

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—202X

脉冲群/EFT 脉冲衰减器校准规范

Calibration Specification for Burst/EFT Pulse Attenuators

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局

发布

脉冲群/EFT脉冲衰减器校准规范

Calibration Specification of Burst/EFT

Pulse Attenuators

JJF XXXX—XXXX

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：广东省计量科学研究院

广东省中山市质量计量监督检测所

广东省计量科学研究院东莞计量院

参加起草单位：中国计量科学研究院

广电计量检测集团股份有限公司

本规范由全国无线电计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

刘文刚（广东省计量科学研究院）
朱健军（广东省中山市质量计量监督检测所）
丁雅羽（广东省计量科学研究院东莞计量院）

参加起草人：

黄攀（中国计量科学研究院）
张楠（广东省计量科学研究院东莞计量院）
张辉（广电计量检测集团股份有限公司）

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
3.1 电压分压系数 VDF.....	(错误!未定义书签。)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
5.1 外观和通用技术要求.....	(错误!未定义书签。)
5.2 输入电阻.....	(2)
5.3 输出电阻.....	(2)
5.4 衰减.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 测量标准及其他设备.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 外观及工作正常性检查.....	(3)
7.2 输入电阻.....	(3)
7.3 输出电阻.....	(4)
7.4 衰减.....	(4)
8 校准结果.....	(5)
9 复校时间间隔.....	(5)
附录 A 原始记录格式.....	(6)
附录 B 校准证书内页格式.....	(7)
附录 C 校准结果的不确定度分析示例.....	(8)
附录 D 电压分压比的计算.....	(12)
附录 E 失配时衰减标称值的确定.....	(12)

引 言

JJF 1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1001-2011 《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编制工作的基础型系列规范。

本规范参考了下列文件：

JJF1672-2017 《电快速瞬变脉冲群模拟器校准规范》、JJF2016-2022 《阻尼振荡波模拟器校准规范》、GB/T 17626.4-2018 《电磁兼容试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验》、GB/T 17626.18-2016 《电磁兼容试验和测量技术 阻尼振荡波抗扰度试验》IEC61000-4-4：2012 《电磁兼容试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验》(Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-4: Testing and measurement techniques - Electrical fast transient/burst immunity test)、 IEC61000-4-18:2019 《电磁兼容试验和测量技术 阻尼振荡波抗扰度试验》(Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-18: Testing and measurement techniques - Damped oscillatory wave immunity test)。

本规范为首次发布。

脉冲群/EFT脉冲衰减器校准规范

1 范围

本规范适用于 JJF1672-2017《电快速瞬变脉冲群模拟器校准规范》和 JJF2016-2022《阻尼振荡波模拟器校准规范》要求的脉冲群/EFT 脉冲衰减器的校准，也适用于对汽车电瞬态抗扰性试验脉冲发生器的脉冲 3a 和脉冲 3b 波形校准时使用的 50Ω 和 1000Ω 脉冲衰减器的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF1672-2017《电快速瞬变脉冲群模拟器校准规范》

JJF2016-2022《阻尼振荡波模拟器校准规范》

GB/T 17626.4 《电磁兼容试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验》

GB/T 17626.18 《电磁兼容试验和测量技术 阻尼振荡波抗扰度试验》

IEC61000-4-4: 2012《Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-4: Testing and measurement techniques - Electrical fast transient/burst immunity test》

IEC61000-4-18:2019 《Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-18: Testing and measurement techniques - Damped oscillatory wave immunity test》

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

下列术语和定义适用于本规范。

3.1 电压分压系数 VDF voltage divided factor

二端口网络的输入端口的电压与输出端口的电压之比，也称为分压比，用对数表示时，称为衰减比。

4 概述

脉冲群/EFT 脉冲衰减器（以下简称“脉冲衰减器”）采用电阻分压原理将高压脉冲信号进行衰减，使信号波形衰减到示波器可接受的检测范围内。脉冲衰减器一般有输入和输出电阻网络构成，输入电阻为 0.1Ω、50Ω、1000Ω，可承受高频脉冲信号，输出电阻为 50Ω。输入接口为 SHV，BNC，SOV，DN 等各种高压接头，输出接口为 BNC 接口。其原理结构框图见图 1。脉冲衰减器主要应用于工业电磁兼容领域抗扰度试验，定

期对脉冲群发生器等测试系统本身的脉冲信号进行校验，保证脉冲群发生器输出的波形正确，确保测试系统良好的性能和测试精度。

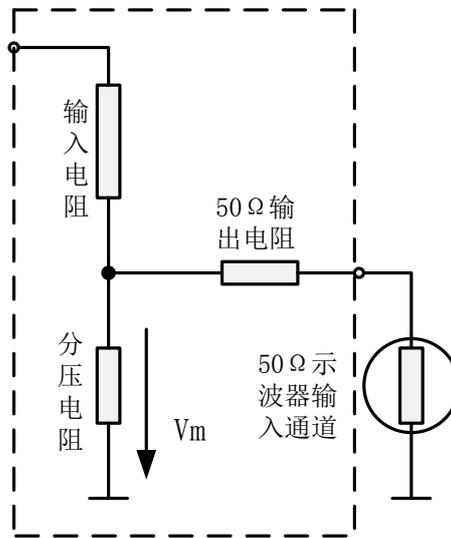


图1 脉冲衰减器原理结构框图。

5 计量特性

5.1 输入电阻

标称值：0.1Ω、50Ω、1000Ω；

直流条件下，最大允许误差为：±2%。

5.3 输出电阻

标称值：50Ω；

直流条件下，最大允许误差为：±2%。

5.4 衰减

测量范围：(10~60) dB；

50Ω 或 1kΩ 的输入电阻的脉冲衰减器：

最大允许误差：±1dB ($9\text{kHz} \leq f \leq 100\text{MHz}$)；

±3dB ($100\text{MHz} < f \leq 400\text{MHz}$)；

0.1Ω 的输入电阻的脉冲衰减器：

最大允许误差：±1dB ($9\text{kHz} \leq f \leq 400\text{MHz}$)；

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(23±5) °C

6.1.2 相对湿度：30%~80%

6.1.3 周围无影响正常校准工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 电阻测量仪

测量范围：0.1Ω~10kΩ；

最大允许误差：±0.5%。

6.2.2 矢量网络分析仪

频率测量范围：9kHz~400MHz；

传输幅度测量范围：(0~80) dB；

传输幅度测量不确定度：(0.3~1.0) dB, $k=2$ 。

7 校准项目和校准方法

校准项目如表 1 所示。

表 1 校准项目表

序号	校准项目
1	输入电阻
2	输出电阻
3	衰减

7.1 外观及工作正常性检查

脉冲衰减器上应有铭牌或标志，标明其型号、出厂编号、制造厂等，外观表面不应有锈蚀、毛刺、剥落等缺陷，输入输出端口无损坏。脉冲衰减器应能够正常工作，不应有影响电气性能的机械损伤。

校准前所有使用的计量器具，应在同一环境条件下在规定时间内进行预热。

7.2 输入电阻

7.2.1 脉冲衰减器的输入电阻校准连接示意图如图 2 所示。

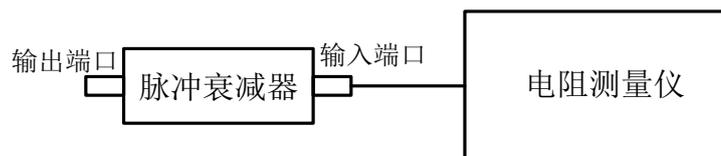


图 2 输入电阻校准连接示意图

7.2.2 使用匹配转接头或测试连接线缆将脉冲衰减器的输入端连接到电阻测量仪的电

阻测量端口，调节电阻测量仪的量程设置为自动，输入电阻为 50Ω 和 $1k\Omega$ 的脉冲衰减器的输入电阻校准时使用电阻测量仪的二线电阻测量功能；输入电阻为 0.1Ω 时，输入电阻校准时使用电阻测量仪的四线电阻测量功能。

7.2.3 读取电阻测量仪的电阻读数即为输入电阻的实测值，将测量结果记录到附录 A.2 中。

7.3 输出电阻

7.3.1 脉冲衰减器的输出电阻校准连接示意图如图 3 所示。

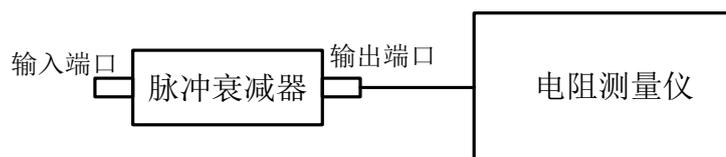


图 3 输出电阻校准连接示意图

7.3.2 使用匹配转接头或测试线缆将脉冲衰减器的输出端连接到电阻测量仪的电阻测量端口，调节电阻测量仪的量程设置为自动，使用电阻测量仪的电阻测量功能，读取电阻测量仪的电阻读数即为输入电阻的实测值。

7.3.3 读取电阻测量仪的电阻读数即为输出电阻的实测值，将测量结果记录到附录 A.3 中。

7.4 衰减

校准前使用匹配的转接头和线缆进行直通校准，消除测试线缆的影响。对于输入接口为 SHV 等其他非 BNC 接口型式的需要消除转接头对测量的影响。

7.4.1 校准连接示意图如图 4 所示。

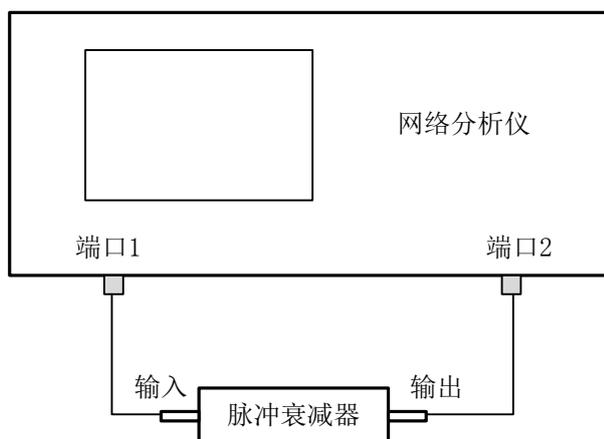


图 4 衰减校准连接示意图

7.4.2 设置网络分析仪的起止频率分别为 $9kHz$ 和 $400MHz$ ，设置合适的中频带宽 RBW，

调节参考电平和垂直刻度至合适档位。选择网络分析仪的 S_{21} 测量功能。

7.4.3 使用网络分析仪的 MARK 功能，按照原始记录中的频率点读取衰减的测量值，并将测量结果记录到附录 A.4，改变 MARK 频率，直至所有频率点的衰减测量完成，并根据附录 E 中计算电压分压系数。

8 校准结果

脉冲群/EFT 脉冲衰减器校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的说明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的。因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔，推荐复校时间间隔为1年。

附录 A

原始记录格式

A.1、外观和通用技术要求检查：

A.2 输入电阻

表 A.1

标称值(Ω)	实测值(Ω)	误差(%)	允许误差(%)	不确定度($k=2$)
0.1			± 2	
50			± 2	
1000			± 2	

A.3 输出电阻

表 A.2

标称值(Ω)	实测值(Ω)	误差(%)	允许误差(%)	不确定度($k=2$)
50			± 2	

A.4 衰减

表 A.3

频率(MHz)	标称值(dB)	实测值(dB)	误差(dB)	允许误差(dB)	不确定度($k=2$)
0.009				± 1	
...				± 1	
...				± 1	
...				± 1	
...				± 1	
...				± 1	
100				± 1	
...				± 1	
...				± 1	
...				± 1	
...				± 1	
...				± 1	
400				± 1	

附录 B

校准证书内页格式

B.1、输入电阻（见表 1）

表 B.1

标称值(Ω)	实测值(Ω)	误差(%)	允许误差(%)	不确定度($k=2$)
0.1			± 2	
50			± 2	
1000			± 2	

B.2、输出电阻（见表 2）

表 B.2

标称值(Ω)	实测值(Ω)	误差(%)	允许误差(%)	不确定度($k=2$)
50			± 1	

B.3、衰减（见表 3）

表 B.3

频率(MHz)	标称值(dB)	实测值(dB)	误差(dB)	允许误差(dB)	不确定度($k=2$)
0.009				± 1	
...				± 1	
...				± 1	
...				± 1	
...				± 1	
...				± 1	
100				± 1	
...				± 1	
...				± 1	
...				± 1	
...				± 1	
...				± 1	
400				± 1	

附录 C

校准结果的不确定度分析示例

C.1、电阻的测量结果的不确定度分析

C.1.1 测量方法

将脉冲衰减器的输入或输出端通过专用匹配接头和连接线接到电阻测量仪的电阻测量输入端口，读取电阻测量值作为输入电阻或输出电阻的测量值。

C.1.2 不确定度来源

经分析，不确定的来源有以下 3 项：

- (1) 电阻测量仪的电阻测量准确度引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 电阻测量仪的电阻测量分辨力引入的不确定度分量 u_2 ；
- (3) 电阻测量的重复性引入的标准不确定度 u_3 ；

C.1.3 标准不确定度评定

C.1.3.1 电阻测量仪的电阻测量准确度引入的不确定度分量 u_1 ，用 B 类标准不确定度评定。以 50Ω 输出电阻为例，电阻测量仪的电阻测量在 ($100\Omega\sim 1k\Omega$) 的量程范围内的最大允许误差不会超过 $\pm 0.1\%$ ，按均匀分布计算；

$$u_1 = 0.01\% / \sqrt{3} = 0.0577\%$$

C.1.3.2 电阻测量仪的电阻测量分辨力引入的不确定度分量 u_2 ，用 B 类标准不确定度评定。数字多用表的电阻测量分辨力： $1\times 10^{-3}\Omega$ ，区间半宽为 $5\times 10^{-4}\Omega$ ，按均匀分布计算；

$$u_2 = 5\times 10^{-4} / \sqrt{3} / 50 = 0.000577\%$$

C.1.3.3 电阻测量的重复性引入的标准不确定度 u_3 。

用 A 类标准不确定度评定。测量 50Ω 的电阻，重复测量 10 次，测量数据如表 C1-1 所示

表 C1-1 重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5
读数(Ω)	50.021	50.023	50.023	50.020	50.022
次数	6	7	8	9	10
读数(Ω)	50.020	50.023	50.022	50.020	50.021

根据贝塞尔公式:

$$s(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 1.27 \times 10^{-3} \Omega$$

实际测量时取单次测量, 故

$$u_2 = s(x)/50 = 2.54 \times 10^{-5}$$

C.1.4 合成标准不确定度评定

C.1.4.1 主要标准不确定度汇总表(见表 C1-2)

表 C1-2 不确定度汇总表

不确定度来源	不确定度种类型	不确定度分量	不确定度数值
电阻准确度	B 类	u_1	5.77×10^{-4}
电阻测量分辨力	B 类	u_2	5.77×10^{-6}
测量的重复性	A 类	u_3	2.54×10^{-5}

C.1.4.2 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量是互不相关的, 所以合成标准不确定度为:

$$u_c(d) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.0577\%$$

C.1.5 扩展不确定度评定

取包含因子 $k=2$, 则:

$$U_{rel} = k u_c(d) = 2 \times 0.0577\% = 0.12\%$$

C.2、衰减的测量结果的不确定度分析

C.2.1 测量对象和方法

将脉冲衰减器的输入和输出端通过专用匹配接头和连接线分别连接到矢量网络分析仪的端口1和端口2, 使用 S_{21} 测量功能读取衰减的测量值。

C.2.2 不确定度来源

经分析，不确定的来源有以下 3 项：

- (1) 网络分析仪衰减测量准确度引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 网络分析仪衰减测量分辨力引入的不确定度分量 u_2 ；
- (3) 衰减测量的重复性引入的标准不确定度 u_3 ；
- (4) 失配引入的标准不确定度 u_4 ；

C.2.3 标准不确定度评定

C.2.3.1 网络分析仪衰减测量准确度引入的不确定度分量 u_1 ，用 B 类标准不确定度评定。以 54dB 衰减为例，网络分析仪衰减测量在（5Hz~400MHz）的频率范围内的最大允许误差不会超过 $\pm 0.05\text{dB}$ ，按均匀分布计算；

$$u_1 = 0.05/\sqrt{3} = 0.0288\text{dB}$$

C.2.3.2 网络分析仪衰减测量分辨力引入的不确定度分量 u_2 ，用 B 类标准不确定度评定。网络分析仪衰减测量分辨力：0.01dB，区间半宽为 $5 \times 10^{-3}\text{dB}$ ，按均匀分布计算；

$$u_2 = 5 \times 10^{-3}/\sqrt{3} = 0.00288\text{dB}$$

C.2.3.3 衰减测量的重复性引入的标准不确定度 u_3 。

用 A 类标准不确定度评定。测量 54dB 衰减，测量频率为 10MHz 为例，重复测量 10 次，测量数据如表 C2-1 所示。

表 C2-1 重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5
读数(dB)	53.841	53.845	53.840	53.839	53.836
次数	6	7	8	9	10
读数(dB)	53.839	53.837	53.836	53.838	53.836

根据贝塞尔公式：

$$s(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.00283\text{dB}$$

实际测量时取单次测量，故

$$u_3 = s(x) = 0.00283\text{dB}$$

C.2.3.4 网络分析仪与脉冲衰减器的阻抗失配引入的不确定度分量 u_4 ，用 B 类标准不

确定度评定。失配引入的最大误差不会超过： $\pm 0.20\text{dB}$ ，按反正弦分布计算；

$$u_4 = 0.20/\sqrt{2} = 0.1414\text{dB}$$

C.2.4 合成标准不确定度评定

C.2.4.1 主要标准不确定度汇总表(见表 C2-2)

表 C2-2 不确定度汇总表

不确定度来源	不确定度种类型	不确定度分量	不确定度数值(dB)
衰减测量准确度	B 类	u_1	0.0288
测量分辨力	B 类	u_2	0.00288
测量的重复性	A 类	u_3	0.00283
失配	B 类	u_4	0.1414

C.2.4.2 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量是互不相关的，所以合成标准不确定度为：

$$u_c(d) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.143$$

C.2.5 扩展不确定度评定

取包含因子 $k=2$ ，则：

$$U_{\text{rel}} = k u_c(d) = 2 \times 0.143 = 0.30\text{dB}$$

附录 D

电压分压系数的计算

在 GB/T17626.4-2018 《电磁兼容试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验》、GB/T 17626.18-2016 《电磁兼容试验和测量技术 阻尼振荡波抗扰度试验》和 IEC61000-4-4:2012 《Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-4: Testing and measurement techniques - Electrical fast transient/burst immunity test》、IEC61000-4-18:2019 《Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-18: Testing and measurement techniques - Damped oscillatory wave immunity test》标准中并未规定脉冲衰减器的衰减标准值，脉冲衰减器的衰减或分压比的标称值由其生产厂家定义。

D.1 电压分压系数的计算

电压分压系数 VDF 通过公式 (D.1) 计算获得

$$VDF = (1 + (Z_L - Z_0) / (Z_L + Z_0)) / S_{21} \quad (D.1)$$

式中：

VDF-----电压分压系数，

S_{21} -----网络分析仪测量值转换为电压比的计算值。

Z_L -----脉冲衰减器的输入电阻，分别为 50Ω、1000Ω、0.1Ω；

Z_0 -----输出电阻，为 50Ω；

D.1.1 输入电阻为 1000Ω 的脉冲衰减器的电压分压系数

对于 1000Ω 输入电阻的脉冲衰减器：

$$VDF_{1000} = 1.905 / 10^{(S_{21}/20)} \quad (D.2)$$

式中：

VDF_{1000} -----1000Ω 的脉冲衰减器的电压分压系数。

例如：网络分析仪上测得的 $S_{21} = -54.40\text{dB}$ ，则电压分压系数为：1000。

D.1.2 输入电阻为 50Ω 的脉冲衰减器的电压分压系数

对于 50Ω 输入电阻的脉冲衰减器：

$$VDF_{50} = 1 / 10^{(S_{21}/20)} \quad (D.3)$$

式中：

VDF_{50} -----50Ω 的脉冲衰减器的电压分压系数。

例如：网络分析仪上测得的 $S_{21} = -60.06\text{dB}$ ，则电压分压系数为：1007。

D.1.3 输入电阻为 0.1Ω 的脉冲衰减器的电压分压系数

对于 0.1Ω 输入电阻的脉冲衰减器：

$$VDF_{0.1} = 1.996 / 10^{(S_{21}/20)} \quad (D.4)$$

式中：

$VDF_{0.1}$ ----- 0.1Ω 的脉冲衰减器的电压分压系数。

例如：网络分析仪上测得的 $S_{21} = -53.93\text{dB}$ ，则电压分压系数为：992。

附录 E

失配时衰减标称值的确定

在 GB/T17626.4-2018《电磁兼容试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验》、GB/T 17626.18-2016《电磁兼容试验和测量技术 阻尼振荡波抗扰度试验》标准中并未规定脉冲衰减器的衰减标准值，脉冲衰减器的生厂家通常给出的是电压比或者分压比，在使用网络分析仪进行校准时需要根据电压比或者分压比对衰减的标称值进行理论计算，由此得到失配情况下的衰减的标称值。

E.1 1000 Ω 失配情况下的衰减的标称值的计算

对于二端口的脉冲衰减器，衰减量通过公式 (E.1) 计算获得

$$A = 10\log (V_1/ V_2) - 10\log (R_1/ R_2) \quad (\text{E.1})$$

式中：

A-----衰减量；

V_1 -----脉冲衰减器的输入端口的电压；

V_2 -----脉冲衰减器的输出端口的电压；

R_1 -----脉冲衰减器的输入电阻；

R_2 -----脉冲衰减器的输出电阻；

例如：对于 1000 Ω 的脉冲衰减器，分压比为 1000:1，则 $V_1/ V_2=1000$ ， $R_1/ R_2=20$ ，带入公式 (E.1)，则标称的衰减量为： 47dB

由于网络分析仪的端口的阻抗均为 50 Ω，1000 Ω 的脉冲衰减器输入端口连接至网络分析仪的端口 1 时，其反射为： $S_{11} = (1000-50) / (1000+50) = 0.905$ ，则输入端口的能量衰减量按公式 (E.2) 计算可得失配衰减量为 7.4 dB

$$A_1 = 10\log (1- S_{11}^2) \quad (\text{E.2})$$

式中：

A_1 -----失配引入的衰减量；

由此可得，使用网络分析仪进行衰减测量时，其标称值为 47+7.4=54.4dB。

E.1 0.1 Ω 失配情况下的衰减的标称值的计算

对于 0.1 Ω 的脉冲衰减器，分压比为 1000:1，则 $V_1/ V_2=1000$ ， $R_1/ R_2=500$ ，带入公式 (E.1)，则标称的衰减量为： 33dB。

由于网络分析仪的端口的阻抗均为 50 Ω，0.1 Ω 的脉冲衰减器输入端口连接至网络分析

仪的端口 1 时，其反射为： $S_{11} = (50 - 0.1) / (50 + 0.1) = 0.996$ ，则输入端口的能量衰减量按公式 (E.2) 计算可得失配衰减量为 21 dB

由此可得，使用网络分析仪进行衰减测量时，其标称值为 $33 + 21 = 54\text{dB}$ 。