

显微镜下的 10/350 波形

对 Dion Neri 和 Bruce Glushakow 白皮书的回顾

Glenn J. Clifford, 设计工程师, MCG 电子公司, Deer Park, 纽约

数十年来, 依据 ANSI/IEEE C62.41 标准而使用 8/20 微秒波形进行测试的美国的 TVSS (电涌电压抑制器) 产品, 保护着世界上最庞大及最敏感的电子及电信设施。而采用这些标准进行测试的电涌防护产品, 在现场的实际应用中其性能表现出色。

8/20 微秒波形均被所有国家 (包括 IEC 成员国) 广泛的接受, 直到 1995 年, IEC 61643 系列标准引入了“等级 1”测试, 对安装在供电入线端位置的电涌防护器用“等级 1”方法测试。为了满足 IEC 61643-1 的脉冲电流(I_{imp})的要求, 测试机构被责成采用 10/350 微秒波形。

波形改变的理由是假定 10/350 微秒波形能更准确地模拟直击雷的参数, 因此使用此波形能更有效地确定电涌防护器的效能。

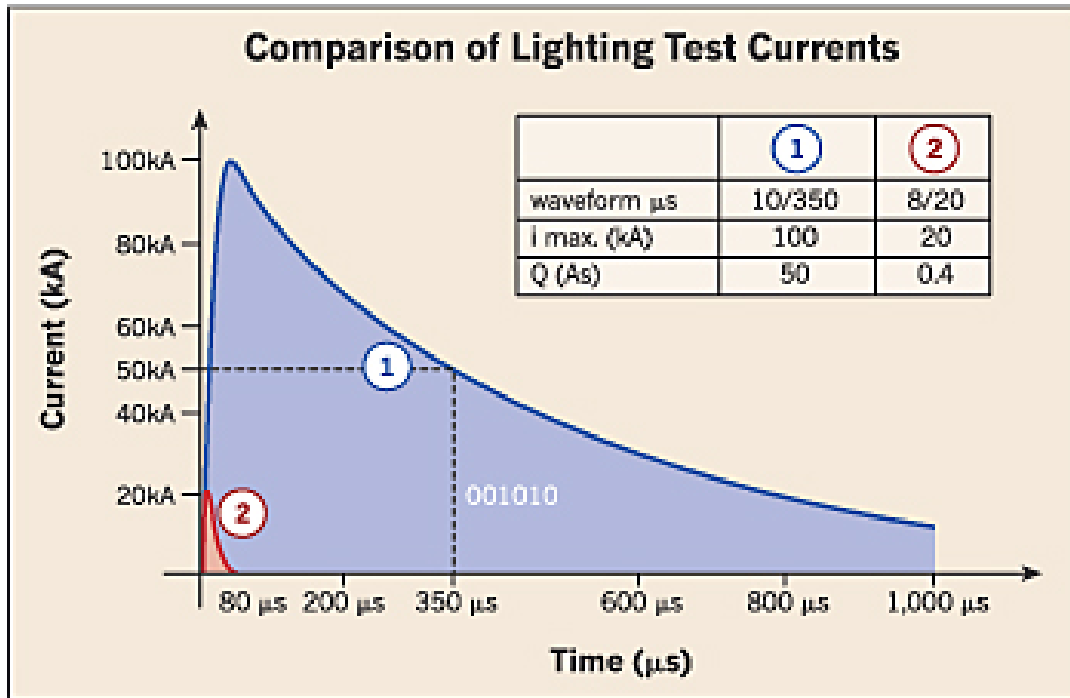
IEC 61643-1 等级一测试标准中的介绍部分, 试图否定数十年来具有成功应用经验的 8/20 微秒波形。而 IEEE 却明确表示没有任何理由改变其电涌防护器的测试标准。然而, (这种做法) 创造了一个机会, 几个欧洲的生产商迅速地利用了这个机会。为使采用此长波形成为合法性而开展了宣传运动。就电涌而言, 350 微秒是一个非常长的时间, 意图非常简单: “如果直击雷只能使用 10/350 微秒波形来模拟, 则根据 ANSI/IEEE 标准来制造的电涌防护器则不足以防御雷击。”

一时间, 遍布全世界的研讨会、杂志等都发表文章, 进行宣传。以下是一些典型的引述:

“美国的标准中对云-地雷击的能量欠缺考虑, 而对不同的来源造成的电涌的特性考虑过多, 例如供电系统的转换电容及电感反冲” ①

10/350 微秒波形应用于“对抗直击雷的电流”, 而 8/20 微秒波形则仅应用于“保护非直击雷的事件” ②

8/20 微秒波形与 10/350 微秒波形的比较图形被到处传播。例如，下图是一个欧洲的电涌防护器生产厂家所制作的。



上图的译文解释为：“100 千安、10/350 微秒的波形的 A_s 值是 20 千安、8/20 微秒波形的 125 倍。若使用 MOV（压敏电阻）型的保护器来防护 100 千安、10/350 微秒波形的电涌，则相当于需要使用 2500 千安、8/20 微秒的 MOV 容量。”

现实中，用于测试上根据 ANSI/IEEE 标准制造的低压电涌防护器的波形，远小于 2500 千安。谁都明白在电涌防护行业中，即使是在最严重的雷击环境下，一个 400 千安、8/20 微秒等级的产品的应付能力是足够有余。

甚至出现了一些公式以“证明”一个使用 20 千安、10/350 微秒波形进行测试的电涌防护器的容量至少是一个使用 20 千安、8/20 微秒波形进行测试的电涌防护器的容量的 20 倍。 $Q_s(10/350\mu\text{s})/Q_s(8/20\mu\text{s})=22.3$ ⁱⁱⁱ

在这个过程中，使用 8/20 微秒波形进行测试的电涌防护器仍在世界各地继续成功地保护着敏感的电子设备免遭直击雷的破坏。

争议

10/350 微秒波形的首次登场是在 IEC 61312-1。在 IEC 61312-1 被采用前已经存在着诸多的争议。在 1995 年的 TC 81 委员会上对 10/350 参数强差人意的推行尝试，使 18 投票国家中有 78% 的成员投了赞成票。当雷电参数在 IEC 61312-3:2000 中重新发布时，19 个投票国中有 68% 的赞成票，近 1/3 不赞成。^{iv}

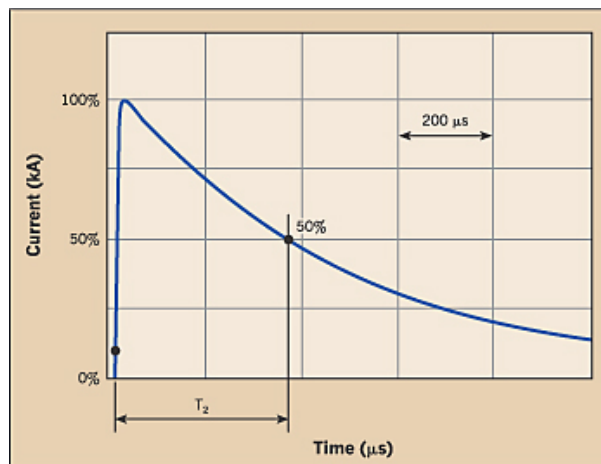
法国雷电保护协会，建立在 IEC 的成员国内，拒绝引用 10/350 微秒波形。他们的观点是：“在电器设施内的其它电气设备（断路器、保险丝等）不是按照等级 1 测试的高幅度要求来制造的，然而，此类设备因相关原因而导致损坏的个案还没有被发现过，这可以证明此类的 10/350 高幅度不存在，如果有，也是非常罕见。”

IEEE C62.41.2-2002 对首次雷击的参数进行了评定，包括在 IEC 61312 文件中所定义的 350 微秒“半峰值时间”，得出的结论是：““高能量”电涌的要求的基础建立在有限的的数据上，应当注意到问题是，把这些“要求”与那些根据 IEEE C62 标准系列来设计的电涌防护器的实际使用表现相比较的结果。”^v

有三个方面值得研究：1) 10/350 微秒波形的起源；2) 此波形的技术数据的基础是什么；3) 使用 10/350 波形来代表直击雷的参数有多准确。

一本完整的、仔细地收集了 40 个例证的白皮书，已被递交到 IEC USNC 的 TC 81，并且被作为 IEEE 的传输文件在线接收。Alan Rebeck, IEEE WG 3.6.4 的一个成员，在阅读完此文件后评论道：“...及其恰当地为到目前为止的、永不休止的 10/350 争论增加了一面透镜。当你需要事实的真相，身边一个敏锐的历史学家永远是很好的帮助。”

10/350 微秒波形的定义



10/350 微秒波形对一个脉冲能量的两个参数进行了描述。“10”表示波形上升到 90%的峰值幅度所需的时间（微秒）。“350”是指波形下降到峰值的 50%所需的时间（微秒）。如上图所示。

如该书所述的：“10/350 微秒波形的问题在于“350””，这是因为一个时延为 350 微秒加上高峰值电流的脉冲，会导致几乎所有的以半导体器件为基础的保护设备的损坏。

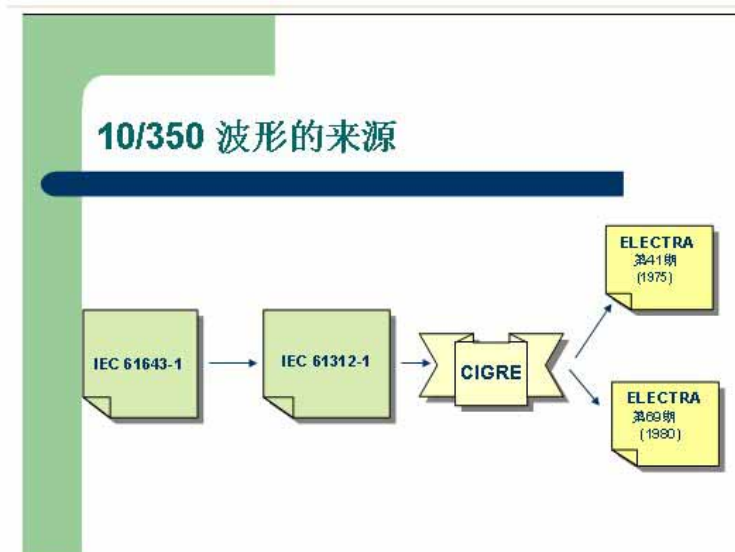
是谁作出了使用此波形的决定？答案是 IEC 61312-1 的作者们，即为该波形首次被引用。在该标准中，IEC 技术委员会 TC81（雷电保护）断言一次典型的雷击的“半峰值时间”是 350 微秒。^{vii}

白皮书里提及了相关的问题，“10/350 微秒波形的技术数据基础是什么？”在 IEC 61312-1 标准里，TC81 提供了他们决定引用该雷电参数的唯一依据“Electra 杂志第 41（1975）期及第 69 期（1980）内发表的 CIGRE 的结果。”^{viii}

相关事件

导致 10/350 微秒波形被广泛接受的相关事件在这里将再次重复：

- 1) IEC 成员国使用 10/350 微秒波形来测试安装在建筑物入口端的电涌防护器以使其符合 IEC 61643-1 对脉冲电流(I_{imp})的要求。
- 2) IEC 61643-1 列出 IEC 61312-1 为唯一的雷电测试参数的参考。(参阅 61643-1 附录 A 第 143 页)
- 3) IEC 61312-1 将其雷电流参数唯一的基础建立在“CIGRE Electra 杂志第 41（1975）期及第 69 期（1980）内发表的结果”（参阅 61643-1 附录 A 第 51 页）。



CIGRE

IEC TC81 将引用 10/350 微秒波形的责任推卸到 CIGRE 的脚下。

CIGRE（国际大型电器系统委员会）是一个非官方的国际协会，设在法国。该机构成立于 1921 年，目的是“促进和发展各国的发电及高压电力传送的工程师及技术专家之间进行工程知识及信息交流。”

ELECTRA 是 CIGRE 的双语杂志，每两个月发一期，只发送给其会员。

实际上ELECTRA的相关内容？

- 1) 对 Electra 杂志第 69 期（1980）的研究，未能找到任何与雷击时延有关的文章。
- 2) 在 Electra 杂志第 41 期（1975）内包含了一篇文章，记录了在瑞士的圣萨瓦多尔山卢加诺湖上面的雷电观测站的纪录结果。瑞士籍的作者 K. Berger 先生是雷电研究界的杰出人物，任何显著的发现均与他有关。在相关的参数上 K. Berger 先生命名为“雷击时延”，他的定义为“介于首部 2 千安点和尾部点，位置是在电流幅度下降到峰值的 50% 点的时间间隔。”^{ix}

IEC 61312-1 对 Berger 先生对首次正极雷击所给出的参数给予了特别的重视。在 61312-1 之附录 A，TC81 解释了其中的原因：“作为首次雷击，假设所有的雷击中的 10% 为正极的而其它的 90% 为负极。不考虑正极闪电与负极闪电的低比率，正极的雷击，只由单个长时延的首次冲击组成，它决定了雷击参数 I、Q 及 W/R 的应考虑到的最大值。如果根据保护等级 I 的定义，约 99% 的雷击被考虑到，概率小于 10% 的正极雷击决定了峰值电流 I、雷击电荷值 Q_f 、短周期冲击电荷值 Q_s 及特殊能量值 W/R 的最大值。剩下的 1% 的最大值发生在负极雷击的可能性要远小于发生在占 10% 雷击概率的正极雷击上，因此，可以忽略不计。”^x

换句话说，IEC 61312-1 标准的编者认为，如果使用 Berger 先生发现的、概率极小但名义上时延更长的正极首次雷击的参数，将会“安全”。

这种做法使 IEC 61312-1 标准引用了 Berger 先生的研究中的最有疑问的薄弱点。Berger 先生本人在 Electra 杂志第 41 期的第 35 页中评论道：“虽然正极雷击的特性显得比负极雷击更高的电荷、更慢的首部，但它们没有显示足够的共同特征来产生一个可接受的平均电流波形。这也可能是由于在此期间我们所得到的正极纪录太少。”

简言之，19 个投票国以 68% 的比例改变了他们原来使用的可行的基于 8/20 微秒波形的标准，并将其改为一个基于 1975 年测量到的、甚至研究者本人都认为不充分的 4 个曲线纪录的标准。

IEC 61312-1 应用 10/350 波形, 基础建立在这 4 次雷击上。

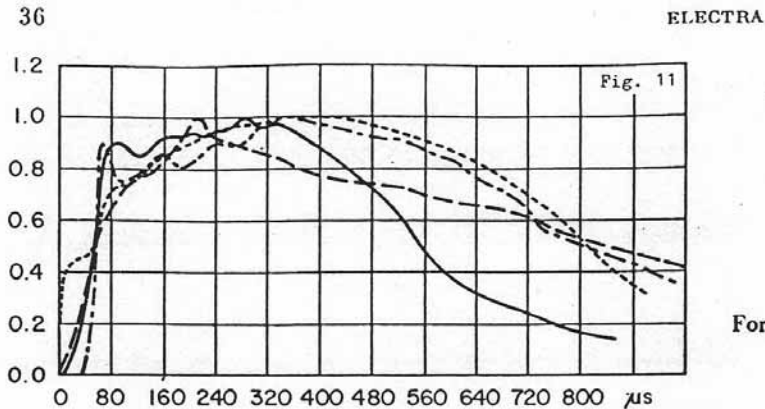


Figure 11
Formes de courant typiques – Impulsions positives
Typical current shapes – positive strokes

在过去的 30 年里, 在雷电纪录领域里取得了长足的进展。白皮书内列举了在 1975 年 Berger 无法知道的技术原因, 这些原因包括 Berger 发现的所有正极云地雷击都是从高塔上发生的, 因此, 雷击归属于“激发”雷击, 而不是发生在自然的山顶上, 不是自然发生的雷击。他报道的所有雷击中只有一次产生了向上传播然后是向下的反转雷击。^{xi} IEC 61312-1 声明说 Berger 先生的数据代表了 10% 的自然雷击的首次雷击为正极雷击, 而事实并不是这样。在所有雷击当中, 这种特性的激发雷击只占不到 1%。

Berger 先生的发现引导了 IEC 61312-1 的编辑者, 使其相信正极反转雷击的 I_{peak} (峰值电流) 比负极部分大得多。然而, 当国家雷电监测网络 (NLDN) 在完成对一百四十六万个双极性的云地放电的峰值电流, 即超过六千万个测量到的雷击 (LPCCGs) 的研究后, 发现“对于峰值电流值 $I_{max} > 75kA$ 的雷击, 负极云地放电的数量远大于正极云地放电的数量”^{xii;xiii}

IEC 61312-1 从 Berger 先生那里推断正极放电的反转冲击的波形与负极放电的波形有极大的不同。其后的研究发现两种放电的波形事实上是类似的。^{xiv}

一次雷击的时延是多少?

雷电可能是自然界最难捉摸的现象。白皮书中列举了雷电测量的先进技术。不考虑此类研究中固有的困难, 近期的研究者基本同意雷电的参数。以下是白皮书中所提及的一些研究:

A) “为了计算电涌, 只有反转冲击期间的重量级电流是最重要的。研究发现此段期间的波形可以用一个二次幂数来表示
 $i = I(e^{-at} - e^{-bt})$ 其中波头时间为 0.5 - 10 μs , 波尾时间为 30 - 200 μs 。平均的雷电流波型应为波头 6 μs 以及波尾 25 μs 。”^{xv}

B)韩国电气电力协会应用一台美国“大气研究系统”(Atmospheric Research Systems)制造的LPATS,完成了一项5年的研究。所测量的95%的雷击的半峰值小于22微秒。平均半峰值时间是 $10.82\mu\text{s}$ 。^{xvi}

C)1977年一项在日本的研究发现,平均半峰值时间是 $40\mu\text{s}$ 。^{xii}

D)国家海洋和大气局(NOAA)报告称“每一个反转冲击都显示了一个5到300千安的峰值电流以及20-50微秒的时延。”^{xiii}

IEEE的立场如何?

过去几年,产生了一个意见,就是那些由于种种原因而转向支持10/350微秒波形的人,相信“IEEE正将其方向转向接受10/350微秒波形。”这种意见被作为事实向来自38个国家的、参加了第25届LCLP研讨会(2000年九月)的275位专家提出。这是真的吗?

IEEE所颁布的标准,其应用的环境包含了世界上最大的、最敏感的及最稠密的电子设备。C62.45.2TM-2002标准(C62.45TM-1992标准的替代)连同C62.41.1-2002标准及C62.41.2-2002标准被称为**IEEE电涌防护器三部曲**,包含了292页的技术资料。

在对雷电电涌环境模拟的测试波形及测试步骤进行了广泛而深入的调查以后,IEEE的结论是:“IEEE Std C62.41.2-2002所建议使用的两种波形是,100 kHz的环波及1.2/50 μs -8/20 μs 组合波(后者包括两个波形,一个是电压另一个是电流)。”^{xix}

接下来,与该书一起,当IEC 61643在年度下半年进行复审,10/350微秒波形将会被列入考虑淘汰的项目列表之首。

ⁱMcCurdy, P., Phoenix Contact Product公司专家,电源质量保障杂志,2000年4月。

ⁱⁱChadwick, R., Dehn Inc公司工程副总裁,“电涌防护:本地及国际标准”Dehn Inc., 2000,第19页

ⁱⁱⁱSchimanski, J., 过电压,理论及实践,ISBN: 3-7785-2335-X 1996。

^{iv}C62.41.2TM-2002 IEEE低压(1000 V及以下)交流电源电路的电涌特性鉴定实施建议。交流电源电路表A.7-IEC正式投票纪录。

^vIBID 第32页

^{vi}IEC 1312-1 附录A,图B.2“首次雷击的电流尾部波形”(第59页)

^{vii}IEC 1312-1 第一版1995-02.表1“雷电头次冲击的电流参数”(第27页)

^{viii}IEC 1312-1 附录A,第A.1节。

^{ix}Berger, K., R.B. Anderson 及 H. Kroeninger, CIGRE 研究委员会第33(过电压及绝缘)发表在Electra杂志第41期(1975)的“雷电的参数”。

^xIEC 1312-1 附录A,第51页。

^{xi}Rust, W. David, NOAA 国家剧烈风暴实验室,地球的电气环境,国家科学院刊物1986,第3章 正极云地雷击,第41页

- ^{xii} Lyons, W. A., M. Uliasz, 及 T. E. Nelson, 1998: 美国及邻近地区夏季期间的大峰值电流云地雷击。 *每月天气回顾*, **126**, 2217-2233。
- ^{xiii} Cummins, K.L., Krider, E.P., 及 Malone, M.D., “美国国家雷电监测网络TM以及云地雷击数据在电源供电系统中的应用” IEEE传输文件EM-40, 第4号, 1998年11月。
- ^{xiv} Rust, W.D., D.R. MacGorman, 及 R.T. Arnold (1981b) 剧烈风暴中的正极云地雷击。 *Geophys. Res. Lett.* 8,791-794。
- ^{xv} Lucas, J.R., 高电压工程, 2001。第III章“雷击现象”第35页
- ^{xvi} J.W.Woo + E.B.Shim + J.B.Kim + G.W.Lee, 一项对用于相关的绝缘、由韩国的雷电定位及跟踪系统(LPATS)所设计的(1996-1999)雷电参数的统计分析的研究, 韩国电力研究院(KEPRI)。
- ^{xvii} G. Ikeda 及 S. Sumi, “日本的雷电参数” 大气电气研究报告(日文), 大气电气日志 卷1.1, 第41-44页, 1987。由日本大气电气协会发表
- ^{xviii} NOAA 西部地区技术附件第97-20号, 1997年6月17日
- ^{xix} IEEE Std C62.45TM-2002 (IEEE Std C62.45-1992 修订本) IEEE建议的、连接到低压(1000伏及以下)交流供电系统电路中的设备的电涌的测试方法。2002年11月11日通过。条款9.2, 标准波形。
- Note: An abbreviated version of this paper appeared in the November 2003 Electronic Edition of *E.C.&M. Magazine*.