率一般在百瓦至千瓦之间。
- 优点是：线路简单、价格便宜、维修方便。
- 缺点是由于方波电压中含有大量高次谐波，在带有铁心电感或变压器的负载用电器中将产生附加损耗，对收音机和某些通讯设备有干扰。此外，这类逆变器还有调压范围不够宽，保护功能不够完善，噪声比较大等缺点。

■ 阶梯波逆变器

- 特点：此类逆变器输出的交流电压波形为阶梯波，逆变器实现阶梯波输出也有多种不同线路，输出波形的阶梯数目差别很大。
- 优点是，输出波形比方波有明显改善，高次谐波含量减少，当阶梯达到17个以上时输出波形可实现准正弦波。当采用无变压器输出时，整机效率很高。
- 缺点是，阶梯波叠加线路使用的功率开关管较多，其中有些线路形式还要求有多组直流电源输入。这给太阳能电池方阵的分组与接线和蓄电池的均衡充电均带来麻烦。此外，阶梯波电压对收音机和某些通讯设备仍有一些高频干扰。

■ 正弦波逆变器

- 特点：正弦波逆变器输出的交流电压波形为正弦波。
 - 优点是，输出波形好，失真度很低，对收音机及通讯设备干扰小，噪声低。此外，保护功能齐全，整机效率高。
 - 缺点是：线路相对复杂，对维修技术要求高，价格较贵。
- 上述三种类型逆变器的分类，有利于光伏系统和风力发电系统设计人员和用户对逆变器进行识别和选型。实际上，波形相同的逆变器在线路原理，使用器件及控制方法等方面仍有很大区别。

逆变技术的应用

- 新能源的开发和利用：如光伏、风能等。
- 交流电机调速用变频器
- 不间断电源、感应加热电源
- 电网谐波补偿
- 开关稳压电源和各种专用电源

新能源分类

新能源

广义上来说，有别于传统
依靠矿物质原料燃烧的能
源都称之为新能源。



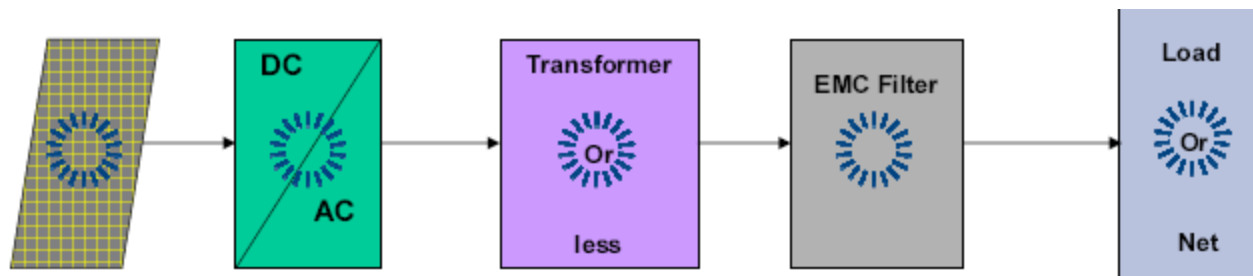
资源丰富、利用方便、洁净无污染

太阳能利用的重要途径之一是研制太阳电池！

大纲

- 逆变器概念
- 逆变器分类
- 逆变器应用
-  光伏逆变技术
- 风能逆变技术
- 逆变器的测试技术
- Tektronix的测试方案

太阳能的转换与应用



太阳能的利用

太阳能必须即时转换成其他形式能量才能贮存和利用，转换的方式主要有以下几种：

- (1) 太阳能——热能转换，并以热能形式贮存
- (2) 太阳能——电能转换，并以电能形式贮存
- (3) 太阳能——氢能转换，并以氢能形式贮存
- (4) 太阳能——生物质能转换，并贮存于生物 质
- (5) 太阳能——机械能转换，并以机械 能形式贮存

太阳能电池原理

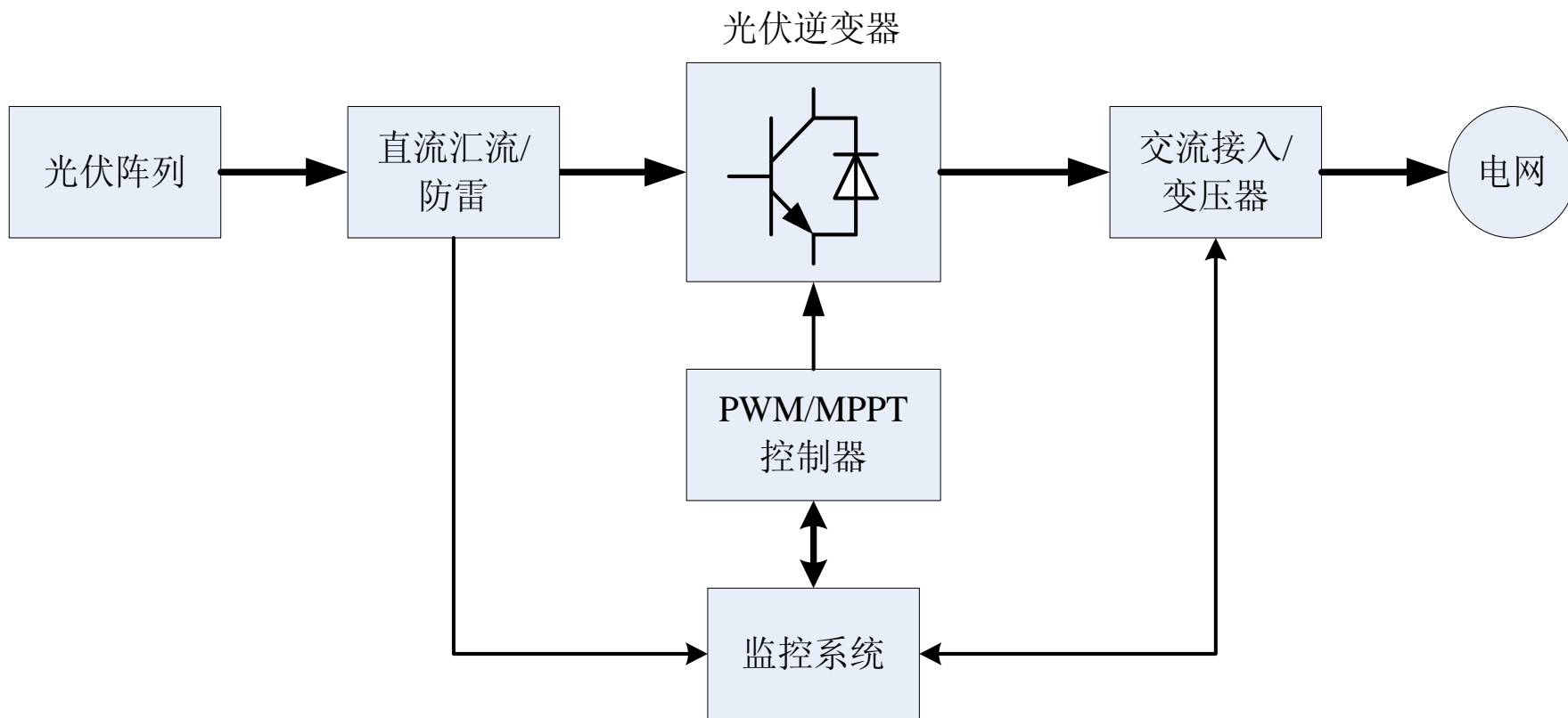
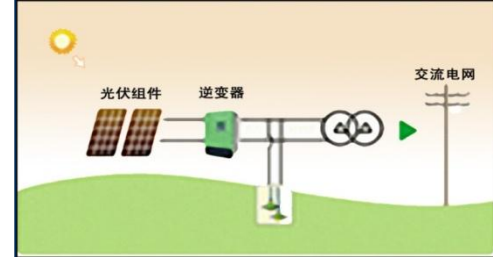
太阳能电池的原理是基于半导体的光伏效应，将太阳辐射直接转换为电能。

所谓光电效应，就是指物体在吸收光能后，其内部能传导电流的载流子分布状态和浓度发生变化，由此产生出电流和电动势的效应。在气体、液体和固体中均可产生这种效应，而半导体光伏效应的效率最高。

光伏系统的逆变器

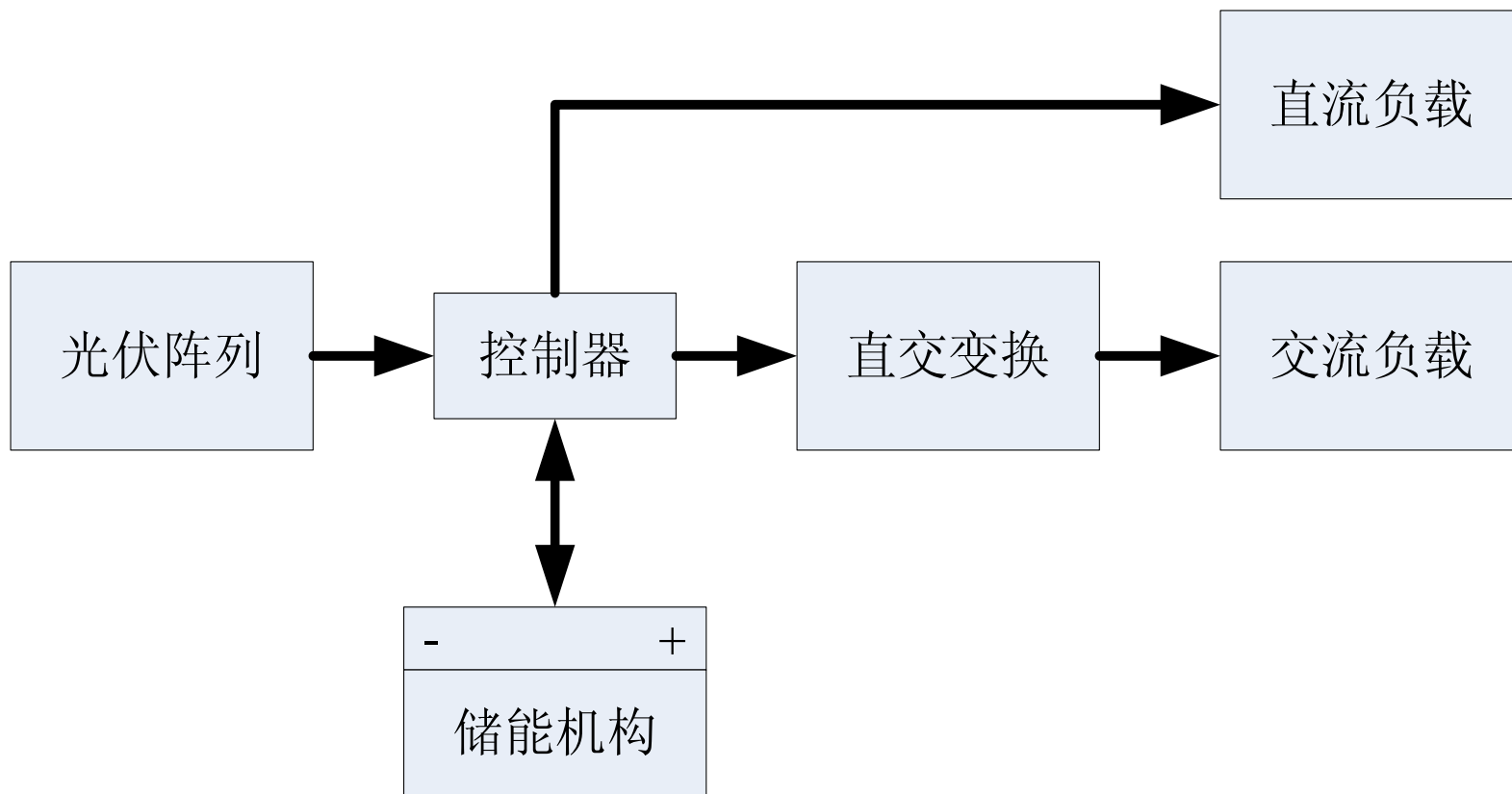
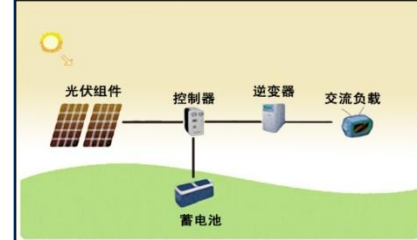
- 光伏发电系统中的逆变器，包括无源逆变和有源逆变两种形式。
- 无源逆变：用于孤立型光伏电站，通过逆变器将直流逆变为方波或经SPWM调制为正弦波交流电，直接向交流负载供电。
- 有源逆变器：用于并网光伏发电，通过逆变器以SPWM的方式产生交流调制正弦电源，并使输出正弦波的电压幅值、频率及相位等变量与公共电网一致。
- 光伏发电系统中的逆变器
 - 按输入侧直流储能元件类型可进一步划分为电压型逆变和电流型逆变两类；
 - 按拓扑结构又可分为单相半桥逆变电路，单相全桥逆变电路和三相全桥逆变电路三种。

光伏发电应用



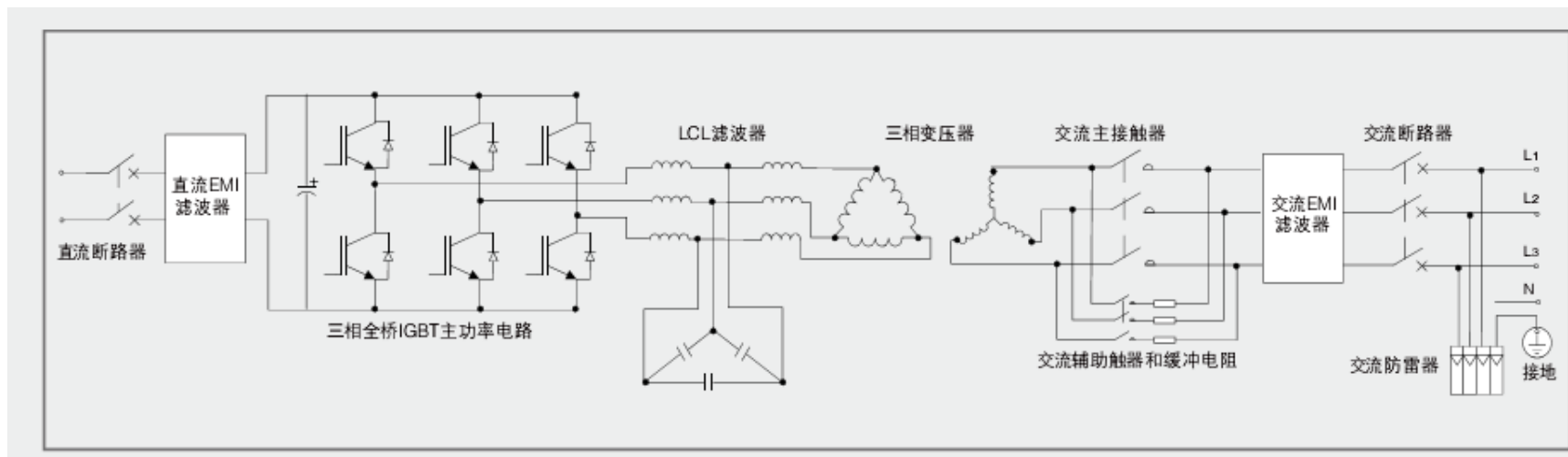
并网型（有源逆变）光伏电站构成原理图

光伏发电应用

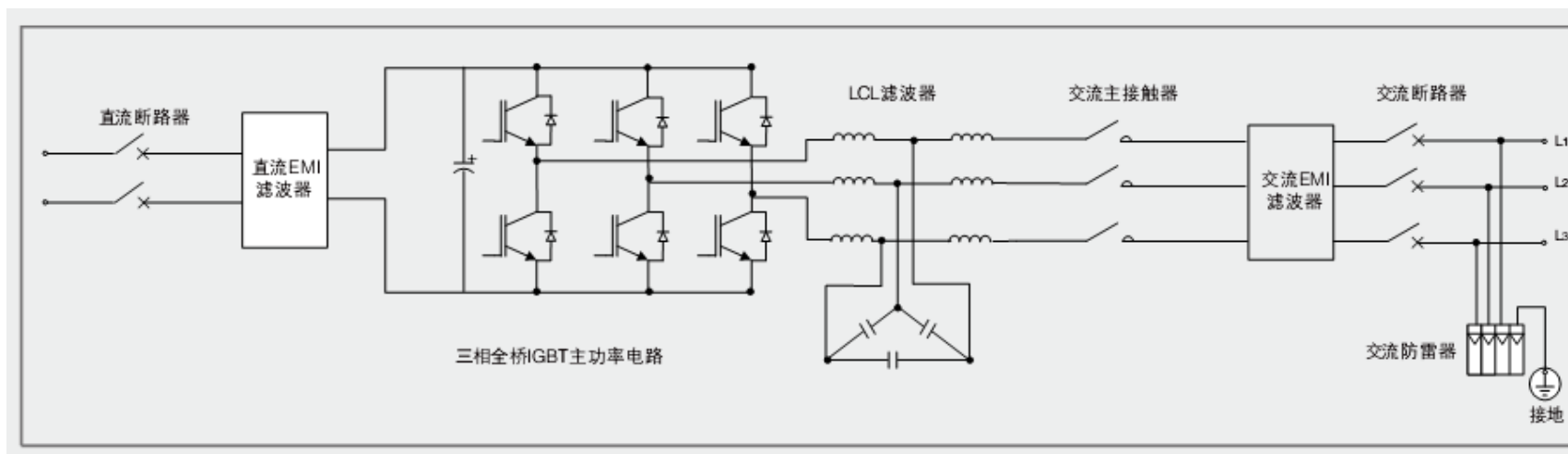


离网型（无源逆变）光伏电站构成原理图

光伏逆变器的拓扑图

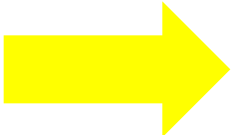


采用工频变压器隔离的大功率三相并网逆变器



无变压器隔离的大功率三相并网逆变器（输出电压可以从270V~400V）

大纲

- 逆变器概念
- 逆变器分类
- 逆变器应用
- 光伏逆变技术
-  ■ **风能逆变技术**
- 逆变器的测试技术
- Tektronix的测试方案

风力发电是当今快速发展的清洁能源



风力发电应用方式

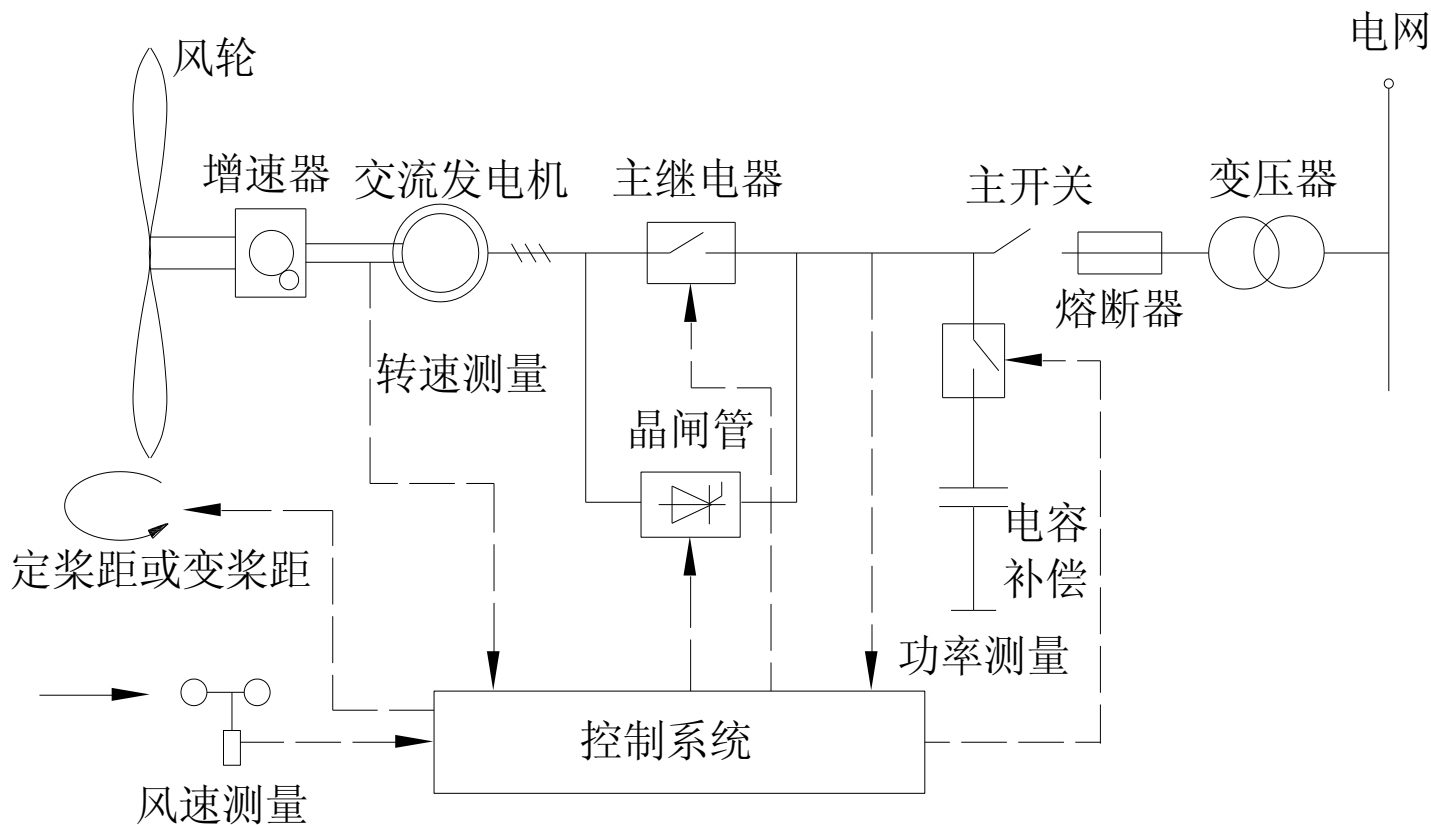
- 微型风电机
风机、蓄电池、控制器、逆变器
- 大型风电机
叶轮；传动系统；发电机；刹车系统；偏航系统
；塔架；控制监测系统
- 大型风电场
并网供电

风能发电的分类

- 按风轮轴的安装型式
 - 水平轴风力发电机组和垂直轴风力发电机组
- 按风力发电机的功率
 - 微型（额定功率50~1000W）
 - 小型（额定功率1.0~10kW）
 - 中型（额定功率10~100kW）
 - 大型（额定功率大于100kW）
- 按运行方式
 - 独立运行和并网运行

并网运行的风力发电机组

并网运行的水平轴式风力发电机组由风轮、增速齿轮箱、发电机、偏航装置、控制系统、塔架等部件组成，其结构如图所示



并网运行的水平轴风力发电机组的原理框图

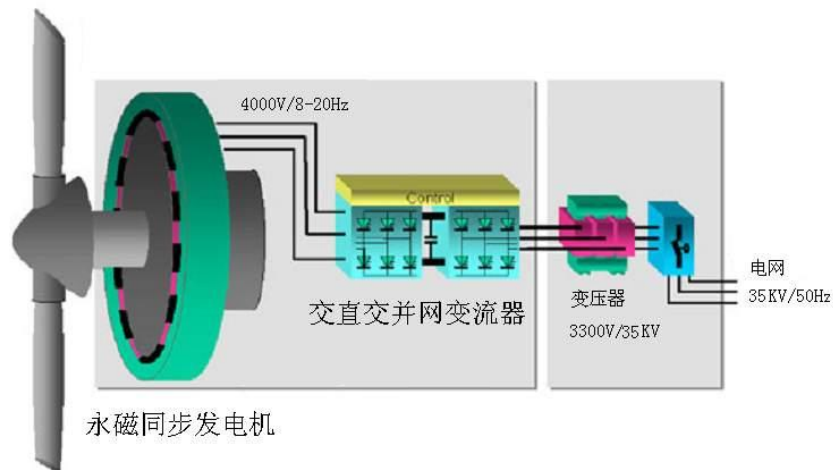
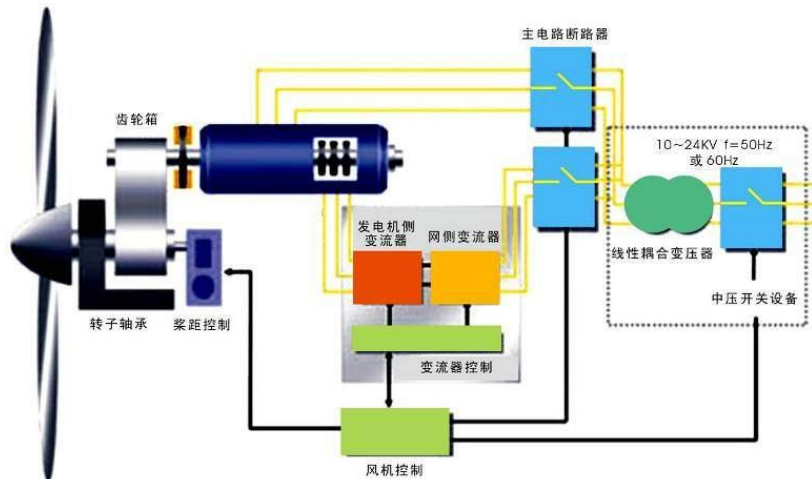
大纲

- 逆变器概念
- 逆变器分类
- 逆变器应用
- 光伏逆变技术
- 风能逆变技术
- **逆变器的测试技术**
- Tektronix的测试方案

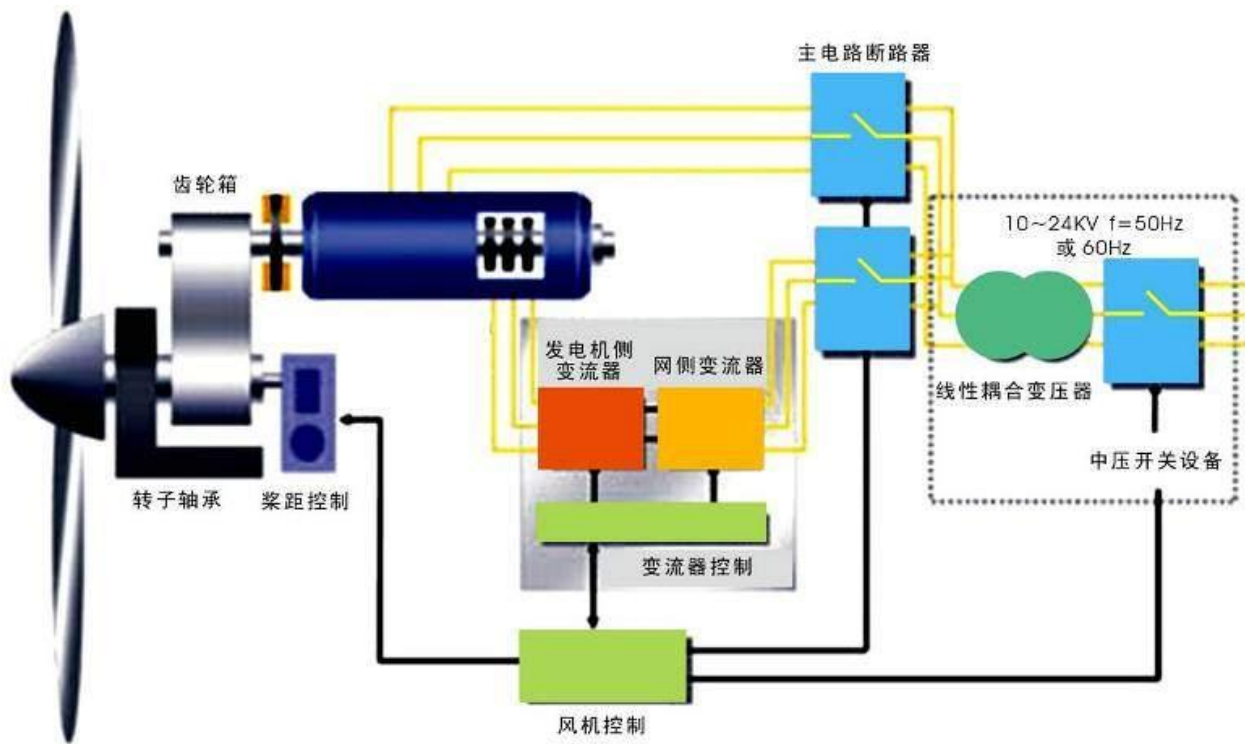


逆变器电气测试需求

- 风电技术高速发展，新技术不断涌现
 - 恒速恒频型发展为变速恒频型
 - 定桨距发展为变桨距
 - 主流MW级风力发电机
 - 双馈型异步发电机变速恒频系统
 - 直驱式永磁同步发电系统
- 设计电气系统的新要求
 - 大容量，四象限运行的变流器设计的测试与分析
 - 软并网过程的检测与分析
 - 直流母线电压波动的测试
 - 变流器SPWM调制分析测试
 - 伺服驱动系统的测试（变桨距、偏航系统）



示波器在风电设备开发中的作用



在高电压大电流的电力电子器件测试中，示波器是不可缺少的必需设备，此外在观测PWM调制规律、测试电力电子器件损耗、捕捉瞬态异常信号，结合总线控制信号的模数联合调试的工作中，示波器有着不可替代的作用

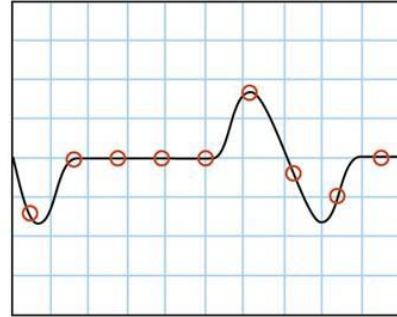
如何选择示波器类测试工具

- 足够的存储长度
 - 保证每个转换的边沿采集到8-10个样点
 - 至少完整采集半个工频周期的信号
- 异常波形的发现和捕获能力
 - 偶然发生的异常波形的显示和捕获能力
 - 长存储条件下的异常自动查找能力
- 完善的探头方案和探头偏差校准能力
 - 高压差分和电流探头
 - 探头的自校准和时间偏差校准功能
- 结合常用工业总线的模/数联合调试能力
 - 常用总线解码和触发功能
 - 模数混合信号调试能力

示波器性能考虑因素：采样率与存储长度

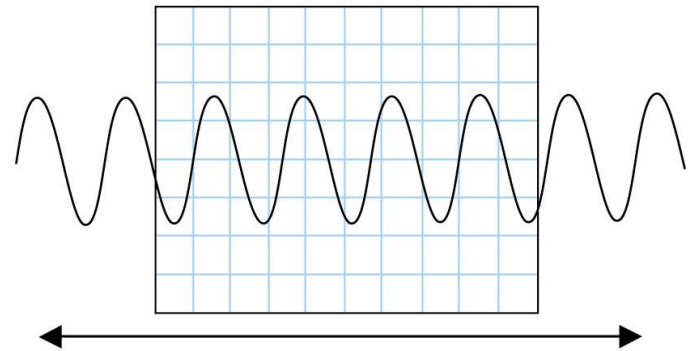
■ 采样率

- 采样率越高，分辨率越高，波形越详细



■ 记录长度

- 确定在一定的采样率下捕获多长“时间”的波形
- 实例：
 - 50 Hz的一半周期是 10 ms多
 - 采样率为1 GS/s时，需要10 M点的记录长度



$$\text{时间} = \frac{\text{记录长度}}{\text{采样率}}$$

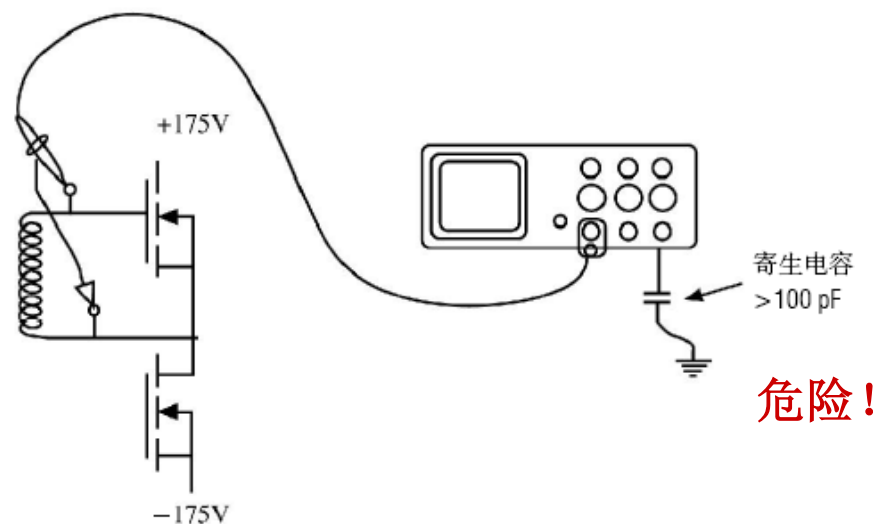
如何确定需要存储长度

- 采样速率应该至少是被测的模拟信号带宽的5倍
- 对于快速变化的IGBT开关信号，在一个边沿上需要 8-10个样点；
100 ns转换至少要求 50 MS/s的取样速率
- 单次采集的记录时间与记录长度直接成正比

$$\text{记录时间 (秒)} = \frac{\text{记录长度 (样点数量)}}{\text{取样速率 (样点/秒)}}$$

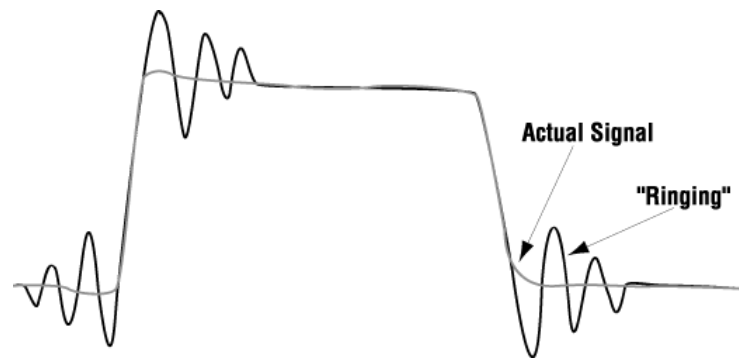
- 为同时查看 50 Hz工频信号（一个周期），和 100 ns（10个样点/边沿）边沿的PWM信号
- 每条通道2MB记录长度、1GSa/s取样速率的示波器可以满足这一要求

安全准确地探测“浮动”电压

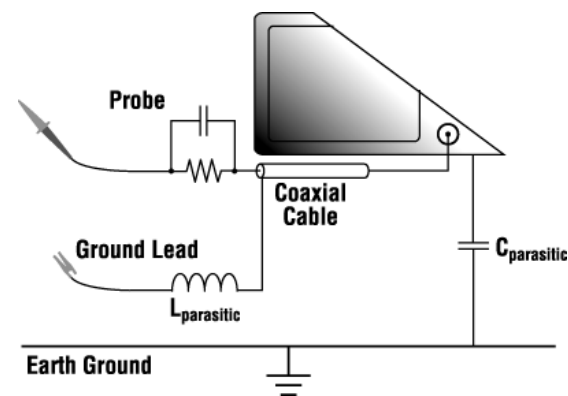


危险!

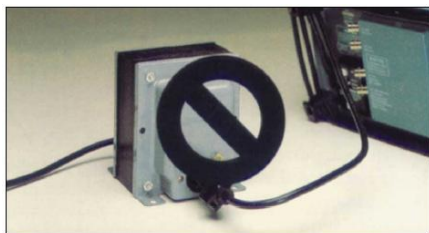
即便示波器处于“浮动”状态，寄生电容也会形成交流分压器从而增加测量的误差。注意：回动的探头引线会给栅极增加 $>100\text{ pF}$ 的电容，有可能破坏电路。



分布电容和电感还可能带来原本没有的振铃!!!!



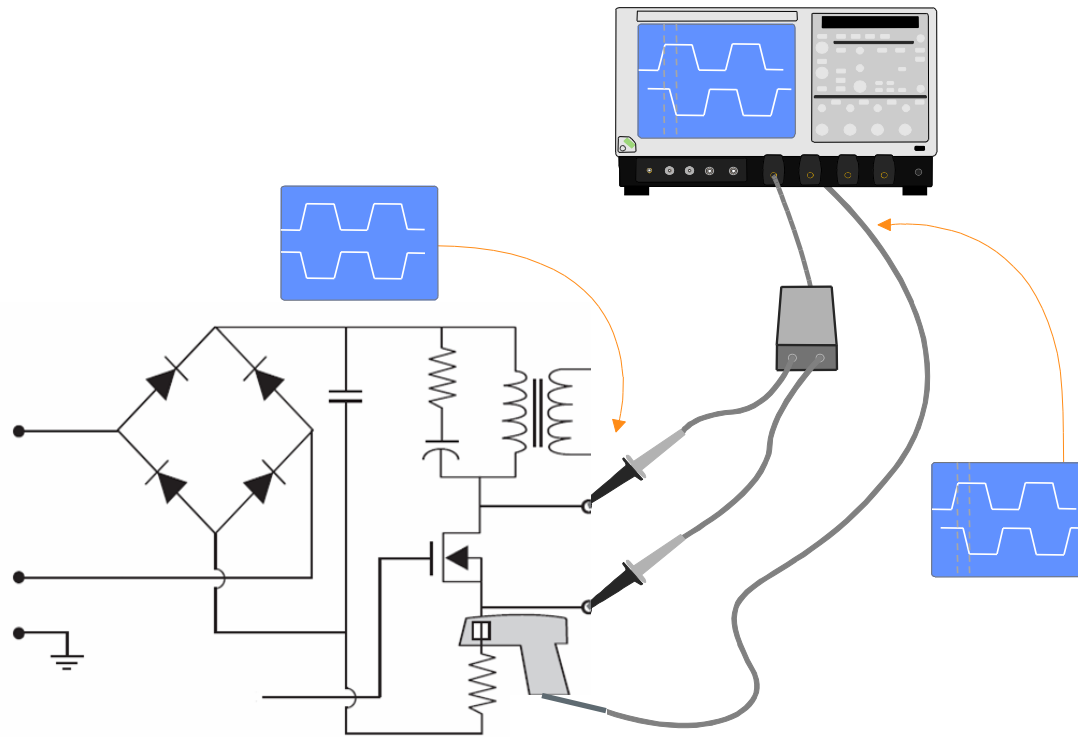
示波器在没有接地的情况下，其电磁兼容特性降达不到设计要求，可能干扰待测电路或受到空间电磁波的干扰，影响测量结果！



不可用剪断示波器接地线的方法进行差分测量！
不可使用隔离变压器进行差分测量！

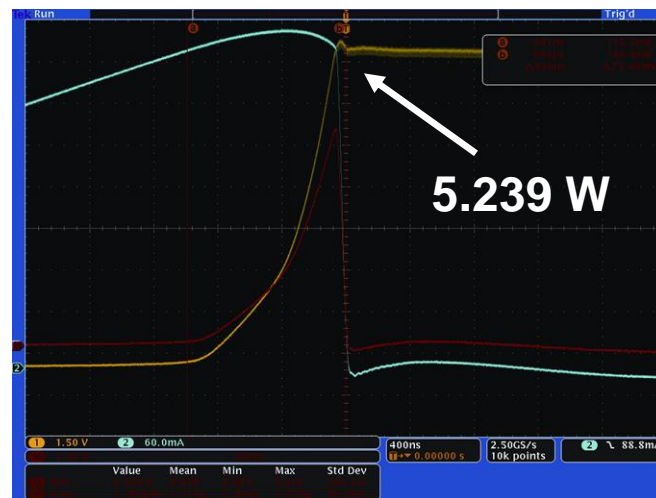
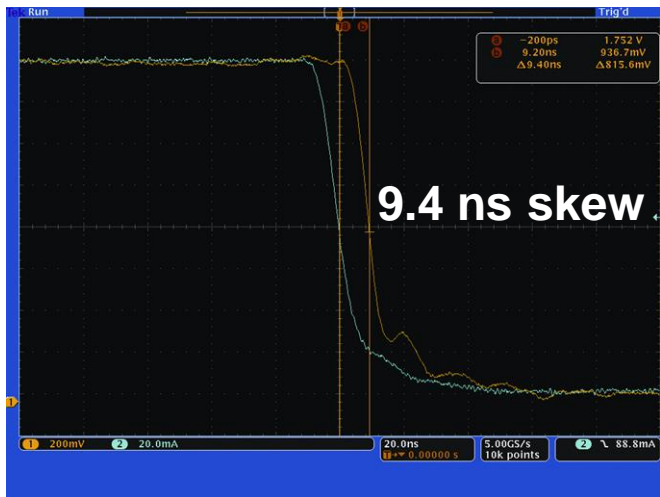
测试挑战：探头之间的时间延迟

- 对电力电子器件做功率测量，必须同时测量器件上的电压和电流
 - 需要两个独立的探头：电压和电流
 - 每个探头有自己的延迟特性
 - 延迟的差值就是时间延迟



一个时间延迟的例子

5.6% Error

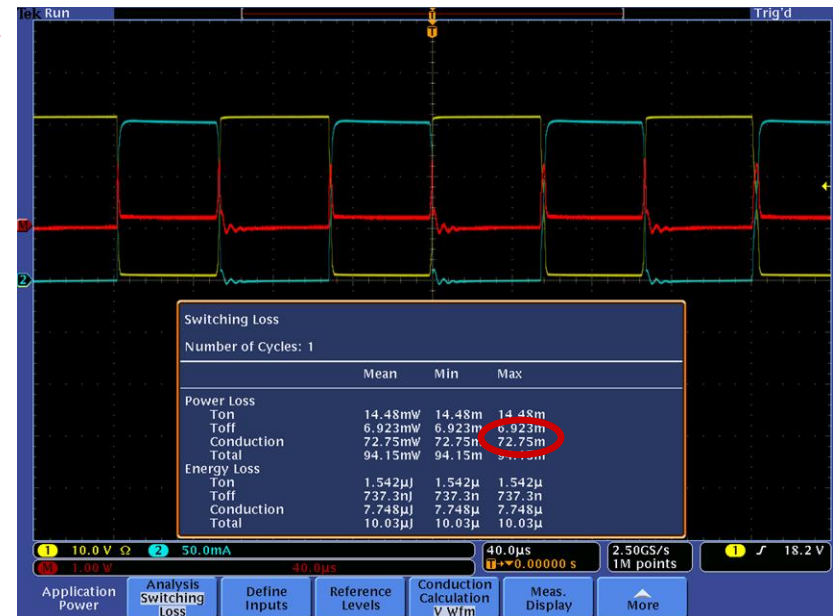


测试挑战：探头的偏置

- 差分探头和电流探头可能有轻微的直流（DC）偏置
- 做高精度测试前需要消除掉



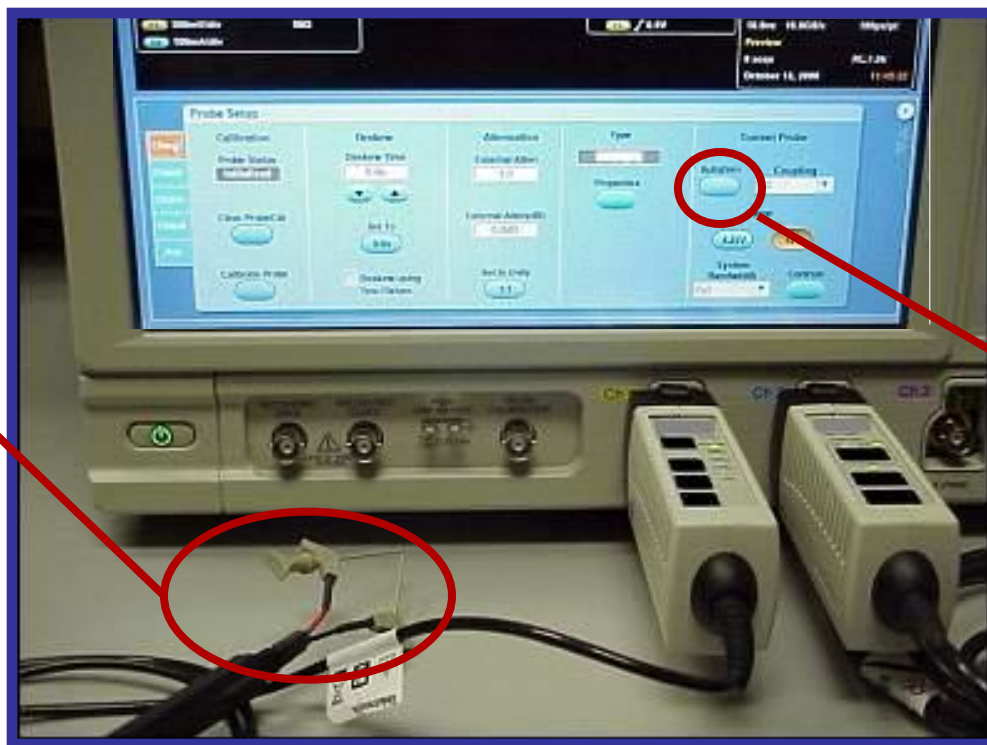
With 1 V DC offset,
Conduction Loss = 86.13 mW.



With DC offset removed,
Conduction Loss = 72.75 mW.

解决办法：消除探头偏置

短接探头尖

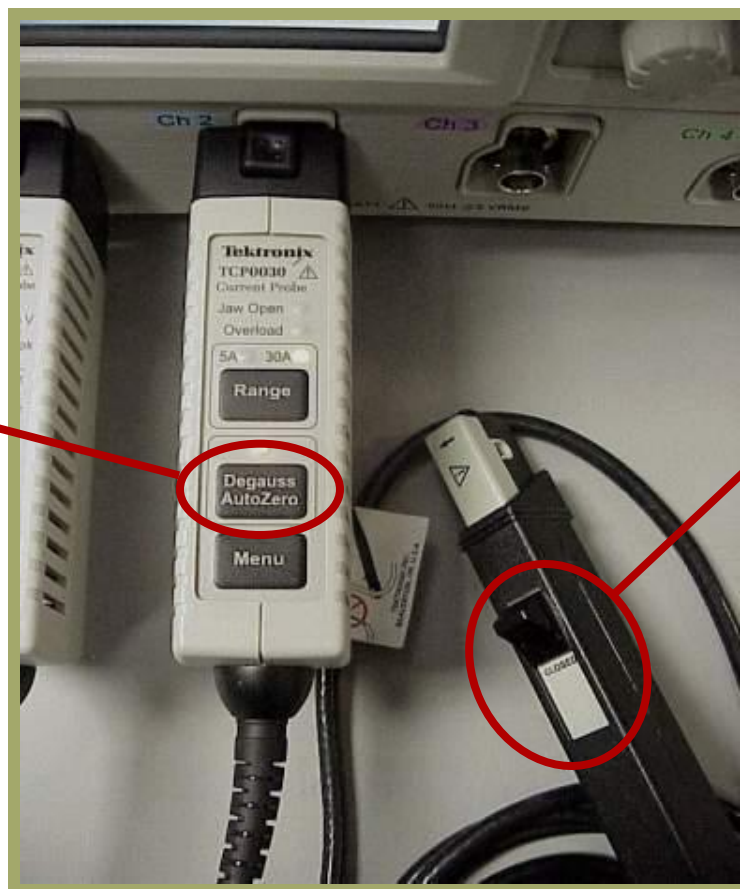


按示波器菜单中的“自动校准”功能

解决方案： 电流探头的消磁功能

- 消除探头磁性器件中的剩余磁通

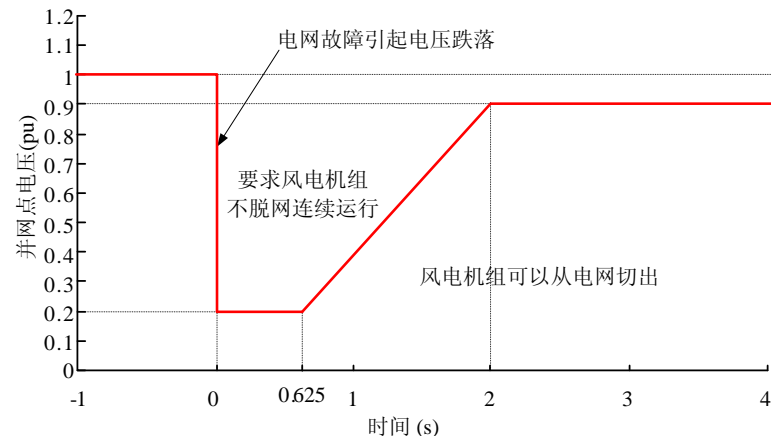
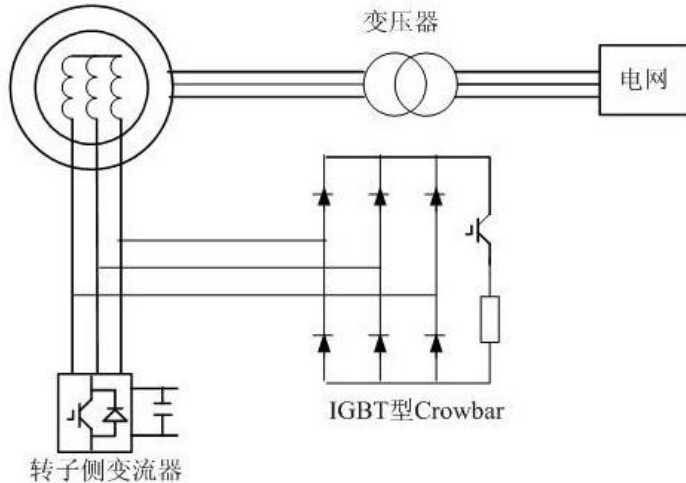
按探头补偿盒上的
自动消磁
“Degauss
AutoZero”键



把探头卡钳推至
“关闭”位置

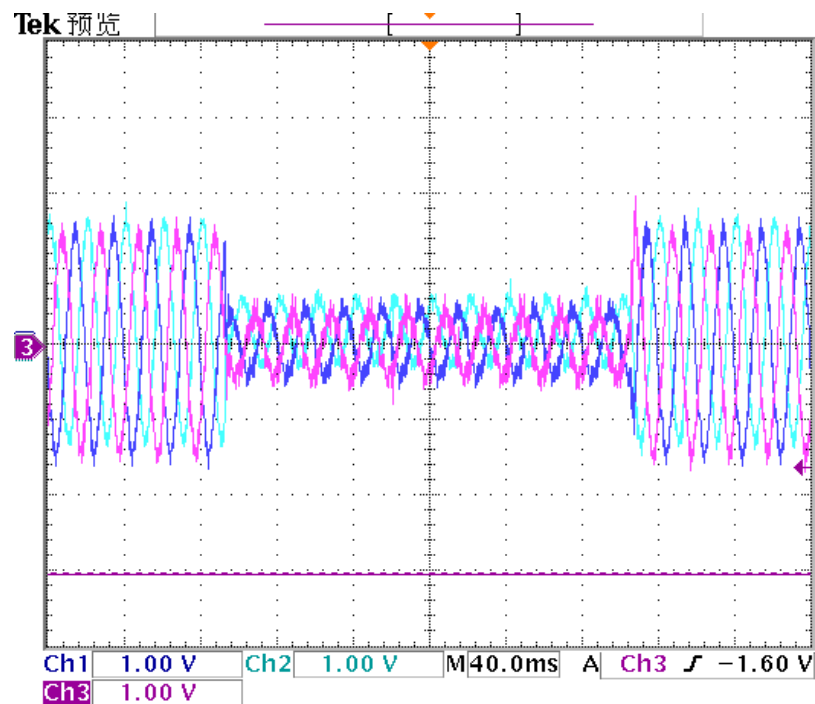
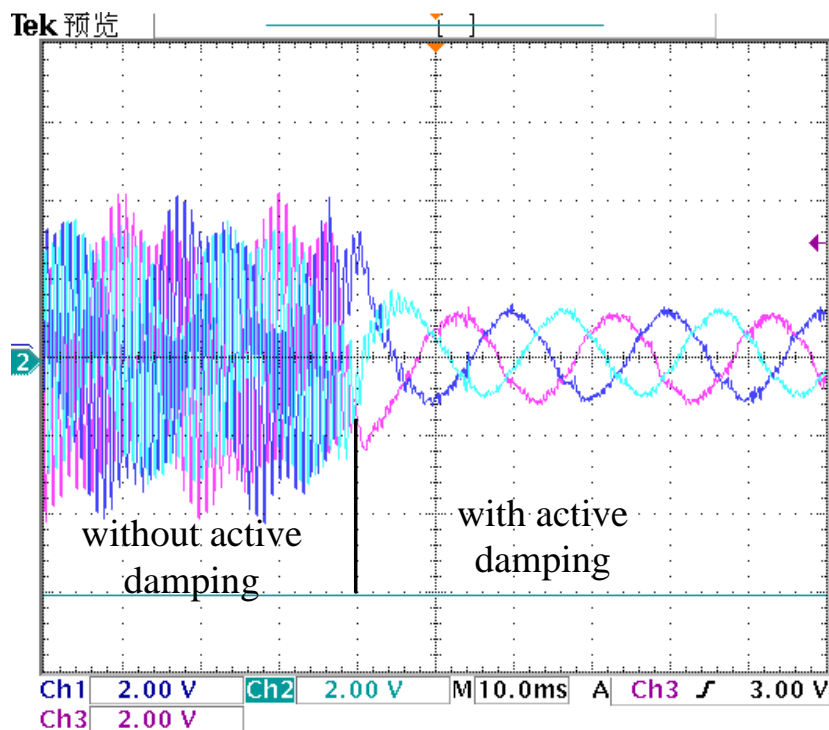
应用一 捕获低电压穿越LVRT过程 (电压异常响应特性)

- 低电压穿越
 - 指在发电机并网点电压跌落的时候，逆变器能够保持并网，甚至向电网提供一定的无功功率，支持电网恢复，直到电网恢复正常，从而“穿越”这个低电压时间(区域)。
- 泰克长存储示波器可以捕获电网电压跌落和CROWBAR电路切入工作的全过程



低电压穿越 (LVRT)

参考试验波形



应用二 频率异常响应特性测试

■ 过/欠频状态

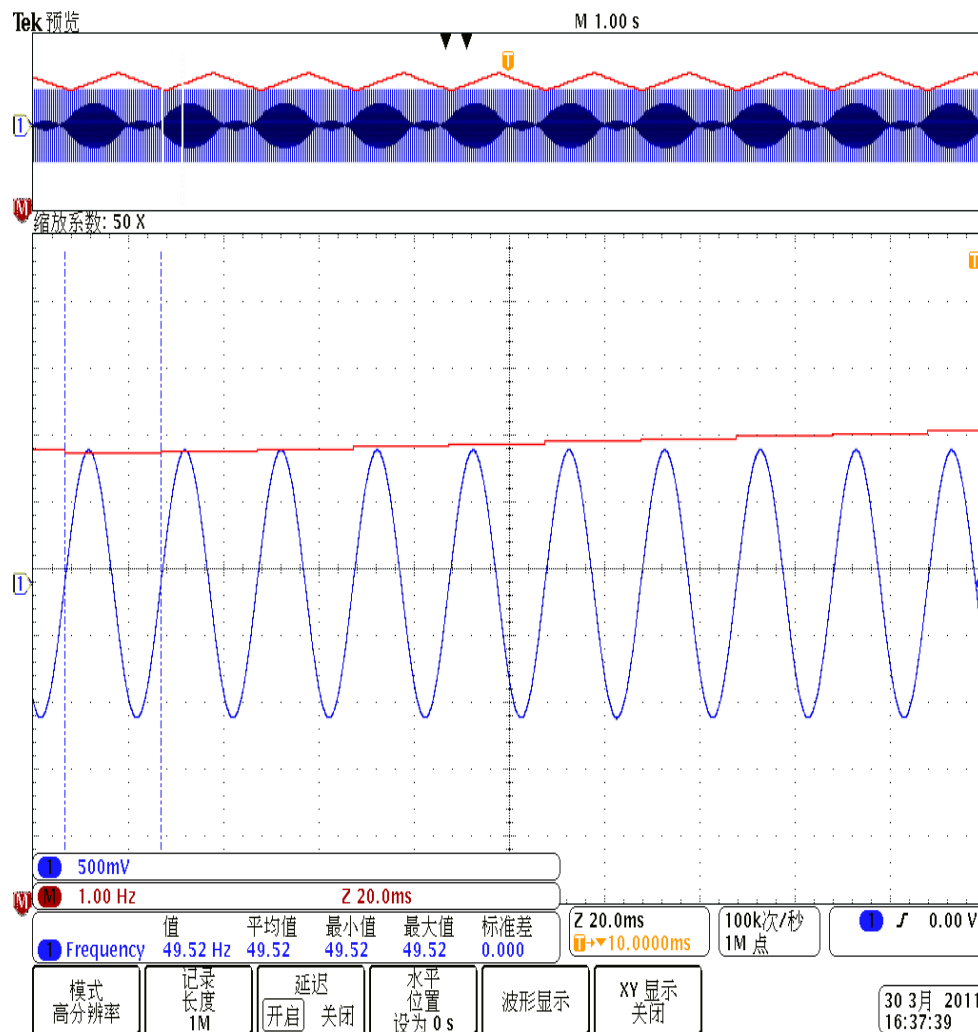
- 并网条件下的变流器在电网电压频率低于或高于一定频率变化范围时，要及时从电网中切断，防止电网崩溃

| 频率范围 | 运行要求 |
|-------------|--|
| <48Hz | 根据逆变器允许运行的最低频率或电网要求而定 |
| 48-49.5Hz | 每次低于49.5Hz时能连续运行10分钟 |
| 49.5-50.2Hz | 连续运行 |
| 50.2-50.5Hz | 每次高于50.2Hz，应具有连续运行2分钟的能力，同时具有0.2s内停止向电网供电的能力 |
| >50.5Hz | 0.2s内停止向电网供电，且不允许再并网 |

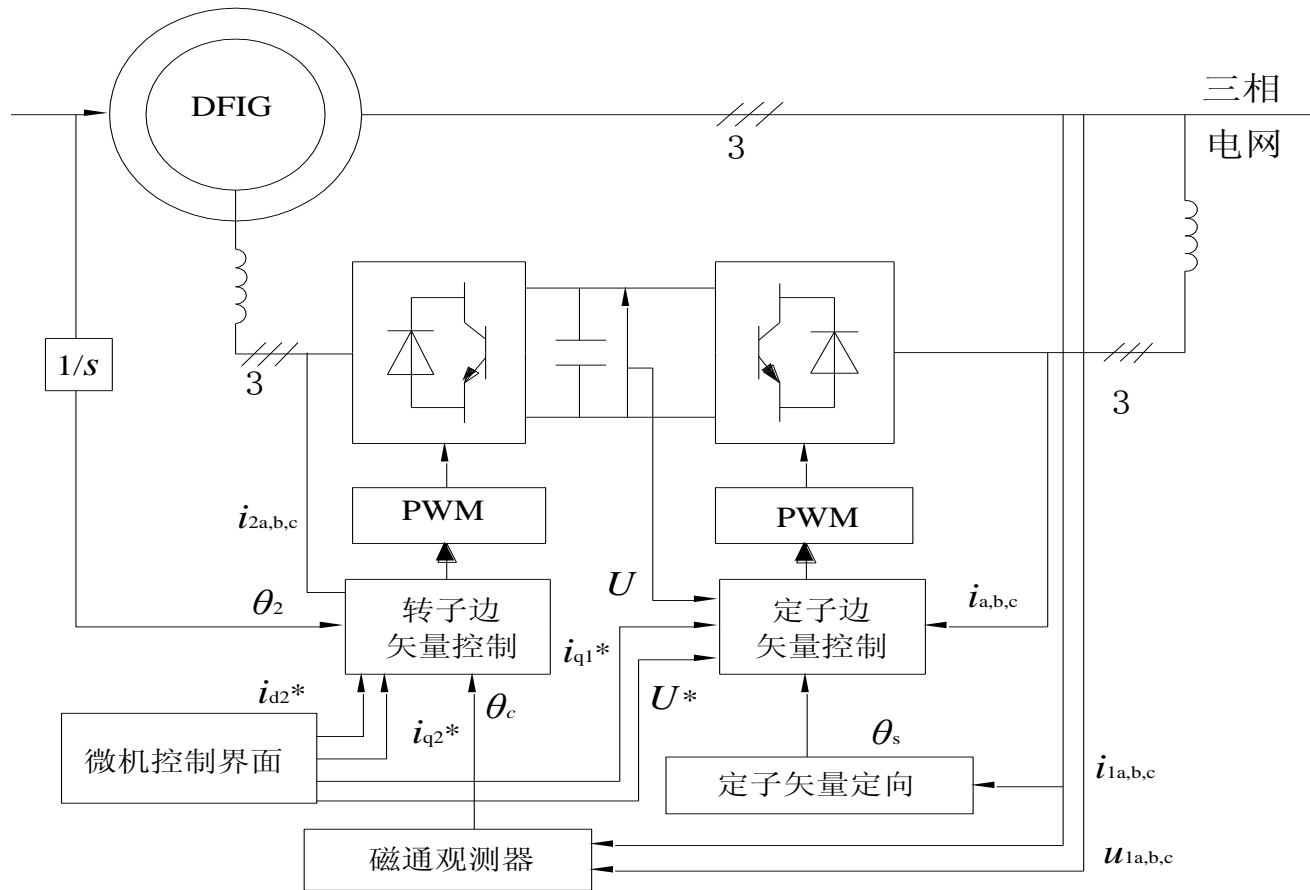
以上数据摘自国家电网公司关于光伏并网的规定

应用二 频率异常响应特性测试

- 计算整个过程的频率变化曲线，测试从频率超标点到变流器切断的过程。
 - 高分辨率采集
 - 使用频率趋势计算，得到整个过程中每个周期的频率
 - 公式: $\text{Trend}(\text{Freq}(\text{CH1}))$
 - 定位频率最大变化点
 - 测量频率超标到系统切出的过程



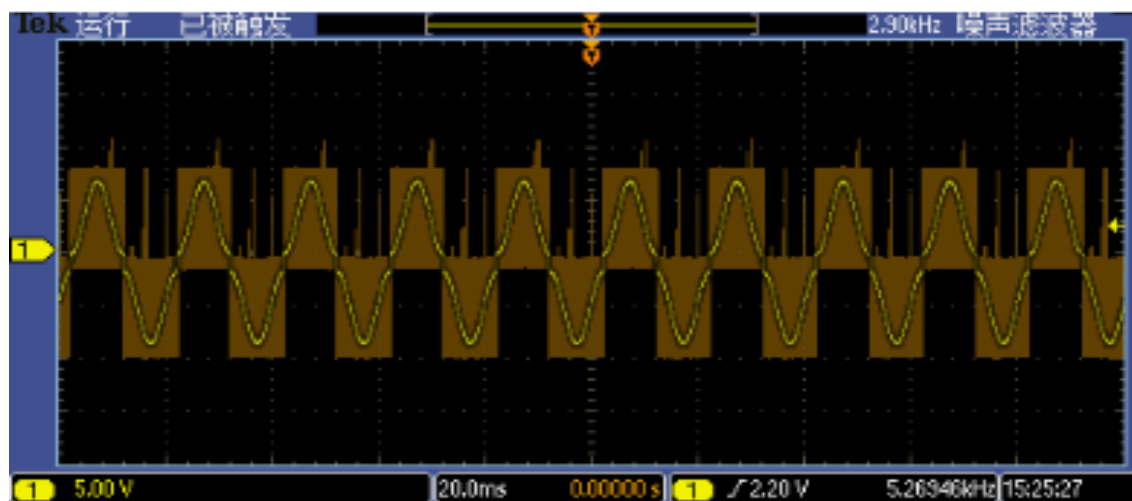
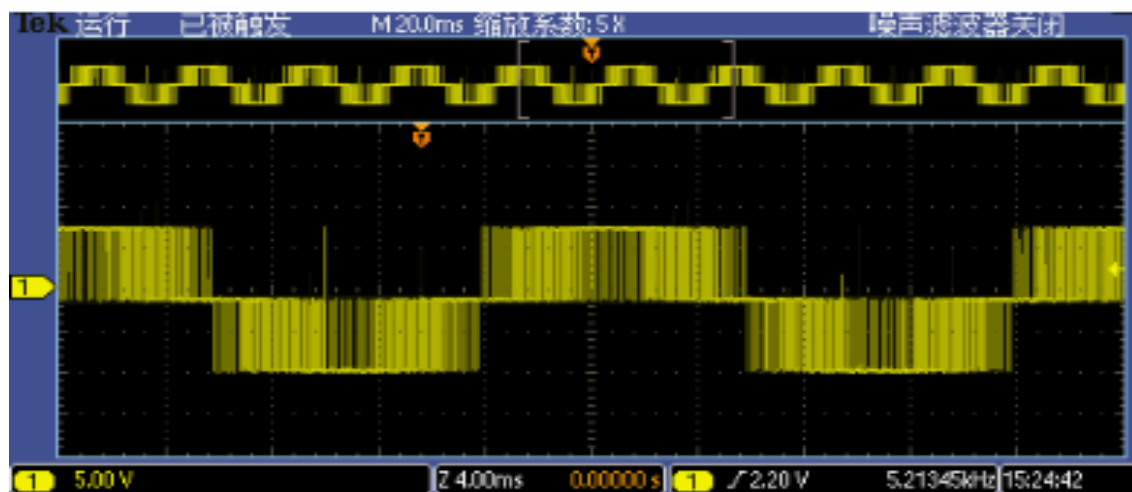
应用三 PWM调制测试



设计人员需要测量变流器的IGBT器件的驱动脉冲信号是否按照设定的规律运行，需要一种直观观测PWM信号的方法，特别是转子侧在不同工况下的驱动情况

应用三 PWM调制测试（FilterVu功能）

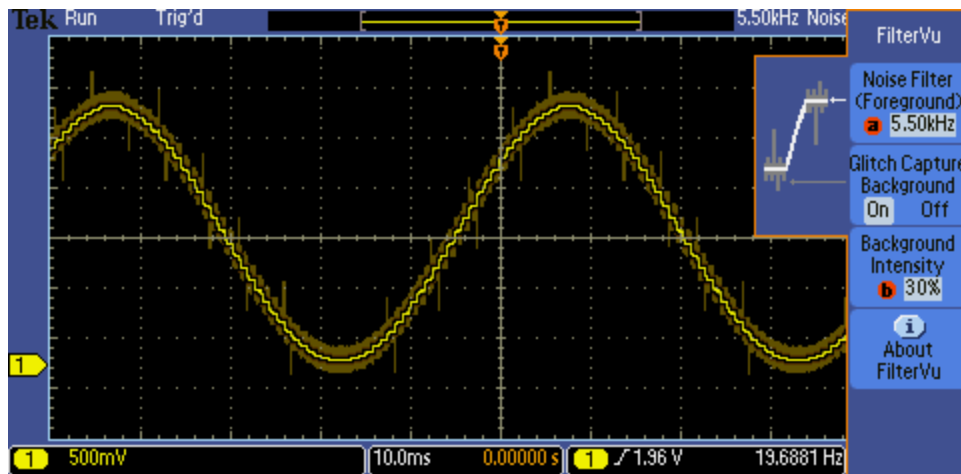
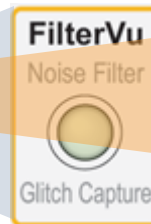
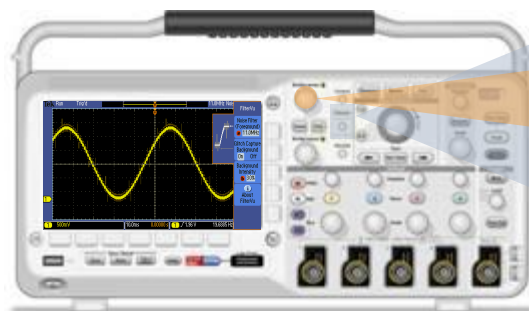
- SPWM、SVPWM、直接转矩控制等控制理论的本质是IGBT门级驱动按照设计规律变化
- 工程师需要测量变频输出电压与PWM信号是否一致
- 泰克方案：
- 泰克示波器独特的FilterVu功能可以滤掉输出电压信号的PWM方波波形，显示出PWM变化趋势



FilterVu™ 可变低通滤波器

新
业内率先
提供的功能

- 从信号中滤掉不想要的噪声或高频信号，同时直到示波器的全部带宽捕获重要的细节

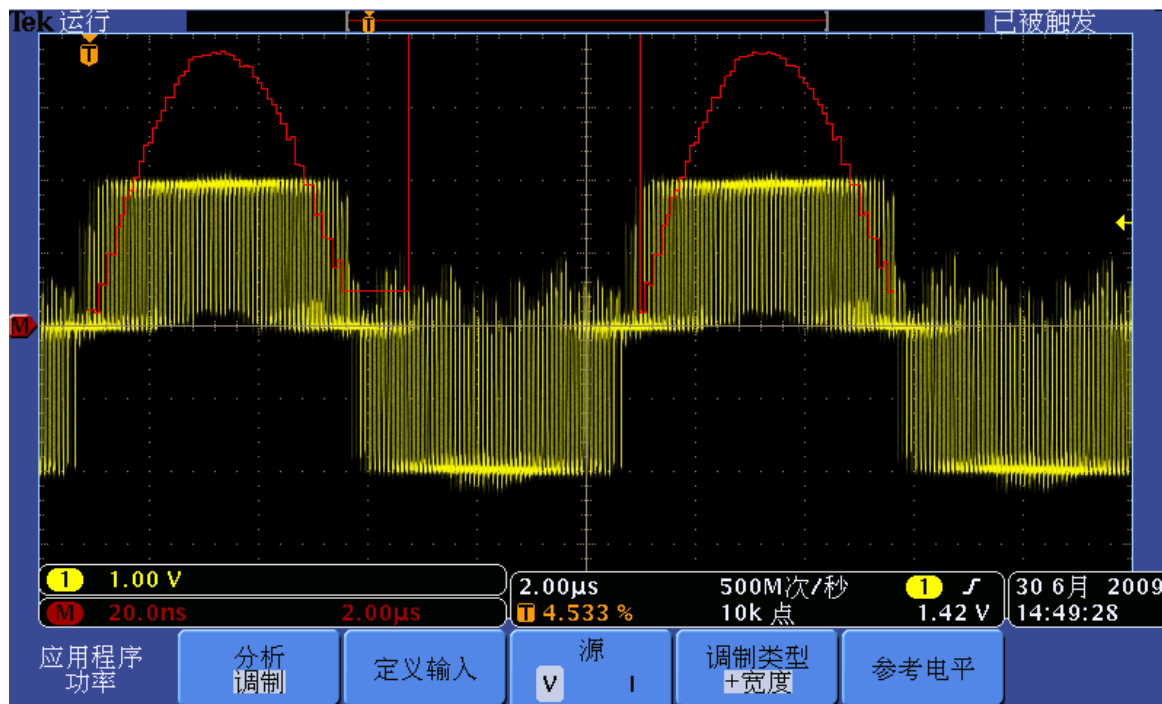


DAC Output

- 低通滤波器平滑预计信号
- 峰值检测min/max采样显示毛刺

应用三 PWM调制测试（趋势测量功能）

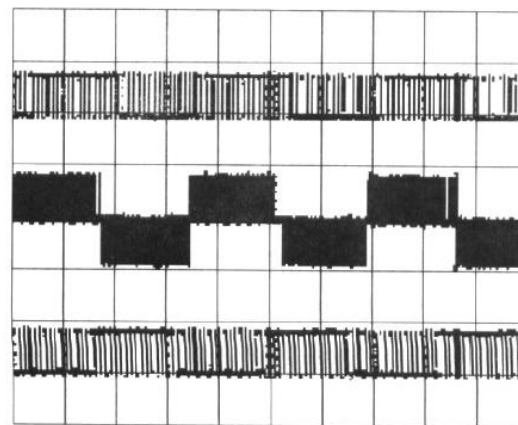
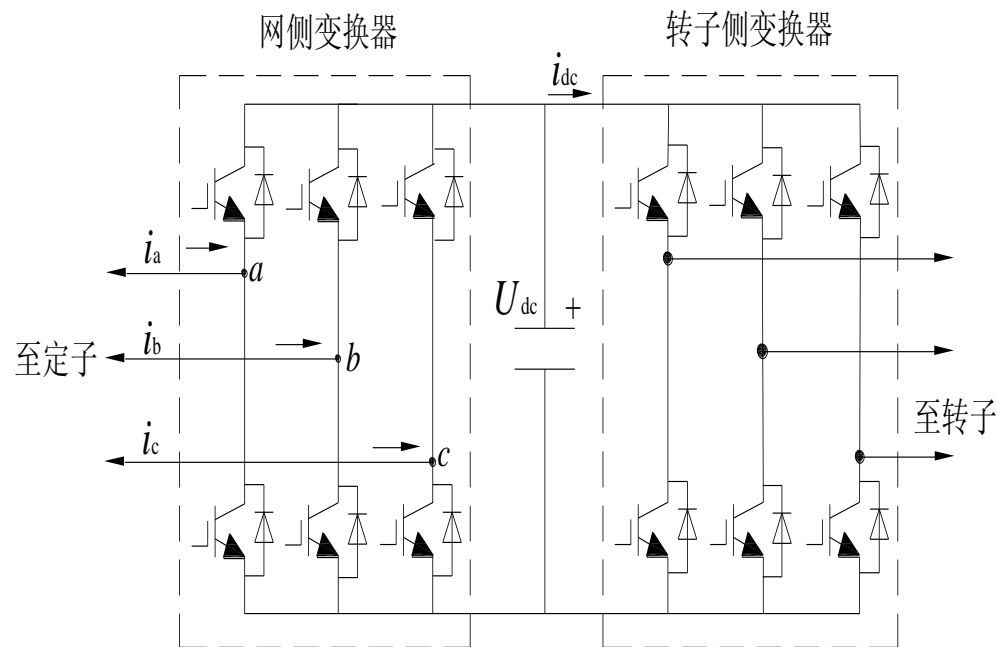
- 使用DPOPOPWR的趋势功能，观察PWM输出
- 如果使用DP03000以上示波器+PWR模块，可以使用调制分析的功能，利用正/负脉冲宽度，正负占空比的趋势测量，达到上一节试验的效果。
- 注意，需要根据实际情况，调节参考电平值，正半周时参考电平为正值，负半周时，参考电平为负值。



MSO3054 - 15:48:17 2009-6-30

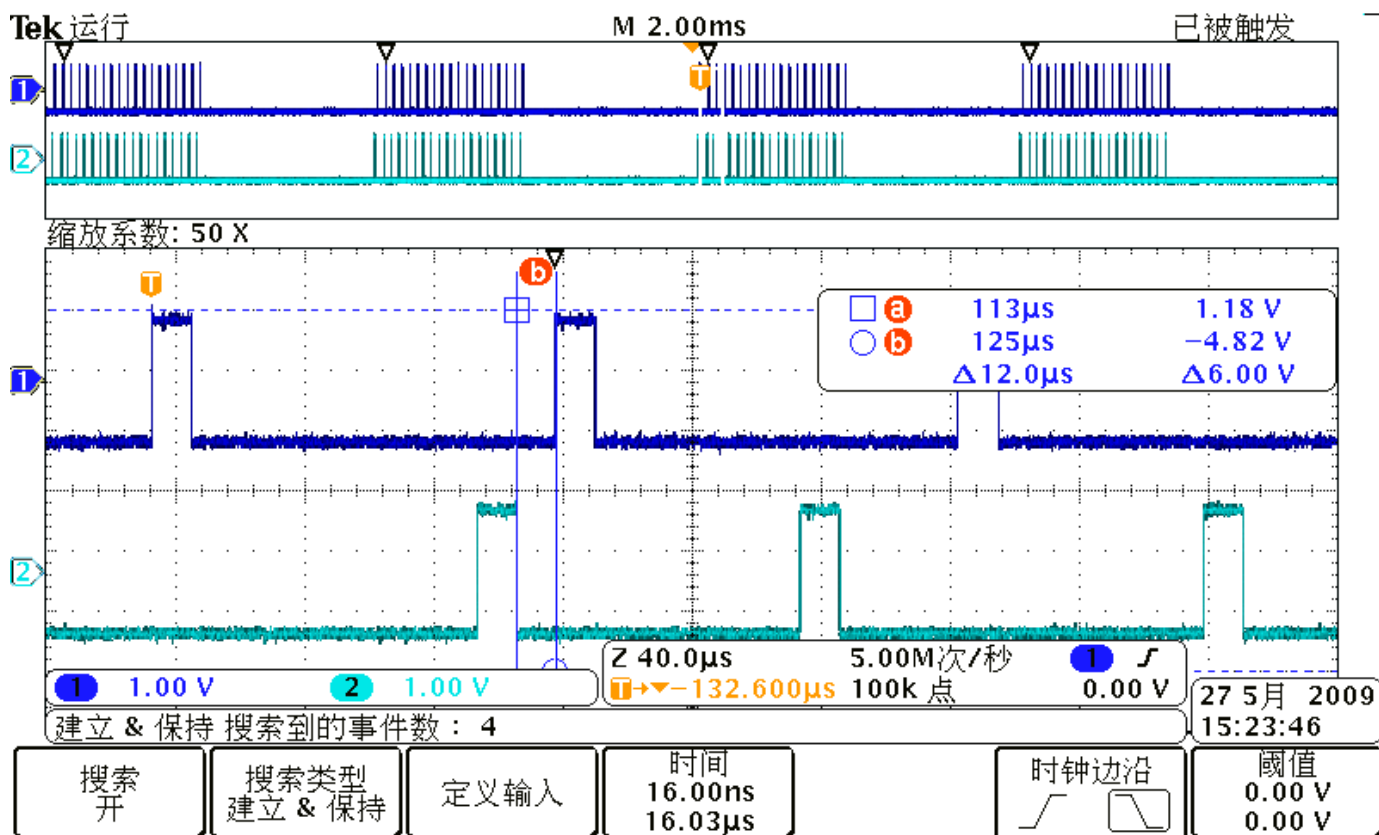
应用四 驱动脉冲测量

- 观测同组驱动脉冲时间上的一致性
- 观测同桥臂驱动脉冲间的死区互锁和保护机制是否奏效
- DPO系列示波器
- 优点：使用逻辑关系的波形搜索功能，查询长时间窗口下是否存在同时驱动同一桥臂IGBT的情况（CH1高且CH2也为高，或者CH1与CH2之间的死区互锁延时过短）



(a) 控制信号 PWM_1 、 PWM_3 及 $PWM_1 - PWM_3$ 的波形

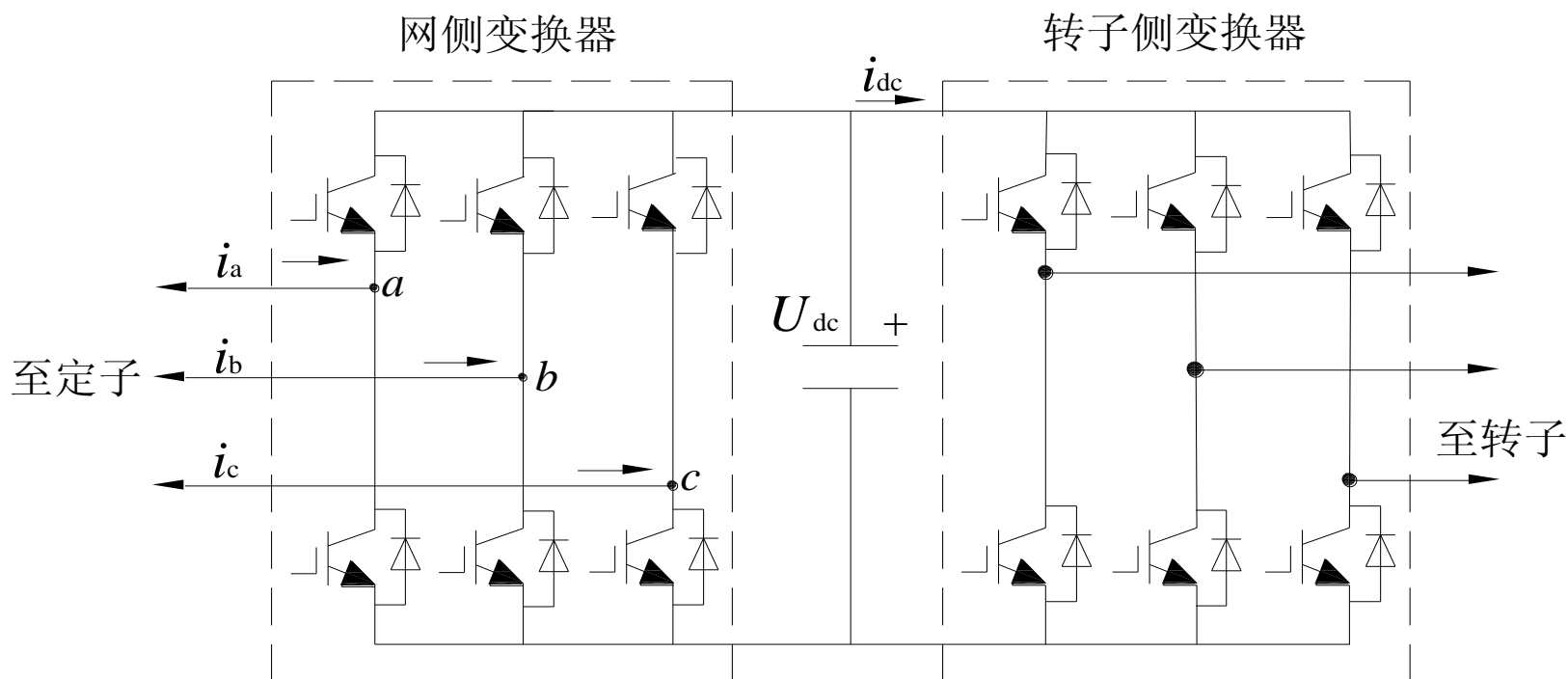
应用四 驱动脉冲测量



DPO3054 - 15:21:13 2009-5-27

- 使用泰克示波器独有的波形搜索功能，可以快速找到长时间范围内同一桥臂上可能存在的驱动脉冲重叠

应用五 功率器件测试（开关损耗测量）

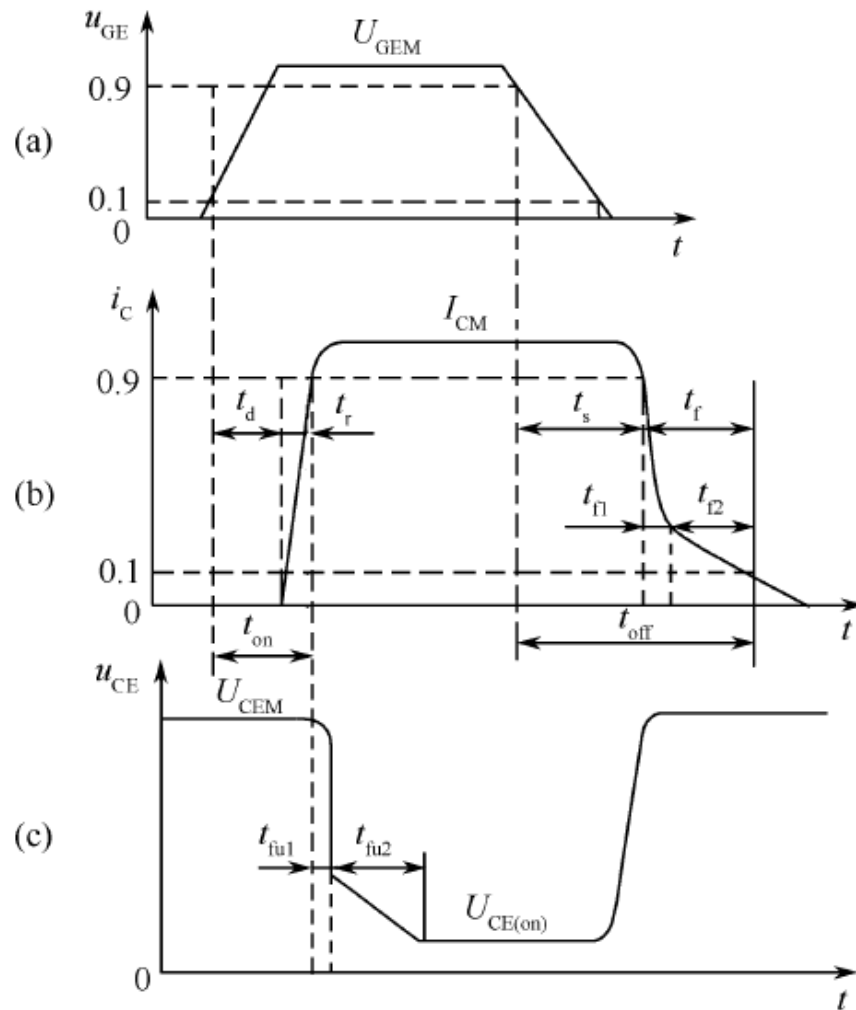
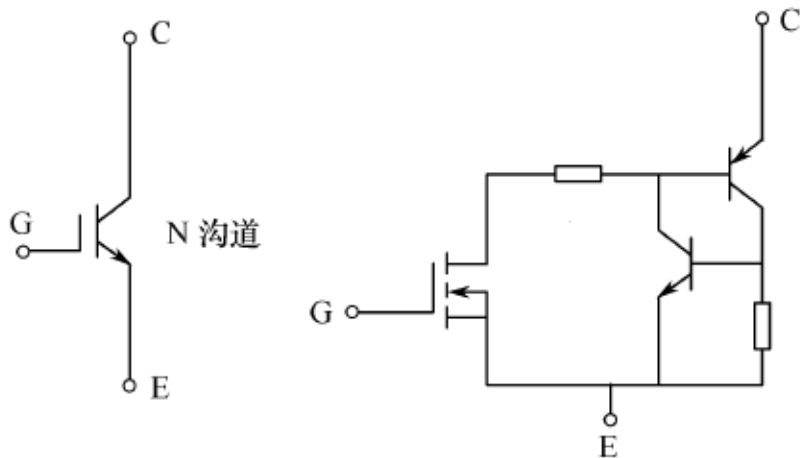


由IGBT电力电子器件组成的双PWM变频器的主电路

- 变流器的主要原件是IGBT，IGBT本身的损耗不但是造成能量损失的重要原因，过高的损耗还会造成器件温升过高，影响设备的正常工作

应用五 功率器件测试（开关损耗测量）

- IGBT的损耗测量
- 在门极的控制下，源极和漏极应当快速的导通和关断。否则，开启和关断的过程会消耗一定的功率，当功率达到一定程度，可能会烧毁IGBT。损失在IGBT上的功率也是变流设备本身功耗的一个重要来源



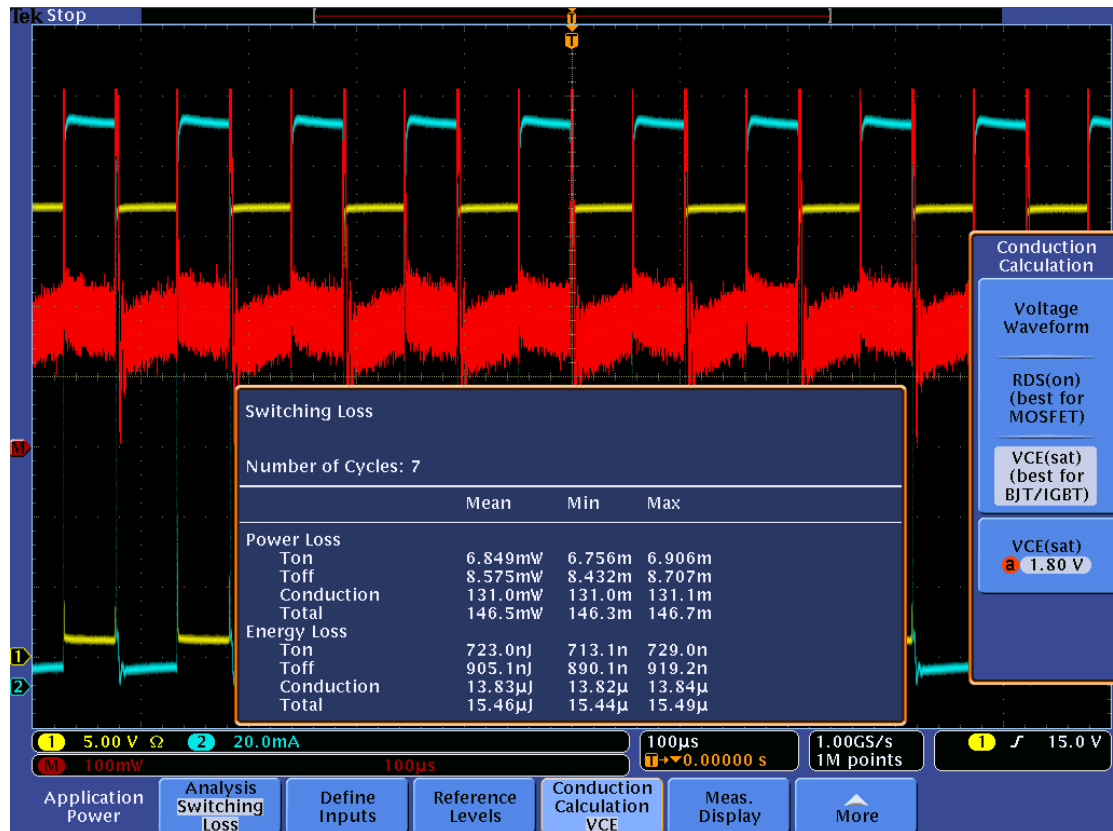
泰克的逆变电路损耗测量方案

- DPO系列示波器+P52系列高压差分探头+TCP系列电流探头
- 优点：
 - 长存储长度能捕获整个工频周期的上千次开关过程
 - 波形搜索功能帮助用户快速找到最小或最大的损耗时刻
 - 高级数学运算和积分功能，帮助用户测量一个工频周期或选定的一段时间内的总损耗
 - 长存储+波形搜索可以实现在负载变化时找到HiPower点

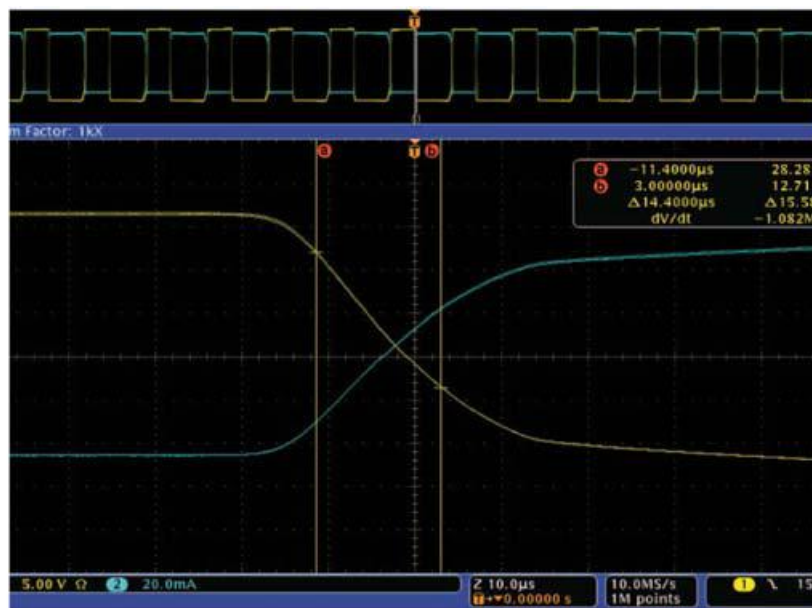
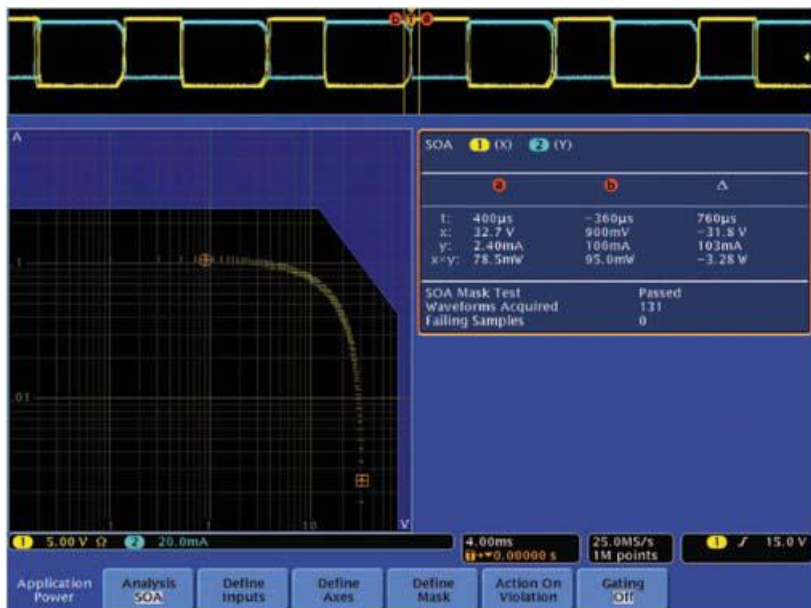


应用五功率器件测试（开关损耗测量）

- 开关损耗测试
- 测量IGBT工作状态下的损耗功率和能量
 - Ton
 - Toff
 - Tconduction
 - Ttotal
- 通过波形搜索功能找到高功率损耗点



应用五：功率器件测试（安全工作区和dv/dt,di/dt）



- 安全工作区测试，检测最大电压、最大电流和最大功率点
 - 可用户自定义工作区
- 测量和查找dv/dt, di/dt时刻，简化门级驱动的检定。

应用六 直流母线的电流波动测量

- 能源行业的众多设备中的储能环节使用电解电容，其使用寿命与温度直接相关

$$L = L_0 \times 2^{\frac{T_{\max} - T_a}{10}} \quad \text{----- 4.1}$$

L : Estimated life(Hr)

L_0 : Life at rated temperature (Hr)

T_{\max} : Rated Temperature ($^{\circ}\text{C}$)

T_a : Ambient Temperature ($^{\circ}\text{C}$)

- 电容器内部温升与纹波电流的平方成正比

$$\Delta T_c = \frac{I^2 \times R}{\beta \times S} \quad \text{----- 4.2}$$

ΔT_c : Surface heat rise ($^{\circ}\text{C}$)

I : Ripple current (Arms)

R : ESR of capacitor (Ω)

S : Surface area of capacitor (cm^2)

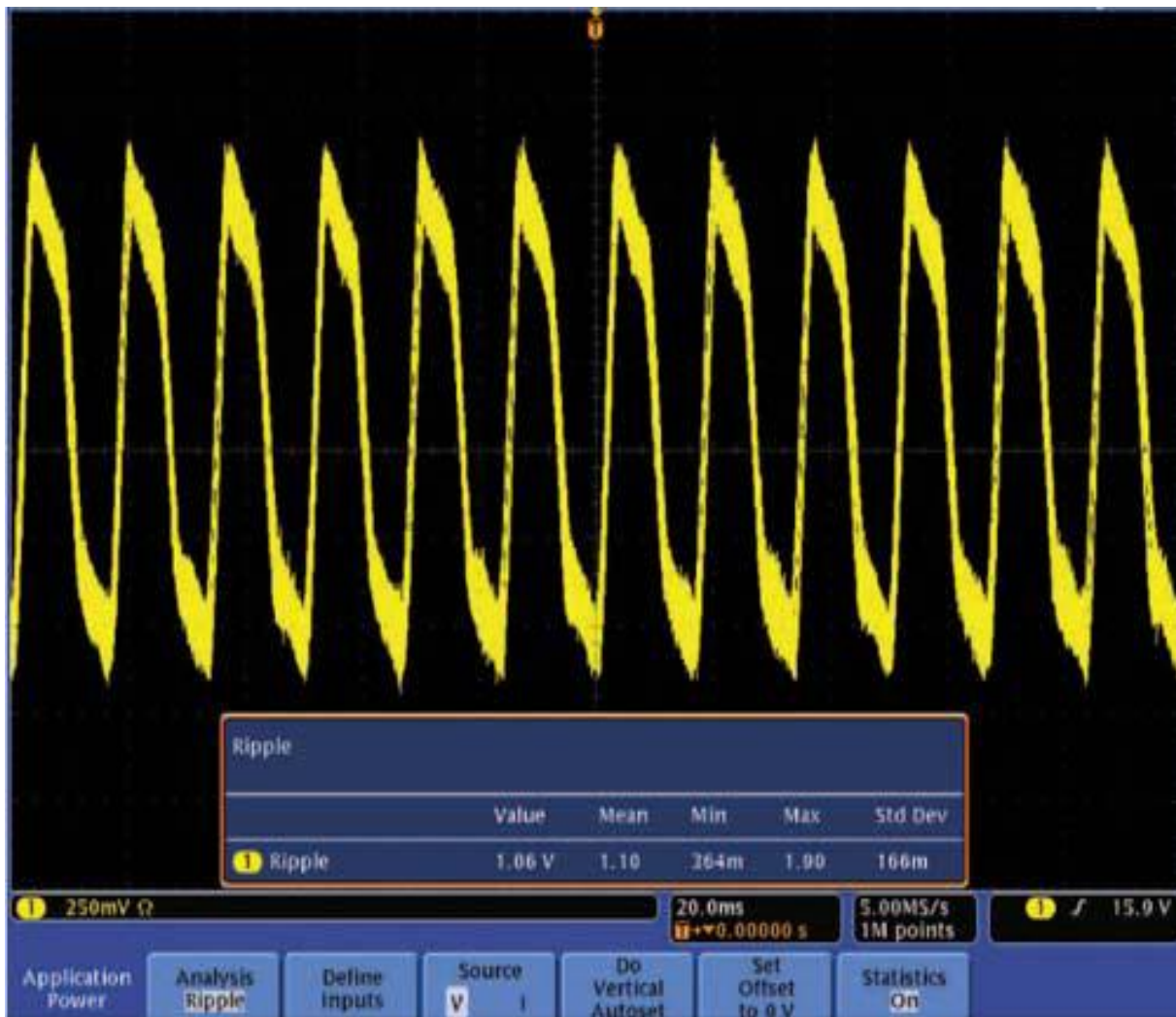
β : Heat radiation factor ($\text{W}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}^2$)

- 控制纹波电流能有效提升变流装置的整体寿命

应用六 直流母线的电流波动测量

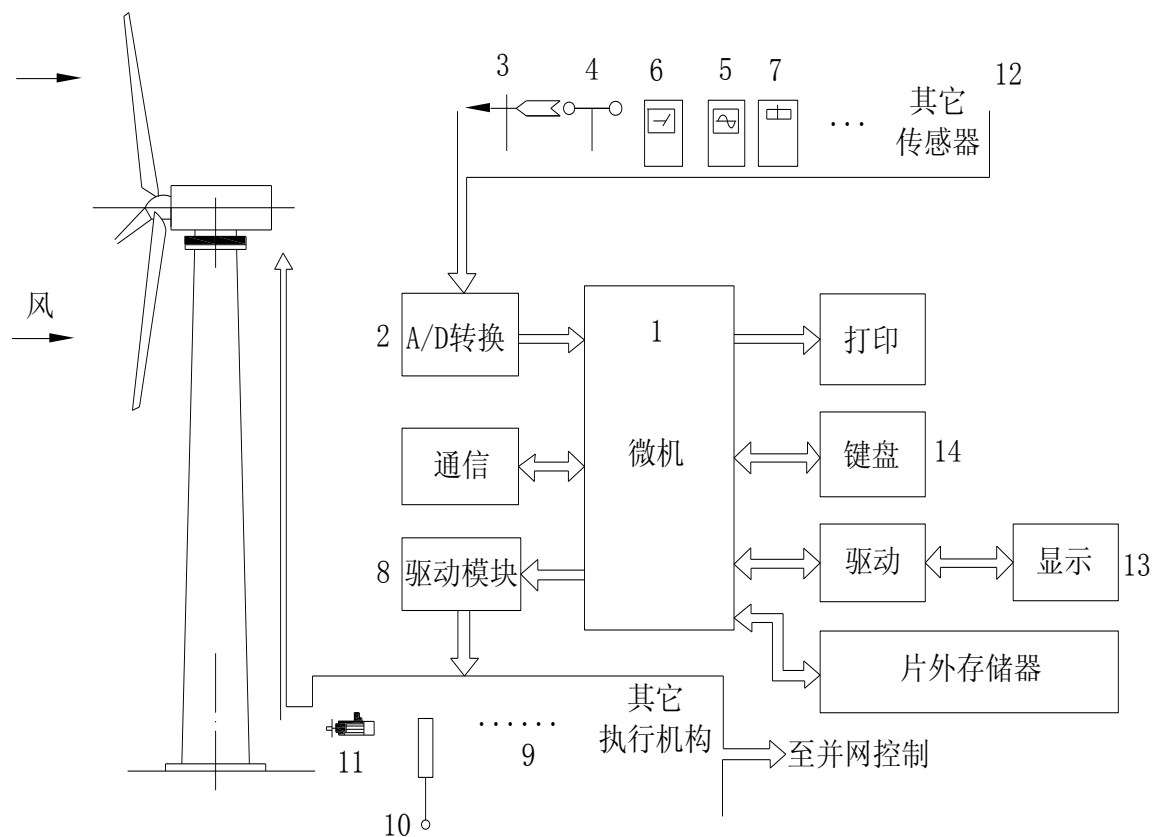
直流波动测量

- 直接显示百分比或有效值、峰峰值
- 带有统计功能
- 电压和电流波动均可测量



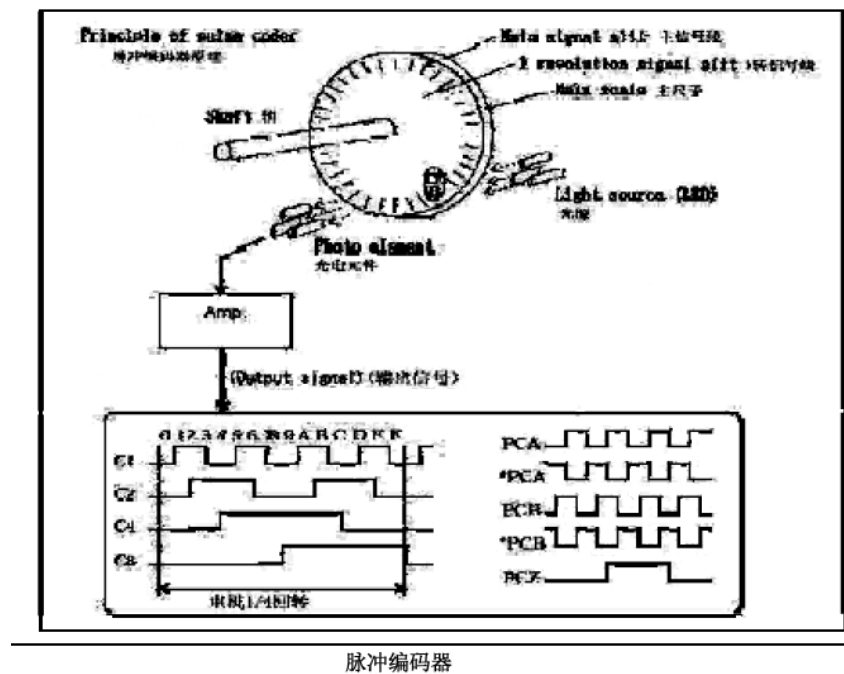
应用七 伺服驱动系统调试

- 变桨距系统、偏航系统都是典型的伺服系统
- 变桨距系统多为电液伺服系统
- 偏航系统有角度、电缆缠绕等传感器控制



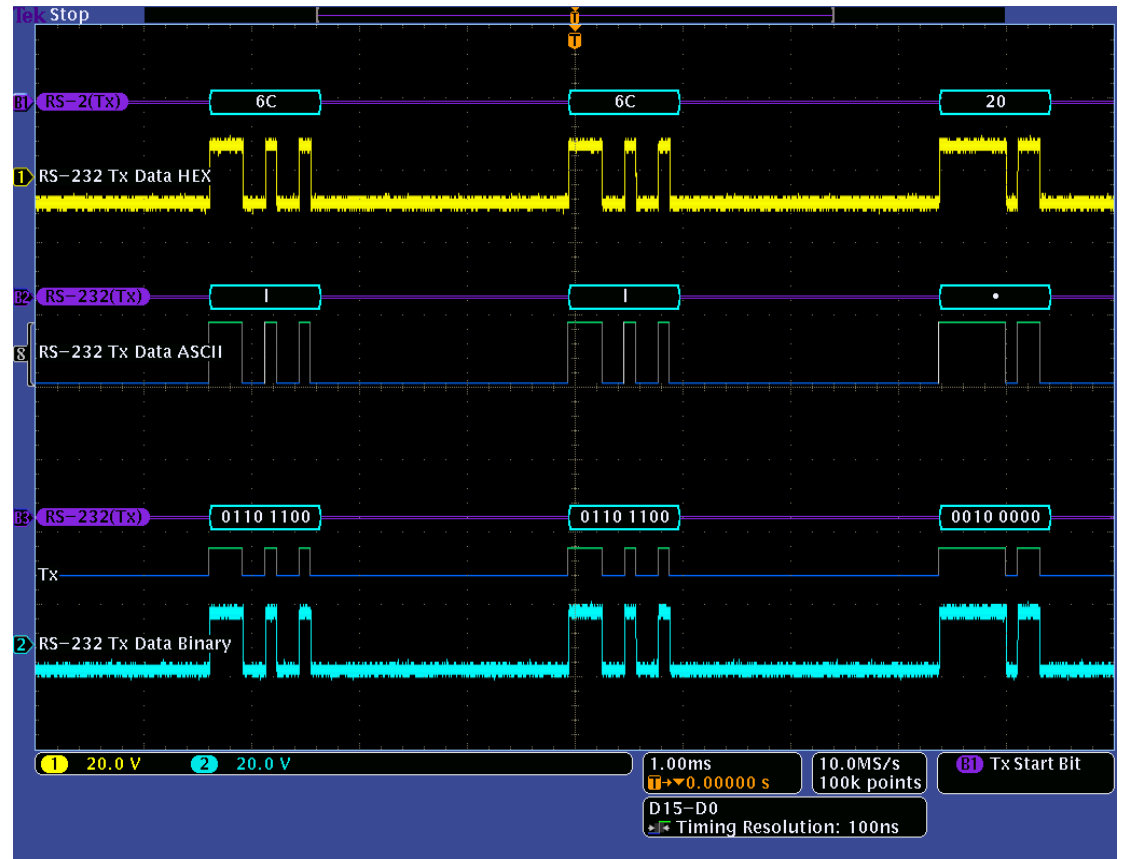
应用七 伺服驱动系统调试

- 风速、角度和位置传感器是伺服系统的重要组成部分，此外转子电流、网侧电压等信号也需要测量
- 使用MSO示波器的逻辑通道，检测传感器的编码电路输出是否正确。配合长存储示波器，可以调制当位置或角度变化为某一值时（并行总线的一种解码数据）DSP发出启动或终止电机工作的信号



应用七 伺服驱动系统调试（总线调试）

- 现代风电机组采用了大量的工业总线用于通信，如CAN，RS232/485
- 泰克示波器具有总线解码功能，可以将I2C、SPI、RS232/422/45、CAN/LIN、并行总线解码、触发，并和模拟信号一起完成系统级的调试。



应用八 电能质量测量

- 有功功率定义：

$$P=U*I*\text{Cos } \phi$$

U是电压的有效值（Urms），I是电流的有效值（Irms）， ϕ 是电压和电流的相角

- 瞬时功率积分法（示波器的功率测量方法）

$$p=u*i$$

一定时间内的功率

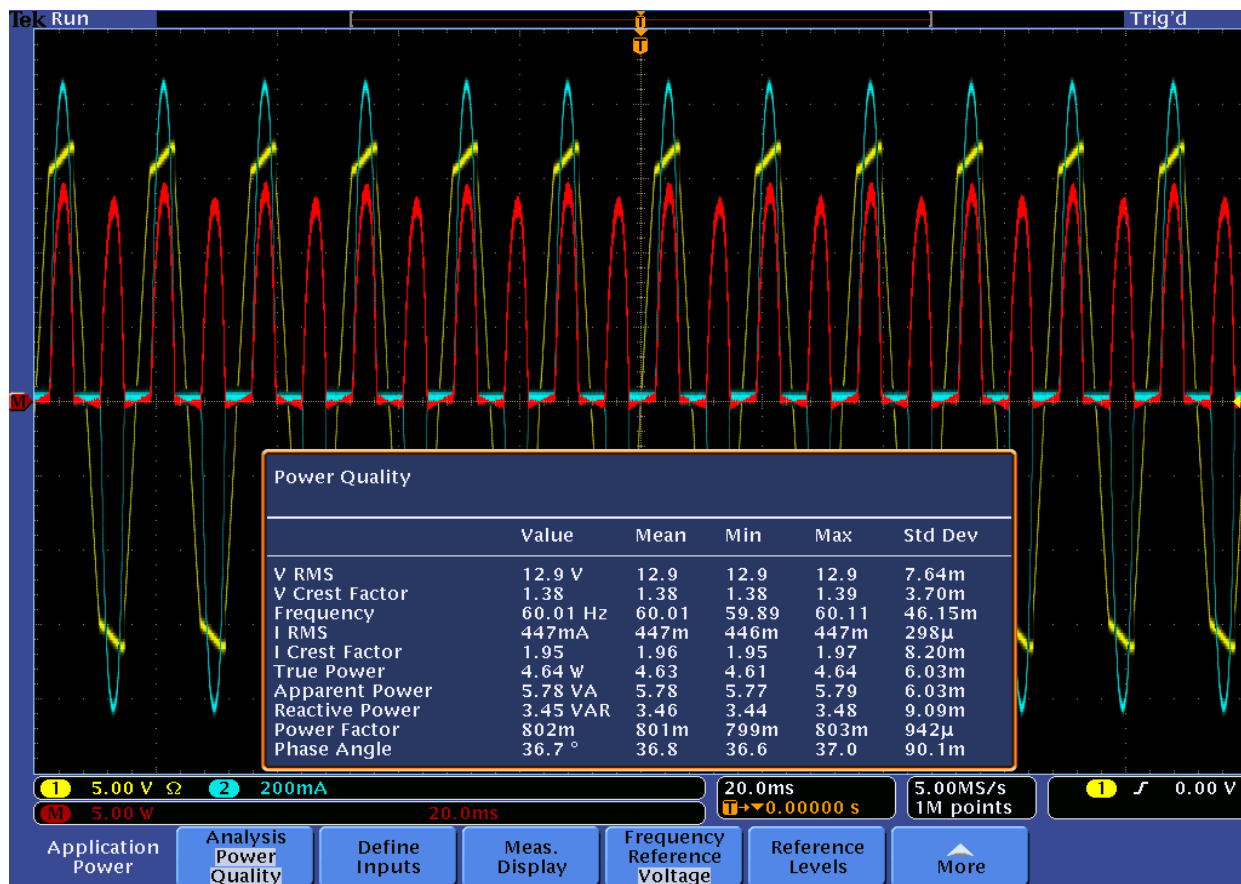
$$P= \int u*i dt$$

- 使用第一种方法，电压和电流必须是有效值。对于含有高次谐波的情况，很难准确测量有效值
 - 普通的功率测量仪器只测量工频有功功率，仪器的带宽只有几KHz。无法测量出高次谐波
 - 测量变流器输出功率，测试仪器必须有足够高的带宽

应用八 电能质量测试

电能质量测试:

- 电压有效值
- 电流有效值
- 电压的波峰因数
- 电流的波峰因数
- 有功功率
- 视在功率
- 无功功率
- 功率因数
- 相角



并网电流谐波要求

国网公司对于光伏电站并网电流的谐波要求

表 2 注入公共连接点的谐波电流允许值

| 标称电压(kV) | 基准短路容量(MVA) | 谐波次数及谐波电流允许值 (A) | | | | | | | | | | | |
|----------|-------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 0.38 | 10 | 78 | 62 | 39 | 62 | 26 | 44 | 19 | 21 | 16 | 28 | 13 | 24 |
| 6 | 100 | 43 | 34 | 21 | 34 | 14 | 21 | 11 | 11 | 8.5 | 16 | 7.1 | 13 |
| 10 | 100 | 26 | 20 | 13 | 20 | 8.5 | 15 | 6.4 | 6.8 | 5.1 | 9.3 | 4.3 | 7.9 |
| 35 | 250 | 15 | 12 | 7.7 | 12 | 5.1 | 8.8 | 3.8 | 4.1 | 3.1 | 5.6 | 2.6 | 4.7 |
| 66 | 300 | 16 | 13 | 8.1 | 13 | 5.1 | 9.3 | 4.1 | 4.3 | 3.3 | 5.9 | 2.7 | 5 |
| 110 | 750 | 12 | 9.6 | 6 | 9.6 | 4 | 6.8 | 3 | 3.2 | 2.4 | 4.3 | 2 | 3.7 |
| | | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 0.38 | 10 | 11 | 12 | 9.7 | 18 | 8.6 | 16 | 7.8 | 8.9 | 7.1 | 14 | 6.5 | 12 |
| 6 | 100 | 6.1 | 6.8 | 5.3 | 10 | 4.7 | 9 | 4.3 | 4.9 | 3.9 | 7.4 | 3.6 | 6.8 |
| 10 | 100 | 3.7 | 4.1 | 3.2 | 6 | 2.8 | 5.4 | 2.6 | 2.9 | 2.3 | 4.5 | 2.1 | 4.1 |
| 35 | 250 | 2.2 | 2.5 | 1.9 | 3.6 | 1.7 | 3.2 | 1.5 | 1.8 | 1.4 | 2.7 | 1.3 | 2.5 |
| 66 | 300 | 2.3 | 2.6 | 2 | 3.8 | 1.8 | 3.4 | 1.6 | 1.9 | 1.5 | 2.8 | 1.4 | 2.6 |
| 110 | 750 | 1.7 | 1.9 | 1.5 | 2.8 | 1.3 | 2.5 | 1.2 | 1.4 | 1.1 | 2.1 | 1 | 1.9 |

表 1 奇次谐波电流含有率限值

| 奇次谐波次数 | 含有率限值 (%) |
|----------------------------------|-----------|
| 3 ^m -9 ⁿ | 4.0 |
| 11 ⁿ -15 ⁿ | 2.0 |
| 17 ⁿ -21 ⁿ | 1.5 |
| 23 ^m -33 ^m | 0.6 |
| 35 ⁿ 以上 | 0.3 |

表 2 偶次谐波电流含有率限值

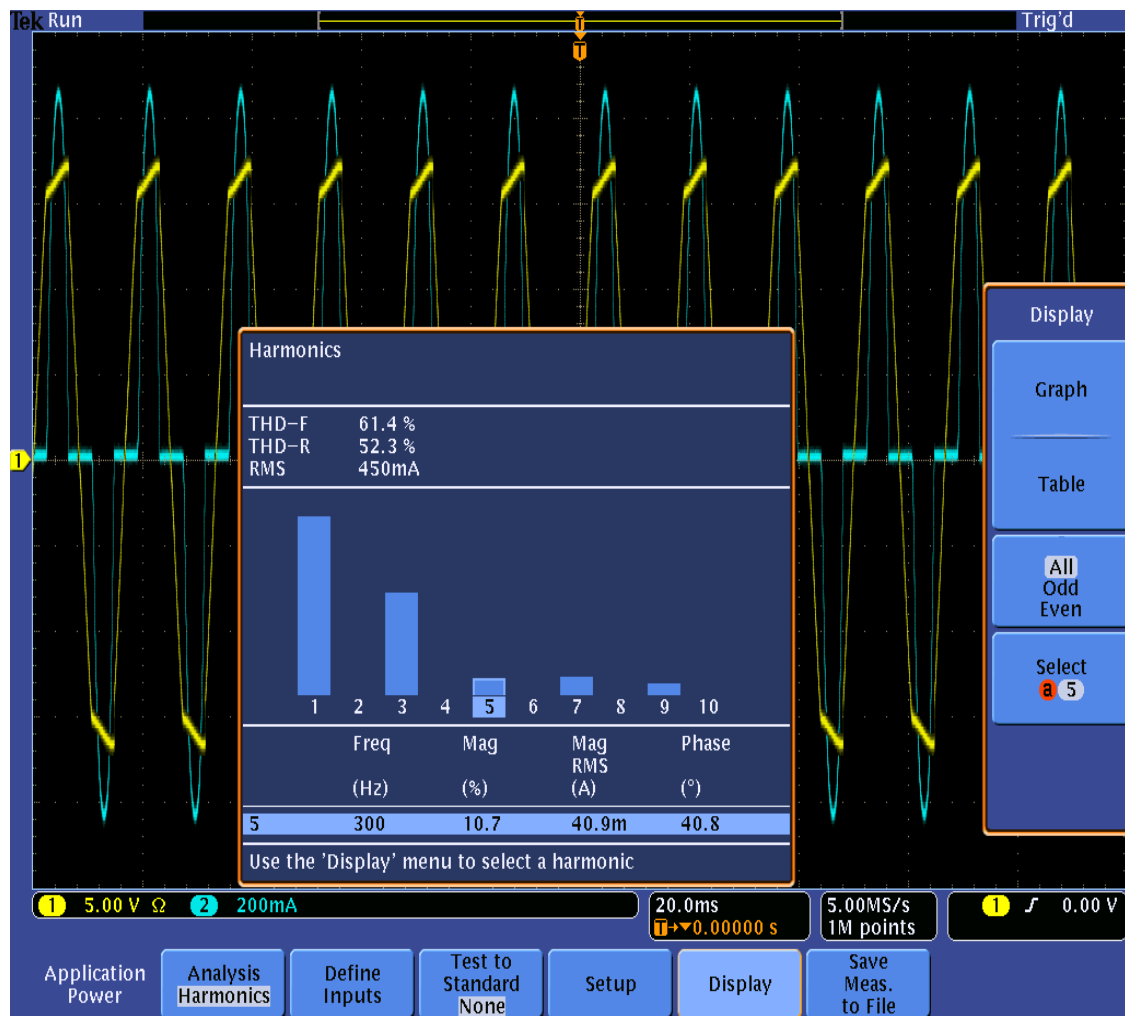
| 偶次谐波次数 | 含有率限值 (%) |
|----------------------------------|-----------|
| 2 ^m -10 ⁿ | 1.0 |
| 12 ⁿ -16 ⁿ | 0.5 |
| 18 ⁿ -22 ^m | 0.375 |
| 24 ⁿ -34 ⁿ | 0.15 |
| 36 ⁿ 以上 | 0.075 |

总谐波<5%

应用八 电能质量测试

谐波测试

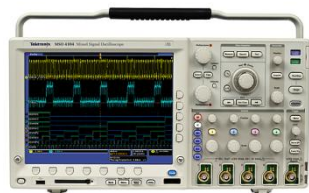
- 测量电压或电流的谐波
- 显示THD和真有效值数据
- 基波可以是50Hz，60Hz，400Hz或用户自定义。
- 最多显示51次谐波
- 采用IEC61000-3-2、MIL-STD-1399标准，也可用户自定义
- 棒图显示或图表显示
- 结果可以存成文件



大纲

- 逆变器概念
- 逆变器分类
- 逆变器应用
- 光伏逆变技术
- 风能逆变技术
- 逆变器的测试技术
-  **Tektronix的测试方案**

MSO/DPO系列示波器



4000B系列

3000系列

2000系列

| | 4000B系列 | 3000系列 | 2000系列 |
|----------|--|--|--|
| 带宽 | 1 GHz, 500 MHz, 350 MHz | 500 MHz, 300 MHz, 100 MHz | 200 MHz, 100 MHz |
| 通道数量 | 4条模拟通道 16条模拟通道 (MSO系列) | 2条或4条模拟通道 16条模拟通道 (MSO系列) | 2条或4条模拟通道 16条模拟通道 (MSO系列) |
| 记录长度 | 20 M点 | 5 M点 | 1 M点 |
| 波形捕获速率 | >50,000 wfm/s | >50,000 wfm/s | 5,000 wfm/s |
| 并行总线分析 | 是 (MSO系列) | 是 (MSO系列) | 是 (MSO系列) |
| 选配串行总线分析 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ I²C, SPI ▪ CAN, LIN, FlexRay ▪ RS-232/422/485/UART ▪ I²S/LJ/RJ/TDM ▪ LAN, 1553 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ I²C, SPI ▪ CAN, LIN ▪ RS-232/422/485/UART ▪ I²S/LJ/RJ/TDM | <ul style="list-style-type: none"> ▪ I²C, SPI ▪ CAN, LIN ▪ RS-232/422/485/UART |
| 选配分析软件包 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 电源分析 ▪ HDTV和自定义视频 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 电源分析 ▪ HDTV和自定义视频 | |

AFG3000函数信号源产品

| | AFG3011 | AFG3021B | AFG3022B | AFG3101 | AFG3102 | AFG3251 | AFG3252 |
|-------------------|---|----------------------------|----------|----------------------------|---------|---------------------------|---------|
| 通道数量 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 标准波形 | 正弦波, 方波, 脉冲, 锯齿波, 噪声, $\sin(x)/x$, 指数上升/下降, 高斯, 罗伦兹, Haversine, DC | | | | | | |
| 正弦 | 1 μ Hz - 10 MHz | 1 μ Hz - 25 MHz | | 1 μ Hz - 100 MHz | | 1 μ Hz - 240 MHz | |
| 方波 | 1 μ Hz - 5 MHz | 1 μ Hz - 12.5 MHz | | 1 μ Hz - 50 MHz | | 1 μ Hz - 120 MHz | |
| 脉冲 | 1 mHz - 5 MHz | 1 mHz - 12.5 MHz | | 1 mHz - 50 MHz | | 1 mHz - 120 MHz | |
| 其它 | 1 μ Hz - 100 kHz | 1 μ Hz - 250 kHz | | 1 μ Hz - 1 MHz | | 1 μ Hz - 2.4 MHz | |
| 任意 | 1 mHz - 5 MHz | 1 mHz - 12.5 MHz | | 1 mHz - 50 MHz | | 1 mHz - 120 MHz | |
| 垂直分辨率 | 14位 | 14位 | | 14位 | | 14位 | |
| 波形存储器 | 128K | 128K | | 128K | | 128K | |
| 采样率 | 250 MS/s | 250 MS/s | | 高达1 GS/s | | 高达2 GS/s | |
| 幅度 (50 Ω) | 20 mV to 20 V _{pp} | 10 mV - 10 V _{pp} | | 20 mV - 10 V _{pp} | | 50 mV to 5V _{pp} | |
| 调制 | AM, FM, PM, FSK, PWM, 扫描, 突发 | | | | | | |
| 远程接口 | USB, GPIB, LAN | | | | | | |

数字万用表——DMM4000系列

轻松完成精密多功能测量与分析



| | DMM4020 | DMM4040 | DMM4050 |
|-------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 分辨率 | 5.5 | 6.5 | 6.5 |
| 准确度 | 0.015% | 0.0035% | 0.0024% |
| 高级测量/功能 | 2x4 线电阻测量, 频率 | 2x4 线电阻测量, 频率, 周期 | 2x4 线电阻测量, 频率, 周期, 电容, 温度 |
| 分析 | 极限对比 | 极限对比, TrendPlot™, 直方图, 统计 | |
| 显示 | 双显: 数字 | 双显: 数字与图形 | |
| 外部存储 | 没有 | USB | USB |
| 连接性 | RS232 & USB 转接 | LAN, GPIB, RS232 & USB 转接 | |
| 传送速度 (读数/秒) | 100 | 1000 | |
| 保修期 | 3 years | | |
| 软件 | NI LABVIEW SignalExpress Tek 版本 | | |

PWS4000可编程电源系列

精稳输出



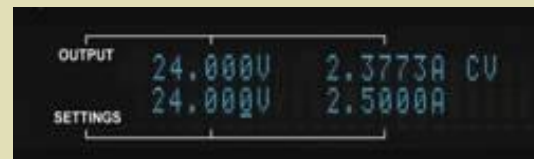
- 0.03% 基本电压准确度
- 0.05 % 基本电流准确度
- 精确的 1 mV / 0.1 mA 分辨率
- 低噪声，线性调节
- 远程传感，修正导线电阻的影响

功能丰富



- 密码保护面板锁定，预防意外触碰，输出过大，损坏备测
- 存储/运行7个序列，每序列可设定多达80个步进
- 后端输出，状态与控制线
- NI LabVIEW SignalExpress TE 软件包

操作简便

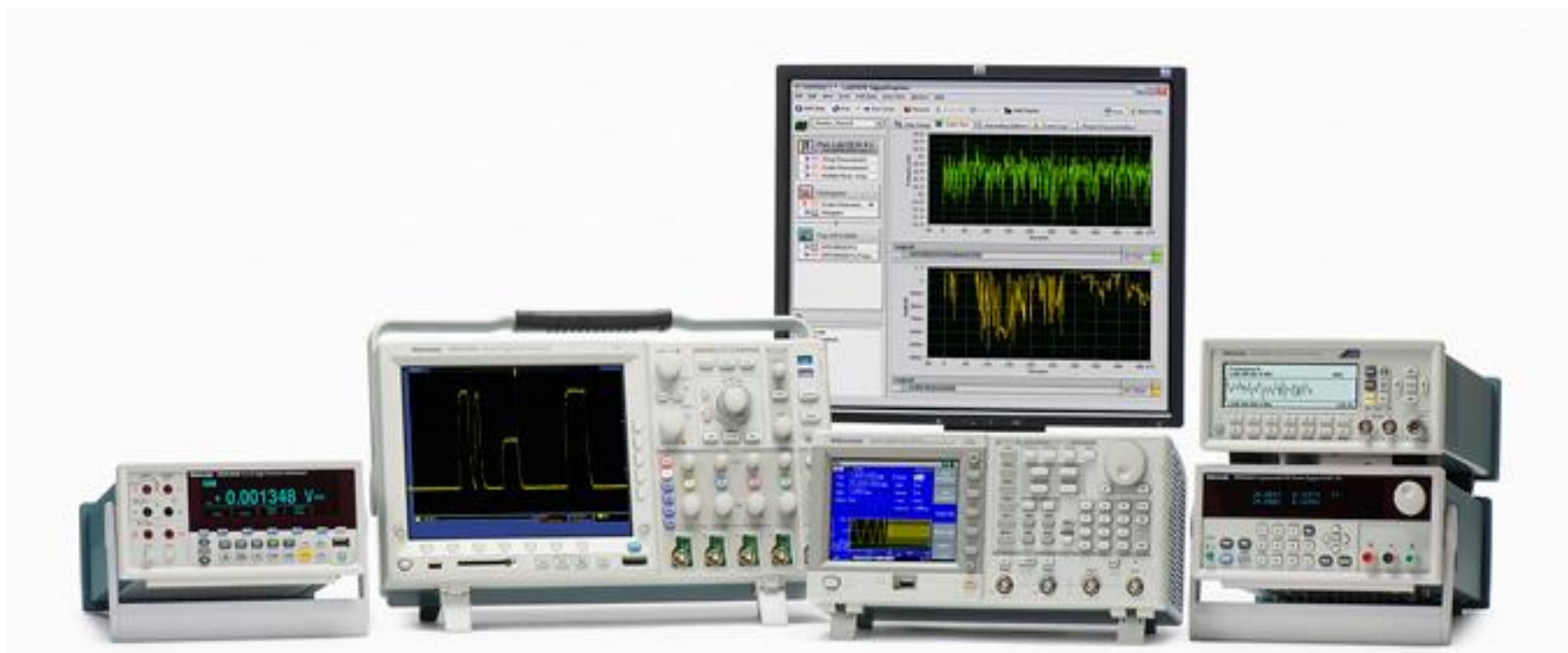


- 双显示功能，同时显示电压、电流回读读数或极限值
- 直接数字输入键盘
- 40 个设置存储
- USB 设备借口，轻松连接PC

| | PWS4205 | PWS4305 | PWS4323 | PWS4602 | PWS4721 |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 最大功率 | 100 W | 150 W | 96 W | 150 W | 86 W |
| 电压 | 0-20 V | 0-30 V | 0-32 V | 0-60 V | 0-72 V |
| 电流 | 0-5 A | 0-5 A | 0-3 A | 0-2.5 A | 0-1.2 A |
| 接口 | USB | | | | |

泰克—测试仪器专家

逆变设计，泰克提供给您的不只是示波器



欢迎大家登陆泰克网站查阅更多资料

WWW. TEK. COM

A decorative horizontal bar composed of several colored segments: a red segment on the far left, a large dark grey segment, a medium olive green segment, and a light olive green segment on the far right.

Tektronix[®]