

ICS

点击此处添加中国标准文献分类号

T/CPSS

中国电源学会团体标准

T/CPSS XXXX—XXXX

低压配电网有源不平衡补偿装置

Low voltage distribution network active unbalance compensation device

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

（征求意见稿）

（本稿完成日期：2017.6.10）

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

中国电源学会 发布

目 次

前言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 型号命名与产品分类 3

 4.1 型号命名 3

 4.2 产品分类 4

 4.2.1 按装置的额定补偿容量分类 8

 4.2.2 按装置的额定电压等级分类 8

 4.2.3 按装置的使用场所分类 8

5 使用条件 8

 5.1 环境条件 8

 5.2 电网条件 9

6 技术要求 9

 6.1 结构 9

 6.2 元器件及辅件的选择与安装 9

 6.3 安全与防护 9

 6.3.1 外壳防护 9

 6.3.2 安全标识 9

 6.3.3 防护与接地 9

 6.4 电气间隙与爬电距离 10

 6.5 装置的介电性能 10

 6.6 保护及告警功能 10

 6.6.1 上电自检功能 10

 6.6.2 交流输入过电压、欠电压保护与告警 10

 6.6.3 交流过流保护与告警 10

 6.6.4 频率保护与告警 10

 6.6.5 缺相保护与告警 10

 6.6.6 散热系统异常保护与告警 10

 6.7 运行模式要求 10

 6.7.1 不平衡补偿 10

 6.7.2 无功补偿 10

 6.7.3 谐波补偿（可选） 11

6.7.4 混合补偿 11

6.8 运行性能要求 11

6.8.1 工作电压 11

6.8.2 补偿响应时间 11

6.8.3 补偿性能 11

6.8.3.1 不平衡补偿性能 11

6.8.3.2 无功补偿性能 11

6.8.3.3 谐波补偿性能 11

6.8.4 输出限流能力 11

6.8.5 谐波特性 12

6.8.6 温升 12

6.8.7 额定损耗 12

6.8.8 噪声 12

6.9 通信接口 12

6.10 电磁兼容性能 12

6.10.1 抗干扰能力 12

6.10.2 电磁骚扰特性 13

7 试验方法 13

7.1 试验条件 13

7.1.1 一般要求 13

7.1.2 试验电源条件 13

7.1.3 试验的标准大气条件 13

7.2 试验项目 13

7.2.1 外观及结构检查 14

7.2.2 外壳防护等级检验 14

7.2.3 安全标识、防护与接地检验 14

7.2.4 电气间隙与爬电距离检验 14

7.2.5 介电性能试验 14

7.2.6 保护及告警功能试验 14

7.2.7 运行性能试验 14

7.2.8 电磁兼容测试 17

7.2.9 环境温度性能试验（仅适用于室外型装置） 18

8 检验规则 18

8.1 试验分类 18

8.2 出厂试验 18

8.3 型式试验 19

9 标志、包装、运输、贮存 19

9.1 标志和随机文件 19

9.1.1 铭牌 19

9.1.2 随机文件 19

9.2 包装与运输 19

9.3 贮存 20

附录 A（资料性附录） 基于序功率的不平衡补偿原理..... 21

附录 B（资料性附录） 电流不平衡度计算方法..... 24

附录 C（资料性附录） 并联型有源不平衡补偿装置补偿需量计算..... 26

中国电源学会团体标准
征求意见稿

前 言

本标准由中国电源学会电能质量专委会提出并解释。

本标准起草单位：安徽大学、西安交通大学、中国电科院配电研究所、深圳市盛弘电气股份有限公司、西安爱科赛博电气股份有限公司、山东华天电气有限公司、亚洲电能质量产业联盟、安徽武怡电气科技有限公司、国网江苏省电力公司电力科学研究院、上海追日电气有限公司、北京英博电气股份有限公司、上海电器科学研究所（集团）有限公司、浙江方圆电气设备检测有限公司、清华大学、北京星航机电装备有限公司、上海电气集团股份有限公司、思源清能电气电子有限公司、苏州电器科学研究所股份有限公司、中达电通股份有限公司、中国质量认证中心。

本标准主要起草人：朱明星、卓放、雷万钧、吴鸣、刘帅、赵龙腾、李春龙、王启华、王德涛、王语洁、高敏、史明明、彭华良、马丰民、史贵凤、黄芳、耿华、赵东元、王新庆、王山山、王天宇、陈源、吴书涛、陈剑。

本标准首次发布。

低压配电网有源不平衡补偿装置

1 范围

本标准规定了低压配电网有源不平衡补偿装置（以下简称装置）的术语和定义、型号命名与产品分类、使用条件、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存等要求。

本标准适用于50Hz，额定工作电压不超过1 000V（1 140V）的低压配电系统中用于补偿三相不平衡的有源不平衡补偿装置。

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 2894-2008 安全标志及其使用导则
- GB/T 4208-2008 外壳防护等级（IP代码）
- GB 4824-2013 工业、科学和医疗（ISM）射频设备 骚扰特性 限值和测量方法
- GB/T 7251.1-2013 低压成套开关设备和控制设备 第1部分：总则
- GB/T 10233-2005 低压成套开关设备和电控设备基本试验方法
- GB/T 13384-2008 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 14715-1993 信息技术设备用不间断电源 通用技术条件
- GB/T 15576-2008 低压成套无功功率补偿装置
- GB/T 16935.1-2008 低压系统内设备的绝缘配合 第1部分：原理、要求和试验
- GB/T 17626.2-2006 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3-2006 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.4-2008 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 17626.5-2008 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）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
- JB/T 11067-2011 低压有源电力滤波装置

3 术语和定义

3.1

有源不平衡补偿装置 Active Unbalance Compensation Device （AUC）

利用电力电子变流技术补偿负载的基波不平衡电流（负序电流或零序电流），以消除或减少电网中的三相电流不平衡度，同时具备基波无功功率补偿功能的装置。

3.2

补偿电流需量 compensation current demand

针对特定的负载工况和装置补偿模式，装置需要输出的最大补偿电流大小，单位为安培（A）。

3.3

不平衡度 unbalance factor

指三相电力系统中三相不平衡的程度，用电压、电流负序基波分量或零序基波分量与正序基波分量的方均根值百分比表示。电压、电流的负序不平衡度和零序不平衡度分别用 、 和 、 表示。

[GB/T 15543-2008，定义3.2]

3.4

正序分量 positive-sequence component

将不平衡的三相系统的电量按对称分量法分解后其正序对称系统中的分量。

[GB/T 15543-2008，定义3.3]

3.5

负序分量 negative-sequence component

将不平衡的三相系统的电量按对称分量法分解后其负序对称系统中的分量。

[GB/T 15543-2008，定义3.4]

3.6

零序分量 zero-sequence component

将不平衡的三相系统的电量按对称分量法分解后其零序对称系统中的分量。

[GB/T 15543-2008，定义3.5]

3.7

补偿响应时间 compensation response time

从补偿对象开始突变到装置输出达到目标值的90%所需要的时间，如图1。

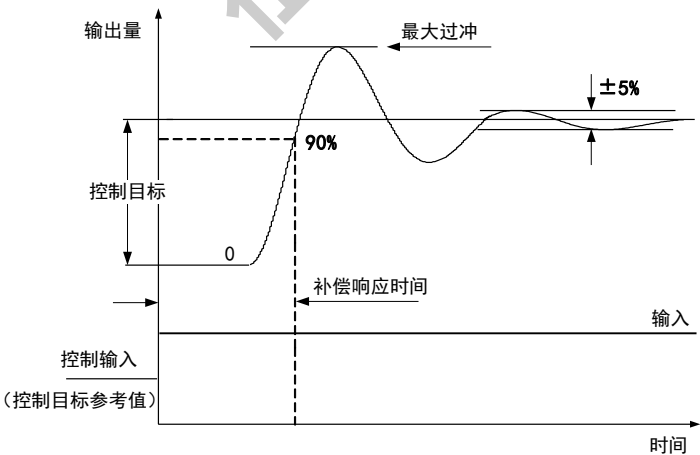


图1 补偿响应时间示意图

3.8

不平衡电流补偿率 unbalance current compensation rate

$$k_{\varepsilon}$$

装置接入后, 已被补偿的不平衡电流(零序电流或者负序电流)与负荷产生的不平衡电流之比, 用百分数表示。

$$k_{\varepsilon} = (1 - \frac{I_{\varepsilon,s}}{I_{\varepsilon,g}}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$I_{\varepsilon,s}$ ——注入系统的不平衡电流, 单位为安培(A);

$I_{\varepsilon,g}$ ——负荷产生的不平衡电流, 单位为安培(A)。

3.9

无功功率补偿率 reactive power compensation rate

$$k_q$$

装置接入后, 已被补偿的无功功率与负荷产生的无功功率之比, 用百分数表示。

$$k_q = (1 - \frac{Q_{q,s}}{Q_{q,g}}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$Q_{q,s}$ ——注入系统的无功功率, 单位为千乏(kvar);

$Q_{q,g}$ ——负荷产生的无功功率, 单位为千乏(kvar)。

3.10

谐波电流补偿率 harmonic current compensation rate

$$k_h$$

装置接入后, 已被补偿的h次谐波电流与负荷产生的h次谐波电流之比, 用百分数表示。

$$k_h = (1 - \frac{I_{h,s}}{I_{h,g}}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

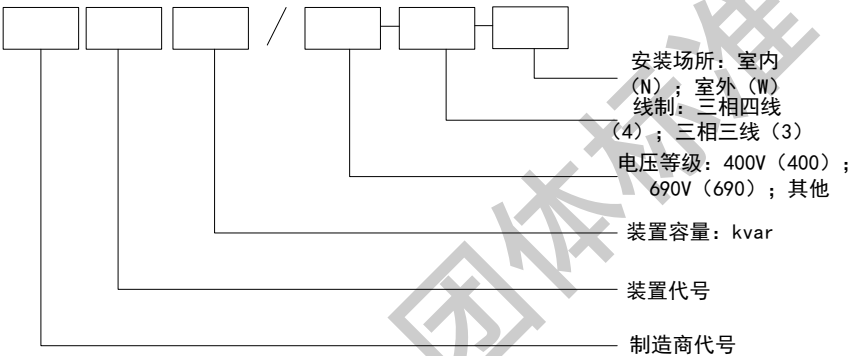
$I_{h,s}$ ——注入系统的h次谐波电流, 单位为安培(A);

$I_{h,g}$ ——负荷产生的 h 次谐波电流，单位为安培（A）。

4 型号命名与产品分类

4.1 型号命名

产品型号由制造商代号、装置代号、装置容量、电压等级、线制及安装场所等六部分组成。



示例：产品型号：XY150 / 400-3-W，表示制造商代号为 X、有源不平衡补偿装置代号为 Y、装置额定容量为 150kvar、电压等级为 400V、三相三线、室外型。

4.2 产品分类

4.2.1 按装置的额定补偿容量分类

25 kvar、50 kvar、75 kvar、100 kvar和150 kvar，其它容量值由用户与制造商商定。

4.2.2 按装置的额定电压等级分类

380 V（400 V）、660 V（690 V）和1 000 V（1 140 V），其它电压等级由用户与制造商商定。

4.2.3 按装置的使用场所分类

室内型和室外型。

5 使用条件

5.1 环境条件

- a) 环境温度：
 - 1) 室内型：-5℃~40℃，日平均温度不超过 35℃；
 - 2) 室外型：-25℃~+50℃，日平均温度不超过 35℃。
- b) 相对湿度：

- 1) 室内型：最高温度为+40℃时的相对湿度不超过 50%。在较低温度时允许有较高的相对湿度，例如，在+20℃时的相对湿度为 90%。宜考虑到由于温度的变化，有可能会偶尔产生适度的凝露。
- 2) 室外型：最高温度+25℃时，相对湿度短时可达 100%。
- c) 周围介质无爆炸及易燃、易爆危险，无腐蚀性气体，无导电尘埃；
- d) 海拔高度不超过 1 000 m（安装地点海拔高度超过 1 000 m 时，与之相关的温升限值、绝缘等应予以修正）；
- e) 安装地点无剧烈振动及颠簸，安装倾斜度不大于 5%；
- f) 污秽条件：GB/T16935.1-2008 中 2 级。

5.2 电网条件

- a) 电压波动范围不超过额定工作电压的 $\pm 20\%$ ；
- b) 频率变化范围不超过额定频率的 $\pm 2\%$ ；
- c) 电压不平衡度：负序分量或零序分量不超过正序分量的 10%。

6 技术要求

6.1 结构

装置的结构应符合 GB/T 15576-2008 中 6.1 的要求。

6.2 元器件及辅件的选择与安装

6.2.1

装置元器件及辅件的选择与安装应符合 GB/T 15576-2008 中 6.2 的要求。

6.2.2

装置的功率单元应优先考虑模块化设计、散热良好。

6.2.3

装置内导线连接应考虑信号干扰，并满足电磁兼容相关标准。

6.3 安全与防护

6.3.1 外壳防护

根据 GB/T 4208-2008 的要求，室内装置外壳的防护等级应不低于 IP20，室外装置外壳的防护等级应不低于 IP44。当装置采用通风孔散热时，通风孔的设置不应降低装置的防护等级。

6.3.2 安全标识

装置应根据 GB 2894-2008 及组成器件的要求明确相关警告标志和符号。

6.3.3 防护与接地

装置的防护与接地应符合 GB/T 15576-2008 中 6.9.1~6.9.7、6.9.9 的要求。

6.4 电气间隙与爬电距离

- a) 装置的电气间隙和爬电距离应符合 GB/T 15576-2008 中 6.6 的要求。
- b) 对于高海拔地区, 根据 GB/T 16935.1-2008 中表 A.2 的海拔修正系数表, 对所在海拔的装置电气间隙进行修正。

6.5 装置的介电性能

装置的介电性能应符合 GB/T 15576-2008 中 6.7 的要求。

6.6 保护及告警功能

6.6.1 上电自检功能

装置应具有上电自检功能, 自检异常时闭锁全部动作, 并发出告警信息。

6.6.2 交流输入过电压、欠电压保护与告警

交流输入电压高于过电压设定值或者低于欠电压设定值时, 装置应立即停止输出, 并给出告警指示。

6.6.3 交流过流保护与告警

装置输出电流超过保护电流设定值时, 装置应立即停止输出, 并给出告警指示。

6.6.4 频率保护与告警

装置输入频率低于欠频率设定值(该值应小于 49 Hz)时, 装置应立即停止输出, 并给出告警指示;

装置输入频率高于过频率设定值(该值应大于 51 Hz)时, 装置应立即停止输出, 并给出告警指示。

6.6.5 缺相保护与告警

装置检测到系统电压任何一相缺失时, 装置应立即停止输出, 并给出告警指示。

6.6.6 散热系统异常保护与告警

装置检测到内部散热系统异常, 装置应立即停止输出, 并给出告警指示。

6.7 运行模式要求

6.7.1 不平衡补偿

在此运行模式下, 装置应能在控制范围内, 实时监测跟踪电网目标点不平衡电流而输出相应不平衡补偿电流。

6.7.2 无功补偿

在此运行模式下, 装置应能在补偿能力范围内, 实时监测跟踪电网目标点控制参数的变化而输出相

应的无功功率。装置也应具备在控制范围内，通过人工设置恒定无功功率输出的功能。

6.7.3 谐波补偿（可选）

在此运行模式下，装置应能在补偿能力范围内，实时监测跟踪电网目标点谐波变化而输出相应谐波补偿电流。

具体要求由制造方与用户协商确定，可参照 JB/T 11067-2011。

6.7.4 混合补偿

在此运行模式下，装置应能在补偿能力范围内，可设置不平衡、无功等几种补偿方式的任意组合，并可设定补偿方式的优先级，以适应现场多工况的补偿需求。

6.8 运行性能要求

6.8.1 工作电压

装置与电网连接点正常工作电压变化范围允许值应在额定值的 $-20\% \sim +20\%$ ，但不限于此，可以根据电网条件进行要求。在要求的工作电压范围内装置应正常运行，当超过工作电压范围时装置应立即停止输出。

6.8.2 补偿响应时间

装置的补偿响应时间不大于 20 ms。

6.8.3 补偿性能

6.8.3.1 不平衡补偿性能

在装置的额定补偿容量范围内（补偿需量不低于额定补偿容量的 50%），补偿后的不平衡电流补偿率不低于 90%。

6.8.3.2 无功补偿性能

应在额定容性无功和额定感性无功之间连续调节，补偿需量不低于额定补偿容量 50%，补偿后的无功功率补偿率不低于 90%。

6.8.3.3 谐波补偿性能

装置的谐波补偿能力可由制造方与用户协商确定。

6.8.3.4 输出限流能力

当系统的补偿需量超过装置允许的最大输出能力时，装置自动限定输出电流至额定输出电流。

6.8.4 谐波特性

装置不进行谐波补偿时，额定容量下输出电流总谐波畸变率应小于 3%。

6.8.5 温升

温升限值应符合 GB/T 7251.1-2013 中 9.2 的要求。

6.8.6 额定损耗

装置额定损耗应不大于额定容量的 4%。

6.8.7 噪声

在额定负载和周围环境噪声不大于 40 dB 的条件下，距离噪声源水平位置 1 m 处，测得的装置噪声最大值不应大于 65 dB。

6.9 通信接口

装置应按用户需求选装 GPRS，RS485，RS232，WiFi 等通信接口，所支持的协议由生产制造厂家与用户自行协商。

6.10 电磁兼容性

6.10.1 抗干扰能力

6.10.1.1 承受射频电磁场辐射干扰的能力

装置应能承受 GB/T 17626.3-2006 中 5.2 规定的严酷等级为 3 级的射频电磁场辐射抗扰度试验。

试验中，装置允许出现性能丧失，但不允许改变操作状态或存储的数据。试验后，装置应能正常工作，且不允许性能降低或性能低于制造商指定的性能级别。

6.10.1.2 承受电快速瞬变脉冲群干扰的能力

装置的电源输入、采集输入以及通信端口应能承受 GB/T 17626.4-2008 中第 5 章规定的严酷等级为 3 级的电快速瞬变脉冲群抗扰度试验。

试验中，装置允许出现性能丧失，但不允许改变操作状态或存储的数据。试验后，装置应能正常工作，且不允许性能降低或性能低于制造商指定的性能级别。

6.10.1.3 承受阻尼振荡波干扰的能力

装置的电源输入、采集输入以及通信端口应能承受 GB/T 17626.18-2016 中第 5 章规定的严酷等级为 3 级的 1 MHz 和 100 kHz 阻尼振荡波抗扰度试验。

试验中，装置允许出现性能丧失，但不允许改变操作状态或存储的数据。试验后，装置应能正常工作，且不允许性能降低或性能低于制造商指定的性能级别。

6.10.1.4 承受静电放电干扰的能力

装置的人机界面、控制按键及控制系统的开门把柄应能承受 GB/T 17626.2-2006 中第 5 章规定的严酷等级为 3 级的静电放电抗扰度试验。

试验中，装置允许出现性能丧失，但不允许改变操作状态或存储的数据。试验后，装置应能正常工作，且不允许性能降低或性能低于制造商指定的性能级别。

6.10.1.5 承受浪涌（冲击）干扰的能力

装置应能承受 GB/T 17626.5-2008 中 5.2 规定的严酷等级为 3 级的浪涌（冲击）抗扰度试验。

试验中，装置允许出现性能丧失，但不允许改变操作状态或存储的数据。试验后，装置应能正常工作，且不允许性能降低或性能低于制造商指定的性能级别。

6.10.2 电磁骚扰特性

装置的运行产生的高频辐射对任何已获批准的无线电、电视、微波或其他运行设备的干扰应满足 GB4824-2013 中第 5 章的规定。

7 试验方法

7.1 试验条件

7.1.1 一般要求

装置的一切试验和测量，除另有规定外，均应在本标准 7.1.2 和 7.1.3 规定条件下进行。

7.1.2 试验电源条件

试验和测量所使用的交流电压的频率为 50 ± 1 Hz，电压的总谐波畸变率不超过 5%，电压偏差不超过 $\pm 3\%$ ，三相电压不平衡度不超过 0.5%。

7.1.3 试验的标准大气条件

试验的标准大气条件包括：

- a) 海拔：1 000 m 及以下；
- b) 环境温度：5℃～40℃；
- c) 相对湿度：45%～75%；
- d) 大气压力：86 kPa～106 kPa。

7.2 试验项目

7.2.1 外观及结构检查

用目测和仪器测量的方法进行检查装置的外观和结构，应满足本标准 6.1 和 6.2 的要求。

7.2.2 外壳防护等级检验

按 GB/T 4208-2008 规定的方法进行验证装置的防护等级，应满足本标准 6.3.1 的要求。

7.2.3 安全标识、防护与接地检验

检查装置的安全标识，应满足本标准 6.3.2 的要求。

采用接地电阻测试仪测量各接地点与主接地点间的电阻，其电阻值应满足本标准 6.3.3 的要求。

7.2.4 电气间隙与爬电距离检验

测量装置内不同极性或不同相的裸露带电体之间以及它们与地之间的电气间隙和爬电距离，其测量值应满足本标准 6.4 的要求。

7.2.5 介电性能试验

7.2.5.1 绝缘电阻测试

用电压不低于 500 V 的绝缘测量仪器进行绝缘电阻测量，测量部位为相导体与裸露导电体部件之间，其测量值应满足本标准 6.5 的要求。

7.2.5.2 工频耐压试验

按 GB/T 15576-2008 中 7.5.3 条规定的方法进行装置的工频耐压试验，在试验过程中，没有发生击穿或放电现象，则此项试验通过。

7.2.6 保护及告警功能试验

装置的保护及告警功能试验按照本标准 6.6 进行各种保护功能试验，进行试验时，应在主电路上模拟被保护装置的异常状态，或在二次回路上设定等价故障信号。保护装置在整定范围内应能正常动作且保护动作与保护设定值间误差小于 $\pm 5\%$ ，并按照本标准 6.6 发出相应告警信息。每种保护功能的试验次数不少于 3 次。

7.2.7 运行性能试验

7.2.7.1 试验平台

装置的试验平台示意图如图 2 所示，试验需配置负载扰动源，能根据试验需求产生无功电流、不平衡电流或谐波电流。

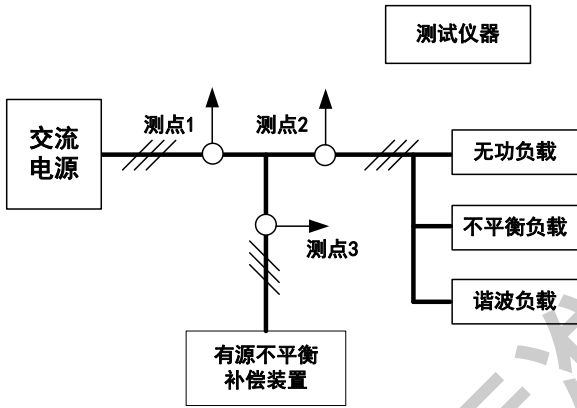


图3 试验平台示意图

试验所需的测试仪器应具备以下一项或多项测量功能（根据试验内容）：

- a) 三相电压、电流有效值及波形；
- b) 三相有功功率、无功功率、视在功率、功率因数；
- c) 三相电压、电流的不平衡分量和不平衡度；
- d) 2~50 次电压、电流谐波幅值及含有率。

7.2.7.2 工作电压范围试验

装置开机后，调节试验电压至装置下限正常工作电压和上限正常工作电压维持 1 min 以上，装置应能稳定运行，期间装置不应出现闭锁或退出运行。当调节试验电压超过工作电压范围时，装置应立即停止输出，试验结果应满足本标准 6.8.1 的要求。

7.2.7.3 补偿响应时间试验

补偿响应时间试验按以下步骤进行：

- a) 参考试验电路如图 2，试验负载为无功负载；
- b) 试验时，应保证负载处于工作状态，设置装置为自动无功补偿模式；
- c) 调节无功负载，使其阶跃输出装置额定容量的感性或容性无功功率；
- d) 在试验期间，用测试仪器分别测量测点 2 和测点 3 的电压、电流波形；
- e) 按照 3.7 的定义，根据记录的数据分析装置的补偿响应时间，应满足 6.8.2 的规定。

7.2.7.4 补偿能力试验

7.2.7.4.1 不平衡补偿能力试验

不平衡补偿能力试验按以下步骤进行：

- a) 参考试验电路如图 2，试验负载为三相不平衡负载；
- b) 试验时，应保证负载处于工作状态，设置装置为不平衡补偿模式；
- c) 调节不平衡负载，使其输出的不平衡电流分别为装置额定补偿容量的 50%、75%、100%；
- d) 测定每种工况下测点 1 和测点 2 的电流不平衡度，根据公式（1）计算不平衡电流补偿率，应满足 6.8.3.1 的要求。

7.2.7.4.2 无功补偿能力试验

无功补偿能力试验按以下步骤进行：

- a) 参考试验电路如图 2，试验负载为无功负载；
- b) 试验时，应保证负载处于工作状态，设置装置为无功补偿模式；
- c) 调节无功负载，使其输出的无功功率在装置额定容性无功功率和额定感性无功功率之间以 0.1 QN 级差进行设置；
- d) 测定每种工况下测点 1 和测点 2 的无功功率，根据公式 (2) 计算无功功率补偿率，应满足 6.8.3.2 的要求。

7.2.7.4.3 谐波补偿能力试验（可选）

谐波补偿能力试验按以下步骤进行：

- a) 参考试验电路如图 2，试验负载为谐波负载；
- b) 试验时，应保证负载处于工作状态，设置装置为谐波补偿模式；
- c) 调节谐波负载，使其输出的谐波电流分别为装置额定容量的 50%、75%、100%，且负载的谐波频次应至少包括 3、5、7、11、13 次；
- d) 测定每种工况下测点 1 和测点 2 的谐波电流，根据公式 (3) 计算谐波电流补偿率，应满足 6.8.3.3 的要求。

7.2.7.5 输出限流能力试验

输出限流能力试验按以下步骤进行：

- a) 参考试验电路如图 2，试验负载为无功负载；
- b) 试验时，应保证负载处于工作状态，设置装置为无功补偿模式；
- c) 调节无功负载，使装置输出最大补偿电流，然后继续增加无功负载的电流，装置应能自动限定输出电流，满足 6.8.4 的要求。

7.2.7.6 谐波特性试验

装置输出额定容性和感性无功，测量其输出电流谐波畸变率，应满足本标准 6.8.5 的规定。

7.2.7.7 温升试验

装置在额定容性无功或额定感性无功运行条件下，监测装置部件及连接点的温度以及周围空气温度，当温度变化连续 1 h 不超过 1 K/h 时，认为温度达到稳定，温升应满足标准 6.8.6 规定。

测量装置的周围空气温度时，至少应用两个温度计或热电偶均匀布置在装置的周围，在高度约等于装置的 1/2，距装置 1 m 远的位置进行测量，然后取它们读数的平均值即为装置的周围空气温度。测量时应防止空气流动和热辐射对测量仪器的影响。

7.2.7.8 损耗试验

损耗试验按以下步骤进行：

- a) 参考试验电路如图 2，试验负载为无功负载；
- b) 试验时，应保证负载处于工作状态，设置装置为无功补偿模式；
- c) 调节无功负载，使其输出的无功功率分别为装置额定容性无功功率和额定感性无功功率，各稳定运行 1 h。
- d) 测定每种工况下测点 3 的有功功率，计算装置在两种工况下的有功功率平均值，应满足 6.8.7 的要求。

7.2.7.9 噪声测试

在装置输出额定容量的无功功率、散热系统正常运行工况下，按照 GB/T 10233-2005 中 4.13 规定的测试方法进行试验，测量频率范围为 2~20 kHz 频段，测试结果应符合本标准 6.8.8 的要求。

7.2.8 电磁兼容测试

7.2.8.1 抗干扰试验

7.2.8.1.1 射频电磁场辐射抗扰度试验

按照 GB/T 17626.3-2006 中第 5 章的规定，对装置进行严酷等级为 3 级的射频电磁场辐射抗扰度试验，测试结果应符合本标准 6.10.1.1 的要求。

7.2.8.1.2 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

按照 GB/T 17626.4-2008 中 5.2 的规定，对装置进行严酷等级为 3 级的电快速瞬变脉冲群抗扰度试验，测试结果应符合本标准 6.10.1.2 的要求。

7.2.8.1.3 阻尼振荡波抗扰度试验

按照 GB/T 17626.18-2016 中第 5 章的规定，对装置进行严酷等级为 3 级的阻尼振荡波抗扰度试验，测试结果应符合本标准 6.10.1.3 的要求。

7.2.8.1.4 静电放电抗扰度试验

按照 GB/T 17626.2-2006 中第 5 章规定，对装置进行严酷等级为 3 级的静电放电抗扰度试验，测试结果应符合本标准 6.10.1.4 的要求。

7.2.8.1.5 浪涌（冲击）抗扰度试验

按照 GB/T 17626.5-2008 中 5.2 的规定，对装置进行严酷等级为 3 级的浪涌（冲击）抗扰度试验，测试结果应符合本标准 6.10.1.5 的要求。

7.2.8.1.6 电磁骚扰特性试验

按照 GB 4824-2013 的规定，对装置进行电磁骚扰特性试验。测试结果应符合本标准 6.10.2 的要求。

7.2.9 环境温度性能试验（仅适用于室外型装置）

将装置按本标准 5.1.1 规定的室外型的上下限温度要求进行该项试验。装置的控制保护系统、隔离电源和功率模块的附属板卡在全载运行工况下，分别在最低周围温度-25℃和高温环境空气温度 55℃的条件下，持续运行 24 h，性能正常。

8 检验规则

8.1 试验分类

产品试验一般分型式试验、出厂试验，试验项目见表 1。

表1 试验项目一览表

序号	项 目	技术要求	试验方法	试验分类	
				型式试验	出厂试验
1	外观与结构检查	6.1、6.2	7.2.1	√	√
2	外壳防护等级检验	6.3.1	7.2.2	√	
3	安全标识、防护与接地检验	6.3.2、6.3.3	7.2.3	√	√
4	电气间隙和爬电距离检验	6.4	7.2.4	√	
5	装置的介电性能试验	6.5	7.2.5	√	√
6	保护及告警功能试验	6.6	7.2.6	√	
7	运行性能试验	6.7	7.2.7	√	
8	工作电压范围试验	6.8.1	7.2.7.2	√	
9	补偿响应时间试验	6.8.2	7.2.7.3	√	
10	补偿能力试验	6.8.3	7.2.7.4	√	√
11	限流输出能力试验	6.8.4	7.2.7.5	√	
12	谐波特性试验	6.8.5	7.2.7.6	√	
13	温升试验	6.8.6	7.2.7.7	√	
14	损耗试验	6.8.7	7.2.7.8	√	
15	噪声测试	6.8.8	7.2.7.9	√	
16	电磁兼容测试	6.10	7.2.8	√	
17	环境温度性能试验	5.1.1	7.2.9	√	

8.2 出厂试验

装置的所有电器元件、仪器仪表等配套件，在组装前应检验其型号、规格等是否符合设计要求，并应具有出厂合格证明。

每台装置组装完成后均应进行出厂试验，出厂试验项目见表1。试验合格后，填写试验记录并签发出厂合格证明。

每台装置中有一项指标不符合要求，即为不合格，应进行返工。返工后应进行复试，直至全部指标符合要求，方可签发出厂合格证明。

8.3 型式试验

型式试验可在一台装置上或相同设计，但不同规格的装置上进行。型式试验产品应是经出厂试验合格的产品。

在下列任一情况下应进行型式试验：

- 连续生产的产品每 5 年进行一次型式试验；
- 设计、制造工艺或主要元器件改变，应对改变后首批投产的合格品进行型式试验；
- 新设计投产（包括转厂生产）的产品，应在生产鉴定前进行产品定型型式试验。

型式试验项目见表1。

进行型式试验时，达不到表1中型式试验项目任何一项要求时，判定该产品不合格。

型式试验不合格，则该产品应停产。直到查明并消除造成不合格的原因，且再次进行型式试验合格后，方能恢复生产。

进行定型型式试验时，允许对产品的可调部件进行调整，但应记录调整情况。设计人员应提出相应的分析说明报告，供鉴定时判定。

9 标志、包装、运输、贮存

9.1 标志和随机文件

9.1.1 铭牌

在产品铭牌上应标明：

- a) 产品名称；
- b) 产品型号；
- c) 产品额定值（应至少包括额定电压、额定频率、额定容量、质量、防护等级等项目）；
- d) 制造商名称；
- e) 制造日期（或其代码）；
- f) 产品编号。

9.1.2 随机文件

制造商应随机提供下列文件资料：

- a) 装箱清单；
- b) 安装与使用说明书；
- c) 产品合格证明。

9.2 包装与运输

产品包装与运输应符合GB/T 13384的规定。

产品运输、装卸过程中，不应有剧烈振动、冲击、不应倾倒倒置。

振动、冲击应符合GB/T 14715的规定。

9.3 贮存

产品不得暴晒或淋雨，应存放在空气流通、周围介质温度为 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、空气最大相对湿度不超过90 %（空气温度 $+20\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时）、无腐蚀性气体的仓库中。

中国电源学会团体标准
征求意见稿

附 录 A
(资料性附录)
基于序功率的不平衡补偿原理

对于三相对称系统，当三相负荷电流不平衡时，不平衡电流注入系统时会在系统阻抗上产生对应的不平衡电压。根据对称分量法可计算出各相电压和相电流的序分量（正序、负序和零序分量），得到三相电压和电流与各负分量的对应关系分别见式（A.1）和式（A.2）所示：

$$\begin{cases} \dot{U}_A = \dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0} \\ \dot{U}_B = \dot{U}_{B1} + \dot{U}_{B2} + \dot{U}_{B0} = \alpha^2 \dot{U}_{A1} + \alpha \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0} \\ \dot{U}_C = \dot{U}_{C1} + \dot{U}_{C2} + \dot{U}_{C0} = \alpha \dot{U}_{A1} + \alpha^2 \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (\text{A.1})$$

$$\begin{cases} \dot{I}_A = \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0} \\ \dot{I}_B = \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2} + \dot{I}_{B0} = \alpha^2 \dot{I}_{A1} + \alpha \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0} \\ \dot{I}_C = \dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2} + \dot{I}_{C0} = \alpha \dot{I}_{A1} + \alpha^2 \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (\text{A.2})$$

式中：

$\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$ ——ABC三相的基波电压；

$\dot{I}_A$ 、 $\dot{I}_B$ 、 $\dot{I}_C$ ——ABC三相的基波电流；

$\dot{U}_{A1}$ 、 $\dot{U}_{B1}$ 、 $\dot{U}_{C1}$ ——ABC三相的基波正序电压；

$\dot{I}_{A1}$ 、 $\dot{I}_{B1}$ 、 $\dot{I}_{C1}$ ——ABC三相的基波正序电流；

$\dot{U}_{A2}$ 、 $\dot{U}_{B2}$ 、 $\dot{U}_{C2}$ ——ABC三相的基波负序电压；

$\dot{I}_{A2}$ 、 $\dot{I}_{B2}$ 、 $\dot{I}_{C2}$ ——ABC三相的基波负序电流；

$\dot{U}_{A0}$ 、 $\dot{U}_{B0}$ 、 $\dot{U}_{C0}$ ——ABC三相的基波零序电压；

$\dot{I}_{A0}$ 、 $\dot{I}_{B0}$ 、 $\dot{I}_{C0}$ ——ABC三相的基波零序电流；

α ——旋转因子， $\alpha = e^{j120^\circ}$ 。

以 A 相为例，其复功率 $\tilde{S}_A$ 计算式见式（A.3）：

$$\begin{aligned} \tilde{S}_A &= P_A + jQ_A = \dot{U}_A \dot{I}_A^* = (\dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}) \times (\dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0})^* \\ &= \dot{U}_{A1} \dot{I}_{A1}^* + \dot{U}_{A1} \dot{I}_{A2}^* + \dot{U}_{A1} \dot{I}_{A0}^* + \dot{U}_{A2} \dot{I}_{A1}^* + \dot{U}_{A2} \dot{I}_{A2}^* + \dot{U}_{A2} \dot{I}_{A0}^* + \dot{U}_{A0} \dot{I}_{A1}^* + \dot{U}_{A0} \dot{I}_{A2}^* + \dot{U}_{A0} \dot{I}_{A0}^* \quad \dots\dots\dots (\text{A.3}) \end{aligned}$$

同理，结合式 A.1 和 A.2 可分别计算出 B 相和 C 相的复功率，见式（A.4）～式（A.6）：

$$\begin{aligned}\tilde{S}_B &= P_B + jQ_B = \dot{U}_B \dot{I}_B^* = (\alpha^2 \dot{U}_{A1} + \alpha \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}) \times (\alpha^2 \dot{I}_{A1} + \alpha \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0})^* \\ &= \dot{U}_{A1} \dot{I}_{A1}^* + \alpha \dot{U}_{A1} \dot{I}_{A2}^* + \alpha^2 \dot{U}_{A1} \dot{I}_{A0}^* + \alpha^2 \dot{U}_{A2} \dot{I}_{A1}^* + \dot{U}_{A2} \dot{I}_{A2}^* + \alpha \dot{U}_{A2} \dot{I}_{A0}^* + \alpha \dot{U}_{A0} \dot{I}_{A1}^* + \alpha^2 \dot{U}_{A0} \dot{I}_{A2}^* + \dot{U}_{A0} \dot{I}_{A0}^* \dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots (A.4)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tilde{S}_C &= P_C + jQ_C = \dot{U}_C \dot{I}_C^* = (\alpha \dot{U}_{A1} + \alpha^2 \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}) \times (\alpha \dot{I}_{A1} + \alpha^2 \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0})^* \\ &= \dot{U}_{A1} \dot{I}_{A1}^* + \alpha^2 \dot{U}_{A1} \dot{I}_{A2}^* + \alpha \dot{U}_{A1} \dot{I}_{A0}^* + \alpha \dot{U}_{A2} \dot{I}_{A1}^* + \dot{U}_{A2} \dot{I}_{A2}^* + \alpha^2 \dot{U}_{A2} \dot{I}_{A0}^* + \alpha^2 \dot{U}_{A0} \dot{I}_{A1}^* + \alpha \dot{U}_{A0} \dot{I}_{A2}^* + \dot{U}_{A0} \dot{I}_{A0}^* \dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots (A.5)\end{aligned}$$

当三相负荷不平衡时，单相功率中电压和电流不同序分量之间的功率（如正序电压和负序电流）不为 0，导致 $S_A \neq S_B \neq S_C$ ，但其三相总功率之和为 0。三相总复功率计算见式（A.6）：

$$\tilde{S} = \tilde{S}_A + \tilde{S}_B + \tilde{S}_C = 3\dot{U}_{A1} \dot{I}_{A1}^* + 3\dot{U}_{A2} \dot{I}_{A2}^* + 3\dot{U}_{A0} \dot{I}_{A0}^* \dots\dots\dots (A.6)$$

装置仅补偿不平衡电流时，通过补偿负荷的三相不平衡电流分量，使 ABC 各相中的零序电流分量和负序电流分量均为 0，即使 $\tilde{S}_A = \tilde{S}_B = \tilde{S}_C = \dot{U}_{A1} \dot{I}_{A1}^*$ ，且三相总功率为 $\tilde{S} = \tilde{S}_A + \tilde{S}_B + \tilde{S}_C = 3\dot{U}_{A1} \dot{I}_{A1}^*$ ，实现三相之间的功率平衡。

装置同时补偿不平衡电流和无功功率时，补偿后系统的各相功率为 $\tilde{S}_A = \tilde{S}_B = \tilde{S}_C = U_{A1} I_{A1} \cos \varphi$ ，三相总功率为 $\tilde{S} = \tilde{S}_A + \tilde{S}_B + \tilde{S}_C = 3U_{A1} I_{A1} \cos \varphi$ ，式中 φ —— U_{A1} 和 I_{A1} 的功率因数角。

为便于对上述公式的理解，构造一个三相负荷不平衡的配电系统，三相基波电压电流和功率，以及电压和电流各序分量之间的功率计算情况分别见表 A.1 和表 A.2。

表A.1 基波电压电流和功率计算报表

分量		电压		电流		功率				
		幅值(V)	相位(°)	幅值(A)	相位(°)	功率角(°)	功率因数	P(kW)	Q(kvar)	S(kVA)
相	A	208.100	-86.783	303.440	-142.720	55.936	0.560	35.370	52.311	63.146
	B	204.720	150.660	199.430	118.670	31.990	0.848	34.628	21.630	40.828
	C	197.840	24.106	351.920	14.768	9.338	0.987	68.699	11.296	69.621
	Σ	/					0.852	138.697	85.237	162.795

表A.2 电压和电流各序分量之间的功率计算报表

电压	电流	有功功率 (kW)				无功功率 (kvar)			
		A 相	B 相	C 相	Σ	A 相	B 相	C 相	Σ
零序 电压	零序电流	-0.235	-0.235	-0.235	-0.705	-0.133	-0.133	-0.133	-0.399
	正序电流	1.384	-2.736	1.352	0	2.360	0.018	-2.378	0
	负序电流	-0.627	0.975	-0.349	-0.001	0.764	0.160	-0.925	-0.001
	合计	0.522	-1.996	0.768	-0.706	2.991	0.045	-3.436	-0.400
正序 电压	零序电流	-5.478	2.602	2.876	0	-0.158	4.823	-4.665	0
	正序电流	47.267	47.267	47.267	141.801	29.140	29.140	29.140	87.420
	负序电流	-3.956	-15.055	19.011	0	19.668	-13.260	-6.408	0
	合计	37.833	34.814	69.154	141.801	48.650	20.703	18.067	87.420
负序 电压	零序电流	0.123	0.149	-0.272	0	-0.243	0.228	0.015	0
	正序电流	-2.310	2.460	-0.150	0	1.507	1.247	-2.754	0
	负序电流	-0.800	-0.800	-0.800	-2.400	-0.594	-0.594	-0.594	-1.782
	合计	-2.987	1.809	-1.222	-2.400	0.670	0.881	-3.333	-1.782
总计		35.368	34.627	68.701	138.696	52.311	21.629	11.297	85.237

由表A.1和表A.2可以看出，由于不同相中的负序电流（或零序电流）与正序电压之间产生的功率有正有负，但三相功率之和为0，因此有源不平衡补偿装置仅通过补偿不平衡电流即可实现三相功率的平衡。

附录 B

(资料性附录)

电流不平衡度计算方法

B.1 幅值和相位均已知的情况

对于三相电流的幅值和相位均已知的情况下，可采用对称分量法计算不平衡电流及不平衡度，见公式 (B.1)～式 (B.3) 所示：

$$\begin{cases} I_0 = \frac{1}{3} |\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C| \\ I_1 = \frac{1}{3} |\dot{I}_A + \alpha \dot{I}_B + \alpha^2 \dot{I}_C| \\ I_2 = \frac{1}{3} |\dot{I}_A + \alpha^2 \dot{I}_B + \alpha \dot{I}_C| \end{cases} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

I_0 ——零序电流；

I_1 ——正序电流；

I_2 ——负序电流；

α ——旋转因子， $\alpha = e^{j120^\circ}$ 。

其中，负序不平衡度 ε_{I_2} 计算如下：

$$\varepsilon_{I_2} = \frac{I_2}{I_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

零序不平衡度 ε_{I_0} 计算如下：

$$\varepsilon_{I_0} = \frac{I_0}{I_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

B.2 幅值已知但相位不确定的情况

当三相电流相位未知的情况下，工程应用中常采用以下四种不平衡度计算方法，见公式 (B.4)～式 (B.7)：

$$\varepsilon_1 = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{I_{mid} - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\max\{|I_A - I_{ave}|, |I_B - I_{ave}|, |I_C - I_{ave}|\}}{I_{ave}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

$$\varepsilon_4 = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{ave}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.7)$$

式中：

I_{max}——三相电流有效值中的最大值，单位为 A；

I_{min}——三相电流有效值中的最小值，单位为 A；

I_{mid}——三相电流有效值中的中间值，单位为 A；

I_{ave}——三相电流有效值的平均值，单位为 A；

I_A、I_B、I_C——ABC 三相电流的有效值。

附录 C

(资料性附录)

并联型有源不平衡补偿装置补偿需量计算

C.1 不平衡电流补偿需量计算

设补偿前三相负载电流为 I_A 、 I_B 、 I_C ，补偿后以 $I_{av} = I'_A = I'_B = I'_C = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C)$ 为目标，则补偿三相不平衡的电流需量为，见公式 (C.2)：

$$I_{UN} = \max \{ |I_A - I_{av}|, |I_B - I_{av}|, |I_C - I_{av}| \} \quad \text{..... (C.1)}$$

亦可用负序电流和零序电流作为计算依据，此时的不平衡补偿电流需量为，见公式 (C.2)：

$$I_{UN} = \sqrt{I_2^2 + I_0^2} \quad \text{..... (C.2)}$$

式中：

I_2 ——负序电流，单位为 A；

I_0 ——零序电流，单位为 A。

C.2 无功电流补偿需量计算

无功电流补偿需量计算公式 (C.3) 为：

$$I_Q = \frac{P}{\sqrt{3}U_N} (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad \text{..... (C.3)}$$

式中：

I_Q ——无功电流，单位为 A；

φ_1 ——补偿前功率因数角；

φ_2 ——补偿后功率因数角；

P ——有功功率，单位为 kW；

U_N ——电网标称电压，单位为 kV。

C.3 总补偿电流需量计算

上述补偿电流需量均为正交关系，当无功、三相不平衡都需要补偿时，总的补偿电流需量计算方法，见公式（C.4）所示：

$$I_C = \sqrt{(I_{UN})^2 + (I_Q)^2} \dots\dots\dots (C.4)$$

式中：

I_C ——总的补偿电流需量，单位为 A；

I_{UN} ——需补偿的三相不平衡电流，单位为 A；

I_Q ——需补偿的无功电流，单位为 A。

中国电源学会团体标准
征求意见稿