



创新 改变世界 **服务** 开创未来





GB/T 17626.5-2019 标准解读

2020年4月 胡小军 (编)



我們用 科技丈量 世界的高度。

GB/T 17626.5-2019电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验
等同IEC 61000-4-5:2014

IEC 61000-4-5最新版本IEC 61000-4-5 Ed 3.1 -2017

IEC 61000-4-5:2017与2014版的最大差异在于增加了 DC供电的EUT因为经过CDN网络供电，会产生谐振，造成EUT无法正常工作的解决方案



1

标准适用



产电力系统开关瞬态

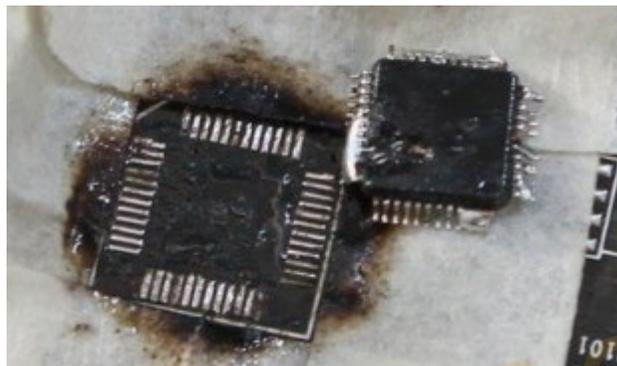
- 主网电力系统的切换骚扰（电容组切换）
- 配电系统中较小的局部开关动作或负载变化
- 与开关器件（晶闸管）相关联的谐振现象
- 电气装置对接地系统短路或电弧故障

雷电产生的浪涌

- 直接雷击于外部（户外）电路产生电压
- 间接雷击于建筑物内、外导体上感应电压和电流
- 附近直接对地放电的雷电入地电流



雷击浪涌造成的危害



如何防范雷击和避免雷击。消除雷电的产生？以现在的技术和能力，很难做到。



消除雷电的产生



提高产品的抗雷击能力



雷击浪涌路径



电源端口雷击浪涌



空间感应



电信端口雷击浪涌

GB/T 17626.5-2019标准讲述的内容主要是，浪涌发生器（波形要求）和试验方法。

设备：

- 发生器
- 电源端口耦合去耦网络
- 通讯端口耦合去耦网络

试验方法：

- 电源端口差模共模试验
- 非屏蔽不对称通讯端口差模、共模试验
- 非屏蔽对称通讯端口共模试验
- 屏蔽通讯端口试验



发生器

1.2/50us; 8/20us
10/700us; 5/320us



电源端耦合去耦网络
DC 1500V/100A
AC 700V/100A



1000Mbit



1000Mbit



1000Mbit



雷击浪涌试验设备

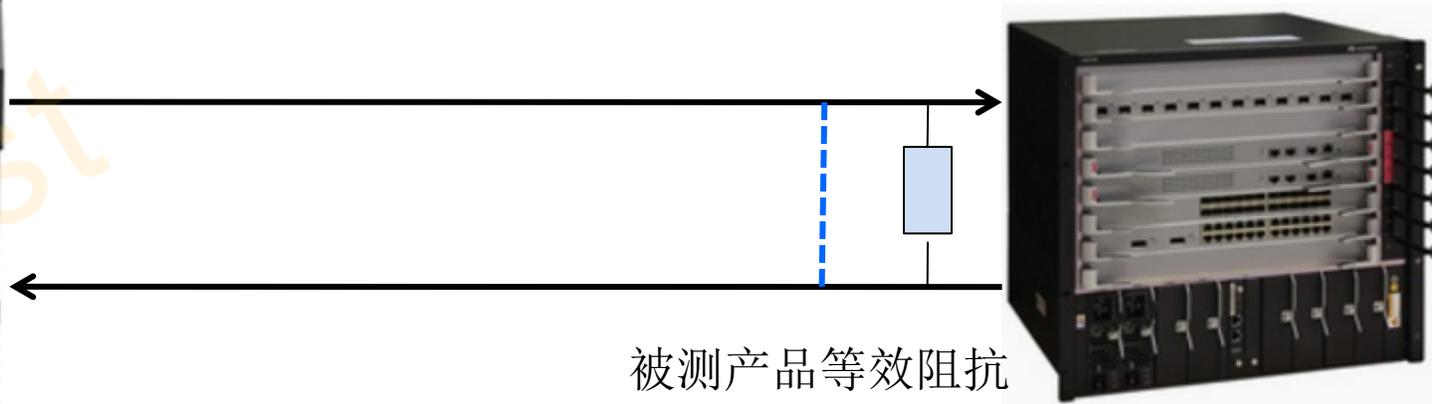
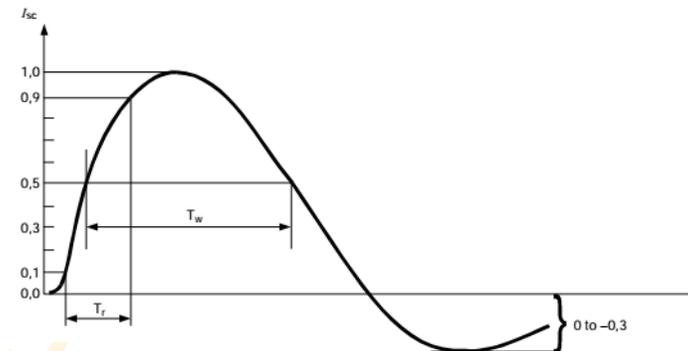
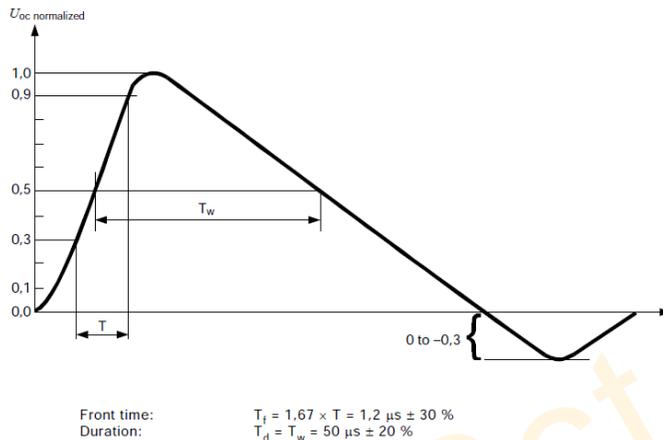
组合波 ???

开路电压波: 1.2/50μs

短路电流波: 8/20μs

开路电压波: 10/700μs

短路电流波: 5/320μs



新增定义

波前时间 front time Tf

<浪涌电压>一个为30%峰值和90%峰值两点之间所对应时间间隔T的1.67倍的虚拟参数。

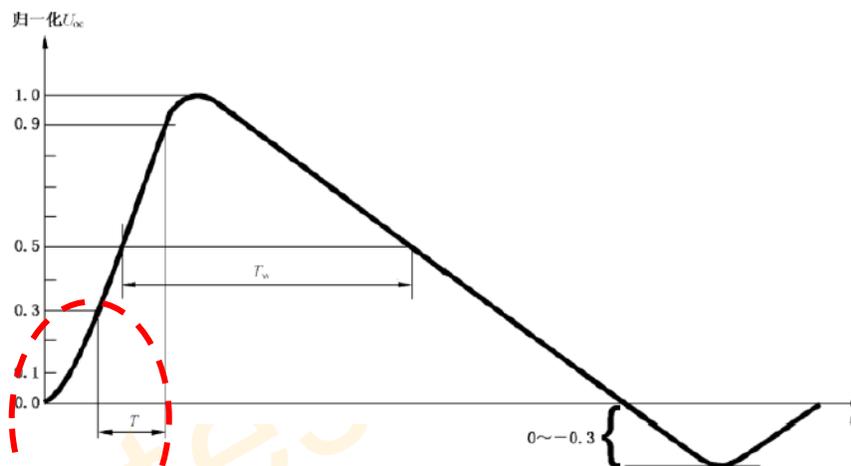
<浪涌电流>一个为10%峰值和90%峰值两点之间所对应时间间隔T的1.25倍的虚拟参数。

注意：上升时间 rise time Tr,脉冲瞬时值首次从脉冲幅值的10%上升到90%所经历的时间。

耦合/去耦网络coupling/decoupling network: CDN
耦合网络和去耦网络的组合。

电源端口 power port

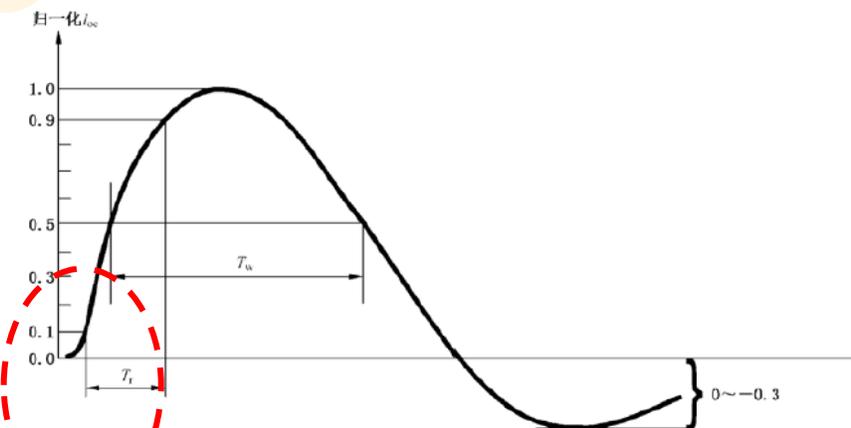
为设备或相关设备提供电源而使其正常工作的导线或电缆的端口。



波前时间: $T_f = 1.67 \times T_r = 1.2 \times (1 \pm 30\%) \mu s$

持续时间: $T_d = T_w = 50 \times (1 \pm 20\%) \mu s$

注: 1.67 为 0.9 和 0.3 阈值之差的倒数。



波前时间: $T_f = 1.25 \times T_r = 8 \times (1 \pm 20\%) \mu s$

持续时间: $T_d = 1.18 \times T_w = 20 \times (1 \pm 20\%) \mu s$

注 1: 1.25 为 0.9 和 0.1 阈值之差的倒数。

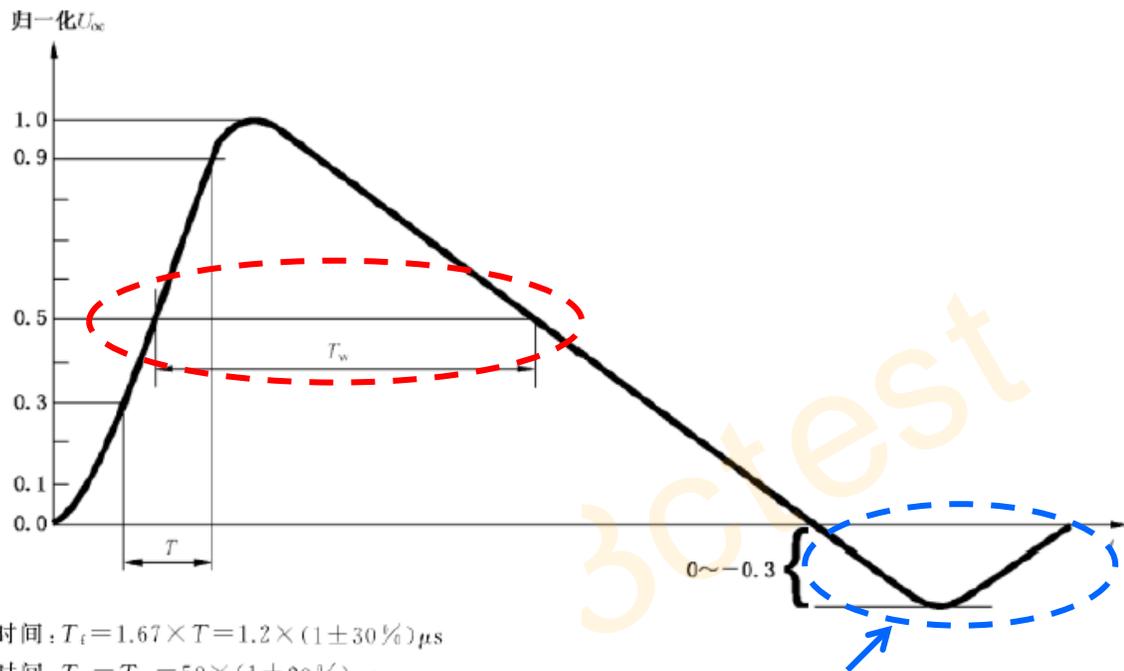
注 2: 1.18 为经验值。



修改定义

持续时间duration T_d

(1.2/50 μs , 10/700 μs 浪涌电压)浪涌电压从上升到峰值电压的一半,到下降到峰值电压的一半,二者之间的时间间隔(T_w)。 $T_d = T_w$.

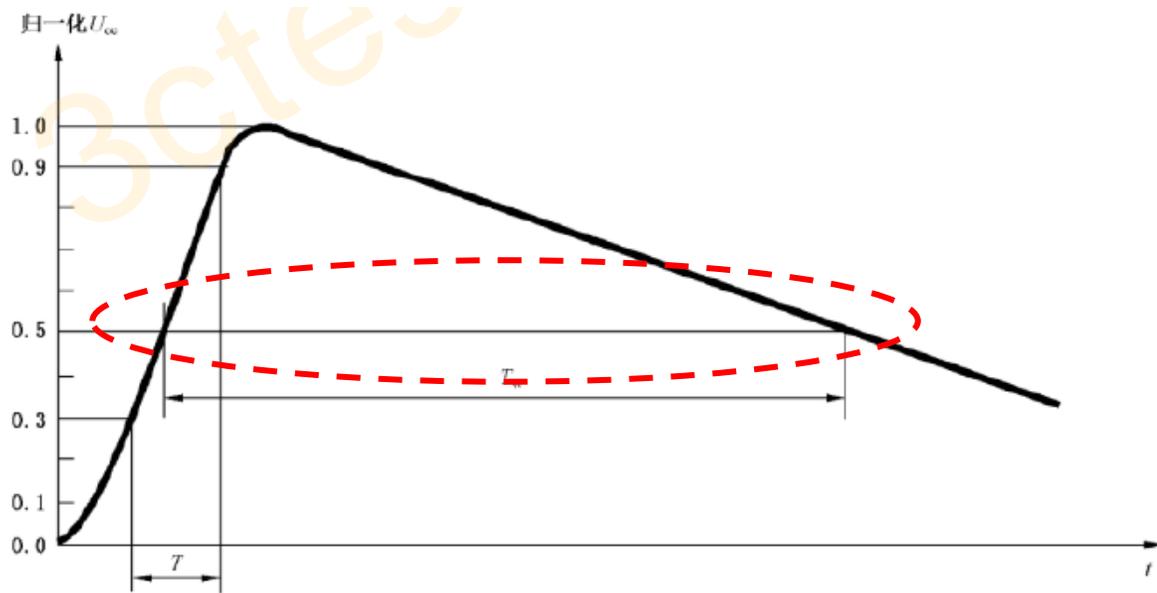


波前时间: $T_f = 1.67 \times T = 1.2 \times (1 \pm 30\%) \mu\text{s}$

持续时间: $T_d = T_w = 50 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{s}$

注: 1.67 为 0.9 和 0.3 阈值之差的倒数。

只针对发生器, CDN无此要求

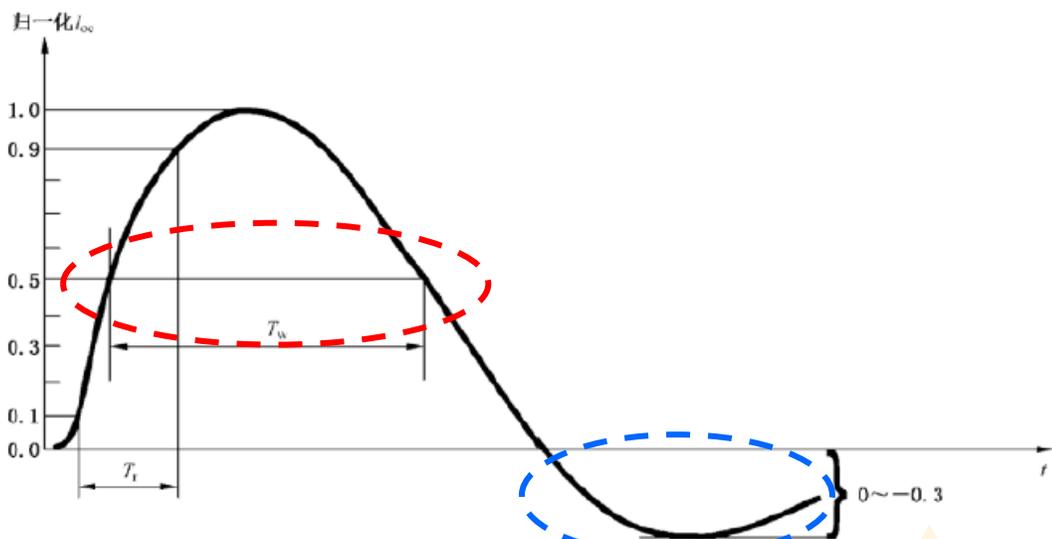


波前时间: $T_f = 1.67 \times T = 10 \times (1 \pm 30\%) \mu\text{s}$

持续时间: $T_d = T_w = 700 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{s}$

修改定义

持续时间duration Td



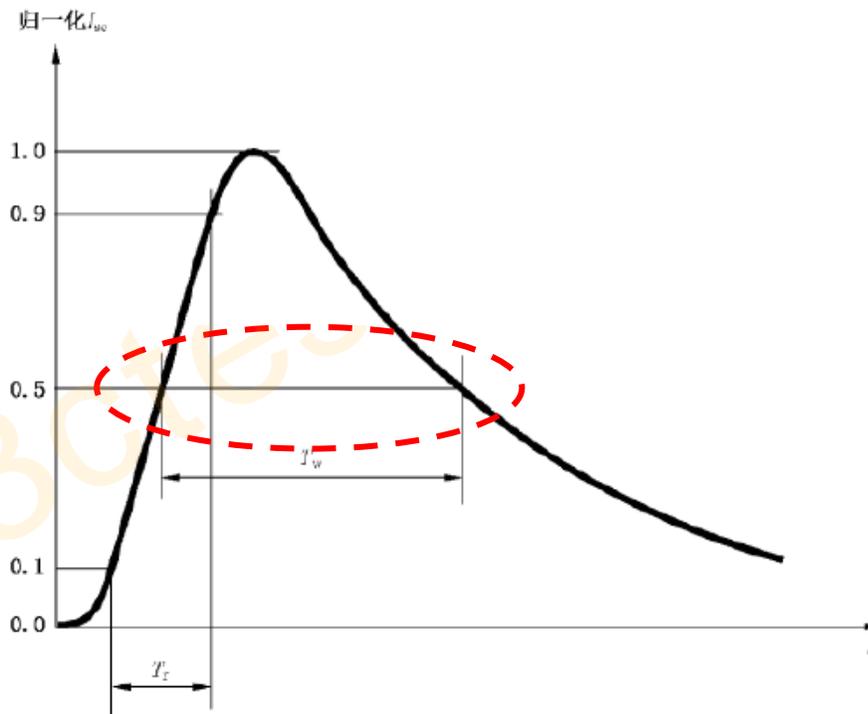
波前时间: $T_r = 1.25 \times T_r = 8 \times (1 \pm 20\%) \mu s$

持续时间: $T_d = 1.18 \times T_w = 20 \times (1 \pm 20\%) \mu s$

注 1: 1.25 为 0.9 和 0.1 阈值之差的倒数。

注 2: 1.18 为经验值。

只针对发生器, CDN无此要求

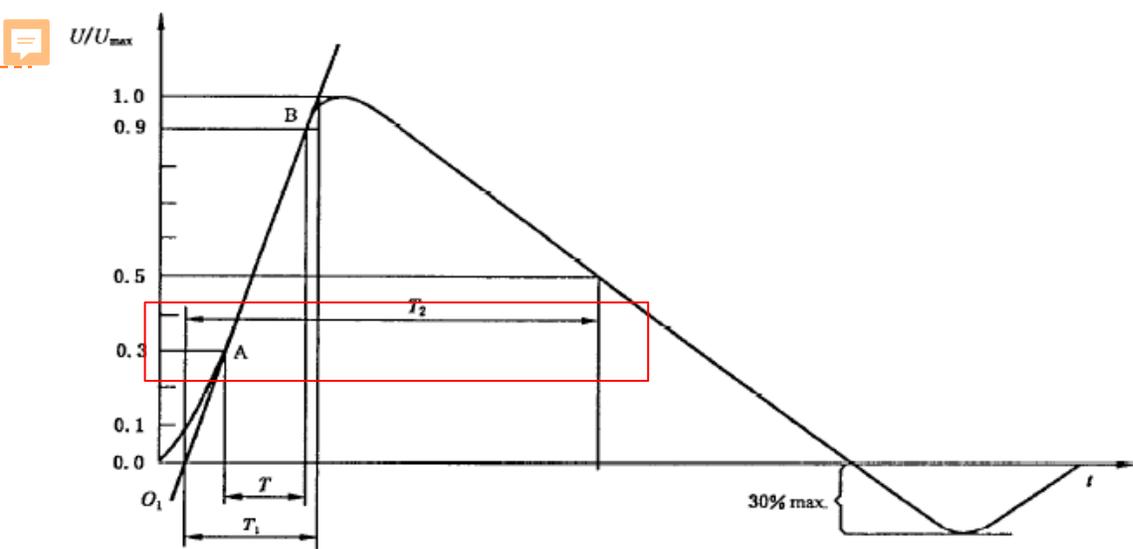


波前时间: $T_r = 1.25 \times T_r = 5 \times (1 \pm 20\%) \mu s$

持续时间: $T_d = T_w = 320 \times (1 \pm 20\%) \mu s$

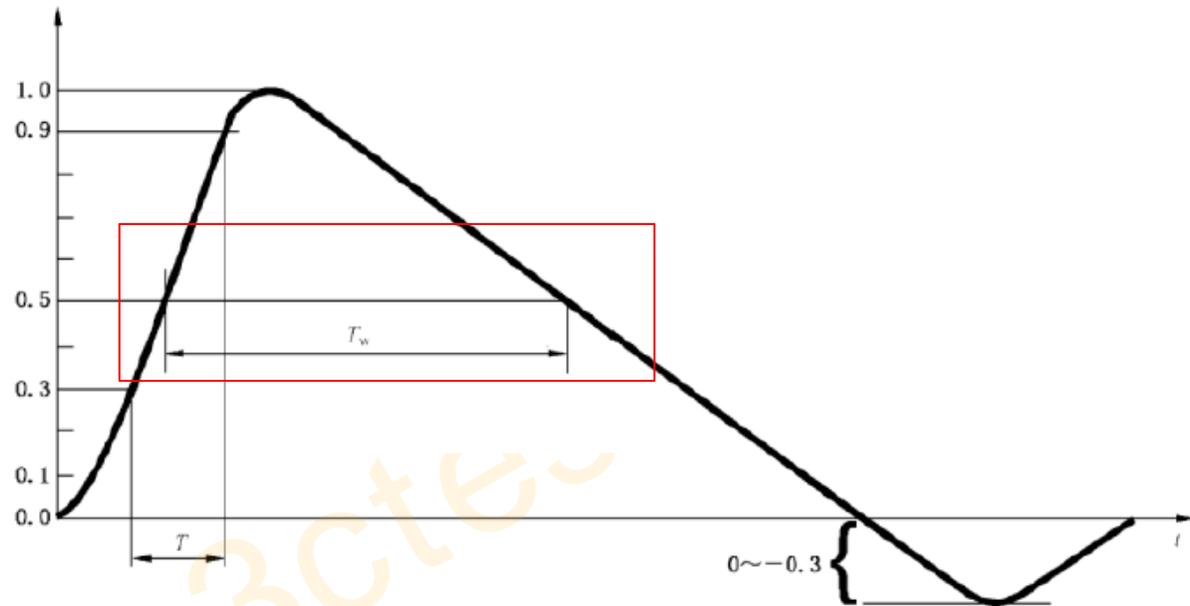
(8/20 us浪涌电流)虚拟参数,定义为浪涌电流从上升到峰值电流的一半,到下降到峰值电流的一半,二者之间的时间间隔(T_w),再乘以1.18。 $T_d = 1.18 \times T_w$

(<5/320 us浪涌电流波形)浪涌电流从上升到峰值电流的一半,到下降到峰值电流的一半,二者之间的时间间隔(T_w)。 $T_d = T_w$



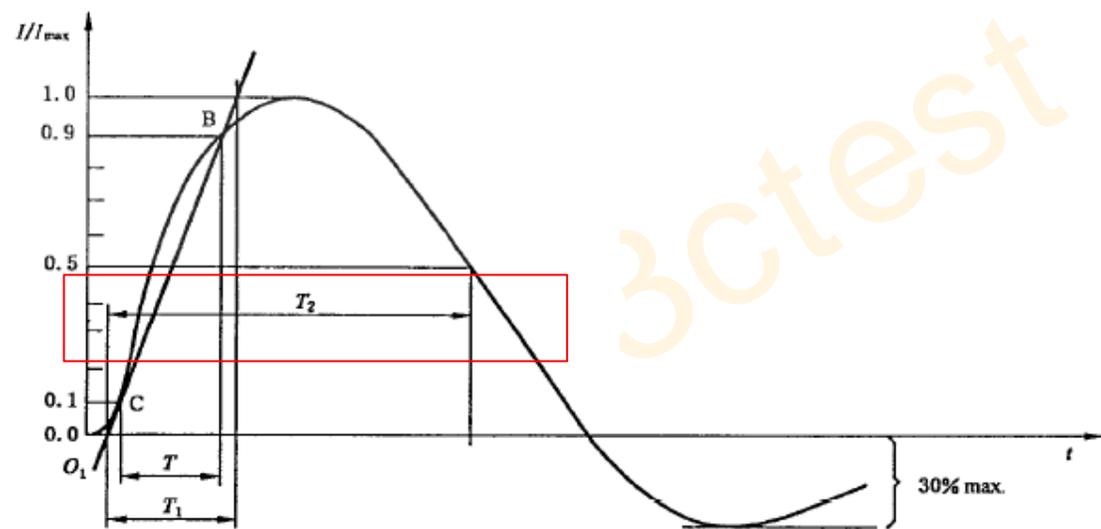
波前时间: $T_1 = 1.67 \times T = 1.2 \times (1 \pm 30\%) \mu s$

半峰值时间: $T_2 = 50 \times (1 \pm 20\%) \mu s$



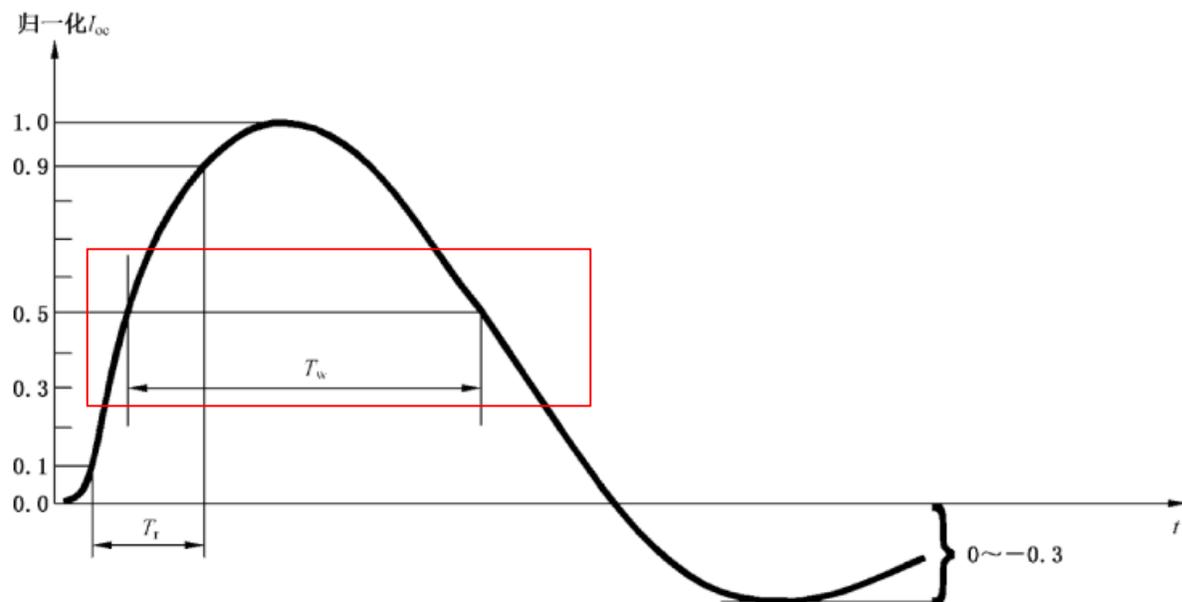
波前时间: $T_t = 1.67 \times T = 1.2 \times (1 \pm 30\%) \mu s$

持续时间: $T_d = T_w = 50 \times (1 \pm 20\%) \mu s$



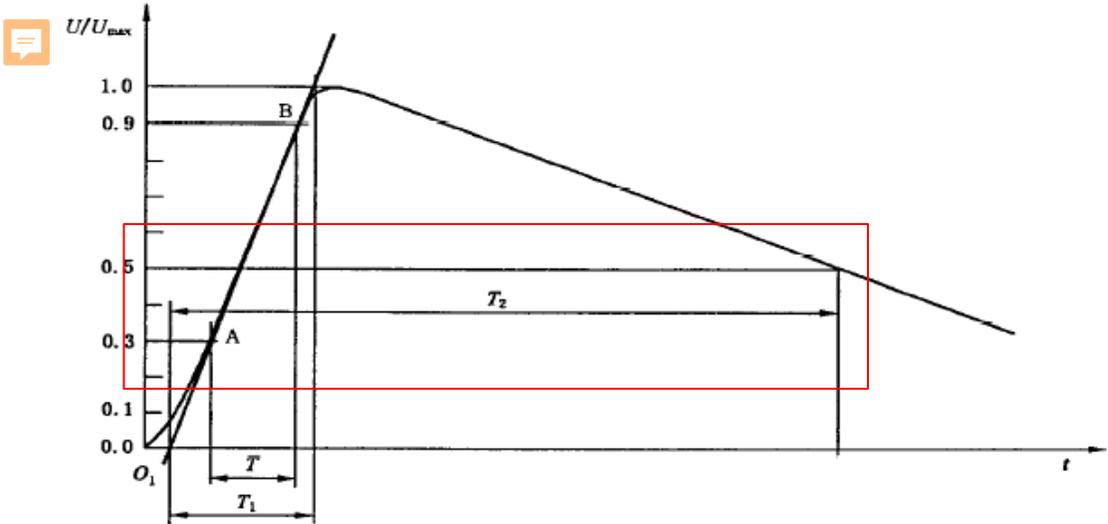
波前时间: $T_1 = 1.25 \times T = 8 \times (1 \pm 20\%) \mu s$

半峰值时间: $T_2 = 20 \times (1 \pm 20\%) \mu s$



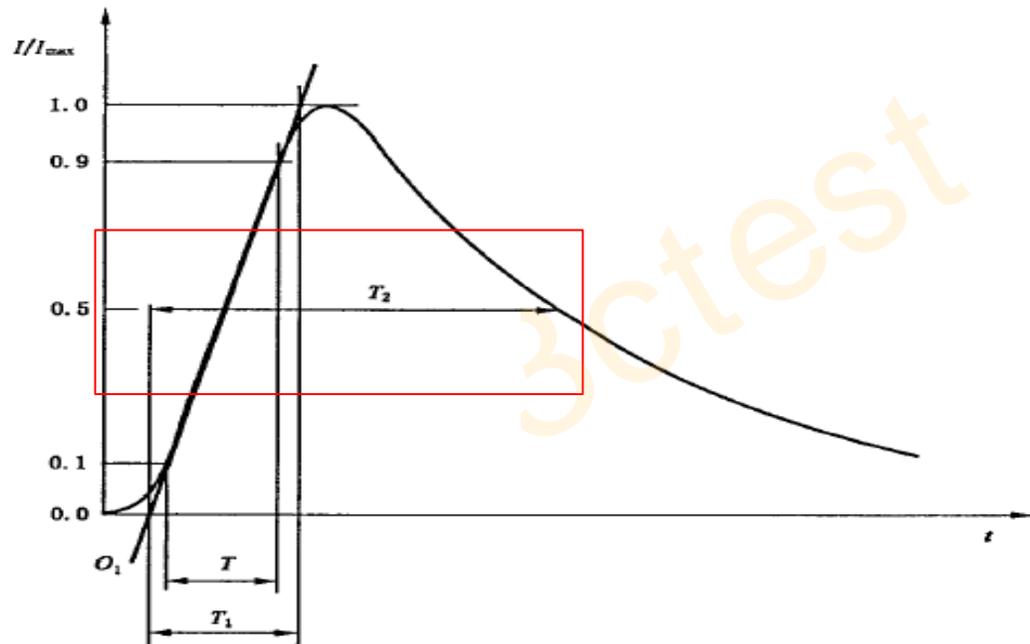
波前时间: $T_t = 1.25 \times T_r = 8 \times (1 \pm 20\%) \mu s$

持续时间: $T_d = 1.18 \times T_w = 20 \times (1 \pm 20\%) \mu s$



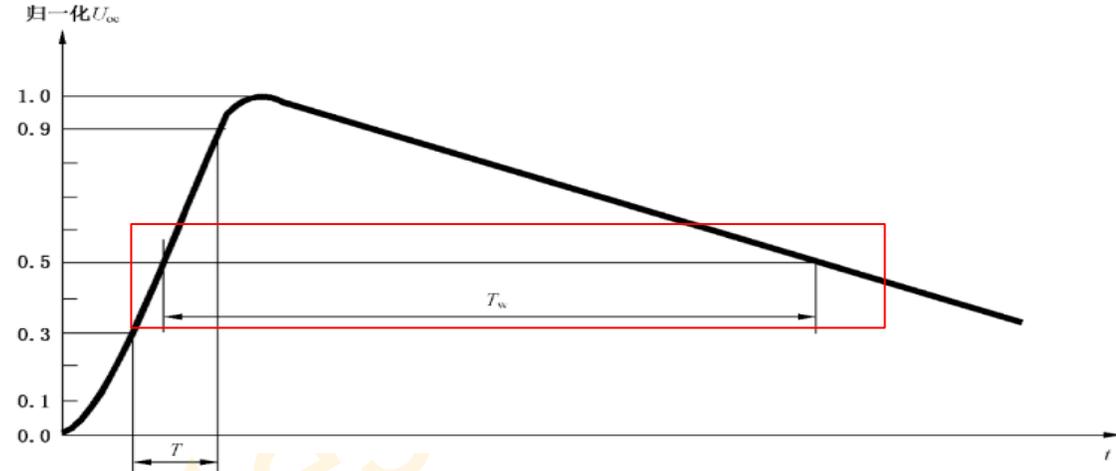
波前时间: $T_1 = 1.67 \times T = 10 \times (1 \pm 30\%) \mu s$

半峰值时间: $T_2 = 700 \times (1 \pm 20\%) \mu s$



波前时间: $T_1 = 1.25 \times T = 5 \times (1 \pm 20\%) \mu s$

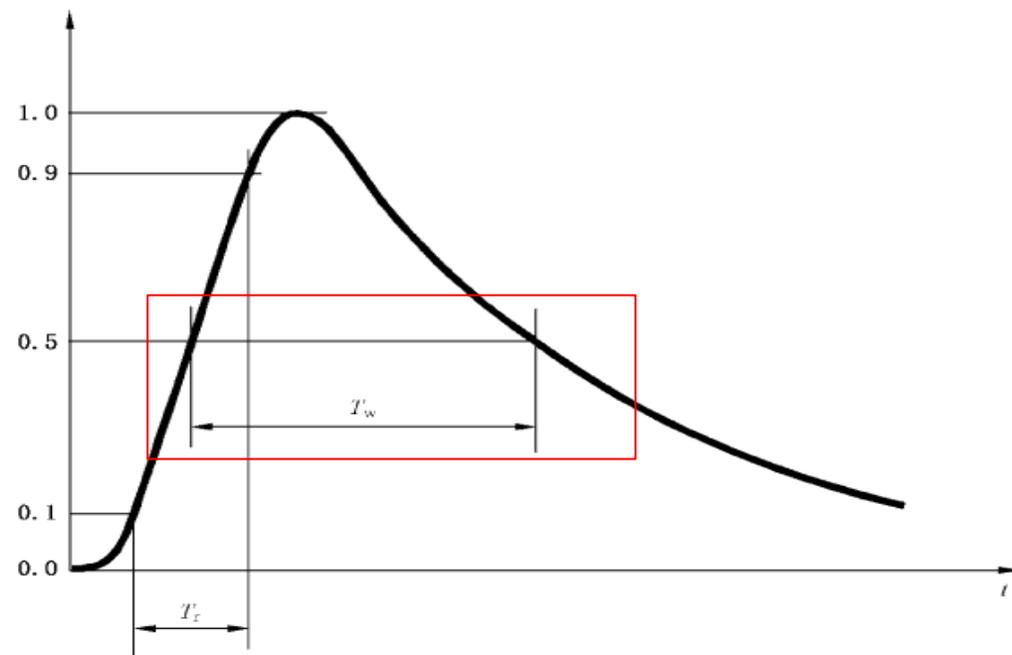
半峰值时间: $T_2 = 320 \times (1 \pm 20\%) \mu s$



波前时间: $T_1 = 1.67 \times T = 10 \times (1 \pm 30\%) \mu s$

持续时间: $T_d = T_w = 700 \times (1 \pm 20\%) \mu s$

归一化 I_{sc}



波前时间: $T_1 = 1.25 \times T = 5 \times (1 \pm 20\%) \mu s$

持续时间: $T_d = T_w = 320 \times (1 \pm 20\%) \mu s$



新增加了线-线，线-地的试验等级

2019版

等 级	开路试验电压 kV	
	线-线	线-地 ^b
1	—	0.5
2	0.5	1.0
3	1.0	2.0
4	2.0	4.0
× ^a	特定	特定

^a “×”可以是高于、低于或在其他等级之间的任何等级。该等级应在产品标准中规定。
^b 对于对称互连线,试验能够同时施加在多条线缆和地之间,例如“多线-地”。

2008版

等 级	开路试验电压(±10%) kV
1	0.5
2	1.0
3	2.0
4	4.0
X	特定

注：“X”可以是高于、低于或在其他等级之间的任何等级。该等级可以在产品标准中规定。

2019版标准中已经给出了CDN的EUT端口的参数要求,避免重复

CDN 的EUT端口电压波形要求

开路条件下的浪涌电压参数 ^{a,b}	耦合阻抗	
	18 μ F(线-线)	9 μ F+10 Ω (线-地)
峰值电压 额定电流 ≤ 16 A 16 A $<$ 额定电流 ≤ 32 A 32 A $<$ 额定电流 ≤ 63 A 63 A $<$ 额定电流 ≤ 125 A 125 A $<$ 额定电流 ≤ 200 A	设置电压 +10%/-10% 设置电压 +10%/-10% 设置电压 +10%/-10% 设置电压 +10%/-10% 设置电压 +10%/-10%	设置电压 +10%/-10% 设置电压 +10%/-10% 设置电压 +10%/-15% 设置电压 +10%/-20% 设置电压 +10%/-25%
波前时间	$1.2 \times (1 \pm 30\%) \mu\text{s}$	$1.2 \times (1 \pm 30\%) \mu\text{s}$
持续时间 额定电流 ≤ 16 A 16 A $<$ 额定电流 ≤ 32 A 32 A $<$ 额定电流 ≤ 63 A 63 A $<$ 额定电流 ≤ 125 A 125 A $<$ 额定电流 ≤ 200 A	50 μs +10 μs /-10 μs 50 μs +10 μs /-15 μs 50 μs +10 μs /-20 μs 50 μs +10 μs /-25 μs 50 μs +10 μs /-30 μs	50 μs +10 μs /-25 μs 50 μs +10 μs /-30 μs 50 μs +10 μs /-35 μs 50 μs +10 μs /-40 μs 50 μs +10 μs /-45 μs

1.2/50 μs -8/20 μs 波形参数的定义进行了修改，但是最终波形没变

2008版

定义	根据 GB/T 16927.1		根据 IEC 60469-1	
	波前时间 μs	半峰值时间 μs	上升时间 (10%—90%) μs	持续时间 (50%—50%) μs
开路电压	<u>$1.2 \times (1 \pm 30\%)$</u>	<u>$50 \times (1 \pm 20\%)$</u>	$1 \times (1 \pm 30\%)$	$50 \times (1 \pm 20\%)$
短路电流	$8 \times (1 \pm 20\%)$	$20 \times (1 \pm 20\%)$	$6.4 \times (1 \pm 20\%)$	$16 \times (1 \pm 20\%)$

注：在现行 IEC 出版物中，1.2/50 μs 和 8/20 μs 波形通常按 GB/T 16927.1 规定，如图 2 和图 3 所示。其他的 IEC 推荐标准按 IEC 60469-1 规定波形，如表 2 所示。
对本部分，两种定义都是有效的，但所指的是同一发生器。

2019版

定义	波前时间 T_f μs	持续时间 T_d μs
开路电压	$T_f = 1.67 \times T = \underline{1.2 \times (1 + 30\%)}$	$T_d = T_w = \underline{50 \times (1 + 20\%)}$
短路电流	$T_f = 1.25 \times T = \underline{8 \times (1 \pm 20\%)}$	$T_d = 1.18 \times T_w = \underline{20 \times (1 \pm 20\%)}$

和标准定义描述保持一致

新增线-线差模电流参数

短路条件下的浪涌电流参数 ^a	耦合阻抗	
	18 μ F(线-线)	9 μ F+10 Ω (线-地) ^b
波前时间	$T_i = 1.25 \times T_r = 8 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{s}$	$T_d = 1.25 \times T_r = 2.5 \times (1 \pm 30\%) \mu\text{s}$
持续时间	$T_d = 1.18 \times T_w = 20 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{s}$	$T_d = 1.04 \times T_w = 25 \times (1 \pm 30\%) \mu\text{s}$

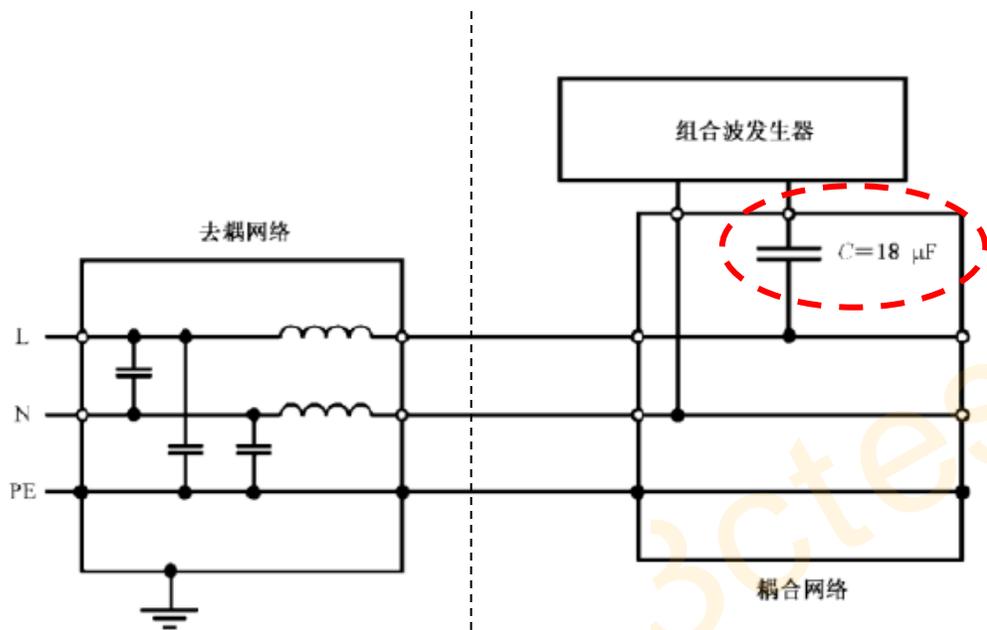
CDN 的 EUT 端口的 开路电压峰值 $\pm 10\%$	CDN 的 EUT 端口的 短路电流峰值 $\pm 10\%$ (18 μ F)	CDN 的 EUT 端口的 短路电流峰值 $\pm 10\%$ (9 μ F+10 Ω)
0.5 kV	0.25 kA	41.7 A
1.0 kV	0.5 kA	83.3 A
2.0 kV	1.0 kA	166.7 A
4.0 kV	2.0 kA	333.3 A

CDN校准提供
依据

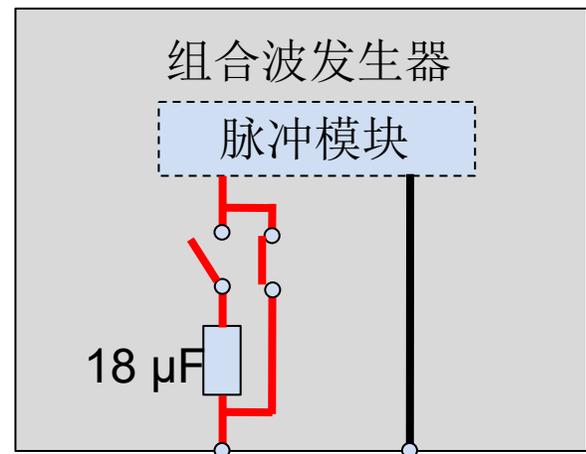
发生器校准方法

设备校准测量系统需要有**足够带宽**和电压、电流量程。2019版标准附录E中给出了浪涌波形带宽信息。量测短路电流波形的电流转换器（探头），磁芯不应产生饱和，探头低端截止频率小于100Hz

校准测量时，发生器的输出端串接一个18 μF 电容，再量测开路电压波形参数和短路电流波形参数。如果18 μF 电容位于发生器内部，校准时不需要外接18 μF 电容。

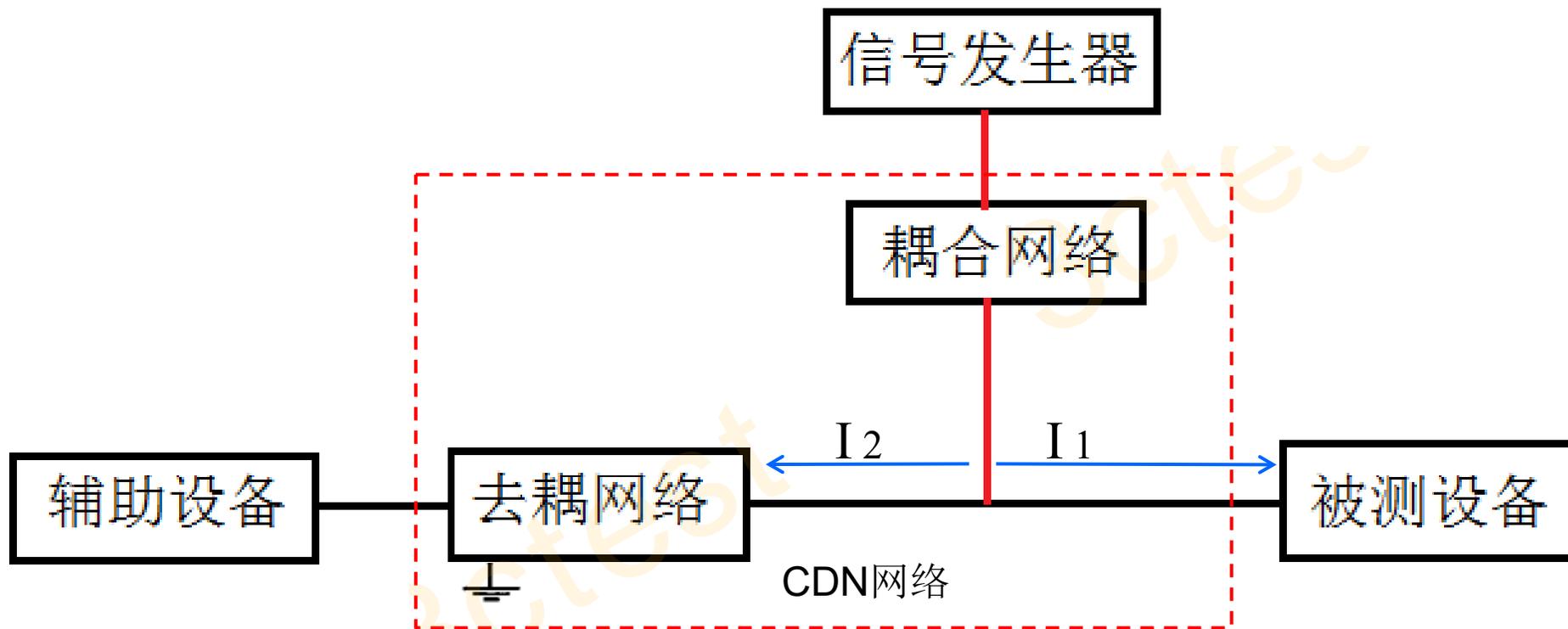


18 μF



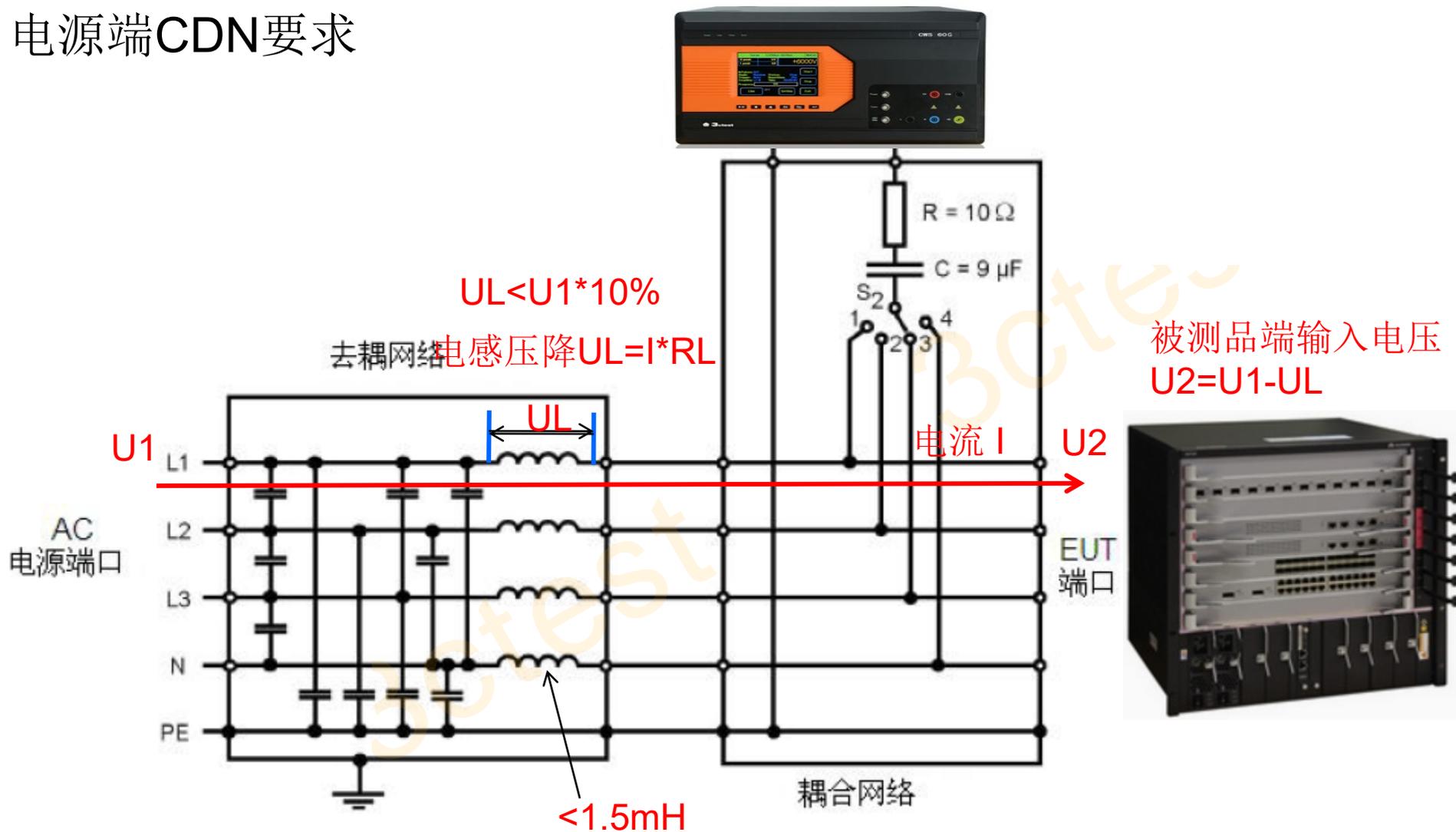
发生器内部有18 μF 电容
通过开关选择电容的使用

耦合去耦网络使用原理



测试结果产生差异，主要是去耦网络阻抗（能量分流）

电源端CDN要求

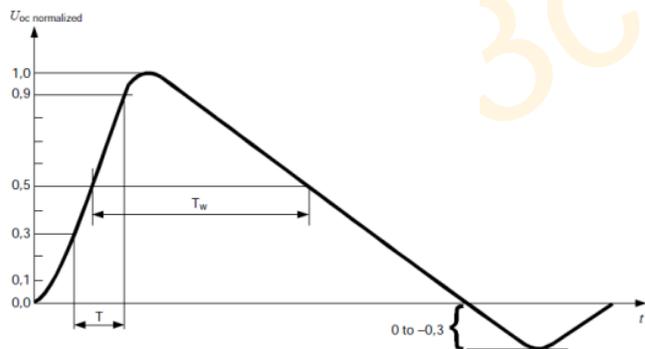




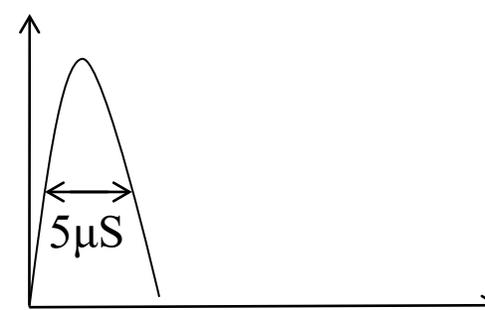
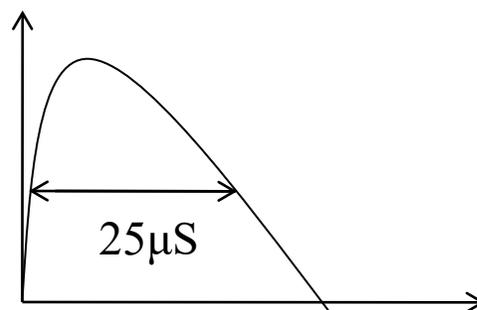
2008版标准中规定CDN最大带载电流100A,当EUT电流大于100A时,采取直接注入,不使用CDN。
2019版标准中规定CDN带载电流达到200A,同时还推荐电流200A-1600A的去耦电感量。

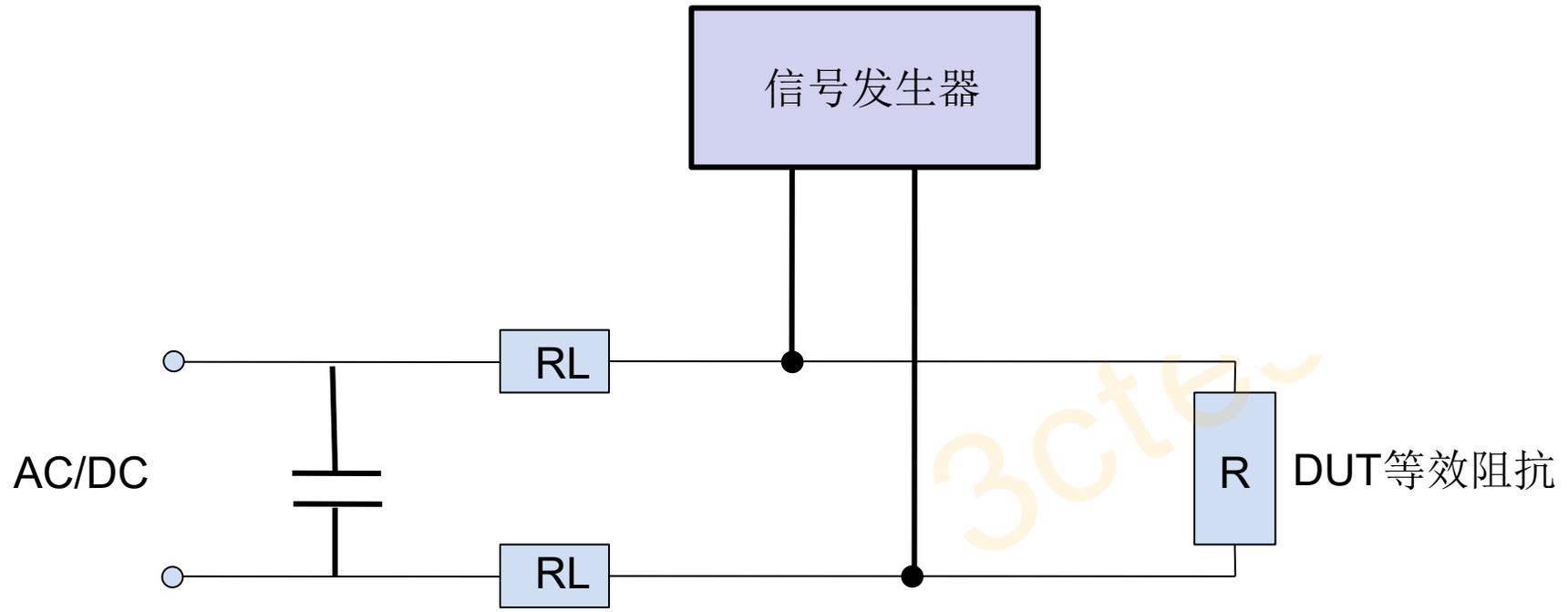
开路条件下的浪涌电压参数 ^{a,b}	耦合阻抗	
	18 μ F(线-线)	9 μ F+10 Ω (线-地)
峰值电压 额定电流 ≤ 16 A 16 A < 额定电流 ≤ 32 A 32 A < 额定电流 ≤ 63 A 63 A < 额定电流 ≤ 125 A 125 A < 额定电流 ≤ 200 A	设置电压 +10%/-10% 设置电压 +10%/-10% 设置电压 +10%/-10% 设置电压 +10%/-10% 设置电压 +10%/-10%	设置电压 +10%/-10% 设置电压 +10%/-10% 设置电压 +10%/-15% 设置电压 +10%/-20% 设置电压 +10%/-25%
波前时间	$1.2 \times (1 \pm 30\%) \mu$ s	$1.2 \times (1 \pm 30\%) \mu$ s
持续时间 额定电流 ≤ 16 A <u>16 A < 额定电流 ≤ 32 A</u> 32 A < 额定电流 ≤ 63 A 63 A < 额定电流 ≤ 125 A 125 A < 额定电流 ≤ 200 A	50 μ s + 10 μ s / -10 μ s 50 μ s + 10 μ s / -15 μ s 50 μ s + 10 μ s / -20 μ s 50 μ s + 10 μ s / -25 μ s 50 μ s + 10 μ s / -30 μ s	50 μ s + 10 μ s / -25 μ s 50 μ s + 10 μ s / -30 μ s 50 μ s + 10 μ s / -35 μ s 50 μ s + 10 μ s / -40 μ s 50 μ s + 10 μ s / -45 μ s

开路条件下的浪涌电压参数	
波前时间	
半峰值 时间	额定电流 < 25 A
	额定电流 25 A ~ 60 A
	额定电流 60 A ~ 100 A



Front time: $T_f = 1.67 \times T = 1.2 \mu$ s $\pm 30\%$
 Duration: $T_d = T_w = 50 \mu$ s $\pm 20\%$





当DUT是大功率设备（如，工作时电流 $>200A$ ），其等效阻抗R值会很小；相当于将浪涌信号发生器HV-COM端之间短路，因此主要对DUT的影响波形是 $8/20\mu s$ 电流波。

EUT电流值	推荐去耦感抗值
$200A < \text{电流值} \leq 400A$	$200\mu H \sim 100\mu H$
$400A < \text{电流值} \leq 800A$	$100\mu H \sim 50\mu H$
$800A < \text{电流值} \leq 1600A$	$50\mu H \sim 25\mu H$
安培值 $< \text{电流值} \leq 2 \times \text{安培值}$	电感值减少2倍



通讯端口试验波形选择

2008版标准:

1.2/50 μs 连接到电源线和短距离信号互联线的端口

10/700 μs 连接到对称通信线的端口

2019版标准:

将10/700 μs 波形放到了规范性附录A中。对于直接与户外电信网络相连接的对称通信线，电缆长度 $>300\text{m}$ ，标准推荐使用10/700 μs 的测试波形。

耦合 / 去耦网络
的选择方法

对于屏蔽线，不论是两端接地还是单端接地，
测试脉冲直接注入到屏蔽层（屏蔽外壳）

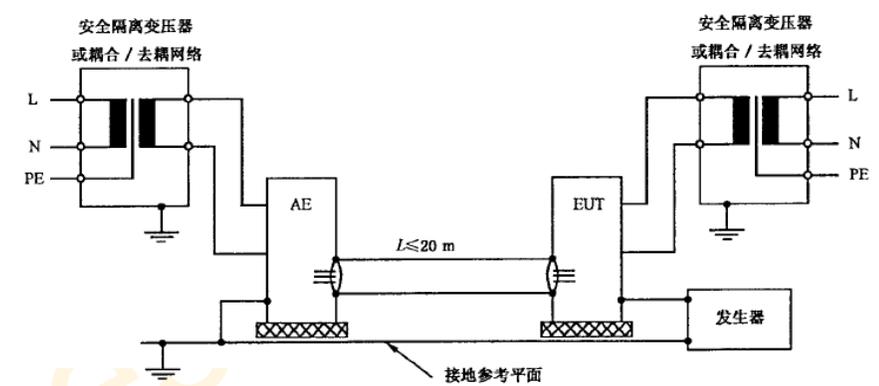
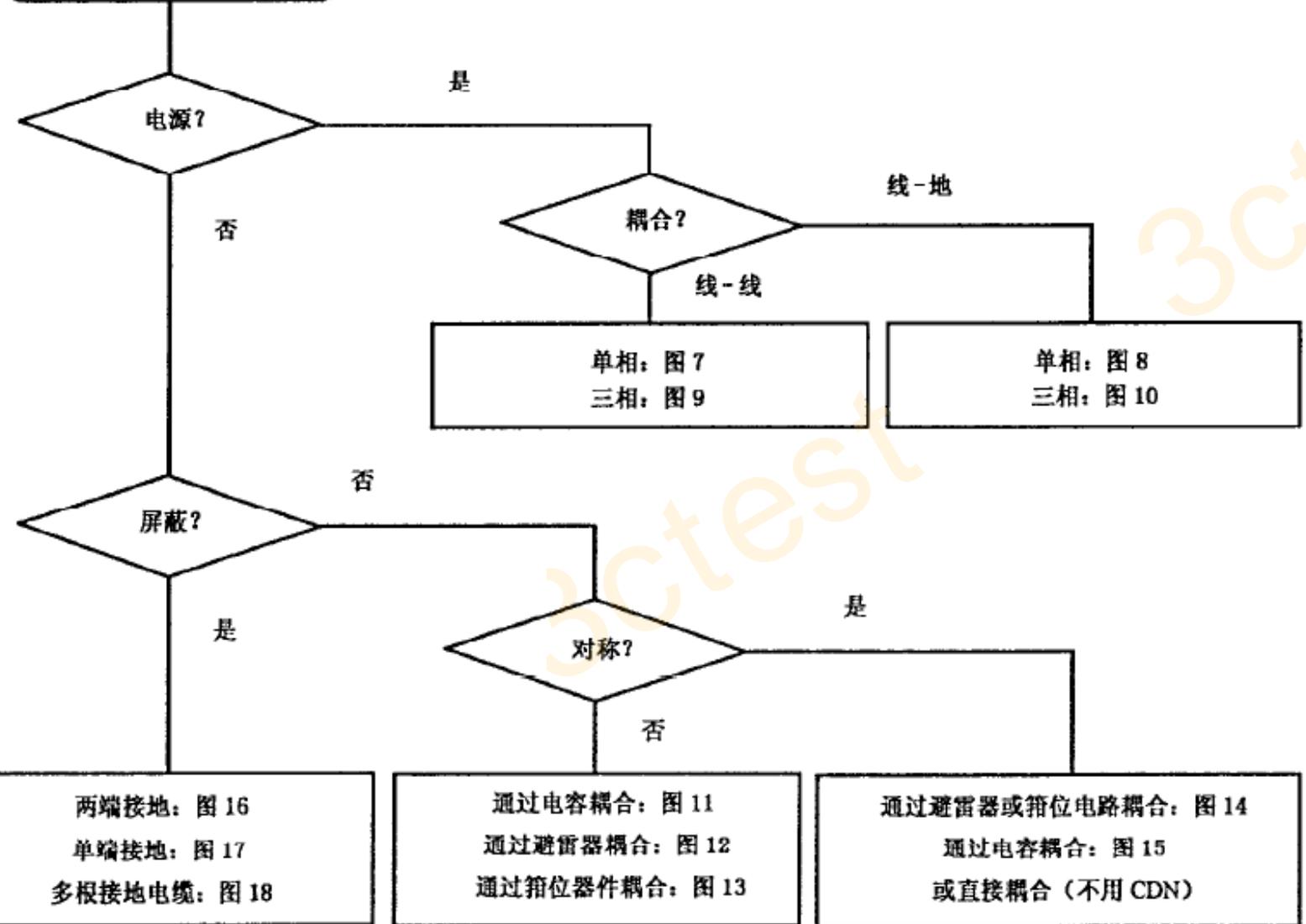


图16 两端接地

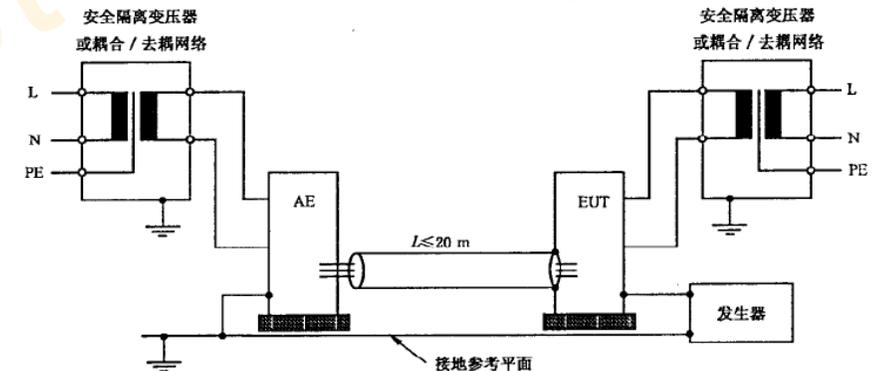
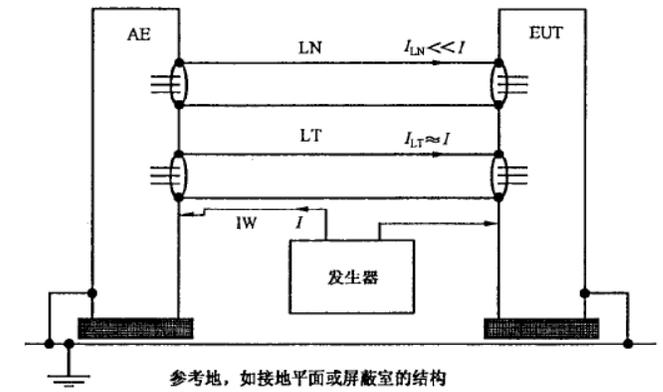


图17 单端接地



参考地，如接地平面或屏蔽室的结构

图18 多根接地

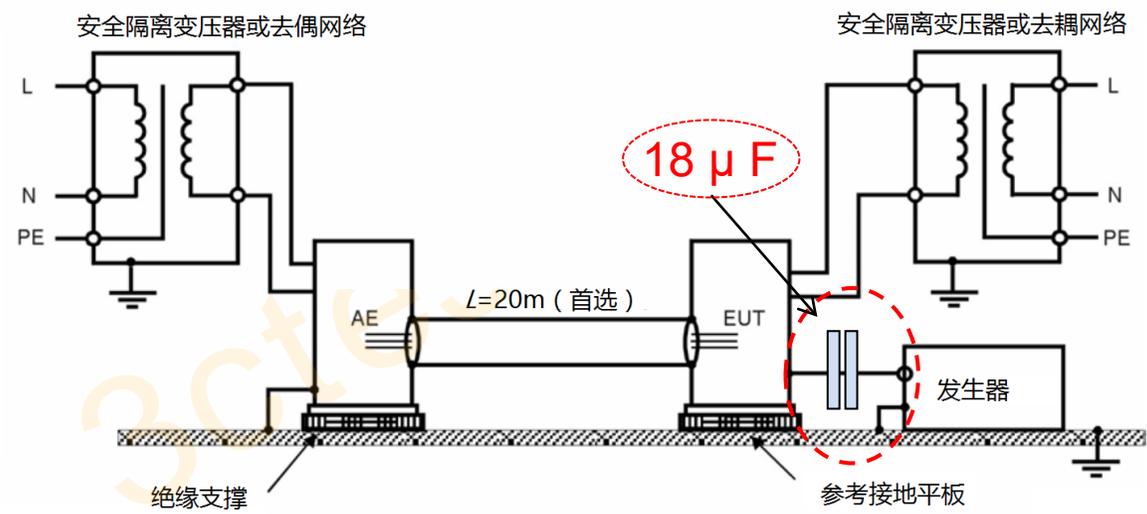
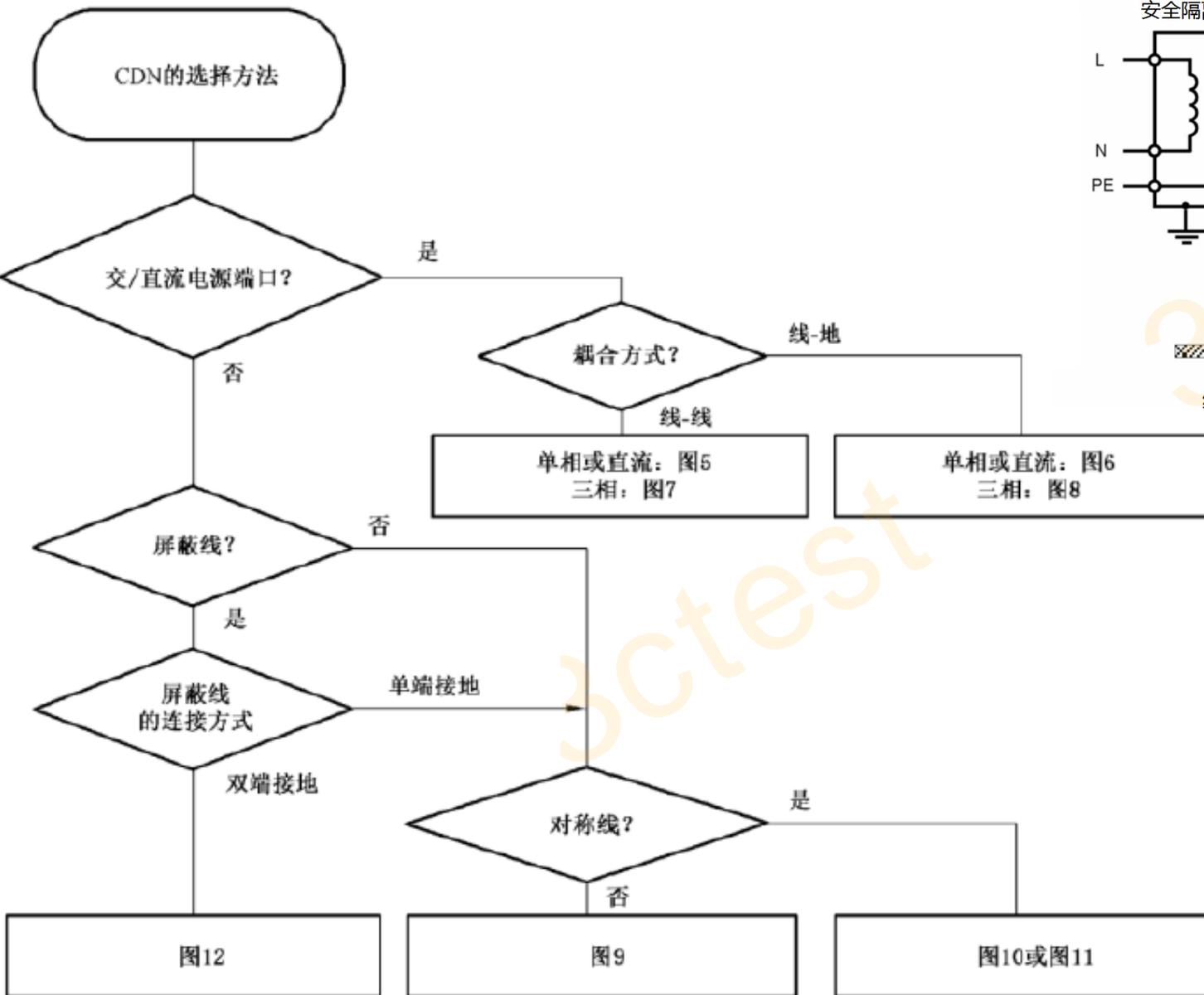


图12两端接地

对于屏蔽线，只有两端接地时，试验发生器输出端串接 $18\mu F$ ，将脉冲直接注入到屏蔽层（屏蔽外壳）。



按照非屏蔽不对称线进行测试

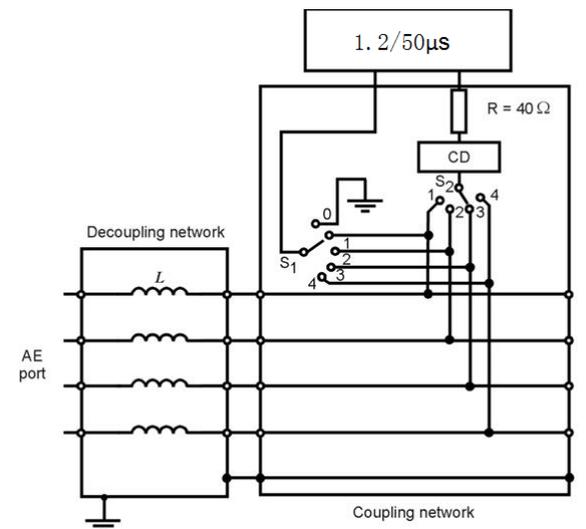
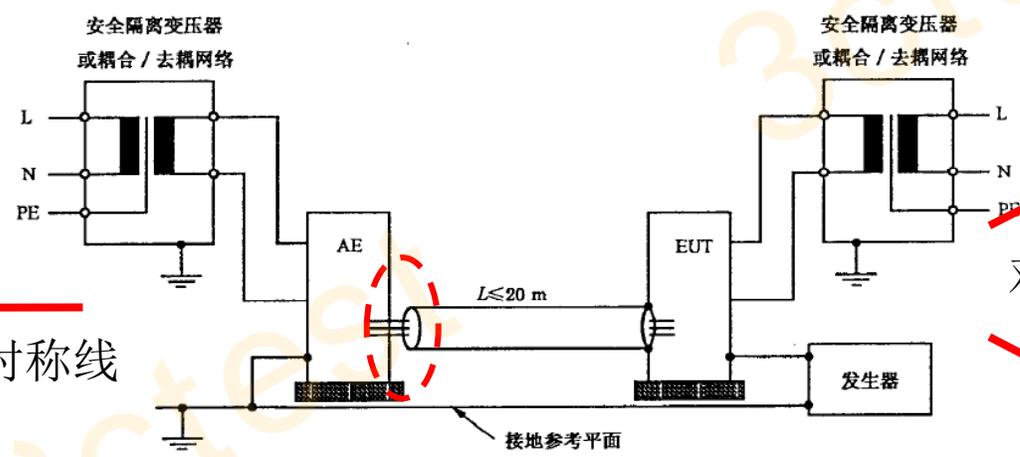


图 9

不对称线



一端接地的屏蔽线

按照非屏蔽对称线进行测试

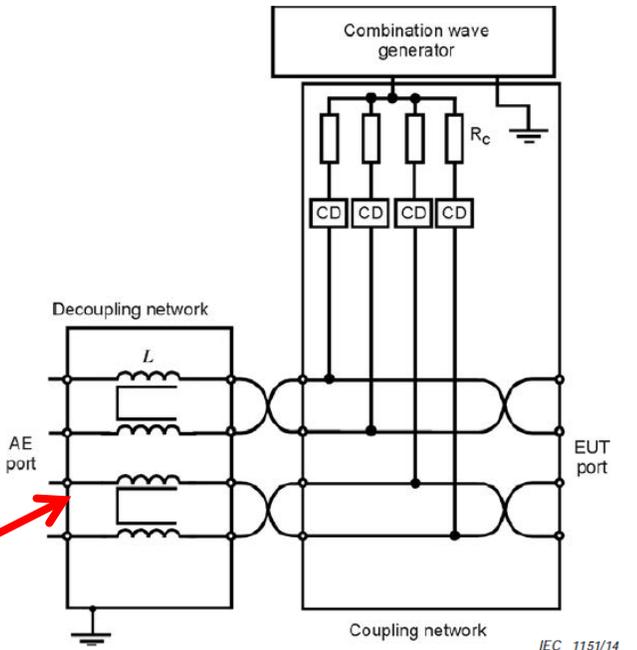


图 10

对称线

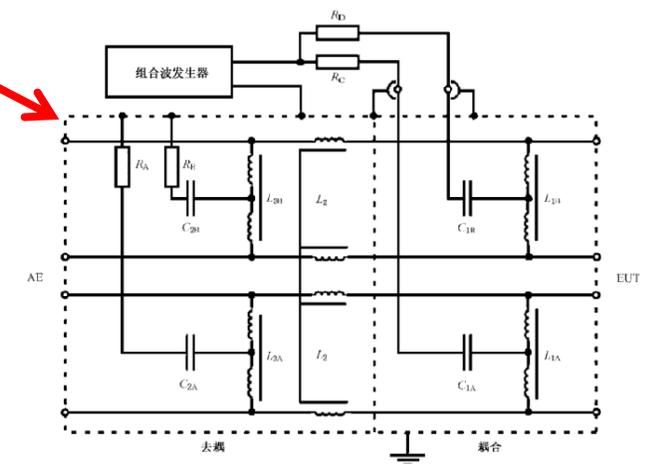


图 11

端口试验分类

I/O端口浪涌试验

非屏蔽线

屏蔽线

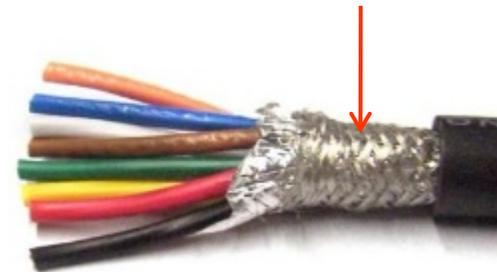
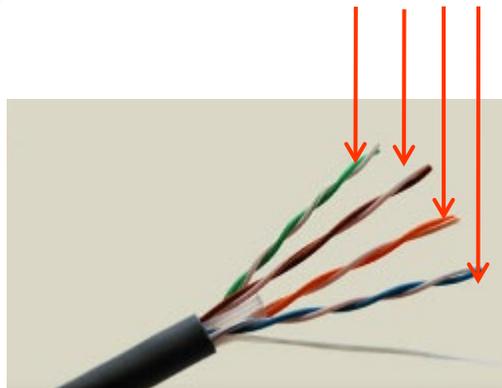
非屏蔽不对称线
1.2/50 μ s波形

非屏蔽对称线
1.2/50 μ s、10/700 μ s波形

两端屏蔽
1.2/50 μ s

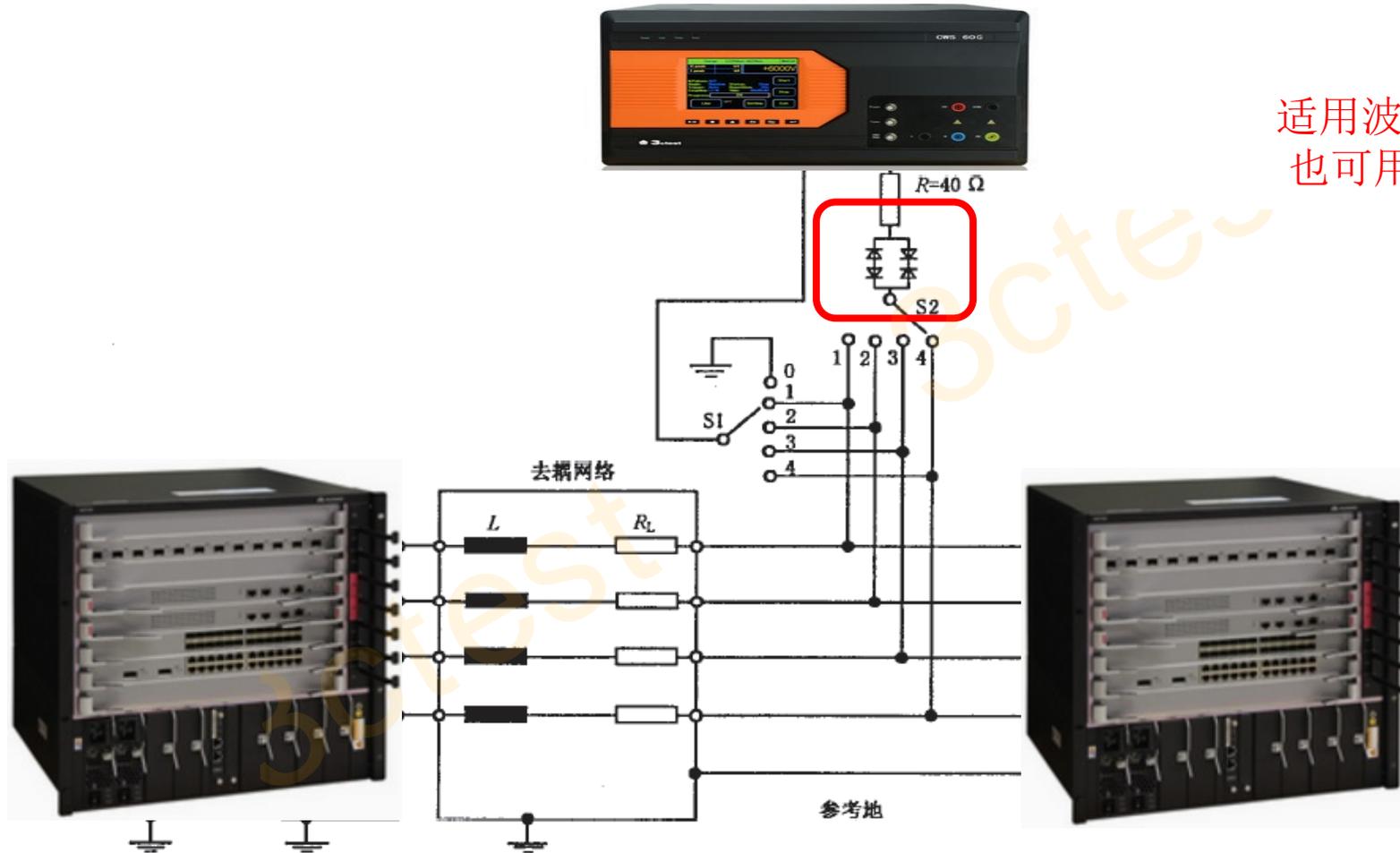
一端屏蔽
非屏蔽对称不对称线

产品类标准10/700 μ s波形



CDN使用原理

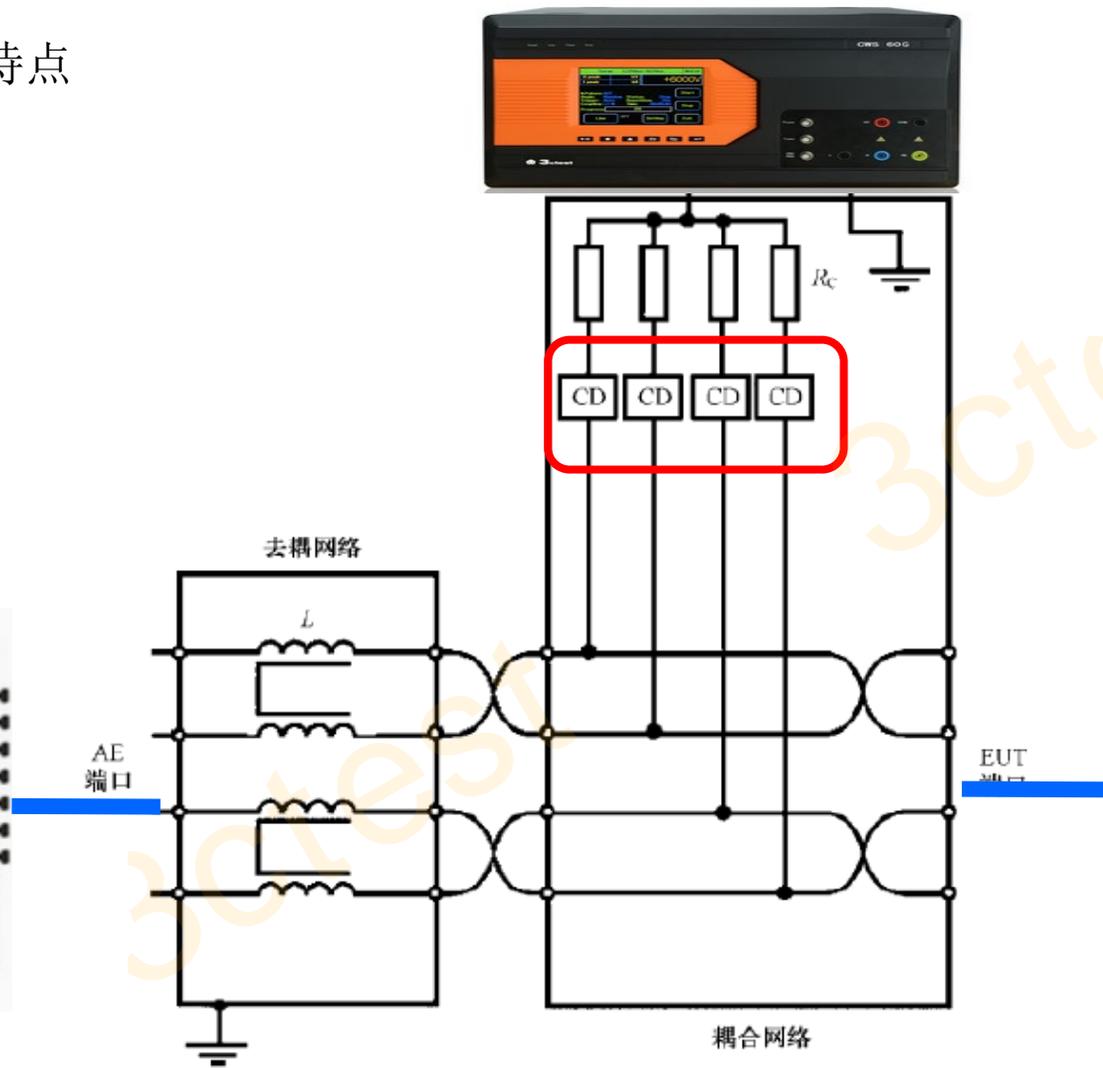
通讯端CDN网络特点





CDN使用原理

通讯端CDN网络特点

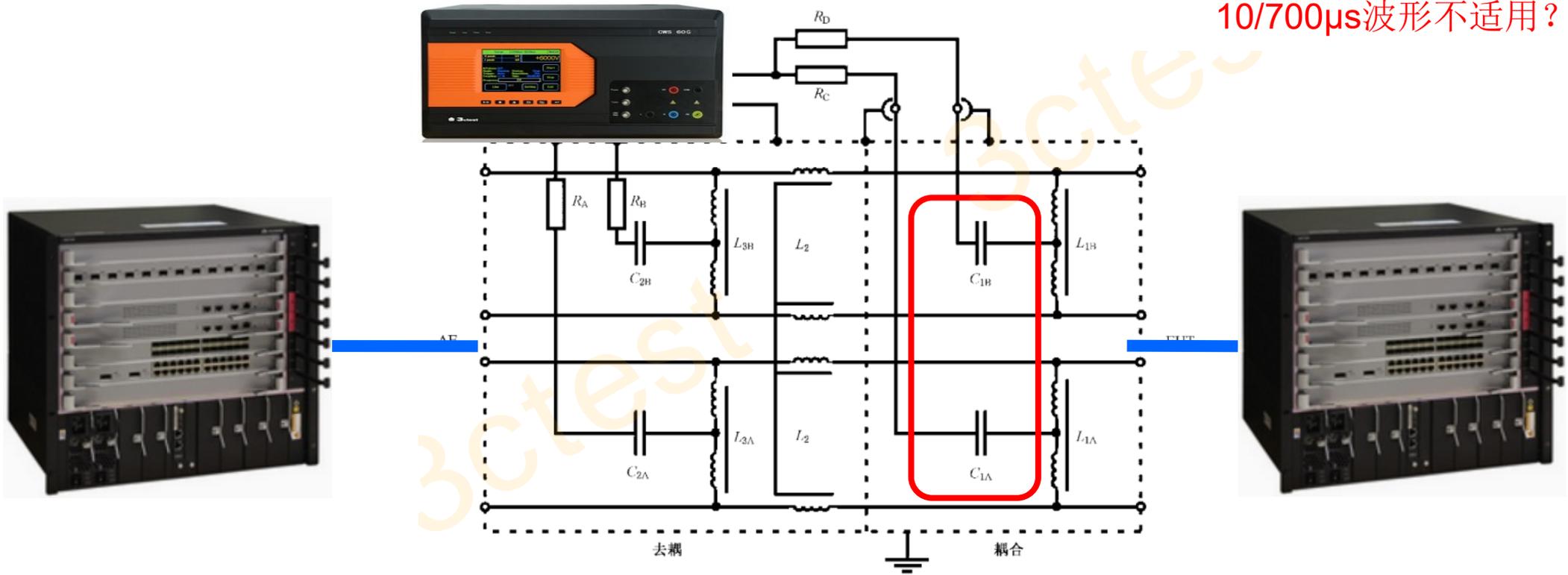


适用波形: 1.2/50 μ s波形
10/700 μ s波形



通讯端CDN网络特点

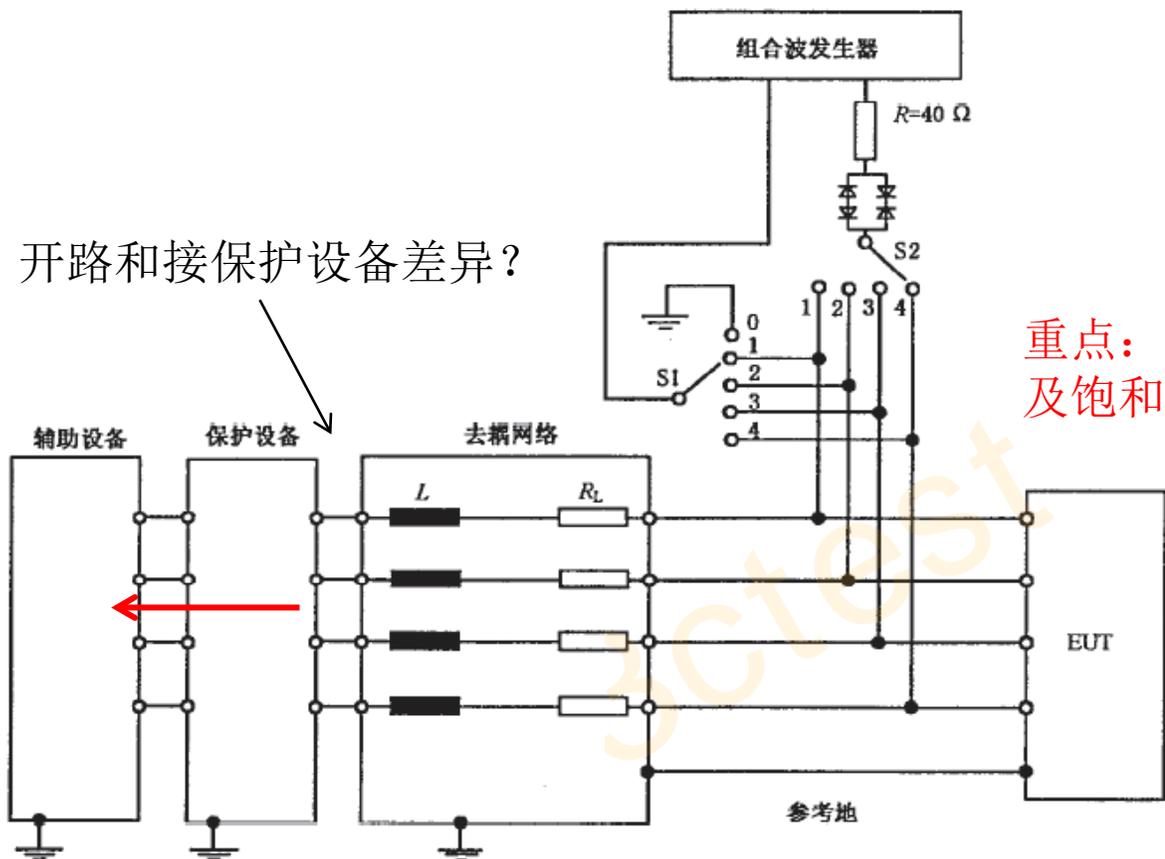
适用波形：1.2/50 μ s波形
10/700 μ s波形不适用???



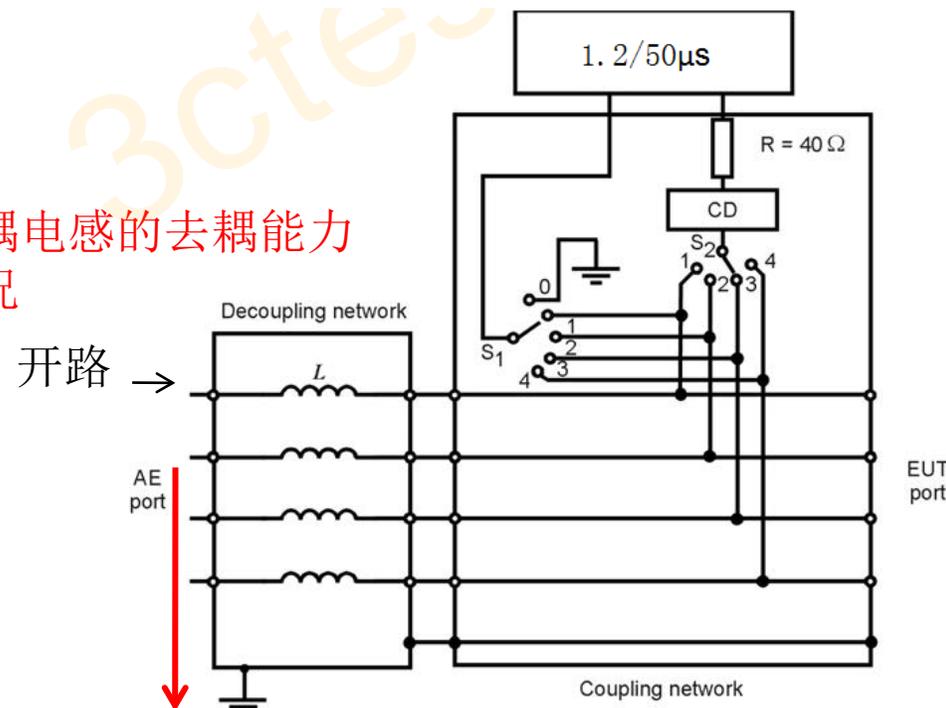
非屏蔽不对称互连线的试验配置

IEC 61000-4-5:2014+AMD1:2017

增加耦合去耦网络CDN的校准规范及参数要求

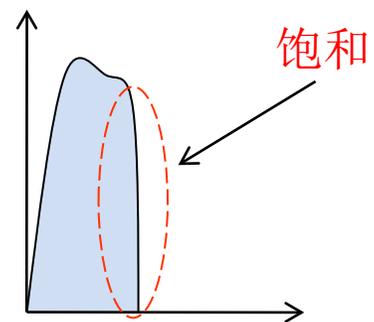
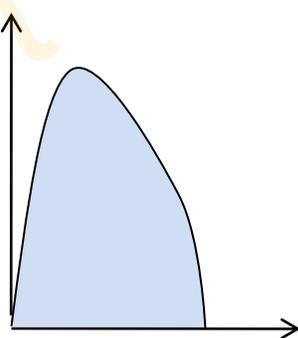
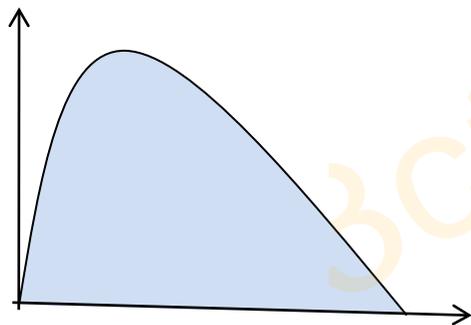


重点：去耦电感的去耦能力及饱和情况

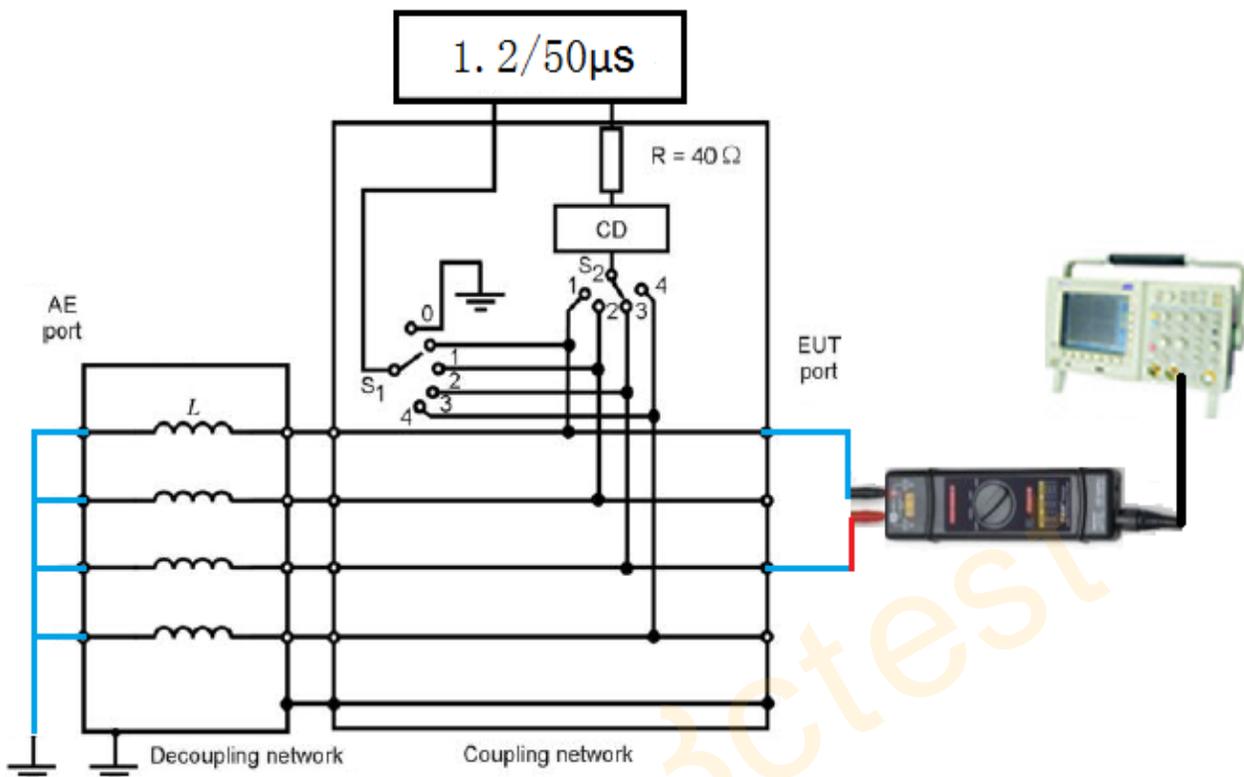


开路 →

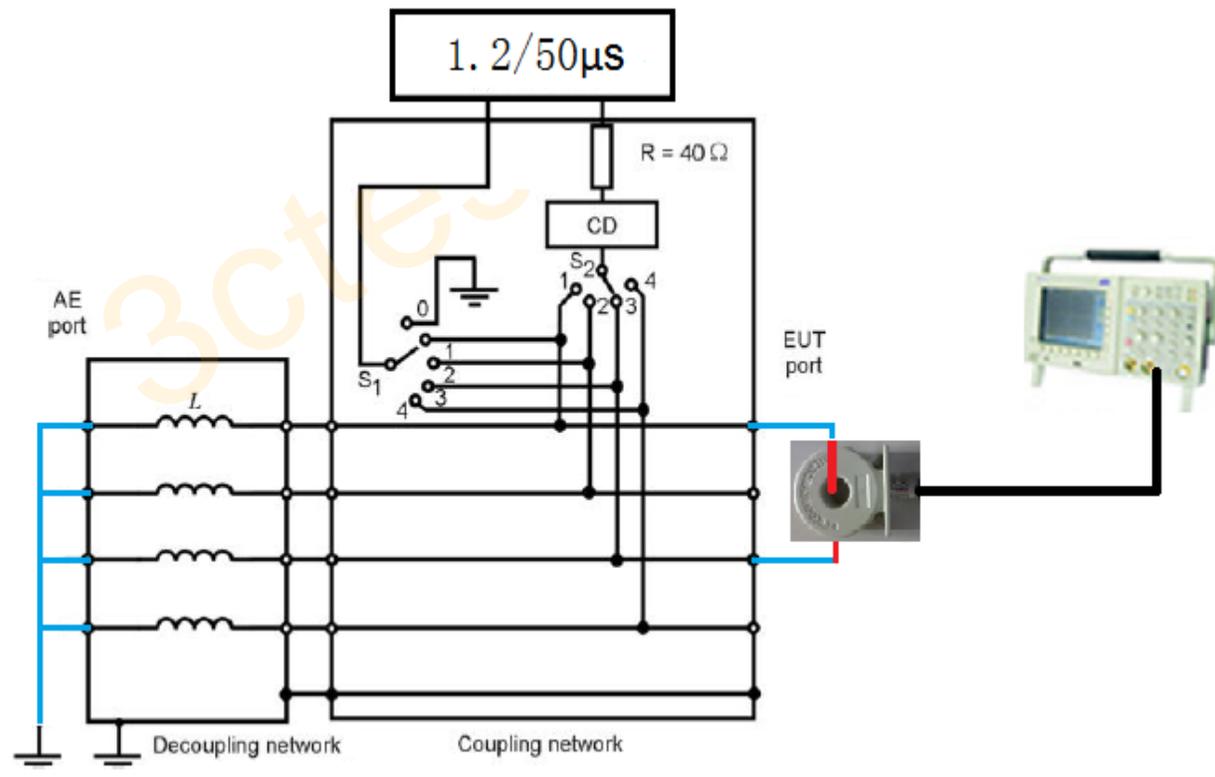
去耦电感饱和对波形的影响



非屏蔽不对称线CDN校准



开路电压波形量测



短路电路波形量测

非屏蔽不对称线CDN校准

	耦合	测量	AE 侧	EUT 侧
EUT 侧的浪涌电压	单根线-PE	单线 峰值电压、波前时间、持续时间	所有线短接 PE	开路
EUT 侧的浪涌电流	单根线-PE	单线 峰值电流、波前时间、持续时间	所有线短接 PE	短路
EUT 侧的浪涌电压	单根线-线	单线 峰值电压、波前时间、持续时间	所有线短接 PE	开路
EUT 侧的浪涌电流	单根线-线	单线 峰值电流、波前时间、持续时间	所有线短接 PE	短路
AE 侧的残余电压 (带有保护元件)	单根线-PE	线-地 峰值电压	开路	开路

非屏蔽不对称CDN输出波形参数(耦合器件对波形的影响)

Coupling method	CWG output voltage a,b,c	V_{oc} at CDN EUT output $\pm 10\%$	Voltage front time T_f $T_f = 1,67 \times T_r$ $\pm 30\%$	Voltage duration T_d $T_d = T_w$ $\pm 30\%$	I_{sc} at CDN EUT output $\pm 20\%$	Current front time T_f $T_f = 1,25 \times T_r$ $\pm 30\%$	Current duration T_d $T_d = 1,18 \times T_w$ $\pm 30\%$
Line to PE $R = 40 \Omega$ $CD = 0,5 \mu F$	4 kV	4 kV	1,2 μs	38 μs	87 A	1,3 μs	13 μs
Line to PE $R = 40 \Omega$ $CD = GDT$	4 kV	4 kV	1,2 μs	42 μs	95 A	1,5 μs	48 μs
Line-to-line $R = 40 \Omega$ $CD = 0,5 \mu F$	4 kV	4 kV	1,2 μs	42 μs	87 A	1,3 μs	13 μs
Line-to-line $R = 40 \Omega$ $CD = GDT$	4 kV	4 kV	1,2 μs	47 μs	95 A	1,5 μs	48 μs

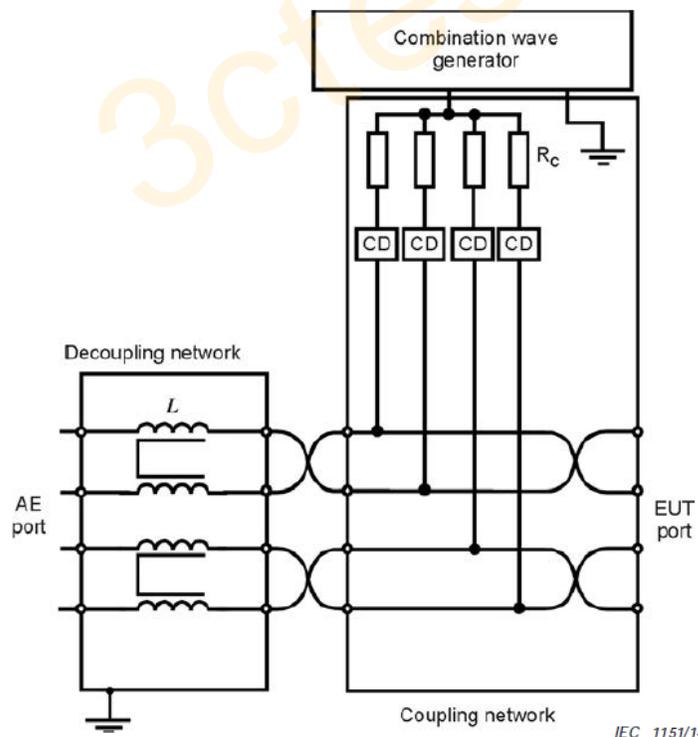
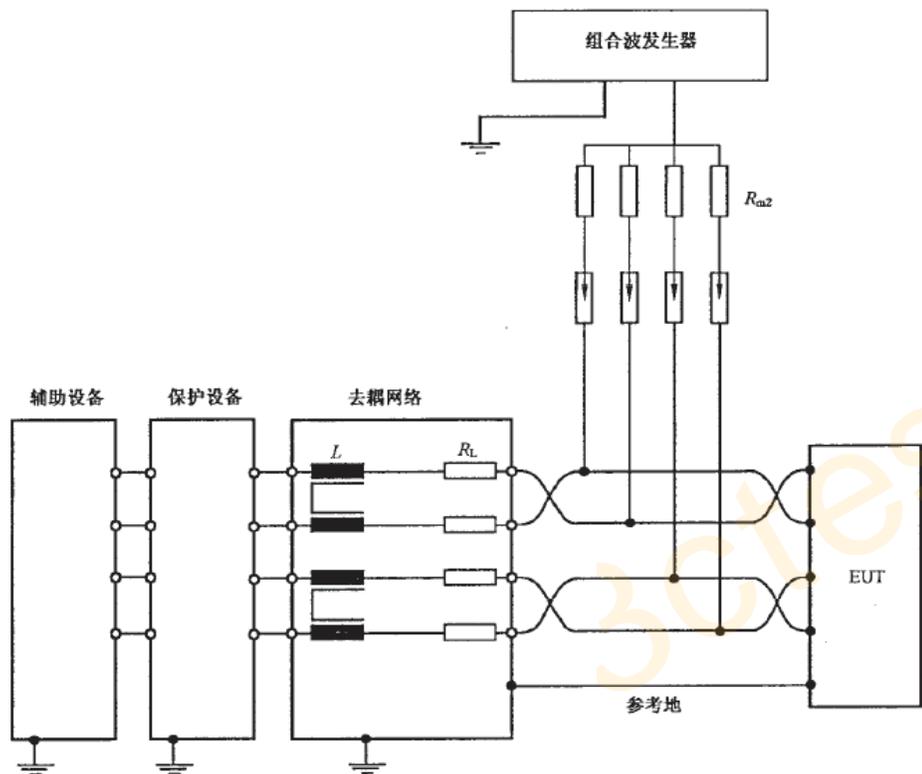
是什么造成的差异???

非屏蔽对称互连线的试验配置

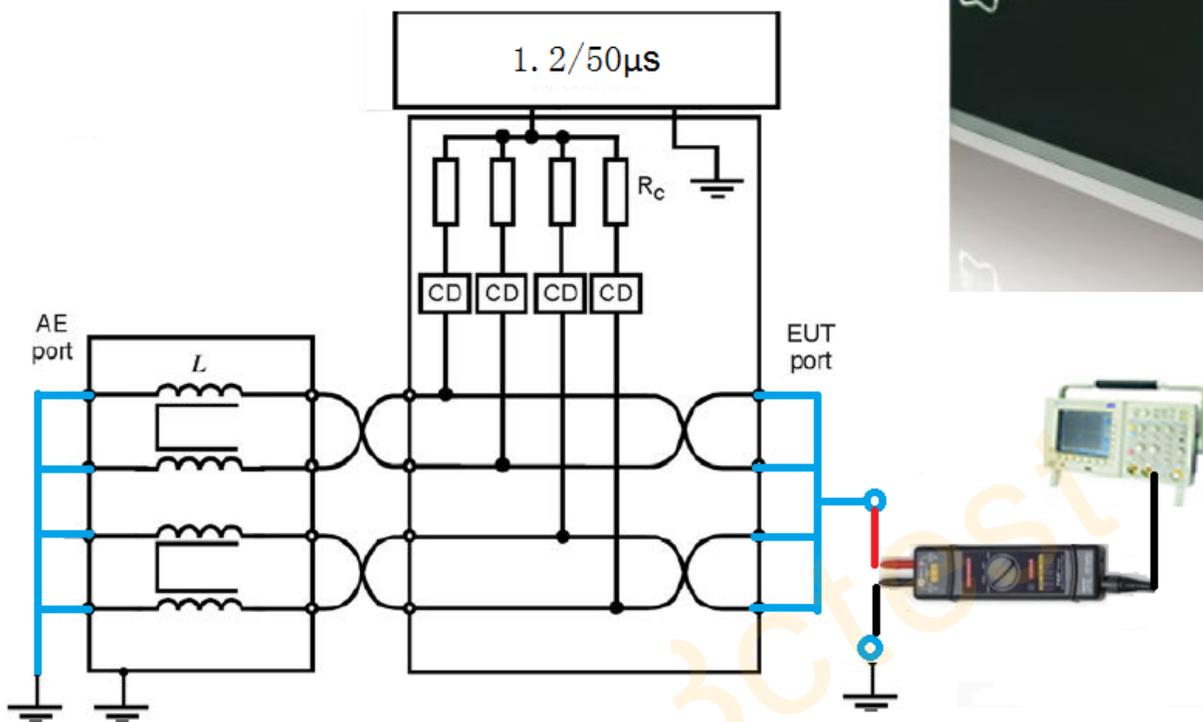
GB/T 17626.5:2019 IEC 61000-4-5:2014+AMD1:2017

增加耦合去耦网络CDN的校准规范及参数要求

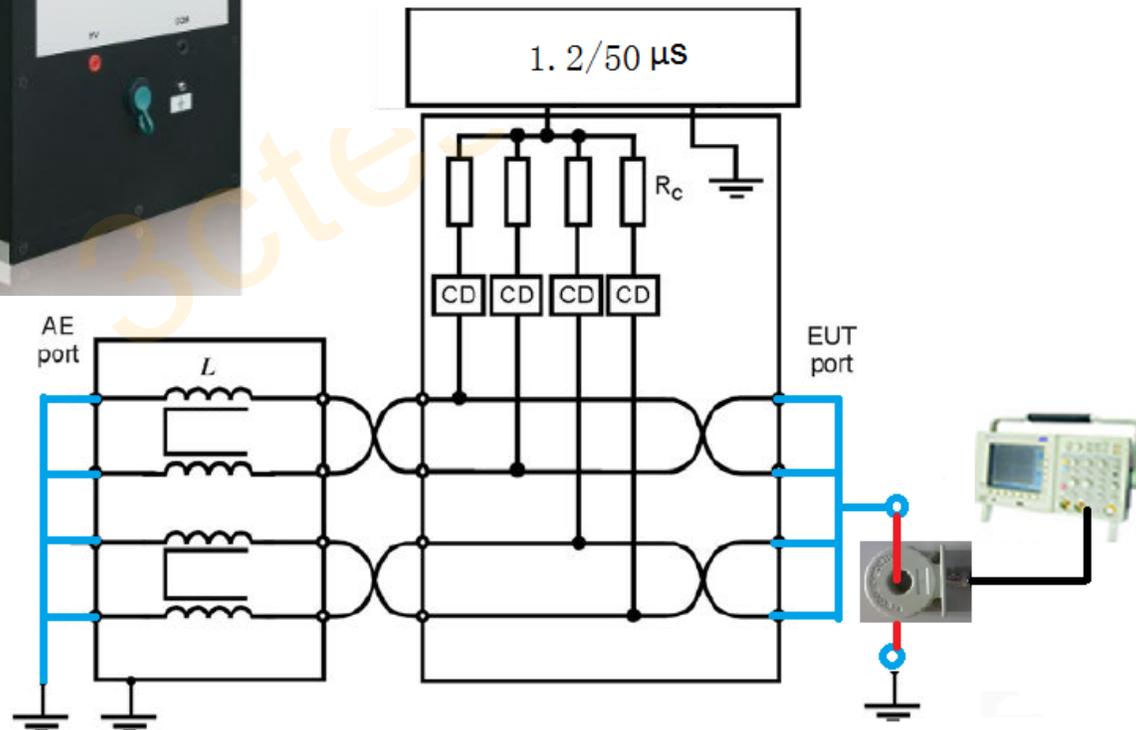
- 1. 2/50us波形Rm2的计算, $R_{m2}=40*n$ (线数) (旧版限制最大值 $<250\ \Omega$)
- 10/700us波形Rm2的计算, $R_{m2}=25$ (线数) (旧 $R_{m2}=25*n$ (线数))



非屏蔽对称线CDN校准



开路电压波形量测



短路电路波形量测

非屏蔽对称CDN输出波形参数

1.2/50 μ s波形

	耦合	测量	辅助设备侧	被测设备侧
EUT 侧的浪涌电压	共模,所有线-PE 40 Ω 路径 ^a	所有的线短接在一起 峰值电压,波前时间,持续时间	所有线路短接到 PE	开路 所有线连接在一起
EUT 侧的浪涌电流	共模,所有线-PE 40 Ω 路径 ^a	所有的线短接在一起 峰值电流,波前时间,持续时间	所有线路短接到 PE	所有线短接到 PE
AE 侧的残余电压 (带有保护元件)	共模,所有线-PE 40 Ω 路径 ^a	每根线依次接到 PE 峰值电压	开路	开路

耦合方式	CWG 输出 电压 ^{a,b,c}	耦合/去耦合 网络 EUT 输出 端的电压 V_{oc} $\pm 10\%$	电压 波前时间 T_f $T_f = 1.67 \times T_w$ $\pm 30\%$	电压 持续时间 T_d $T_d = T_w$ $\pm 30\%$	耦合/去耦合 网络 EUT 输出 端的电流 I_{sc} $\pm 20\%$	电流 波前时间 T_f $T_f = 1.25 \times T_w$ $\pm 30\%$	电流 持续时间 $T_d = 1.18 \times T_w$ $\pm 30\%$
共模 CD ^d 40 Ω 线路	2 kV	2 kV	1.2 μ s	45 μ s	48 A	1.5 μ s	45 μ s

建议用CDN最大额定电压进行校准,以减少GDT开关噪声的影响。

非屏蔽对称CDN输出波形参数

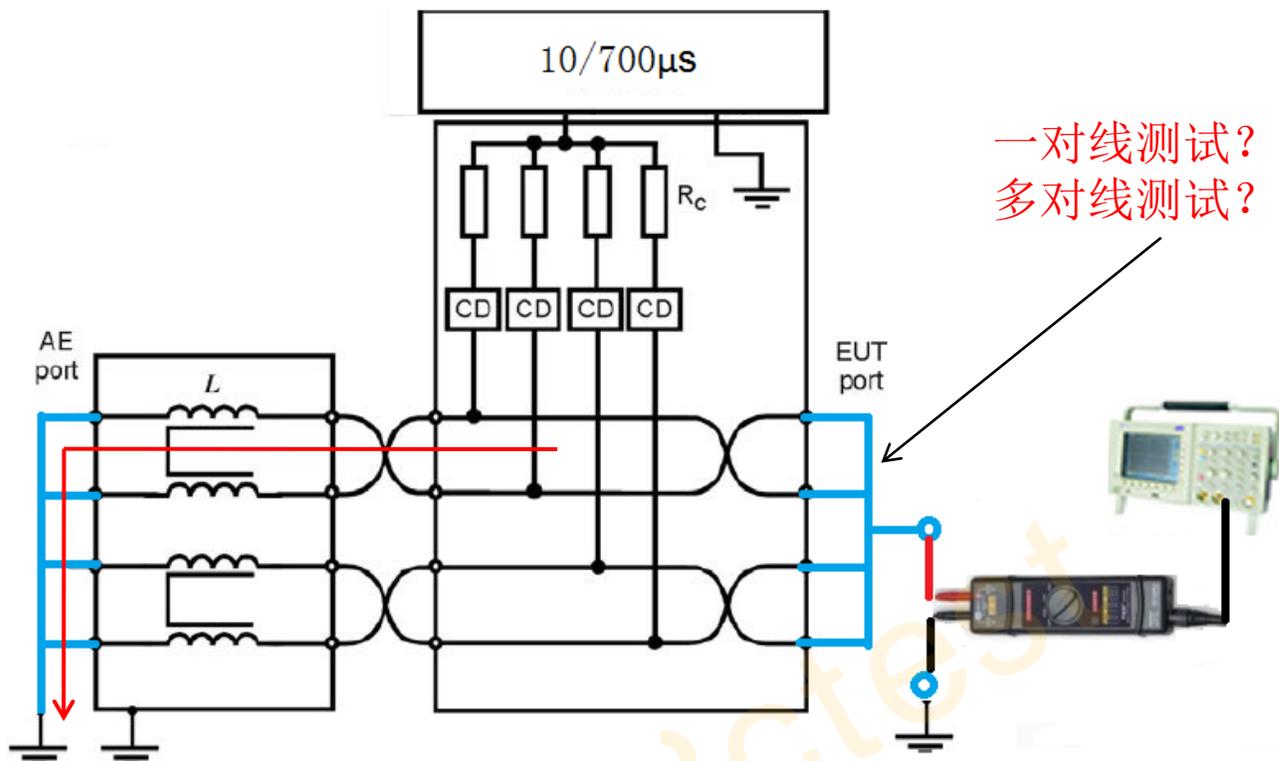
10/700 μ s波形

	耦合方式	测量	AE 侧	EUT 侧
EUT 侧浪涌电压	共模, 1 对线-PE	1 对线的 2 根线短接: 峰值电压, 波前时间, 持续时间	所有使用的线缆短 接到 PE	开路, 1 对线的 2 根 线连接在一起
EUT 侧浪涌电流	共模, 1 对线-PE	1 对线的 2 根线短接: 峰值电流, 波前时间, 持续时间	所有使用的线缆短 接到 PE	1 对线的 2 根线同时 短接到 PE
AE 侧的残余电压 (带保护元器件)	共模, 1 对线-PE	1 对线的 2 根线短接: 峰值电压	开路	开路

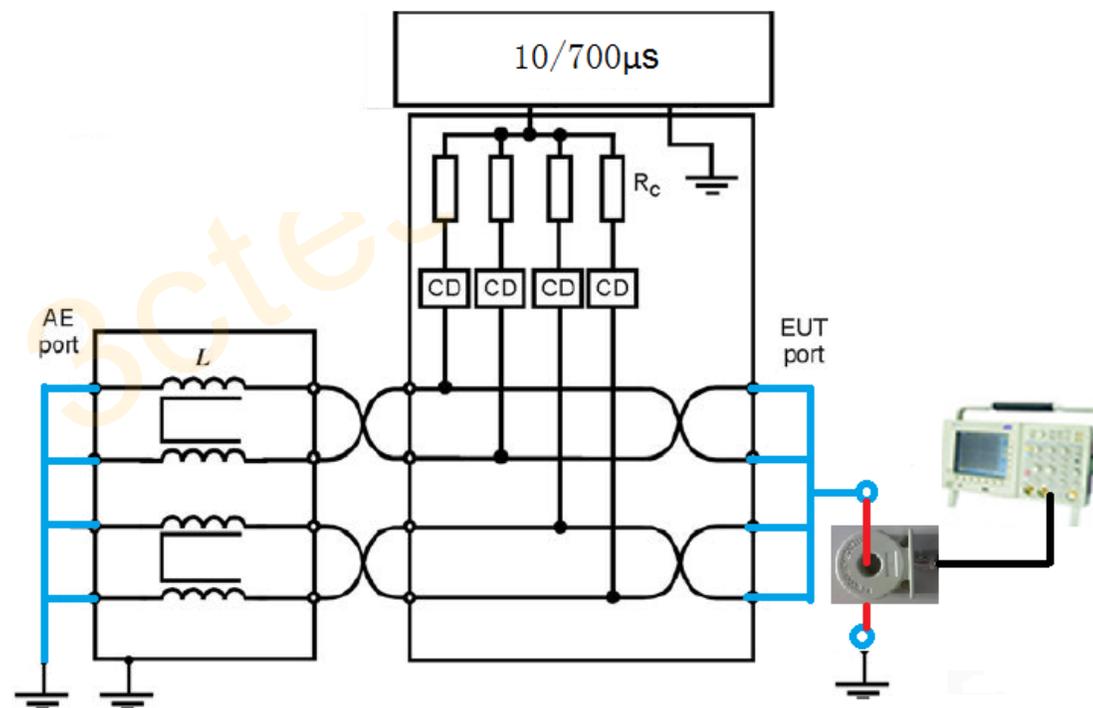
10/700 μ s波形???

Coupling method	CWG output voltage _{a,b,c}	V_{OC} at CDN EUT output $\pm 10\%$	Voltage front time T_f $\pm 30\%$	Voltage duration T_d $\pm 30\%$	I_{SC} at CDN EUT output $\pm 20\%$	Current front time T_f $\pm 30\%$	Current duration T_d $\pm 30\%$
Common mode CD 1 pair 27,5 Ω	4 kV	4 kV	8 μ s	250 μ s	145 A	3,2 μ s	250 μ s

非屏蔽对称线CDN校准

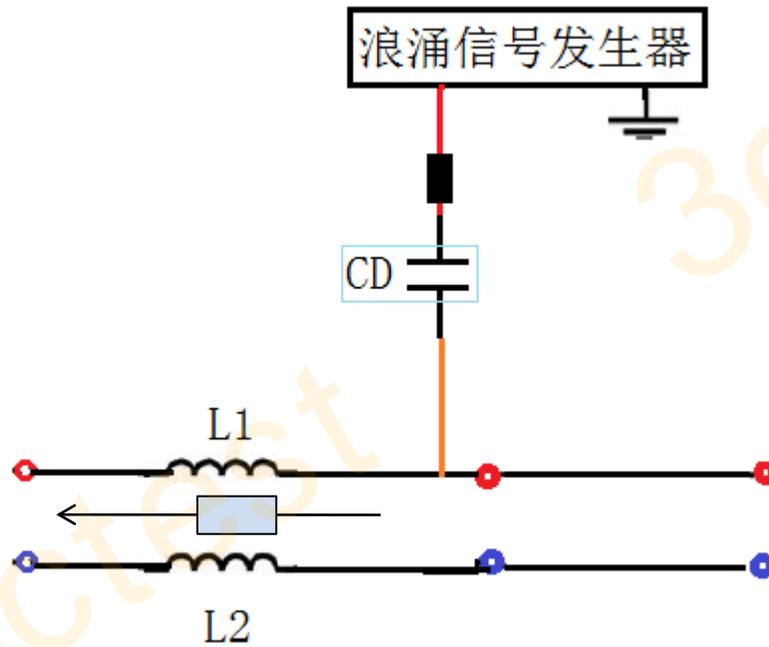


开路电压波形量测



短路电路波形量测

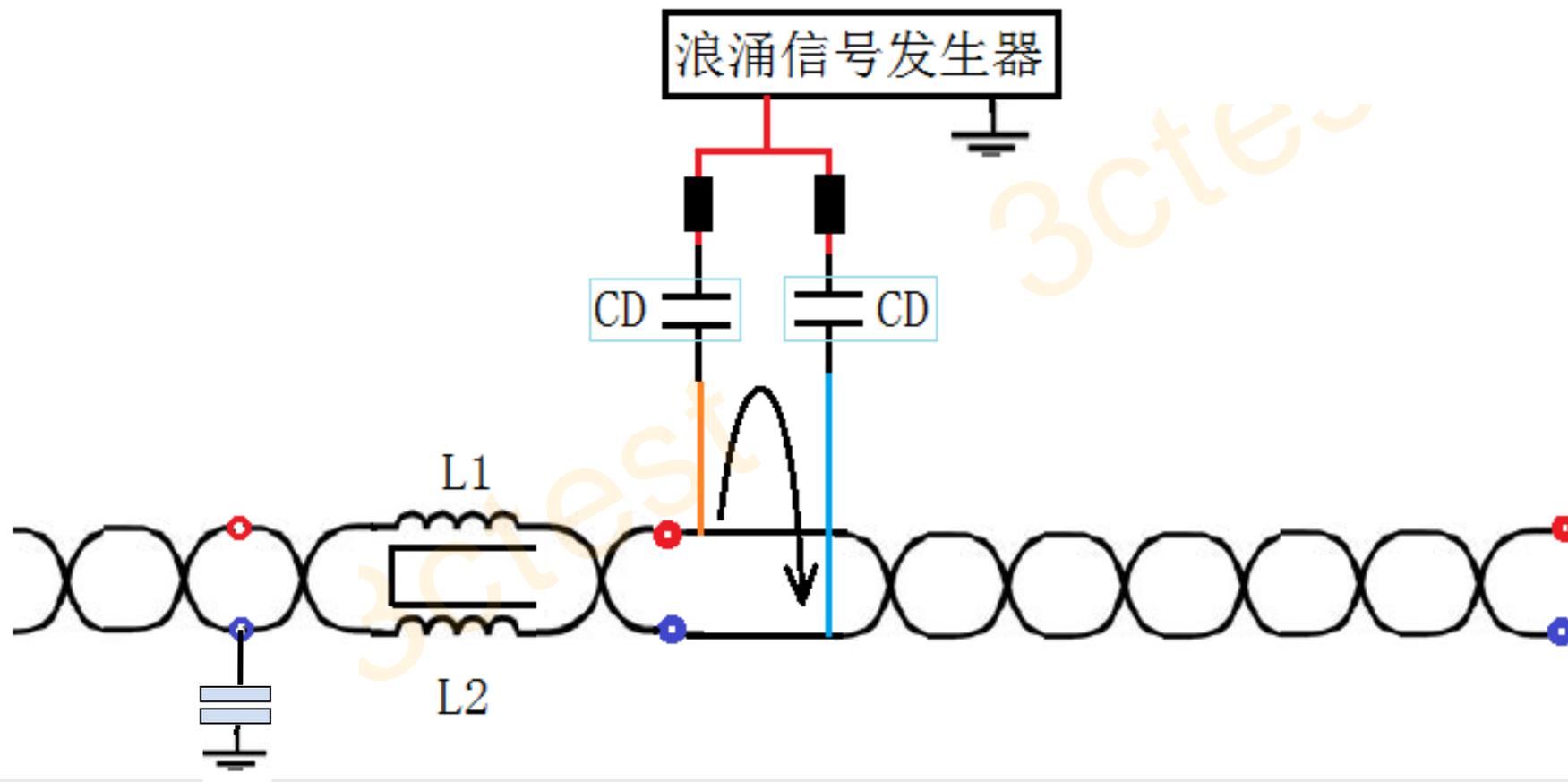
去耦电感感抗的影响



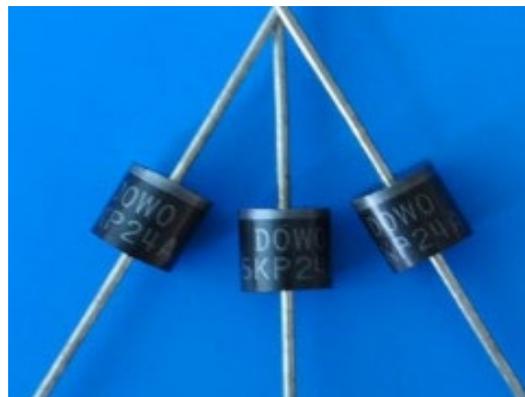
要保证CDN网络EUT端的浪涌波形，去耦电感要有一定的阻值

耦合器件对通讯线信号的影响

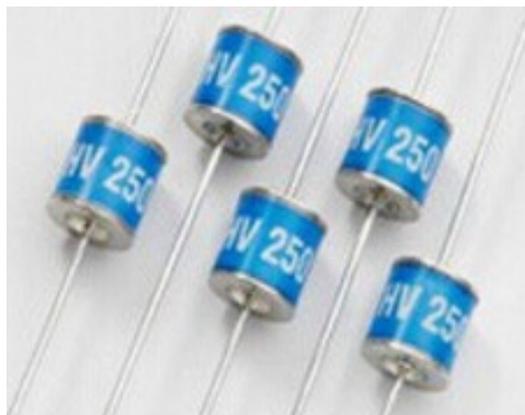
高速通讯线浪涌试验使用的耦合器件的结电容，影响传输速率



结电容： $>nF$ 级

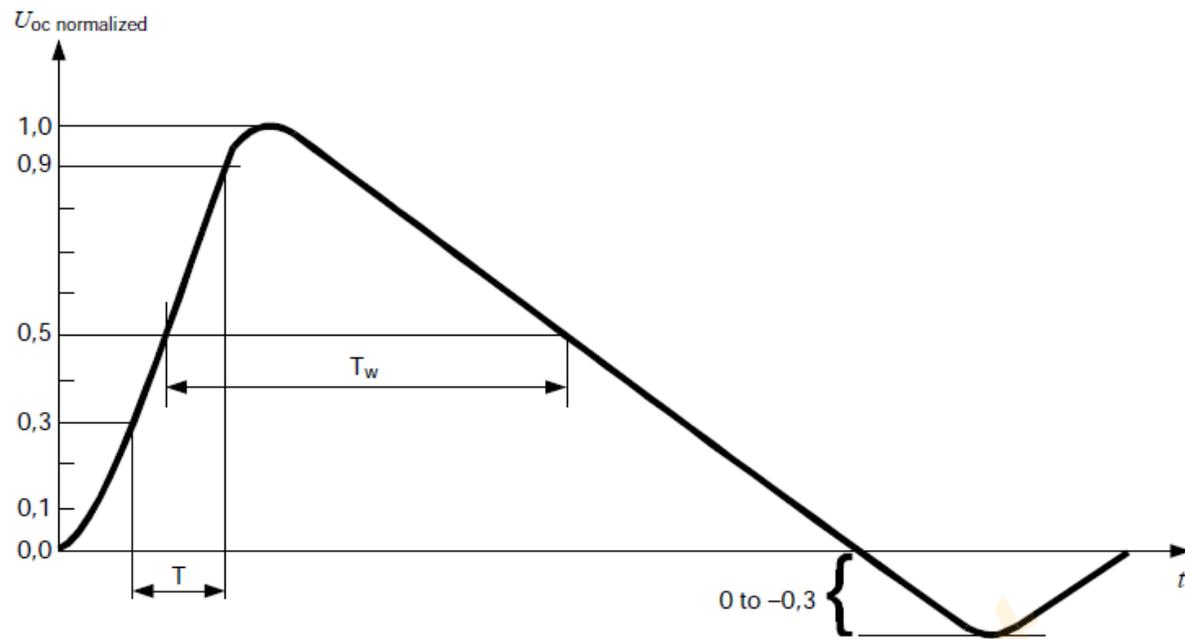


结电容： pF 级



缺点：1. 击穿时会有尖峰信号产生
2. 续流 ~~(POE类产品)~~

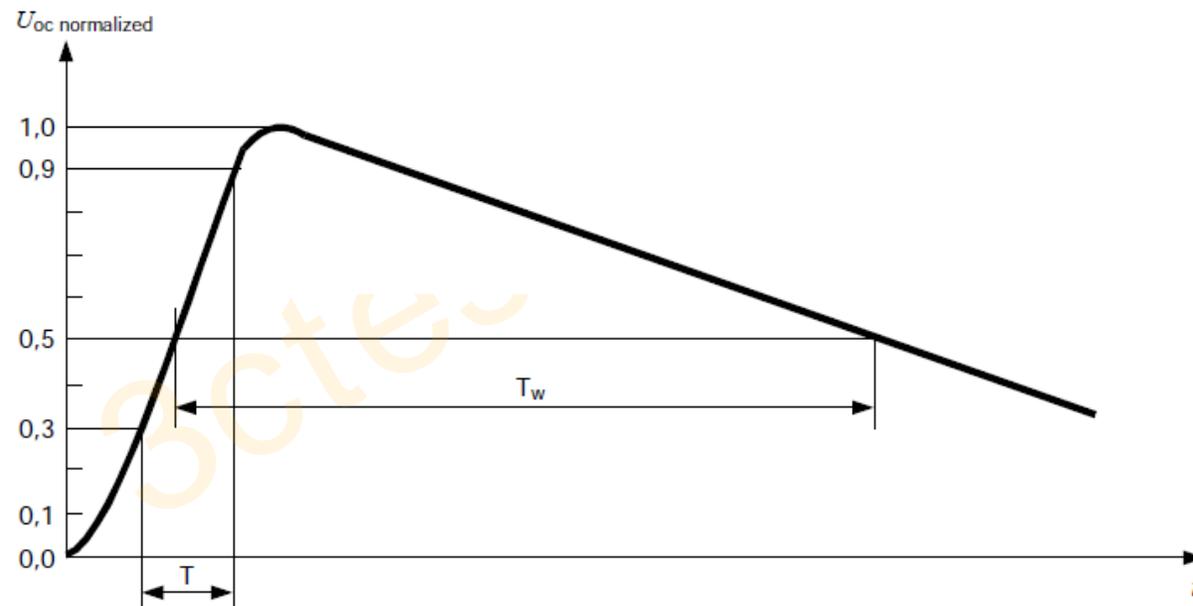
影响通讯的因素



Front time:
Duration:

$$T_f = 1,67 \times T = 1,2 \mu\text{s} \pm 30 \%$$
$$T_d = T_w = 50 \mu\text{s} \pm 20 \%$$

1.2/50µs波形



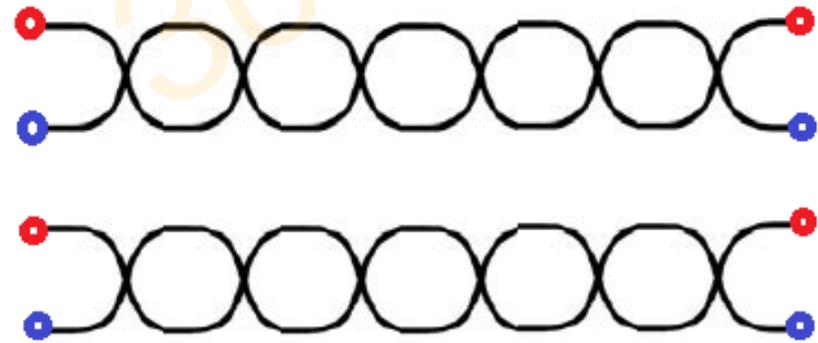
Front time:
Duration:

$$T_f = 1,67 \times T = 10 \mu\text{s} \pm 30 \%$$
$$T_d = T_w = 700 \mu\text{s} \pm 20 \%$$

10/700µs波形

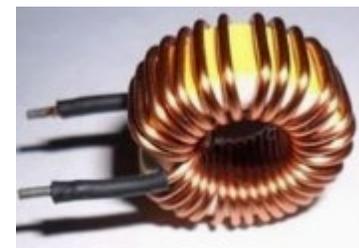
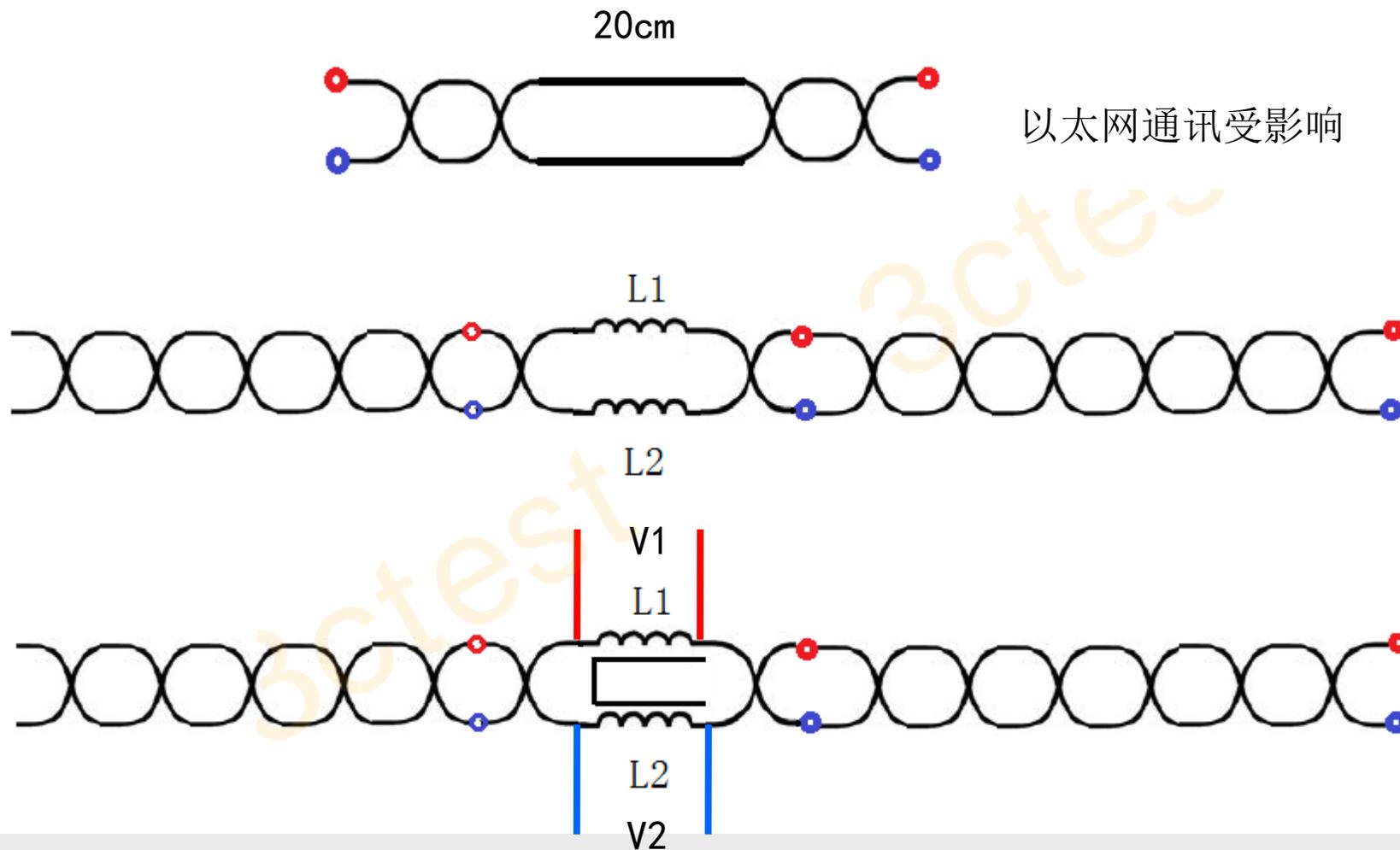
电容耦合???

以太网高速通讯线，传输速率1000Mbit/s,或更高速率。



特点：双绞线绕线密度，具有衰减小，串扰少

影响通讯的因素



线-线试验?

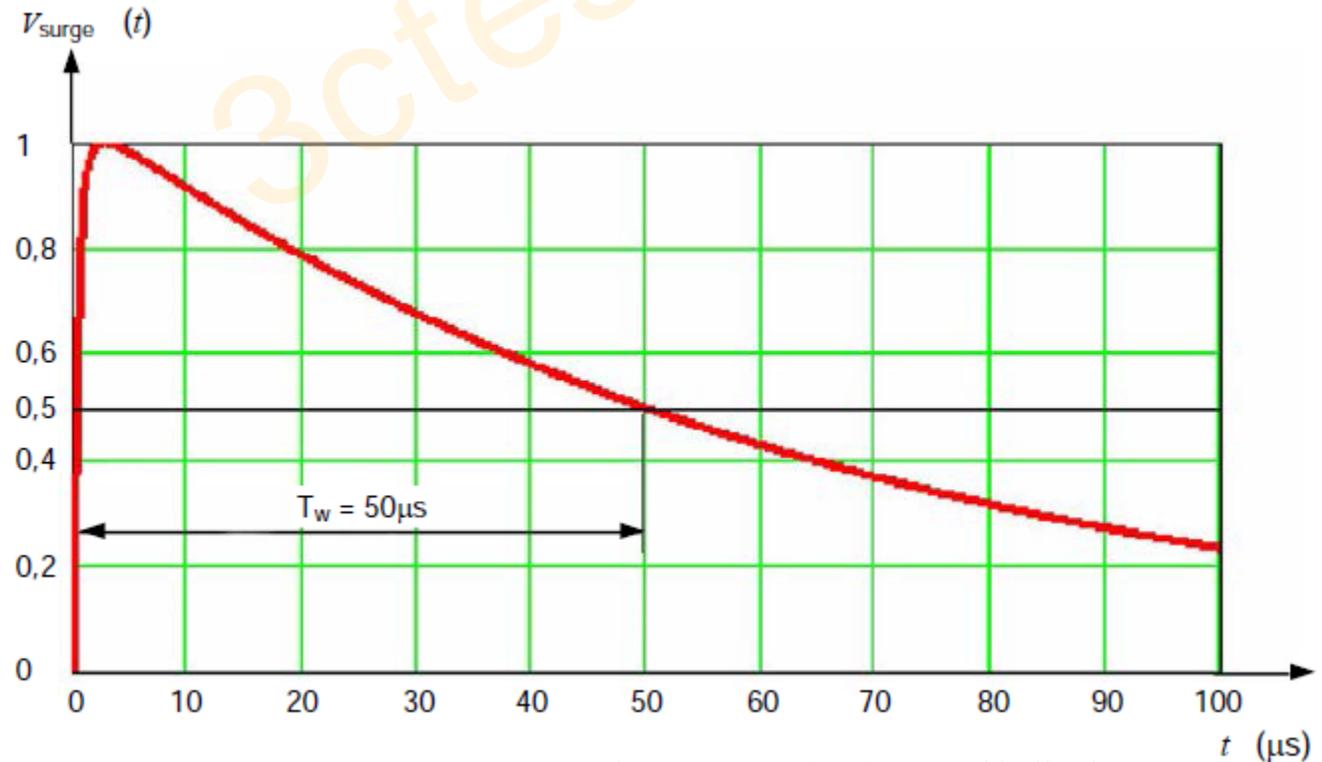
附录E（资料性附录）浪涌波形的数学模型

数学模型作用

- 数字设备上浪涌性能的仿真
- 设计浪涌发生器

$$v_{\text{SURGE}}(t) = k_V \cdot \left[\frac{v_1}{k_{\text{SURGE}}} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}} \cdot e^{\frac{-t}{\tau_2}} \right]$$

$$k_{\text{SURGE}} = e^{\frac{-\tau_1}{\tau_2}} \left(\frac{\eta_{\text{SURGE}} \tau_2}{\tau_1} \right)^{\eta_{\text{SURGE}}} \frac{1}{v_1}$$



1.2/50 μs波形电压的时间函数曲线

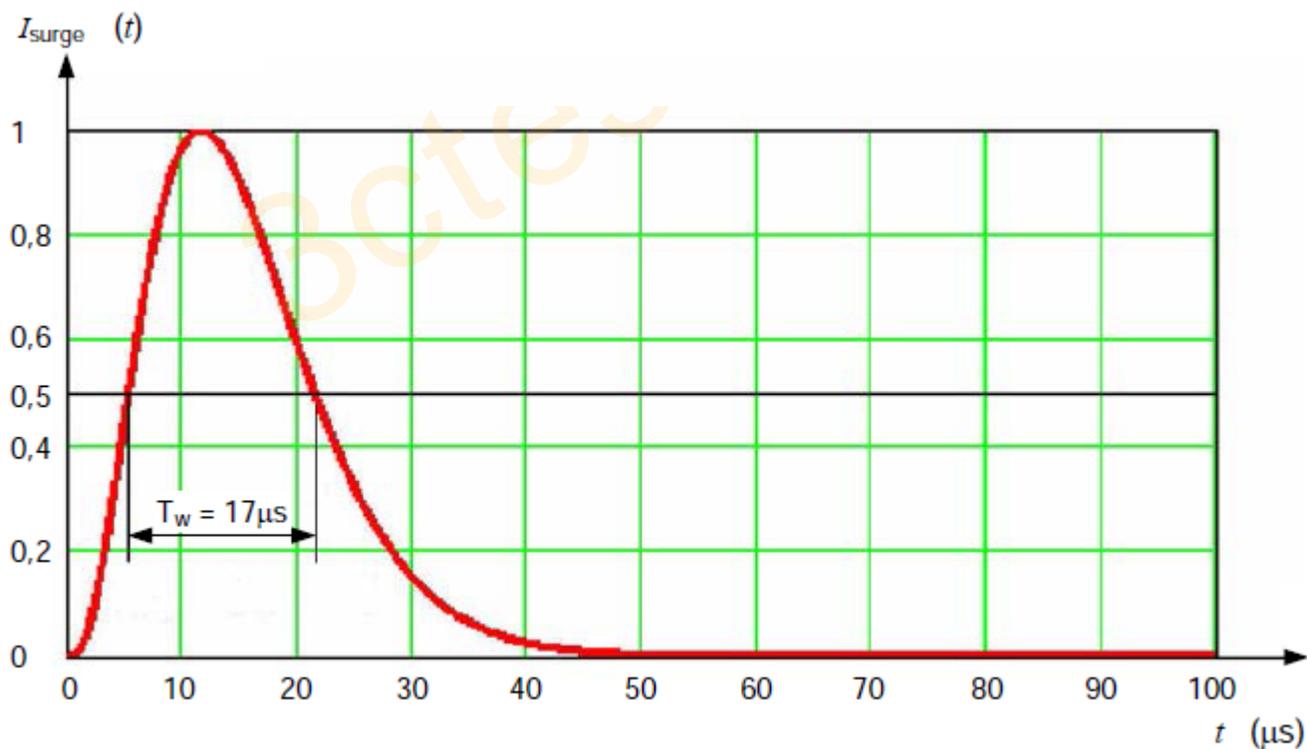
$$k_V = 1 \quad \tau_1 = 0,356 \mu\text{s} \quad \tau_2 = 65,845 \mu\text{s} \quad v_1 = 0,94$$

$$\eta_{\text{SURGE}} = 1,852$$

附录E（资料性附录）浪涌波形的数学模型

$$I_{\text{SURGE}}(t) = k_i \cdot \left[\frac{i_1}{k_{\text{SURGE}}} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right]$$

$$k_{\text{SURGE}} = e^{-\frac{\tau_1}{\tau_2}} \cdot \left(\frac{\eta_{\text{SURGE}} \cdot \tau_2}{\tau_1} \right)^{\eta_{\text{SURGE}}} \cdot \frac{1}{\tau_1}$$



$$k_i = 1 \quad \tau_1 = 47,52 \mu\text{s} \quad \tau_2 = 4,296 \mu\text{s} \quad i_1 = 0,939$$

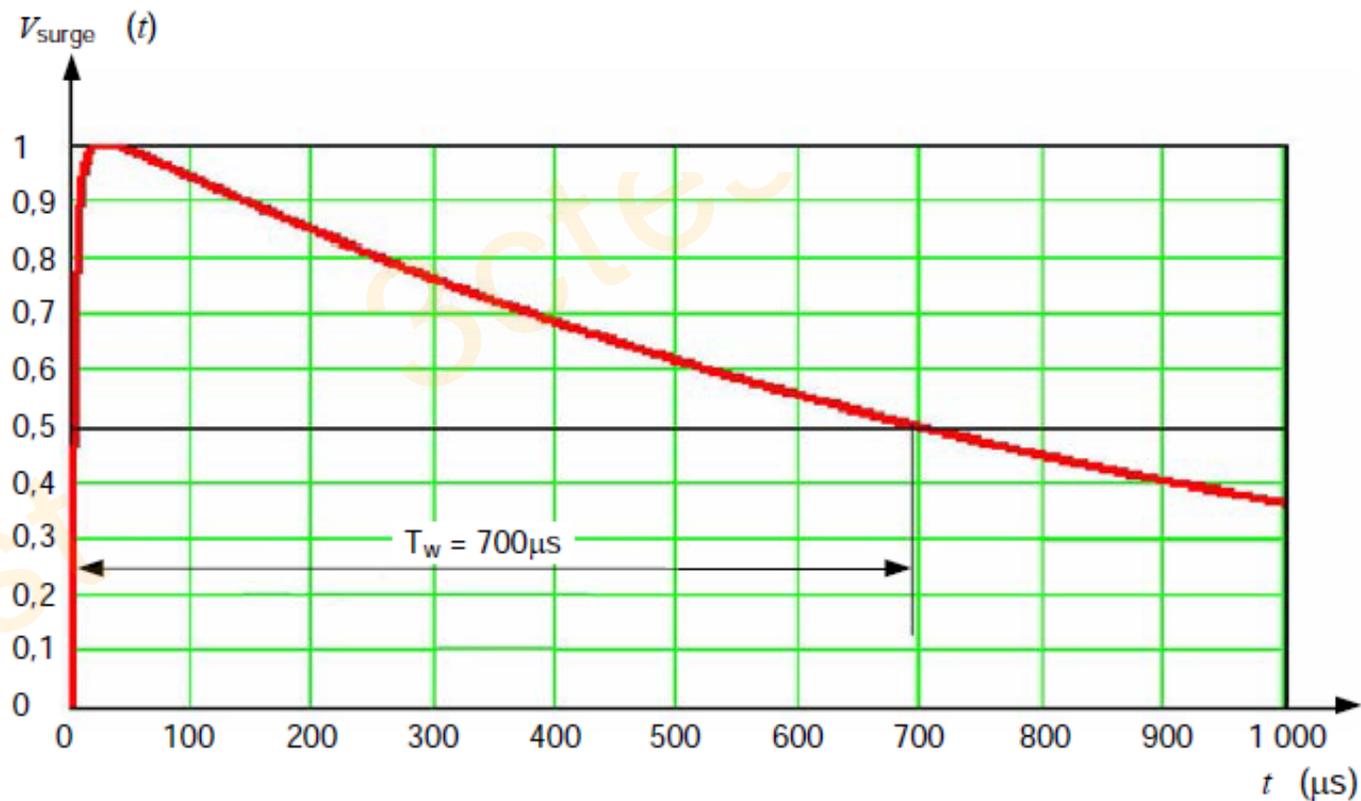
$$\eta_{\text{SURGE}} = 2,741$$

8/20 μs 波形电流的时间函数曲线

附录E（资料性附录）浪涌波形的数学模型

$$v_{\text{SURGE}}(t) = k_V \cdot \left[\frac{v_1}{k_{\text{SURGE}}} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}} \cdot e^{\frac{-t}{\tau_2}} \right]$$

$$k_{\text{SURGE}} = e^{\frac{-\tau_1}{\tau_2} \left(\frac{\eta_{\text{SURGE}} \cdot \tau_2}{\tau_1} \right)^{\eta_{\text{SURGE}}}} \cdot \frac{1}{v_1}$$



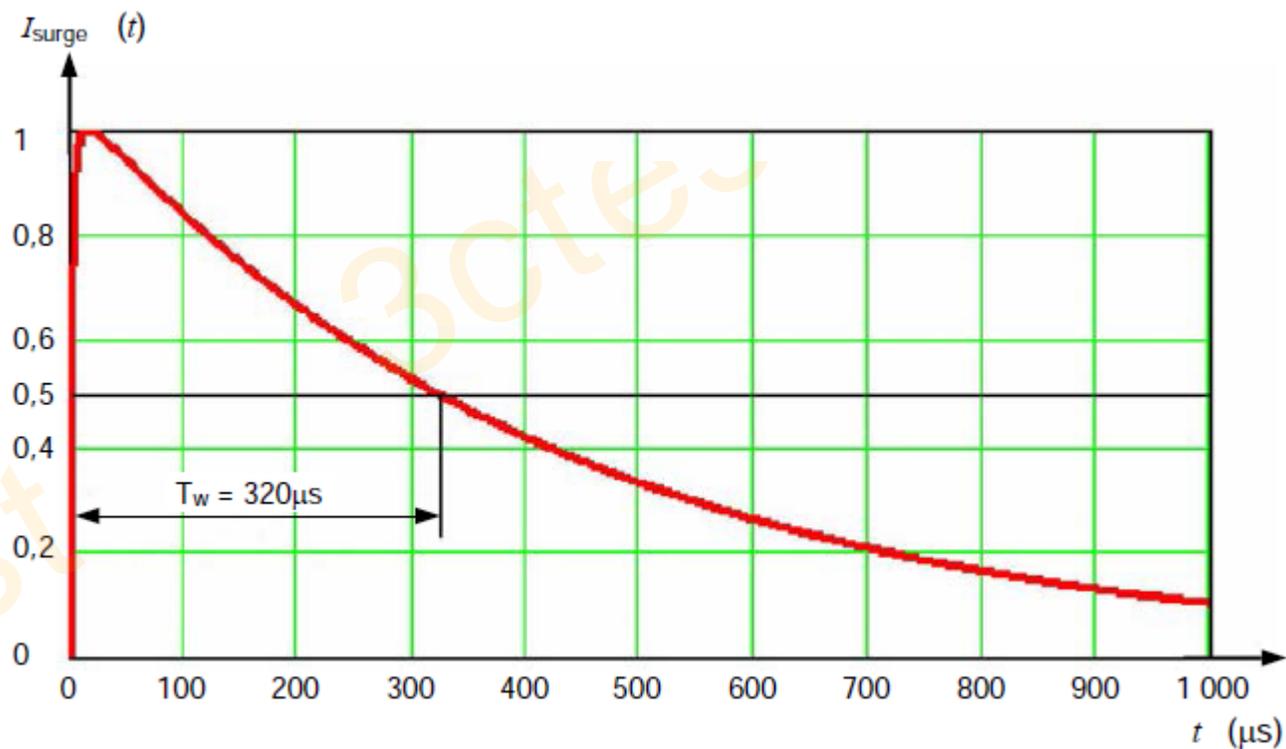
10/700 μs 波形电压的时间函数曲线

$$k_V = 1 \quad \tau_1 = 2,574 \mu\text{s} \quad \tau_2 = 945,1 \mu\text{s} \quad v_1 = 0,937 \quad \eta_{\text{SURGE}} = 1,749$$

附录E（资料性附录）浪涌波形的数学模型

$$I_{\text{SURGE}}(t) = k_i \cdot \left[\frac{i_1}{k_{\text{SURGE}}} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}} \cdot e^{\frac{-t}{\tau_2}} \right]$$

$$k_{\text{SURGE}} = e^{\frac{-\tau_1}{\tau_2}} \left(\frac{\eta_{\text{SURGE}} \cdot \tau_2}{\tau_1} \right)^{\eta_{\text{SURGE}}} \frac{1}{\eta_{\text{SURGE}}}$$



5/320 μs波形电流的时间函数曲线

$$k_i = 1 \quad \tau_1 = 1,355 \mu\text{s} \quad \tau_2 = 429,1 \mu\text{s} \quad i_1 = 0,895 \quad \eta_{\text{SURGE}} = 1,556$$



附录F（资料性附录）测量不确定度的考虑

浪涌开路电压峰值(V_p)的不确定度

$$V_p = \frac{V_{PR} (1 + \delta R + \delta V)}{1 - \left(\frac{\beta}{B}\right)^2} A$$

V_{PR} —— 电压峰值读数；

A —— 电压探头的直流衰减量；

δR —— 非重复性的修正系数；

δV —— 示波器直流垂直精度；

B —— 测量系统的-3 dB带宽；

β —— 系数,其值为(12.7±1.4)kHz。

符号	估计值	单位	误差范围	单位	PDF ^a	因子	$u(x_i)$	c_i	单位	$u_i(y)$	单位
V_{PR}	3.84	V	0.007 5	V	三角	2.45	0.003 1	1 001	1	3.06	V
A	1 000	1	50	1	矩形	1.73	28.9	3.84	V	111	V
δR	0	1	0.03	1	正态 ($k=1$)	1.00	0.03	3.84×10^3	V	115	V
δV	0	1	0.02	1	矩形	1.73	0.012	3.84×10^3	V	44.4	V
β	12.7	kHz	1.4	kHz	矩形	1.73	0.81	0.38	V/kHz	0.32	V
B	500	kHz	50	kHz	矩形	1.73	28.9	-0.009 6	V/kHz	0.29	V
							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0.166	kV
							$U(y) = 2u_c(y)$			0.33	kV
							y			3.84	kV
							用 3.84 kV 的 % 表示			8.6	%

^a 概率密度函数。

浪涌开路电压波前时间(T_{fv})的不确定度

$$T_{fv} = 1.25 \sqrt{[1.33(T_{90\%} - T_{30\%} + \delta R)]^2 - T_{MS}^2}$$

$$T_{MS} = \frac{\alpha}{B}$$

$T_{30\%}$ —— 峰值的 30% 处的时间；

$T_{90\%}$ —— 峰值的 90% 处的时间；

δR —— 非重复性的修正系数；

T_{MS} —— 测量系统阶跃响应的上升时间(10%~90%),单位为微秒(μs)；

B —— 测量系统的 -3 dB 带宽,单位为千赫兹(kHz)；

α —— 系数,其值为 $(360 \pm 40) \mu s \cdot kHz$ 。

符号	估计值	单位	误差范围	单位	PDF ^a	因子	$u(x_i)$	c_i	单位	$u_i(y)$	单位
$T_{30\%}$	0.25	μs	0.005 0	μs	三角	2.45	0.002 0	-2.08	1	0.004 3	μs
$T_{90\%}$	1.15	μs	0.005 0	μs	三角	2.45	0.002 0	2.08	1	0.004 3	μs
δR	0	μs	0.025	μs	正态 ($k=1$)	1.00	0.025	2.08	1	0.052	μs
符号	估计值	单位	误差范围	单位	PDF ^a	因子	$u(x_i)$	c_i	单位	$u_i(y)$	单位
α	360	$\mu s \cdot kHz$	40	$\mu s \cdot kHz$	矩形	1.73	23.1	-0.001 9	1/kHz	0.043	μs
B	500	kHz	50	kHz	矩形	1.73	28.9	0.001 4	$\mu s/kHz$	0.039	μs
							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0.08	μs
							$U(y) = 2u_c(y)$			0.16	μs
							y			1.20	μs
^a 概率密度函数。											



浪涌开路电压持续时间(T_w)的不确定度

$$T_w = (T_{50\%,F} - T_{50\%,R} + \delta R) \cdot \left[1 - \left(\frac{\beta}{B} \right)^2 \right]$$

$T_{50\%,R}$ —— 浪涌波形上升沿达到 50% 峰值电幅度的时间;

$T_{50\%,F}$ —— 浪涌波形下降沿达到 50% 峰值幅度的时间;

δR —— 非重复性的修正系数;

B —— 测量系统的 -3 dB 带宽;

β —— 系数, 其值为 (12.7 ± 1.4) kHz。

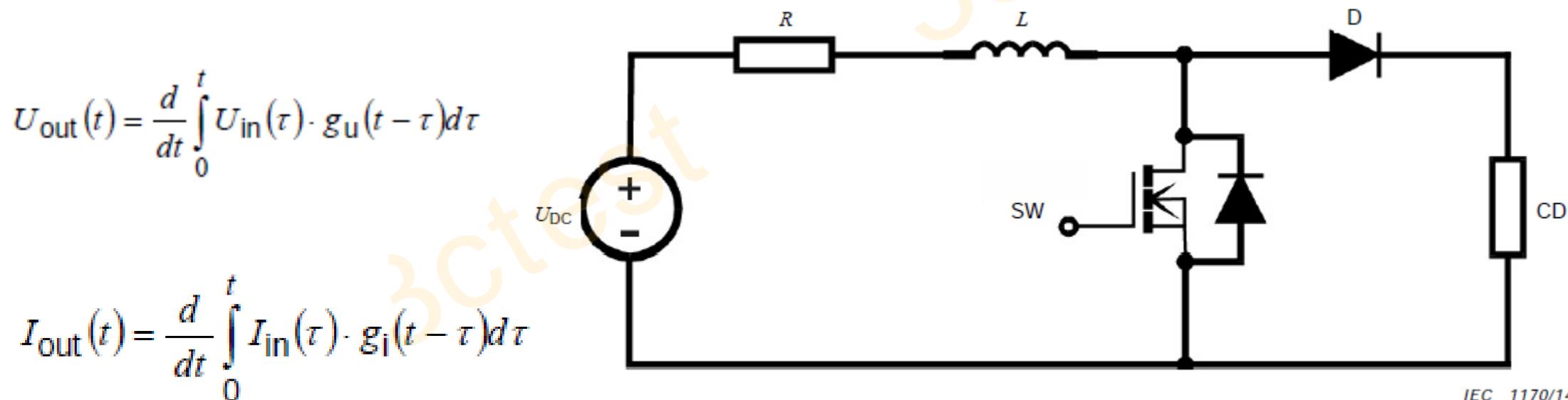
符号	估计值	单位	误差范围	单位	PDF ^a	因子	$u(x_i)$	c_i	单位	$u_i(y)$	单位
$T_{50\%,R}$	0.5	μs	0.005 0	μs	三角	2.45	0.002 0	-1.00	μs	0.002 0	μs
$T_{50\%,F}$	51.2	μs	0.005 0	μs	三角	2.45	0.002 0	1.00	μs	0.002 0	μs
δR	0	μs	0.15	μs	正态($k=1$)	1.00	0.15	1.00	μs	0.15	μs
β	12.7	kHz	1.4	kHz	矩形	1.73	0.81	-0.005 2	$\mu\text{s}/\text{kHz}$	0.004 2	μs
B	500	kHz	50	kHz	矩形	1.73	28.9	0.000 13	$\mu\text{s}/\text{kHz}$	0.003 8	μs
							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0.15	μs
							$U(y) = 2u_c(y)$			0.3	μs
							Y			50.7	μs

^a 概率密度函数。

附录G（资料性附录）脉冲测量系统的校准方法

对脉冲发生器的校准需要使用测量系统,但测量系统会引起被测量的脉冲波形失真,这种失真是被测脉冲和所使用测量系统特征参数的函数。

估算测量系统对标准脉冲的响应,可以使用卷积积分得到(IEEE Std 4-1995和IEC 60060-2)这种方法需要获得测量系统的阶跃响应,再通过数值计算,得到由测量系统引起的理论波形失真度。这可以评估测量系统对脉冲参数的影响,例如,上升时间,峰值以及持续时间。利用得到的系统误差修正校准结果,使得校准准确度得到提高



2008版试验等级选择

安装类别	试验等级(kV)											
	AC电源和直接连至电网的 a.c. I/O 耦合方式		AC电源和不直接连至电网的 a.c. I/O 耦合方式		DC电源和直接与其连接的 d.c. I/O 耦合方式		非对称工作的电路/线路 ^{d,f} 耦合方式		对称工作的电路/线路 ^{d,f} 耦合方式		屏蔽的 I/O 和通信线 ^f 耦合方式	
	线-线	线-地	线-线	线-地	线-线	线-地	线-线	线-地	线-线	所有线-地	线-线	线-地
0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	NA	0.5	NA	NA	NA	NA	NA	0.5	NA	0.5	NA	NA
2	0.5	1.0	NA	NA	NA	NA	0.5	1.0	NA	1.0	NA	0.5
3	1.0	2.0	1.0 ^e	2.0 ^{b,e}	1.0 ^e	2.0 ^{b,e}	1.0 ^e	2.0 ^{b,c}	NA	2.0 ^{b,c}	NA	2.0 ^e
4	2.0	4.0 ^b	2.0 ^e	4.0 ^{b,e}	2.0 ^e	4.0 ^{b,e}	2.0 ^e	4.0 ^{b,c}	NA	4.0 ^{b,c}	NA	4.0 ^e
5	*	*	2.0	4.0 ^b	2.0	4.0 ^b	2.0	4.0 ^b	NA	4.0 ^b	NA	4.0 ^e

2019电源端口试验等级选择

安装类别	试验等级 (kV)							
	AC 电源和 a.c.I/O 外部端口 ^a		AC 电源和 a.c.I/O 内部端口 ^{a,d}		DC 电源和 d.c.I/O 外部端口 ^a		DC 电源和 d.c.I/O 内部端口 ^{a,d}	
	耦合方式		耦合方式		耦合方式		耦合方式	
	线-线	线-地	线-线	线-地	线-线	线-地	线-线	线-地
0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	NA	0,5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2	0,5	1,0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	1,0	2,0	1,0	2,0	NA	NA	NA	NA
4	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b
5	c,b	c,b	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b

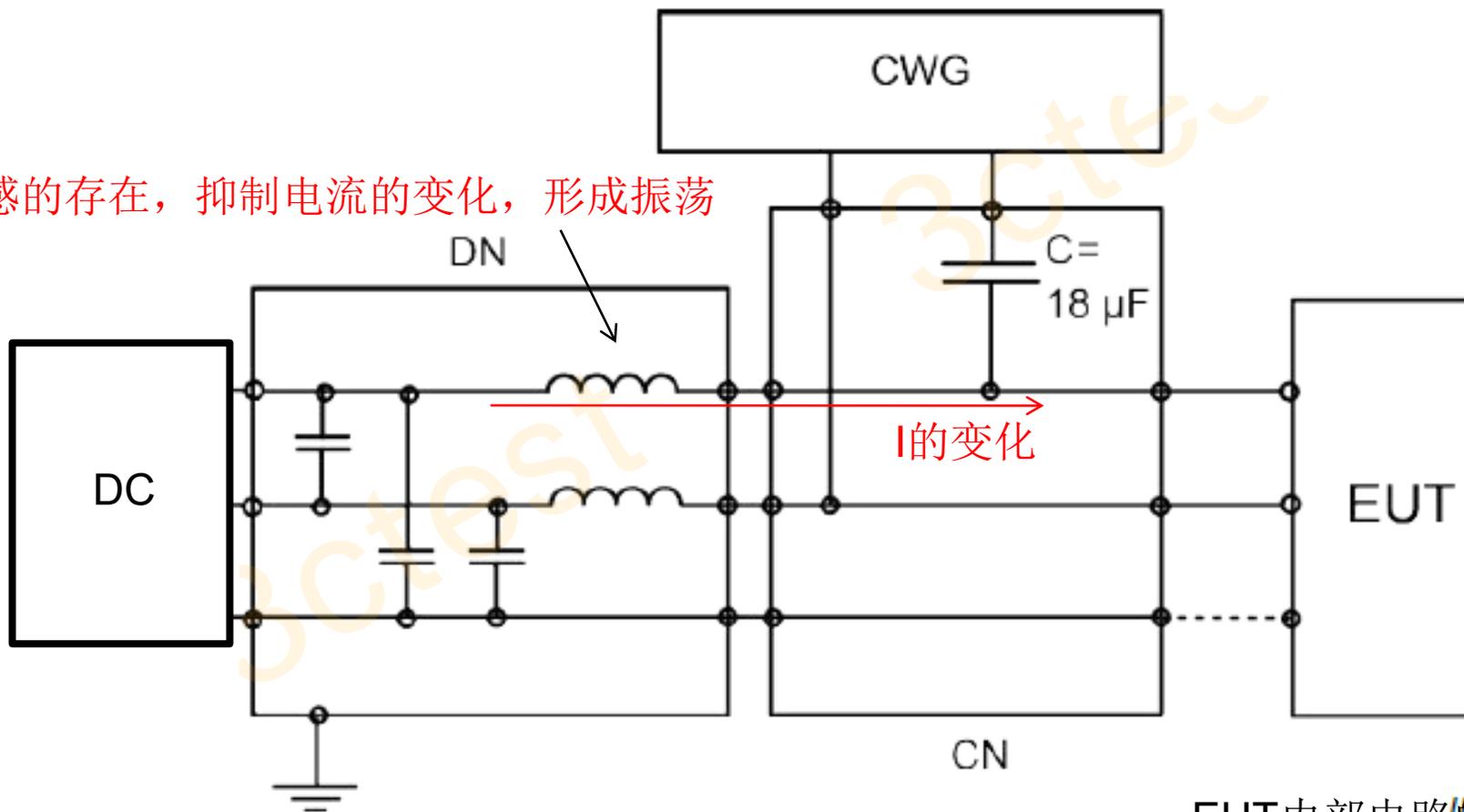
2019版电路/线路试验等级选择

安 装 类 别	试验等级(kV)											
	非对称工作的电路/线路 ^{a,c,c'}				对称工作的电路/线路 ^{a,c,c'}				屏蔽的电路/线路 ^{a,d,c'}			
	外部端口		内部端口		外部端口		内部端口		外部端口		内部端口	
	线-线	线-地	线-线	线-地	线-线	线-地	线-线	线-地	线-线	屏蔽层-地	线-线	屏蔽层-地
0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	NA	NA	NA	0.5	NA	NA	NA	0.5	NA	NA	NA	NA
2	NA	NA	0.5	1.0	NA	NA	NA	1.0	NA	NA	NA	0.5
3	NA	NA	1.0	2.0	NA	NA	NA	2.0	NA	NA	NA	2.0
4	2.0 ^b	4.0 ^b	2.0 ^b	4.0 ^b	NA	4.0 ^b	NA	4.0 ^b	NA	4.0 ^b	NA	4.0 ^b
5	2.0 ^b	4.0 ^b	2.0 ^b	4.0 ^b	NA	4.0 ^b	NA	4.0 ^b	NA	4.0 ^b	NA	4.0 ^b

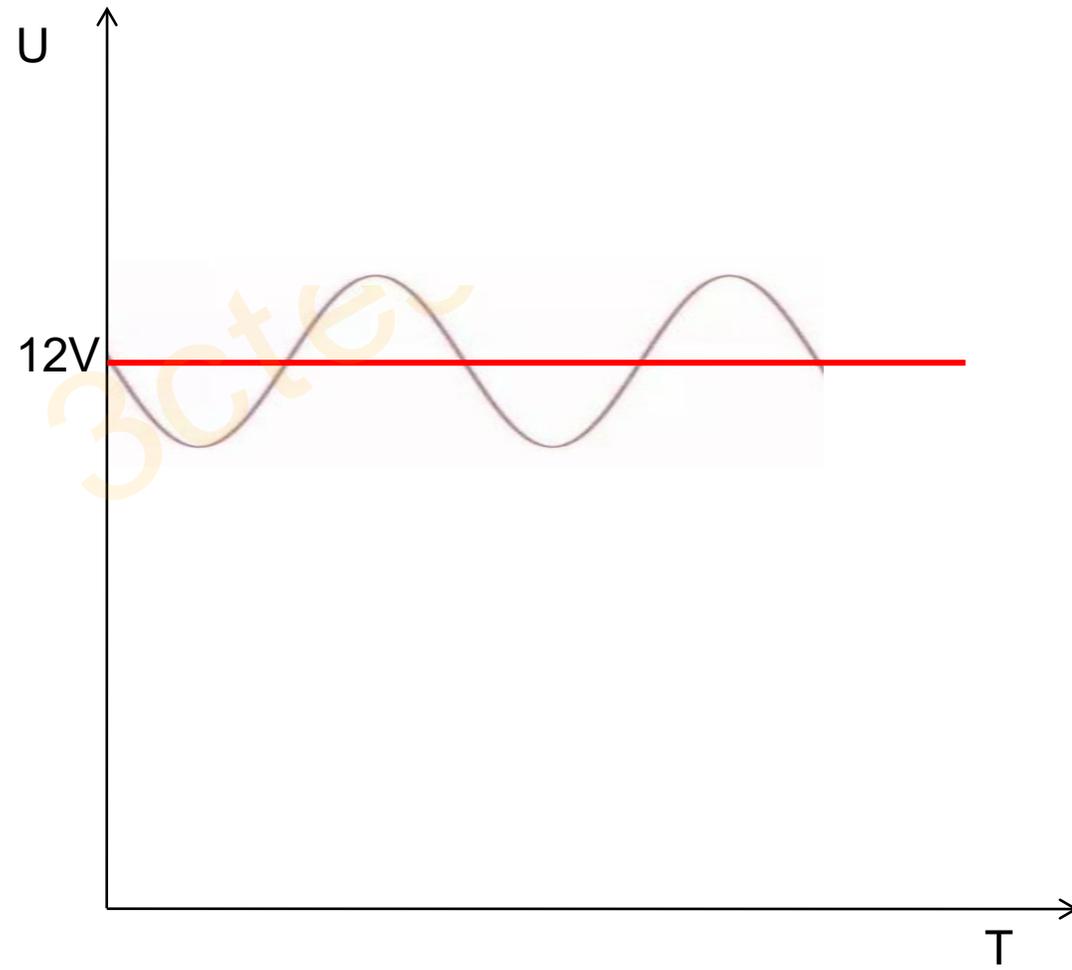
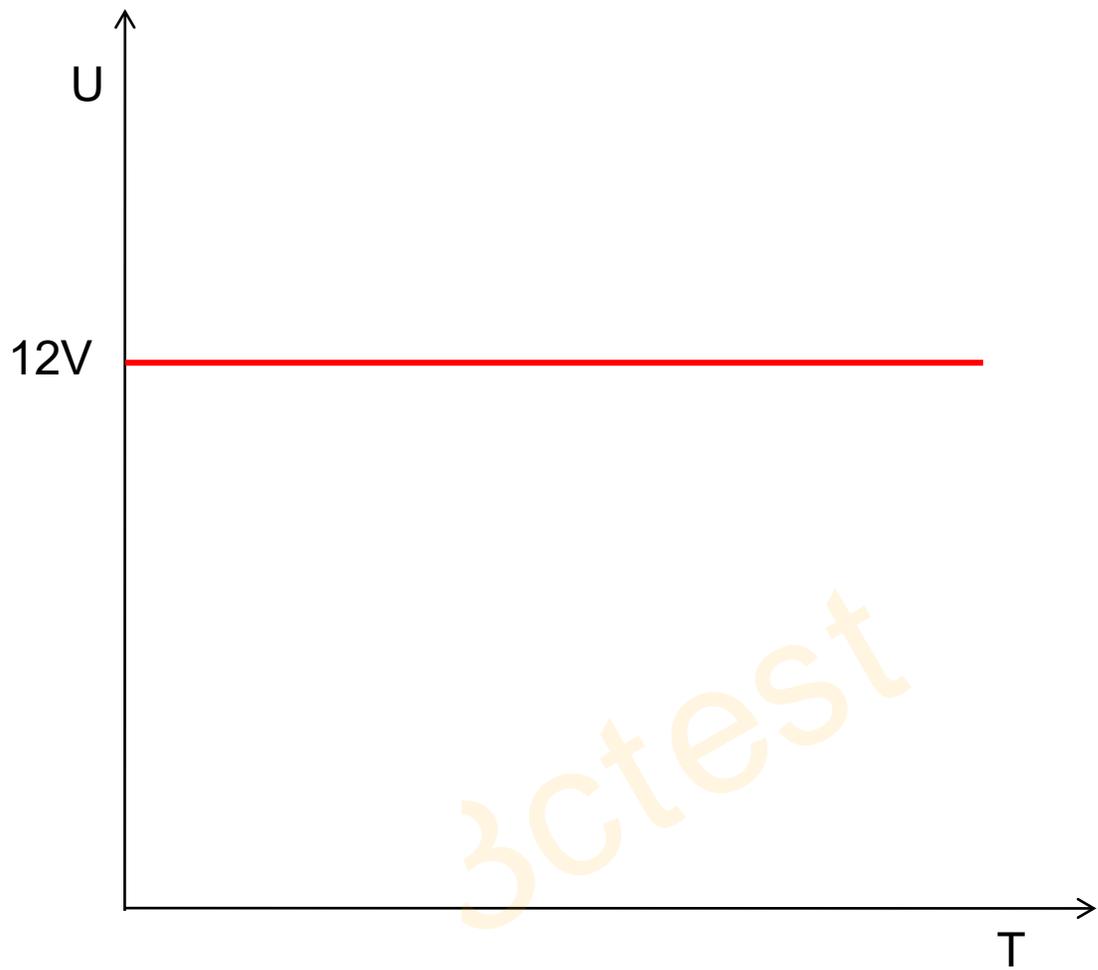
2017版 附录I（资料性附录）EUT是DC供电

DC供电的EUT因为经过CDN网络供电，会产生谐振，造成EUT无法正常工作的解决方案

去耦电感的存在，抑制电流的变化，形成振荡



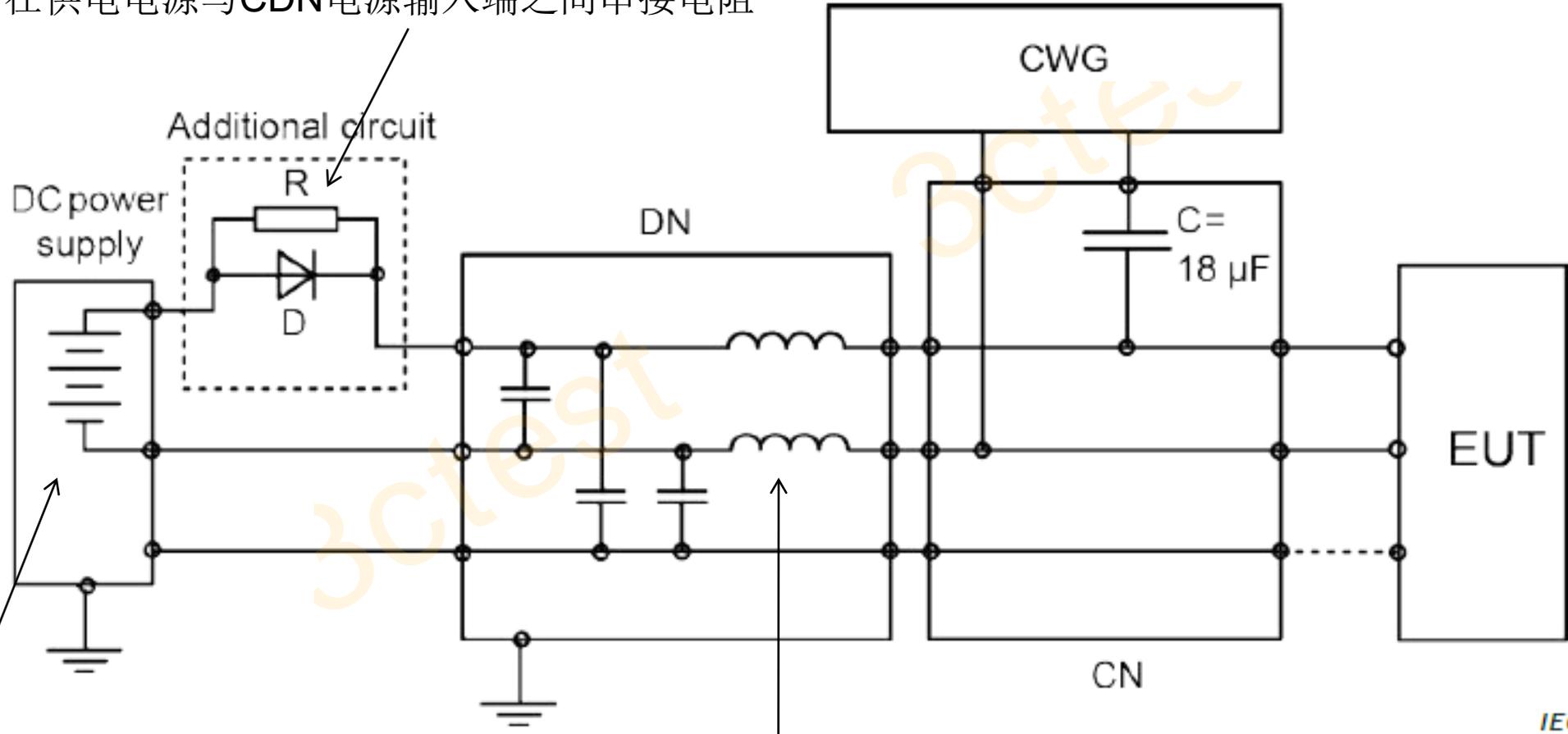
EUT内部电路的振荡（如开关量）





2017版 附录I（资料性附录） EUT是DC供电

在供电电源与CDN电源输入端之间串接电阻



采用电池供电

减小去耦电感的感值（即，选用大功率网络）

请提宝贵意见!

谢谢!!

 3ctest

地址：苏州高新区峨眉山路99号

网址：<http://www.3ctest.cn>

Email:info@3ctest.cn

TEL: 0512-68413700

68413800

68079956 胡小军