



中华人民共和国国家标准

GB/T 39227—2020

1 000 V 以下敏感过程电压暂降免疫时间 测试方法

Immunity time testing method under voltage dip for sensitive process rated less
than 1 000 V

2020-11-19 发布

2021-06-01 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 试验设备 2

 4.1 电压暂降发生器 2

 4.2 数据采集系统 2

5 测试内容 3

6 试验布置 3

7 测试方法 4

 7.1 工业子过程暂降免疫时间测试方法 4

 7.2 工业过程暂降免疫时间计算方法 4

8 测试流程 4

 8.1 测试计划 4

 8.2 测试实施 5

9 测试结果和测试报告 5

 9.1 测试结果 5

 9.2 测试报告 5

附录 A（规范性附录） 三相系统电压暂降测试相量 7

附录 B（资料性附录） 过程免疫时间 8

附录 C（资料性附录） 工业过程中设备连接的典型结构 9

附录 D（资料性附录） 过程免疫时间测试案例 10

参考文献 12

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 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。

本标准由全国电压电流等级和频率标准化技术委员会(SAC/TC 1)提出并归口。

本标准起草单位:广东电网有限责任公司广州供电局电力试验研究院、四川大学、中机生产力促进中心、华南理工大学、华北电力大学、国网江苏省电力有限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、国网上海市电力公司电力科学研究院、全球能源互联网研究院有限公司、西安博宇电气有限公司、国网河南省电力公司电力科学研究院、国网山西省电力公司电力科学研究院、云南电网有限责任公司电力科学研究院、国网福建省电力有限公司电力科学研究院、国网江苏省电力有限公司无锡供电分公司、上海交通大学、安徽大学、国网北京市电力公司电力科学研究院、武汉科力源电气有限公司、南京国臣直流配电科技有限公司、深圳市中电电力技术股份有限公司、国网安徽省电力有限公司电力科学研究院、深圳供电局有限公司电力科学研究院、福州大学。

本标准主要起草人:王勇、汪颖、许中、张苹、马智远、钟庆、莫文雄、徐永海、费骏韬、徐柏榆、冯倩、刘颖英、刘军成、王毅、常潇、徐志、黄道姗、缪金、李睿、朱明星、郭倩雯、汪伟、瞿李锋、梅中华、王昕、徐斌、张华赢、张逸。

1 000 V 以下敏感过程电压暂降免疫时间 测试方法

1 范围

本标准规定了 1 000 V 以下敏感过程电压暂降免疫时间测试的试验设备、测试内容、试验布置、测试方法、测试流程以及测试结果和测试报告要求。

本标准适用于连接于 50 Hz 公用电网的电压低于 1 000 V 的对电压暂降敏感的工业过程。本标准规定的测试方法同样适用于短时中断事件。

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 17626.11—2008 电磁兼容 试验和测量技术 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验

GB/T 17626.34—2012 电磁兼容 试验和测量技术 主电源每相电流大于 16 A 的设备的电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验

GB/T 30137—2013 电能质量 电压暂降与短时中断

GB/T 32507—2016 电能质量 术语

3 术语和定义

GB/T 30137—2013 和 GB/T 32507—2016 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了 GB/T 30137—2013 和 GB/T 32507—2016 的某些术语和定义。

3.1

电能质量 power quality; quality of power system

电力系统指定点处的电特性,关系到供电设备正常工作(或运行)的电压、电流的各种指标偏离基准技术参数的程度。

注:基准技术参数一般是理想供电状态下的指标值,这些参数可能涉及供电与负荷间的兼容性。

[GB/T 32507—2016,定义 2.1.1]

3.2

电压暂降 voltage dip(sag)

电力系统中某点工频电压方均根值突然降低至 0.1 p.u.~0.9 p.u.,并在短暂持续 10 ms~1 min 后恢复正常的现象。

[GB/T 30137—2013,定义 3.1]

3.3

短时中断 short interruption

电力系统中某点工频电压方均根值突然降低至 0.1 p.u.以下,并短暂持续 10 ms~1 min 后恢复正常的现象。

[GB/T 30137—2013,定义 3.2]

3.4

残余电压 residual voltage

U_{res}

电压暂降或者短时中断过程中记录的电压方均根值的最小值。

[GB/T 30137—2013, 定义 3.9]

3.5

免疫力 immunity

抗扰度

负荷、过程或系统经历电压暂降不降低运行性能的能力。

注：改写 GB/T 17626.11—2008, 定义 3.2。

3.6

过程免疫时间 process immunity time; PIT

从电压暂降开始到过程参数超过其极限阈值的时间。

3.7

过程参数 process parameter

反映整个工业生产过程中各子过程或设备工作状态的参数。

3.8

(工业)过程 (industry) process

一组相互影响的用电设备协同工作的活动。

3.9

(电压暂降)敏感过程 sensitive process [to voltage dip (sag)]

在一定残余电压和持续时间的电压暂降下,不能正常运行的工业过程。

4 试验设备

4.1 电压暂降发生器

电压暂降发生器应发出适用于测试单相负荷和三相负荷的电压暂降。电压暂降发生器应满足下列特点：

a) 用于测试单相负荷

除专门指出以外,电压暂降发生器的特点应满足 GB/T 17626.34—2012 中 6.1 的要求。

b) 用于测试三相负荷

除单相负荷的测试要求外,电压暂降发生器还应满足以下要求：

- 1) 具有星型和三角型两种接线方式；
- 2) 能发出附录 A 的各类电压暂降；
- 3) 应满足第 5 章中的测试要求。

4.2 数据采集系统

数据采集系统用于采集和记录测试过程中反映被测工业过程状态变化的过程参数,可包括:各类具有存储功能的数据采集器、示波器和传感器等。

数据采集系统应满足如下精度要求：

- a) 示波器测量误差:不大于 $\pm 0.2\%$ 。
- b) 传感器测量误差与采样精度宜参考传感器相关国家标准或行业标准。
- c) 示波器采样率:至少为 10 kHz。

- d) 示波器数据分辨率:至少为 12 bit。
- e) 过程参数采样率:至少为 5 kHz。

5 测试内容

对敏感过程进行测试时,应考虑下列特点:

- a) 负荷特性:
 - 1) 测试时应考虑工业过程中各子过程或设备参数以及其保护参数的设置,典型设备特性可包括:
 - 可编程逻辑控制器(programmable logic controller; PLC)的工作类型及 I/O 点数;
 - 调速器的控制策略;
 - 可变速驱动的过流保护和低压保护的设置。
 - 2) 测试时应考虑工业过程中各子过程或设备在工业过程的负载情况,包括负载类型和负载大小。典型的负载类型可包括:
 - 恒转矩负载;
 - 恒功率负载;
 - 一次方率负载;
 - 二次方率负载。负载大小可由负载电流、负载电压、负载速率和负载转矩等反映。
- b) 残余电压和持续时间:
 - 1) 残余电压:应在残余电压为 0%、50%、70%、80% 的标称电压时进行测试,在条件允许的情况下,根据实际测试需要可增加或减少测试点。
 - 2) 持续时间:对于每一个残余电压,均宜采用 1 min 作为最大持续时间。
- c) 暂降类型:
 - 1) 三相对称暂降:宜采用Ⅲ型电压暂降,进行三相对称暂降的测试,电压相量详见附录 A。
 - 2) 三相不对称暂降:可采用 GB/T 17626.11—2008 或 GB/T 17626.34—2012 规定的暂降类型。电压相量详见附录 A。

6 试验布置

为减小误差对测试结果的影响,宜采用设备制造商规定的、尽可能短的电缆。如无电缆长度规定,则应是适合于受试设备所用的最短电缆。测试布置如图 1 所示。

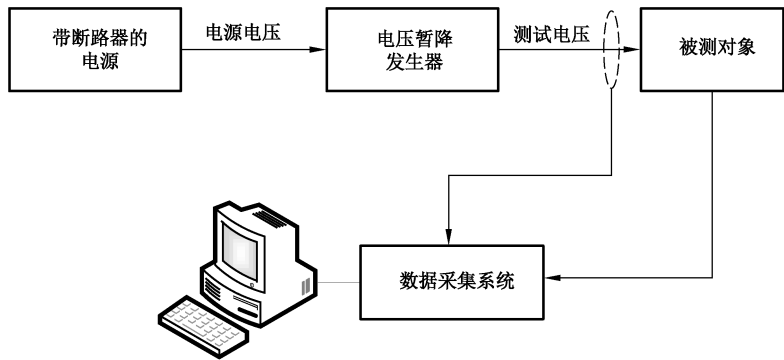


图 1 测试布置示意图

7 测试方法

7.1 工业子过程暂降免疫时间测试方法

工业过程免疫时间概念参见附录 B。工业子过程暂降免疫时间测试包括分解过程环节、明确子过程、确定子过程参数阈值和测试子过程免疫时间共四个步骤：

- a) 分析敏感过程,列出过程包含的所有子过程,依据子过程的逻辑关系,确定过程的结构属性。实际中,整个工业过程由各种生产设备串联/并联而成,其典型结构参见附录 C。
- b) 将敏感过程分解为多个子过程。根据过程的功能和复杂程度确定划分的子过程数量,最小子过程仅含单个敏感性负荷。
- c) 从最小子过程起,逐层向上地根据子过程的功能来确定各子过程直接对应的过程参数,根据工业过程的实际情况确定过程参数的上、下限阈值。
- d) 分别测试各子过程在经受电压暂降时,其过程参数从正常工作状态到超出上、下限阈值的时间,该时间即为子过程的过程免疫时间,具体测试步骤包括:
 - 1) 控制电压暂降发生器输出测试计划规定电压暂降水平和最大持续时间的暂降,宜采用 1 min 作为最大持续时间,对过程中所有子过程逐一进行测试;
 - 2) 电压暂降发生器发出电压暂降时,子过程的过程参数值由传感器测量并存储于数据采集装置中。根据子过程参数越限时间确定子过程的 PIT。需要特别注意的是,在进行测试时,应保证电压暂降发生器与传感器的时间同步性。

7.2 工业过程暂降免疫时间计算方法

根据敏感过程的结构属性和子过程的 PIT,整个工业过程的 PIT 的计算方法如式(1)~式(3)所示:

- a) 若敏感过程(子过程)为串联结构时,过程 PIT 值为:

$$PIT_P = \min(PIT_1, PIT_2, \dots, PIT_k, \dots, PIT_m) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

PIT_k ——各子过程的过程参数免疫时间, $1 \leq k \leq m$ 。

- b) 若敏感过程(子过程)为并联结构时,过程 PIT 值为:

$$PIT_P = \max(PIT_1, PIT_2, \dots, PIT_k, \dots, PIT_n) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

PIT_k ——各子过程的过程参数免疫时间, $1 \leq k \leq n$ 。

- c) 若敏感过程(子过程)有 m 个设备为串联结构, n 个设备为并联结构,其过程的 PIT 值为:

$$PIT_P = \min[PIT_1, PIT_2, \dots, PIT_m, \max(PIT_{1+m}, PIT_{2+m}, \dots, PIT_{n+m})] \quad \dots\dots (3)$$

PIT 测试案例参见附录 D。

8 测试流程

8.1 测试计划

对于一个给定的敏感过程,在测试开始之前,应拟定测试计划。

测试计划应包括测试预期使用的方法和设备。

在测试计划中应对测试的情况做解释与说明。

测试计划宜包含以下项目:

- 敏感过程的结构属性、分解出的所有子过程及其相应的过程参数；
- 敏感过程典型运行方式下各子过程的负荷特性；
- 测试电压(电压暂降残余电压、持续时间及暂降类型)；
- 有关连接(插座、端子等)和相应的电缆以及辅助设备的资料；
- 测试布置的描述。

8.2 测试实施

在测试实施期间应谨慎,待测试工业过程不应由于测试而发生危险或不安全。应采取预防措施以避免人员、待测工业过程发生危险或不安全情况及隐患。

实施测试时,对子过程逐一测试,应记录测试中和测试后各个子过程对应的过程参数,以及输入电压和电流波形。在负荷特性、持续时间和暂降类型等测试变量给定的情况下,通过改变电压暂降的残余电压,确定各子过程的 PIT 值。将获得的 PIT 值从高到低进行排序,确定最敏感的子过程,并计算工业过程的 PIT。

每次测试后,应对工业过程的所有功能进行检查。

9 测试结果和测试报告

9.1 测试结果

测试结果宜包括下列内容:

- a) 测试结果应给出该敏感过程中各子过程的 PIT 值;
- b) 依据子过程的 PIT 值,确定敏感过程中最敏感、最关键的负荷,计算各个典型残余电压下的工业过程的 PIT。

9.2 测试报告

测试报告宜包含能重现测试的全部信息:

- a) 敏感过程各设备和辅助设备的标识:
 - 1) 商标;
 - 2) 产品型号;
 - 3) 序列号;
 - 4) 生产厂家;
 - 5) 出厂日期;
 - 6) 额定技术参数(如额定电压、电流、频率)。
- b) 测试环境信息:
 - 1) 日期;
 - 2) 测试地点;
 - 3) 温度;
 - 4) 湿度;
 - 5) 大气压强。
- c) 测试设备信息:
 - 1) 商标;
 - 2) 产品型号;
 - 3) 测量范围及精度。
- d) 测试期间产生的所有暂降的完整列表:

- 1) 暂降类型；
 - 2) 电压暂降残余电压；
 - 3) 暂降持续时间最大值；
 - 4) 敏感过程各设备和辅助设备的过程参数；
 - 5) 各过程参数的上/下限阈值。
- e) 测试结果信息：
- 1) 经受暂降时,过程中所有子过程的过程参数免疫时间；
 - 2) 电压暂降过程中或电压暂降后,任何有用的评论和观察；
 - 3) 测试产生的任何建议和/或结论。
- f) 其他信息：
- 1) 测试布置；
 - 2) 敏感过程的各设备照片；
 - 3) 实验环境照片；
 - 4) 测试人员。

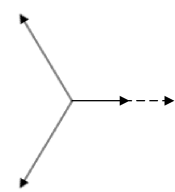
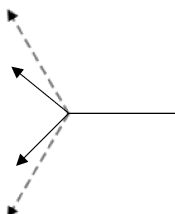
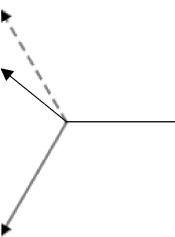
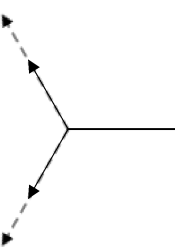
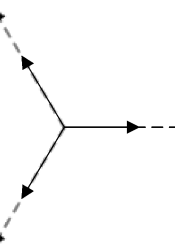


附录 A
(规范性附录)

三相系统电压暂降测试相量

三相系统电压暂降测试相量如表 A.1 所示,其中, E 为系统电压额定值, X 为系统发生电压暂降后的残余电压,均为相电压。

表 A.1 三相系统电压暂降测试相量

类型	相量图	表达式
I 型		$\begin{aligned} V_a &= X \\ V_b &= -\frac{1}{2}E - \frac{1}{2}jE\sqrt{3} \\ V_c &= -\frac{1}{2}E + \frac{1}{2}jE\sqrt{3} \end{aligned}$
II 型		$\begin{aligned} V_a &= E \\ V_b &= -\frac{1}{2}E - \frac{1}{2}jX\sqrt{3} \\ V_c &= -\frac{1}{2}E + \frac{1}{2}jX\sqrt{3} \end{aligned}$
II.A1 型		$\begin{aligned} V_a &= E \\ V_b &= -\frac{1}{2}E - \frac{1}{2}jE\sqrt{3} \\ V_c &= -\frac{1}{2}E + \frac{1}{2}j(2X - E)\sqrt{3} \end{aligned}$
II.A2 型		$\begin{aligned} V_a &= E \\ V_b &= -\frac{1}{2}X - \frac{1}{2}jX\sqrt{3} \\ V_c &= -\frac{1}{2}X + \frac{1}{2}jX\sqrt{3} \end{aligned}$
III 型		$\begin{aligned} V_a &= X \\ V_b &= -\frac{1}{2}X - \frac{1}{2}jX\sqrt{3} \\ V_c &= -\frac{1}{2}X + \frac{1}{2}jX\sqrt{3} \end{aligned}$

附 录 B
(资料性附录)
过程免疫时间

2006 年~2010 年,由 CIGRE、CIRED 和 UIE 联合工作组 C4.110 提出的 PIT 概念,定义为敏感过程经受给定残余电压的电压暂降时,过程参数超过极限阈值的时间,如图 B.1 所示。过程参数是指受生产过程中各子过程设备影响整个过程状态的物理指标,包括水温、油压、阀门流量等,与设备类型有关。图中, P_{nom} 为过程参数额定值, P_{limit} 为过程参数极限阈值, t_1 为暂降发生时刻, Δt 为过程响应延时, t_2 为过程参数越过 P_{limit} 的时刻,PIT 定义如式(B.1)所示。

$$\text{PIT} = t_2 - t_1 \quad \dots\dots\dots (\text{B.1})$$

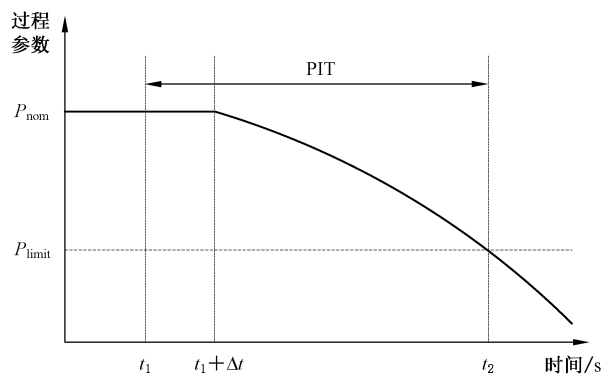


图 B.1 过程免疫时间曲线

当暂降持续时间 $t < \Delta t$, 生产过程正常;当 $\Delta t < t < \text{PIT}$, 生产过程可自动恢复至正常状态;当 $t > \text{PIT}$, 生产过程中断。PIT 越大, 生产过程抵抗电压暂降的能力越强, 免疫力越强。

附录 C
(资料性附录)

工业过程中设备连接的典型结构

图 C.1 列出了六种不同工艺的通用结构，它由工业设备的串联/并联方式组成：

- a) 串联结构
如果工业生产过程中的任何一台设备或子过程发生故障，便构成全局生产过程中断，则称该过程结构为串联方式。
- b) 并联结构
如果工业生产过程中所有设备都发生故障时，才构成全局生产过程中断，则称该过程为并联方式。

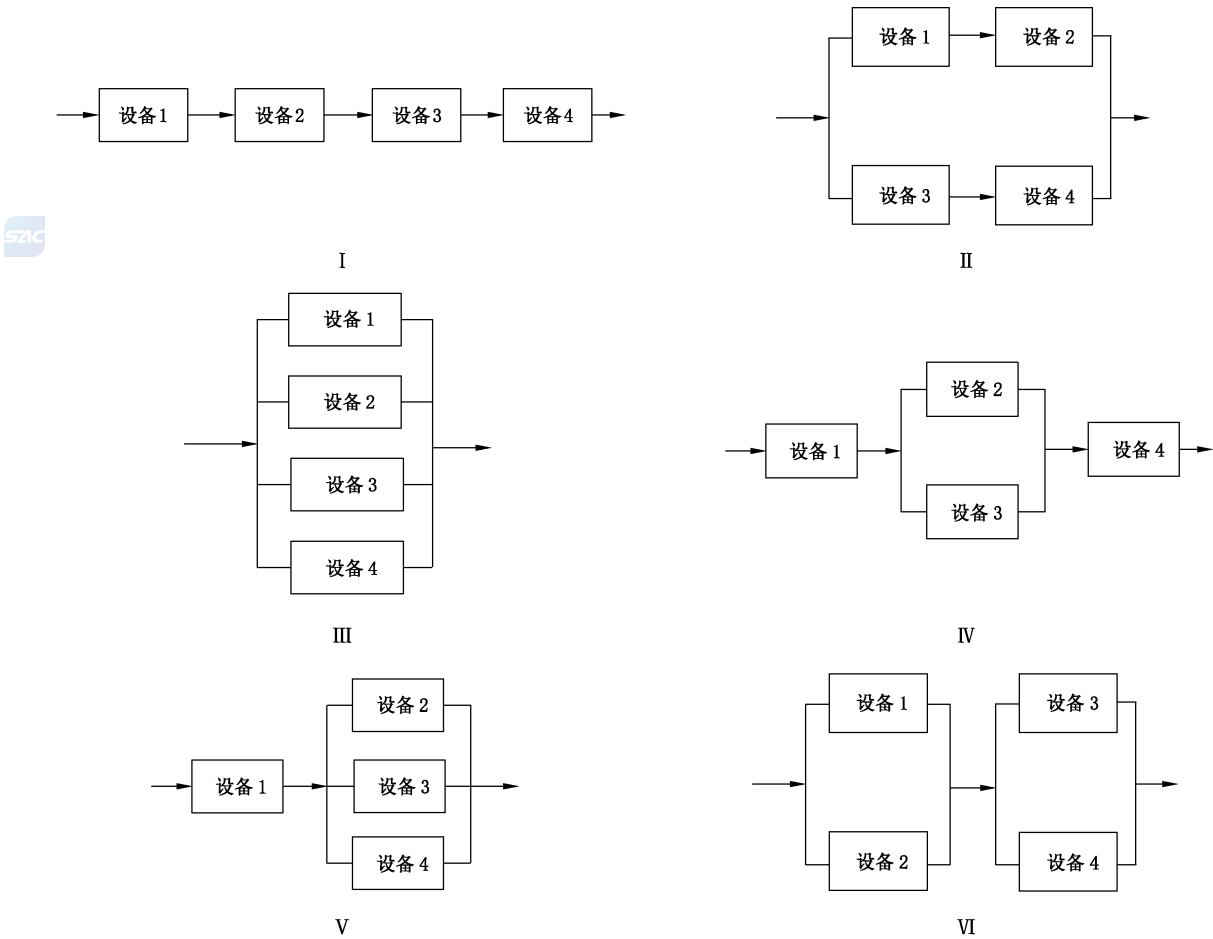


图 C.1 工业过程中的基本结构

工业过程中常见的敏感设备主要有四类，分别为：可编程逻辑控制器 (Programmable Logic controllers; PLCs)，可调速驱动器 (Adjustable Speed Drives; ASDs)，计算机 (computers)，交流接触器 (AC Contactors; ACCs)。根据图 C.1 给出的六种不同工艺的通用结构，对这四种敏感设备进行组合可得出多种不同的工业过程。

附 录 D
(资料性附录)
过程免疫时间测试案例

以下用某化工过程的过程免疫时间测试为例：

首先分析化工过程，列出过程所有设备：DOL IM1(水)、DOL IM2(风扇)、DOL IM3、ASD1(搅拌机)、ASD2(空气)、油泵、温度传感器、氧气控制以及 UPS 的 PLC。

其次，根据化工过程的功能和复杂程度，将该过程分解为 3 级，如表 D.1 所示。

表 D.1 某化工过程的功能等级和设备

敏感过程	一级	二级	三级	过程参数	PIT	排序
	反应					
		冷却过程				
			DOL IM1(水)			
			油泵			
			DOL IM2(风扇)			
		反应过程				
			DOL IM3(反应物)			
			ASD1(搅拌机)			
			ASD2(空气)			
		控制过程				
			温度传感器			
			氧气控制			
			带 UPS 的 PLC			

按照上述方法对该化工过程进行环节、设备的划分后，对相关设备进行分析，确定其对应的过程参数和出现非正常状态的风险。如：反应容器的冷却系统依靠直连感应电机(DOL IM1)驱动水泵完成，而设备运行水平直接影响反应堆冷却水的温度，该温度的正常与否对整个过程具有重要影响，因此该设备的过程参数是过程关键参数。冷却过程的水泵系统中还包含一个小油泵，该油泵通过控制高油压润滑主水泵，以维持水泵正常运行，因此，油压是小油泵的重要过程参数。回路冷却通过直连感应电机驱动风扇(DOL IM2)实现。

在确定设备过程参数上、下限时，应综合考虑实际中过程工艺详细资料和实际情况，例如确定“ASD2-氧气含量”的氧含量上下限，根据历史数据，该过程正常运行时的氧气含量为 20%~30%，当氧气含量低于 20%或高于 30%时，控制系统不正常，会导致过程中断。由于电压暂降一般会引起 ASD 驱动的电机转速下降，氧气含量也下降，因此，这里可考虑其氧气含量下降为 20%的情况为过程参数的阈值。无论该 ASD 经受何种特征的暂降，只要氧气含量下降到 20%就不可接受，因此该组设备的过程免疫时间就是使氧气含量下降到 20%的时间。

因短时中断是最严重且最易产生的电压暂降，本案例对化工过程的所有设备施加短时中断，通过传感器实测设备参数越过要求阈值的时间，获得设备的过程参数，如表 D.2 所示。

最后，该化工过程的结构属性为串联关系，因此化工过程的过程免疫时间由所有设备中过程免疫时间最低的

氧气控制决定,由此也可以确定子环节控制过程中的氧气控制为该化工过程中最敏感、最关键的设备。

表 D.2 某化工过程免疫时间

敏感过程	一级	二级	三级	过程参数	PIT	排序
	反应					
		冷却过程				
			DOL IM1(水)	反应冷却水的温度	5 s	4
			油泵	油压	1.5 s	2
			DOL IM2(风扇)	水循环系统的冷却	3 min	7
		反应过程				
			DOL IM3(反应物)	流速	30 s	6
			ASD1(搅拌机)	反应时间	6 s	5
			ASD2(空气)	氧气含量	2 s	3
		控制过程				
			温度传感器	反应温度	1 h	8
			氧气控制	氧气含量	1 s	
			带 UPS 的 PLC		1 h	8



参 考 文 献

[1] CIGRE/CIREN/UIE Joint Working Group C4.110. Voltage dip immunity of equipment and installations[R]. Paris: CIGRE, 2010.

[2] IEEE. IEEE recommended practice for voltage sag and short interruption ride-through testing for end-use electrical equipment rated less than 1 000 V: IEEE Std. 1668—2017[S]. New York: IEEE, 2017.

