

高频电子镇流器设计

辽宁工业大学
陈永真

0416chenyongzhen@163.com

13841685729

一、荧光灯特性

荧光灯不是点亮就行

- 在人们的习惯中，似乎认为荧光灯只要能点亮就行，其他的就不用考虑了。
- 在这种思想指导下，简易型电子镇流器应运而生。
- 其结果自然是短寿命的。
- 灯功率不足是简易电子镇流器的另一大特点，通常只有灯管额定功率的**2/3**。
- 这种减功率的方法可以使得镇流器更加便宜
- 但是灯功率不足会严重降低照明质量，并大大缩短灯管使用寿命。

镇流器特性决定荧光灯特性

- 一个荧光灯能够点多长时间，它的亮度如何，光线是否舒适等等特性都是由镇流器决定的。
- 镇流器的功能不仅仅是将荧光灯点亮就行了，还需要为荧光灯提供最佳的起辉、最佳的工作状态，这样才能使荧光灯不仅亮，而且寿命长。

做好电子镇流器首先要清楚荧光灯的特性（线在普遍的观点）

- 一般的荧光灯是热阴极，灯丝需要加热。
- 荧光灯的起辉需要高电压
- 荧光灯工作特性是负阻特性，需要恒流驱动。
- 荧光灯的起辉需要灯丝充分预热
- 荧光灯的灯电流的波形系数越小越好

电子镇流器与50Hz电感镇流器起辉方式的不同

- **50Hz**电感镇流器是利用起辉器断开时镇流电感产生高幅值感生电势将荧光灯起辉点燃
- 电子镇流器是利用**LC**谐振方式在谐振电容器上产生高幅值电压将灯管起辉点燃
- 灯管不能起辉状态下，采用**50Hz**电感镇流器时起辉器将反复动作，镇流器不会损坏；电子镇流器则始终工作在高**Q**值的**LC**谐振状态，需要逆变器提供高幅值电流，逆变器将过电流损坏。需要异常状态保护。

50Hz电感镇流器不是最佳的选择

- 首先。启辉过程并不是一次就可以的，需要反复多次才能将荧光灯点亮，一次开灯就经历了多次甚至十余次的启辉过程，而且这种启辉都是在灯丝预热温度不足状态下进行的，因此长辈会告诫晚辈尽可能的减少开灯次数，一次开灯就会减少多长多长时间的寿命，事实也的确如此。
- 如果电子镇流器参照这个标准设计，荧光灯将是绝对短寿的。

50Hz电感镇流器不是最佳的选择 (2)

- 现在的大多数50Hz电感镇流器并不符合国家标准。
- 符合国家标准的50Hz电感镇流器的绕组电阻32~35 Ω ，而现在的大多数50Hz电感镇流器的绕组电阻近100 Ω ！为了减小损耗不得不采用减小灯管电流的恶劣方式，还美其名曰“节能”，事实上T10/40W灯具的是入功率为45W，而灯管功率为30W，灯光能不昏暗吗？

50Hz电感镇流器不是最佳的选择 (3)

- 灯管电流波形系数不好，近1.7，因此GB10682以及相关的IEC标准都以1.7的波形系数作为标准。事实上电子镇流器的灯管电流波形系数很容易达到1.5以下。
- 如果不考虑启辉对灯管寿命的影响，波形系数从1.7降低到1.5可以使灯管寿命提高50%!

50Hz电感镇流器不是最佳的选择 (4)

- 50Hz电感镇流器驱动一个大都会在每一次灯管电流降低到不能维持放电电流值时电弧熄灭，不得不再次建立电弧。
- 而高频供电条件下，即使电流降到零，灯管还是导通的，无需重新建立电弧，因此光效更高。灯管寿命也 longer。

50Hz电感镇流器现状

- 符合国标的**40W**镇流器的工作电流为**430mA**，现在的镇流器的实际工作电流一般低于**330mA**
- 这样做的原因是制造镇流器的铜铁大幅度涨价，而镇流器的价格涨幅相对不大，制造商不得不降低线径方式减少铜的用量，使得镇流器铜阻有原来的不高于**40Ω**上升到**90Ω**左右，为了降低铜耗而不得不降低工作电流。
- 其结果是灯管发光灰暗，灯功率不足还会使得三基色灯管的显色性变差，从而失去了三基色的优势。

灯丝的起辉方式与灯管寿命

- 荧光灯是热阴极汞弧放电器件，与汞二极管类似。
- 众所周知，在应用汞整流管时必须对汞整流管的灯丝充分预热，否则寿命会大大缩短！实际上荧光灯也是如此。
- 如果能看到荧光灯的灯丝，就会看到每一次启辉都会使得灯丝的“电子粉”飞溅，造成灯丝“电子粉”被轰离灯丝的情景，如果预热良好就可以避免这种现象的发生，极大的延长灯管寿命。
- 影响荧光灯寿命的第一因素就是起辉方式问题。冷起辉的灯管开关寿命不会超过**2500**次，灯管的使用寿命一般不会超过**1**年；
- 预热良好的荧光灯开关寿命至少可以达到**10**万次，最好的已经做到**300**万次灯管还没黑头。连续使用寿命可以至少在**2**万小时以上。

灯管功率与灯管的寿命

- 合适的灯功率可以使荧光灯管中的灯丝保持合适的温度，以最小的阴极损耗保持灯管的长寿命。
- 灯功率不足时，灯丝温度不够，需要汞离子轰击加温，使得灯丝的电子发射物质飞溅，加速了荧光灯的失效
- 灯功率过大会使得灯丝过热而导致阴极中毒。
- 在实际应用中，灯功率不足要比灯功率过大更具危害性。
- 从对镇流器角度考虑，灯管过功率的现象很少出现，严重的问题是灯管功率不足。

灯管功率与灯管的寿命（2）

- 从以上分析可以看到，如果荧光灯的灯丝表面的“电子粉”不被轰击与灯丝分离，灯丝的电子发射能力就不会下降，灯管寿命就会持续。
- 因此，无论是启辉过程、还是点亮期间，都要设法保护好荧光灯的灯丝表面的“电子粉”。

光衰的原因分析

- 传统观点认为一个大的光衰是由荧光粉发光能力便查核灯管玻璃透光性变差造成。
- 实际上荧光粉的发光能力变差在三基色荧光粉中是不存在的，因为日本就将报废的荧光灯中的荧光粉“倒出来”再次利用。
- 国内有人做实验，用一个灯丝加热良好的电子镇流器连续点亮13个月灯管并没有出现光衰现象，光通量降低不到1%！
- 荧光灯光衰的另一个原因就是灯丝发射电子能力变差。我们常会看到50Hz电感镇流器驱动寿命即将结束的荧光灯时，灯管被点亮后紧接着又熄灭，再次点亮，再次熄灭的现象，这就是灯丝电子发射能力不足，灯管电流不能维持电弧的结果。

光衰的原因分析（2）

- 从以上结果可以得出如下结论：
- 荧光灯的光衰实际上是灯丝“电子粉”以及灯丝的钨飞溅到灯管的管壁所造成。
- “消除了”灯丝钨和“电子粉”飞溅造成对灯管管壁的透光性的污染，就可以控制三基色荧光灯的光衰问题。
- 灯管的灯丝能够有效地发射电子就可以有效地激发汞离子去激发荧光粉。

灯管电流波形系数对灯管的影响

- 由于工频镇流器的原因，荧光灯的电流波形系数制定在不高于**1.7**的指标。
- 灯电流波形系数越小，灯管寿命越长，如果灯管电流波形系数小于**1.5**，则灯管寿命至少提高**50%**

荧光灯在理想状态下的寿命

- 在合适的灯丝温度、合适的灯管电流、尽可能小的灯管电流波形系数条件下，灯管实际连续使用寿命至少是灯管额定寿命的**3**倍以上。有可能达到**3**万小时甚至更长。
- 合适的预热起辉方式会使得起辉过程与灯管寿命“无关”。

二、高性能电子镇流器设计

2.1、一个好的电子镇流器需要的性能

- 具有功率因数校正功能；
- 良好的灯丝预热性能；
- 尽可能低的灯管电流波形系数；
- 合适的灯功率；
- 具有异常状态保护功能。

2.1.1、功率因数问题

- 功率因数不仅仅提高了功率因数，由于功率因数校正的预稳压功能，使得电子镇流器避开了电源电压波动问题，有利于灯管寿命的延长。

功率因数问题（2）

- 理论分析与实验表明：多只没有功率因数校正的节能灯，单只功率不超过20W，按最严格的欧盟限制谐波电流标准是合格的。但是，2支同时使用功率就是40W，谐波电流是代数叠加的，如果数十只、上百只甚至上千只的这种节能灯同时在一个线路上使用或者在同一三相电源中使用，其谐波电流就会是不可容忍的，领先电流会大得惊人！

功率因数问题 (3)

5只23W欧司朗节能灯同时使用的输入电流



功率因数问题 (4)

5只23W欧司朗节能灯同时使用的输入电流谐波分析



5只23W节能灯产生的各次谐波

谐波	基波	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
分量 (%)	100	59	35	34	29	21	17.8	12.3	13.3	11	9.56	7.13	8.86
相移 (°)	0	-17.0	52.5	-81	13.9	22.6	-12.9	10.8	-9.4	-14.8	69.6	-44	-17.9
电流 (mA)	528	317	188	189	105	114	96	66	72.8	62	52.2	39.2	40.8

2.1.2、起辉与灯丝预热方式

- 荧光灯需要用高电压起辉，无论灯丝冷态还是热态足够的高电压都可以使灯管起辉。
- 电子镇流器无一例外的采用LC串联谐振方式获得荧光灯管起辉需要的高电压。
- 灯丝在冷态下需要非常高的电子逸出功，往往是汞离子轰击灯丝加热后起辉，这样做会给灯丝造成很大的伤害。因此需要对灯丝预热，使得汞离子轰击灯丝的程度尽可能小。
- 预热就是只对灯丝加热，灯管不能工作。

灯丝预热方式比较

- 在预热过程，需要避免LC谐振产生的高电压。
- 基本方法：将灯管短路，仅预热灯丝；改变频率，破坏LC谐振条件。
- 前者电路复杂，而且可靠性比较差；后者电路实现容易，但是需要调节好参数，而且预热效果随逆变器输出电压。综合考虑，一般选后者。

2.1.3、预热方式

- 变频预热方式
- 灯丝电压的限制
- 电流型预热
- 电压型预热
- 电源电压的稳定与预热效果的关系

变频预热方式

- 通过改变开关频率，避开LC谐振的起辉频率。
- 这样做可以使灯管电压远低于谐振电压，灯管不能被击穿起辉。
- 预热频率需要选择高于LC谐振频率的预热频率，如果是低于LC谐振频率，逆变器就会进入“容性”负载特性，对于MOSFET作为开关管的半桥逆变器会有很大的危害。

- 在预热过程中，逆变器能够为灯丝提供合适的预热电流。
- 有电路原理可以知道，电容器的容抗与频率成反比，在预热过程中，需要电容器的容抗降低，这也是预热频率高于起辉频率的另一个原因。

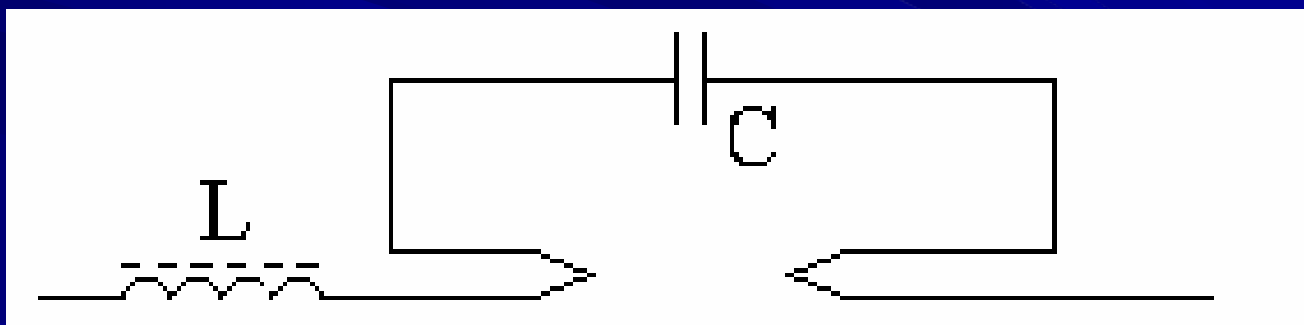
灯丝电压的限制

- 灯丝电压过低，灯丝达不到预热程度，预热效果差，灯丝电压过高会出现灯丝内部的“横向电弧”，使得预热过程结束。
- **GB15144-2005**中的7.1.1对预热能量中要求“为了防止产生横向电弧，在预热能量 E 小于最小预热能量 E_{min} 时，施加在替代电阻上的电压应保持在**10V**（有效值）以下。”

- 在正弦波电压激励下有效值**10V**对应峰值电压**14.14V**。
- 就是说如果是非正弦波电压激励灯丝，及时有效值电压不超过**10V**，但峰值电压超过**14.14V**灯丝内部的“横向电弧”也会产生。
- 因此需要检测预热过程的灯丝电压峰值而不是有效值。

电流型预热

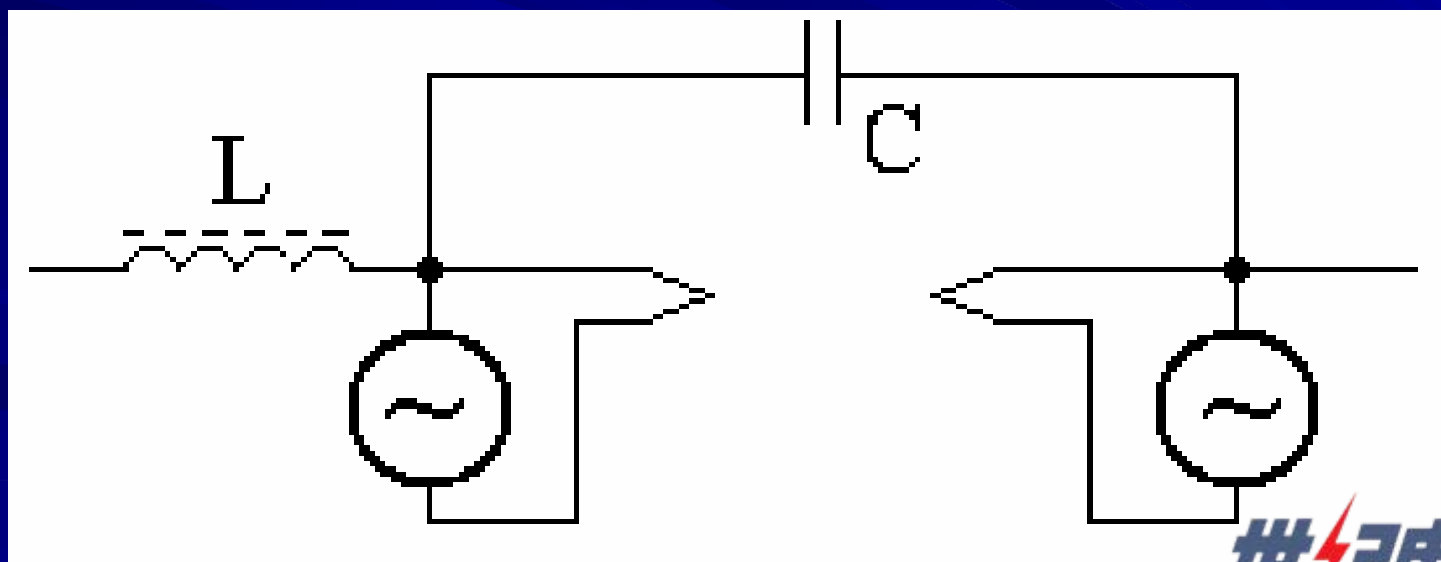
- 在变频预热方式中，电流型预热是最简单，最容易理解。



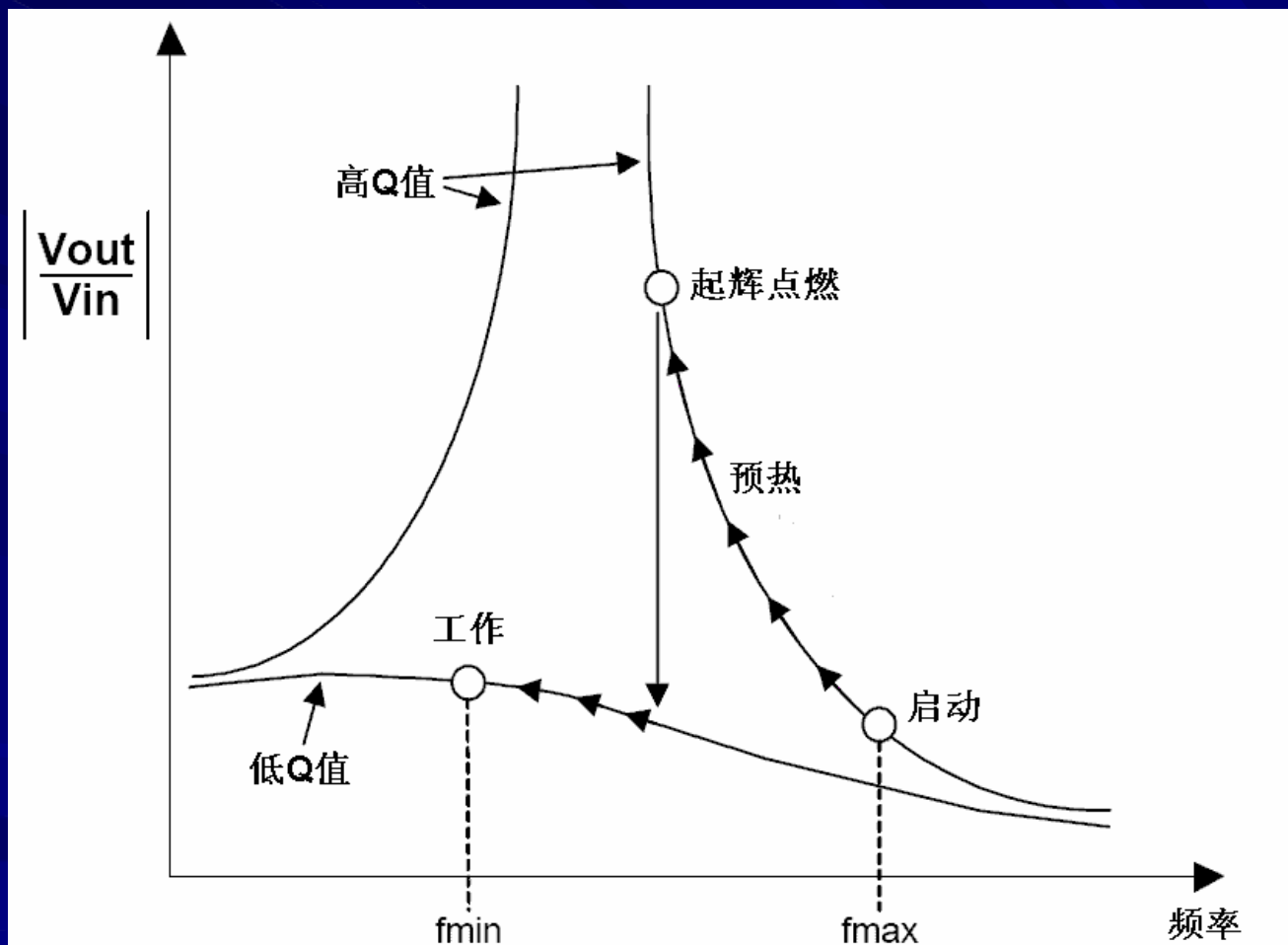
- 需要注意的是，电流型预热会随着预热过程的灯丝温度升高而使得灯丝电压升高，预热电流过大会在预热过程没有结束前起辉；
- 这需要降低预热电流，这又会使得预热初期的预热灯丝温度上升过慢，需要比较长的预热时间，如3~4秒。
- 由于起辉电容器始终流过灯丝电流，有可能使得灯丝电流过大

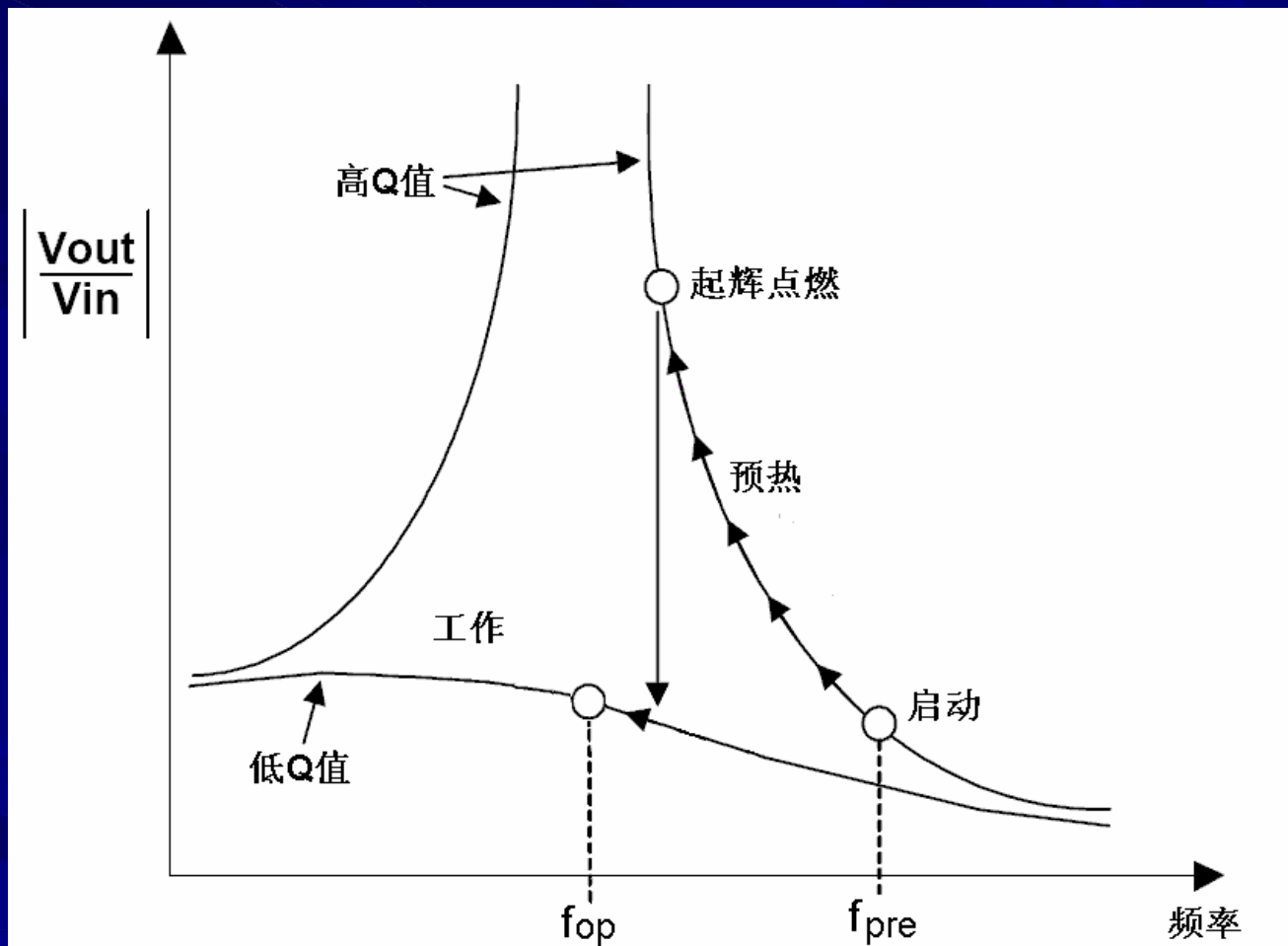
电压型预热

- 电压型预热是在预热过程中始终对灯丝施加合适的预热电压，避免灯丝内部的“横向电弧”的产生。
- 需要两个预热“电压源”



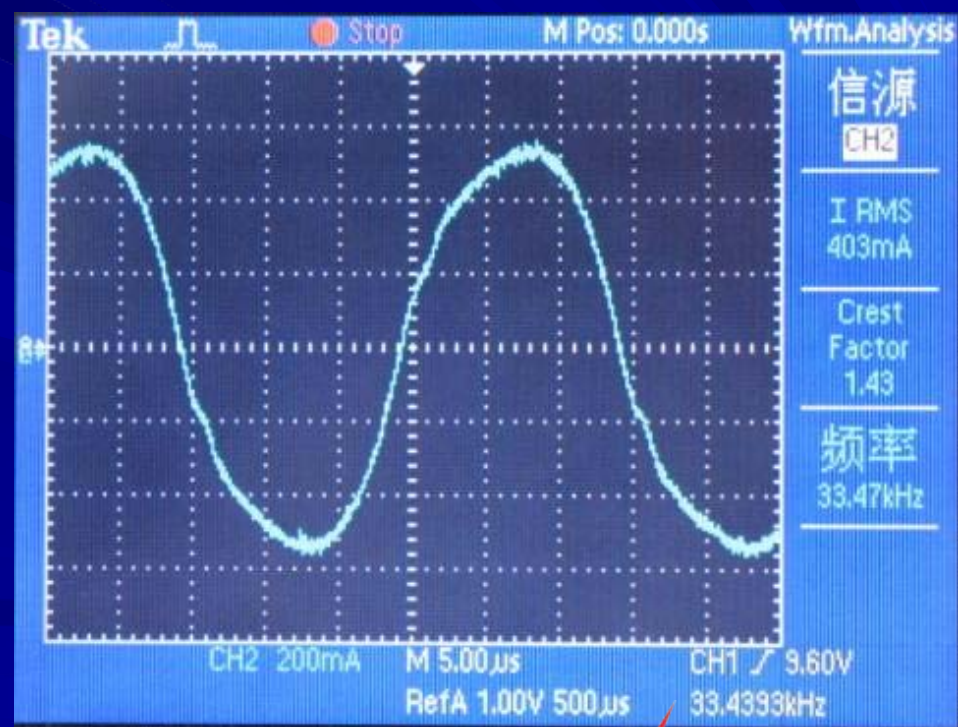
变频预热的预热与起辉过程





2.1.4、点燃后灯管电流

- 不同的逆变器输出电压，灯管电流波形系数不同



灯丝功率的维持

2.1.5、灯功率

- 灯功率不足不仅会严重缩短灯管寿命，而且灯管发出来的光线得非常灰暗，显色性差。
- 因此灯功率一定要做足，不仅保证灯管的寿命，而且有利于显色性。

2.1.6、异常状态的现象

- 主要有：
- 无灯；
- 灯管不能起辉
- 灯管寿命终了
- 灯丝电性能不一致

异常状态分析

- 无灯会使得半桥逆变器工作在容性负载状态，进而造成开关管的瞬态共同导通，长期这样就会导致开关管的烧毁；对于电压型预热可能会造成严重的LC谐振过电流；
- 灯管不能起辉是灯管寿命終了后的一种表现形式，在这种状态下会形成高Q值LC谐振，使得开关管严重过电流，进而烧毁开关管及整个电子镇流器；

异常状态分析（2）

- 灯管寿命终了产生的主要原因是灯丝上的“电子粉”大量飞溅后造成灯丝发射电子能级下降，为了保持灯丝的电子发射能力，在一般的电子镇流器或电流型预热电子镇流器中会通过提高灯管电压方式增加灯丝电流来提高灯丝温度，以降低电子逸出功。
- 其后果是逆变器输出电流增加，开关管和镇流电感过电流，严重者会烧毁开关管和镇流电感；
- 灯丝性能不一致会产生“整流现象”，也会最终导致镇流器的烧毁。

异常状态保护

- 具体的保护方法可以是，监测到上述现象并经过一个适当的延时后关闭镇流器。
- 现在的电子镇流器控制IC均具备这个功能。

2.2、实现

基本要求和设计思路

- 这是符合铁道部标准的荧光灯逆变器。
- 供电电压：**48V**蓄电池电压等级；
- 驱动IC：**TL494**
- 预热与保护控制IC：**CD4011**
- 开关管：**IRF630**

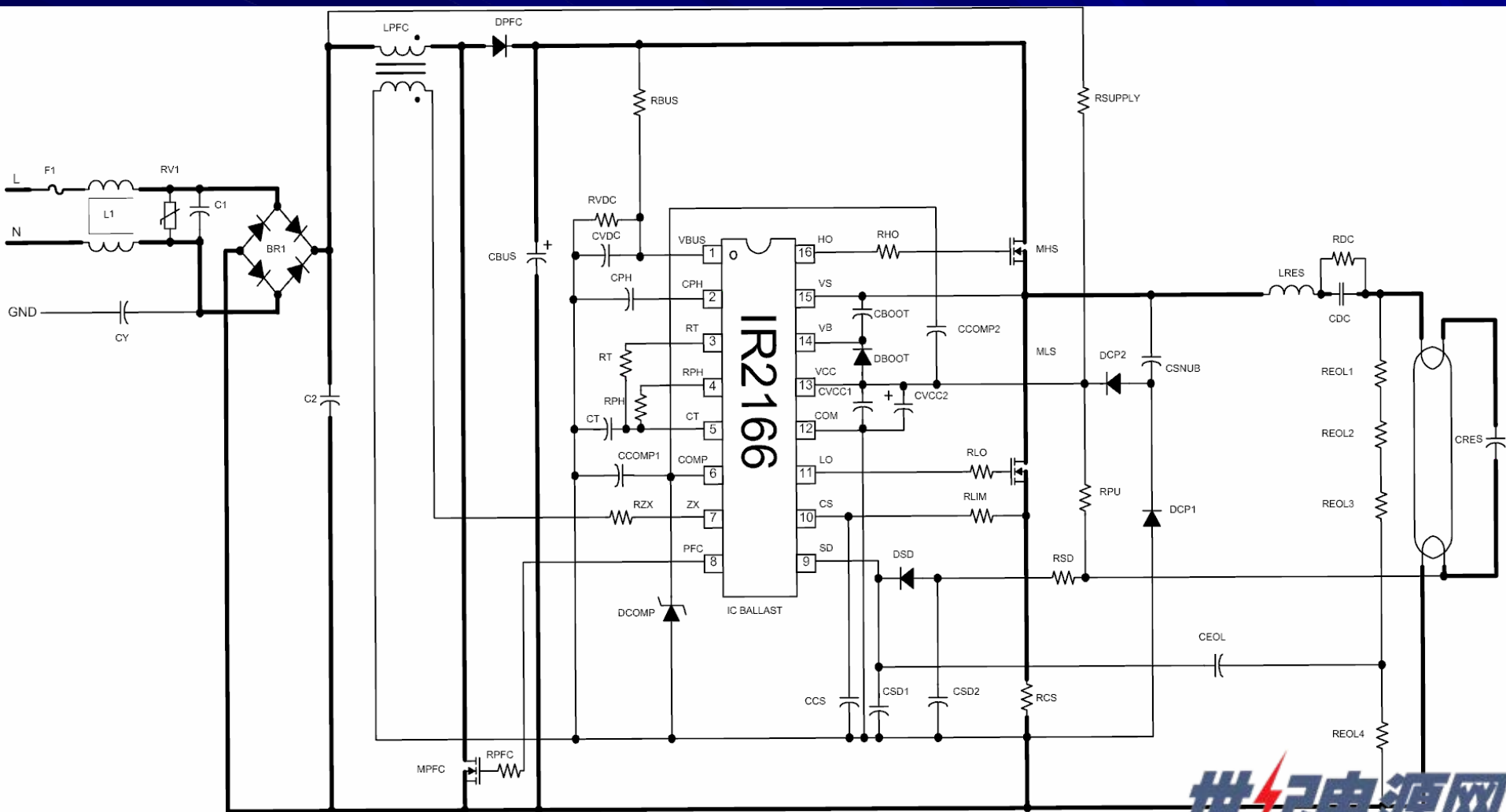
2.2.2、用专用IC实现高性能电子镇流器

- 以IR的电子镇流器控制IC为例，可以是215×系列；也可以是IR2166。
- 需要注意的是：需要具有内置预热和异常状态保护功能，还要有PFC功能

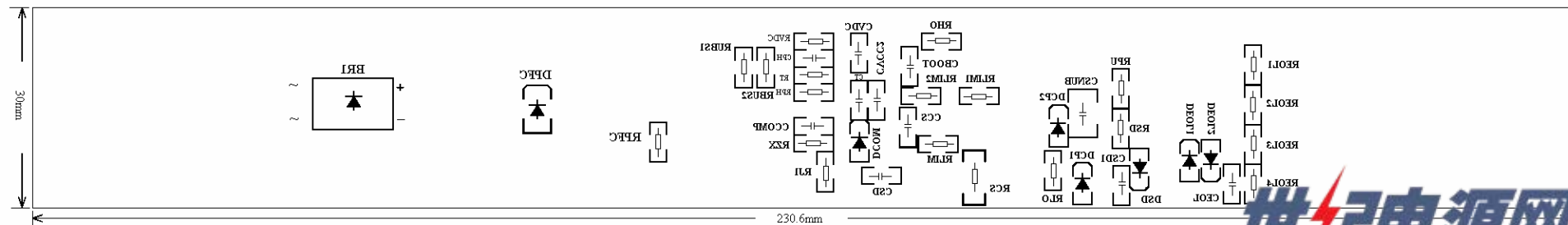
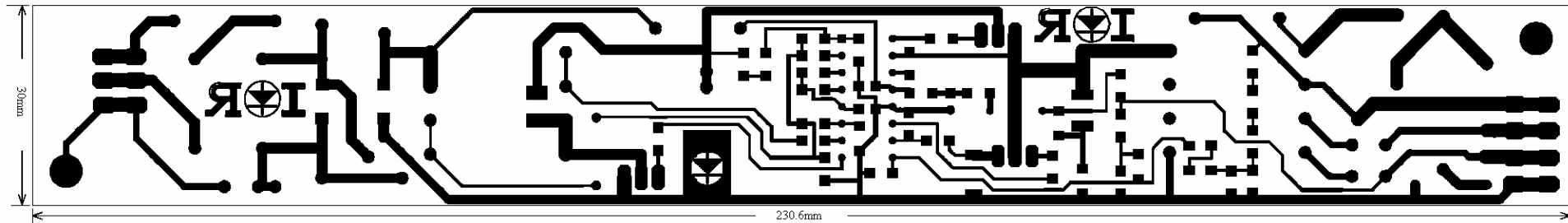
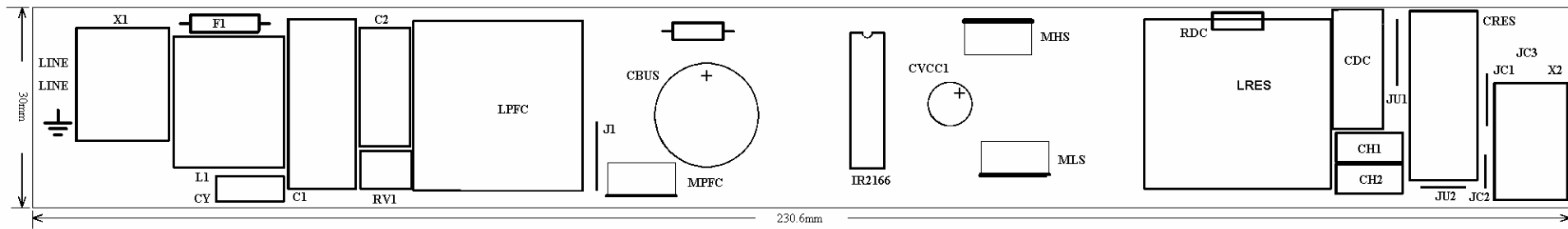
IR2153系列没有应用价值

- 原因：没有预热和异常状态保护功能

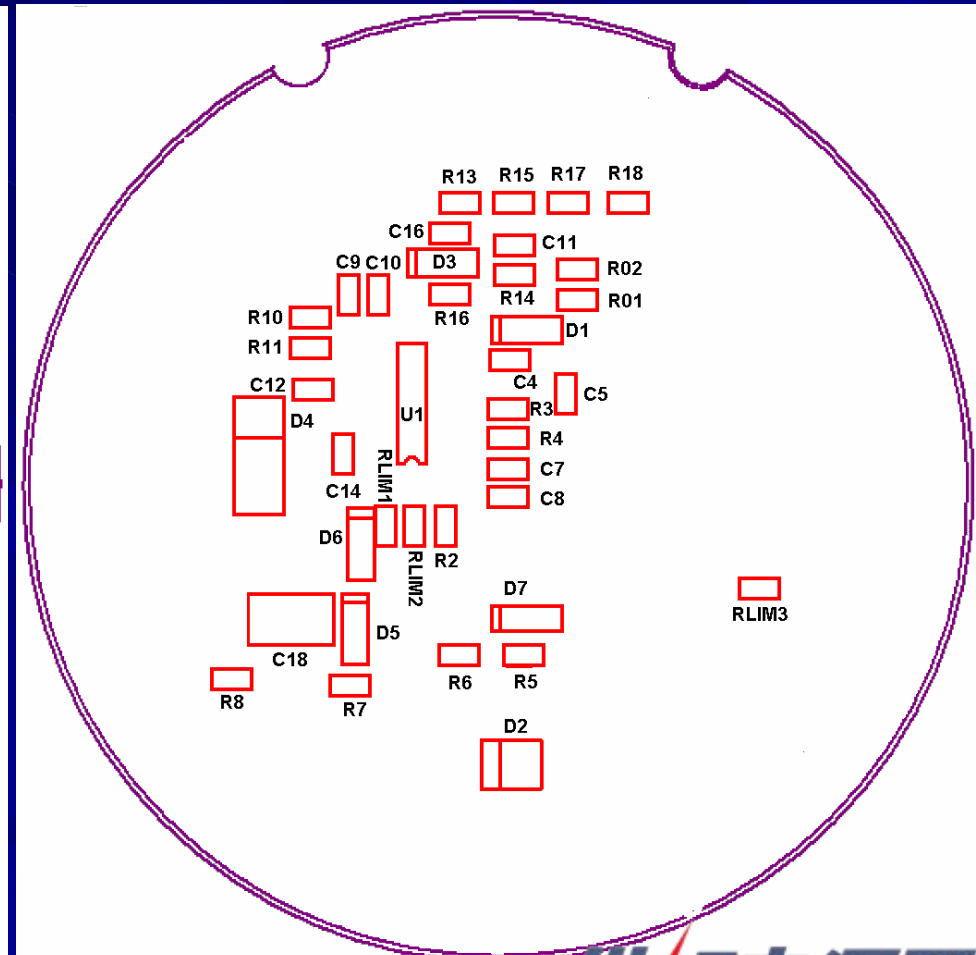
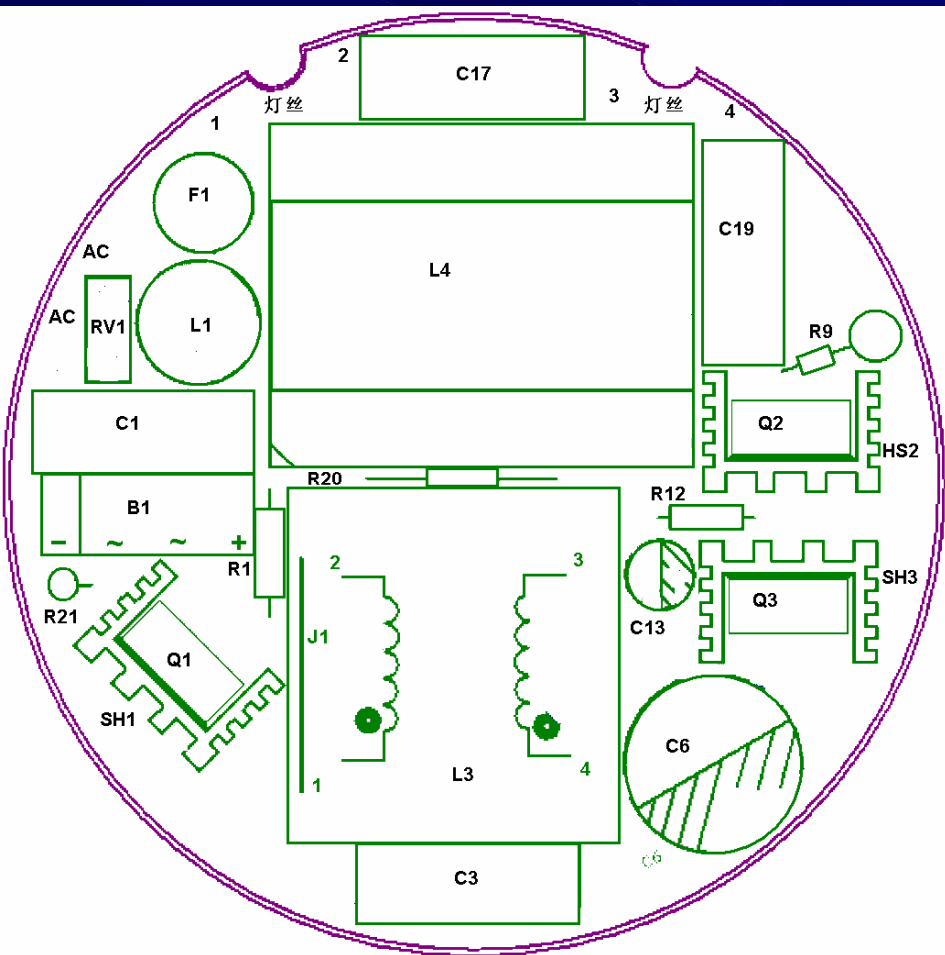
电流型应用电路



PCB图



PCB图（元件排布）

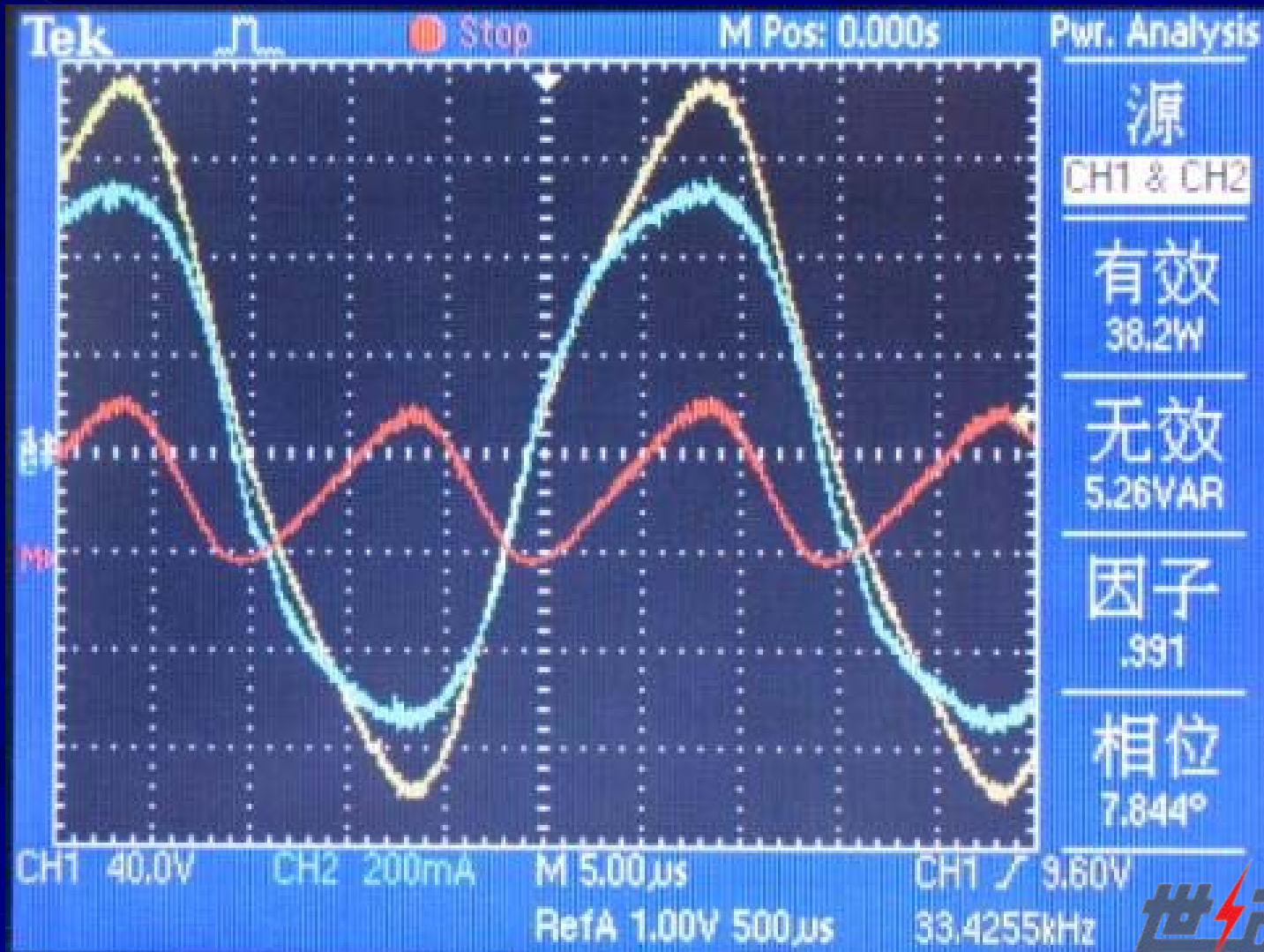


三、测试结果

3.1、测试条件和测试结果

- 下列实验结果是48V蓄电池供电的铁路客车荧光灯逆变器的实验结果
- 电源电压：57.6V，灯管：T8/36W
- 逆变器输入功率42.6W，为灯管额定功率的118.4%

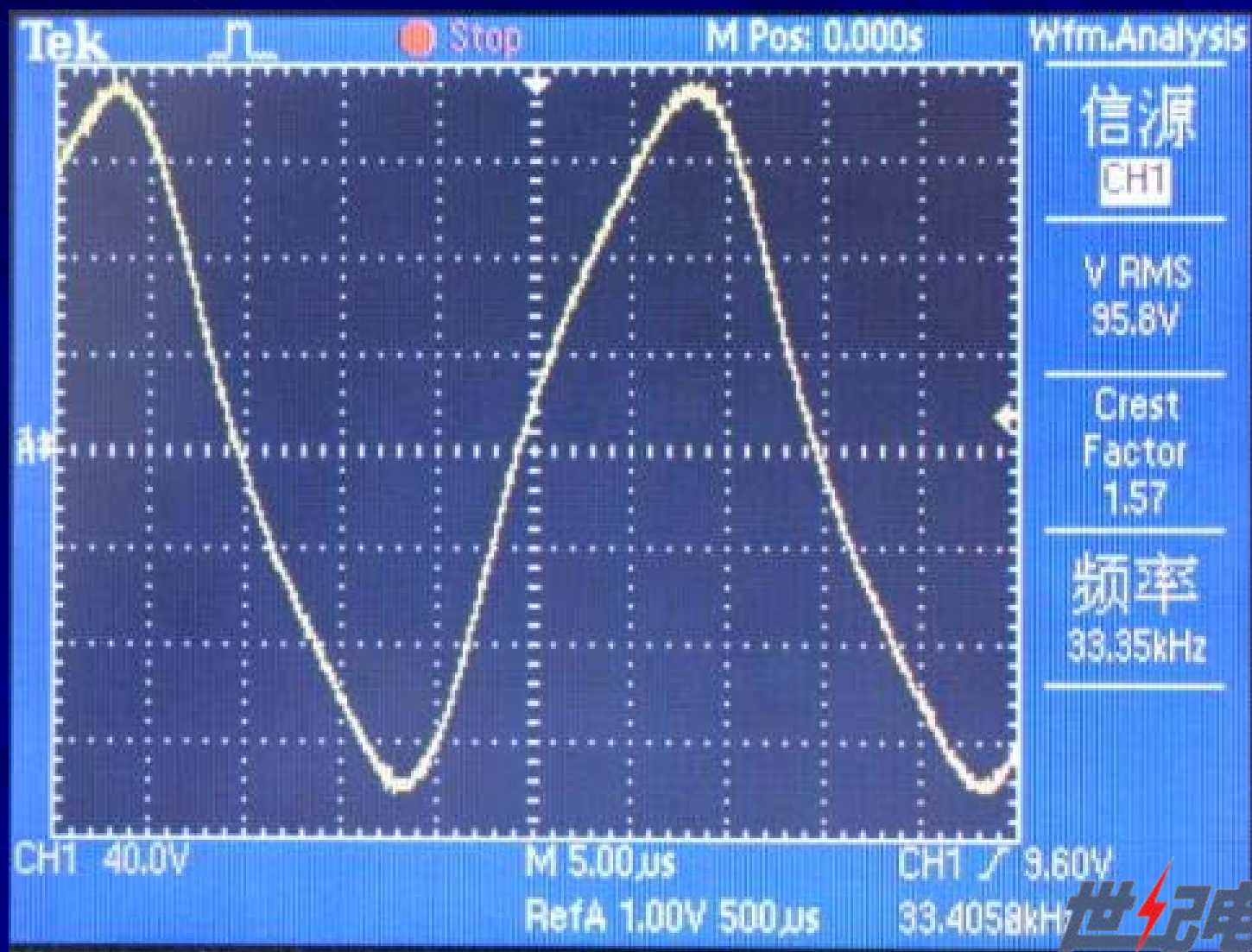
灯管电压、电流波形



灯功率参数

- 灯管功率：38.2W，为灯管额定功率的106%
- 频率：33.42kHz

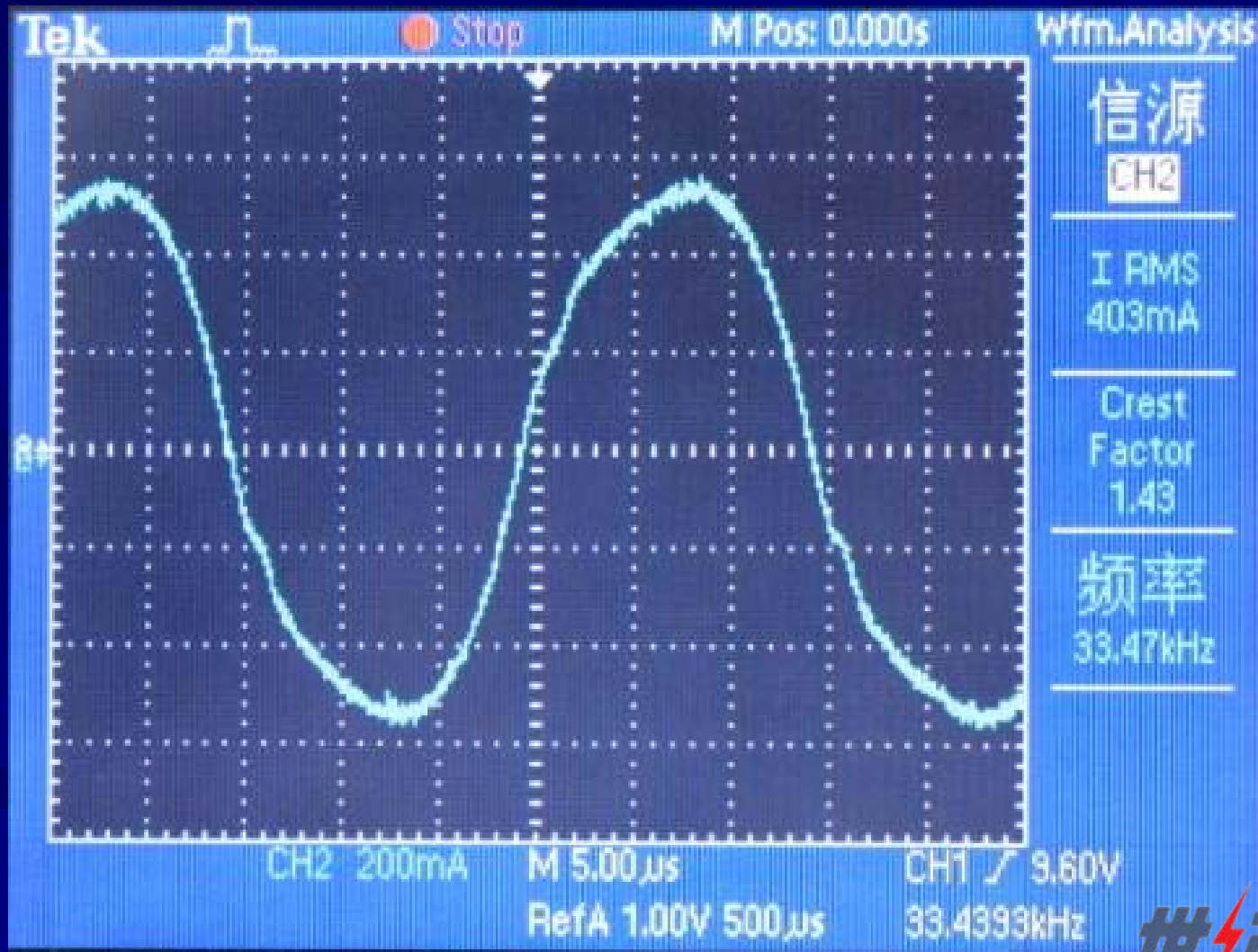
灯管电压波形



灯光电压分析

- 灯管电压不是正弦波，由几个正弦波组合而成。
- 灯管电压的有效值为**95.8V**，低于灯管额定电压
- 波形系数为**1.57**
- 灯管峰值电压为**150.4V**
- 这个幅值电压的正弦波电压的有效值为**106.3V**，与灯管额定电压基本相同

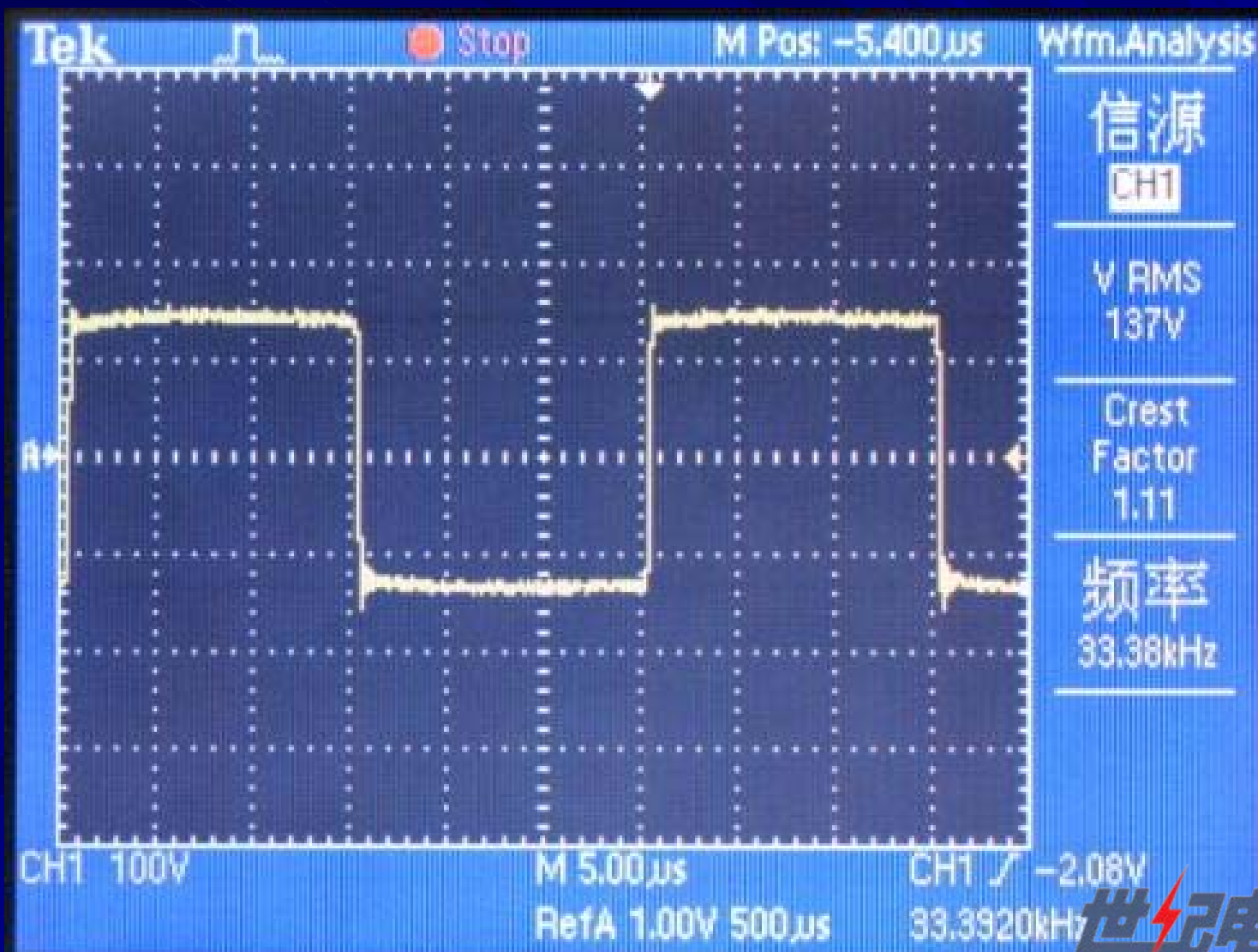
灯管电流波形



灯管电流分析

- 灯管电流不是正弦波
- 灯管电流：0.403A
- 灯管电流波形系数：1.43
- 这个电流波形系数明显小于GB10682的1.7

逆变电路输出电压波形



逆变器输出电压分析

- 逆变器部分的输出电压波形近似为方波
- 逆变器部分的输出电压峰-峰值为274V，与220V直接整流的输出电压接近
- 逆变器部分的输出电压有效值为137V
- 从逆变器输出电压参数看，这个测试结果也适用于220V直接整流的电子镇流器或节能灯

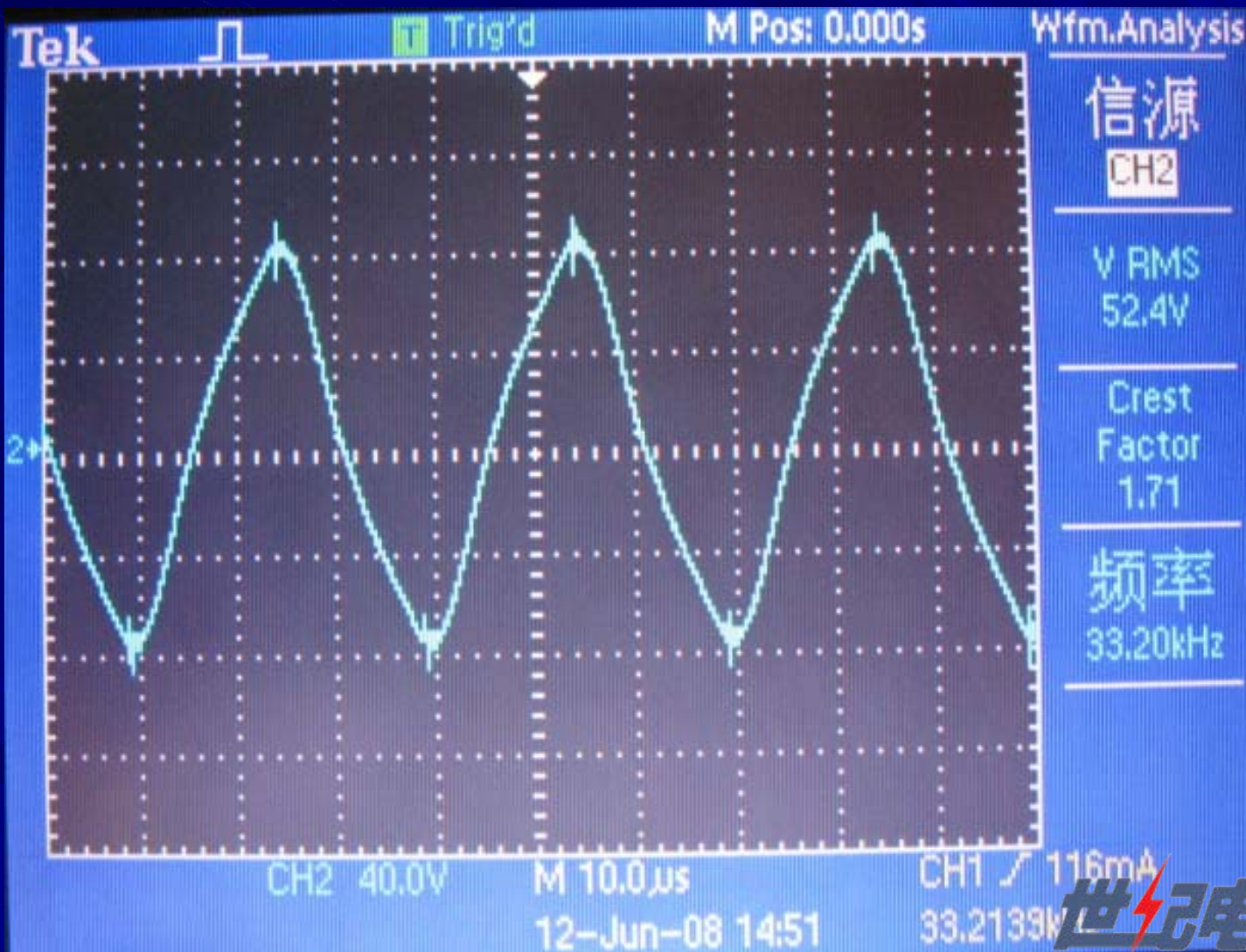
镇流电感波形



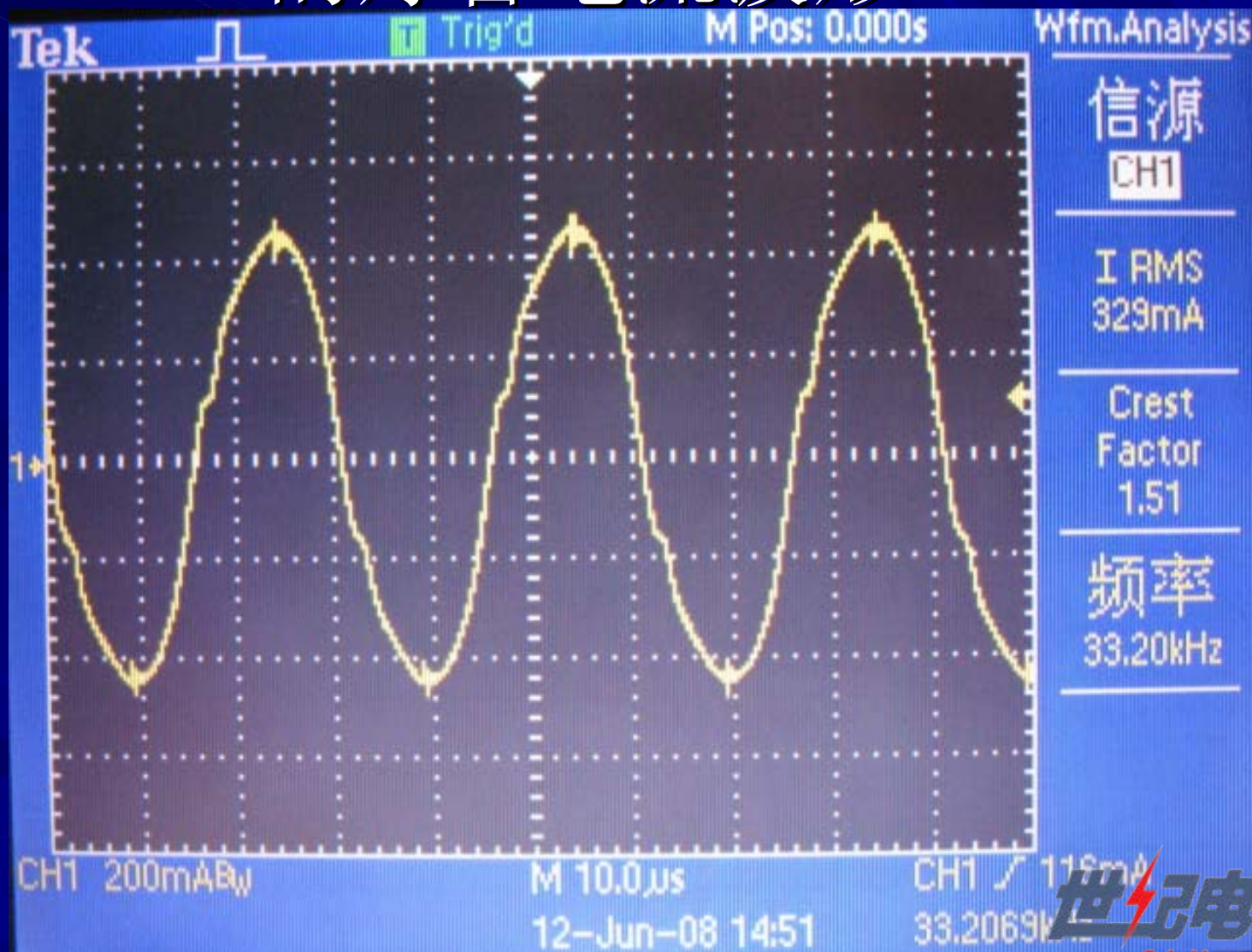
镇流电感电流分析

- 镇流电感电流有效值为523mA，大于灯管电流403mA，镇流电感电流是灯管与起辉电容器分享。
- 镇流电感电流波形系数1.48，大于灯管电流波形的1.43，很显然，起辉电容器的存在对改善灯管电流波形起到积极作用。
- 如果逆变器输出电压与灯管电压比值高，则镇流电感电流波形系数会变大。灯管电流波形系数也会变大。

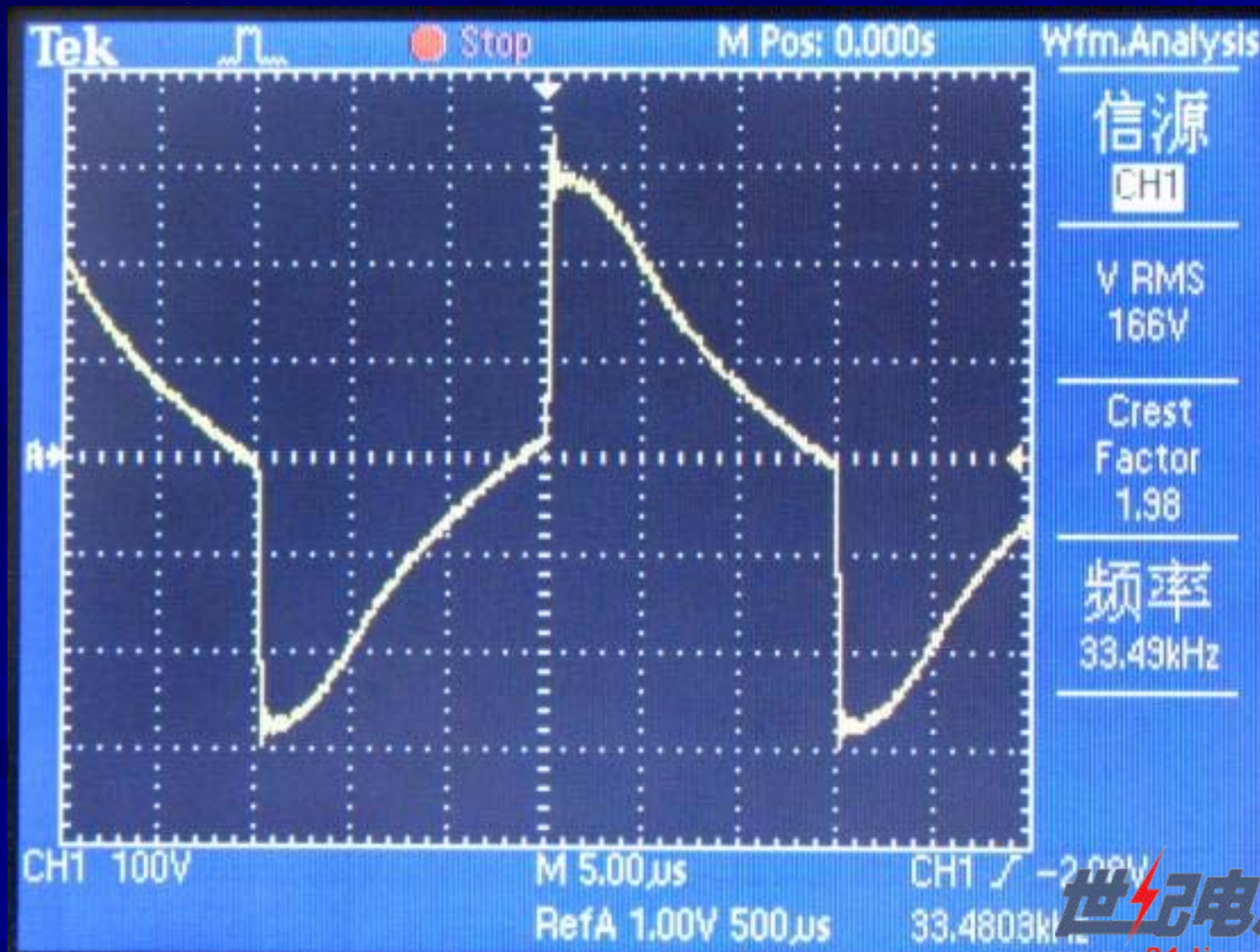
高比值逆变器输出电压与灯管电压 的镇流电感电流波形



高比值逆变器输出电压与灯管电压 的灯管电流波形



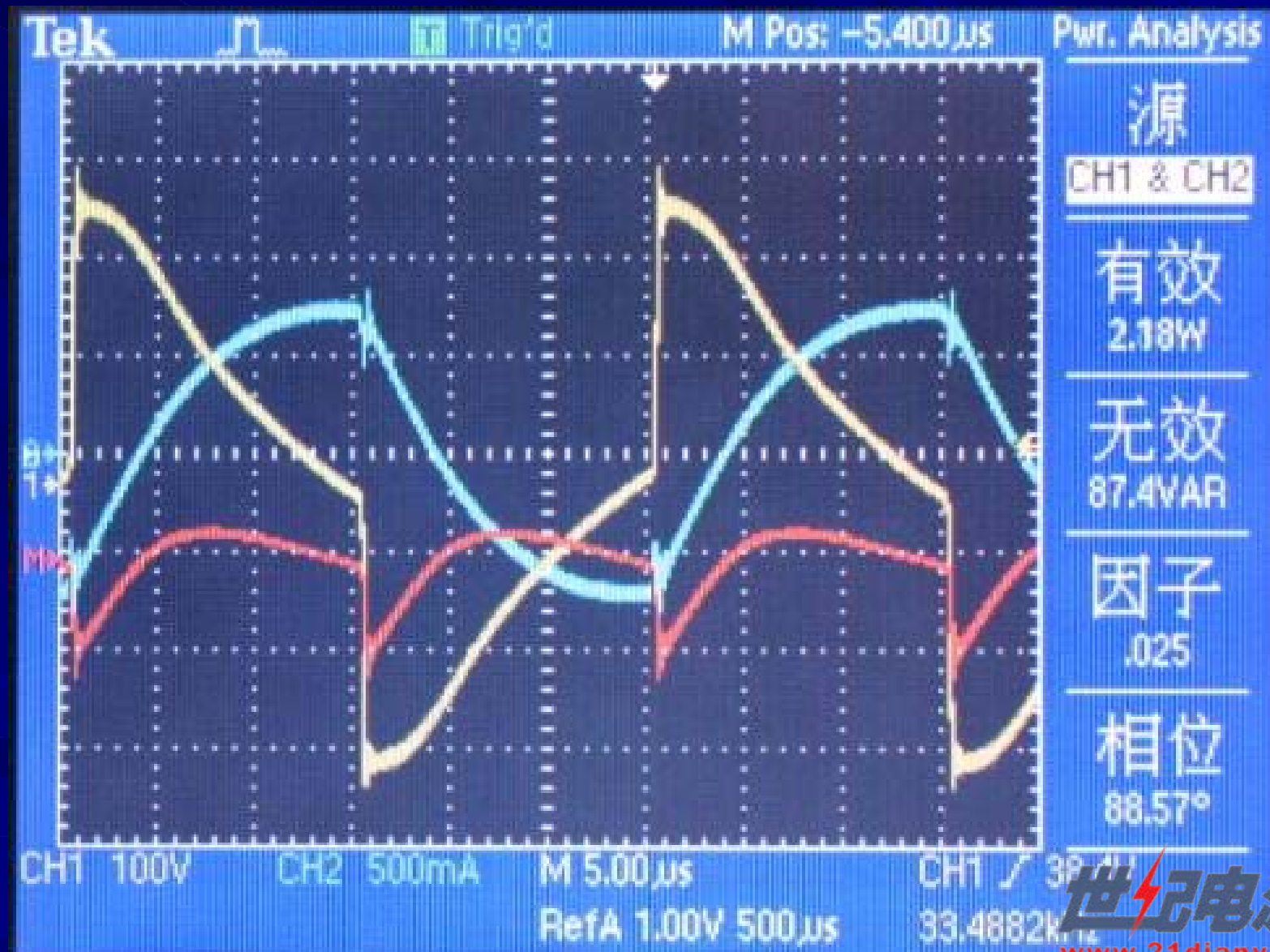
镇流电感的电压波形



镇流电感的电压波形分析

- 逆变器输出的是方波交流电，灯管电流波形近似正弦波，两者波形差就是镇流电感的电压

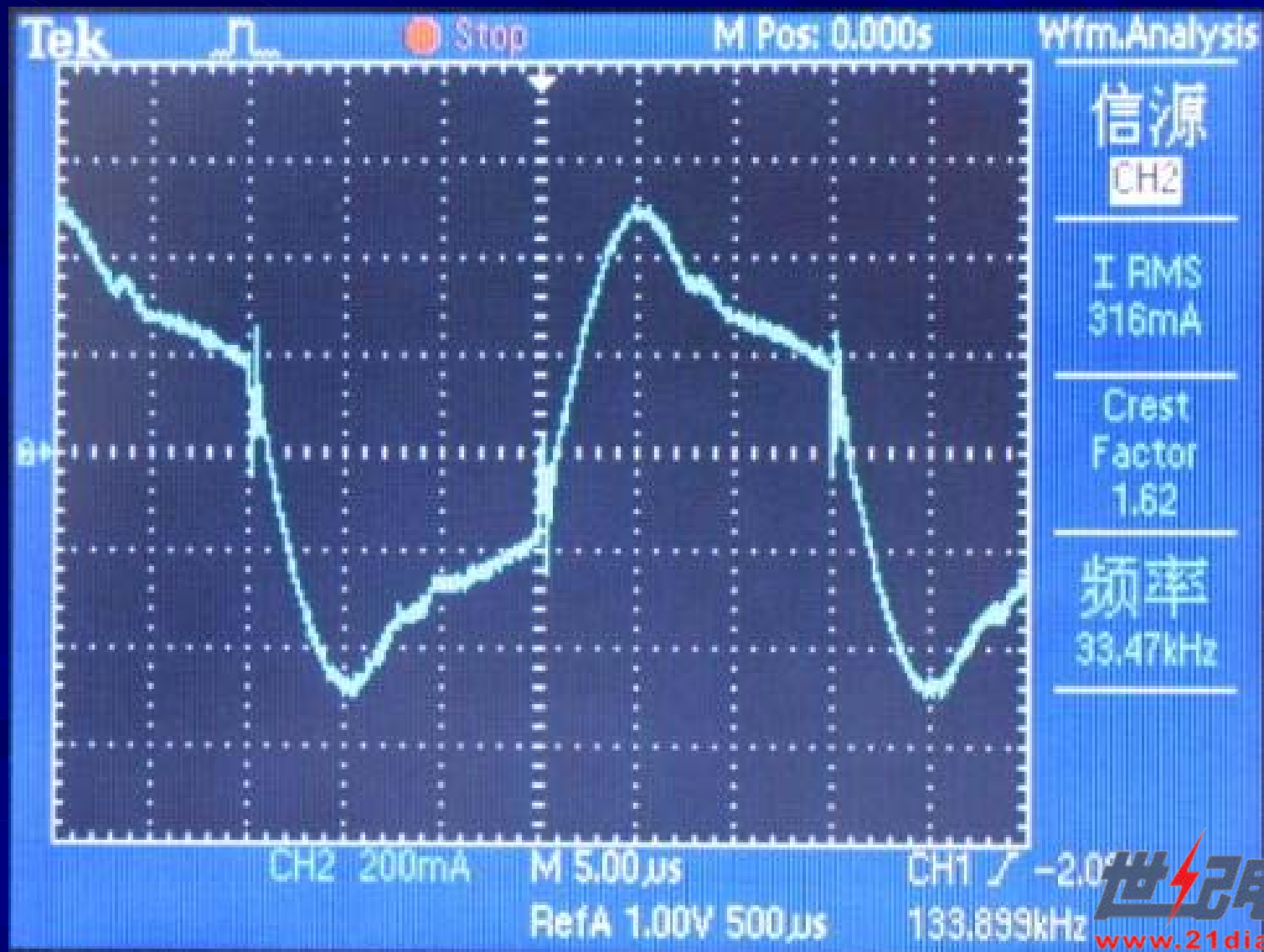
镇流电感损耗



镇流电感损耗分析

- 镇流电感损耗：2.18W
- 损耗比较大的原因是磁芯牌号比较老，十五年前的国内产品；其二是绕组采用单股漆包线，交流阻抗比较大。
- 简单气隙其交变磁场在外界可能产生损耗。
- 如果选用比较新的磁芯牌号和利兹线，镇流电感损耗可以有效地降低

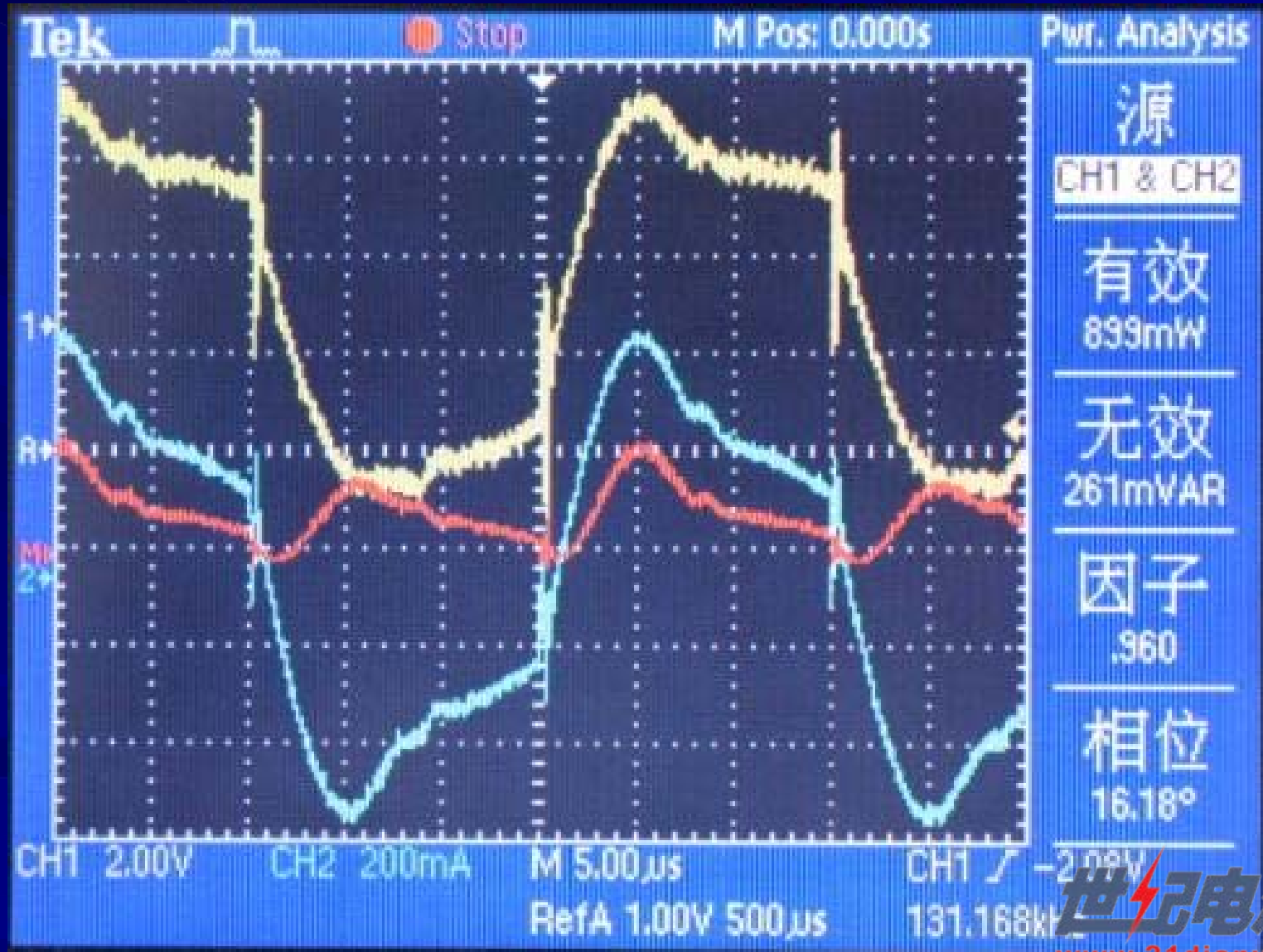
起辉电容器电流波形



起辉电容器电流波形分析

- 起辉电容器电流有效值为0.316A
- 波形系数为1.62
- 起辉电容器电流波形是镇流电感电流与灯管电流差值。起辉电容器电流改善了灯管电流波形系数
- 这个数值比一定是最佳数值

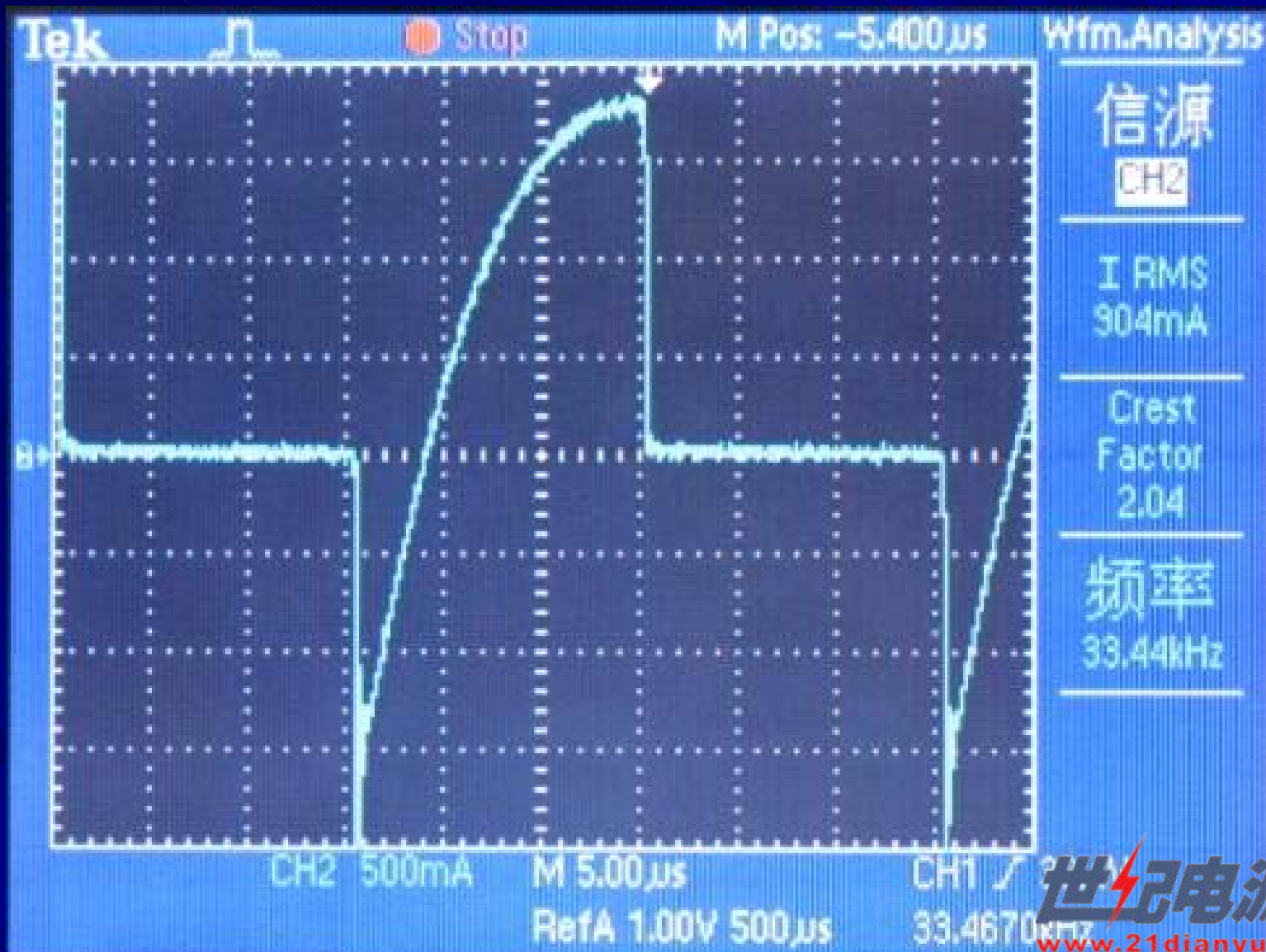
“灯丝”功率波形



“灯丝”功率波形分析

- 灯丝电流取自起辉电容器电流，这是一个近似的灯丝电流
- 灯丝电压取自荧光灯灯丝两端
- 每个灯丝功耗**0.899W**，一只荧光灯的灯丝功耗近**2W**
- 实际上**50Hz**电感镇流器点亮荧光灯时，灯丝同样存在损耗
- 由于起辉电容器的存在，电子镇流器点亮荧光灯管时，灯丝是两侧发射电子，而**50Hz**电感镇流器点亮荧光灯管则是灯丝单侧发射电子

开关管漏极电流波形



开关管漏极电流波形分析

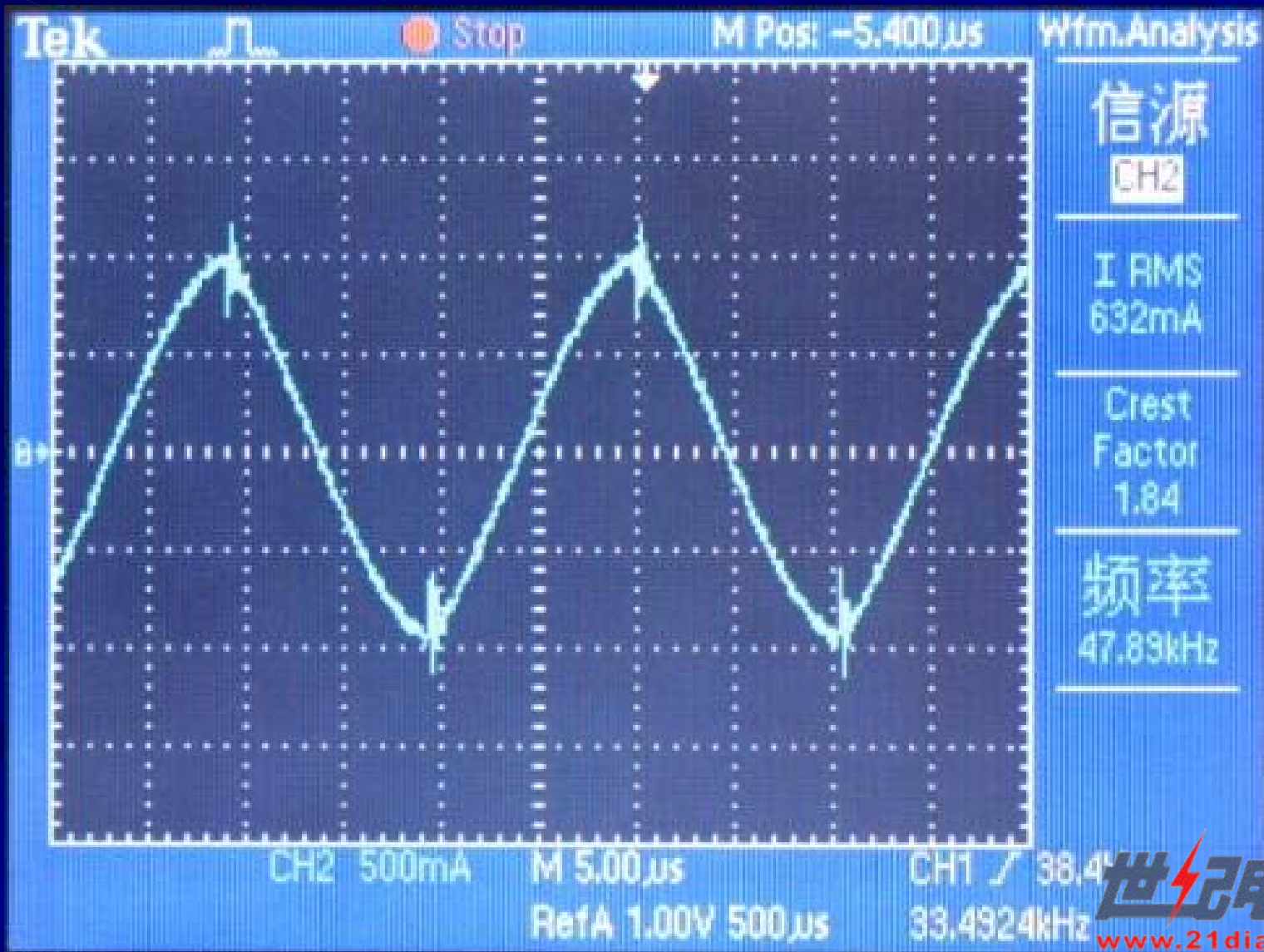
- 开关管的电流峰值为**1.5A**，有效值为**0.904A**包括续流二极管流过的电流。
- 由于电源电压仅仅**57.6V**，逆变器输出需要升压，升压比**2.4**，因此开关管的电流也随之上升到交流**220V**供电条件下的**2.39**倍。
- 如果选用**220V**交流电为供电电源时（整流滤波后）的开关管的峰值电流为**0.63A**

开关管的开关损耗



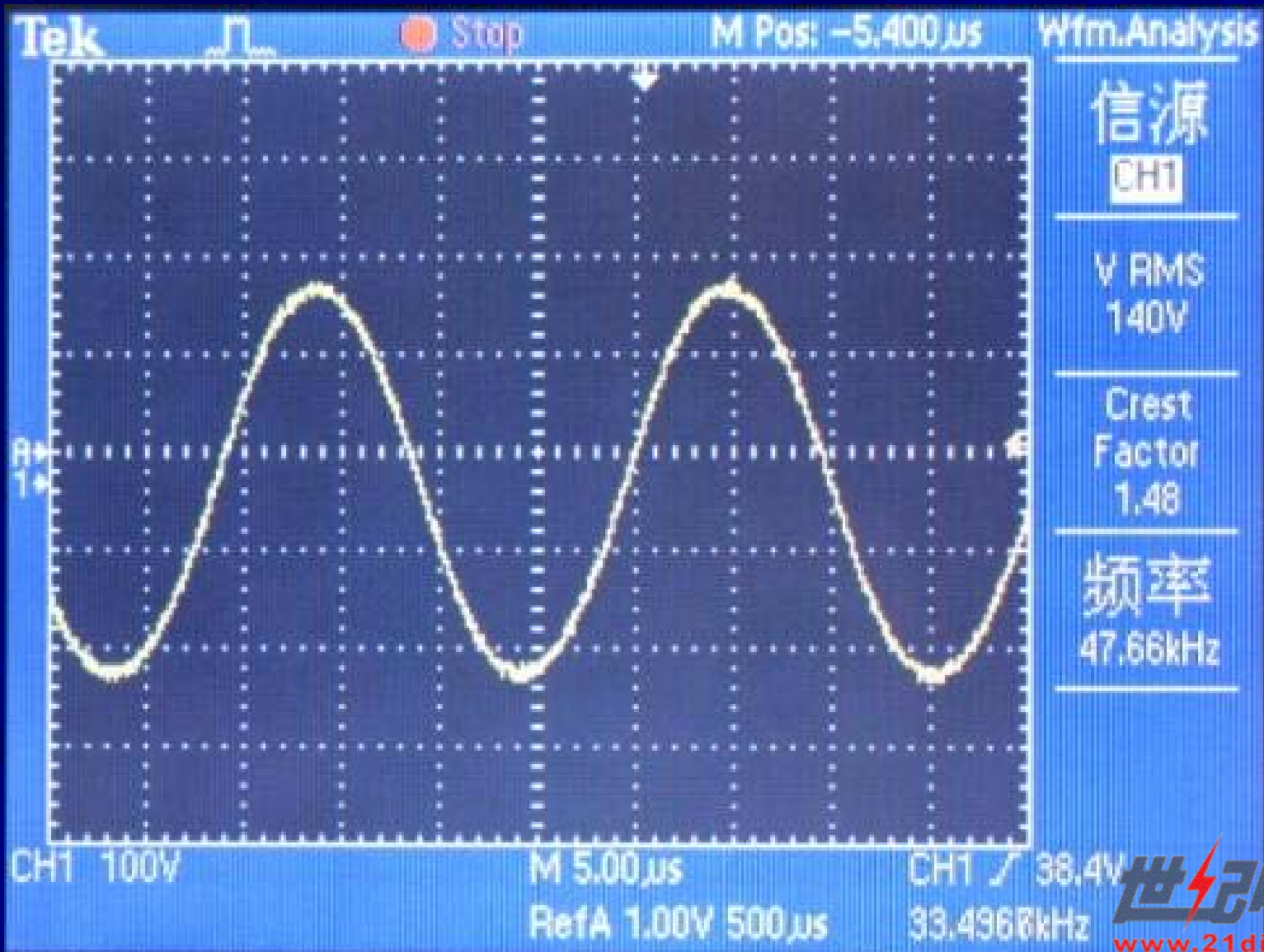
3.2、预热过程分析

预热过程的镇流电感电流波形



- 由于镇流器工作在预热状态，开关频率不在LC谐振频率上，因此镇流电感电流介于正弦波与三角波之间。
- 在这个测试实例中，镇流电感的电流有效值为**0.632A**，峰值电流约为**1A**
- 预热期间的开关频率约**48k Hz**，为**33kHz**工作频率的**1.455**倍。

预热过程的灯管电压波形



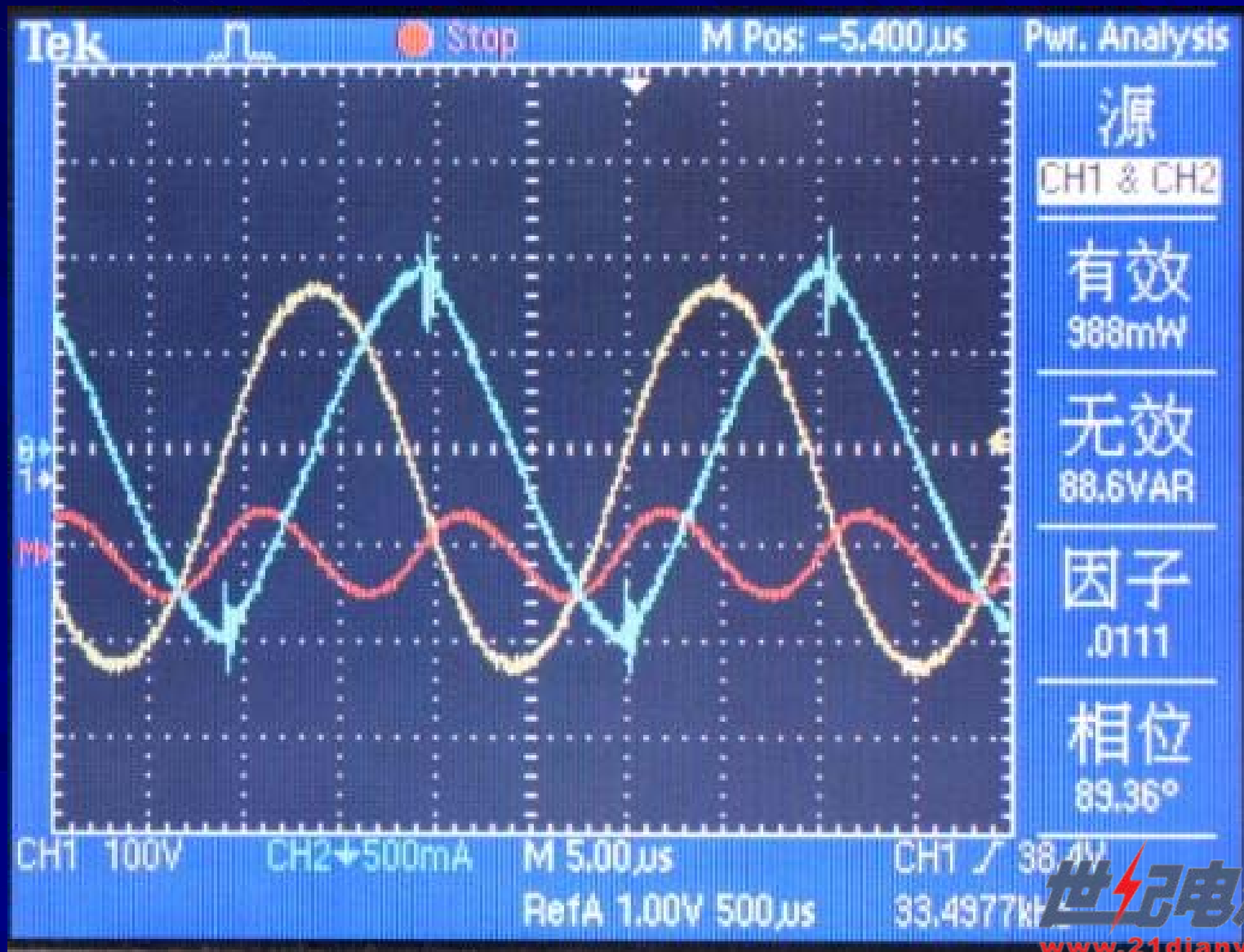
预热过程的灯管电压波形分析

- 预热状态下的灯管电压有效值为**140V**，并且很接近正弦波
- 在灯丝处于冷态时，灯管在这个电压下是不会击穿起辉的，为有效的预热状态

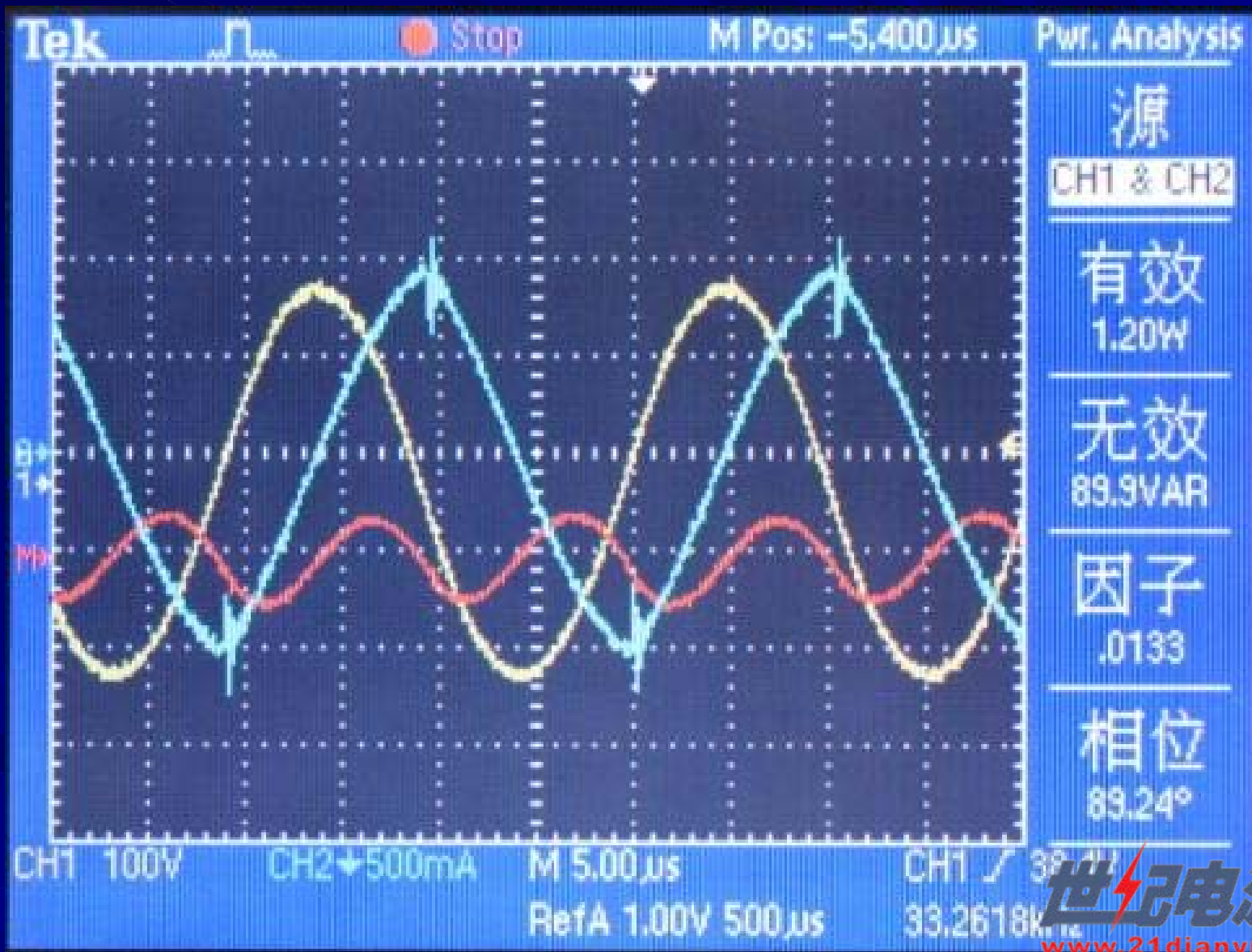
预热状态下的灯管状态分析

- 在预热期间，灯管不允许起辉或辉光放电，GB15144-2005的7.1.1预热能量中要求“为了防止产生横向电弧，在预热能量 E 小于最小预热能量 E_{min} 时，施加在替代电阻上的电压应保持在10V（有效值）以下。”

预热的不同期间灯丝功率



预热的不同期间灯管功率



预热电流分析

- 在实际的灯丝预热过程中，只要灯丝电压有效值超过**10V**有效值，就有可能造成灯丝内部的“横向电弧”。
- 在**0.632A**有效值电流预热条件下灯丝电阻应小于**15.8 Ω** 才能确保在预热状态下不出现灯丝内部的“横向电弧”
- 在一般的情况下，热态灯丝电阻大约为冷态的**5**倍左右。T8荧光灯管灯丝冷态电阻约**3.5 Ω** 热态接近**19 Ω** ，与预想值接近。

在预热状态下的灯管起辉电压

- 在灯丝良好预热条件下T5/36W灯管的起辉电压在 $800V_{p-p} \sim 900V_{p-p}$ ，对应的正弦波有效值电压为 $282V \sim 318V$
- 这个数值明显大于预热期间的 $140V$ 有效值
- 因此，在这个预热条件下，只要不出现灯丝内部的“横向电弧”就可以实现良好的预热

开关寿命测试

- 预热良好的T8荧光灯管的开关寿命很容易超过10万次，甚至可以超过100万次。开关过程不再影响灯管寿命

结论

- 如果镇流器解决了开关过程影响荧光灯管寿命问题，则：
- 对应的灯管使用寿命可以超过**15000**效值甚至有可能超过**30000**小时。这个寿命可以与**LED**相比！
- 这样的结果可以使荧光灯管按每天**6**小时点亮时间，推算出其使用寿命有可能超过**10**年，这与现在市面上的**50Hz**电感镇流器的**1**年左右和简易电子镇流器的约**1**年甚至不到**1**年相比，其实际其有意义的重大。

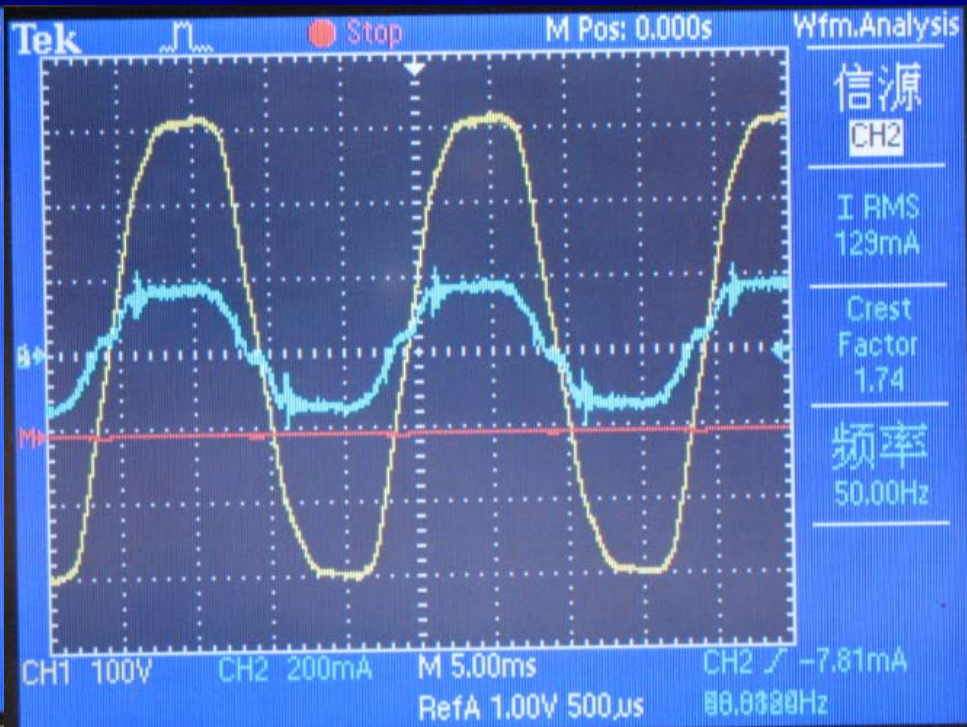
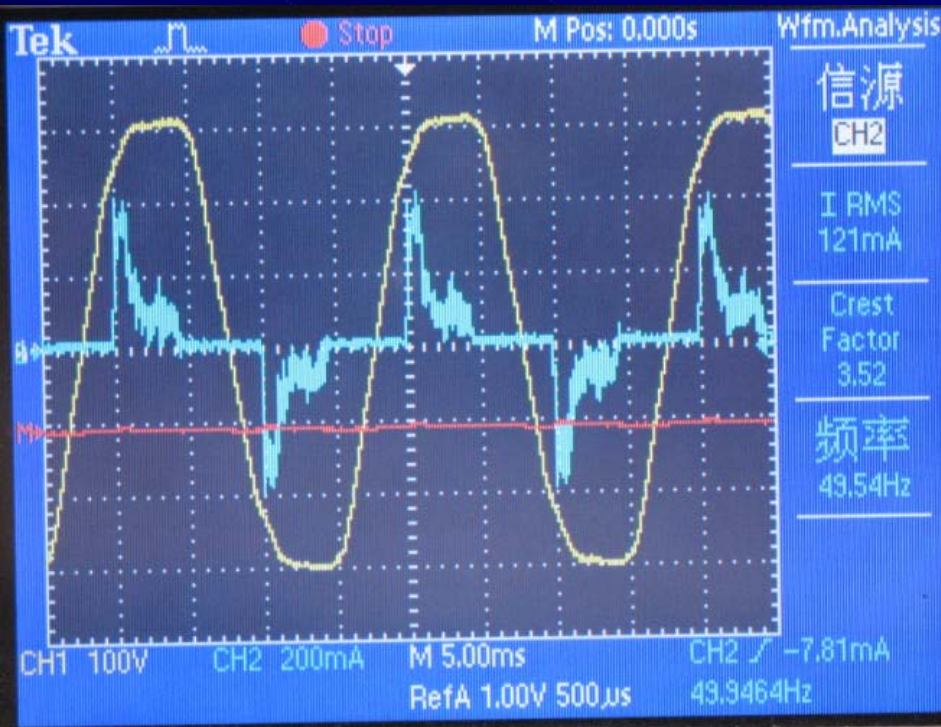
T5/28W电子镇流器 测试结果

不同的质量不同的测试结果
左图为市场购买的灯架，右图
为优质电子镇流器

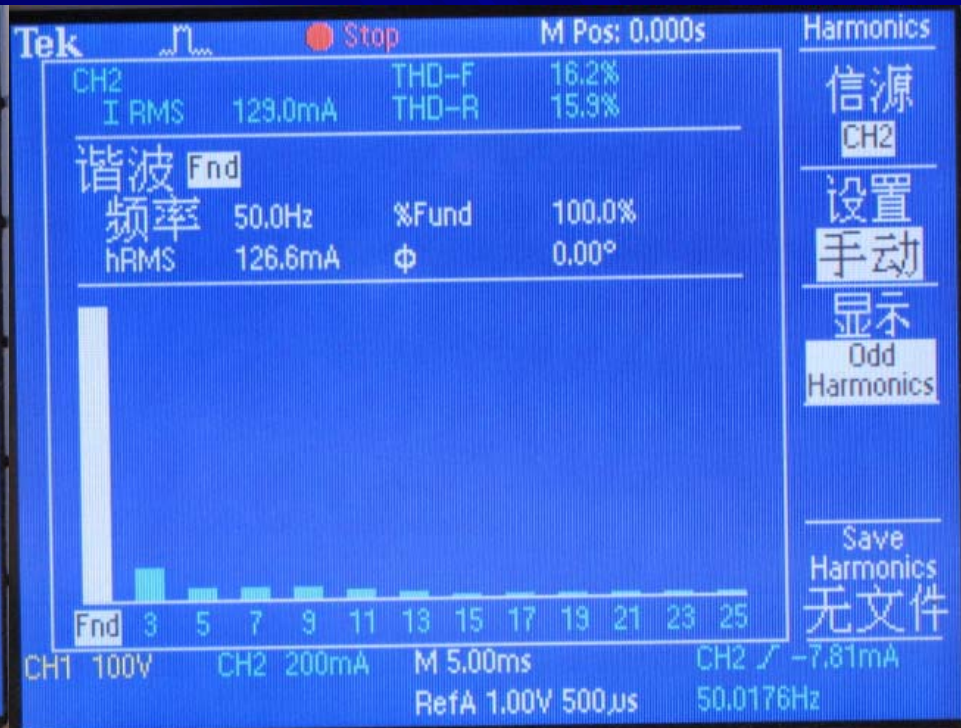
输入功率



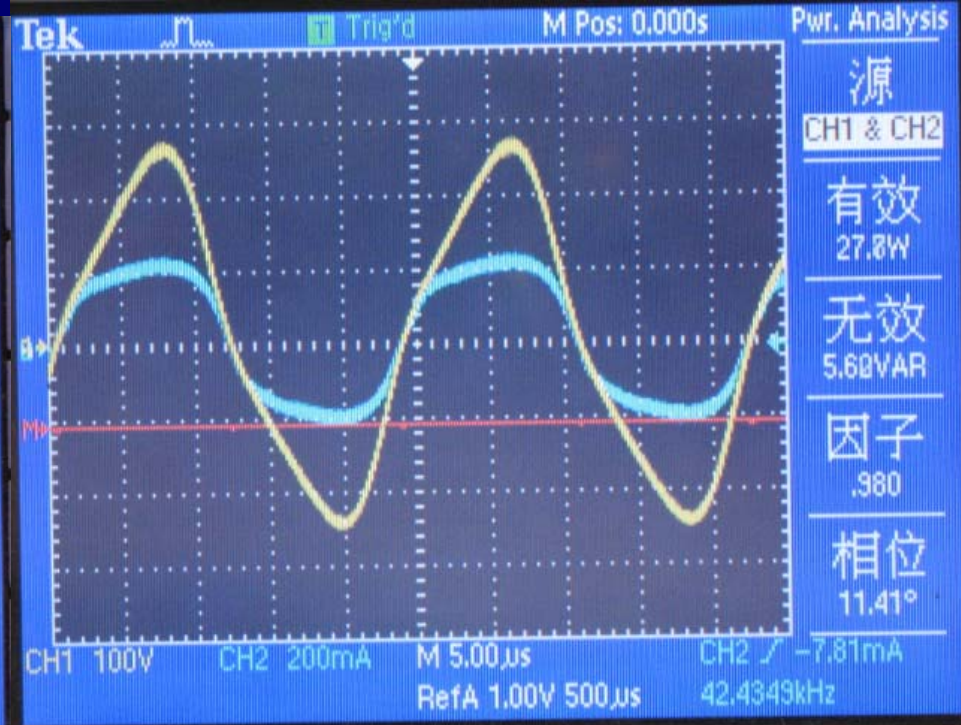
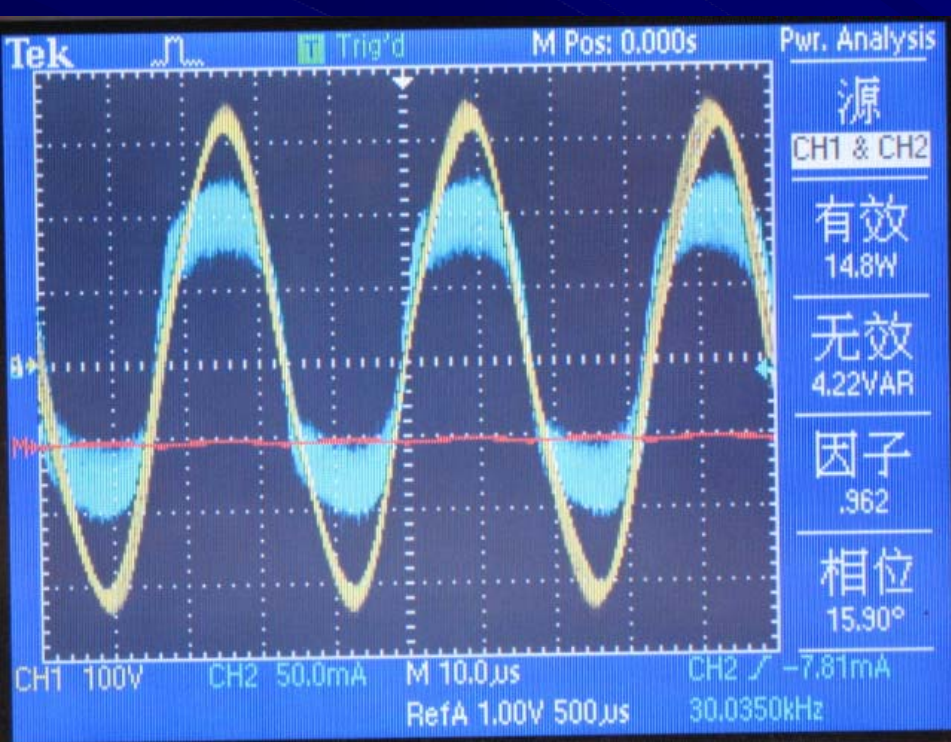
输入电流



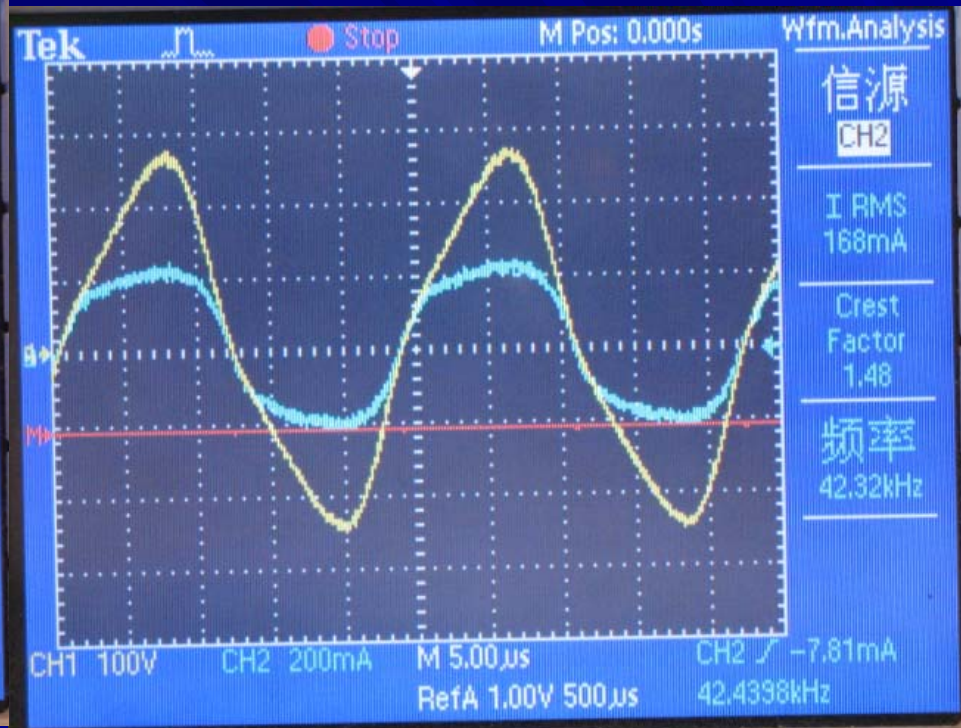
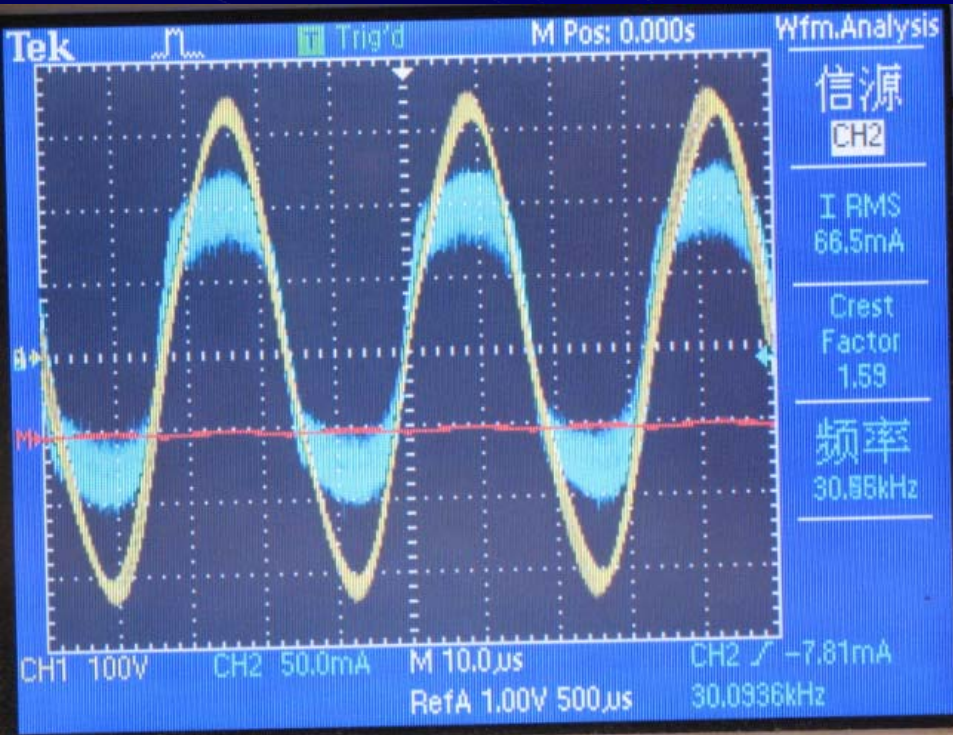
输入电流谐波分析



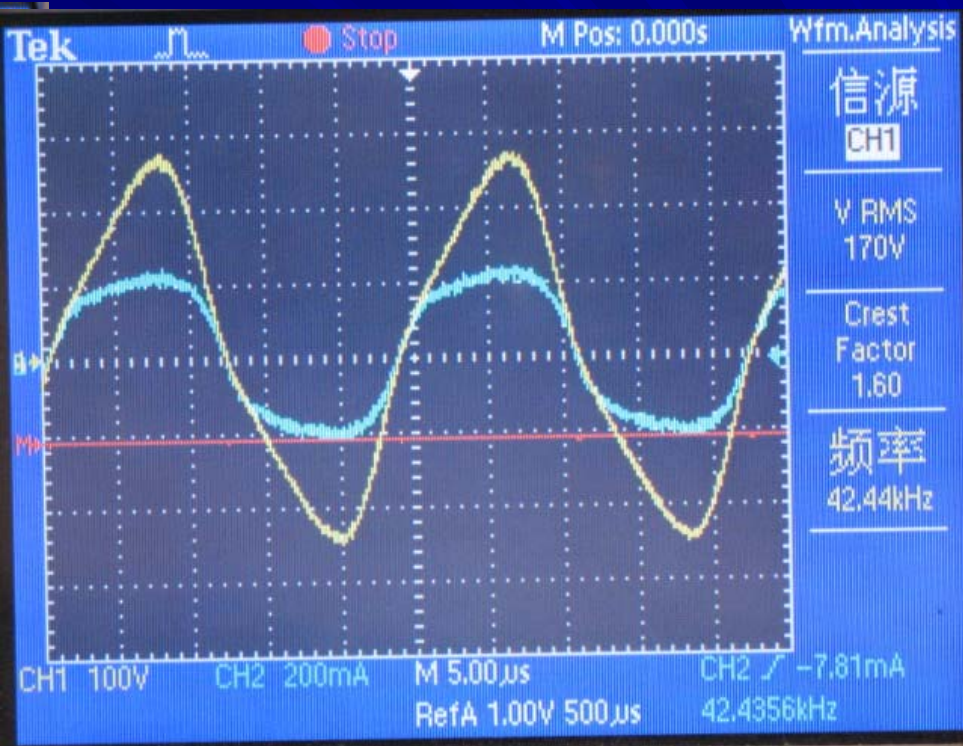
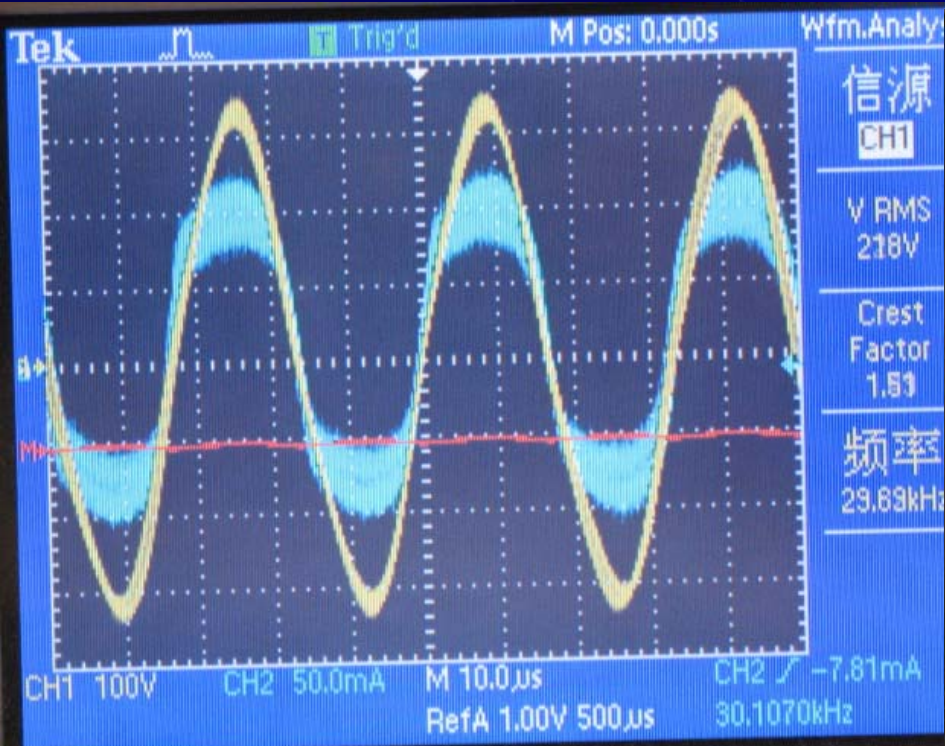
灯功率



灯电流



灯电压



55W/T5

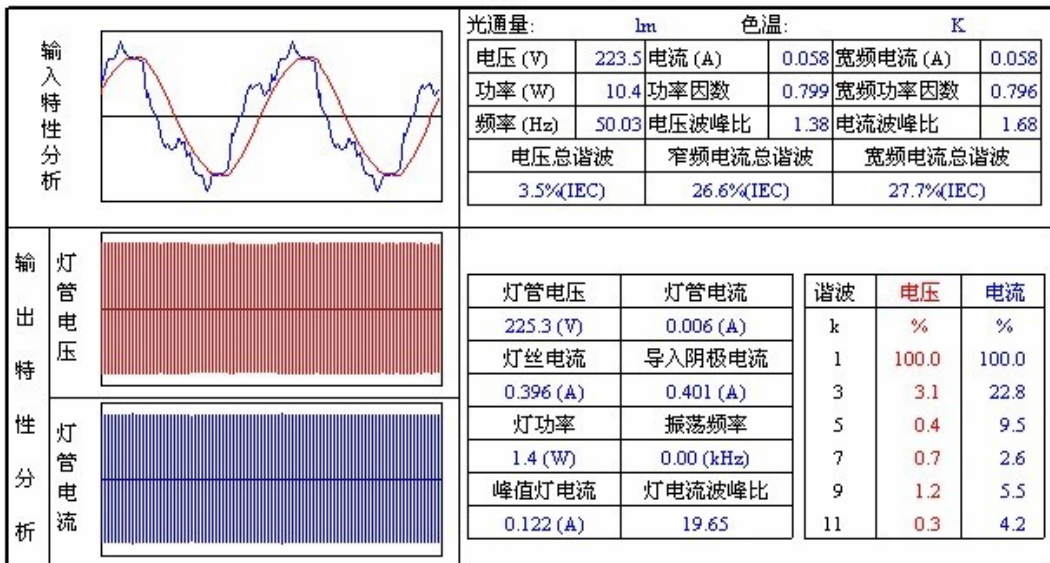
调光镇流器测试结果

月亮一定是国内的圆！

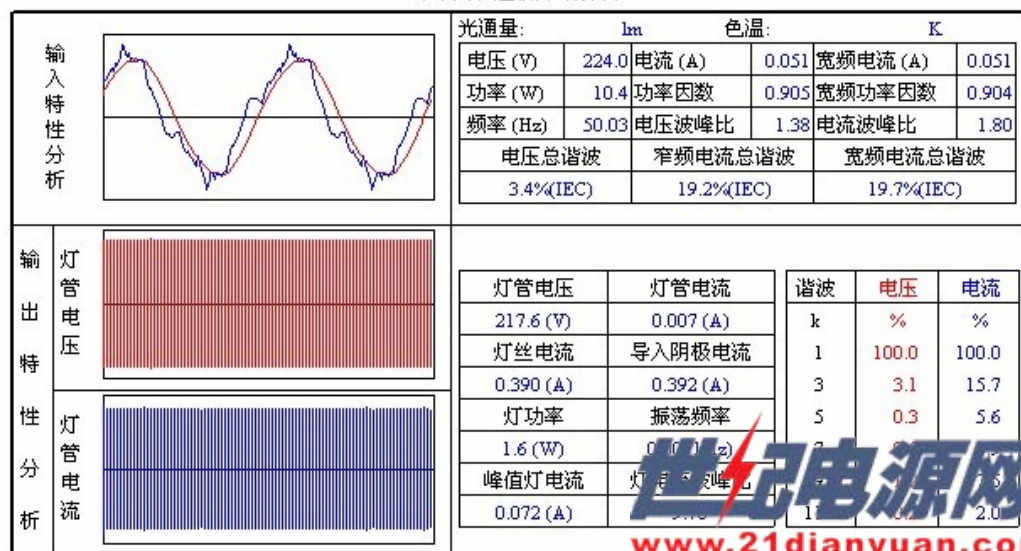
欧司朗10W

波特曼10W

UI2000 电子镇流器综合测试仪
综合特性测试报告



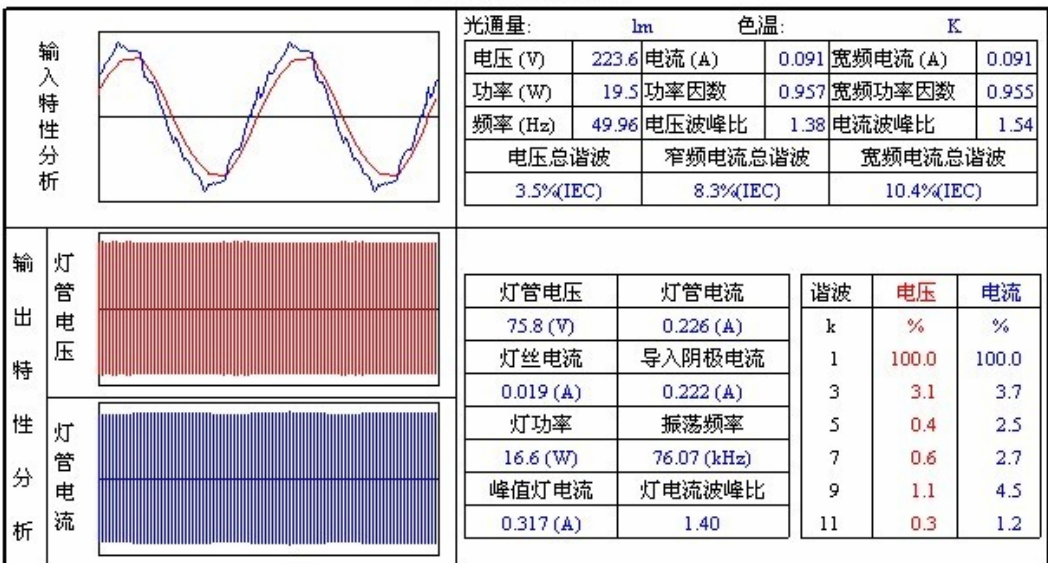
UI2000 电子镇流器综合测试仪
综合特性测试报告



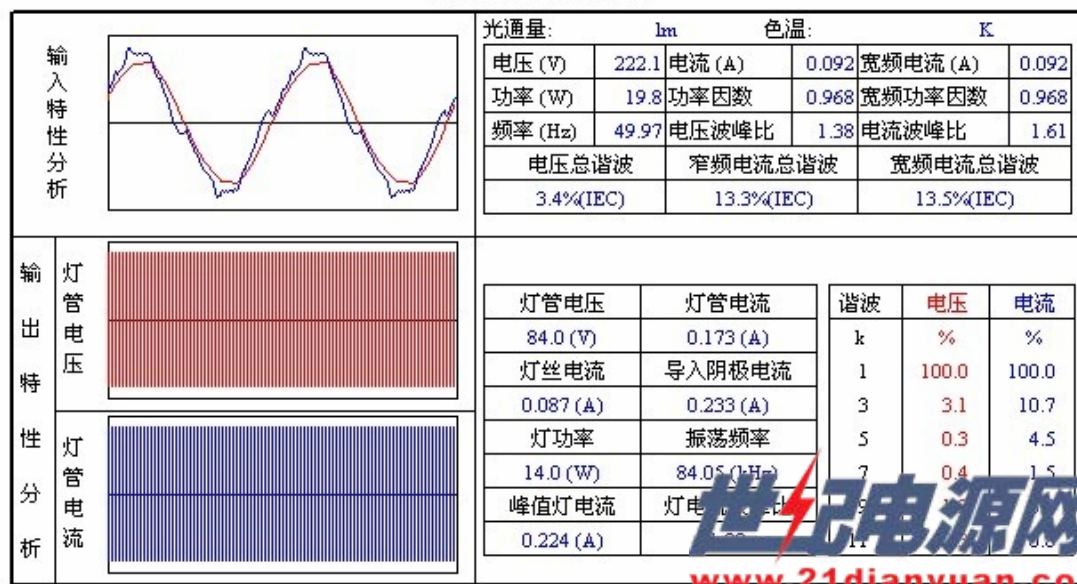
欧司朗14W

波特曼14W

UI2000 电子镇流器综合测试仪
综合特性测试报告



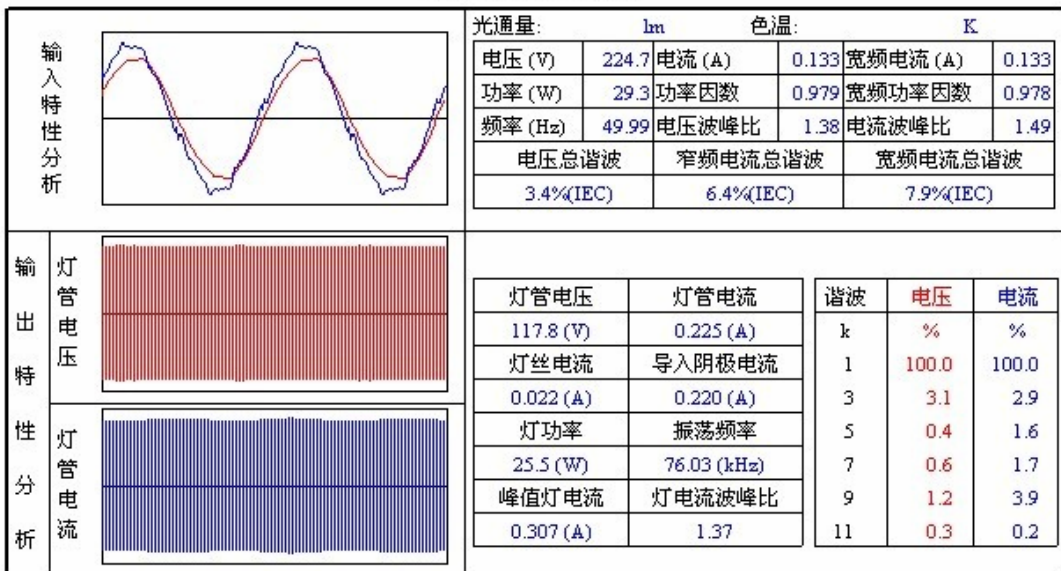
UI2000 电子镇流器综合测试仪
综合特性测试报告



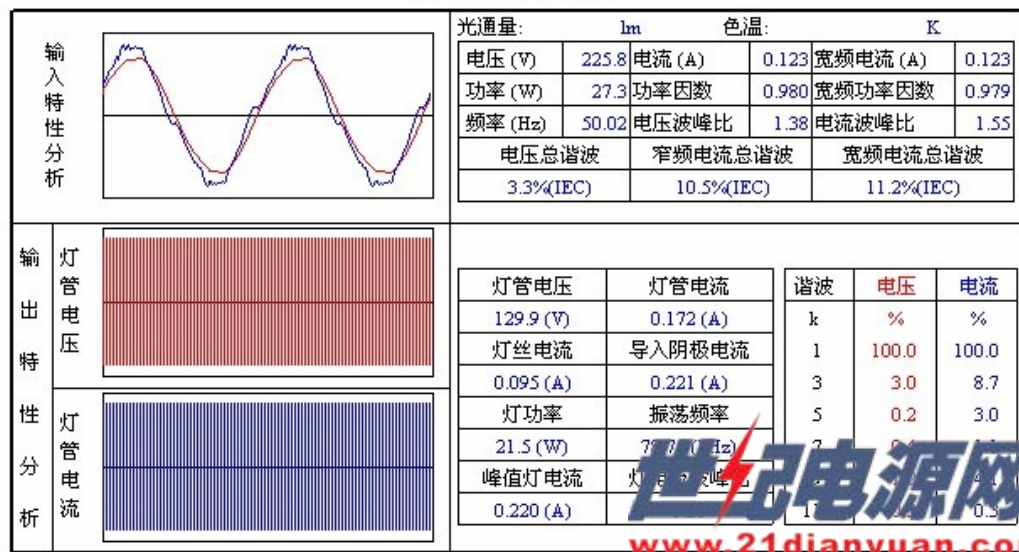
欧司朗21W

波特曼21W

UI2000 电子镇流器综合测试仪
综合特性测试报告



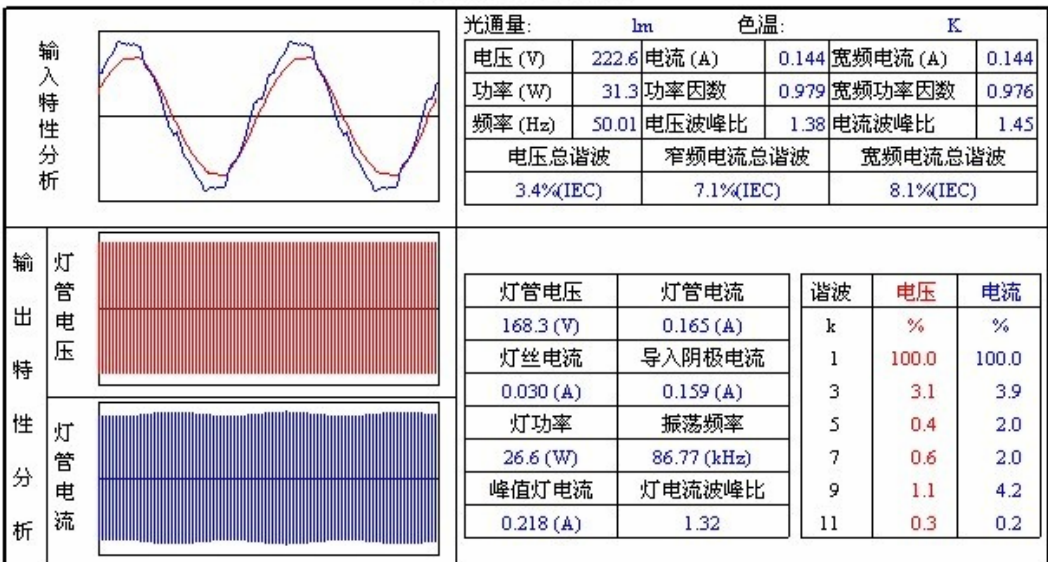
UI2000 电子镇流器综合测试仪
综合特性测试报告



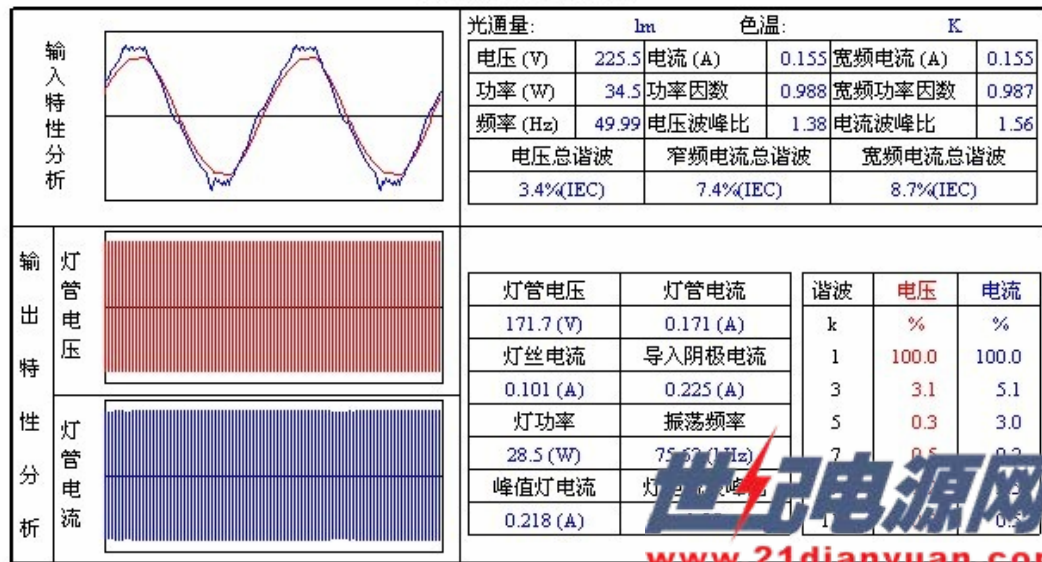
欧司朗28W

波特曼28W

UI2000 电子镇流器综合测试仪
综合特性测试报告



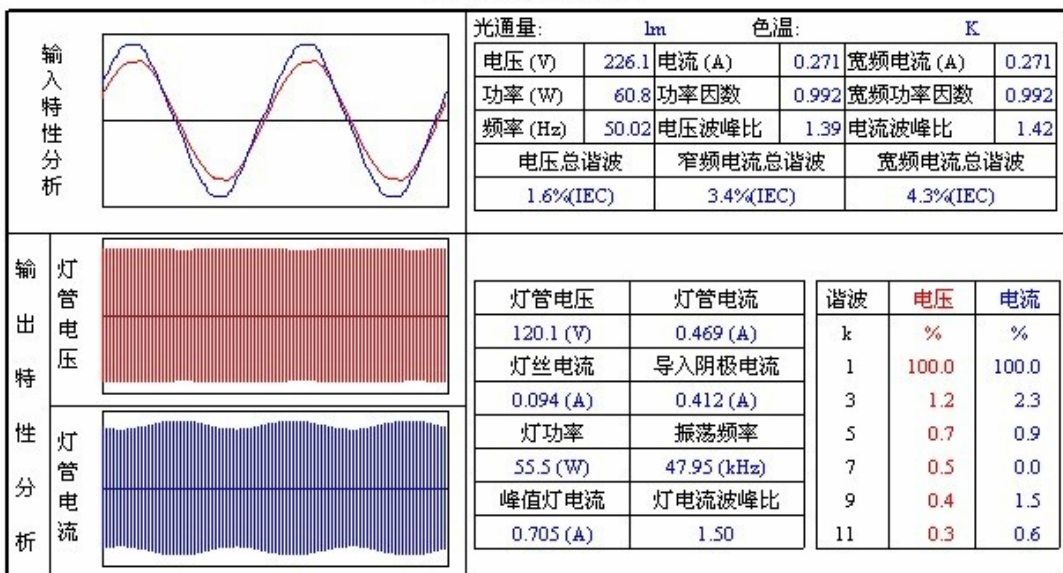
UI2000 电子镇流器综合测试仪
综合特性测试报告



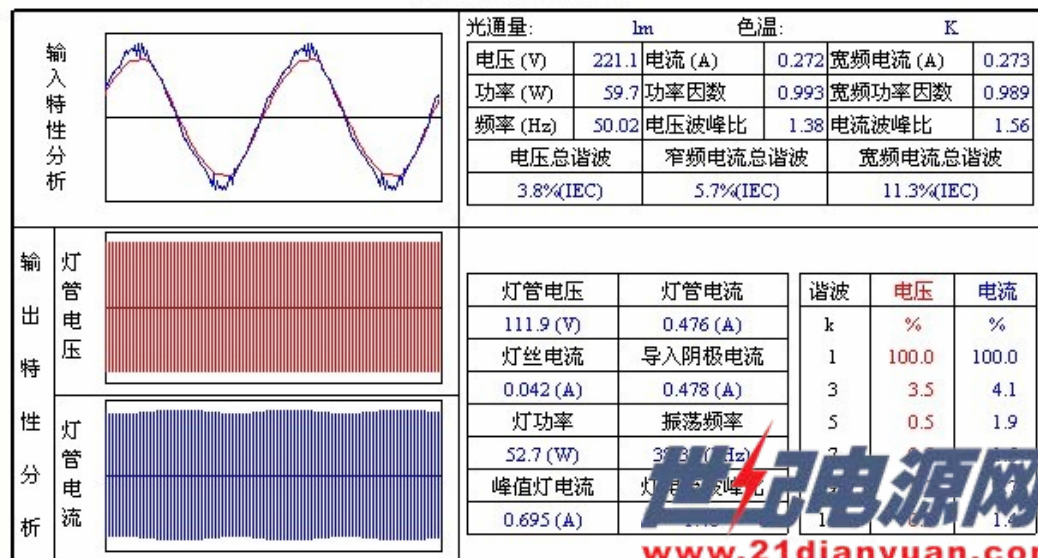
欧司朗54W

波特曼54W

UI2000 电子镇流器综合测试仪
综合特性测试报告



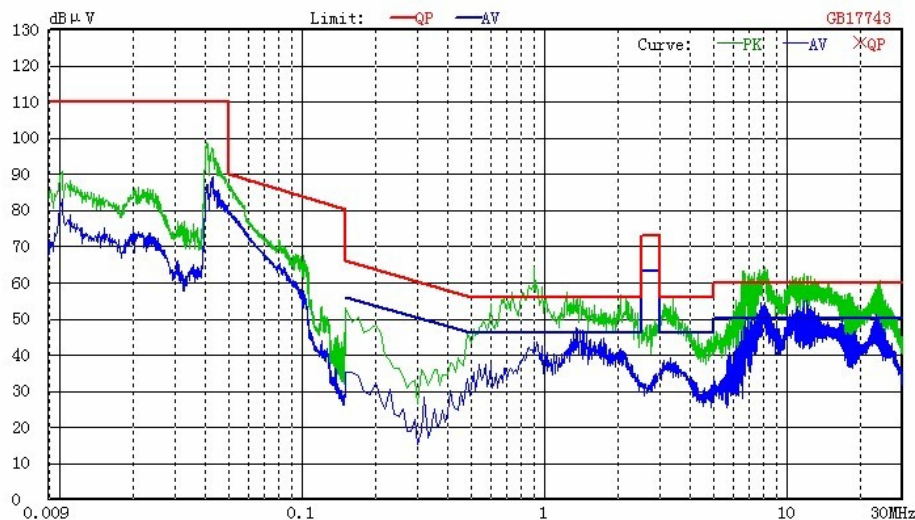
UI2000 电子镇流器综合测试仪
综合特性测试报告



欧司朗的EMC

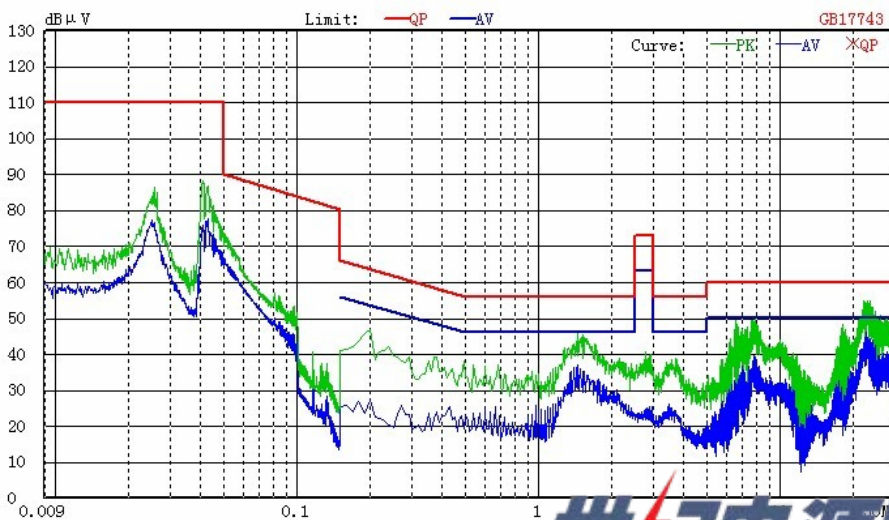
波特曼的EMC

EMC300A电磁兼容·传导干扰测试报告



0.009-0.15MHz 带宽: 200Hz 步长: 100Hz 测试时间: 100ms 测试项目: PK / AV
0.15-30MHz 9kHz 10kHz 10ms

EMC300A电磁兼容·传导干扰测试报告



0.009-0.15MHz 带宽: 200Hz 步长: 100Hz 测试时间: 100ms 测试项目: PK / AV
0.15-30MHz 9kHz 10kHz 10ms

室内照明用电光源

- 从目前技术水平和综合特性看，三基色T5管径的28~54W的灯管的应用价值最高，光通量相对最高，可以超过100lm/W；
- 节能灯由于结构问题，光效很难做到直管荧光灯的水平，但是花篮形节能灯可以有比较高的光效。
- 性能良好的电子镇流器可以使T5灯管有效使用寿命超过3万小时，一般应用条件下10年应该没有问题。

- 只要灯丝具有足够的发射电子能力，荧光灯就会有效的发光！就在寿命期内！
- 可以完全的超过人们的一般想象的寿命，也可以大大超过“标准”寿命

让我们共同努力！

13841685729

0416chenyongzhen@163.com