

ICS 01.040.29  
CCS K 46

# 团 体 标 准

T/CPSS 1001—2024

## 快速换相型三相不平衡治理装置技术规范

**Technical specification for three-phase unbalance  
mitigation devices with rapid phase-switching**

2024-09-05 发布

2024-09-06 实施

中国电源学会发布

# 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 一般要求 .....	2
5 使用条件 .....	2
6 结构要求 .....	3
7 功能要求 .....	3
8 性能要求 .....	4
9 设计验证 .....	5
10 例行检查 .....	9
附录 A（资料性） 换相单元的基本构成及其工作原理 .....	11
附录 B（资料性） 换相切换时间 .....	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。

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这些专利的责任。

本文件由中国电源学会提出并归口。

本文件起草单位：南方电网电力科技股份有限公司、广东电网有限责任公司广州供电局电力试验研究院、中国电力科学研究院有限公司、云南电网有限责任公司电力科学研究院、广东电网有限责任公司电力科学研究院、云南电网有限责任公司文山供电局、广西电网有限责任公司电力科学研究院、国网安徽省电力有限公司电力科学研究院、山东康润电气股份有限公司、亚洲电能质量产业联盟、山东华天电气有限公司、广东铍电测控技术有限公司、威胜信息技术股份有限公司、广州炫通电气科技有限公司、四川大学、华北电力大学、国网河北省电力有限公司电力科学研究院。

本文件主要起草人：唐酿、黄明欣、周凯、唐鹏、赵勇帅、杜婉琳、冯跃、姚知洋、倪静怡、陈津、王语洁、王德涛、栾浩东、刘志勇、林俊浩、陈韵竹、袁敞、周昊。

本文件为首次发布。



# 快速换相型三相不平衡治理装置技术规范

## 1 范围

本文件规定了快速换相型三相不平衡治理装置的一般要求、使用条件、结构要求、功能要求、性能要求、设计验证、例行检查等技术内容。

本文件适用于交流1 kV及以下的快速换相型三相不平衡治理装置。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 4208 外壳防护等级（IP代码）
- GB/T 7251.1—2023 低压成套开关设备和控制设备 第1部分：总则
- GB/T 7261 继电保护和安全自动装置基本试验方法
- GB/T 11287 电气继电器 第21部分：量度继电器和保护装置的振动、冲击、碰撞和地震试验 第1篇：振动试验（正弦）
- GB/T 14537 量度继电器和保护装置的冲击与碰撞试验
- GB/T 15291 半导体器件 第6部分：晶闸管
- GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测试技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测试技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
- 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 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
- GB/T 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度
- GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验
- 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
- GB/T 21711.1 基础机电继电器 第1部分：总则与安全要求
- DL/T 630—2020 交流采样远动终端技术条件

## 3 术语和定义

以下术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 快速换相 **rapid phase-switching**

将负荷供电相别由一相快速、平稳切换至另一相的技术。

### 3.2

#### 快速换相型三相不平衡治理装置 **three-phase unbalance mitigation devices with rapid phase-switching**

由一个控制单元和若干个换相单元组成，通过控制单元控制换相单元自动快速调节单相用电负荷相别，使相应低压线路的用电负荷在三相上基本平衡分布的装置。

注：以下简称装置。

### 3.3

#### 控制单元 **control unit**

具备设备运行状态监测、发出换相指令等功能的设备，是装置的组成部分之一。可以独立存在，也可以集成在其他智能终端设备中。

### 3.4

#### 换相单元 **phase-switching unit**

由晶闸管、继电器等电力电子器件的组合构成，具备信息采集、接收控制单元发出的指令、将单相负荷在三相之间切换等功能的设备，是装置的组成部分之一。

### 3.5

#### 换相切换时间 **phase-switching interval**

换相单元将单相负荷从原工作相断开到现工作相接通的时间。

## 4 一般要求

### 4.1 装置组成

装置组成如图1所示。控制单元应安装在配电变压器出线端，换相单元应安装在低压供电回路单相负荷、或单相分支线前端。换相单元的内部结构见附录A。

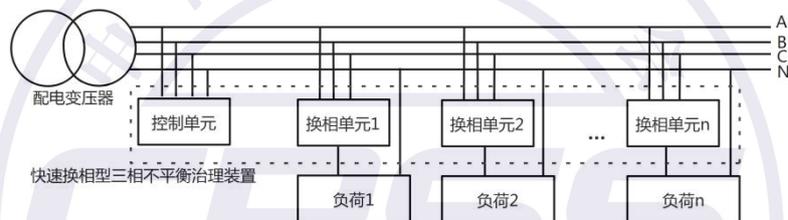


图1 装置组成示意图

### 4.2 电气接线

换相单元应采用三相输入、单相输出接线方式。

## 5 使用条件

### 5.1 正常使用条件

#### 5.1.1 温度条件

周围空气温度不超过40℃，且在24h内的平均温度不超过35℃。  
周围空气温度的下限为-25℃。

#### 5.1.2 湿度条件

最高温度25℃时，相对湿度短时可达100%。

#### 5.1.3 污染等级

污染等级应满足GB/T 7251.1—2023中7.1.2污染等级3的要求。

#### 5.1.4 海拔

海拔高度应不超过2000m。

注：对于在更高海拔处使用的设备，要考虑节点强度的降低、器件的分段能力和空气冷却效果的减弱。

#### 5.1.5 安装地点条件

安装处应无剧烈振动以及无不适宜电气设备运行的条件。

### 5.1.6 安装电气环境

安装处系统电压波动范围应不超过额定输入电压的80%~120%，频率变化范围应不超过49 Hz~51 Hz。

### 5.2 特殊使用条件

如存在与5.1不符或符合GB/T 7251.1—2023中7.2所述的任何一个特殊使用条件，用户应向装置制造商提出，并和装置制造商签订专门的协议。

## 6 结构要求

### 6.1 材料和部件强度

#### 6.1.1 防腐蚀

装置表面涂覆的颜色应均匀一致，无明显的色差和眩光，表面应无砂粒、起皱和流痕等缺陷；装置的所有金属固件均应有合适的镀层，镀层应不脱落、变色及生锈。

#### 6.1.2 振动（正弦）

装置应能承受GB/T 11287规定的严酷等级为I级的振动耐久能力试验。

#### 6.1.3 冲击

装置应能承受GB/T 14537规定的严酷等级为I级的冲击耐受试验。

#### 6.1.4 碰撞

装置应能承受GB/T 14537规定的严酷等级为I级的碰撞试验。

### 6.2 装置防护等级

装置防护等级应不低于IP54。

### 6.3 电器元件和辅件的选择

装入装置的所有独立电器元件和辅件应符合本文件和相关元器件标准的规定，其中，晶闸管应符合GB/T 15291的规定，继电器应符合GB/T 21711.1的规定。

## 7 功能要求

### 7.1 数据采集

7.1.1 控制单元应具有采集三相电压不平衡度、三相电流不平衡度、三相有功功率、无功功率、功率因数、频率等功能。

7.1.2 换相单元应具有采集有功功率、无功功率、功率因数、频率、电流总谐波畸变率等数据，并能识别当前工作相的功能。

### 7.2 控制

7.2.1 控制单元应能控制一台或多台换相单元实现换相操作。

7.2.2 换相单元应支持自动控制和手动控制，自动控制和手动控制应互锁。

### 7.3 通信

7.3.1 控制单元应具有支持与远方主站通信的功能，具有可通过网络实现装置遥控、遥测和遥信的功能。

7.3.2 换相单元应具有支持与控制单元通信的功能。

## 7.4 保护

### 7.4.1 相序保护

控制单元或换相单元相序错误时，应禁止一切换相。

### 7.4.2 电能质量保护

换相单元输出端功率因数低于设定值或电流总谐波畸变率超过设定值时，应禁止换相动作。

### 7.4.3 防相间短路

换相单元应具备相应的硬件和软件闭锁功能，防止运行和换相过程中出现相间短路。

### 7.4.4 过载防护闭锁

换相单元应具有过流闭锁防护功能，在负载电流大于额定电流2倍时，换相单元进入闭锁状态。

### 7.4.5 失电保护

换相单元应具有失电保护功能，当工作相失电后，换相单元能自动将负载切换到有电相，不影响用户用电。

## 8 性能要求

### 8.1 换相切换时间

换相切换时间应不大于1 ms。换相切换时间的计算方法见附录B。

### 8.2 换相涌流

换相单元在换相动作过程中的涌流应不大于2倍的额定电流。

### 8.3 数据采集精度

额定工况下，电压和电流有效值测量误差应不超过 $\pm 1\%$ ，有功功率、无功功率和功率因数测量误差应不超过 $\pm 2\%$ 。

### 8.4 通信距离

控制单元与换相单元之间无线通讯有效传输距离在空旷无障碍物时应不小于4 000 m，在有障碍物时应不小于1 000 m。

### 8.5 失电保护动作时间

当工作相失电后，换相单元将负载切换到有电相的时间应不大于1 s。

### 8.6 噪声

换相单元在正常工作时换相过程中距换相单元边缘水平位置前、后、左、右1 m处的噪声声压等级应不大于55 dB(A)。

### 8.7 寿命

#### 8.7.1 机械寿命

换相单元在空载进行换相动作，应能承受不少于100 000次的换相投切而不损坏。

#### 8.7.2 电气寿命

换相单元在接入额定阻性负载进行换相动作，应能承受不少于10 000次的换相投切而不损坏。

### 8.8 过载能力

装置应能在1.2倍额定电流下连续工作2 h。

## 8.9 介电性能

### 8.9.1 绝缘电阻

正常试验大气条件下,装置的外引端子带电部分和外露导电部分及外壳之间、电气上无联系的各电路之间绝缘电阻应不小于100 M $\Omega$ 。

湿热试验大气条件下,装置的外引端子带电部分和外露导电部分及外壳之间、电气上无联系的各电路之间绝缘电阻应不小于10 M $\Omega$ 。

### 8.9.2 工频耐压

装置应能满足GB/T 7251.1—2023中9.1.2的要求。

装置各带电的导电电路对地之间和电气上无联系的各带电的导电电路之间应能承受不小于2 500 V、1 min的工频耐受电压。

### 8.9.3 冲击电压

装置应能满足GB/T 7251.1—2023中9.1.3的要求。

主电路和直接从主电路引入额定电压的辅助电路和控制电路的冲击耐受电压应不小于5 kV。

## 8.10 电磁兼容性

### 8.10.1 静电放电抗扰度能力

装置应能满足GB/T 17626.2中4级的要求。

### 8.10.2 射频电磁场辐射抗扰度能力

装置应能满足GB/T 17626.3中3级的要求。

### 8.10.3 电快速瞬变脉冲群抗扰度能力

装置应能满足GB/T 17626.4中3级的要求。

### 8.10.4 浪涌抗扰度能力

装置应能满足GB/T 17626.5中3级的要求。

### 8.10.5 射频场感应的传导骚扰抗扰度能力

装置应能满足GB/T 17626.6中3级的要求。

### 8.10.6 工频磁场抗扰度能力

装置应能满足GB/T 17626.8中3级的要求。

### 8.10.7 阻尼振荡波抗扰度能力

装置应能满足GB/T 17626.18中3级的要求。

## 8.11 温升

装置应能满足GB/T 7251.1—2023中9.2的要求。

## 9 设计验证

### 9.1 通则

为验证装置是否符合标准及设计的要求,应进行设计验证。设计验证应包括以下项目:

- a) 材料和部件的强度验证;
- b) 装置的防护等级验证;
- c) 电器元件和辅件的选择验证;
- d) 数据采集功能验证;

- e) 控制功能验证;
- f) 通信功能验证;
- g) 保护功能验证;
- h) 换相切换时间测试;
- i) 换相涌流测试;
- j) 数据采集精度测试;
- k) 通信距离测试;
- l) 失电保护动作时间测试;
- m) 噪声测试;
- n) 寿命测试;
- o) 过载能力验证;
- p) 介电性能验证;
- q) 电磁兼容性验证;
- r) 温升测试;
- s) 环境温度性能试验;
- t) 输入电源波动试验。

## 9.2 材料和部件强度验证

### 9.2.1 耐腐蚀性

按GB/T 7251.1的规定进行测试,验证是否符合6.1.1的要求。

### 9.2.2 耐振动性

按GB/T 11287的规定进行测试,验证是否符合6.1.2的要求。

### 9.2.3 耐冲击性

按GB/T 14537的规定进行测试,验证是否符合6.1.3的要求。

### 9.2.4 耐碰撞性

按GB/T 14537的规定进行测试,验证是否符合6.1.4的要求。

## 9.3 装置防护等级验证

防护等级按GB/T 4208的规定进行测试,验证是否符合6.2的要求。

## 9.4 电器元件和辅件的选择验证

电器元件和辅件的性能应经初始制造商检查确认,并检查是否满足6.3的要求。

## 9.5 数据采集功能验证

分别给控制单元施加电压和电流,验证控制单元采样数据是否符合7.1的要求;  
分别给换相单元施加电压和电流,验证换相单元采样数据是否符合7.1的要求。

## 9.6 控制功能验证

控制单元、换相单元在正确接入测试电压、电流之后,改变控制单元和换相单元的控制模式设定,验证是否符合7.2的要求。

- a) 将换相单元设定为自动控制模式,从控制单元选择指定换相单元执行换相操作,换相单元应能根据控制单元的换相指令自动换相。
- b) 将换相单元设定为手动模式,换相单元应不执行控制单元换相指令,手动操作换相单元应能换相。

## 9.7 通信功能验证

### 9.7.1 远程通讯功能验证

控制单元与测试用服务器软件程序建立通讯，验证是否符合7.3的要求。

- a) 服务器能获取远端控制单元上传的指定数据(如控制单元、换相单元的三相相电压、三相相电流、功率、三相电流不平衡度等)。
- b) 从服务器端专用软件对终端装置执行遥控、遥测操作，远端装置应能准确、及时响应。

### 9.7.2 短距通讯功能试验

控制单元与换相单元正常建立通信后，验证是否符合7.3的要求。

- a) 从控制单元进入换相单元实时状态查询页面，选择指定设备号的换相开关，进入查询页面可实时显示当前换相单元处负载情况，包括实时电压、电流、潮流方向、工作相等状态信息。
- b) 换相单元应能准确响应控制单元轮询、控制指令。

## 9.8 保护功能验证

### 9.8.1 相序保护功能试验

将控制单元逆序，观察控制单元响应，验证是否满足7.4.1的要求。

将换相单元接入与控制单元不一致的相序，观察控制单元、换相单元响应，验证是否满足7.4.1的要求。

### 9.8.2 电能质量保护功能试验

在换相单元输入端施加额定电压、输出端接入感性负载或容性负载(功率因数<设定值)，验证是否满足7.4.2的要求。

在换相单元输入端施加额定电压、输出端接入谐波负载(电流总谐波畸变率>设定值)，验证是否满足7.4.2的要求。

### 9.8.3 防相间短路功能试验

在换相单元输入端施加额定电压、输出端接入工作相电压，换相单元从当前工作相切换至指定非工作相前，向换相单元输出端施加工作相电压，向换相单元下发换相指令，验证是否满足7.4.3的要求。

### 9.8.4 过载防护闭锁功能试验

在换相单元输入端施加额定电压、输出端接入大于额定电流2倍的负载电流，验证是否满足7.4.4的要求。

### 9.8.5 失电保护功能试验

在换相单元输入端施加额定电压、输出端施加额定阻性负载，当工作相失电或包含工作相的某两相失电时，验证是否满足7.4.5的要求。

## 9.9 换相切换时间测试

在换相单元输入端施加额定电压、输出端接入试验负载，负载电流在额定电流范围内，执行换相动作，使用示波器监视输出端电压波形，测量换相切换时间，验证是否满足8.1的要求。

## 9.10 换相涌流测试

在换相单元输入端施加额定电压、输出端接入额定负载(功率因数不小于0.9)，执行换相动作，使用示波器监视输出端电压波形，测量换相瞬间产生的涌流，验证是否满足8.2的要求。

## 9.11 数据采集精度测试

在控制单元和换相单元分别施加不同的电压和电流，验证测量误差是否满足8.3的要求。测量误差计算公式按照DL/T 630—2020中6.2.3的规定执行。

### 9.12 通信距离测试

控制单元与换相单元正常建立通信后，改变控制单元与换相单元距离，验证是否符合8.4的要求。

### 9.13 失电保护动作时间测试

在换相单元输入端施加额定电压、输出端施加额定阻性负载，当工作相失电或包含工作相的某两相失电时，测量装置供电中断的时间，验证是否符合8.5的要求。

### 9.14 噪声测试

按8.6的要求进行测试，验证噪声是否满足要求。

### 9.15 寿命测试

#### 9.15.1 机械寿命检验

在空载状态下，操作换相单元连续换相动作，验证动作次数是否符合8.7.1的要求。

#### 9.15.2 电气寿命检验

在额定阻性负载下，操作换相单元连续换相动作，验证动作次数是否符合8.7.2的要求。

### 9.16 过载能力验证

施加1.2倍额定电流，持续2小时，持续时间结束后，装置测量控制、切换功能正常。

### 9.17 介电性能验证

#### 9.17.1 绝缘电阻测试

根据被测试回路额定电压等级分别用开路电压250 V或500 V的兆欧表测量其绝缘电阻值，验证装置绝缘电阻是否符合8.9.1的要求。

#### 9.17.2 工频耐压测试

按GB/T 7251.1的规定进行测试，验证是否满足8.9.2的要求。

#### 9.17.3 冲击电压测试

按GB/T 7251.1的规定进行测试，验证是否满足8.9.3的要求。

### 9.18 电磁兼容检验

#### 9.18.1 静电放电抗扰度检验

按GB/T 17626.2的规定进行测试，验证是否符合8.10.1的要求。

#### 9.18.2 射频电磁场辐射抗扰度检验

按GB/T 17626.3的规定进行测试，验证是否符合8.10.2的要求。

#### 9.18.3 电快速瞬变脉冲群抗扰度检验

按GB/T 17626.4的规定进行测试，验证是否符合8.10.3的要求。

#### 9.18.4 浪涌抗扰度检验

按GB/T 17626.5的规定进行测试，验证是否符合8.10.4的要求。

#### 9.18.5 射频场感应的传导骚扰抗扰度检验

按GB/T 17626.6的规定进行测试，验证是否符合8.10.5的要求。

#### 9.18.6 工频磁场抗扰度检验

按GB/T 17626.8的规定进行测试，验证是否符合8.10.6的要求。

### 9.18.7 阻尼振荡波抗扰度检验

按GB/T 17626.18的规定进行测试，验证是否符合8.10.7的要求。

### 9.19 温升测试

装置输入端接入额定电压，环境温度为24.5℃，持续工作2h，验证是否符合8.11的要求。

### 9.20 环境温度性能试验

#### 9.20.1 高温运行检验

按GB/T 7261中规定的试验程序和试验方法进行，环境温度为40℃，试验持续2h，验证装置是否能正常工作。

#### 9.20.2 低温运行检验

按GB/T 7261中规定的试验程序和试验方法进行，环境温度为-25℃，试验持续2h，验证装置是否能正常工作。

### 9.21 输入电源波动试验

#### 9.21.1 交流输入电压波动试验

装置输入端接入80%~120%额定电压波动的输入电压，验证装置是否能正常工作。

#### 9.21.2 交流输入频率波动试验

装置输入端接入49 Hz~51 Hz频率波动的输入电压，验证装置是否能正常工作。

## 10 例行检查

### 10.1 通则

每一台装置都应进行例行检验，检验应包括以下项目，表1中给出了各检验项目的对应条款：

- a) 材料和部件强度验证；
- b) 控制功能验证；
- c) 换相切换时间测试；
- d) 介电性能验证。

表1 验证和检验项目清单

序号	验证和检验项目	依据条款	
		设计验证	例行检验
1	材料和部件的强度验证	9.2	10.2
2	装置的防护等级验证	9.3	—
3	电器元件和辅件的选择验证	9.4	—
4	数据采集功能验证	9.5	—
5	控制功能验证	9.6	10.3
6	通信功能验证	9.7	—
7	保护功能验证	9.8	—
8	换相切换时间测试	9.9	10.4
9	换相涌流测试	9.10	—
10	数据采集精度测试	9.11	—
11	通信距离测试	9.12	—
12	失电保护动作时间测试	9.13	—
13	噪声测试	9.14	—
14	寿命测试	9.15	—
15	过载能力验证	9.16	—
16	介电性能验证	9.17	10.5

表 1 验证和检验项目清单（续）

序号	验证和检验项目	依据条款	
		设计验证	例行检验
17	电磁兼容性检验	9.18	—
18	温升测试	9.19	—
19	环境温度性能试验	9.20	—
20	输入电源波动试验	9.21	—

## 10.2 材料和部件强度验证

用目测检查以确认是否满足6.1.1的规定。用随机抽样方式检查以确认螺钉和螺栓的连接是否紧固。

## 10.3 控制验证

主控制器、换相开关在正确接入测试电压、电流之后，将换相单元设定为自动控制模式，从控制单元选择指定换相单元执行换相操作，若换相单元能根据控制单元的换相指令自动换相，则认为通过该测试。

## 10.4 换相切换时间试验

按9.9的规定，对装置进行换相切换时间试验。

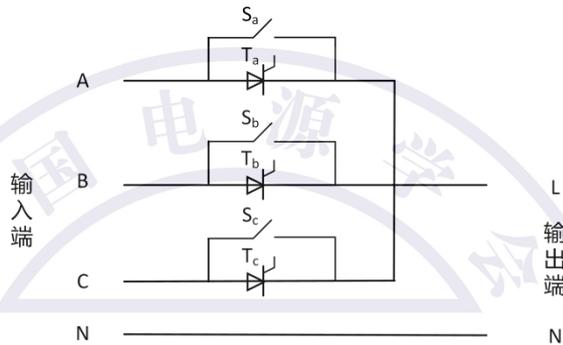
## 10.5 介电性能验证

按9.17的规定，测量装置的绝缘电阻，但只需在正常试验大气条件下测试。



附录 A  
(资料性)  
换相单元的基本构成及其工作原理

基于换相技术的三相不平衡调节原理是：在三相四线制的低压配电网中，由于分别连接到电网A、B、C三相上的各单相负荷时空分布不均匀导致电网三相电流不平衡，通过换相单元将部分单相负荷由一相快速、平稳地切换至另一相，使得三相负荷近似平衡。换相单元的基本构成见图A.1。



说明：  
S——继电器  
T——晶闸管

图A.1 换相单元的基本构成

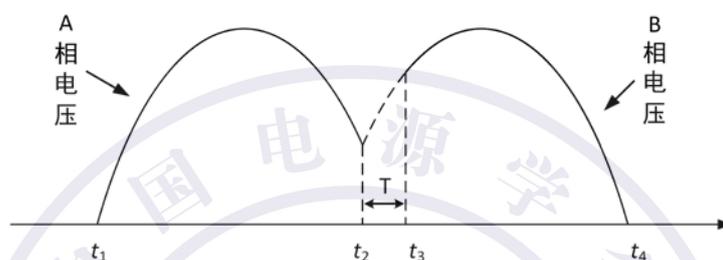
正常工作时，换相单元中的继电器闭合在某一相（工作相）上。

当换相单元接收到换相指令后，立刻进行换相操作。换相操作顺序为：工作相晶闸管导通、工作相继电器跳开、工作相晶闸管关断、目标相晶闸管导通、目标相继电器闭合、目标相晶闸管关断。

注：工作相是指换相前负荷的供电相别。目标相是指换相后负荷的供电相别。

附录 B  
(资料性)  
换相切换时间

换相单元将负荷由A相切换到B相的时序过程如图B.1所示。换相单元原工作相为A相，此时换相单元输入端的A相与输出端的L线稳定连通，向负荷侧供电。



图B.1 换相时序图

- $t_1$ : 换相单元执行换相指令起始时刻，此时换相单元输出端的L线仍与A相连通。  
 $t_2$ : 换相切换起始时刻，此时换相单元输出中断。  
 $t_3$ : 换相切换结束时刻，此时换相单元输出端的L线转换为与B相连通。  
 $t_4$ : 换相单元输入端B相与输出端L线稳定连通，换相完成。  
 换相切换时间 $T=t_3-t_2$ 。