

ICS XX XXX

CCS X XX

团体标准

T/CIECCPA XXX—202X

高压直流输电可控换相换流阀技术要求

Technological requirements of controllable line-commutated converter (CLCC)

valves for HVDC power transmission

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国业节能与清洁生产协会 发布

СЛЕДСТВИЕ

目 次

目 次.....	I
前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
3.1.....	1
3.2.....	1
3.3.....	2
3.4.....	4
3.5.....	4
3.6 控制系统.....	4
4 符号和缩略语.....	5
4.1 符号.....	5
4.2 下标.....	6
4.3 缩略语.....	6
5 使用条件.....	6
6 技术要求.....	6
6.1 一般要求.....	7
6.2 IGBT 元件要求.....	7
6.3 技术参数.....	8
6.4 控制方法.....	11
附录 A.....	11
附录 B.....	15
参考文献.....	17

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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：国网智能电网研究院有限公司、中电普瑞电力工程有限公司、北京龙腾蓝天科技有限公司、国网内蒙古东部电力有限公司内蒙古超特高压分公司、国网四川省电力有限公司电力科学研究院、国网湖北省电力有限公司电力科学研究院、国网湖北省电力有限公司直流公司、国网福建省电力有限公司电力科学研究院、国网福建省电力有限公司超高压分公司。

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

高压直流输电可控换相换流阀技术要求

1 范围

本文件规定了输送电压在±100kV以上的直流输电系统用可控换相换流阀的一次电路、控制方法、技术参数、换流阀结构形式等内容。

本文件适用于输送电压在±100kV以上的直流输电系统用可控换相换流阀的设计的依据。

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

IEC 60027 (所有部分) 电工技术用文字符号 (Letter symbols to be used in electrical technology)

GB/T 13498 高压直流输电术语

GB/T 36559-2018 高压直流输电用晶闸管阀

GB/Z 30424-2013 高压直流输电晶闸管阀设计导则

GB/T 30425-2013 高压直流输电换流阀水冷却设备

DL/T 2121—2020 高压直流输电换流阀冷却系统化学监督导则

T/CEC 297.1~297.5—2020 高压直流输电换流阀冷却技术规范

T/CEEIA 490—2020 高压直流换流阀阀塔内冷系统用橡胶制品技术条件

GB/T20990.1—2020 高压直流输电晶闸管阀 第1部分:电气试验

GB/T 37010-2018 柔性直流输电换流阀技术规范

3 术语和定义

GB/T 13498-2017、GB/T 36559-2018、GB/Z 30424-2013界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

可控换相换流器 controllable line commutated converter, CLCC

通过半控、全控型电力电子器件混联构成的混合型换流器。

3.2

可控换相换流阀 controllable line commutated converter valve

半控器件与全控器件组合的电子开关设备，正常情况下可单向(正向)导电，在可控换相换流器(3.1)中，通过全控器件主动关断能力能够实现换流臂功能。

3.3

3.3.1

主支路 main branch

换流阀的主通流支路，由晶闸管阀与全控阀串联组成，具备将电流主动转移至辅助支路的能力。

3.3.2

辅助支路 auxiliary branch

与主支路并联的支路，可承接主支路转移过来的电流，具备主动关断电流并提供换相电压的能力。

3.3.3

主支路晶闸管（子）阀 Main branch thyristor (sub) valve

高压大电流阀，主要由晶闸管器件串联组成，每级晶闸管并联阻尼电容电阻回路构成，其结构形式可参考 GB/Z 30424-2013 中的相关规定。

3.3.4

主支路全控（子）阀 Main branch fully controlled (sub) valve

由 IGBT 阀组件串联构成主支路 IGBT（子）阀，同时串联二极管阀组件或串联晶闸管阀组件，之后并联旁路晶闸管组件串联的旁路晶闸管（子）阀构成。

3.3.5

辅助支路全控（子）阀 Auxiliary branch fully controlled (sub) valve

高压小电流阀，由 IGBT 串联组成并联阻尼电容电阻回路。

3.3.6

辅助支路晶闸管（子）阀 Auxiliary branch thyristor (sub) valve

主要由晶闸管器件串联组成，每级晶闸管并联阻尼电容电阻回路。

3.3.7

晶闸管组件 Thyristor module

晶闸管组件结构形式可参考 GB/Z 30424-2013 中的相关规定。

3.3.8

晶闸管级 Thyristor level

晶闸管组件结构形式可参考 GB/Z 30424-2013 中的相关规定。

3.3.9

二极管组件 Diode module

二极管组件由一个或若干个二极管级串联组成。

3.3.10

二极管级 Diode level

二极管级由二极管及其并联阻尼电阻和阻尼电容构成。。

3.3.11

IGBT 组件 IGBT module

IGBT组件由一个或若干个IGBT级串联组成。

3.3.12

IGBT 级 IGBT level

IGBT级由IGBT、反并联二极管（若有），缓冲回路用并联阻尼电阻、并联阻尼电容及快速恢复二极管组成。

3.3.13

主避雷器 Main arrester

并联在整个单阀两端，保证在任何工况下晶闸管免受损坏。

3.3.14

主支路全控阀避雷器 Main branch fully controlled valve arrester

并联在主支路IGBT子阀两端，主动关断电流时能够为主支路晶闸管（子）阀晶闸管提供反压。

3.3.15

辅助支路全控阀避雷器 Auxiliary branch full control valve arrester

并联在辅助支路全控（子）阀两端，主动关断大电流时能够建立强迫换相电压。

3.3.16

辅助支路晶闸管阀避雷器 Auxiliary branch Thyristor valve arrester

并联在辅助支路晶闸管（子）阀两端，保证在任何工况下晶闸管免受损坏。

3.3.17

主饱和电抗器 Main branch saturation reactor

与主支路晶闸管（子）阀晶闸管串联，用于限制开通电流上升率和断态电压，保证主支路晶闸管（子）阀晶闸管正常工作。

3.3.18

辅饱和电抗器 Auxiliary branch saturation reactor

与辅助支路晶闸管（子）阀晶闸管串联，用于限制开通电流上升率和断态电压，保证辅助支路晶闸管（子）阀晶闸管正常工作。

3.3.19

IGBT 高电位板卡 IGBT High potential board card

为IGBT提供控制、保护、监控等功能，同时具备自取能功能的电子电路板卡。

3.4

最大关断电流水平 Maximum turn-off current

逆变侧故障期间产生的最大直流电流峰值。

3.5

逆变侧短路电流水平 short circuit current on the inverter side

换流器处于逆变运行状态时任何故障造成的最大短路电流，主支路 IGBT 子阀、辅助支路 IGBT 子阀和晶闸管子阀需承受。

3.6 控制系统

3.6.1

LCC 运行模式 Line-commuted converter operating mode

可控换相换流器桥臂主支路全控（子）阀保持关断状态，与其并联的旁路晶闸管（子）阀投入运行，与主支路晶闸管（子）阀同时触发导通；辅助支路保持关断状态；各桥臂主支路以常规高压直流换流阀方式运行，自然换相。

3.6.2

CLCC 运行模式 Controllable line commutated converter operating mode

可控换相换流器桥臂主支路全控（子）阀及辅助支路投入运行，主支路全控阀旁路晶闸管（子）阀闭锁。根据交流系统是否发生交流故障，可控换相换流阀分两种时序运行。

3.6.3

小电流关断运行时序

未检测到交流故障时，主支路全控（子）阀关断时刻为桥臂电流下降至设定电流参考值时，辅助支路关断时刻按照主支路全控（子）阀关断时刻延时确定。

3.6.4

固定延时控制运行时序

检测到交流故障后，主支路全控阀（ V_{N2} ）在换相开始时刻即另外一个参与换相的桥臂导通信号下达时关断，交流故障期间主支路全控阀（ V_{N2} ）关断时刻及辅助支路晶闸管阀（ V_{N4} ）开通与辅助支路全控阀（ V_{N3} ）关断时刻整体前移，相对于主支路全控阀（ V_{N2} ）关断时刻的延迟时间（ ΔT_{d_off} ）不变。

4 符号和缩略语

GB/T 13498-2017、GB/T 36559-2018、GB/Z 30424-2013界定的以及下列符号和缩略语适用于本文件。

4.1 符号

下列符号适用于本文件。

I_{N1}	主支路电流
I_{N2}	辅助支路电流
I_{d_off}	主支路关断电流参考值
V_{Nj}	主/辅助支路晶闸管/全控（子）阀

V_{N2D}	主支路串联二极管（子）阀
V_{N2T}	主支路串联晶闸管（子）阀
V_{N2P}	主支路旁路晶闸管（子）阀
ARR_N	主避雷器
ARR_{N2}	主支路全控子阀避雷器
ARR_{N3}	辅助支路全控子阀避雷器
ARR_{N4}	辅助支路晶闸管子阀避雷器
L_{SR}	主饱和电抗器
L_{FSR}	辅饱和电抗器
ΔT_{d_off}	辅助支路全控阀相对于主支路全控阀关断的延迟时间
CP_{Nj}	主/辅助支路晶闸管/全控（子）阀触发脉冲信号
C_{dj}	主/辅助支路晶闸管/全控（子）阀阻尼电容
R_{dj}	主/辅助支路晶闸管/全控（子）阀阻尼电阻
R_{dcj}	主/辅助支路晶闸管/全控（子）阀直流均压电阻
N_{ij}	主/辅助支路晶闸管/全控（子）阀单阀中晶闸管/IGBT级总数
N_{ij}	主/辅助支路晶闸管/全控（子）阀单阀中晶闸管/IGBT级冗余数
P_{Tj}	主/辅助支路晶闸管/全控（子）阀总损耗

4.2 下标

- N 桥臂编号，取值范围1~6
- j 桥臂子阀编号，取值1~4，1对应主支路晶闸管子阀，2对应主支路全控子阀，3对应辅助支路全控子阀，4对应辅助支路晶闸管子阀

4.3 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CLCC	可控换相换流器(Controllable Line-commutated Converter)
VBEC	可控换相换流阀控设备 (Controllable Valve Base Electronics)
FOP	晶闸管/IGBT级过电压保护
HPC	高电位板卡
CTE	IGBT级例行测试装置 (Controllable-Line-Commutated Converter Test Equipment)

5 使用条件

适用条件参考GB/T 36559-2018、GB/Z 30424-2013中的相关规定。

6 技术要求

6.1 一般要求

可控换相换流阀单阀包含 V_{N1} - V_{N4} 四个子阀，换流阀的主支路由大电流晶闸管子阀 V_{N1} 与 IGBT 子阀 V_{N2} 串联构成，辅助支路由小电流 IGBT 子阀 V_{N3} 和晶闸管子阀 V_{N4} 串联构成，换相阶段辅助支路暂时承接主回路电流，为晶闸管阀提供足够的关断时间，恢复桥臂阻断能力。

可控换相换流阀应具备可控换相运行模式和常规电网换相换流器运行模式，两种运行模式应可以在线切换，且不影响直流系统的正常运行；若可控换相换流阀因内部故障主动切换至常规晶闸管换流器运行模式，应通过阀控上报运行模式状态。

可控换相换流阀应具有承受正常运行电压和电流的能力,还应具有承受由于可控换相换流阀的触发系统误动或站内各部分故障或交流系统故障造成的冲击电压和电流的能力。可控换相换流阀应设计成故障容许型。在两次计划检修之间的运行周期内，可控换相换流阀元部件的故障或损坏不会造成更多晶闸管/IGBT 级的损坏。

可控换相换流阀应采用低噪声元件，以降低可控换相换流阀在运行时的噪声水平

可控换相换流阀设计应保证结构合理、运行可靠、维修方便。

可控换相换流阀设计考虑参考 GB/T 36559-2018、GB/Z 30424-2013 中的相关规定。

——可控换相换流阀主要组成元件(参见附录 A)的类型、参数和数量(包含冗余)：晶闸管、IGBT、二极管、阻尼回路的阻尼电阻器、阻尼电容器和快速恢复二极管、阀电抗器、晶闸管/IGBT 控制单元、恢复期保护单元(若有)、多模星型耦合器(若有)、阀段电容器(若有)、子阀避雷器(若有)、阀避雷器(若有)直流均压电阻器等；

——阀塔安装方式：参考 GB/T 36559-2018、GB/Z 30424-2013 中的相关规定；

——阀塔结构：参考 GB/T 36559-2018、GB/Z 30424-2013 中的相关规定；

——可控换相换流阀电压耐受应力：参考 GB/T 36559-2018、GB/Z 30424-2013 中的相关规定；

——电压不均匀分布系数：可控换相换流阀内晶闸管/IGBT 级之间以及 V_{Nj} 子阀在交流电压、直流电压、操作冲击电压、雷电冲击电压和陡波前冲击电压下的电压不均匀分布系数；

——可控换相换流阀电流应力：参考 GB/T 36559-2018、GB/Z 30424-2013 中的相关规定；

——可控换相换流阀损耗：参考 GB/T 36559-2018、GB/Z 30424-2013 中的相关规定；

——可控换相换流阀保护：包括避雷器保护、正向过电压保护、反向恢复期保护、IGBT 短路失效保护、旁路保护等；

——阀基电子设备控制、IGBT 高电位板卡控制、监视和保护设计；

——可控换相换流阀冷却系统型式和相关技术参数：参考 GB/T 36559-2018、GB/Z 30424-2013 中的相关规定。

6.2 IGBT 元件要求

V_{N2} 子阀每只 IGBT 元件应具备承担最大持续运行电流、过负荷电流及暂态冲击电流的能力，若系统暂态电流水平超过 IGBT 元件承受范围，可采取器件并联或投入旁路晶闸管子阀的方式。

V_{N2} 和 V_{N3} 子阀 IGBT 故障模式应为短路失效模式，一级 IGBT 发生故障不会影响其他 IGBT 正常运行，在冗余 IGBT 级没有耗尽的前提下，IGBT 阀可以长期运行，直至停电检修更换故障 IGBT 元件。

6.3 技术参数

6.3.1 阀的暂态过电压能力

阀的暂态过电压能力可参考GB/T 36559-2018、GB/Z 30424-2013中的相关规定。

可控换相换流阀制造商或承包商应向用户提供参考GB/T 36559-2018中表3所列的单阀技术参数。

可控换相换流阀制造商或承包商应向用户提供表1和表2所列的 V_{Ni} 子阀技术参数。

表1 V_{Ni} 子阀技术参数表

序号	项目	单位	参数值 (可控换相换流阀制造商或承包商填写)
1	运行状态（整流/逆变）	-	
2	稳态运行时的滞后角		
	额定值	°（电角度）	
	最大值	°（电角度）	
	最小值	°（电角度）	
3	稳态运行时的熄弧角		
	额定值	°（电角度）	
	最大值	°（电角度）	
	最小值	°（电角度）	
4	电压不均匀分布系数		
	直流电压	-	
	交流电压	-	
	操作冲击电压	-	
	雷电冲击电压	-	
	陡波前冲击电压	-	
5	绝缘耐受水平		
	操作冲击电压	kV	
	雷电冲击电压	kV	
	陡波前冲击电压	kV	
6	不同工况下交流电压		
	1) 额定负荷和额定控制角运行时扣除换相过冲后的最大重复峰值电压	kV	
	2) 额定负荷和额定控制角运行时最大峰值重复电压加触发角= °时的换相过冲	kV	
	3) 包括运行触发角=90°时的换相过冲的最大峰值重复电压	kV	
	4) 在最大暂态过电压期间包括运行于触发角=90°时的换相过冲的最大峰值重复电压	kV	

表 2 V_{N2} 、 V_{N3} 和 V_{N4} 子阀参数

各子阀参数	串联数	单级电容	阻尼电阻	晶闸管参数 (如有)	IGBT 参数	避雷器保护水平
V_{N2}						
V_{N3}						
V_{N4}						

6.3.2 阀的暂态过电流能力

6.3.2.1 不带后续闭锁的短路电流承受能力

可参考GB/T 36559-2018、GB/Z 30424-2013中的相关规定。

6.3.2.2 逆变侧短路电流承受能力

换流器处于逆变运行状态时（触发角工作在 $\geq 125^\circ$ ）任何故障造成的最大短路电流，主支路IGBT子阀、辅助支路IGBT子阀和晶闸管子阀需承受。

6.3.3 阀关断电流能力

主辅支路IGBT子阀需具备交流故障期间需具备连续关断故障电流（一般为三个周波）的能力。

6.3.4 主支路 IGBT 子阀最小串联级数 $n_{\min 2}$ 的确定

IGBT子阀并联有避雷器，避雷器保护水平决定着串联最小IGBT级数，主支路IGBT子阀最小串联级数 $n_{\min 2}$ 宜采用式（1）估算：

$$n_{\min 2} = N_{t2} - N_{r2} = \text{SIPL}_2 \times k_{d2} / U_{\text{IGBT}} \quad (1)$$

其中：

SIPL_2 ：主支路IGBT子阀避雷器保护水平，一般按照辅助支路晶闸管子阀3级FOP电压值选取；

k_{d2} ：关断过冲系数。

U_{IGBT} ：IGBT最高运行电压峰值，针对4.5kV的IGBT，一般取3.6kV。

6.3.5 辅助支路 IGBT 子阀最小串联级数 $n_{\min 3}$ 的确定

辅助支路IGBT子阀最小串联级数 $n_{\min 3}$ 宜采用式（2）估算：

$$n_{\min 3} = N_{t3} - N_{r3} = \text{SIPL}_3 \times k_{d3} / U_{\text{IGBT}} \quad (2)$$

其中：

SIPL_3 ：辅助支路IGBT子阀避雷器保护水平，一般按照交流相电压峰值的0.9~1.0倍选取；

k_{d2} ：关断过冲系数。

6.3.6 阀损耗的确定

阀损耗由各个子阀内电力电子器件的损耗和阀内辅助系统元件或设备的损耗组成。阀损耗计算参考GB/T20989的规定进行。

可控换相换流阀制造商或承包商影响用户提供表3~表6所列技术参数

表3 V_{N1} 子阀损耗（每阀 kW）

	标幺负荷 (p.u.)					
	0*	0.25	0.5	0.75	1.0	1.05
1) 晶闸管导通损耗						
2) 晶闸管开通损耗						
3) 其它导通损耗						
4) 与直流电压有关的损耗						
5) 阻尼电路损耗						
(1) 低频阻尼电路损耗						
(2) 高频阻尼电路损耗						
6) 晶闸管关断损耗						
7) 阀电抗器损耗						
8) 阀冷却系统损耗						
9) 阀总损耗						

表4 V_{N2} 子阀损耗（每阀 kW）

	标幺负荷 (p.u.)					
	0*	0.25	0.5	0.75	1.0	1.05
1) IGBT 损耗						
1) 晶闸管损耗（如有）						
3) 阻尼电阻损耗						
4) 阀总损耗						

表5 V_{N3} 阀损耗（每阀 kW）

	标幺负荷 (p.u.)					
	0*	0.25	0.5	0.75	1.0	1.05
1) IGBT 损耗						
2) 阻尼电阻损耗						
3) 饱和电抗器损耗（如有）						
4) 阀总损耗						

表6 V_{N4} 子阀损耗（每阀 kW）

	标幺负荷 (p.u.)					
	0*	0.25	0.5	0.75	1.0	1.05
1) 晶闸管损耗						
2) 阻尼电阻损耗						
3) 饱和电抗器损耗（如有）						
4) 阀总损耗						

6.4 控制方法

6.4.1 正常控制方法

6.4.1.1 CLCC运行模式

可控换相换流器进入 CLCC 运行模式以后，桥臂各支路开通关断以极控下发的 CP 信号为基准，主、辅支路 V_{Nj} 子阀按要求投入运行。

6.4.1.2 LCC运行模式

LCC运行模式下可控换相换流器桥臂主支路 V_{N2} 子阀闭锁，与其并联的旁路晶闸管阀投入运行，与主支路晶闸管同时触发导通；辅助支路闭锁；各桥臂主支路以常规晶闸管阀方式运行，自然换相。

6.4.2 交流故障控制方法

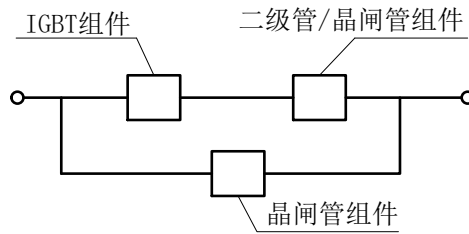
交流故障信号出现时，换流器由小电流关断运行至固定延时控制运行的切换方式。固定延时控制运行模式与小电流关断运行模式的区别在于固定延时控制运行时 V_{N2} 关断时刻提前，具体值由制造商或承包商和用户协商确定。

附录 A

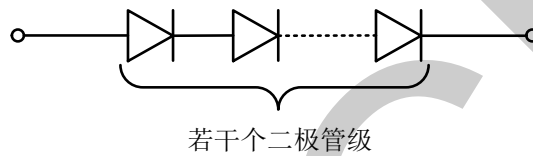
(资料性附录)

可控换相换流阀典型电路见子图 A.1。

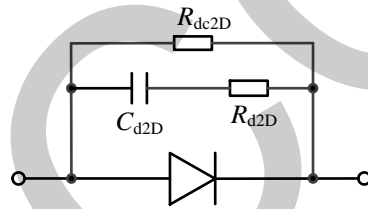
主支路全控型 V_{N2} 子阀：



二极管组件：



二极管级：



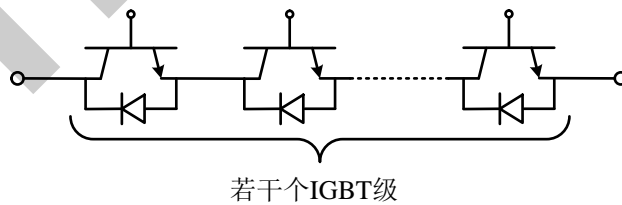
说明：

C_{d2D} ——阻尼电容器；

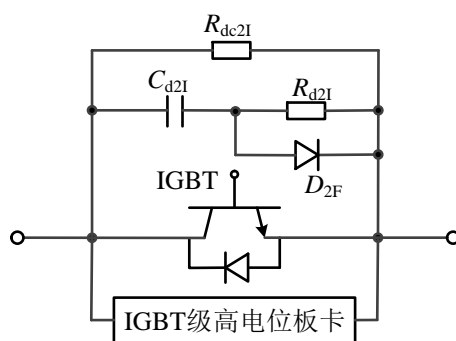
R_{d2D} ——阻尼电阻器；

R_{dc2D} ——直流均压电阻器。

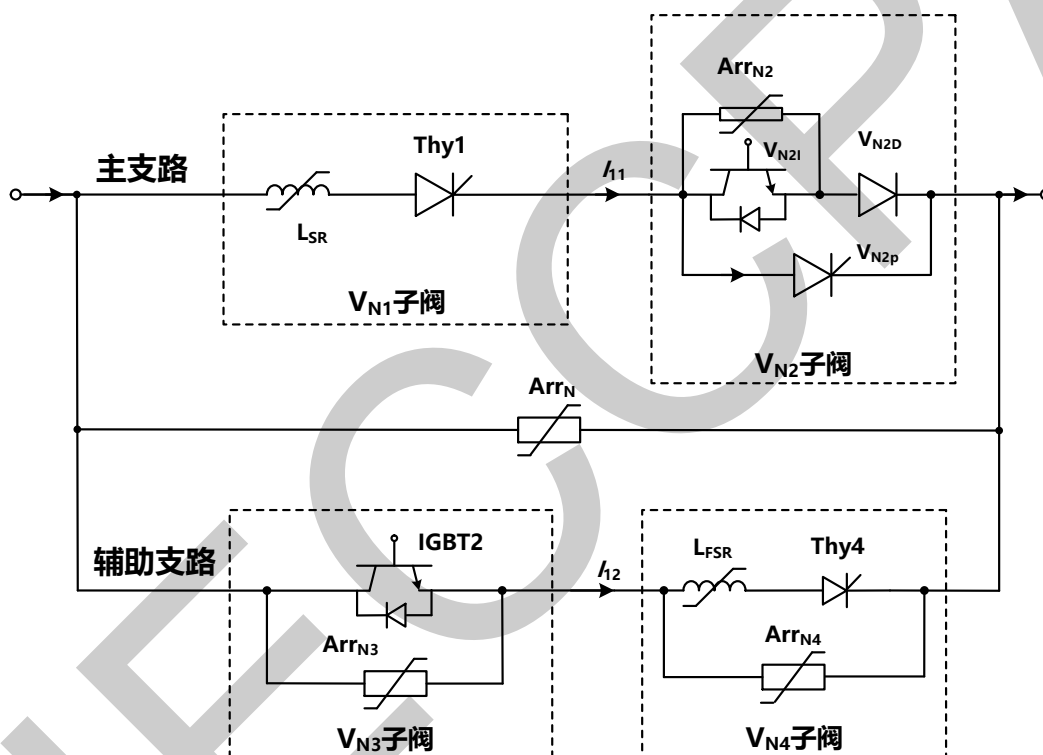
IGBT组件：



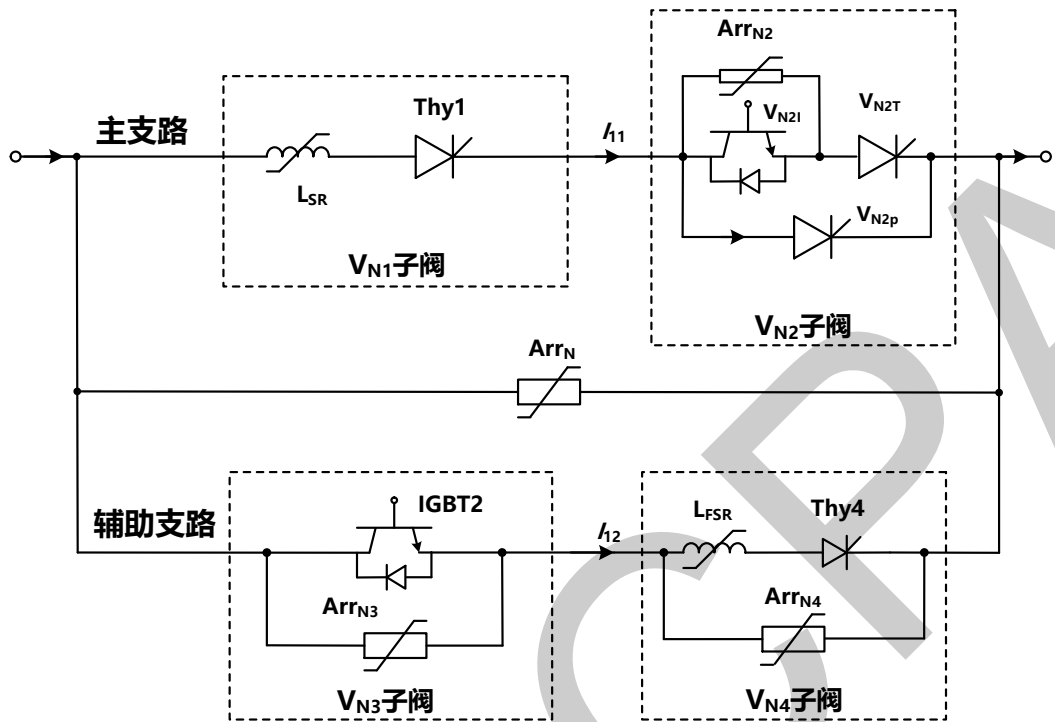
IGBT级：



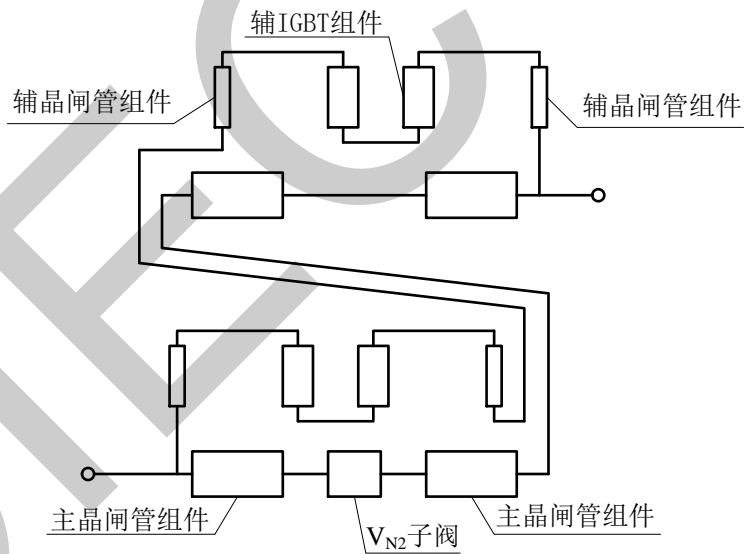
单阀主支路全控型 V_{N2} 子阀串联二极管：



单阀主支路全控型 V_{N2} 子阀串联晶闸管：



可控换相换流阀单阀结构：



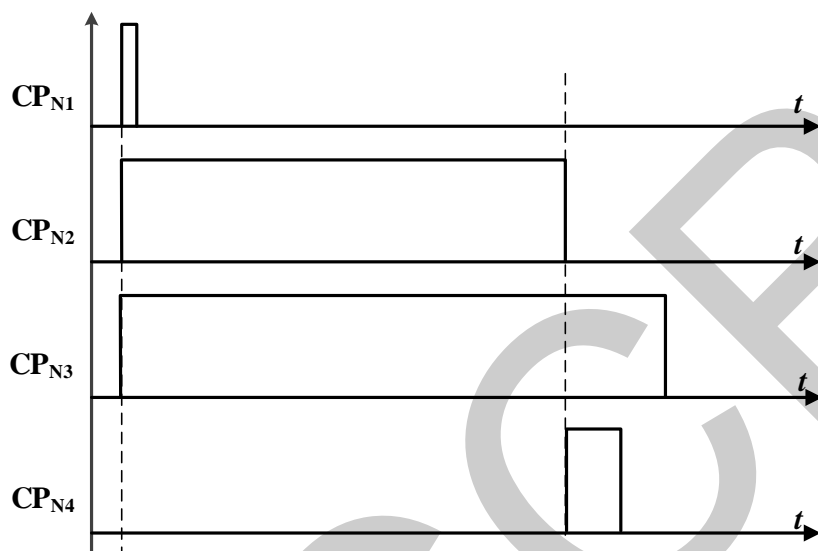
附录 B

(资料性附录)

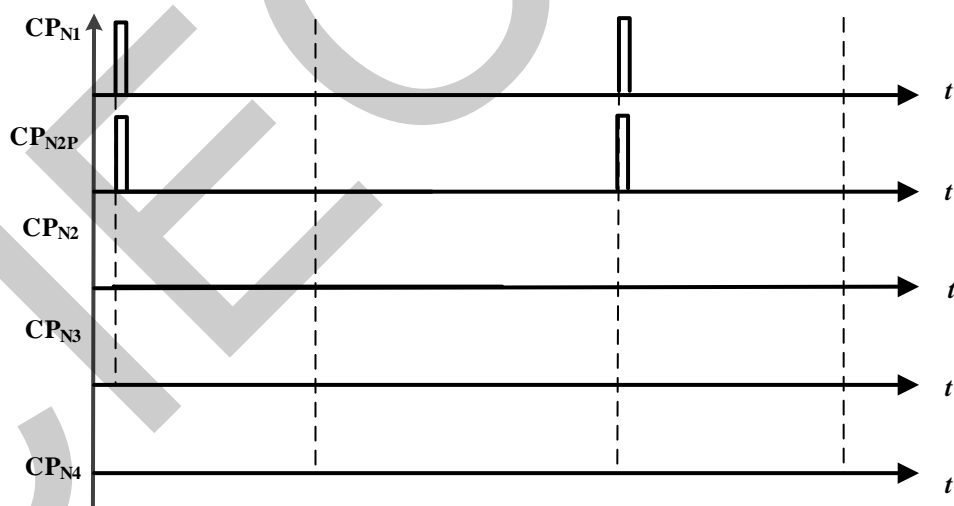
可控换相换流阀典型时序见子图 B.1。

小电流关断运行时序：

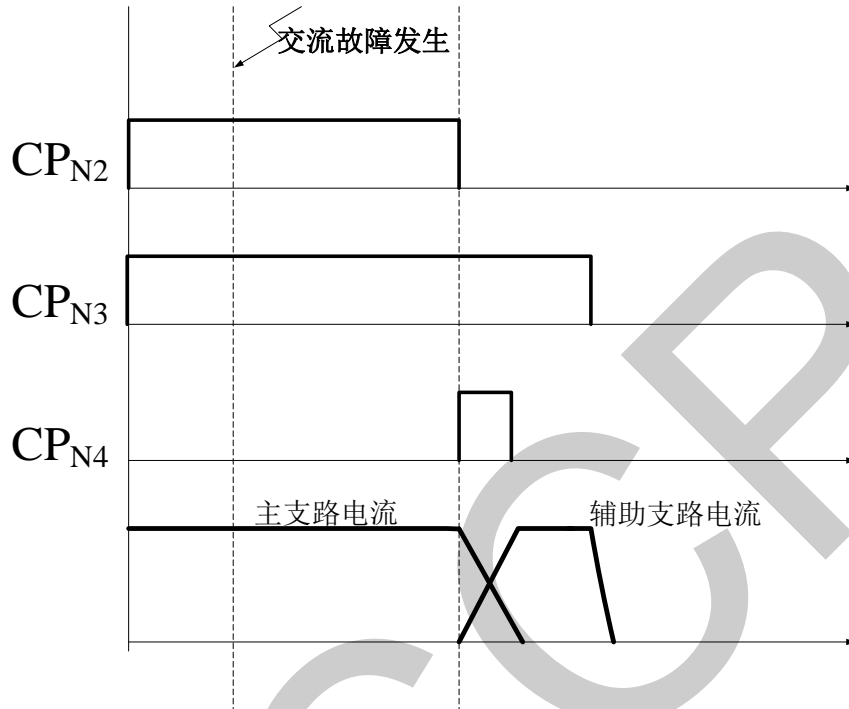
CLCC 运行模式：



LCC 运行模式：



固定延时控制运行时序：



参考文献

- [1] GB/T 3859.1-2013 半导体变流器 通用要求和电网换相变流器 第1-1部分:基本要求规范
- [2] GB/T 36559-2018 高压直流输电用晶闸管阀

CIECCPA
