

ICS 19.020
K 40
备案号: 57344-2017

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB / T 42099 — 2016

高压交流断路器合成试验导则

**Guide to the synthetic testing of High-voltage alternating current circuit-breaker
(STL Guide to the interpretation of IEC 62271-101: 2012 High-voltage
switchgear and controlgear Part 101: Synthetic testing, MOD)**

2016-12-05 发布

2017-05-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 型式试验认证程序	1
4 短路开断试验的合成试验技术和方法（对应 GB/T 4473—2008，4）	1
4.1 高电压阶段（对应 GB/T 4473—2008，4.1.3）	1
4.2 电流引入法（对应 GB/T 4473—2008，4.2.1）	1
4.3 其他合成试验方法（对应 GB/T 4473—2008，4.2.4）	2
5 短路关合试验的合成试验技术和方法（对应 GB/T 4473—2008，5）	3
6 与 GB 1984—2014 中 6.102~6.111 要求相关的关合和开断性能合成试验的特殊要求 （对应 GB/T 4473—2008，6）	9
6.1 单元试验（对应 GB 1984—2014，6.102.4.2）	9
6.2 多部试验（对应 GB/T 4473—2008，6.102.4.3）	11
6.3 替代操动机构的 T100s 试验（对应 GB 1984—2014，6.102.7）	11
6.4 燃弧时间的说明（对应 GB/T 4473—2008，6.102.10）	11
6.5 试验方式 T100s（对应 GB/T 4473—2008，6.106.4）	11
6.6 试验方式 T100a（对应 GB/T 4473—2008，6.106.5）	11
6.7 近区故障试验（对应 GB/T 4473—2008，6.109）	16
6.8 失步试验（对应 GB/T 4473—2008，6.110）	16
附录 A （规范性附录） 容性电流开合的合成试验方法（对应 GB/T 4473—2008，附录 G）	19
附录 B （规范性附录） 试验方式 T100a 时 TRV 和 di/dt 的换算值	22
附录 C （资料性附录） 合成试验回路示例	25

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则编写。

本标准修改采用*STL guide to the interpretation of IEC 62271-101: 2012*。

本标准与*STL guide to the interpretation of IEC 62271-101: 2012*的差异及原因如下：

- 本标准针对 GB/T 4473—2008 及 GB 1984—2014 制定，*STL guide to the interpretation of IEC 62271-101: 2012* 针对 IEC 62271-100: 2008 及 IEC 62271-101: 2012 制定；
- 根据我国电网实际情况，删除了 *STL guide to the interpretation of IEC 62271-101: 2012* 中的额定频率 60Hz 的有关内容；
- 增加了时间常数 100ms 及相关参数；
- 删除了 *STL guide to the interpretation of IEC 62271-101: 2012* 中与使用一个三相电流回路和一个电压回路的试验方法相关的内容和附录 L。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由能源行业短路试验技术标准化技术委员会（NEA/TC 10）归口。

本标准负责起草单位：西安高压电器研究院有限责任公司。

本标准参加起草单位：中国电力科学研究院、辽宁高压电器产品质量检测有限公司、上海电气输配电试验中心有限公司、北京北开电气股份有限公司、ABB（中国）有限公司、河南省高压电器研究所、新东北电气公司。

本标准起草人：李刚、姚斯立、杜炜、张晋波、张实、李玉春、张松、邢建、范杰、张文波、杜明蕾、杜传超、赵建沛。

高压交流断路器合成试验导则

1 范围

本标准适用于高压交流断路器在短路和开合条件下按照 GB/T 4473—2008 中给出的试验方法进行合成试验，并出具型式试验报告。

本标准是对 GB/T 4473—2008 中技术要求的解释，以确保在同时使用 GB/T 4473—2008 与 GB 1984—2014 时有一致的解释，并统一试验方法和测量方法。

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 1984—2014 高压交流断路器（IEC 62271-100: 2008, MOD）

GB/T 4473—2008 高压交流断路器的合成试验（IEC 62271-101: 2006, MOD）

NB/T 42101—2016 高压开关设备型式试验及型式试验报告通用导则（STL General Guide 2013, MOD）

IEC 62271-100: 2008+A1: 2012 高压开关设备和控制设备 第 100 部分：交流断路器 High-voltage switchgear and controlgear-Part 100: Alternating-current circuit-breakers

IEC 62271-101: 2012 高压开关设备和控制设备 第 101 部分：合成试验 High-voltage switchgear and controlgear-Part 101: Synthetic testing

3 型式试验认证程序

当按照 GB/T 4473—2008 和本标准使用合成试验技术对断路器进行试验时，只有同时符合 GB 1984—2014 相应试验的规定才能依据 NB/T 42101—2016 出具型式试验报告。

4 短路开断试验的合成试验技术和方法（对应 GB/T 4473—2008，4）

4.1 高电压阶段（对应 GB/T 4473—2008，4.1.3）

如果由于承受直流或交流与直流组合的恢复电压（见 GB/T 4473—2008 图 2），导致在电流零点后 1/8 周波之后发生击穿，可以采用一个合适频率的交流或交流与直流组合的恢复电压重新进行试验。在重复试验时，TRV 相关的要求可以忽略。

4.2 电流引入法（对应 GB/T 4473—2008，4.2.1）

断路器的热特性应在下列试验中验证：

——近区故障试验。

——有起始瞬态恢复电压需求的 T100s（b）和 T100a 试验。

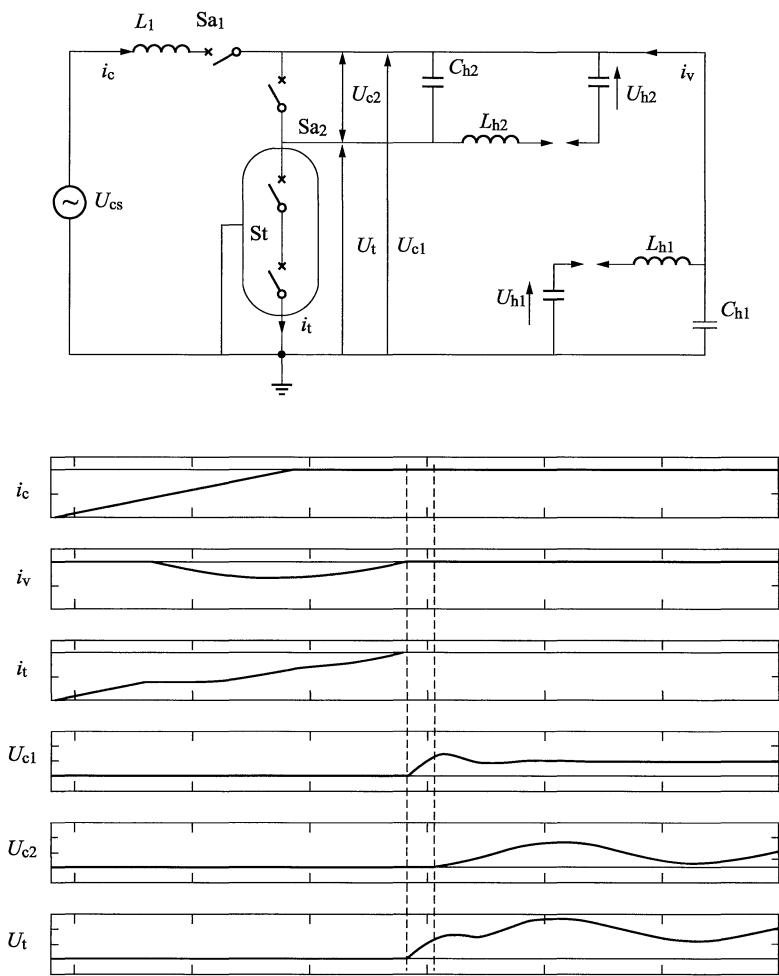
断路器的热特性的验证性试验应采用电流引入法。

图 1 和图 2 中给出的试验回路不能用来验证断路器的热特性。

NB / T 42099 — 2016

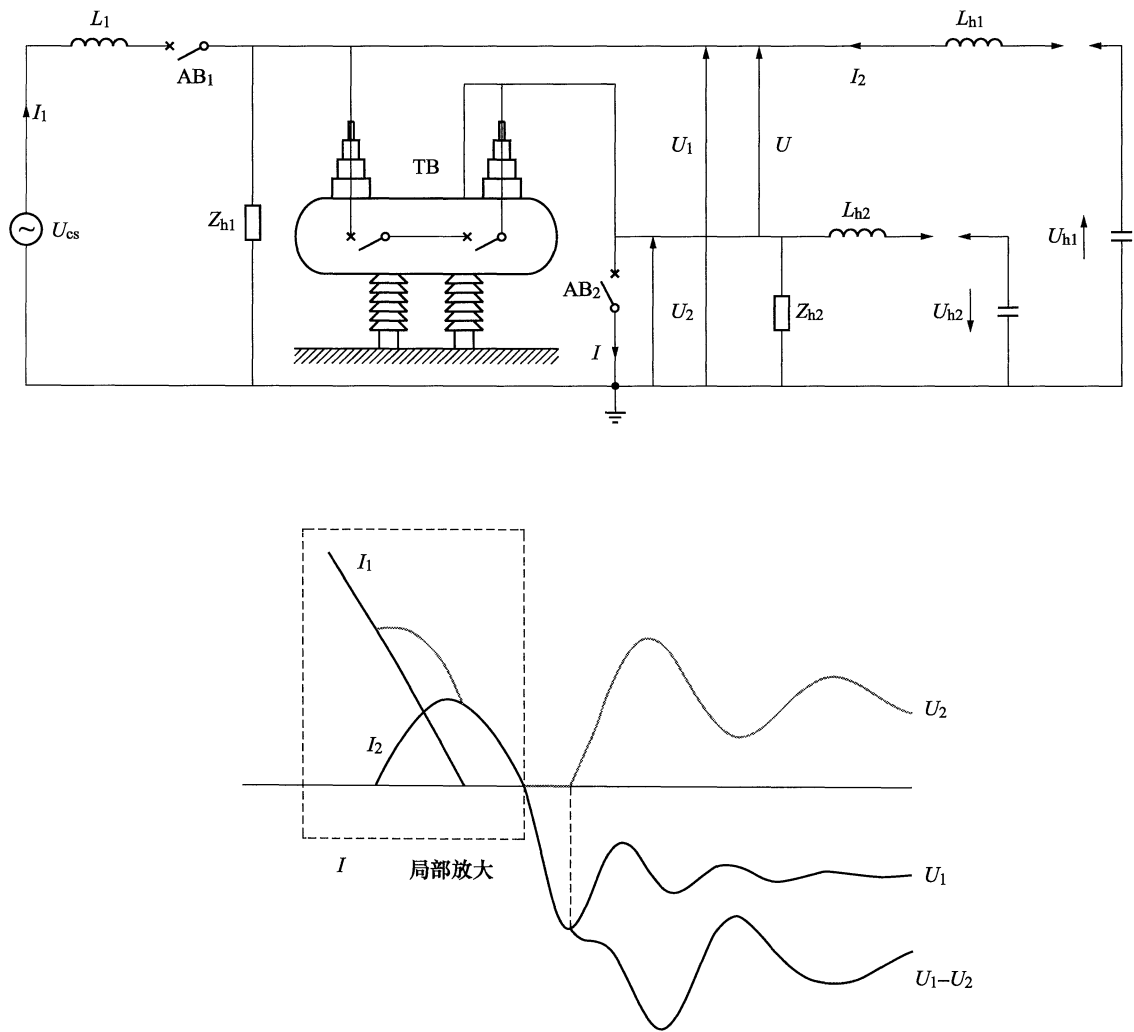
4.3 其他合成试验方法（对应 GB/T 4473—2008，4.2.4）

短路开断试验回路及波形示例如图 1 所示。



Sa_1 、 Sa_2 —辅助断路器；
 U_{c1} 、 U_{c2} —被试断路器两端的电压；
 St —被试断路器；
 U_{cs} —电流回路电压；
 U_t —试验电压；
 C_{h1} 、 C_{h2} —电压回路电容；
 U_{h1} 、 U_{h2} —电压回路充电电压；
 L_{h1} 、 L_{h2} —电压回路电感；
 i_v —电压回路电流；
 i_t —流过 St 的电流；
 i_c —电流回路电流；
 L_1 —电流回路电感

图 1 开断试验中采用两套电压回路的试验回路及波形示例（一）



AB₁、AB₂—辅助断路器；
TB—被试断路器；
U_{cs}—电流回路电压；
L₁—电流回路电感

图 2 开断试验中采用两套电压回路的试验回路及波形示例（二）

5 短路关合试验的合成试验技术和方法（对应 GB/T 4473—2008，5）

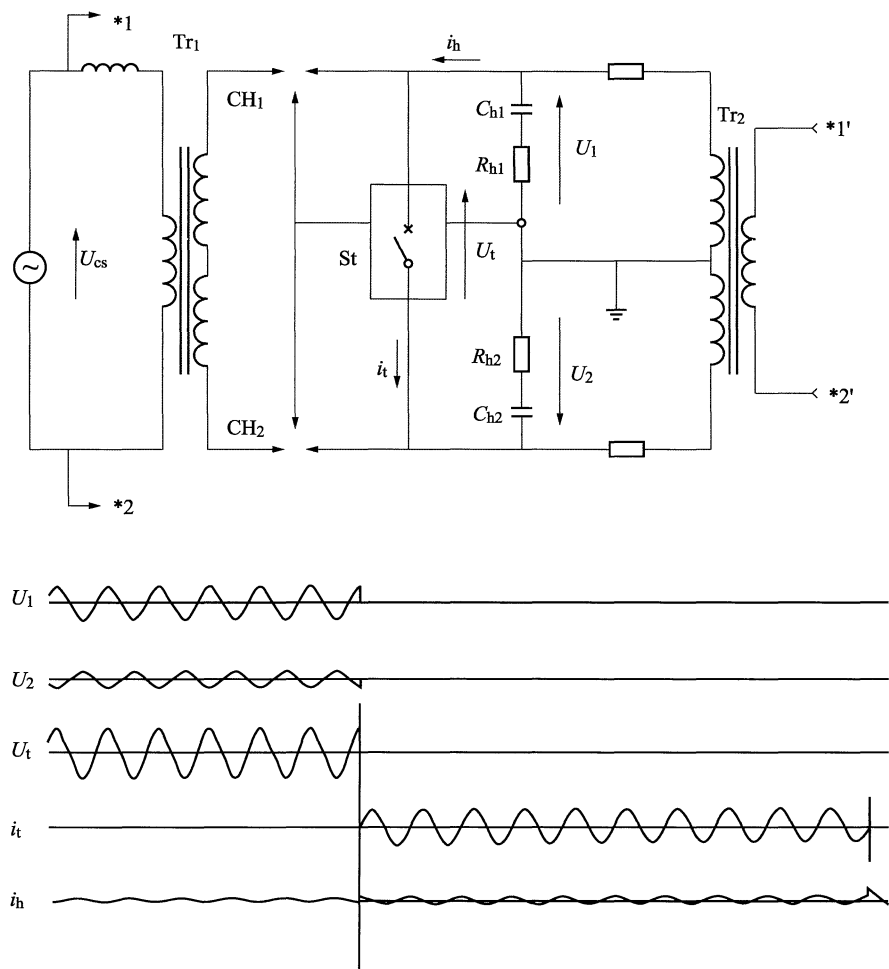
在中性点接地回路和中性点不接地回路中进行关合试验的严苛程度是相同的，因此，三相短路关合试验可以在任一试验回路中进行，且同时适用于有效接地系统和非有效接地系统。

图 3 给出了一种用于超高压断路器失步关合试验的典型合成关合试验回路及波形。

图 4 给出了一种用于三相合成关合试验的试验回路及波形。

图 5 给出了一种用于三相试验的同时采用直流源和交流源的典型合成关合试验回路及波形。

NB / T 42099 — 2016



U_{cs} —电流回路电压；
 U_1 、 U_2 —电压回路电压；
 U_t —试验电压 (U_1-U_2)；
 i_h —初始暂态关合电流；
 CH_1 、 CH_2 —关合装置；
 St —被试断路器；
 C_{h1} 、 R_{h1} —ITMC 回路的组成部分；
 C_{h2} 、 R_{h2} —ITMC 回路的组成部分；
 i_t —被试断路器中的电流

图 3 失步合成关合试验回路及波形

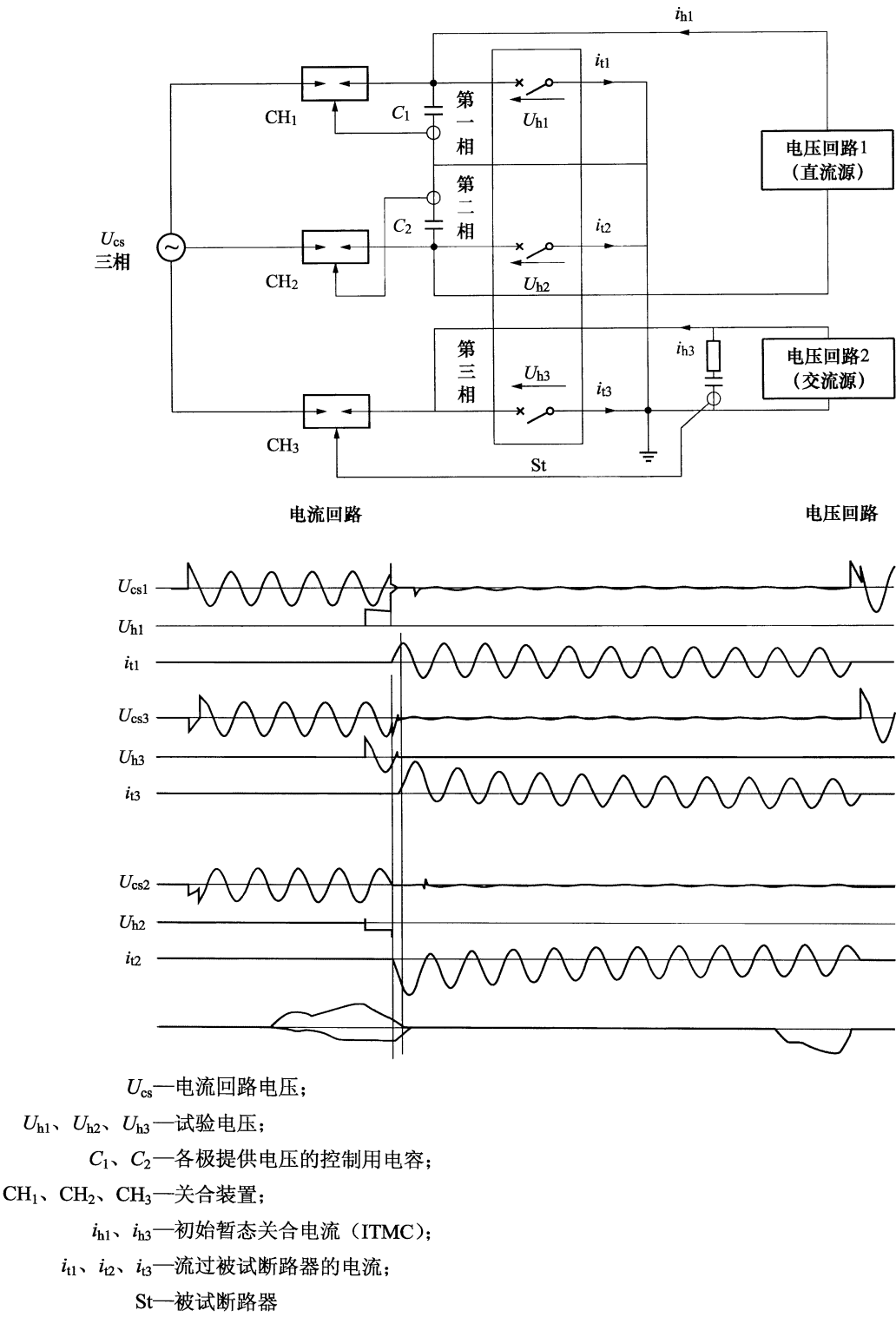
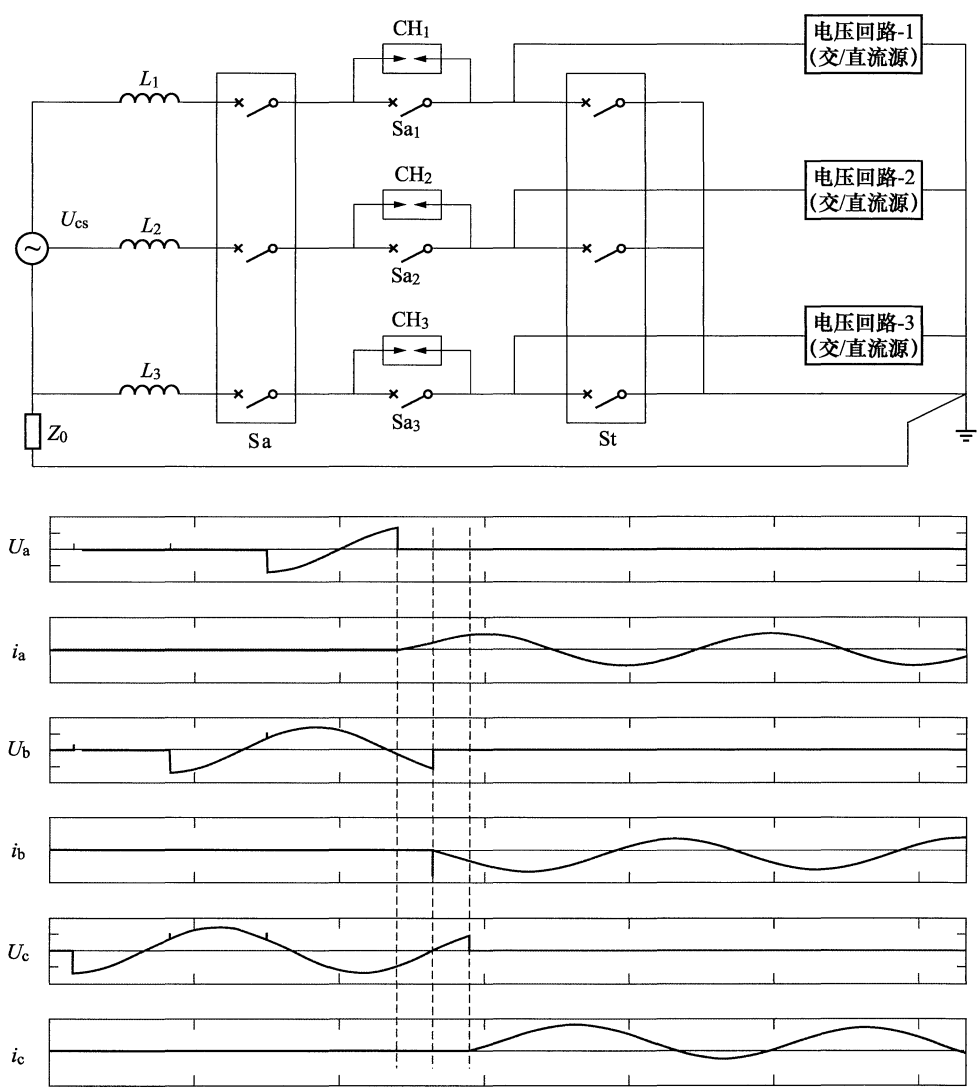


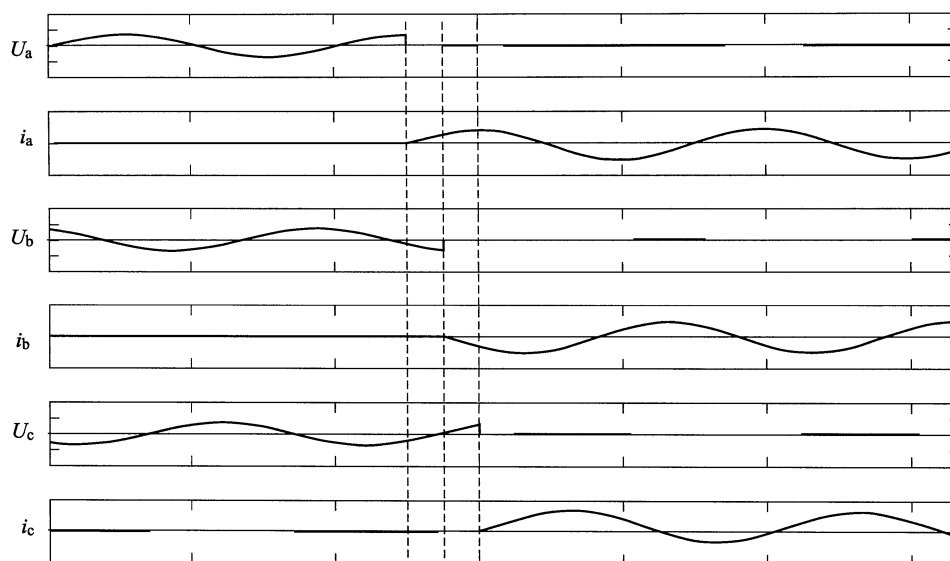
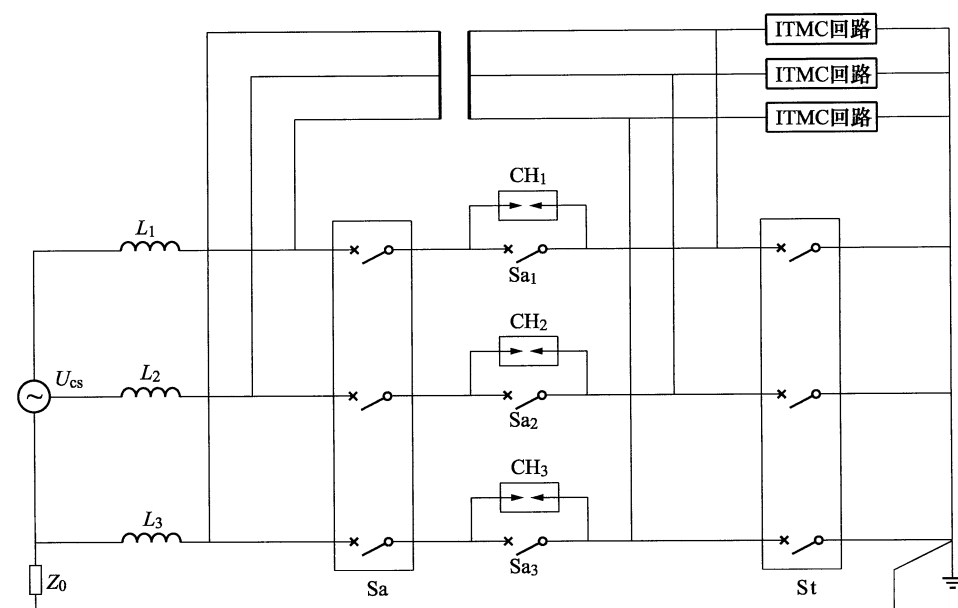
图 4 用于三相试验的合成关合试验回路及波形 ($K_{pp}=1.5$)

NB / T 42099 — 2016



a) 所有相均采用交流和/或直流电压源的回路及波形

图 5 用于三相合成关合试验的试验 ($K_{pp}=1.3$ 或 1.5)



b) 所有相均采用变压器电压源的回路及波形

Sa、Sa₁、Sa₂、Sa₃—辅助断路器；

L₁、L₂、L₃—电流回路电感；

St—被试断路器；

Z₀—中线点接地阻抗；

CH₁、CH₂、CH₃—关合装置

图5 用于三相合成关合试验的试验 ($K_{pp}=1.3$ 或 1.5) (续)

图 6 的试验回路可以用在失步条件下的关合试验。对于短路关合试验 [T100s (a)], 该回路同样适用, 但不适用于多个单元没有均压电容的断路器。

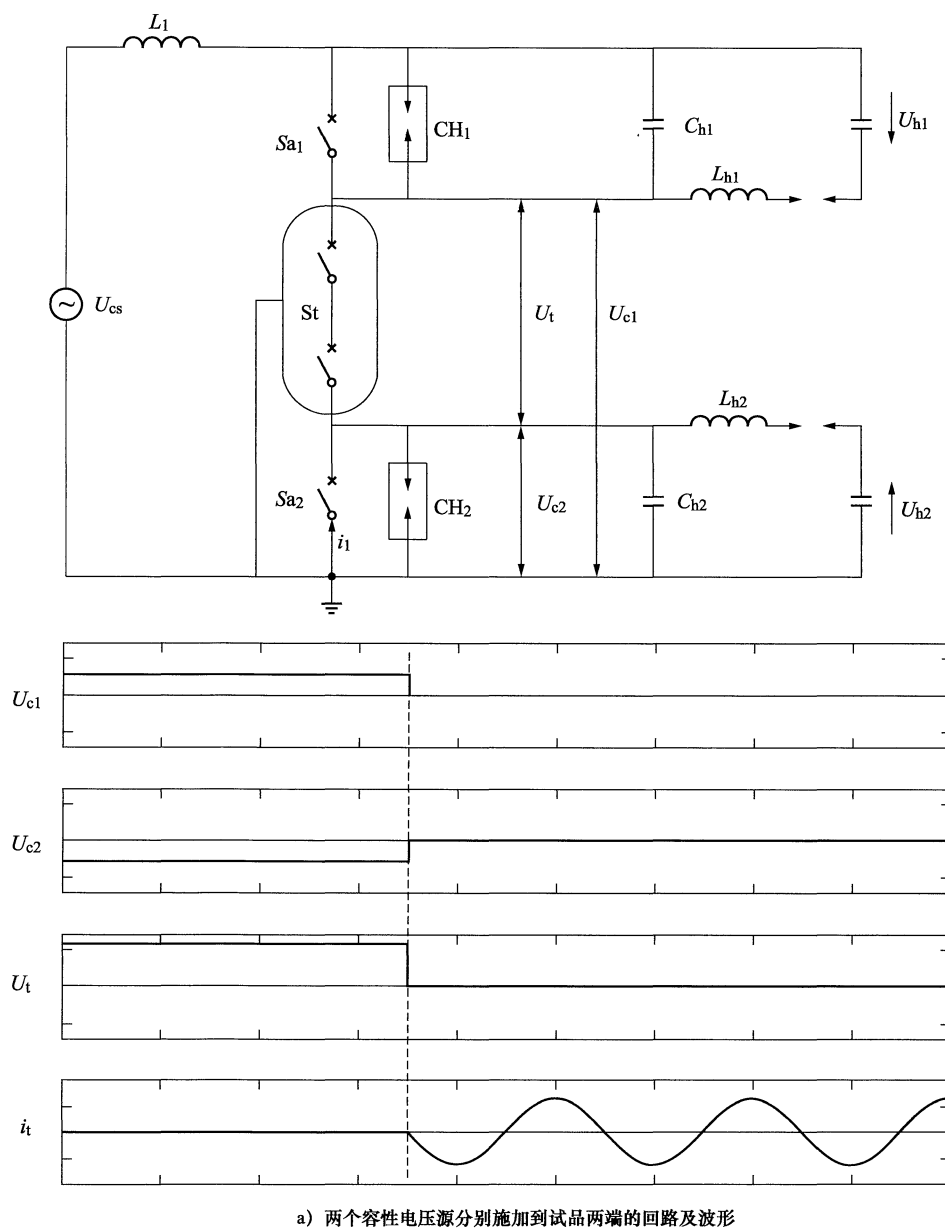
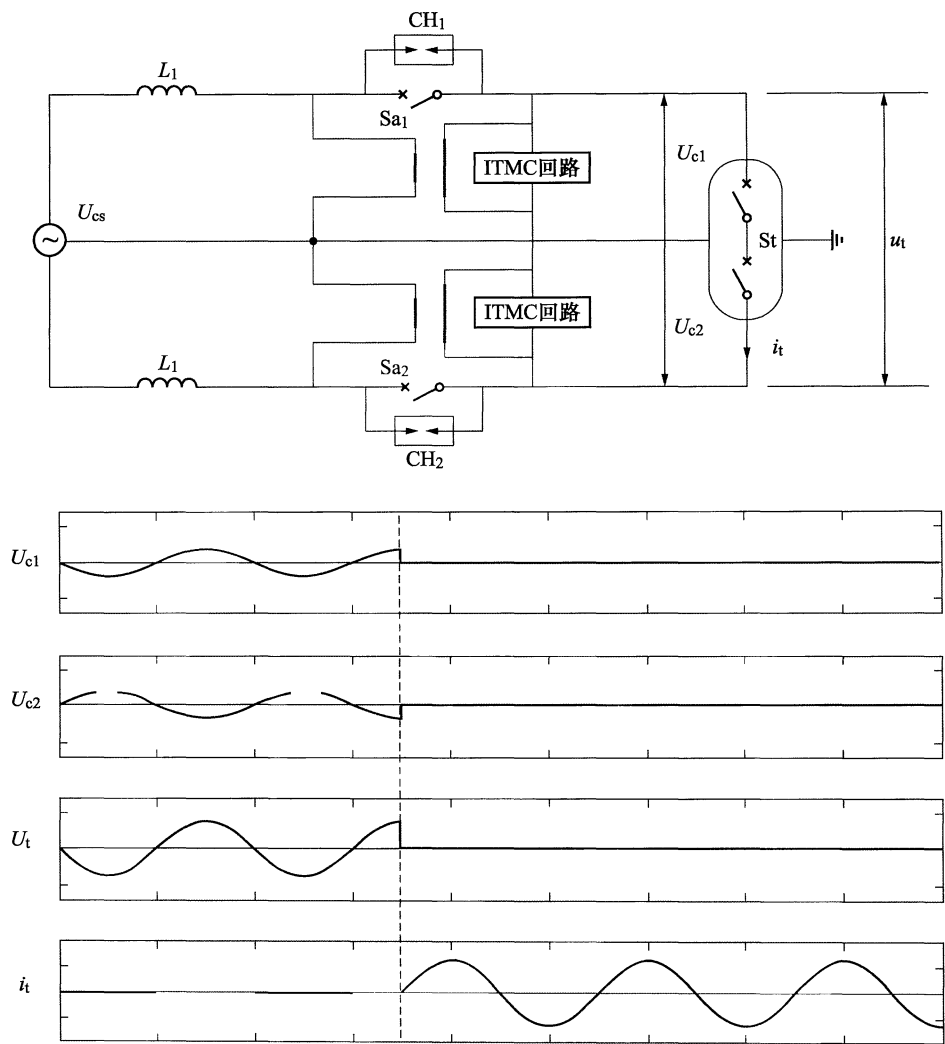


图 6 用于短路关合及失步关合试验的试验



b) 两个变压器电压源分别施加到试品两端的回路及波形

Sa₁、Sa₂—辅助断路器；
 i_t —流过 St 的电流；
St—被试断路器；
 L_1 —电流回路的电感；
CH₁、CH₂—关合装置；
 U_{c1} 、 U_{c2} —被试断路器两端的电压；
 U_{cs} —电流回路的电压；
 U_t —试验电压；
ITMC—初始瞬态关合电流

图 6 用于短路关合及失步关合试验的试验（续）

6 与 GB 1984—2014 中 6.102～6.111 要求相关的关合和开断性能合成试验的特殊要求（对应 GB/T 4473—2008，6）

6.1 单元试验（对应 GB 1984—2014，6.102.4.2）

在 GIS 或落地罐式断路器的单元试验中，没有充分考核对地绝缘性能。因此必须在短路开断试验

中证明其对地绝缘能够耐受全电压。

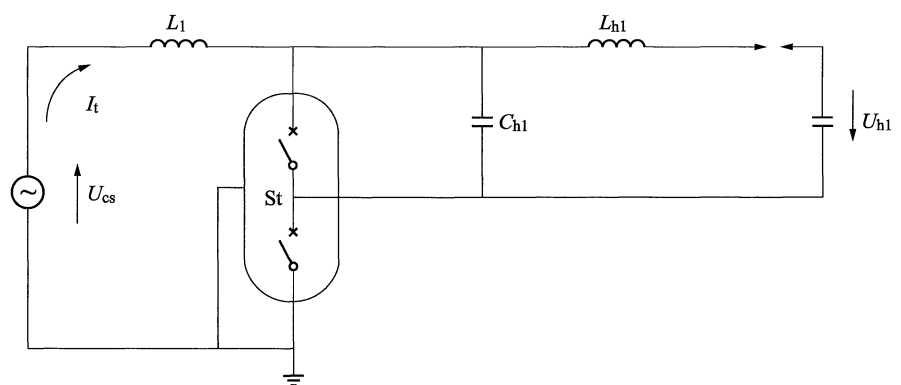
应采用以下多部试验程序验证金属罐体内断路器的开断及绝缘性能（可使用图 7 所示的回路进行试验）：

6.1.1 开断性能。为了验证被试断路器的开断性能，应该按照试验方式 T100s 和 T100a 的操作顺序和试验电压进行试验。

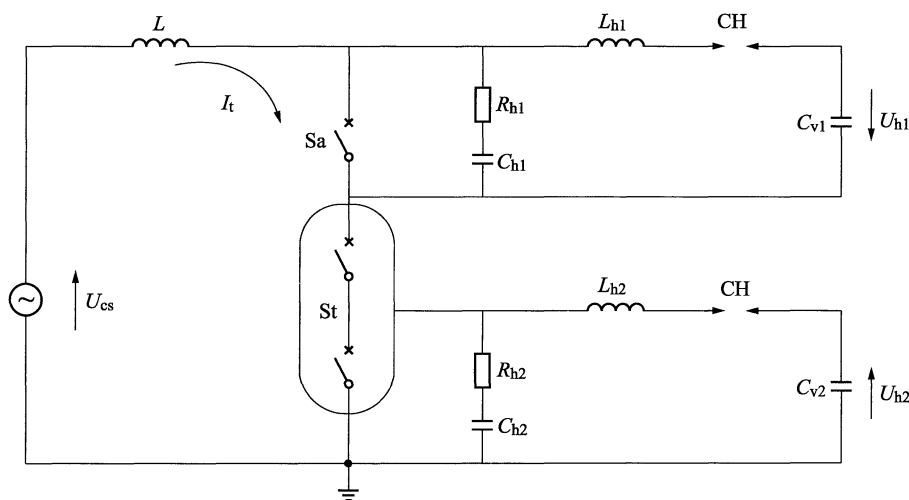
6.1.2 绝缘性能。为了验证带电部位与罐体之间的绝缘性能，应该按照 T100s 和 T100a 两种试验方式进行试验，试验时在进线端和罐体之间施加全电压，所有单元在最长燃弧时间下开断额定短路电流。

每个试验方式只需进行一次“0s”操作。

上述程序仅适用于试验方式 T100s 和 T100a。在开断性能试验和绝缘性能试验之间允许检修。



a) 开断性能试验回路



b) 绝缘性能试验回路

- | | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Sa—辅助断路器； | L_{h1} 、 L_{h2} —电压回路的电感； |
| St—被试断路器； | I_t —试验电流； |
| CH—触发间隙； | L —电流回路的电感； |
| R_{h1} 、 R_{h2} —TRV 调节电阻； | U_{cs} —电流回路的电压； |
| U_{h1} 、 U_{h2} —电压回路的充电电压； | C_{h1} 、 C_{h2} —TRV 调节电容 |

图 7 落地罐式断路器短路开断性能试验回路

6.2 多部试验（对应 GB/T 4473—2008，6.102.4.3）

对于超高压断路器， t_2 时间通常比较长。本标准中规定了引入电流频率的下限为 250Hz，因此在采用电流引入回路的试验中获取 t_2 值可能存在困难。

当必须验证热性能时，应该采用电流引入试验回路来进行第一部分的试验（电流零点和 TRV 的第一部分）。第二部分则可以采用电压引入试验回路。

6.3 替代操动机构的 T100s 试验（对应 GB 1984—2014，6.102.7）

GB 1984—2014 中 6.102.7 b) 要求对通过了完整型式试验验证的断路器和带替代操动机构的断路器均进行试验方式 T100s。依据 GB 1984—2014 附录 N，具有最长燃弧时间的开断试验中的机械行程特性必须与完全试验过的断路器的相应试验中的特性进行比较。

如果是三相共箱式 GIS 断路器，应采用三相合成试验回路来进行试验，且三相都施加 TRV。

6.4 燃弧时间的说明（对应 GB/T 4473—2008，6.102.10）

GB/T 4473—2008 的表 3 给出的试验顺序 0d- t - (Cd) 0s 或 0d- t -Cs0s 中，试验时 0d 应采用通过“一步一步”法确定的最短燃弧时间进行。

如果在 0d 操作中实际获得的燃弧时间在已确定的最短燃弧时间的 $\pm 2\text{ms}$ 之内，试验有效。

6.5 试验方式 T100s（对应 GB/T 4473—2008，6.106.4）

对于关合操作 C_{sym} ，在进行单相试验时，如果电流起始于外施电压峰值的 $\pm 15^\circ$ 范围内，则试验有效。第一个电流半波的实际峰值不应小于 0.74（标么值），不大于 1.26（标么值）。这些值是根据关合相角 $\pm 15^\circ$ 和时间常数大于 45ms 来计算的。如果电流起始较早（在 $-30^\circ \sim -15^\circ$ ）并导致实际峰值达到 1.5（标么值），试验偏严，如果断路器通过试验，则试验有效。

6.6 试验方式 T100a（对应 GB/T 4473—2008，6.106.5）

50Hz 时最后电流半波参数见表 1 和表 2。

表 1 50Hz 时最后电流半波参数（三相条件下首开极在 A 相且要求的非对称度在 C 相）

τ	k_{pp}		1.5			1.3		
	最短开断时间 ms	参数 ^a	A 相	B 相 ^b	C 相 ^b	A 相	B 相 ^c	C 相 ^c
45	$10.0 < t \leq 22.5$	\hat{I}	1.23	1.23	1.51	1.23	1.23	1.51
		Δt	11.5	10.6	15.0	11.5	11.9	14.4
		di/dt	99.3	82.1	82.1	99.3	56.1	84.0
	$22.5 < t \leq 43.5$	\hat{I}	1.15	1.11	1.33	1.15	1.11	1.33
		Δt	11.0	9.8	13.7	11.0	11.2	13.0
		di/dt	100	85.3	85.3	100	56.9	88.1
	$43.5 < t \leq 64.0$	\hat{I}	1.10	1.02	1.21	1.10	1.02	1.21
		Δt	10.6	9.3	13.0	10.6	10.8	12.3
		di/dt	100	86.4	86.4	100	57.1	89.5
60	$10.0 < t \leq 22.5$	\hat{I}	1.28	1.29	1.61	1.28	1.29	1.61
		Δt	11.8	11.1	15.7	11.8	12.2	15.1
		di/dt	98.1	78.3	78.3	98.1	55.3	79.1

表 1 (续)

τ	k_{pp}		1.5			1.3		
	最短开断时间 ms	参数 ^a	A 相	B 相 ^b	C 相 ^b	A 相	B 相 ^c	C 相 ^c
60	$22.5 < t \leq 43.0$	\hat{f}	1.20	1.18	1.43	1.20	1.18	1.43
		Δt	11.3	10.3	14.4	11.3	11.6	13.8
		di/dt	99.3	82.9	82.9	99.3	56.3	84.9
	$43.0 < t \leq 63.5$	\hat{f}	1.14	1.09	1.31	1.14	1.10	1.31
		Δt	10.9	9.7	13.6	10.9	11.1	12.9
		di/dt	99.8	85.0	85.0	99.8	56.8	87.5
	$63.5 < t \leq 84.0$	\hat{f}	1.10	1.03	1.22	1.10	1.03	1.22
		Δt	10.7	9.3	13.0	10.7	10.8	12.3
		di/dt	100	86.0	86.0	100	57.0	88.8
75	$10.0 < t \leq 22.0$	\hat{f}	1.31	1.33	1.67	1.31	1.33	1.67
		Δt	12.0	11.4	16.1	12.0	12.4	15.6
		di/dt	97.0	75.0	75.0	97.0	54.5	74.7
	$22.0 < t \leq 43.0$	\hat{f}	1.24	1.23	1.51	1.24	1.23	1.51
		Δt	11.5	10.6	14.9	11.5	11.8	14.3
		di/dt	98.5	80.3	80.3	98.5	55.7	81.5
	$43.0 < t \leq 63.5$	\hat{f}	1.18	1.15	1.39	1.18	1.15	1.39
		Δt	11.2	10.1	14.1	11.2	11.4	13.5
		di/dt	99.3	83.3	83.2	99.3	56.4	85.2
	$63.5 < t \leq 84.0$	\hat{f}	1.14	1.09	1.30	1.14	1.09	1.30
		Δt	10.9	9.7	13.5	10.9	11.1	12.9
		di/dt	99.7	84.9	84.9	99.7	56.8	87.2
	$84.0 < t \leq 104.0$	\hat{f}	1.11	1.04	1.23	1.11	1.04	1.23
		Δt	10.7	9.3	13.1	10.7	10.8	12.4
		di/dt	99.9	85.8	85.8	99.9	57.0	88.3
100	$10.0 < t \leq 22.0$	\hat{f}	1.38	1.35	1.74	1.38	1.35	1.74
		Δt	12.5	11.6	16.6	12.5	12.4	16.2
		di/dt	94.5	71.6	71.6	94.5	57.1	69.1
	$22.0 < t \leq 43.0$	\hat{f}	1.31	1.27	1.61	1.31	1.27	1.61
		Δt	12.0	11.0	15.6	12.0	11.9	15.0
		di/dt	96.5	77.0	77.0	96.5	58.2	76.5
	$43.0 < t \leq 63.5$	\hat{f}	1.26	1.20	1.50	1.26	1.20	1.50
		Δt	11.7	10.5	14.8	11.7	11.6	14.1
		di/dt	97.8	80.5	80.5	97.7	58.8	81.2
	$63.5 < t \leq 84.0$	\hat{f}	1.21	1.15	1.41	1.21	1.15	1.41
		Δt	11.4	10.1	14.2	11.4	11.3	13.5
		di/dt	98.6	82.7	82.7	98.6	59.3	84.1

表 1 (续)

τ	k_{pp}		1.5			1.3		
	最短开断时间 ms	参数 ^a	A 相	B 相 ^b	C 相 ^b	A 相	B 相 ^c	C 相 ^c
100	$84.0 < t \leq 104.0$	\hat{I}	1.17	1.10	1.33	1.17	1.10	1.33
		Δt	11.1	9.7	13.7	11.1	11.0	13.0
		di/dt	99.2	84.2	84.2	99.2	59.7	85.9
120	$10.0 < t \leq 22.0$	\hat{I}	1.37	1.40	1.78	1.37	1.40	1.78
		Δt	12.4	12.0	17.0	12.4	12.7	16.6
		di/dt	94.6	67.8	67.8	94.6	53.1	65.2
	$22.0 < t \leq 42.5$	\hat{I}	1.31	1.32	1.66	1.31	1.32	1.66
		Δt	12.0	11.4	16.0	12.0	12.3	15.5
		di/dt	96.3	73.8	73.8	96.3	54.3	73.0
	$42.5 < t \leq 63.0$	\hat{I}	1.26	1.26	1.56	1.26	1.26	1.56
		Δt	11.7	10.9	15.2	11.7	11.9	14.6
		di/dt	97.5	77.8	77.8	97.5	55.2	78.2
	$63.0 < t \leq 83.5$	\hat{I}	1.22	1.20	1.47	1.22	1.20	1.47
		Δt	11.4	10.5	14.6	11.4	11.6	14.0
		di/dt	98.3	80.5	80.5	98.3	55.8	81.6
	$83.5 < t \leq 103.5$	\hat{I}	1.20	1.15	1.40	1.20	1.15	1.40
		Δt	11.3	10.1	14.1	11.3	11.3	14.0
		di/dt	98.7	82.5	82.5	98.7	56.3	84.0
对于 $k_{pp}=1.3$, 假定是纯感性阻抗, 没有电阻部分。								
^a 参数:								
\hat{I} ——与对称短路电流峰值相关的峰值电流的标么值;								
Δt ——最后半波持续时间;								
di/dt ——与对称电流相关的非对称电流的百分数;								
τ ——系统回路的时间常数。								
^b 对于 $k_{pp}=1.5$, B 相是缩短的半波, C 相是延长半波。								
^c 对于 $k_{pp}=1.3$, B 相是第三开断极, C 相是第二开断极。								

表 2 50Hz 时最后电流半波的参数 (三相条件下首开极在 C 相且要求的非对称度在 C 相)

τ	k_{pp}		1.5			1.3		
	最短开断时间 ms	参数 ^a	A 相 ^b	B 相 ^b	C 相	A 相 ^c	B 相 ^c	C 相
45	$10.0 < t \leq 22.5$	\hat{I}	0.81	1.28	1.51	0.81	1.28	1.51
		Δt	7.8	12.8	13.5	8.8	12.4	13.5
		di/dt	86.8	86.8	92.7	55.7	89.5	92.7
	$22.5 < t \leq 43.5$	\hat{I}	0.85	1.18	1.33	0.85	1.18	1.33
		Δt	8.0	12.4	12.2	9.3	11.8	12.2
		di/dt	86.7	86.7	97.8	56.5	87.7	97.8

表 2 (续)

τ	k_{pp}		1.5			1.3		
	最短开断时间 ms	参数 ^a	A 相 ^b	B 相 ^b	C 相	A 相 ^c	B 相 ^c	C 相
45	$43.5 < t \leq 64.0$	\hat{f}	0.87	1.11	1.21	0.87	1.11	1.21
		Δt	8.1	12.1	11.4	9.6	11.5	11.4
		di/dt	86.7	86.7	99.3	56.8	89.8	99.6
60	$10.0 < t \leq 22.5$	\hat{f}	0.76	1.32	1.61	0.76	1.32	1.61
		Δt	7.6	13.0	14.2	8.5	12.6	14.2
		di/dt	86.7	86.7	87.0	55.1	88.9	87.0
	$22.5 < t \leq 43.0$	\hat{f}	0.82	1.23	1.43	0.82	1.23	1.43
		Δt	7.8	12.6	12.9	8.9	12.1	12.9
		di/dt	86.7	86.7	94.1	56.0	89.3	94.1
	$43.0 < t \leq 63.5$	\hat{f}	0.85	1.17	1.31	0.85	1.17	1.31
		Δt	8.0	12.3	12.0	9.3	11.3	12.0
		di/dt	86.7	86.7	97.5	56.5	89.5	97.5
	$63.5 < t \leq 84.0$	\hat{f}	0.86	1.12	1.22	0.86	1.12	1.22
		Δt	8.1	12.1	11.4	9.5	11.5	11.4
		di/dt	86.7	86.7	99.0	56.8	89.5	99.0
75	$10.0 < t \leq 22.0$	\hat{f}	0.73	1.36	1.67	0.73	1.36	1.67
		Δt	7.5	13.1	14.8	8.2	12.7	14.8
		di/dt	86.7	86.7	81.8	54.6	88.5	81.8
	$22.0 < t \leq 43.0$	\hat{f}	0.79	1.27	1.51	0.79	1.27	1.51
		Δt	7.7	12.7	13.5	8.7	12.3	13.5
		di/dt	86.7	86.7	90.2	55.6	88.9	90.2
	$43.0 < t \leq 63.5$	\hat{f}	0.83	1.21	1.39	0.83	1.21	1.39
		Δt	7.9	12.5	12.6	9.0	12.0	12.6
		di/dt	86.7	86.7	94.7	56.2	89.2	94.7
	$63.5 < t \leq 84.0$	\hat{f}	0.85	1.16	1.30	0.85	1.16	1.30
		Δt	8.0	12.3	12.0	9.2	11.7	12.0
		di/dt	86.7	86.7	97.2	56.5	89.3	97.2
	$84.0 < t \leq 104.0$	\hat{f}	0.85	1.12	1.23	0.85	1.12	1.23
		Δt	8.0	12.1	11.5	9.4	11.5	11.5
		di/dt	86.6	86.6	98.6	56.7	89.4	98.6
100	$10.0 < t \leq 22.0$	\hat{f}	0.65	1.38	1.74	0.65	1.36	1.74
		Δt	7.2	12.9	15.4	7.8	12.7	15.4
		di/dt	86.6	86.6	74.9	55.9	88.5	75.1

表 2 (续)

τ	k_{pp}		1.5			1.3		
	最短开断时间 ms	参数 ^a	A 相 ^b	B 相 ^b	C 相	A 相 ^c	B 相 ^c	C 相
100	$22.0 < t \leq 43.0$	\hat{I}	0.72	1.29	1.61	0.72	1.29	1.61
		Δt	7.4	12.7	14.2	8.31	12.3	14.2
		di/dt	86.6	86.6	84.3	58.0	88.7	84.7
	$43.0 < t \leq 63.5$	\hat{I}	0.77	1.24	1.50	0.77	1.24	1.50
		Δt	7.6	12.5	13.3	8.5	12.1	13.3
		di/dt	86.6	86.6	89.8	58.1	89.0	90.0
	$63.5 < t \leq 84.0$	\hat{I}	0.80	1.20	1.41	0.8	1.20	1.41
		Δt	7.7	12.3	12.7	8.8	11.9	12.7
		di/dt	86.6	86.6	93.7	59.0	89.1	93.6
	$84.0 < t \leq 104.0$	\hat{I}	0.82	1.16	1.33	0.82	1.16	1.33
		Δt	7.8	12.2	12.2	9.1	11.8	12.4
		di/dt	86.6	86.6	95.9	59.4	89.2	93.5
120	$10.0 < t \leq 22.0$	\hat{I}	0.66	1.41	1.78	0.66	1.41	1.78
		Δt	7.3	13.2	15.7	7.8	13.0	15.7
		di/dt	86.6	86.6	70.2	53.5	87.7	70.2
	$22.0 < t \leq 42.5$	\hat{I}	0.71	1.35	1.66	0.71	1.35	1.66
		Δt	7.5	12.9	14.6	8.2	12.7	14.6
		di/dt	86.6	86.6	80.0	54.5	88.2	80.0
	$42.5 < t \leq 63.0$	\hat{I}	0.76	1.29	1.56	0.76	1.29	1.56
		Δt	7.6	12.7	13.8	8.4	12.4	13.8
		di/dt	86.6	86.6	86.4	55.2	88.5	86.4
	$63.0 < t \leq 83.5$	\hat{I}	0.79	1.25	1.47	0.79	1.25	1.47
		Δt	7.7	12.6	13.1	8.7	12.2	13.1
		di/dt	86.6	86.6	90.6	55.7	88.7	90.6
	$83.5 < t \leq 103.5$	\hat{I}	0.81	1.20	1.40	0.81	1.20	1.40
		Δt	7.8	12.4	12.6	8.9	11.9	12.6
		di/dt	86.6	86.6	93.3	56.0	88.9	93.5
对于 $k_{pp}=1.3$, 假定是纯感性阻抗, 没有电阻部分。								
^a 参数: \hat{I} ——与对称短路电流峰值相关的峰值电流的标幺值; Δt ——最后半波持续时间; di/dt ——与对称电流相关的非对称电流的百分数; τ ——系统回路的时间常数。								
^b 对于 $k_{pp}=1.5$, A 相是缩短的半波, B 相是延长半波。								
^c 对于 $k_{pp}=1.3$, A 相是第三开断极, B 相是第二开断极。								

附录 B 中给出了试验方式 T100a 时 TRV 和 di/dt 的换算值, 无论基于单相开断还是三相开断的试验方法, 都应该采用这些数值。

6.7 近区故障试验（对应 GB/T 4473—2008，6.109）

6.7.1 预期 TRV 的测量

在测量近区故障试验的预期 TRV 时，为了把所有的影响（包括试验回路中的分压器、杂散电容和电感）都考虑进去，线路应与试验回路相连。

采用单元试验进行近区故障试验时，电源侧和线路侧的 TRV 都应使用一个电压分布系数来确定，该系数对应于线路侧 TRV 的电压分布。

确认试验回路的有效方法示例如下，分三步进行：

第一步：链路参数的测量。方法与 IEC 62271-100 中附录 F 的 F.3.3 一致。

• 条件：

- 与试验回路靠近被试断路器侧相连（以考虑杂散参数，以及测量设备和辅助断路器的影响）；
- 被试断路器未连接。

• 测量：

- 测量 tL 、 $(du/dt)_1$ 和 $(di/dt)_1$ 。计算线路波阻抗 $Z_{line} = (du/dt)_1 / (di/dt)_1$ 。
- 测量 tdL 。IEC 62271-100 的附录 B 中给出了线路波阻抗 Z_{line} 和 tdL 的允许偏差。

注： $(du/dt)_1$ 和 $(di/dt)_1$ 是低压下测量的中间值，用于确定线路波阻抗。

第二步：电流零点预期 di/dt 的测量。

• 条件：

- 按试验条件充电的电压回路引入电流：主电容器组通过完整的回路放电，包括人工链路和断路器；
- 断路器保持合闸位置。

• 测量：

- 与电压源充电电压相关的预计电流零点的 $(di/dt)_2$ ；
- $(di/dt)_2$ 的允许偏差参见 IEC 62271-101 中附录 M。

第三步：预期线路侧 TRV 的确认。

• 预期的线路侧 uL^* 和 duL/dt ：

- $uL^* = Z_{line} \times (di/dt)_2 \times tL$ ；
- $duL/dt = Z_{line} \times (di/dt)_2$ ；
- IEC 62271-100 中附录 B 给出了允许偏差。

• 试验报告中包含的值：

- 试验回路预期值；
- tdL ；
- 线路波阻抗 Z_{line} ；
- $(di/dt)_2$ ；
- (duL/dt) ；
- uL^* 。

6.7.2 电源侧预期 TRV 的测量

对于 SLF 试验，不需要特殊的方法。IEC 62271-100 的附录 F 描述了现有的方法。

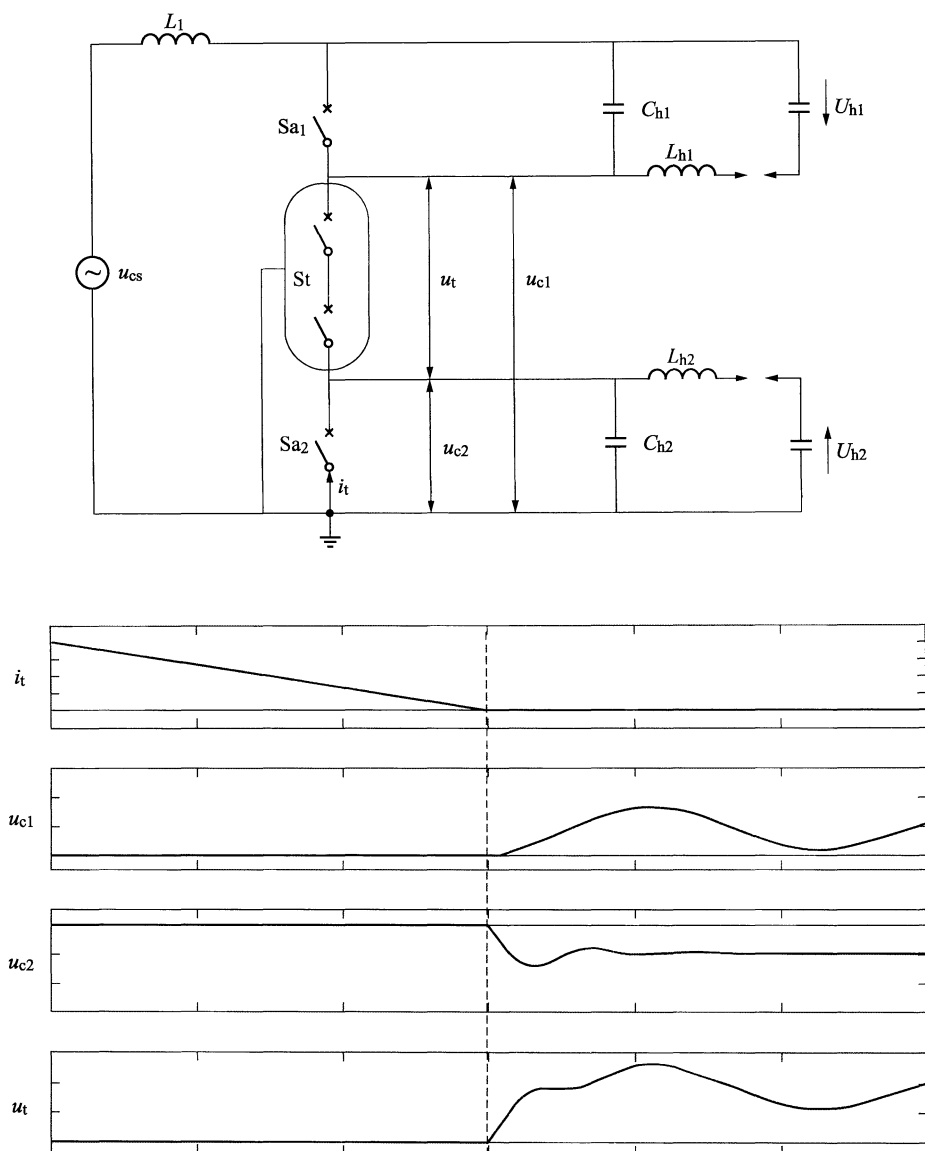
试验报告：试验回路电源侧预期值与往常一样。

6.8 失步试验（对应 GB/T 4473—2008，6.110）

如果在电流起始时刻实际电压的瞬时值不小于要求的试验电压，则认为 OP2 合一分操作中的关合

试验满足 IEC 62271-100 的 6.110.3 中 b) 和 c) 的要求。上述情况仅在预击穿时间不大于工频周波的一半时有效。

失步开断试验回路示例及波形如图 8 和图 9 所示。



Sa₁、Sa₂—辅助断路器；

L₁—电流回路的电感；

St—被试断路器；

u_{c1}、u_{c2}—被试断路器两端的电压；

u_{cs}—电流回路的电压；

u_t—试验电压；

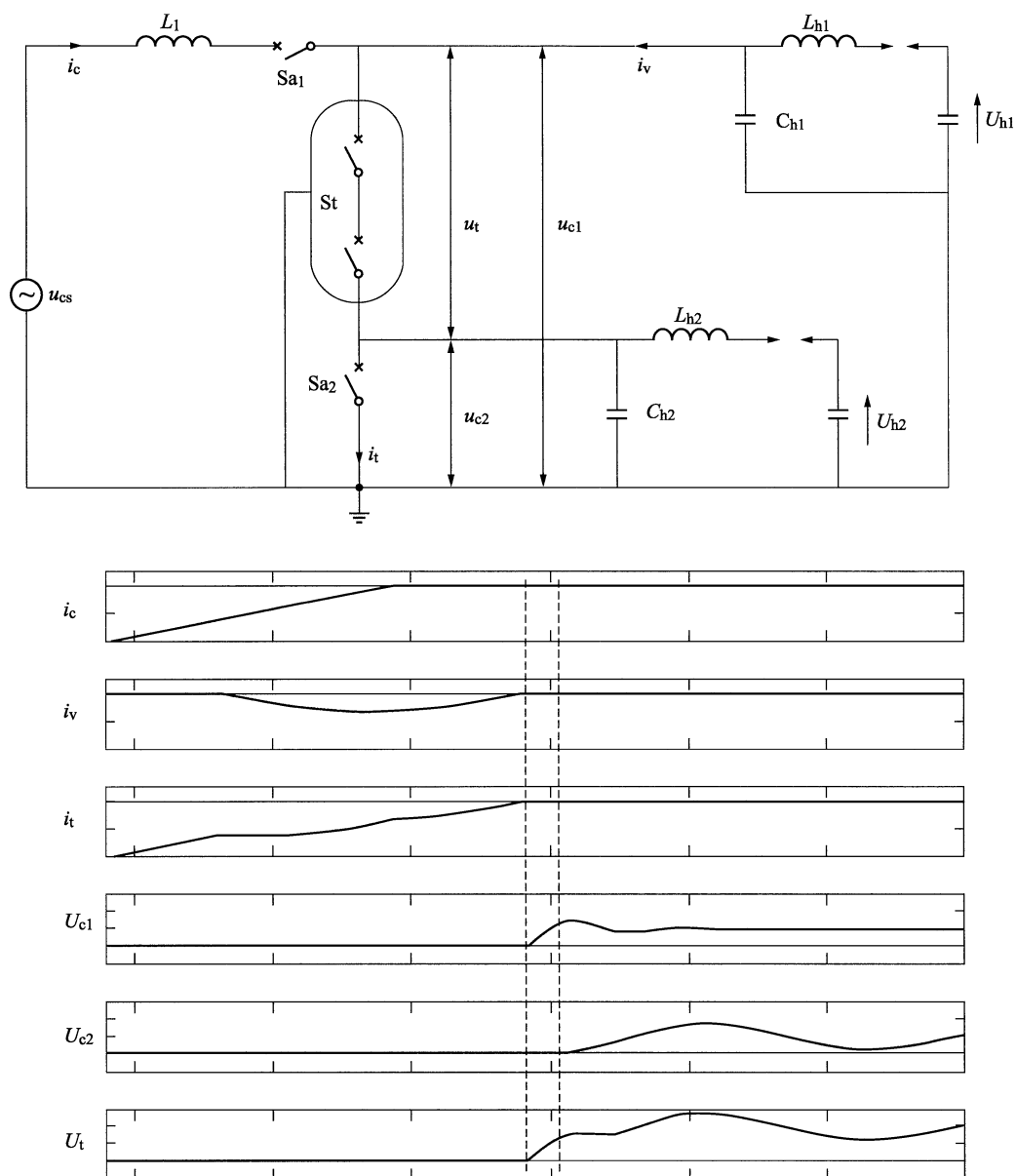
C_{h1}、C_{h2}—电压回路的电容；

U_{h1}、U_{h2}—电压回路的充电电压；

L_{h1}、L_{h2}—电压回路的电感；

i_t—流过 St 的电流

图 8 用于失步开断试验的联合加压试验回路及波形（一）



- Sa—辅助断路器；
 u_{c1} 、 u_{c2} —被试断路器两端的电压；
 St—被试断路器；
 u_t —试验电压；
 u_{cs} —电流回路的电压；
 U_{h1} 、 U_{h2} —电压回路的充电电压；
 C_{h1} 、 C_{h2} —电压回路的电容；
 i_v —电压回路的电流；
 L_{h1} 、 L_{h2} —电压回路的电感；
 i_c —电流回路的电流；
 L_1 —电流回路的电感；
 i_t —流过 St 的电流

图 9 用于失步开断试验的联合加压试验回路及波形（二）

附录 A (规范性附录)

容性电流开合的合成试验方法 (对应 GB/T 4473—2008, 附录 G)

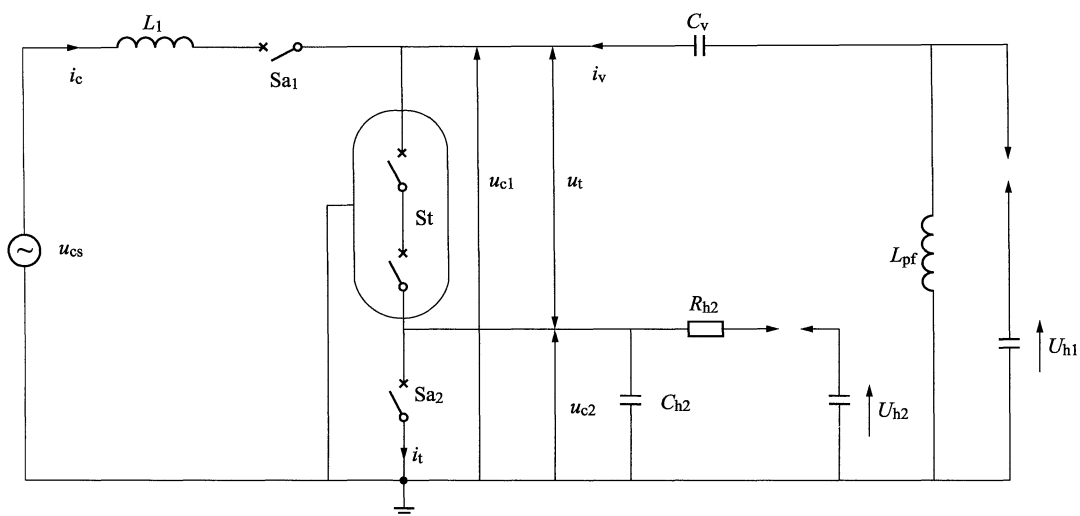
在容性开断试验时可能发生截流, 截流会造成恢复电压直流部分的降低, 因此, 应仅在最短燃弧时间下检查预期电压参数。

以下程序适用于容性电流开合试验电流引入回路 (如图 A.1 和图 A.2 所示) 的设计和使用:

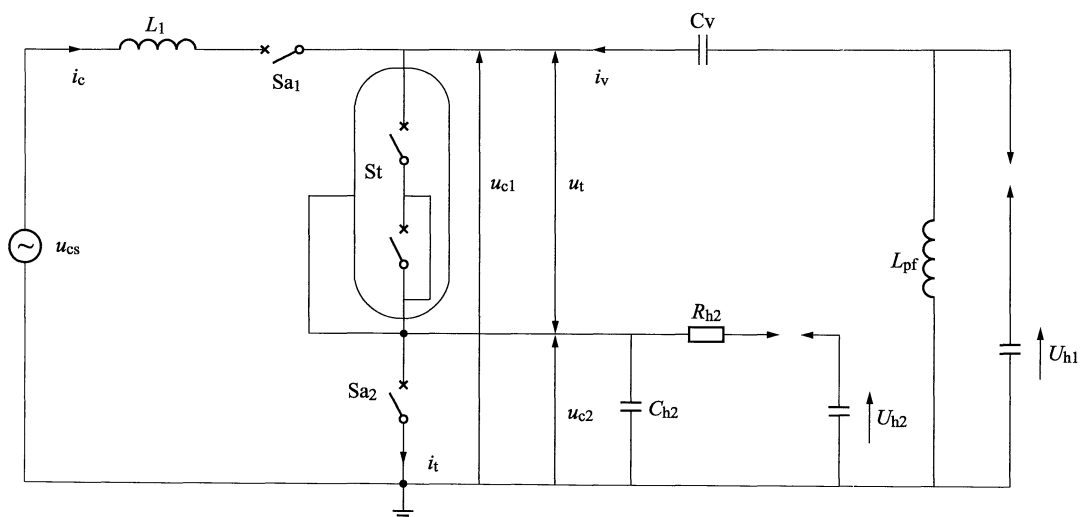
——可选择 L_v 和 C_v 产生任何合适的引入电流频率。引入电流的频率和电流源电流无关, 但是当频率较高时, 火花间隙的整定时间将很难调节。

——引入电流的振幅和电流过零时的 di/dt 一般不会影响容性电流 (不超过额定正常电流) 的开断。引入电流的 di/dt 在电流零点前 $50\mu s$ 内的测量值不应超过预期试验电流的 di/dt 。

——引入电流的时间不做要求, 但是辅助断路器 Sa 应在引入电流的零点前开断电流源电流。

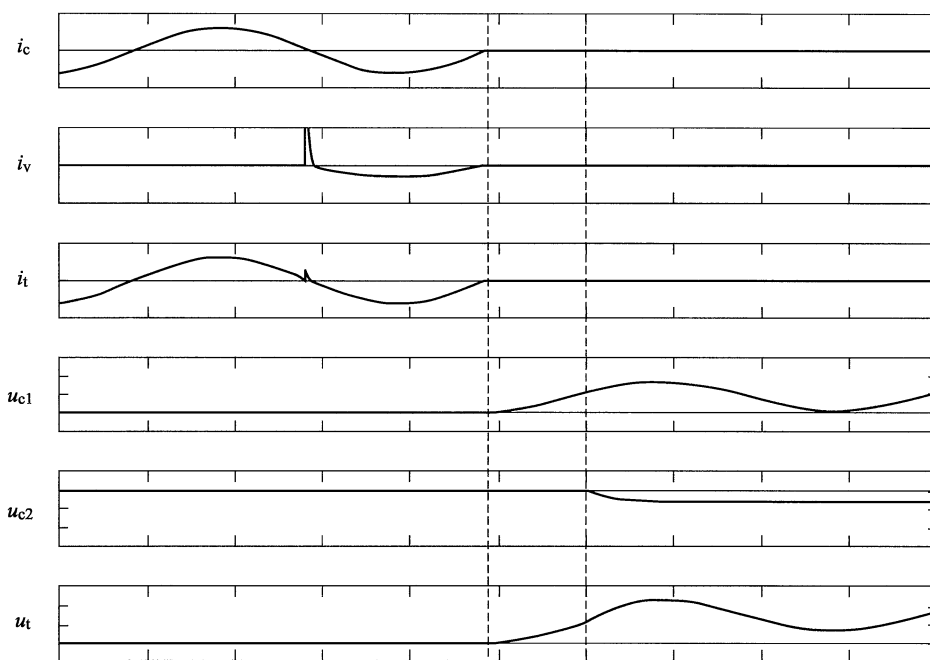


a) 用于具有金属外壳的断路器的整极试验回路



b) 用于具有金属外壳的断路器的半极试验回路

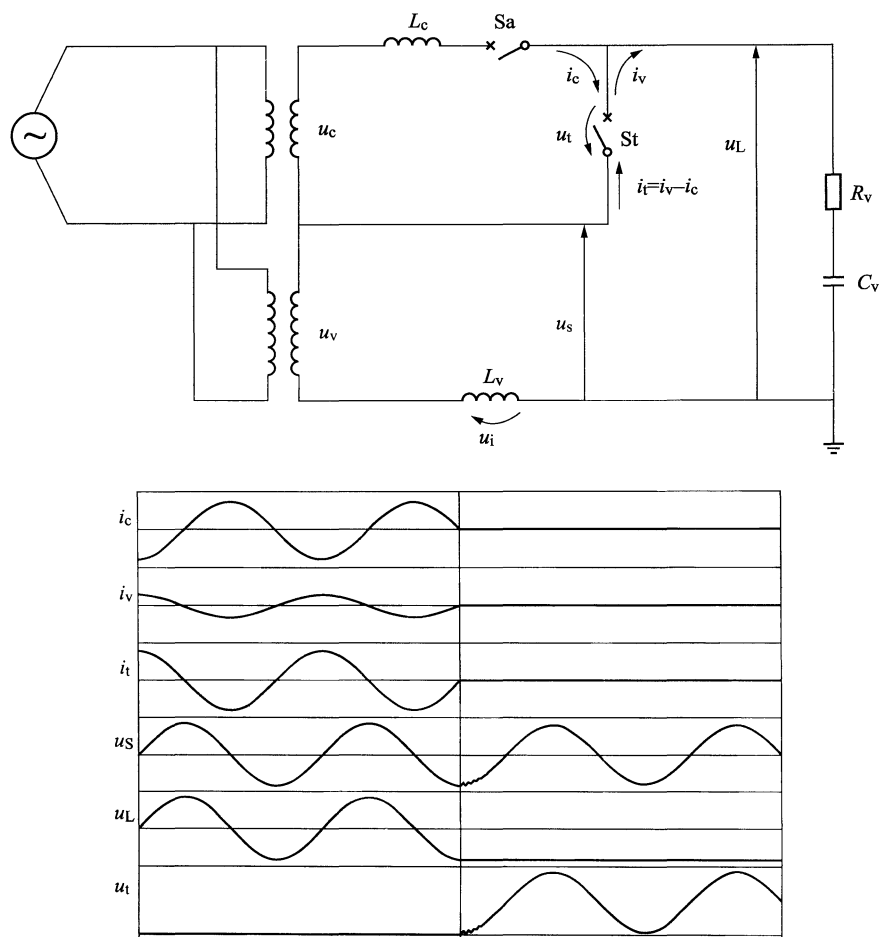
图 A.1 用于具有金属外壳的断路器的容性电流开合试验回路及波形



c)波形图

- S_{a1} 、 S_{a2} —辅助断路器；
 L_1 —电流回路电感；
 S_t —被试断路器；
 U_{c1} 、 U_{c2} —试品两端及绝缘外壳上的电压；
 R_{h2} —加在绝缘外壳上的电压回路的电阻；
 U_t —试品电压；
 U_{cs} —电流回路电压；
 U_{h1} 、 U_{h2} —电压回路充电电压；
 C_v 、 C_{h2} —电压回路电容；
 i_v —电压回路电流；
 L_{pf} —工频电感；
 i_c —电流回路电流；
 i_t —通过试品的电流

图 A.1 用于具有金属外壳的断路器的容性电流开合试验回路及波形（续）



- S_a —辅助断路器;
 S_t —被试断路器;
 L_c —电流回路电感;
 L_v —电压回路电感;
 C_v —电压回路电容;
 R_v —电压回路电阻;
 i_c —电流回路电流;
 i_v —电压回路电流;
 i_t —试验电流;
 u_t —触头两端的试验电压;
 u_s —电源侧电压;
 u_L —负载侧电压;
 u_v —电压回路电压;
 u_c —电流回路电压

图 A.2 用于容性开合的试验回路示例

附录 B

(规范性附录)

试验方式 T100a 时 TRV 和 di/dt 的换算值

关于最后电流半波参数, 参见 GB 1984—2014 的表 15~表 19。

表 B.1 分别列出了三相条件时, 首开极在具有中等非对称度的 A 相、C 相满足所需的非对称度且具有延长大半波的情况下, 对应于 50Hz 时最后半波 di/dt 的换算值。

表 B.2 和表 B.3 分别包含了 $k_{pp}=1.3$ 和 $f_r=50\text{Hz}$; $k_{pp}=1.5$ 和 $f_r=50\text{Hz}$ 时 TRV 的修正值。

表 B.1 对于 $k_{pp}=1.3$ 和 1.5, $f_r=50\text{Hz}$ 时最后半波 di/dt 的换算值

τ ms	k_{pp}	1.5			1.3		
	最短开断时间 ms	A 相 %	B 相 %	C 相 %	A 相 %	B 相 ^a %	C 相 %
45	$10.0 < t \leq 22.5$	99	82	82	99	57	84
	$22.5 < t \leq 43.5$	100	85	85	100	57	88
	$43.5 < t \leq 64.0$	100	86	86	100	57	90
60	$10.0 < t \leq 22.5$	97	79	79	97	55	80
	$22.5 < t \leq 43.0$	99	83	83	99	57	85
	$43.0 < t \leq 63.5$	100	85	85	100	57	88
	$63.5 < t \leq 84.0$	100	86	86	100	57	89
75	$10.0 < t \leq 22.0$	96	76	76	96	55	76
	$22.0 < t \leq 43.0$	98	81	81	98	56	82
	$43.0 < t \leq 63.5$	99	84	84	99	57	86
	$63.5 < t \leq 84.0$	100	85	85	100	57	87
	$84.0 < t \leq 104.0$	100	86	86	100	57	88
100	$10.0 < t \leq 22.0$	95	72	72	95	57	69
	$22.0 < t \leq 43.0$	97	77	77	97	58	77
	$43.0 < t \leq 63.5$	98	81	81	98	59	81
	$63.5 < t \leq 84.0$	99	83	83	99	59	84
	$84.0 < t \leq 104.0$	99	84	84	99	60	86
120	$10.0 < t \leq 22.0$	94	69	69	94	54	67
	$22.0 < t \leq 42.5$	96	75	75	96	55	74
	$42.5 < t \leq 63.0$	97	78	78	97	56	79
	$63.0 < t \leq 83.5$	98	81	81	98	56	82
	$83.5 < t \leq 103.5$	99	83	83	99	56	84

注 1. 系统的时间常数 $\tau=45\text{ms}$ 是标准的时间常数, 按照 IEC 62271-101: 2012 条款 4.1, $\tau=60\text{ms}$ 、 75ms 、 100ms 和 120ms 是特殊的时间常数。

注 2. 对于 $k_{pp}=1.3$, 假定中性线阻抗为纯感性而没有阻性分量。

^a B 相为最后开断极。

表 B.2 对于 $k_{pp}=1.3$ 且 $f_r=50\text{Hz}$ 时, 首开极 TRV 的修正值

最短开断时间 ms		10< t ≤22.5		22.5< t ≤43.5		43.5< t ≤64.0		64.0< t ≤84.5		84.5< t ≤104.5	
τ	U _r kV	u ₁ kV	u _c kV	u ₁ kV	u _c kV	u ₁ kV	u _c kV	u ₁ kV	u _c kV	u ₁ kV	u _c kV
τ=45ms 小半波	100	61	117	72	137	76	144	a	a	a	a
	123	75	145	88	169	94	177				
	145	88	171	104	199	110	209				
	170	103	203	122	235	129	246				
	245	149	298	176	342	187	356				
	300	183	370	216	421	229	438				
	362	222	454	261	513	276	532				
	420	258	534	303	600	321	620				
	550	340	723	399	801	421	821				
	800	501	1117	585	1206	615	1221				
τ=45ms 大半波	100	74	135	78	144	80	147	a	a	a	a
	123	90	165	96	176	97	180				
	145	106	193	112	206	114	211				
	170	124	226	132	242	134	248				
	245	179	320	190	345	194	355				
	300	219	389	232	420	237	434				
	362	264	464	280	503	286	521				
	420	308	532	324	580	331	602				
	550	399	679	424	748	433	781				
	800	576	940	614	1058	628	1116				
最短开断时间 ms		10< t ≤22.5		22.5< t ≤43.0		43.0< t ≤63.5		63.5< t ≤84		84< t ≤104.5	
τ	U _r kV	u ₁ kV	u _c kV	u ₁ kV	u _c kV	u ₁ kV	u _c kV	u ₁ kV	u _c kV	u ₁ kV	u _c kV
τ=60ms 小半波	100	56	108	68	130	74	140	77	144	a	a
	123	68	133	83	160	90	172	94	177		
	145	80	158	98	189	106	203	110	209		
	170	94	187	115	224	125	239	129	246		
	245	137	276	167	327	180	348	187	357		
	300	168	344	205	404	221	429	230	440		
	362	203	424	247	494	267	522	277	533		
	420	237	501	288	579	310	609	322	622		
τ=60ms 大半波	100	69	126	75	137	78	143	79	146	a	a
	123	85	154	92	168	95	175	97	179		
	145	99	179	108	197	112	206	114	210		
	170	117	210	126	231	131	241	133	247		
	245	168	296	182	328	189	344	192	353		
	300	205	359	223	399	232	419	236	431		
	362	247	426	268	476	279	502	284	517		
	420	286	487	311	547	323	579	329	597		

表 B.2 (续)

最短开断时间 ms		$10 < t \leq 22.0$		$22.0 < t \leq 43.0$		$43.0 < t \leq 63.5$		$63.5 < t \leq 84$		$84 < t \leq 104$	
τ	U_r kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV
$\tau=75\text{ms}$ 小半波	550	291	648	360	752	394	797	413	817	423	825
	800	430	1024	529	1156	577	1206	604	1224	618	1228
$\tau=75\text{ms}$ 大半波	550	349	568	388	659	409	714	422	748	429	770
	800	502	760	560	908	592	1000	610	1058	621	1098

^a 试验方式 T100a 不适用, 因为两个电流半波的非对称水平小于 20%。

表 B.3 对于 $k_{pp}=1.5$ 且 $f_r=50\text{Hz}$ 时, 首开极 TRV 的修正值

最短开断时间 ms		10< t ≤22.5		22.5< t ≤43.5		43.5< t ≤64.0		64< t ≤84.5		84.5< t ≤104.5	
τ	U _r kV	u ₁ kV	u _c kV	u ₁ kV	u _c kV	u ₁ kV	u _c kV	u ₁ kV	u _c kV	u ₁ kV	u _c kV
τ=45ms 小半波	72.5	b	96	b	113	b	119	a	a	a	a
	100	70	135	83	157	88	165				
	123	86	168	102	195	108	204				
	145	101	200	120	231	127	242				
	170	119	235	141	271	149	284				
τ=45ms 大半波	72.5	b	113	b	120	b	123	a	a	a	a
	100	85	154	90	164	91	168				
	123	104	190	110	202	112	208				
	145	123	222	130	238	132	244				
	170	144	259	152	277	155	285				
最短开断时间 ms		10< t ≤22.5		22.5< t ≤43.0		43.0< t ≤63.5		63.5< t ≤84		84< t ≤104.5	
τ	U _r kV	u ₁ kV	u _c kV	u ₁ kV	u _c kV	u ₁ kV	u _c kV	u ₁ kV	u _c kV	u ₁ kV	u _c kV
τ=60ms 小半波	72.5	b	88	b	107	b	115	b	119	a	a
	100	64	124	78	149	85	161	88	166		
	123	79	154	96	185	104	199	108	205		
	145	93	184	113	220	123	235	128	243		
	170	109	217	133	258	144	276	150	284		
τ=60ms 大半波	72.5	b	106	b	115	b	120	b	122	a	a
	100	80	144	86	157	89	164	91	167		
	123	98	176	106	194	110	202	112	206		
	145	115	207	125	227	129	237	131	243		
	170	135	240	146	264	151	277	154	283		

^a 试验方式 T100a 不适用, 因为两个电流半波的非对称水平小于 20%。

^b 对于两参数 TRV, 没有定义 u_1 。

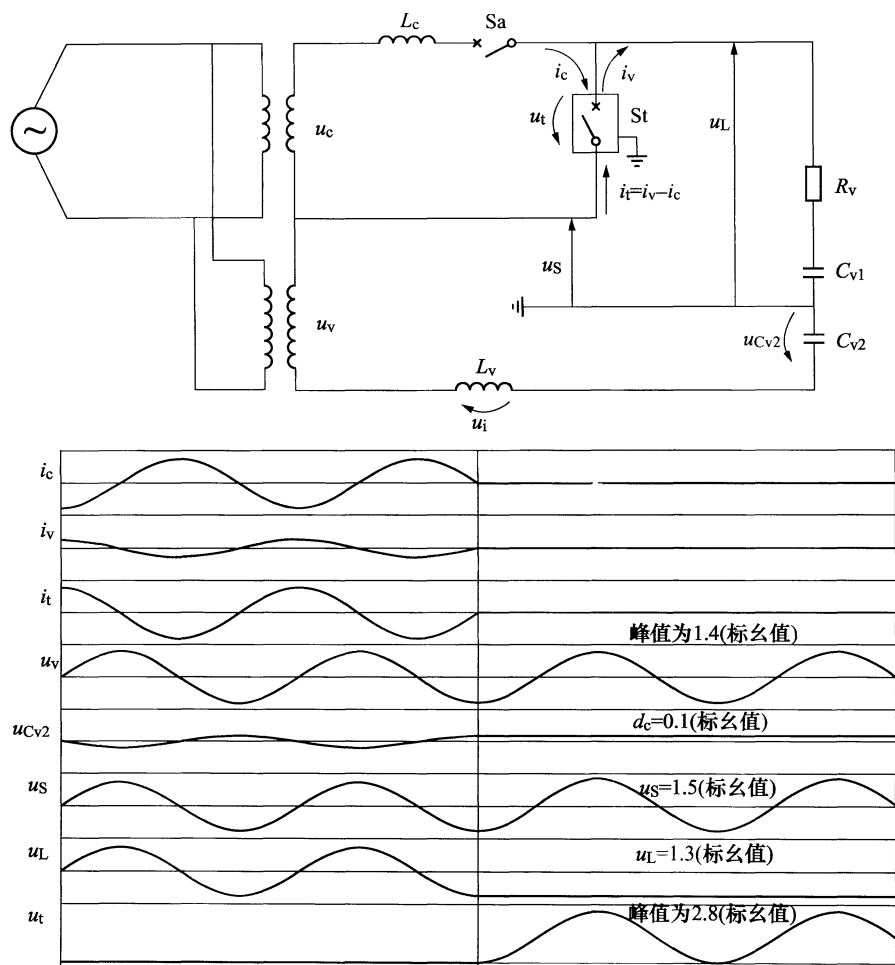
注: 修改引用对应 IEC 62271-101: 2012 的附录 I。

附录 C

(资料性附录)

合成试验回路示例

C.1 负载（DC）侧接地的合成容性电流试验回路示例及其波形图（如图 C.1 所示）



Sa —辅助断路器;

St—被试断路器;

L_c — 电流回路电感;

L_v —电压回路电感;

C_v —电压回路电容;

R_v —电压回路电阻;

i_c — 电流回路电流;

i_v — 电压回路电流;

i_t — 试验电流;

u_t —触头两端的试验电压;

u_L —负载侧电压;

u_S —电源侧电压;

u_c — 电流回路电压;

u_v —电压回路电压;

 u_{Cv2} — C_{v2} 的分布电压

图 C.1 负载 (DC) 侧接地的合成容性电流试验回路示例及其波形图

