



# 团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

## 储能系统变流器涉网性能硬件在环检测 规范

The procedure for hardware in the loop testing of energy storage converter  
grid-related performance

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布



## 目 次

目 次 .....	I
前 言 .....	II
1 范围 .....	3
2 规范性引用文件 .....	3
3 术语和定义 .....	3
4 总体要求 .....	3
5 检测准备 .....	4
5.1 检测环境条件 .....	4
5.2 资料收集 .....	4
5.3 待测样品要求 .....	4
6 检测平台 .....	4
6.1 检测平台功能要求 .....	4
6.2 模型要求 .....	4
7 检测项目与步骤 .....	5
7.1 检测项目 .....	5
7.2 故障穿越检测步骤 .....	5
7.3 电网适应性检测步骤 .....	7
8 模型参数验证检测工况 .....	8
9 检测报告 .....	9

## 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》给出的规则起草。

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这些专利的责任。

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委员会储能技术工作组归口。

本文件起草单位：国网河南省电力公司电力科学研究院、国网陕西省电力公司电力科学研究院、国网辽宁省电力公司电力科学研究院、国网安徽省电力公司电力科学研究院、北京海博思创科技股份有限公司。

本文件主要起草人：滕卫军、刘阳、李朝晖、邓俊、孙广宇、周雨豪、戈阳阳、张潇桐、徐斌、李金中、谢毓广、马伟、陈喆。

本文件为首次发布。

# 储能系统变流器涉网性能硬件在环检测规范

## 1 范围

本文件规定了电化学储能系统变流器硬件在环检测准备、检测平台、检测项目和步骤、模型参数验证检测工况等要求。

本文件适用于额定功率在100kW及以上且储能时间不低于15min的电化学储能系统变流器涉网性能和模型参数验证等，其他功率等级和储能时间的电化学储能系统可参照执行。

## 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 34120 电化学储能系统储能变流器技术规范
- GB/T 36547 电化学储能系统接入电网技术规定
- GB/T 36548 电化学储能系统接入电网测试规范
- GB/T 40581 电力系统安全稳定计算规范
- GB 38755 电力系统安全稳定导则

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**实时数字仿真器 real time digital simulator**

具备实时数字仿真能力的计算机硬件与软件的总称。

### 3.2

**实时信号接口 real time signal interface**

实时数字仿真器与实际物理装置的交互接口。

### 3.3

**储能变流器硬件在环检测系统 hardware in the loop testing system for storage system**

实时数字仿真器与储能变流器控制器通过实时信号接口连接，构成数字仿真器模型与储能变流器控制器的闭环系统，并实时交互运行的过程。

## 4 总体要求

4.1 储能系统变流器涉网性能硬件在环检测应基于电磁暂态仿真环境，通过硬件在环检测平台连接被测储能系统变流器控制器，开展储能变流器硬件在环仿真检测。

4.2 储能变流器硬件在环检测前，应编制检测方案，明确检测场景，模拟储能变流器接入系统的场景应符合 GB/T 40581 的规定，模拟储能变流器接入近区存在串联补偿装置的场景应符合 GB 38755 要求。

4.3 储能变流器硬件在环检测项目应包括低电压故障穿越、高电压穿越故障、电网适应性检测等。

4.4 当储能变流器通过型式试验，但发生下列变化时，应开展储能变流器涉网性能评价检测：

- a) 储能变流器硬件电路参数不变，控制器软件版本发生变化；
- b) 采用经过型式试验的储能变流器作为单元功率模块，多个单元功率模块并联组成一台储能变流器。

4.5 当储能变流器通过型式试验，需对比同型号另一台储能变流器与其并网性能是否一致时，开展储能变流器一致性核查检测。

4.6 储能变流器硬件在环仿真检测系统应具备与现场电路参数一致的储能变流器功率电路仿真模型。

4.7 被测储能变流器控制器，应具备运行控制算法和程序、模拟信号采样、输出驱动和控制信号的功能，应具备人机接口及通信接口，并能通过人机交互界面对控制器进行参数设置。

4.8 储能变流器硬件在环检测完成后，按照 GB/T 19963.1、GB/T 36995、GB/T 36994 的要求对低电压故障穿越、高电压穿越故障、电网适应性检测结果进行判定，并出具检测报告。

## 5 检测准备

### 5.1 检测环境条件

检测环境应满足以下要求：

- a) 环境温度：-20~50℃；
- b) 相对环境湿度：≤90%。

### 5.2 资料收集

检测前应收集以下储能变流器资料：

- a) 一次电路拓扑及关键元器件参数；
- b) 交直流侧电压、电流允许范围；
- c) 交直流侧保护参数；
- d) 实时仿真器与被测控制器之间输入/输出的信号类型、信号来源、信号电平范围和信号变比；
- e) 软件版本号。

### 5.3 待测样品要求

储能变流器控制器样品，应具备运行控制算法和程序、模拟信号采样、输出驱动和控制信号的功能，应具备人机接口及通信接口，并能通过人机交互界面对控制器进行参数设置。

## 6 检测平台

### 6.1 检测平台功能要求

检测平台与被测储能变流器控制器典型连接方式见图 1。检测平台应满足以下要求：

- a) 实时数字仿真器应基于 CPU、FPGA 等处理器开展模型计算，仿真检测系统所有内核的总处理器利用率宜小于 60%。
- b) 实时数字仿真器应基于 FPGA 处理器捕获数字脉冲信号。
- c) 实时数字仿真器应能配置仿真规模和仿真步长，运算步长应依据储能变流器功率器件开关频率确定。
- d) 实时数字仿真器软件应具备储能系统的一次设备模型和二次控制保护模型，具备检测数据记录和分析功能。
- e) 信号接口应满足储能变流器控制器与仿真模块之间信号传输及交互的要求，应能正确体现传输信号的物理状态，可采用模拟/数字信号连接或者通信协议连接方式。
- f) 信号接口中各通道应是相互隔离的，无电路上的连接。

### 6.2 模型要求

模型应满足以下要求：

- a) 电池模型应具备典型环境因素（环境温度、湿度等）下的电池运行特性模拟功能；
- b) 储能变流器功率电路模型应采用电力电子开关模型，具备储能变流器电气特性和保护特性模拟功能。当储能变流器为两级式拓扑结构，且前级 DC/DC 并联模块数量影响处理器利用率时，DC/DC 模块并联数量可等效减少，等效前后的储能变流器功率电路模型电气和保护特性需保持一致。
- c) 检测装置模型应包括低电压故障发生装置模型、高电压故障发生装置模型和电网模拟装置模型。低电压故障发生装置模型、高电压故障发生装置模型和电网模拟装置模型的模拟功能应满足 GB/T 36548 中检测设备要求；

d) 电网模型应具备电网阻抗特性模拟功能，能够模拟储能变流器接入电网典型场景；应能模拟公用电网的电压和频率扰动。

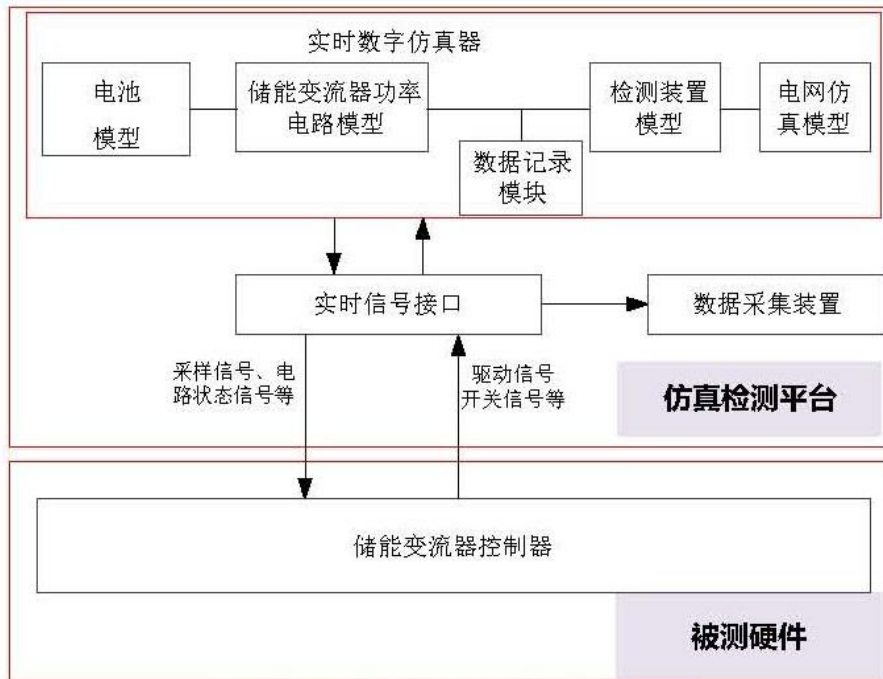


图 1 储能涉网性能硬件在环检测典型连接示意图

## 7 检测项目与步骤

### 7.1 检测项目

储能系统变流器涉网性能硬件在环检测项目应包括故障穿越和电网适应性，故障穿越检测应包括低电压穿越、高电压穿越，电网适应性检测应包括电压适应性、频率适应性。

### 7.2 故障穿越检测步骤

储能系统变流器故障穿越硬件在环检测步骤如下：

- 按照图 2 建立储能变流器控制器检测的仿真模型，模型中开关 S3 和 S4 闭合；
- 选择电网模拟场景，设置电网模型和参数；
- 调节仿真模型中电池仿真模块参数，使储能变流器模型分别运行在  $10\% P_N \sim 30\% P_N$ 、 $70\% P_N \sim 100\% P_N$ 、 $-30\% P_N \sim -10\% P_N$ 、 $-100\% P_N \sim -70\% P_N$  四种工况下；
- 调节低电压故障发生装置模型、高电压故障发生装置模型进行低电压穿越检测、高电压穿越检测，依据图 3、图 4 规定的考核曲线，按照表 1、表 2 设置电压故障，分别在三相对称电压故障和三相对称电压故障情况下检测；
- 记录储能变流器模型交流侧电压、电流和功率波形，记录应包含电压故障前 5s 到电压恢复正常后 5s 之内的数据。

注： $P_N$  为变流器额定功率， $U_N$  为变流器额定电压。

储能系统故障穿越检测的有功功率、动态无功支撑能力等应满足 GB/T 36547、GB/T 34120 的要求。

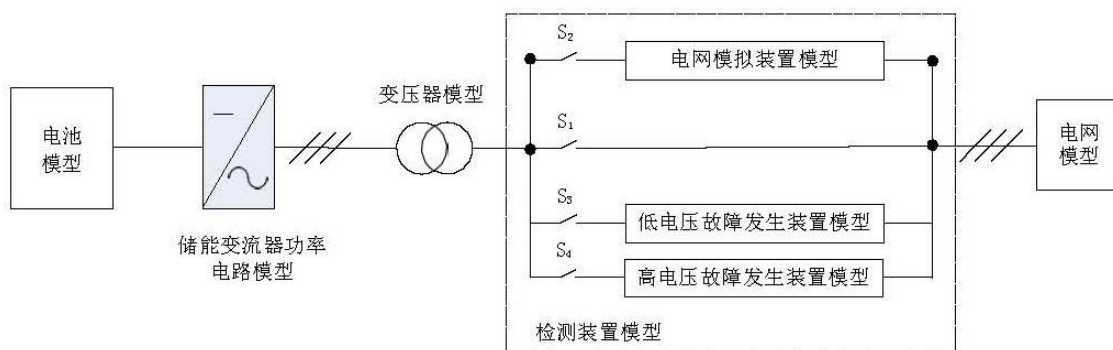


图 2 仿真检测回路示意图

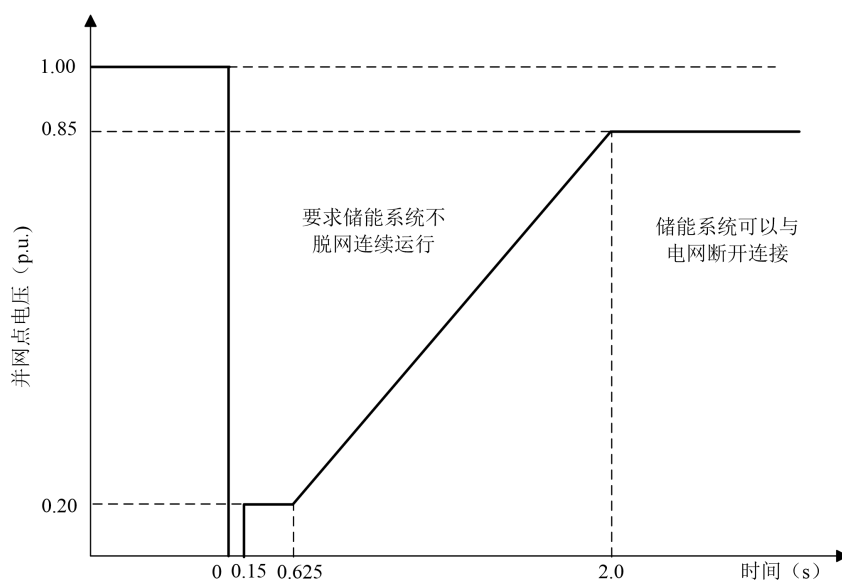


图 3 储能系统低电压穿越要求

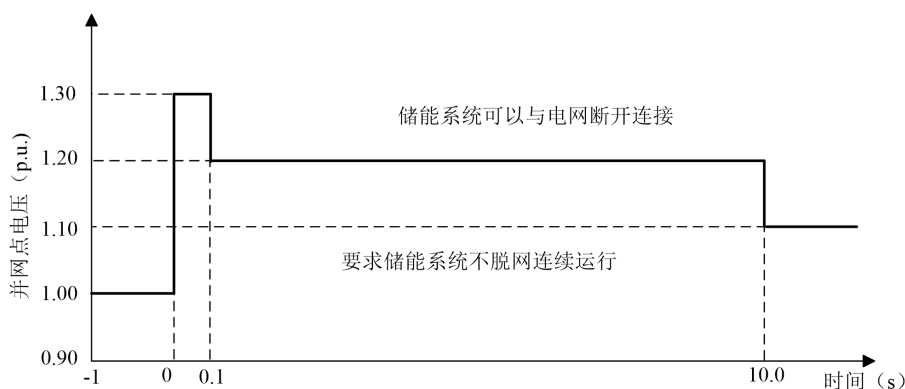


图 4 储能系统高电压穿越要求

表 1 储能系统低电压穿越并网点电压跌落规格

序号	残压幅值 p. u.	故障持续时间 ms	电压跌落波形
1	$0\%U_N \leq U \leq 5\%U_N$	依据图 3 计算	




2	$20\%U_N \leq U \leq 25\%U_N$	依据图 3 计算	
3	$25\%U_N \leq U \leq 50\%U_N$	依据图 3 计算	
4	$50\%U_N \leq U \leq 75\%U_N$	依据图 3 计算	
5	$75\%U_N \leq U \leq 90\%U_N$	依据图 3 计算	

表 2 储能系统高电压穿越并网点电压跌落规格

序号	残压幅值 p. u.	故障持续时间 ms	电压升高波形
1	$110\%U_N < U < 120\%U_N$	依据图 4 计算	
2	$120\%U_N < U < 125\%U_N$	依据图 4 计算	

### 7.3 电网适应性检测步骤

储能系统变流器电网适应性硬件在环检测步骤如下：

- 按照图 2 建立储能变流器控制器检测的仿真模型，模型中开关 S2 闭合；
- 选择电网模拟场景，设置电网模型和参数；
- 调节仿真模型中电池仿真模块参数，使储能变流器模型分别运行在充电和放电工况下；
- 调节电网模拟装置模型参数，使输出电压在标称频率条件下，按照表 3 设定电压幅值进行检测；
- 观察变流器模型运行状态，记录被测控制器模型交流侧电压和功率的波形。
- 调节电网模拟装置模型参数，模拟电网电压频率变化，按照表 4 设定频率进行检测；
- 观察变流器模型运行状态，记录被测变流器模型交流侧频率和功率的波形。

表 3 电压适应性检测内容

序号	储能系统运行状态	设定电压幅值 p. u.	持续时间 min	备注
1	充电	86%Un	1	
2		109%Un	1	
3		$86\%U_N < U < 109\%U_N$	1	若干个
4		$U < 86\%U_N$	1	
5		$U > 110\%U_N$	1	
6	放电	86%Un	1	
7		109%Un	1	
8		$86\%U_N < U < 109\%U_N$	1	若干个
9		$U < 86\%U_N$	1	
10		$U > 110\%U_N$	1	

表 4 频率适应性检测内容

序号	储能系统运行状态	设定频率 Hz	持续时间 s	备注
1	充电	49.52	60	

2		50.18	60	
3		$49.52 < f < 50.18$	60	若干个点
4		49.32	4	380V 接入电网的储能系统
5		49.48	4	380V 接入电网的储能系统
6		$49.32 < f < 49.48$	4	380V 接入电网的储能系统，若干个点
7		50.22	4	
8		50.48	4	
9		$50.22 < f < 50.48$	4	
10		48.02	4	10（6）kV 及以上电压等级接入电网的储能系统
11		49.48	4	10（6）kV 及以上电压等级接入电网的储能系统
12		$48.02 < f < 49.48$	4	10（6）kV 及以上电压等级接入电网的储能系统，若干个点
13		50.52	4	
14		47.98	4	
15	放电	49.52	60	
16		50.18	60	
17		$49.52 < f < 50.18$	60	若干个点
18		49.32	4	380V 接入电网的储能系统
19		49.48	4	380V 接入电网的储能系统
20		$49.32 < f < 49.48$	4	380V 接入电网的储能系统，若干个点
21		50.22	4	
22		50.48	4	
23		$50.22 < f < 50.48$	4	
24		48.02	4	10（6）kV 及以上电压等级接入电网的储能系统
25		49.48	4	10（6）kV 及以上电压等级接入电网的储能系统
26		$48.02 < f < 49.48$	4	10（6）kV 及以上电压等级接入电网的储能系统，若干个点
27		50.52	4	
28		47.98	4	

## 8 模型参数验证检测工况

- 8.1 储能系统模型参数验证检测工况应满足仿真模型参数辨识要求。
- 8.2 储能系统模型参数验证检测数据应包含充电和放电两种状态，有功功率检测数据应满足以下范围：

- a) 大功率输出范围： $P \geq 0.7P_n$ 。
- b) 中间功率输出范围： $0.5P_n \leq P < 0.7P_n$ 。
- c) 小功率输出范围： $0.1P_n \leq P \leq 0.3P_n$ 。

无功功率检测数据应满足以下范围：

- a) 容性无功功率输出大范围： $Q_C > 0.5Q_{\max}$ 。
- b) 感性无功功率输出大范围： $Q_L > 0.5Q_{\max}$ 。
- c) 无功功率输出小范围： $Q_C < 0.1Q_{\max}$  且  $Q_L < 0.1Q_{\max}$ 。

## 9 检测报告

储能系统变流器涉网性能硬件在环检测报告应包括以下内容：

- a) 储能变流器厂家、型号、结构及参数等。
  - b) 检测时间、检测条件、检测单位。
  - c) 检测平台准确性验证结论。
  - d) 硬件在环仿真检测波形、数据分析结果、检测结论。
  - e) 存在问题及处理建议。
-