ICS 27.180
CCS F 19

中华人民共和国国家标准

GB/T 47968—2026

构网型变流器通用技术规范

General technical specification for grid-forming converter

2026-07-30 发布　　2026-11-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 …… Ⅲ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
4　正常工作环境条件 …… 3
5　外观和防护等级 …… 3
6　技术要求 …… 3
7　试验方法 …… 7
8　仿真模型和参数 …… 19
9　标志、包装、运输和存储 …… 19
附录 A（资料性）　阻尼比计算方法 …… 20
附录 B（规范性）　暂态电流增量初始值时间计算方法 …… 22
附录 C（规范性）　宽频阻抗测量方法 …… 25
参考文献 …… 27

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。

本文件由中国电力企业联合会提出并归口。

本文件起草单位：中国电力科学研究院有限公司、国家电网有限公司、阳光电源股份有限公司、华为数字能源技术有限公司、南京南瑞继保电气有限公司、中国南方电网有限责任公司、国网新疆电力有限公司、远景能源有限公司、株洲中车时代电气股份有限公司、厦门科华数能科技有限公司、上能电气股份有限公司、国网西藏电力有限公司、金风科技股份有限公司、国网上海能源互联网研究院有限公司、东方电气自动控制工程有限公司。

本文件主要起草人：朱凌志、李勇、何国庆、陈志磊、王晶、姚广秀、杜荣华、葛睿、李臻、何飞、李钢、杨通、许守平、王皓怀、王超、亢朋朋、贺敬、王晖、施志明、房新雨、欧阳家俊、林镇煌、秦晓辉、钮良、孙谊媚、刘云峰、格桑晋美、于笑、徐亮辉、李浩源、张磊、葛路明、王子璇、陶以彬、陈晓溪、李文锋、李晓兵、张波琦、亚夏尔·吐尔洪、王文悦、段玉、卢晓东、周宏林、邓韦斯、李炳璋、易龙强、葛鹏霄。

构网型变流器通用技术规范

1 范围

本文件规定了构网型变流器的正常工作环境条件、外观和防护等级、技术要求、仿真模型和参数、标志、包装、运输和存储等要求，描述了相应的试验方法。

本文件适用于交流端口电压在35 kV及以下构网型储能变流器、构网型光伏逆变器和构网型全功率风电机组并网变流器的设计、制造、试验、检测、运行，其他类型的构网型变流器参照执行。

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 12325 电能质量 供电电压偏差

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 15945 电能质量 电力系统频率偏差

GB/T 20626.1 特殊环境条件 高原电工电子产品 第1部分：通用技术要求

GB/T 20840.2 互感器 第2部分：电流互感器的补充技术要求

GB/T 20840.3 互感器 第3部分：电磁式电压互感器的补充技术要求

GB/T 24337 电能质量 公用电网间谐波

GB/T 25387.1 风力发电机组 全功率变流器 第1部分：技术条件

GB/T 25387.2 风力发电机组 全功率变流器 第2部分：试验方法

GB 26861 电力安全工作规程 高压试验室部分

GB/T 34120 电化学储能系统储能变流器技术要求

GB/T 34133 储能变流器检测技术规程

GB/T 37408 光伏发电并网逆变器技术要求

GB/T 37409 光伏发电并网逆变器检测技术规范

3 术语和定义

GB/T 34120、GB/T 37408、GB/T 25387.1界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

构网型控制 grid-forming control

电力电子设备自主构建并维持内电势幅值和频率，以电压源特性运行的控制技术。

3.2

跟网型控制 grid-following control

电力电子设备跟随电网电压和频率，以电流源特性运行的控制技术。

3.3

构网型变流器　grid-forming converter

以构网型控制(3.1)方式运行的变流器。

3.4

惯量特性　inertia characteristic

构网型变流器模拟同步发电机抵抗输出频率变化的特性。

3.5

惯性时间常数　inertia time constant

描述构网型变流器惯量特性的参数,与同步发电机惯性时间常数相对应。

注:同步发电机惯性时间常数是指在额定转矩作用下,同步发电机由静止状态加速到额定转速所需要的时间。

3.6

阻尼特性　damping characteristic

构网型变流器抑制输出功率振荡的特性。

3.7

阻尼比　damping ratio

控制系统中实际阻尼与临界阻尼的比值。

注:计算方法见附录 A。

3.8

相角跳变响应　phase jump response

构网型变流器在电网电压相角发生突变时的响应。

3.9

等效暂态阻抗　equivalent transient impedance

在电网扰动过程中,构网型变流器在保持内电势不变条件下对外呈现的工频内阻抗。

3.10

等效暂态阻抗标称值　equivalent transient impedance nominal value

构网型变流器在未进入限流时,维持恒定不变的等效暂态阻抗。

3.11

等效暂态阻抗最大值　equivalent transient impedance maximum value

构网型变流器在进入限流后的最大等效暂态阻抗。

3.12

短路比　short circuit ratio

构网型变流器交流端口短路容量与额定功率的比值。

[来源:GB 38755—2019,2.5,有修改]

3.13

启动时间　reaction time

从接收到控制指令或检测到触发控制操作的状态量变化开始,构网型变流器实际输出变化量达到目标值和初始值之差的 10%所需的时间。

[来源:GB/T 19963.1—2021,3.13,有修改]

3.14

响应时间　response time

从接收到控制指令或检测到触发控制操作的状态量变化开始,构网型变流器实际输出变化量达到目标值和初始值之差的 90%所需的时间。

[来源:GB/T 19963.1—2021,3.14,有修改]

3.15

调节时间　settling time

从接收到控制指令或检测到触发控制操作的状态量变化开始，构网型变流器实际输出与目标值之差的绝对值始终不超过允许偏差的最短时间。

[来源：GB/T 19963.1—2021，3.15，有修改]

4　正常工作环境条件

构网型变流器应至少在下列环境条件下正常工作：

a）　温度：－20 ℃～40 ℃；

b）　相对湿度：≤95%；

c）　对于应用于 2 000 m 以上高海拔条件的构网型变流器，符合 GB/T 20626.1 的相关规定；

d）　对于应用在海洋性气候的构网型变流器，满足耐盐雾要求。

5　外观和防护等级

5.1　外观

构网型变流器的外观应满足下列要求：

a）　外观完整，无结构变形、剥落、锈蚀及裂痕等现象；

b）　柜门和开关操作灵活；

c）　铭牌、标志、标记完整清晰；

d）　文字和符号整齐、规范、正确。

5.2　防护等级

构网型变流器外壳的防护等级应满足下列要求：

a）　户内构网型变流器不低于 GB/T 4208 规定的 IP20；

b）　户外构网型变流器不低于 GB/T 4208 规定的 IP54。

6　技术要求

6.1　启停机

构网型变流器应具备启停机控制功能，能根据控制开关或指令实现变流器的启动和停机。

6.2　功率调节

6.2.1　有功功率调节

6.2.1.1　构网型变流器应具备接收有功功率调节指令，实现有功功率连续平滑调节的能力。

6.2.1.2　构网型变流器有功功率调节速率应至少在 3%P_n/s～50%P_n/s 内可调节。

6.2.1.3　构网型变流器有功功率调节误差应不超过额定功率的±2%。

6.2.2　无功功率调节

6.2.2.1　构网型变流器应具备根据控制模式或接收的无功功率调节指令实现无功功率连续平滑调节的能力。

6.2.2.2 构网型变流器应具备电压/无功下垂模式、功率因数模式和恒无功功率模式。

6.2.2.3 构网型变流器采用电压/无功下垂模式时，无功功率变化应满足公式(1)要求：

$$\Delta Q = -K_V \times \frac{\Delta U}{U_n} \times P_n \quad \cdots\cdots(1)$$

式中：

ΔQ ——构网型变流器无功功率的变化量，单位为千乏(kVar)；

K_V ——无功调压系数；

ΔU ——构网型变流器交流端口电压值 U 与设定电压值U_{set}的偏差，单位为伏(V)；

U_n ——系统标称电压，单位为伏(V)；

P_n ——构网型变流器额定功率，单位为千瓦(kW)。

6.2.2.4 构网型变流器无功调压系数 K_V 应在 0～12.5 之间，并可根据要求设置。

6.2.2.5 构网型变流器无功功率调节速率应至少在 $3\%P_n$/s～$50\%P_n$/s 之间可调。

6.2.2.6 构网型变流器无功功率调节误差应不超过额定功率的±2%。

6.3 电压频率运行范围

6.3.1 构网型变流器应在交流端口电压 $0.8U_n$～$1.1U_n$ 之间长期运行。

6.3.2 构网型变流器应在交流端口频率 45 Hz～55 Hz 之间长期运行。

6.4 一次调频

6.4.1 构网型变流器应具有一次调频功能，一次调频功能应能远程和就地使能/关闭。

6.4.2 构网型变流器一次调频死区 f_d 的绝对值应至少在 0.03 Hz～0.05 Hz 之间，并可根据要求设置。

6.4.3 构网型变流器交流端口频率 f 与系统额定频率 f_n 的偏差超出一次调频死区时，构网型变流器应按照公式(2)调整有功功率变化量：

$$\Delta P = -K_f \times \frac{\Delta f - f_d}{f_n} \times P_n \quad \cdots\cdots(2)$$

式中：

ΔP ——构网型变流器有功功率变化量，单位为千瓦(kW)；

K_f ——有功调频系数；

Δf ——构网型变流器交流端口频率 f 与系统额定频率f_n的偏差，$\Delta f = f - f_n$，单位为赫(Hz)；

f_d——一次调频死区(当 $\Delta f > 0$ 时，f_d取正值；当 $\Delta f < 0$ 时，f_d取负值)，单位为赫(Hz)；

f_n——系统额定频率，单位为赫(Hz)；

P_n——构网型变流器额定功率，单位为千瓦(kW)。

6.4.4 构网型变流器有功调频系数 K_f 应至少在 30～50 之间，并可根据要求设置。

6.4.5 构网型变流器一次调频有功功率增加的幅值限幅应不小于 $10\%P_n$，减小的幅值限幅应不小于 $20\%P_n$。

6.4.6 构网型变流器一次调频的有功功率调节允许误差应不大于额定功率的±2%。

6.4.7 构网型变流器一次调频的启动时间宜不大于 2 s，响应时间宜不大于 9 s，调节时间宜不大于 15 s。

6.5 惯量和阻尼特性

6.5.1 构网型变流器应具备惯量特性，能够抑制交流端口输出频率的变化。

6.5.2 构网型变流器惯性时间常数 T_j 应至少在 2 s～12 s 之间可设置。

6.5.3 构网型变流器应具备阻尼特性，能够抑制交流端口输出功率的振荡。

6.5.4 构网型变流器的阻尼特性参数应与惯性时间常数协调，阻尼比应不小于0.3。

6.6 相角跳变响应

6.6.1 构网型变流器应能适应并网点相角跳变。构网型变流器在交流端口电压相角跳变不大于±60°时应不脱网连续运行。

6.6.2 相角跳变角度为正时，构网型变流器输出的有功功率初始变化量应为负值；相角跳变角度为负时，构网型变流器输出的有功功率初始变化量应为正值。

6.7 电压扰动响应

6.7.1 构网型变流器在机端电压扰动过程中不脱网连续运行时间应满足图1和图2的要求。

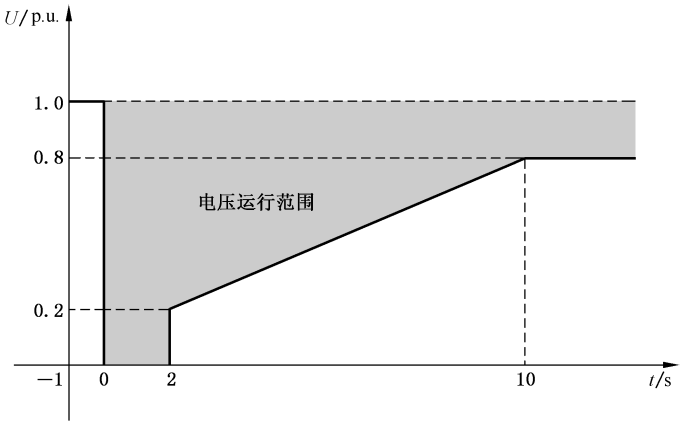


图1 构网型变流器低电压运行范围

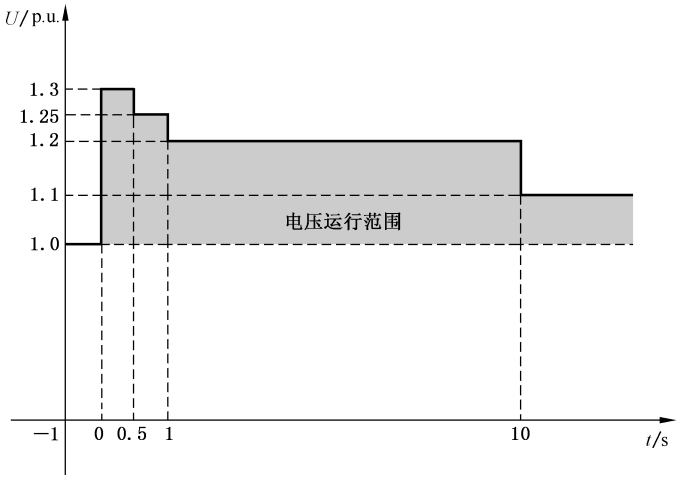


图2 构网型变流器高电压运行范围

6.7.2 在电网电压发生突变过程中，构网型变流器交流端口暂态电流增量初始矢量值应满足公式(3)要求：

$$\Delta \dot{I} = \frac{\Delta \dot{U}}{Z_t} \qquad \cdots\cdots(3)$$

式中：

$\Delta \dot{I}$——构网型变流器因电压扰动产生的暂态电流增量初始矢量值，单位为安(A)；

$\Delta\dot{U}$——构网型变流器交流端口电压扰动后电压测量值与电压扰动前电压测量值的矢量偏差，单位为伏(V)；

Z_t ——构网型变流器等效暂态阻抗复数值，单位为欧(Ω)。

6.7.3 电流增量达到暂态电流增量初始值的时间应不大于 5 ms。

6.7.4 构网型变流器等效暂态阻抗标称值应不大于 0.2 p.u.，等效暂态阻抗最大值应不大于 0.8 p.u.。

注：等效暂态阻抗标称值和等效暂态阻抗最大值指等效暂态阻抗复数值的模值。

6.7.5 构网型变流器达到限流后，持续输出电流不应小于 0.95 倍最大过流值。

6.7.6 构网型变流器在交流端口电压变化过程中宜保持故障前的有功功率调节目标不变。

6.7.7 构网型变流器在电压扰动过程中不宜产生负序内电势。

6.8 宽频阻抗特性

构网型变流器应在 1 Hz～45 Hz 与 55 Hz～1 000 Hz 频率范围内具备正阻特性。

6.9 电能质量

构网型变流器交流端口的电压总谐波畸变率应满足 GB/T 14549 的要求，电压间谐波含有率应满足 GB/T 24337 的要求，电压偏差应满足 GB/T 12325 的要求，电压不平衡度应满足 GB/T 15543 的要求。

6.10 电网强度适应性

构网型变流器输出有功功率为正时，在交流端口短路比 1.1～10 之间应正常运行；构网型变流器输出有功功率为负时，在交流端口短路比 1.2～10 之间应正常运行。

6.11 控制模式切换

构网型变流器宜具备在构网型控制和跟网型控制间切换的功能。

6.12 过流能力

6.12.1 构网型变流器输出电流在 110%额定电流时，应具备长期运行能力。

6.12.2 构网型变流器输出电流在 125%额定电流时，持续运行时间应不少于 1 min。

6.12.3 构网型变流器输出电流在 300%额定电流时，持续运行时间应不小于 10 s。

6.13 零起升压

构网型变流器应具备零起升压功能，自主构建交流电压和频率。

6.14 告警和保护

6.14.1 构网型变流器应具备告警功能，应能在出现异常和故障情况时进行告警。告警宜采用声、光等提示方式。告警内容应至少包含：交流进线相序错误、交流电压异常、直流电压异常、过电流、过温、通信故障和冷却系统故障等。

6.14.2 构网型变流器发出告警信号后，应进入异常运行或故障保护状态。

6.14.3 构网型变流器应具有告警和故障信息记录、存储功能。

6.15 通信

6.15.1 构网型变流器应具有与监控系统等设备进行信息交互的功能。

6.15.2 构网型变流器与外部通信设备可采用以太网、RS485、电力线载波(PLC)及无线通信等物理接

口，宜支持 Modbus、DL/T 634.5104、DL/T 860(所有部分)、CAN 总线等通信协议与规约。

6.16 运行信息监测与统计

6.16.1 构网型变流器应能实时监测变流器直流端口的电压、电流、功率和交流端口的电压、电流、频率及功率信息，能实时监测变流器与监控系统等设备的通信状态。

6.16.2 构网型变流器应具备故障信息统计功能，实现故障信息的查询。

6.17 数据显示和存储

6.17.1 构网型变流器应具备数据显示功能，能显示运行状态、运行参数、保护参数、事件记录等信息。

6.17.2 构网型变流器应能存储运行状态、事件记录等信息，能本地存储不小于 180 d 的数据信息。

6.17.3 构网型变流器应具备瞬时数据存储和导出功能，瞬时数据应至少包含以下内容：

a) 电压给定值、频率给定值、有功功率给定值；

b) 交流端口三相电压瞬时值、交流端口三相电流瞬时值、内电势幅值、频率与相位；

c) 一次调频输出功率偏差信号、惯量和阻尼特性各环节输入功率偏差信号。

6.17.4 数据采样频率不小于 1 kHz，数据存储时间不小于 4 s。

6.18 安全性能

6.18.1 构网型储能变流器的电气安全、机械防护等性能应符合 GB/T 34120 的规定。

6.18.2 构网型光伏逆变器的电气安全、机械防护等性能应符合 GB/T 37408 的规定。

6.18.3 构网型风电变流器的电气安全、机械防护等性能应符合 GB/T 25387.1 的规定。

6.19 电磁兼容

6.19.1 构网型储能变流器的电磁兼容应符合 GB/T 34120 的规定。

6.19.2 构网型光伏逆变器的电磁兼容应符合 GB/T 37408 的规定。

6.19.3 构网型风电变流器的电磁兼容应符合 GB/T 25387.1 的规定。

7 试验方法

7.1 一般要求

7.1.1 构网型变流器试验前，应收集构网型变流器的相关技术资料，编制试验方案并制定安全措施，试验操作安全应符合 GB 26861 的规定。

7.1.2 试验仪器、仪表应经过检定或校准，并在有效期内。

7.1.3 试验过程中应记录环境条件和试验数据。

7.1.4 试验完成后应出具报告，报告应包括试验条件、试验设备、试验依据、试验过程和试验结论等。

7.2 试验条件

7.2.1 试验环境条件

除另有规定，试验场所应满足以下环境条件：

a) 环境温度：15 ℃～40 ℃；

b) 相对湿度：5%～75%；

c) 气压：75 kPa～106 kPa；

d) 无结霜、凝露、渗水、淋雨、暴晒等现象。

7.2.2 电能质量条件

当直接接入公共电网时，电网电能质量满足以下要求：

a） 电压总谐波畸变率及各次谐波在 10 min 内测得的方均根值应满足 GB/T 14549 的规定；

b） 电网频率在 10 s 内测得的平均值的偏差应满足 GB/T 15945 的规定；

c） 电网电压在 10 min 内测得的方均根值的偏差应满足 GB/T 12325 的规定；

d） 电压三相不平衡度应满足 GB/T 15543 的规定。

7.3 试验设备要求

7.3.1 检测仪器仪表

检测仪器仪表满足以下要求：

a） 电压互感器应符合 GB/T 20840.3 的规定；

b） 电流互感器应符合 GB/T 20840.2 的规定；

c） 电压传感器、电流传感器响应时间不应大于 10 μs，带宽不应小于 100 kHz；

d） 数据采集装置的采样频率不应小于 10 kHz，电能质量测量时不应小于 20 kHz；

e） 频率测量精度应至少达到 0.005 Hz。

电压互感器、电流互感器、电压传感器、电流传感器、温度计、湿度计和数据采集装置的精度等级应至少满足表 1 的要求。

表 1 检测仪器仪表精度等级要求

名称	精度等级
电压互感器/电压传感器	0.2 级
电流互感器/电流传感器	0.2 级
温度计	±0.5 ℃
湿度计	±3%
数据采集装置	0.2 级

7.3.2 电网模拟装置

电网模拟装置应具备各相电压幅值和相位可独立调节的功能，应具备频率值可调节的功能，调节精度、调节步长、响应时间应满足检测要求；额定功率应不小于被测构网型变流器额定功率的 3 倍；输出电压最大值应不小于被测构网型变流器额定电压的 1.35 倍。

7.3.3 无源电压扰动发生装置

无源电压扰动发生装置应具备模拟三相对称电压跌落、相间电压跌落、单相电压跌落的功能，跌落范围为 $0\%U_n$～$97\%U_n$；应具备模拟三相对称电压抬升的功能，抬升范围应不低于 130%标称电压。

7.3.4 电网阻抗模拟装置

电网阻抗模拟装置应能模拟不同阻抗角的电网阻抗，应满足被测构网型变流器交流端口短路比在 1.1～10 之间的试验要求。

7.3.5 交流负载

交流负载应具备可独立控制的阻性负载、感性负载和容性负载；应使用无感电阻、低耗电感和具有低串联有效内阻和低串联有效电感的电容器。

注：交流负载包括阻性负载、感性负载和容性负载等无源负载和电力电子负载。

7.3.6 宽频电压扰动装置

宽频电压扰动装置应具备在 1 Hz～1 000 Hz 频率范围注入交流扰动电压的能力。扰动电压的频率步长不应大于 1 Hz，扰动电压的幅值应在 $1\%U_n$～$5\%U_n$ 之间可设置。

7.4 试验工况

构网型变流器试验项目应至少包含表 2 规定的工况。构网型储能变流器应分别在充电和放电工况下开展试验。

表 2 试验项目工况表

试验项目		短路比条件	运行功率
启停机		SCR≥5	—
功率调节	有功功率调节	SCR≥5	—
	无功功率调节	SCR≥5	满载
电压频率运行范围	电压运行范围	SCR≥5	重载
	频率运行范围	SCR≥5	重载
一次调频		SCR≥5	重载
惯量和阻尼特性		SCR≥5、SCR≤1.2	重载
相角跳变响应		SCR≥5、SCR≤1.2	重载
电压扰动响应		SCR≥5、SCR≤1.2	重载、轻载
宽频阻抗特性		—	—
电能质量		—	—
电网强度适应性		—	满载
控制模式切换		SCR≥5、SCR≤1.2	重载
过流能力		SCR≥5	—
零起升压		—	—
告警和保护		—	—
通信		—	—
运行信息监测与统计		—	—
数据显示和存储		—	—
安全性能		—	—
电磁兼容		—	—

注：轻载指构网变流器有功功率在 $10\%P_n$～$30\%P_n$ 之间，重载指构网变流器有功功率不小于 $70\%P_n$，满载指构网变流器有功功率为 $100\%P_n$，“—”表示无要求或参照具体试验条款要求。

7.5 启停机试验

7.5.1 构网型储能变流器启停机试验应按照 GB/T 34133 要求进行，试验工况满足表 2 要求。

7.5.2 构网型光伏逆变器启停机试验应按照 GB/T 37409 要求进行，试验工况满足表 2 要求。

7.5.3 构网型风电变流器启停机试验应按照 GB/T 25387.2 要求进行，试验工况满足表 2 要求。

7.6 功率调节试验

7.6.1 有功功率调节试验

有功功率调节试验按如下步骤进行：

a) 设置构网型变流器惯性时间常数分别为 2 s 和 12 s，设置有功功率调节速率分别为 3%P_n/s 和 50%P_n/s；

b) 调节电网阻抗模拟装置满足表 2 中短路比条件的要求；

c) 按照图 3 向构网型变流器下发有功功率调节指令，每个功率点至少保持运行 2 min；

d) 利用数据采集装置记录构网型变流器交流端口三相电压瞬时值和三相电流瞬时值，并计算有功功率值；

e) 利用 10%有功增量值到 90%有功增量值的时间计算有功功率调节速率，有功功率调节速率计算值与设定值的偏差应不大于设定值的 10%；

f) 利用稳态有功功率计算有功功率调节误差。

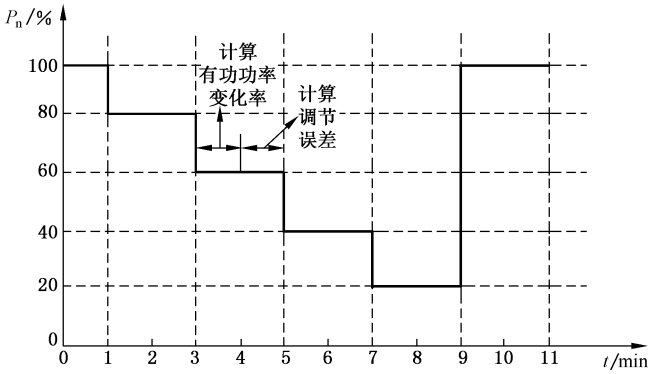


图 3 有功功率调节曲线

7.6.2 无功功率调节试验

7.6.2.1 恒无功功率模式试验

恒无功功率模式试验按如下步骤进行：

a) 设置构网型变流器运行在恒无功功率模式；

b) 设置构网型变流器无功功率调节速率分别为 3%P_n/s 和 50%P_n/s；

c) 调节构网型变流器和电网阻抗模拟装置满足表 2 中运行功率和短路比条件的要求；

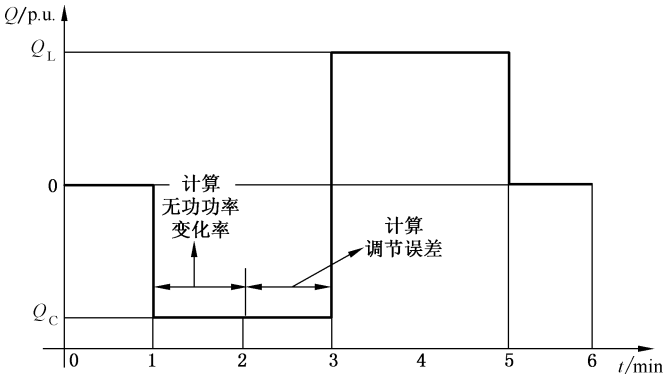
d) 按照图 4 设置构网型变流器交流端口输出无功功率，在每个无功功率设置值至少持续运行 2 min；

e) 利用数据采集装置记录构网型变流器交流端口三相电压瞬时值和三相电流瞬时值，并计算有功功率值和无功功率值；

f) 利用 10%无功功率增量值到 90%无功功率增量值的时间计算无功功率调节速率，无功功率调

节速率测试值与设定值的偏差应不大于设定值的10%；

g） 利用稳态无功功率计算无功功率调节误差。



注：Q_L 和 Q_C 为有功功率为 $100\%P_n$ 工况下，构网型变流器长期运行输出的最大感性无功和最大容性无功。

图4 无功功率调节曲线

7.6.2.2 功率因数控制模式试验

功率因数控制模式试验按如下步骤进行：

a） 设置构网型变流器运行在功率因数控制模式；

b） 设置构网型变流器无功功率调节速率分别为 $3\%P_n$/s 和 $50\%P_n$/s；

c） 调节构网型变流器和电网阻抗模拟装置满足表2中运行功率和短路比条件的要求；

d） 按照图5设置构网型变流器交流端口功率因数，在每个功率因数设置值至少持续运行2 min；

e） 利用数据采集装置记录构网型变流器交流端口三相电压瞬时值和三相电流瞬时值，并计算有功功率值和无功功率值；

f） 利用10%无功功率增量值到90%无功功率增量值的时间计算无功功率调节速率，无功功率调节速率测试值与设定值的偏差应不大于设定值的10%；

g） 利用稳态无功功率计算无功功率调节误差。

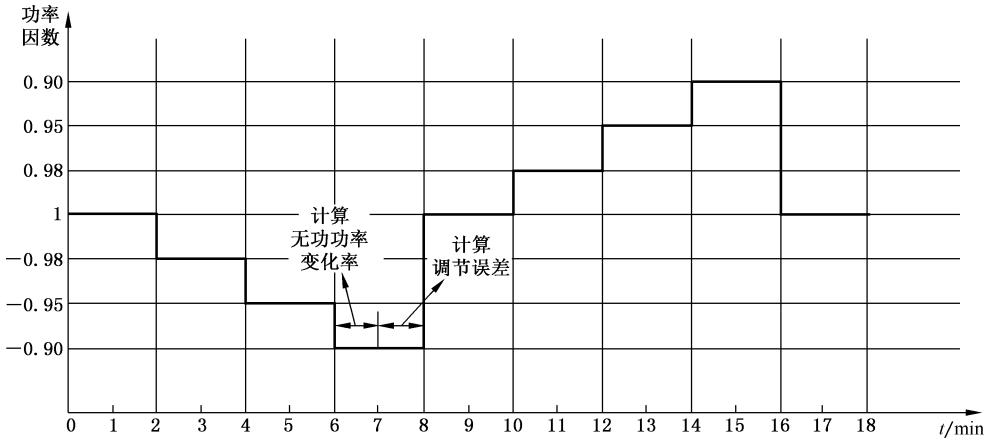


图5 功率因数控制曲线

7.6.2.3 电压/无功下垂模式试验

电压/无功下垂模式试验按如下步骤进行：

a) 设置构网型变流器运行在电压/无功下垂模式，无功调压系数 K_V 分别为 0 和 12.5；
b) 设置构网型变流器无功功率调节速率分别为 3%P_n/s 和 50%P_n/s；
c) 调节构网型变流器和电网阻抗模拟装置满足表 2 中运行功率和短路比条件的要求；
d) 调节电网模拟装置，使构网型变流器交流端口电压分别产生 3%U_n～5%U_n 和 −5%U_n～−3%U_n的变化量，变化量保持时间不低于 2 min；
e) 利用数据采集装置记录构网型变流器交流端口三相电压瞬时值和三相电流瞬时值，并计算无功功率值；
f) 利用稳态无功功率计算无功功率调节误差。

7.7 电压频率运行范围试验

7.7.1 电压运行范围试验

电压运行范围试验按如下步骤进行：

a) 调节构网型变流器运行在电压/无功下垂模式，无功调压系数 K_V 为 0，并满足表 2 中运行功率的要求，调节电网阻抗模拟装置满足表 2 中短路比条件的要求；
b) 调节电网模拟装置或无源电压扰动发生装置，使构网型变流器交流端口电压分别变化至 80%U_n～82%U_n，108%U_n～110%U_n，持续时间不小于 10 min；
c) 利用数据采集装置记录构网型变流器交流端口三相电压瞬时值和三相电流瞬时值，并计算三相电压有效值、有功功率和无功功率。

7.7.2 频率运行范围试验

频率运行范围试验按如下步骤进行：

a) 设置构网型变流器惯性时间常数为可调范围最小值；
b) 调节构网型变流器和电网阻抗模拟装置满足表 2 中运行功率和短路比条件的要求；
c) 调节电网模拟装置的频率从 50 Hz 起，以 2 Hz/s 的斜率变化至 45 Hz，并持续运行 2 min；
d) 调节电网模拟装置的频率从 45 Hz 起，以 2 Hz/s 的斜率变化至 55 Hz，并持续运行 2 min；
e) 调节电网模拟装置的频率从 55 Hz 起，以 2 Hz/s 的斜率变化至 50 Hz；
f) 利用数据采集装置记录构网型变流器交流端口三相电压瞬时值和三相电流瞬时值，并计算频率、有功功率和无功功率。

7.8 一次调频试验

一次调频试验按如下步骤进行：

a) 设置构网型变流器惯性时间常数为可调范围最小值；
b) 调节构网型变流器和电网阻抗模拟装置满足表 2 中运行功率和短路比条件的要求；
c) 设置构网型变流器调频死区为 0.03 Hz，调频系数为 50；
d) 按照表 3 调节电网模拟装置的频率从 50 Hz 分别阶跃至各测点频率，在各测点频率保持对应的持续时间后恢复至 50 Hz；
e) 利用数据采集装置记录构网型变流器交流端口三相电压瞬时值和三相电流瞬时值，并计算频率、一次调频启动时间、响应时间、调节时间和控制误差；
f) 设置构网型变流器调频死区为 0.05 Hz，调频系数为 30，重复步骤 c)～e)。

表 3　一次调频测点

序号	测点频率 Hz	持续时间 s
1	49.50	20
2	49.80	20
3	$50-\lvert f_d \rvert-0.05$	20
4	$50-\lvert f_d \rvert+0.01$	20
5	$50+\lvert f_d \rvert-0.01$	20
6	$50+\lvert f_d \rvert+0.05$	20
7	50.20	20
8	50.50	20

7.9　惯量和阻尼特性试验

7.9.1　阻尼比试验

阻尼比试验按如下步骤进行：

a）　关闭构网型变流器一次调频功能，设置构网型变流器惯性时间常数分别为 2 s 和 12 s；

b）　调节构网型变流器和电网阻抗模拟装置满足表 2 中运行功率和短路比条件的要求；

c）　通过切除/投入交流负载，使构网型变流器交流端口产生不低于 20%P_n 的瞬时有功功率扰动；

d）　利用数据采集装置记录构网型变流器交流端口三相电压瞬时值和三相电流瞬时值，并计算有功功率值；

e）　利用有功功率值计算阻尼比，阻尼比计算方法见附录 A。

7.9.2　惯性时间常数试验

对于无法通过参数调节实现只具备静态阻尼特性的构网型变流器，宜采用参数辨识的方法获取惯性时间常数；对于可通过参数调节实现只具备静态阻尼特性的构网型变流器，惯性时间常数试验按如下步骤进行：

a）　关闭构网型变流器一次调频功能，调节构网型变流器和电网阻抗模拟装置满足表 2 中运行功率和短路比条件的要求；

b）　设置构网型变流器惯性时间常数T_j为 12 s，电网模拟装置频率变化率$\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}t}$为 0.5 Hz/s；

c）　调节构网型变流器阻尼特性参数，使构网型变流器只具备静态阻尼特性，且阻尼比满足 6.5 要求；

d）　调节电网模拟装置按频率变化率为$\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}t}$从 50 Hz 斜率下降至 48.5 Hz，保持运行 10 s，再从 48.5 Hz斜率恢复至 50 Hz，保持运行 10 s，再从 50 Hz 斜率抬升至 51.5 Hz，保持运行 10 s，再从 51.5 Hz 斜率恢复至 50 Hz，保持运行 10 s；

e）　利用数据采集装置记录构网型变流器交流端口三相电压瞬时值和三相电流瞬时值，计算有功功率值；

f）　计算构网型变流器交流端口频率在 48.5 Hz 时间段的稳态有功功率增量绝对值 ΔP_{DL}和频率

下降时单位赫兹功率增量$k_{Pf_L}=\Delta P_{DL}/(50-48.5)$；

g) 计算构网型变流器交流端口频率在51.5 Hz时间段的稳态有功功率增量绝对值ΔP_{DH}和频率上升时单位赫兹功率增量$k_{Pf_H}=\Delta P_{DH}/(51.5-50)$；

h) 计算单位赫兹功率增量平均值$k_{Pf}=(k_{Pf_L}+k_{Pf_H})/2$；

i) 利用公式(4)计算惯性时间常数，惯性时间常数计算值与设定值的偏差应不大于设定值的10%或0.5 s两者间的较大值；

$$\frac{T_j}{f_n}\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}t}\times P_n=-\Delta P+k_{Pf}\times(f_n-f) \quad \cdots\cdots(4)$$

式中：

T_j ——惯性时间常数，单位为秒(s)；

f_n ——构网型变流器额定频率，单位为赫(Hz)；

f ——构网型变流器交流端口频率，单位为赫(Hz)；

$\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}t}$ ——构网型变流器交流端口的频率变化率，单位为赫每秒(Hz/s)；

P_n ——构网型变流器额定功率，单位为千瓦(kW)或兆瓦(MW)；

ΔP ——构网型变流器交流端口频率变化期间的有功功率增量值，单位为千瓦(kW)或兆瓦(MW)；

k_{Pf} ——单位赫兹功率增量平均值。

j) 设置构网型变流器惯性时间常数T_j为2 s，电网模拟装置频率变化率$\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}t}$为2 Hz/s，重复步骤c)～i)。

7.10 相角跳变响应试验

相角跳变响应试验按如下步骤进行：

a) 设置构网型变流器惯性时间常数为12 s，阻尼特性参数满足6.5要求；

b) 调节构网型变流器和电网阻抗模拟装置满足表2中运行功率和短路比条件的要求；

c) 调节电网模拟装置在构网型变流器交流端口处分别实现电压相角5°、10°、15°、30°、60°、−5°、−10°、−15°、−30°和−60°的跳变；

d) 利用数据采集装置记录构网型变流器交流端口三相电压瞬时值和三相电流瞬时值，并计算有功功率输出。

7.11 电压扰动响应试验

7.11.1 试验扰动点

7.11.1.1 扰动电压幅值应在0%U_n～20% U_n、30% U_n～50% U_n、60%U_n～80%U_n、93%U_n～97%U_n、103%U_n～107%U_n、110%U_n～120%U_n、120%U_n～125%U_n、125%U_n～130%U_n区间内均有分布。

注：扰动电压幅值指构网型变流器接入试验回路且不启动时，交流端口扰动相的电压值。

7.11.1.2 扰动电压持续时间满足图1和图2要求，其中长期连续稳定运行试验点扰动电压持续时间不小于10 s。

7.11.1.3 扰动电压类型应包含对称低电压阶跃扰动、不对称低电压阶跃扰动和对称高电压阶跃扰动，不对称扰动类型及扰动相应在表4中至少选取一种。

表 4　不对称低电压扰动类型

扰动类型	扰动相		
单相接地短路	A 相	B 相	C 相
两相相间短路	AB 相间	BC 相间	CA 相间
两相接地短路	AB 两相	BC 两相	CA 两相

7.11.2　试验步骤

电压扰动响应试验按如下步骤进行：

a）　调节电网阻抗模拟装置满足表 2 中短路比条件的要求；

b）　设置构网型变流器为停机状态；

c）　调节无源电压扰动发生装置或电网模拟装置，使构网型变流器交流端口电压扰动满足 7.11.1 的要求；

d）　设置构网型变流器惯性时间常数为 12 s，有功功率调节速率为 3% P_n/s，无功功率调节速率为 3% P_n/s，无功功率调节模式为电压/无功下垂模式，无功调压系数 K_V 为 12.5；

e）　启动构网型变流器，调节构网型变流器满足表 2 中运行功率的要求；

f）　按步骤 c)设置调节无源电压扰动发生装置或电网模拟装置，使构网型变流器交流端口电压发生电压扰动；

g）　利用数据采集装置记录构网型变流器交流端口三相电压瞬时值和三相电流瞬时值；选取电压扰动期间构网型变流器相电流未达到限流值的扰动试验点，按照附录 B 计算电流增量达到暂态电流增量初始值的时间；选取电压扰动期间构网型变流器相电流达到限流值的扰动试验点，利用故障相电流瞬时值计算电流增量达到暂态电流初始值的时间；

注：构网型变流器相电流达到限流值的扰动试验点对应的暂态电流初始值是指构网型变流器过流能力最大值。

h）　选取电压扰动期间，构网型变流器总电流未达到限流值，且变流器端口理论有功传输能力不低于故障前有功功率的扰动试验点，计算电压扰动前稳态有功功率值与电压扰动期间稳态有功功率值的偏差，偏差值不应大于 10%P_n。

7.12　宽频阻抗特性试验

宽频阻抗特性的试验方法应按照附录 C 进行。构网型变流器和电网阻抗模拟装置满足表 2 中运行功率的要求；宽频阻抗特性的试验频率范围应按照 6.8 要求设置；其中 200 Hz 以下频率步长不大于 1 Hz，200 Hz～400 Hz 频率步长不大于 5 Hz，400 Hz 以上频率步长不大于 10 Hz。

构网型变流器有功功率、无功功率调节模式和初始电压应满足表 5 要求，宽频阻抗特性的试验方法应按照附录 C 进行。

表 5　构网型变流器宽频阻抗特性试验运行工况

有功功率	无功功率调节模式	初始电压
10%P_n～30%P_n、 40%P_n～60% P_n、 ≥70 P_n	电压/无功下垂模式、 无功调压系数 K_V=12.5	0.95U_n
		1.0U_n
		1.05U_n

7.13 电能质量试验

构网型储能变流器的电能质量试验应符合 GB/T 34133 的规定。构网型光伏逆变器的电能质量试验应符合 GB/T 37409 的规定。构网型风电变流器的电能质量试验应符合 GB/T 25387.2 的规定。

7.14 电网强度适应性试验

电网强度适应性试验按如下步骤进行：

a) 按照表 2 中运行功率的要求，调节构网型变流器满载运行；
b) 调节电网阻抗模拟装置，使构网型变流器交流端口短路比在 1.1～1.2 之间，并保持运行 2 min；
c) 保持构网型变流器满载运行，调节电网阻抗模拟装置，使构网型变流器交流端口短路比在 1.5～3 之间，并保持运行 2 min；
d) 保持构网型变流器满载运行，调节电网阻抗模拟装置，使构网型变流器交流端口短路比在 5～10 之间，并保持运行 2 min；
e) 保持构网型变流器满载运行，调节电网阻抗模拟装置，使构网型变流器交流端口短路比在 1.5～3 之间，并保持运行 2 min；
f) 保持构网型变流器满载运行，调节电网阻抗模拟装置，使构网型变流器交流端口短路比在 1.1～1.2 之间，并保持运行 2 min；
g) 利用数据采集装置记录构网型变流器交流端口三相电压瞬时值和三相电流瞬时值，判断构网变流器是否保持正常运行。

7.15 控制模式切换试验

控制模式切换试验按如下步骤进行：

a) 调节构网型变流器和电网阻抗模拟装置满足表 2 中运行功率和短路比条件的要求；
b) 设置构网型变流器运行模式为构网控制模式，持续运行 2 min；
c) 设置电网模拟装置输出电压产生 $5\%U_n$～$10\%U_n$ 的阶跃量，持续时间 10 s；
d) 利用数据采集装置记录构网型变流器交流端口三相电压瞬时值和三相电流瞬时值，计算有功功率和无功功率，判断构网变流器是否处于构网控制模式；
e) 设置构网型变流器运行模式为跟网控制模式，持续运行 2 min；
f) 设置电网模拟装置输出电压产生 $5\%U_n$～$10\%U_n$ 的阶跃量，持续时间 10 s；
g) 利用数据采集装置记录构网型变流器交流端口三相电压瞬时值和三相电流瞬时值，计算有功功率和无功功率，判断构网变流器是否处于跟网控制模式。

7.16 过流能力试验

过流能力试验按如下步骤进行：

a) 调节电网阻抗模拟装置满足表 2 中短路比条件的要求；
b) 设置构网型变流器运行在电压/无功下垂模式，无功调压系数 K_V 为 12.5，无功功率调节速率为 $50\%P_n$/s，有功功率输出为 P_n；
c) 调节电网模拟装置，使构网型变流器交流端口电压变化至 $80\%U_n$～$82\%U_n$，持续时间不低于 10 min；
d) 利用数据采集装置记录构网型变流器交流端口三相电压瞬时值和三相电流瞬时值，计算三相电压有效值和三相电流有效值；
e) 选取电流有效值不低于 300%额定电流的连续区间计算 300%额定电流过流持续运行时间，选

取电流有效值不低于125%额定电流的连续区间计算125%额定电流过流持续运行时间，选取电流有效值不低于110%I_n的连续区间计算110%额定电流过流持续运行时间。

7.17 零起升压试验

零起升压试验按如下步骤进行：

a) 设置构网型变流器零起升压至额定电压；

b) 利用数据采集装置记录构网型变流器交流端口三相电压瞬时值，计算电压有效值和频率。

7.18 告警和保护试验

构网型储能变流器的报警和保护试验应符合GB/T 34133的规定。构网型光伏逆变器的报警和保护试验应符合GB/T 37409的规定。构网型风电变流器的报警和保护试验应符合GB/T 25387.2的规定。

7.19 通信试验

构网型储能变流器的通信试验应符合GB/T 34133的规定。构网型光伏逆变器的通信试验应符合GB/T 37409的规定。构网型风电变流器的通信试验应符合GB/T 25387.2的规定。

7.20 运行信息监测与统计试验

构网型储能变流器的运行信息监测试验应符合GB/T 34133的规定。构网型光伏逆变器的运行信息监测试验应符合GB/T 37409的规定。构网型风电变流器的运行信息监测试验应符合GB/T 25387.2的规定。

7.21 数据显示和存储试验

构网型储能变流器的数据显示和存储试验应符合GB/T 34133的规定。构网型光伏逆变器的数据显示和存储试验应符合GB/T 37409的规定。构网型风电变流器的数据显示和存储试验应符合GB/T 25387.2的规定。

7.22 安全性能试验

构网型储能变流器的安全性能试验应符合GB/T 34133的规定。构网型光伏逆变器的安全性能试验应符合GB/T 37409的规定。构网型风电变流器的安全性能试验应符合GB/T 25387.2的规定。

7.23 电磁兼容试验

构网型储能变流器的电磁兼容试验应符合GB/T 34133的规定。构网型光伏逆变器的电磁兼容试验应符合GB/T 37409的规定。构网型风电变流器的电磁兼容试验应符合GB/T 25387.2的规定。

7.24 试验规则

7.24.1 一般规定

构网型变流器的试验类型分为型式试验和出厂试验。

7.24.2 型式试验

型式试验应出具检测报告。当有下列情况之一时，应重新开展型式试验：

a) 新产品或老产品转厂的试验定型鉴定时；

b） 当产品的设计、工艺或所用零部件的改变会影响产品性能时；

c） 出厂试验结果与型式试验有较大差异时。

7.24.3 出厂试验

每套构网型变流器产品均应进行出厂试验。

7.24.4 试验项目

构网型变流器试验项目按表6进行，试验应按照第7章中规定的方法进行。

表6 构网型变流器试验项目

序号	试验项目		技术要求	型式试验	出厂试验
1	外观		5.1	√	√
2	防护等级		5.2	√	—
3	启停机		6.1	√	√
4	功率调节	有功功率调节	6.2.1	√	√
5		无功功率调节	6.2.2	√	√
6	电压频率运行范围	电压运行范围	6.3.1	√	—
7		频率运行范围	6.3.2	√	—
8	一次调频		6.4	√	—
9	惯量和阻尼特性		6.5	√	—
10	相角跳变响应		6.6	√	—
11	电压扰动响应		6.7	√	—
12	宽频阻抗特性		6.8	√	—
13	电能质量		6.9	√	—
14	电网强度适应性		6.10	√	—
15	控制模式切换		6.11	√	—
16	过流能力		6.12	√	—
17	零起升压		6.13	√	—
18	告警和保护		6.14	√	—
19	通信		6.15	√	—
20	运行信息监测与统计		6.16	√	—
21	数据显示和存储		6.17	√	—
22	安全性能	电气安全	6.18	√	√
23		机械防护	6.18	√	—
24	电磁兼容		6.19	√	—
注：“√”表示必做项，“—”表示不做要求。					

8 仿真模型和参数

8.1 构网型变流器应提供可用于电力系统仿真计算的机电暂态和电磁暂态模型及参数，模型及参数应基于实测数据完成准确性评价。

8.2 构网型变流器模型应至少包括有功功率调节、无功功率调节、一次调频控制、惯量和阻尼特性控制、过流控制等控制环节方框图。

8.3 构网型变流器模型应至少开放一次调频死区、有功调频系数、惯性时间常数、无功功率调节模式、无功调压系数，并能根据需要进行修改。

9 标志、包装、运输和存储

9.1 构网型储能变流器的标志、包装、运输和存储要求应符合 GB/T 34120 的规定。

9.2 构网型光伏逆变器的标志、包装、运输和存储要求应符合 GB/T 37408 的规定。

9.3 构网型风电变流器的标志、包装、运输和存储要求应符合 GB/T 25387.1 的规定。

附 录 A
（资料性）
阻尼比计算方法

A.1 基于超调量阻尼比计算方法

基于超调量阻尼比计算方法，采用公式（A.1）计算，典型阶跃响应时域波形见图 A.1。

$$\zeta=\frac{-\ln\sigma}{\sqrt{\pi^2+(\ln\sigma)^2}} \qquad \cdots\cdots(A.1)$$

式中：

ζ ——阻尼比；

σ ——超调量。

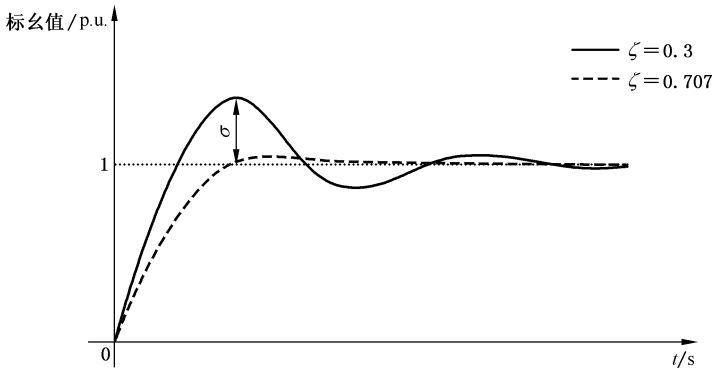


图 A.1 典型阶跃响应时域波形（基于超调量）

A.2 基于对数衰减率阻尼比计算方法

基于对数衰减率阻尼比计算方法，采用公式（A.2）计算，典型阶跃响应时域波形见图 A.2。

$$\zeta=\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{2\pi}{\delta}\right)^2}} \qquad \cdots\cdots(A.2)$$

式中：

ζ ——阻尼比；

δ ——对数衰减率。

对数衰减率 δ 采用公式（A.3）计算。

$$\delta=\frac{1}{n}\ln\left(\frac{Y_0}{Y_n}\right) \qquad \cdots\cdots(A.3)$$

式中：

Y_0 ——振荡的初始峰值与稳态值偏差；

Y_n ——振荡的第 n 个峰值与稳态值偏差。

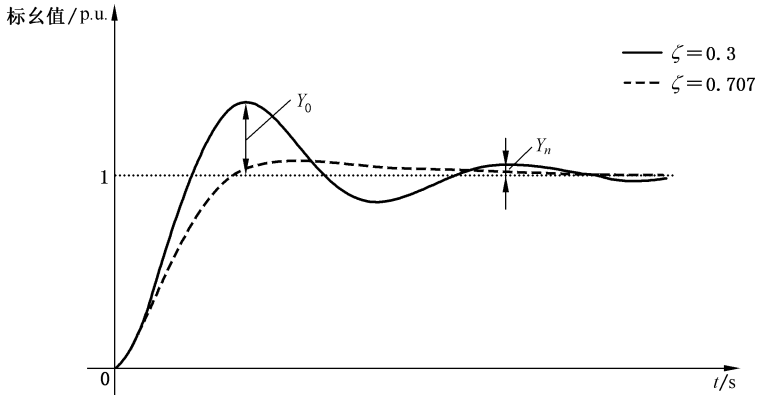


图 A.2　典型阶跃响应时域波形(基于对数衰减率)

附 录 B
（规范性）
暂态电流增量初始值时间计算方法

B.1 暂态电流理论增量值积分计算

暂态电流理论增量值积分计算按以下步骤进行。

a） 利用电压扰动过程的构网型变流器交流端口电压和电流的瞬时值数据，计算电压基波正序有效值和电流基波正序有效值。

b） 依据公式(B.1)计算电压扰动过程中暂态电流理论值I_{ideal}，如图 B.1 虚线所示。

$$I_{ideal}=|\dot{I}_0+\Delta\dot{I}|=\left|\dot{I}_0+\frac{\Delta\dot{U}}{Z_t}\right| \quad \cdots\cdots(B.1)$$

式中：

I_{ideal}——构网型变流器电压扰动过程中暂态电流理论值，单位为安(A)；

$\dot{I}_0$ ——构网型变流器电压扰动前电流初始矢量值，单位为安(A)；

$\Delta\dot{I}$ ——构网型变流器因电压扰动产生的暂态电流增量初始矢量值，单位为安(A)；

$\Delta\dot{U}$——构网型变流器交流端口电压扰动后电压测量值与电压扰动前电压测量值的矢量偏差，单位为伏(V)；

Z_t ——构网型变流器等效暂态阻抗复数值，单位为欧(Ω)。

c） 按照公式(B.2)计算图 B.1 中t_0～t_1区间内暂态电流理论增量值的积分C_{I_ideal}：

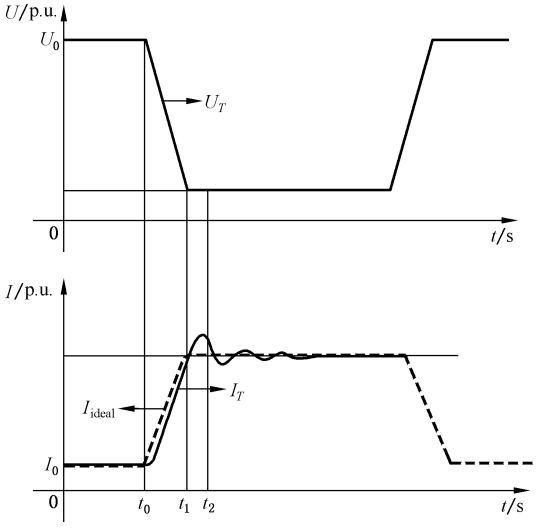
$$C_{I_ideal}=\int_{t_0}^{t_1}(I_{ideal}-I_0)\mathrm{d}t \quad \cdots\cdots(B.2)$$

式中：

C_{I_ideal}——t_0～t_1之间暂态电流理论增量值；

I_{ideal} ——构网型变流器电压扰动过程中暂态电流理论有效值；

I_0 ——构网型变流器电压扰动前电流初始有效值。



标引符号说明：

U_0 ——电压扰动前电压初始有效值；

U_T ——电压扰动中电压有效值；

I_0 ——构网型变流器电压扰动前电流初始有效值；

I_T ——构网型变流器电压扰动中电流有效值；

I_{ideal} ——构网型变流器电压扰动过程中暂态电流理论有效值；

t_0 ——电压扰动初始时刻；

t_1 ——电压扰动结束时刻；

t_2 ——暂态电流测试值增量积分计算截止时刻。

图 B.1　电压扰动暂态响应曲线

B.2　暂态电流测试增量值积分计算

按照公式(B.3)从t_0时刻起，计算暂态电流测试增量值的积分C_{I_test}，直至C_{I_test}等于或第一次大于C_{I_ideal}，记录t_2：

$$C_{I_test}=\int_{t_0}^{t_2}(I_T-I_0)\mathrm{d}t \qquad \cdots\cdots(B.3)$$

式中：

C_{I_test}——t_0～t_2区间暂态电流测试增量值的积分；

t_0 ——电压扰动初始时刻；

t_2 ——暂态电流测试值增量积分计算截止时刻；

I_T ——构网型变流器电压扰动中电流有效值；

I_0 ——构网型变流器电压扰动前电流初始有效值。

B.3　电流增量达到暂态电流增量初始值时间计算

按照公式(B.4)计算t_r，以t_r作为电流增量达到暂态电流增量初始值的时间：

$$t_r=t_2-t_1 \qquad \cdots\cdots(B.4)$$

式中：

t_r——电流增量达到暂态电流增量初始值的时间；

t_1——电压扰动结束时刻；

t_2——暂态电流测试值增量积分计算截止时刻。

注：附录 B 适用于电压上扰动和电压下扰动工况的暂态电流增量初始值时间计算，同样适用于基波负序计算，部分工况计算结果可能受非周期性分量影响。

附 录 C
（规范性）
宽频阻抗测量方法

C.1 宽频阻抗测量接线方式

构网型变流器宽频阻抗测试接线如图 C.1 所示。宽频电压扰动装置串联接入构网型变流器与电网之间，测量点为构网型变流器交流端口，分别采集各工况测量点三相电压、三相电流，规定电流正方向为电网流向构网型变流器。



图 C.1 构网型变流器宽频阻抗测量接线

C.2 宽频阻抗测量要求

宽频阻抗测量应满足下列要求：

a) 宽频阻抗测量数据应包括扰动相序、扰动频率、三相电压、三相电流、阻抗相序、阻抗频率、阻抗幅值、阻抗相位、有功功率、无功功率；

b) 宽频阻抗测量扰动电压幅值应小于测量点额定电压幅值的 5%，电压、电流不应触发构网型变流器保护动作；

c) 宽频阻抗测量的电压、电流数据采样率不应小于 5 kHz。

C.3 宽频阻抗测量步骤

阻抗测量分为正序阻抗测量和负序阻抗测量，其具体步骤分别如下：

a) 构网型变流器正序阻抗测量应按下列步骤开展：

1) 按阻抗测量频率范围，设定频率f_p为频率范围下限值；

2) 通过宽频电压扰动装置注入频率为f_p的正序电压扰动；

3) 通过对三相电压、电流数据进行傅里叶变换，提取正序电压扰动分量$\Delta u_p(f_p)$和正序电流响应分量$\Delta i_p(f_p)$；

4) 利用公式(C.1)计算构网型变流器正序阻抗Z_{11}；

$$Z_{11}=\frac{\Delta u_p(f_p)}{\Delta i_p(f_p)} \qquad \cdots\cdots(C.1)$$

式中：

Z_{11} ——构网型变流器正序阻抗；

$\Delta u_p(f_p)$——正序电压扰动分量；

$\Delta i_p(f_p)$ ——正序电流响应分量。

5) 按宽频阻抗测量频率步长，增大频率f_p取值重复上述步骤 2)～步骤 4)，直至达到频率范围上限值。

b) 构网型变流器负序阻抗测量应按下列步骤开展：

1) 按宽频阻抗测量频率范围，设定频率f_p为频率范围下限值；

2） 通过阻抗测量装置注入频率为f_p-2f_1的负序电压扰动；

3） 通过对三相电压、三相电流数据进行傅里叶变换。当$f_p<2f_1$时，提取正序电压扰动分量$\Delta u_p(2f_1-f_p)$，提取正序电流响应分量$\Delta i_p(2f_1-f_p)$，利用公式(C.2)得到负序电压扰动分量$\Delta u_n(f_p-2f_1)$，利用公式(C.3)得到负序电流响应分量$\Delta i_n(f_p-2f_1)$；当$f_p\geqslant 2f_1$时，提取负序电压扰动分量$\Delta u_n(f_p-2f_1)$，提取负序电流响应分量$\Delta i_n(f_p-2f_1)$；

$$\Delta u_n(f_p-2f_1)=\Delta u_p^*(2f_1-f_p) \quad \cdots\cdots(C.2)$$

式中：

$\Delta u_n(f_p-2f_1)$ ——负序电压扰动分量；

$\Delta u_p^*(2f_1-f_p)$——正序电压扰动分量的复数共轭值。

$$\Delta i_n(f_p-2f_1)=\Delta i_p^*(2f_1-f_p) \quad \cdots\cdots(C.3)$$

式中：

$\Delta i_n(f_p-2f_1)$ ——负序电流响应分量；

$\Delta i_p^*(2f_1-f_p)$——正序电流响应分量的复数共轭值。

4） 利用公式(C.4)计算构网型变流器负序阻抗Z_{22}：

$$Z_{22}=\frac{\Delta u_n(f_p-2f_1)}{\Delta i_n(f_p-2f_1)} \quad \cdots\cdots(C.4)$$

式中：

Z_{22} ——构网型变流器负序阻抗；

$\Delta u_n(f_p-2f_1)$——负序电压扰动分量；

$\Delta i_n(f_p-2f_1)$ ——负序电流响应分量。

5） 按宽频阻抗测量频率步长，增大频率f_p取值，重复上述步骤2)～步骤4)，直至达到频率范围上限值。

参 考 文 献

[1] GB/T 19963.1—2021 风电场接入电力系统技术规定 第1部分:陆上风电
[2] GB 38755—2019 电力系统安全稳定导则