

ICS 国际标准分类号
CCS 中国标准文献分类号



团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

并联型低压有源电能质量治理设备电网适应性评价方法

Evaluation Method for Grid Adaptability of Parallel Low Voltage
Active Power Quality Curing Device

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国电工技术学会

发布

目 次

前言I

1 范围.....1

2 规范性引用文件1

3 术语和定义.....1

4 总则.....3

5 评价要求.....3

 5.1 一般规定3

 5.2 评价准则5

6 评价方法.....6

 6.1 性能等级评定方法6

 6.2 综合等级评定方法6

7 评价报告7

附录 A（资料性）测试电路和测试方法.....8

 A.1 测试接线.....8

 A.2 设备能效测试方法.....8

 A.3 无功补偿性能测试.....8

 A.4 响应时间测试.....9

 A.5 谐波发射特性测试.....9

附录 B（资料性）试验发生器的特性10

 B.1 试验发生器10

附录 C（资料性）单类场景概率分布11

 C.1 电压偏差概率分布11

 C.2 频率偏差概率分布11

 C.3 电压谐波概率分布11

 C.4 电压不平衡概率分布11

附录 D（资料性）多场景权重系数.....12

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作专家委员会城市能源互联网规划与运行专业分会工作组归口。

本文件起草单位：中国电力科学研究院有限公司武汉分院、国网河南省电力公司电力科学研究院、武汉大学、武汉科力源电气有限公司、国网湖北省电力公司电力科学研究院

本文件主要起草人：郭浩洲、肖梁乐、孙建军、胡伟、李琼林、吴永康、胡蓓、贺伟、钟佩军。

本文件为首次发布。

并联型低压有源电能质量治理设备电网适应性评价方法

1 范围

本标准规定了并联型低压有源电能质量治理设备电网适应性的评价要求、评价方法和评价报告。

本标准适用于1000V及以下电压等级的并联型低压有源电能质量治理设备，不适用于无源型电能质量治理设备。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2900.1 电工术语 基本术语

GB/T 12325 电能质量 供电电压偏差

GB 14048.1 低压开关设备和控制设备 第1部分:总则

GB 14048.11 低压开关设备和控制设备 第6-1部分:多功能电器 转换开关电器

GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波

GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡

GB/T 32507 电能质量术语

GB/T 35726 并联型有源电能质量治理设备性能检测规程

3 术语和定义

GB/T 2900.1、GB 14048.1、GB/T 14048.11中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

并联型有源电能质量治理设备 parallel active power quality curing device

一种基于电力电子变流器技术，用于动态无功补偿、谐波、和三相不平衡等电能质量治理的并联型补偿装置。

[来源：GB/T 35726—2017，3.1]

3.2

电网适应性 adaptability of the grid

设备适应接入点电压幅值及频率等参数变化的能力。

[来源：GB/T 35726—2017，3.4，有修改]

3.3

电压偏差 voltage deviation

实际电压与系统标称电压的偏差相对值，以百分数表示。

[来源：GB/T 12325—2008，3.4]

3.4

频率偏差 frequency deviation

频率偏差是指电力系统在正常运行条件下，系统频率的实际值与标称值之差。

[来源：GB/T 12325—2008，2.2]

3.5

谐波（分量） harmonic (component)

对周期性交流分量进行傅里叶级数分解，得到频率为基波频率大于1整数倍的分量。

[来源：GB/T 14549—1993，3.4]

3.6

电压不平衡 voltage unbalance

三相电压在幅值上不同或相位差不是120°，或兼而有之。

[来源：GB/T 15543—2008，3.1]

3.7

单次谐波电流补偿率 single harmonic current compensation ratio

设备接入前电网侧的 h 次谐波电流与接入后电网侧的 h 次谐波电流差值与设备接入前电网侧的 h 次谐波电流之比，用百分数表示。公式如下：

$$K_h = \left(\frac{I_h - I'_h}{I_h} \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中：

K_h ——单次谐波电流补偿率，单位为%；

I'_h ——接入设备后，电网侧 h 次谐波电流的方均根值，单位为安（A）；

I_h ——接入设备前，电网侧 h 次谐波电流的方均根值，单位为安（A）。

[来源：GB/T 35726—2017，3.2，有修改]

3.8

总谐波电流补偿率 total harmonic current compensation ratio

设备接入前电网侧被补偿的总谐波电流与接入后电网侧的总谐波电流差值与接入前电网侧的总谐波电流分量之比，用百分数表示。公式如下：

$$K_T = \left(\frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n I_h^2} - \sqrt{\sum_{h=2}^n I_h'^2}}{\sqrt{\sum_{h=2}^n I_h^2}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中：

K_T ——总谐波电流补偿率，单位为%；

[来源：GB/T 35726—2017，3.3，有修改]

3.9

设备响应时间 device response time

从输入采样信号开始突变至设备输出达到控制目标值的90%所需要的时间。
[来源：GB/T 35726—2017，3.7，有修改]

3.10

损耗率 loss ratio

设备运行的损耗功率与运行容量的比值。

3.11

谐波发射率 harmonic emission

设备主电路开关调制效应和死区效应产生的注入电网的总谐波与基波的相对值，以百分数表示。

4 总则

4.1 并联型低压有源电能质量治理设备电网适应性技术评价应以电能质量治理法律、法规、标准为依据，以达到国家、地方以及行业（专业）标准要求为前提，科学、客观、公正、公平地评价电能质量治理设备的电网适应性效果。

4.2 并联型低压有源电能质量治理设备电网适应性效果的评价包括设备损耗比指标、补偿度指标、响应时间指标、谐波发射特性指标，四项指标作为设备的独立指标分别进行评价，用于可在各指标评价基础上结合实际应用对各指标需求选取设备。

5 评价要求

5.1 一般规定

5.1.1 典型场景分类

对设备电网关键适应性指标进行分类，用于构建覆盖不同类适应性指标的典型电网场景，包括电压偏差、频率偏差、电压谐波及电压不平衡，具体试验场景分类见表1。

表1 典型适应性场景分类结果

适应性指标	序号	分级范围
电压偏差	I	三相供电电压偏差 0%~5%
	II	三相供电电压偏差 5%~10%
	III	三相供电电压偏差 10%~20%
	IV	三相供电电压偏差 20%~30%
	V	三相供电电压偏差 -5%~0%
	VI	三相供电电压偏差 -10%~-5%
	VII	三相供电电压偏差 -20%~-10%
	VIII	三相供电电压偏差 -30%~-20%

表1 典型适应性场景分类结果（续）

适应性指标	序号	分级范围
频率偏差	I	频率偏差 0Hz~0.1Hz
	II	频率偏差 0.1Hz~0.5Hz
	III	频率偏差 0.5Hz~2.5Hz
	IV	频率偏差 2.5Hz~5.0Hz
	V	频率偏差 -0.1Hz~0Hz
	VI	频率偏差 -0.5Hz~-0.1Hz
	VII	频率偏差 -2.5Hz~-0.5Hz
	VIII	频率偏差 -5.0Hz~-2.5Hz
电压谐波	I	电压总谐波畸变率 0%~5%
	II	电压总谐波畸变率 5%~10%
	III	电压总谐波畸变率 10%~15%
	IV	电压总谐波畸变率 15%~20%
电压不平衡	I	负序电压不平衡度 0%~1%
	II	负序电压不平衡度 1%~2%
	III	负序电压不平衡度 2%~10%
	IV	负序电压不平衡度 10%~20%
	V	零序电压不平衡度 0%~1%
	VI	零序电压不平衡度 1%~2%
	VII	零序电压不平衡度 2%~10%
	VIII	零序电压不平衡度 10%~20%

5.1.2 检测项目

本方法适用于拟连接到公用网络、工业网络和发电厂的并联型有源电能质量治理设备，具体检测项目见表2。

表2 检测项目

试验编号	试验项目
1	设备损耗测试
2	补偿性能测试
3	响应时间测试
4	谐波发射特性测试

5.1.3 测试电路和方法

测试电路和方法见附录A。

5.1.4 检测设备

试验用发生器应具有防止强骚扰发射的措施，如这些骚扰注入供电网络，则可能影响试验结果，试验发生器特性见附录B。

5.2 评价准则

5.2.1 设备损耗评价准则

根据5.1.1中设定的各类场景进行设备的损耗测试，各场景下设备损耗评价准则见表3。

表3 设备损耗评价准则

损耗比	评价结果	评价得分
$\leq 3\%$	非常适合	4
$3\% < \leq 4\%$	适合	3
$4\% < \leq 5\%$	一般适合	2
$> 5\%$	不适合	1

5.2.2 补偿度评价准则

根据5.1.1中设定的各类场景进行设备的补偿度测试，各场景下设备补偿度评价准则见表4。

表4 设备补偿度评价准则

补偿率	评价结果	评价得分
$\geq 95\%$	非常适合	4
$85\% \leq < 95\%$	适合	3
$75\% \leq < 85\%$	一般适合	2
$< 75\%$	不适合	1

5.2.3 响应时间评价准则

根据5.1.1中设定的各类场景进行设备的响应时间测试，各场景下设备响应时间评价准则见表5。

表5 设备响应时间评价准则

响应时间/ms	评价结果	评价得分
≤ 5	非常适合	4
$5 < \leq 20$	适合	3
$20 < \leq 40$	一般适合	2
> 40	不适合	1

5.2.4 谐波发射特性评价准则

根据5.1.1中设定的各类场景进行设备的谐波发射特性进行测试，各场景下设备电流谐波发射特性（以下简称“THD”）评价准则见表6。

表6 设备电流THD评价准则

电流THD	评价结果	评价得分
$\leq 1\%$	非常适合	4
$1\% < \leq 2\%$	适合	3
$2\% < \leq 5\%$	一般适合	2
$> 5\%$	不适合	1

6 评价方法

6.1 性能等级评定方法

基于一般评定方法，在各类场景下对并联型低压有源电能质量治理设备进行性能实测，测试指标包括设备损耗 E 、补偿度 M 、响应时间 T 、谐波发射特性 H ，获得针对不同场景下的测试结果作为因子的四个性能指标因素集 E 、 M 、 T 、 H ，取每个场景参数范围端点值和中间值的三次测试结果平均值为最终各指标测试结果。

6.2 综合等级评定方法

6.2.1 单场景适应性评价方法

基于性能等级评定方法以及某地区用户用电数据，建立针对不同场景下的 E 、 M 、 T 、 H 下级因子概率分布，并以此为根据确定各单一场景权重系数。单一场景概率分布特性见附录C。

根据6.1中各单一场景适应性测试结果和单类场景概率分布，可计算得到各类适应性场景下，各项性能指标得分，具体计算公式如下：

$$X = \sum a_i X_i \tag{3}$$

式中：

X ——分别代表 E 、 M 、 T 、 H ，表示设备损耗，补偿度、响应时间、谐波发射特性单类场景得分；

a_i ——第 i 个测试场景的分布概率，无量纲（某地区一年的概率分布）；

X_i ——第 i 个测试场景的某一指标得分，无量纲。

根据计算得到的单类场景指标的得分 X ，可进一步根据表7得到单类场景性能综合评价结果，分为“A” “B” “C” “D”，共计四档。

表7 单场景适应性指标等级评定表

评价结果	单场景单一性能得分
A	$3.5 \leq \leq 4.0$
B	$2.5 \leq < 3.5$
C	$1.5 \leq < 2.5$
D	$1.0 \leq < 1.5$

6.2.2 多场景适应性综合评价方法

用户根据不同应用需求选择多场景下各场景的权重系数，见附录D。

根据各类场景权重以及单类场景性能评价结果，计算设备各指标综合得分，具体计算公式如下：

$$Y = \sum e_i Y_i \tag{4}$$

式中：

Y ——分别代表 E 、 M 、 T 、 H ，表示设备损耗、补偿度、响应时间、谐波发射特性综合得分；

e_i ——当 $i=1, 2, 3, 4$ 时， e_i 分别表示电压偏差、频率偏差、电压谐波和电压不平衡的权重；

Y_i ——当 $i=1, 2, 3, 4$ 时， Y_i 分别表示电压偏差、频率偏差、电压谐波和电压不平衡的某一指标得分。

根据设备性能多场景综合打分 Y ，结合表8分别得出设备损耗、补偿度、响应时间、谐波发射特性的适应性等级评定结果，“A” “B” “C” “D”，共计四档。

表8 多场景适应性指标等级评定表

评价结果	多类场景性能得分
A	$3.5 \leq \leq 4.0$
B	$2.5 \leq < 3.5$
C	$1.5 \leq < 2.5$
D	$1.0 \leq < 1.5$

7 评价报告

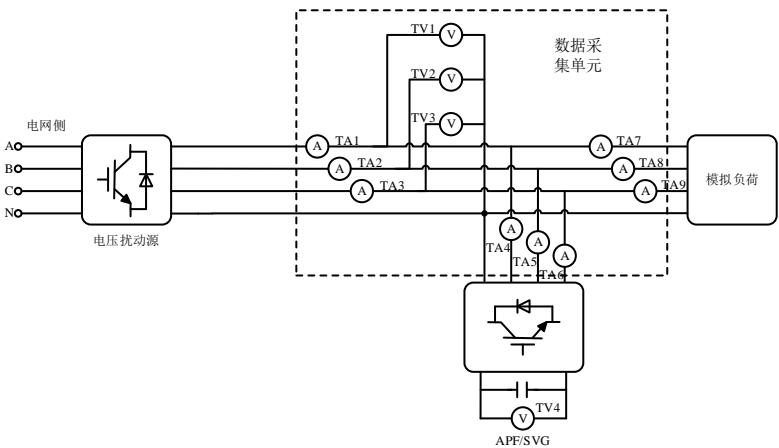
并联型低压有源电能质量治理设备电网适应性评价报告应至少包括：

- 并联型低压有源电能质量治理设备的主要性能参数；
- 并联型低压有源电能质量治理设备电网场景分类；
- 并联型低压有源电能质量治理设备电网所执行的标准；
- 并联型低压有源电能质量治理设备电网适应性评价试验；
- 设备能效指标；
- 补偿度指标；
- 响应时间指标；
- 谐波发射特性指标；
- 存在问题及整改建议；
- 综合评价结论；
- 附录（含测试方法、运行数据等）。

附录A
(资料性)
测试电路和测试方法

A. 1 测试接线

开展电网适应性评价测试时，检测系统电气接线及测量电气量如图A. 1所示。



图A. 1 电网适应性评价检测电气接线示意图

A. 2 设备能效测试方法

- a) 按照图A. 1所示测试原理图完成电网适应性测试系统接线；
- b) 据电压偏差、频率偏差、电压谐波及电压不平衡四种不同场景要求设置电网模型、电能质量治理设备的初始参数；
- c) 无功补偿类型设备、谐波治理设备、不平衡补偿类设备工作模式应设置为恒无功输出控制模式，并且工作于额定电压条件下；
- d) 设置装置输出基波额定感性电流，记录装置稳定运行1小时消耗的有功功率；
- e) 设置装置输出基波额定容性电流，记录装置稳定运行1小时消耗的有功功率；
- f) 装置在上述两种运行工况下消耗的有功功率平均值为装置的损耗值；
- g) 按照电压偏差、频率偏差、电压谐波及电压不平衡四种不同场景，更新电压扰动源控制指令以模拟不同电网场景，重复上述试验步骤d)～f)，直至完成所有预设场景下的测试。

A. 3 无功补偿性能测试方法

- a) 按照图A. 1所示测试原理图完成电网适应性测试系统接线；
- b) 根据电压偏差、频率偏差、电压谐波及电压不平衡四种不同场景要求设置电网模型以及电能质量治理设备的初始参数；
- c) 将受试设备工作模式设置为恒无功输出控制模式；

- d) 感性功率因数补偿试验时，设置电流扰动源只输出感性无功电流，使得接入点功率因素不高于0.85；
- e) 以0.95为功率因素补偿目标，测量补偿前和补偿后电网侧的有功功率和无功功率，计算补偿前后的功率因数；
- f) 容性功率因数补偿试验时，设置电流扰动源只输出容性无功电流，使得接入点功率因素不高于0.85；
- g) 以0.95为功率因素补偿目标测量补偿前和补偿后电网侧的有功功率和无功功率，计算补偿前后的功率因数；
- h) 测量补偿前和补偿后电网侧的功率因素，计算功率因素补偿率，并记录相关测试结果；
- i) 根据电压偏差、频率偏差、电压谐波及电压不平衡四种不同的测试场景，更新电压扰动源控制指令以模拟不同电网场景，重复上述试验步骤d)～h)，直至完成所有预设场景下的测试。
- j) 谐波补偿测试、不平衡补偿测试可根据用户选择进行测试。

A.4 响应时间测试方法

- a) 按照图A.1所示测试原理图完成电网适应性测试系统接线；
- b) 根据电压偏差、频率偏差、电压谐波及电压不平衡四种不同场景要求设置电网模型以及电能质量治理设备的初始参数；
- c) 设定受试设备为自动运行方式；
- d) 启动电流扰动源，设置电流扰动源输出5次谐波电流；
- e) 调节电流扰动源输出电流由0阶跃至装置额定电流；
- f) 测量系统侧、装置侧和负载侧电流波形，分析计算装置的补偿响应时间；
- g) 重复上述试验步骤e)～f)，直至在同一场景下完成3次测试，取3次试验结果的平均值对设备的响应时间进行评定，并记录相关测试结果；
- h) 根据电压偏差、频率偏差、电压谐波及电压不平衡四种不同的测试场景，更新电压扰动源控制指令以模拟不同电网场景，重复上述试验步骤e)～g)，直至完成所有预设场景下的测试。

A.5 谐波发射特性测试方法

- a) 按照图A.1所示测试原理图完成电网适应性测试系统接线；
- b) 根据电压偏差、频率偏差、电压谐波及电压不平衡四种不同场景要求设置电网模型以及电能质量治理设备的初始参数；
- c) 无功补偿类型设备、谐波治理设备、不平衡补偿类设备工作模式应设置为恒无功输出控制模式，并且工作于额定电压条件下；
- d) 按照容性、感性无功补偿目标分别开展试验，设备输出容量分别为20%、60%、100% I_N ，每种工况持续5min；
- e) 分别测量每次试验设备输出电流的THD值，取六次试验结果的平均值对设备的谐波发射水平进行评定，并记录相关测试结果；
- f) 根据电压偏差、频率偏差、电压谐波及电压不平衡四种不同的测试场景，更新电压扰动源控制指令以模拟不同电网场景，重复上述试验步骤d)～e)，直至完成所有预设场景下的测试。

附录B
（资料性）
试验发生器的特性

B.1 试验发生器

试验用发生器应具有防止强骚扰发射的措施，如这些骚扰注入供电网络，则可能影响试验结果，试验发生器特性见表B.1。

表B.1 试验发生器的特性

输出电压能力	$U_n \pm 50\% U_n$
三相电压不平衡度	0~20%
输出电压谐波	2~50次，可单次发生也可多次组合，电压THD _{max} ≥20%，幅值和相位可调；
频率调节范围	45~55Hz，分辨率为0.1Hz
电压准确度	±1%
过零点准确度	250 μs（在电压过零时）
输出电流能力	在试验电压范围内，根据EUT的类型发生器应能提供足够的电流。
实际电压的上过冲/下过冲	小于电压变化的5%
操作时电压上升（下降）时间	小于1ms
最大的相间误差（三相电源）	2.5°
频率准确度	f_n （50Hz或60Hz）的2.5%
测试系统短路比（SCR）	1~30
注：EUT指受试设备。	

附录C

(资料性)

单类场景概率分布

电压偏差、频率偏差、电压谐波、电压不平衡的各个分级概率分布数据可根据某地区一年中该四种场景的概率分布获得。

C.1 电压偏差概率分布

表C.1 电压偏差概率分布

电压偏差范围	-20%~-30%	-10%~-20%	-5%~-10%	0~-5%	0~5%	5%~10%	10%~0%	20%~30%
概率	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8

C.2 频率偏差概率分布

表C.2 频率偏差概率分布

频率偏差范围	-2.5Hz~-5Hz	-0.5Hz~-2.5Hz	-0.1Hz~-0.5Hz	0Hz~-0.1Hz	0Hz~0.1Hz	0.1Hz~0.5Hz	0.5Hz~2.5Hz	2.5Hz~5Hz
概率	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8

C.3 电压谐波概率分布

表C.3 电压谐波概率分布

电压谐波范围	0%~5%	5%~10%	10%~15%	15%~20%
概率	c_1	c_2	c_3	c_4

C.4 电压不平衡概率分布

表C.4 电压不平衡概率分布

电压不平衡范围	负序不平衡				电压零序不平衡			
	0%~1%	1%~2%	2%~10%	10%~20%	0%~1%	1%~2%	2%~10%	10%~20%
概率	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8

附录D

(资料性)

多场景权重系数

电压偏差、频率偏差、电压谐波、电压不平衡四种场景的权重由用户根据需要决定。各类场景权重系数见表D.1，本标准推荐值 $e_1=0.25$ ， $e_2=0.25$ ， $e_3=0.25$ ， $e_4=0.25$ ，可供参考。

表D.1 各类场景权重系数表

不同场景	电压偏差	频率偏差	电压谐波	负序/零序不平衡
权重	e_1	e_2	e_3	e_4