



中华人民共和国国家标准

GB/T 21437.2—2021

代替 GB/T 21437.2—2008

道路车辆 电气/电子部件对传导和 耦合引起的电骚扰试验方法 第2部分： 沿电源线的电瞬态传导发射和抗扰性

Road vehicles—Test method of electrical disturbances from conduction and
coupling—Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only

(ISO 7637-2:2011, Road vehicles—Electrical disturbances from conduction and
coupling—Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only, MOD)

2021-12-31 发布

2022-07-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言	I
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 试验规程	1
4.1 一般规定	1
4.2 试验温度和供电电压	1
4.3 电压瞬态发射试验	2
4.4 瞬态抗扰性试验	4
5 试验设备及要求	6
5.1 人工网络	6
5.2 并联电阻 R_s	7
5.3 开关 S	7
5.4 电源	8
5.5 测量仪器	8
5.6 抗扰性试验脉冲发生器	8
附录 A (资料性) 试验脉冲严酷等级示例	13
附录 B (规范性) 瞬态发射评估——电压波形	15
附录 C (规范性) 试验脉冲发生器验证程序	18
附录 D (资料性) 脉冲发生器能量的确定	20
附录 E (资料性) 道路车辆电气系统中瞬态的来源	23
附录 F (资料性) 基于机电切换感性负载的替代瞬态试验技术	25

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。

本文件是 GB/T 21437《道路车辆 电气/电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法》的第 2 部分。GB/T 21437 已发布了以下部分：

- 第 1 部分：定义和一般规定；
- 第 2 部分：沿电源线的电瞬态传导发射和抗扰性；
- 第 3 部分：对耦合到非电源线电瞬态的抗扰性。

本文件代替 GB/T 21437.2—2008《道路车辆 由传导和耦合引起的电骚扰 第 2 部分：沿电源线的电瞬态传导》，与 GB/T 21437.2—2008 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 将“4.3 电压瞬态发射试验”改为“4.3.1 一般规定”“4.3.2 慢脉冲试验布置”和“4.3.3 快脉冲试验布置”，更改了图 1，将“快脉冲瞬态发射试验布置”分为两种情况（见 4.3，2008 年版的 4.3）；
- 将“4.4 瞬态抗扰性试验”改为“4.4.1 DUT 位置”“4.4.2 电源线位置”“4.4.3 负载模拟器位置”和“4.4.4 试验布置”，删除了图 2c) 有关 5b 脉冲的图示（见 4.4，2008 年版的 4.4）；
- 对 5.5 测量仪器进行了整合简化，删除了“表 2 电压探头参数”（见 5.5，2008 年版的 5.5）；
- 对 5.6 下的悬置段内容增加了标题“5.6.1 一般规定”，后续条款顺延；更改了 5.6 中试验脉冲 1、试验脉冲 2a 和 2b、试验脉冲 3a 和 3b 的 U_c 参数（见 5.6，2008 年版的 5.6）；
- 删除了“5.6.4 试验脉冲 4”和“5.6.5 试验脉冲 5a 和 5b”的有关内容（见 2008 年版的 5.6.4、5.6.5）；
- 删除了表 C.1 中“定义”一栏的内容（见附录 B，2008 年版的附录 C），这些内容已在 GB/T 29259 中进行了定义。

本文件修改采用 ISO 7637-2:2011《道路车辆 由传导和耦合引起的电骚扰 第 2 部分：沿电源线的电瞬态传导》。

本文件与 ISO 7637-2:2011 的技术性差异及原因如下：

- 第 3 章术语和定义的引导语中，用“GB/T 21437.1”替换了“ISO 7637-1”，以适应我国的技术条件、增加可操作性；
- 将 5.6 下的悬置段内容调整为“5.6.1 一般规定”，后续条款顺延；
- 删除了 ISO 7637-2:2011 的 5.6.4，这一条款无实际内容。

本文件还做了下列编辑性改动：

- 将图 2 分图 a) 和分图 b) 的说明合并，将图 2 a) 中的“2”改为“2a”、“4”改为“4a”，将图 2 b) 中的“2”改为“2b”、“4”改为“4b”；
- 对表 A.1 和表 A.2 做了简化处理，删除多余的脚注；
- 参照 GB/T 33014(所有部分)对表 A.3 进行修改，对“类别 1、类别 2、类别 3”给出了注释说明，以便汽车电磁抗扰标准的整体统一理解，便于理解使用；
- ISO 7637-2:2011 的 A.2.1 没有标题，补充了标题“一般规定”；
- 对 C.2 下的悬置段内容增加了标题“C.2.1 总则”，后续条款顺延；
- ISO 7637-2:2011 的缺少对表 C.1、表 C.2、表 C.3、表 C.4、表 C.5、表 C.6 的提及，在 C.2.1 中增加了对这些表的提及；
- 附录 D 补充了对图 D.1 和图 D.2 的提及。

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。

本文件由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本文件由全国汽车标准化技术委员会(SAC/TC 114)归口。

本文件起草单位:中国汽车技术研究中心有限公司、苏州泰思特电子科技有限公司、中国电子技术标准化研究院、工业和信息化部电子第五研究所、长春汽车检测中心有限责任公司、襄阳达安汽车检测中心有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、上汽大众汽车有限公司、杭州远方电磁兼容技术有限公司、郑州宇通客车股份有限公司、长城汽车股份有限公司、上海机动车检测认证技术研究中心有限公司、上海汽车集团股份有限公司技术中心、上海电器科学研究院、奥德科机动车零部件检测(泰州)有限公司、上海汽车商用车技术中心、吉利汽车研究院(宁波)有限公司、上汽通用五菱汽车股份有限公司、广家院威凯(上海)检测技术有限公司、广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院、宁波市华测检测技术有限公司、河南凯瑞车辆检测认证中心有限公司、华晨汽车集团控股有限公司、南京汽车工程研究院、北京兴科迪科技有限公司。

本文件主要起草人:许秀香、胡小军、崔强、米进财、刘欣、柳海明、吕刚、刘方磊、黄雪梅、刘新亮、涂辛雅、卢长军、余天刚、王晓迪、肖晶、盛忠一、白云飞、沈晓斌、安鑫、邓福启、王绎维、何德业、孙成明、白云、李嘉博、杨河清、史晓密。

本文件于2008年首次发布,本次为第一次修订。



引 言

车辆在正常运行期间会产生电气骚扰和射频骚扰。这些骚扰信号频率范围宽并且可以通过传导、耦合或辐射的方式影响车载电气/电子部件和系统。

近年来,车辆大量安装了用于实现控制、监视和显示等各种功能的电气/电子部件和系统,其容易受到车辆自身电气/电子系统(例如:点火系统,发电机/交流发电机系统,电动机和执行器等)产生的骚扰而发生性能下降(暂时故障,甚至是永久损坏)。

GB/T 21437《道路车辆 电气/电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法》旨在确立道路车辆用电气/电子部件的电瞬态传导发射和抗扰性试验方法,拟由 5 个部分构成。

- 第 1 部分:定义和一般规定。目的在于规定术语和定义、试验条件、功能特性状态分类等。
- 第 2 部分:沿电源线的电瞬态传导发射和抗扰性。目的在于规定沿电源线的电瞬态传导发射和抗扰性试验的试验设备、试验方法和要求等。
- 第 3 部分:对耦合到非电源线电瞬态的抗扰性。目的在于规定耦合到非电源线电瞬态脉冲的抗扰性台架试验方法。
- 第 4 部分:沿高压屏蔽电源线的电瞬态传导发射和抗扰性。目的在于规定沿屏蔽高压电源线的电瞬态传导试验方法。
- 第 5 部分:脉冲发生器及验证方法的补充。目的在于确保测试结果具有可比性和可重复性。



道路车辆 电气/电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法 第2部分： 沿电源线的电瞬态传导发射和抗扰性

1 范围

本文件规定了汽车电气/电子部件沿电源线的电瞬态传导发射和抗扰性试验的试验设备、试验方法和要求等。

本文件适用于 M、N、O、L 类车辆(不限定车辆动力系统,例如火花点火发动机、柴油发动机、电动机)用标称电压 12 V 或 24 V 的电气/电子部件。

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 21437.1 道路车辆 电气/电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法 第1部分:定义和一般规定(GB/T 21437.1—2021,ISO 7637-1:2015,MOD)

3 术语和定义

GB/T 21437.1 界定的术语和定义适用于本文件。

4 试验规程

4.1 一般规定

本文件所涉及的电源线瞬态发射和抗扰性试验均在试验室中以“台架试验”进行。一些试验方法中要求使用人工网络,以便不同试验室结果之间具有可比性。

沿电源线的电瞬态抗扰性台架试验,采用试验脉冲发生器的方法(见 5.6),其中所描述的试验脉冲只是典型的脉冲形式,未能涵盖车辆上可能出现的各种瞬态。标准使用者可根据电气/电子部件的功能或连接状况,确定是否规定和应用附加试验脉冲。

附录 A 规定了瞬态抗扰性的功能特性状态分类。

4.2 试验温度和供电电压

试验期间,周围环境温度应为 $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

供电电压 U_A 在脉冲发生器的输出端进行测量,应符合表 1 的规定。如采用其他值,在试验报告中应加以注明。

表 1 供电电压

供电电压	12 V 系统 V	24 V 系统 V
U_A	13.5 ± 0.5	27 ± 1

4.3 电压瞬态发射试验

4.3.1 一般规定

对于属于潜在传导骚扰源的电气/电子部件,应进行瞬态传导发射试验。该试验适用于含有感性负载或通过机械或电子开关驱动感性负载的被测装置(DUT)。如连接到车辆电源、具有大电感或大感性负载电流的电动窗,电动座椅,继电器,电动后视镜等。如果感性负载电感很小或电流很小,且由内部稳定电压(例如 5 V)驱动,且与车辆电源隔离,则本试验不适用,试验计划规定除外。

试验时应采取措施,确保测量布置不受周围电磁环境干扰。

测量骚扰源产生的电压瞬态,要使用标准阻抗的人工网络(见 5.1)。人工网络、开关和 DUT 之间的所有连接配线均应放置在金属接地平板上方 $50 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ 处。电缆规格尺寸应按照车辆的实际情况选择,配线应能承受 DUT 的工作电流,并在车辆制造商与供应商达成一致后确定。DUT 的接地方式应考虑车辆的实际安装,并在试验计划中定义。如果试验计划没有规定,DUT 应放置在接地平板上方 $50 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ 的非导电材料上。

采用电压探头和示波器或波形采集设备测量供电电压和骚扰电压,电压波形参数见附录 B。

需特别注意测量时 DUT 是在断开以及各种不同工作模式的切换下进行。DUT 试验条件要求应在试验计划中规定。

注:某些情况下在 DUT 开启时测量。

应选择合适的采样率和触发电平,以获取完整的瞬态波形。选择足够的分辨率以显示瞬态最大的正值和负值。

选用合适的采样率和触发电平,根据试验计划操作 DUT,并记录电压幅度。其他瞬态参数,诸如上升时间、下降时间、持续宽度等也应记录。除非另有规定,至少采集 10 个波形,记录包含最大正幅度和负幅度及其相关参数的波形。

应按附录 B 评估测得的瞬态,应记录所有相关信息和试验结果。若试验计划有要求,应包括与试验计划规定性能指标有关的瞬态评估结果。

4.3.2 慢脉冲试验布置

试验布置见图 1a)。

骚扰源经人工网络连接至并联电阻 R_s 、开关 S 和供电电源。开关 S 代表 DUT 供电总开关(例如,点火开关,继电器等),其可位于距离 DUT 几米远处。

在 DUT 由内部机械开关和/或电子开关控制感性负载情况下,DUT 内部开关闭合(当开关 S 断开时,DUT 由感性负载供电)的试验布置见图 1a)。

考虑到 DUT 内部开关的类型[继电器、电子开关、绝缘栅双极型晶体管(IGBT)等],可能无法确保 DUT 内部开关受控闭合。内部开关状态的详细描述应记录在试验报告中。

DUT 电源断开产生的瞬态在开关 S 断开时测量(操作开关 S 以便产生瞬态骚扰)。

4.3.3 快脉冲试验布置

无内部开关的 DUT 试验布置见图 1b)。

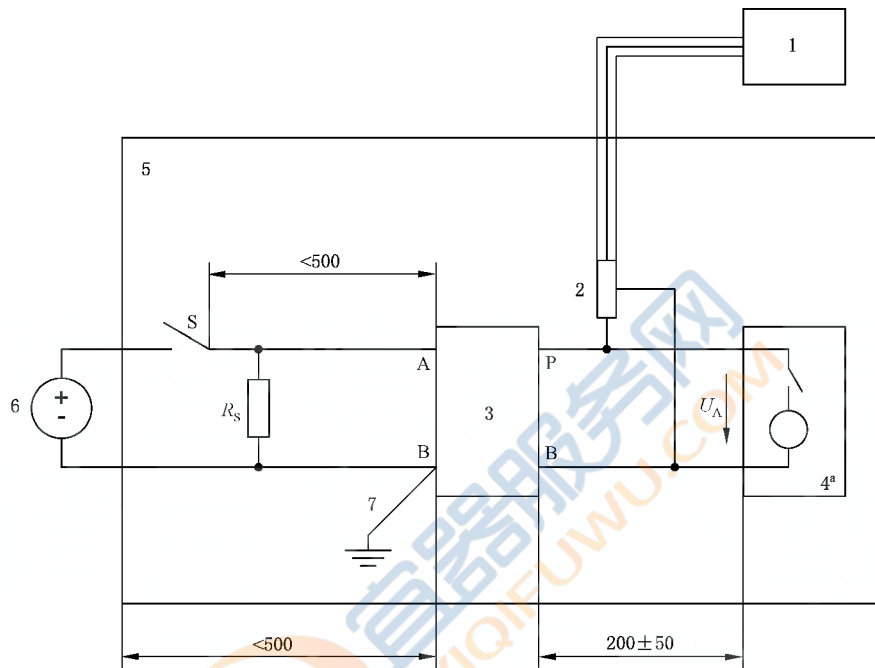
骚扰源经人工网络连接到并联电阻 R_s 、开关 S 和供电电源。DUT 电源断开产生的瞬态在开关 S 断开时测量(操作开关 S 以便产生瞬态骚扰)。

有内部开关的 DUT 试验布置见图 1c)。

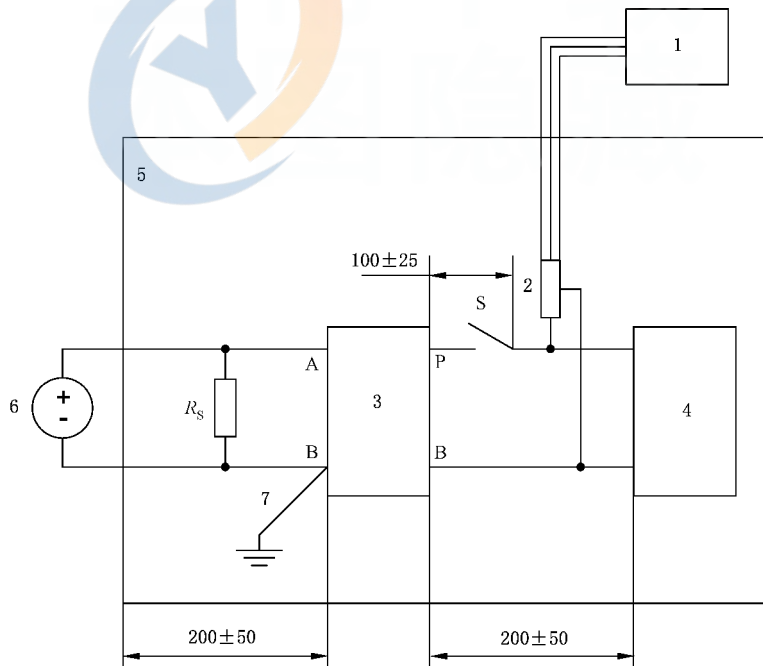
骚扰源经人工网络连接到并联电阻 R_s 、开关 S 和供电电源。通过操作内部开关产生瞬态骚扰(不需要开关 S)。

在内部开关断开时(操作开关产生瞬态骚扰),测量 DUT 电源断开产生的瞬态,探头尽可能接近 DUT 端。

单位为毫米

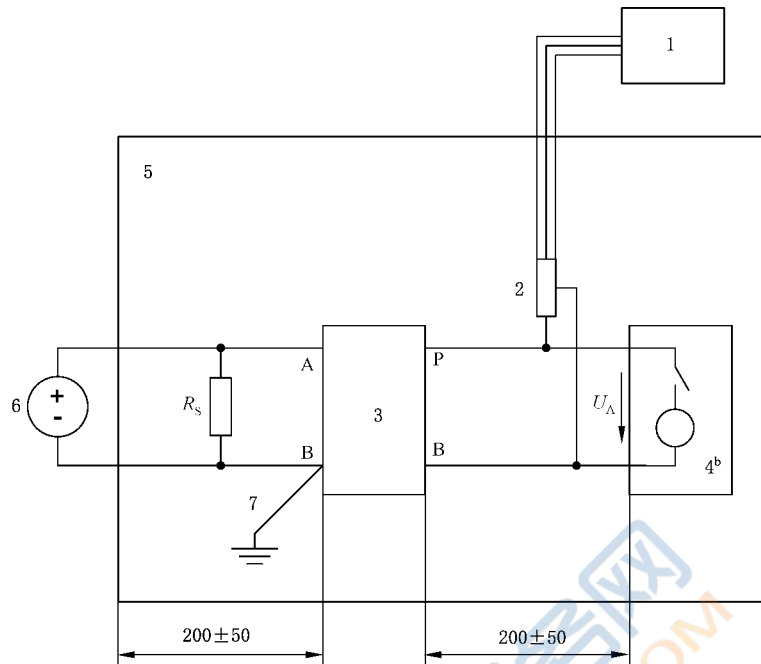


a) 瞬态发射试验布置——慢脉冲(毫秒级或更慢)



b) 瞬态发射试验布置(DUT 无内部开关)——快脉冲(纳秒至微秒级)

图 1 瞬态发射试验布置



c) 瞬态发射试验布置(DUT有内部开关)——快脉冲(纳秒至微秒级)

标引序号说明:

- | | |
|--------------|---------------------|
| 1——示波器或等效设备; | 6——供电电源; |
| 2——电压探头; | 7——接地连接(长度<100 mm); |
| 3——人工网络; | R_s ——并联电阻; |
| 4——DUT(瞬态源); | S——开关; |
| 5——接地平板; | U_A ——供电电压。 |

注: A、B和P见图3。

^a 可选,带有内部开关驱动的感性负载。

^b 带有内部负载和开关。

图1 瞬态发射试验布置(续)

4.4 瞬态抗扰性试验

4.4.1 DUT位置

DUT应放置在非导电性、低相对介电常数($\epsilon_r \leq 1.4$)、厚度为(50±5)mm的支撑物上。

DUT外壳与接地平板的接地方式应符合车辆的实际连接,且应在试验计划中规定。

4.4.2 电源线位置

对试验脉冲3a和3b,试验脉冲发生器和DUT端口之间的电源线应笔直平行地放置非导电性、低相对介电常数($\epsilon_r \leq 1.4$)、厚度为50 mm±5 mm的支撑物上,其长度为500 mm±100 mm。

4.4.3 负载模拟器位置

负载模拟器宜直接放置在接地平板上。如果负载模拟器有金属外壳,其外壳应与接地平板搭接。负载模拟器可放在邻近接地平板处,其壳体与接地平板搭接。

4.4.4 试验布置

DUT 试验前,在不带 DUT 的条件下,调整试验脉冲发生器[见图 2a)]以产生 5.6 描述的特定脉冲极性、幅度、宽度、阻抗。峰值电压 U_s 应调整到试验所需的电平,其误差为 $0\% \sim +10\%$ 。

接下来断开示波器,按图 2b)将 DUT 连接到试验脉冲发生器,施加试验脉冲。按实际状态,评估 DUT 在试验中和/或试验后的功能。

为产生规定的试验脉冲,需要接通和切断电源开关。如果试验脉冲发生器自带电源,可通过试验脉冲发生器操作开关来实现。

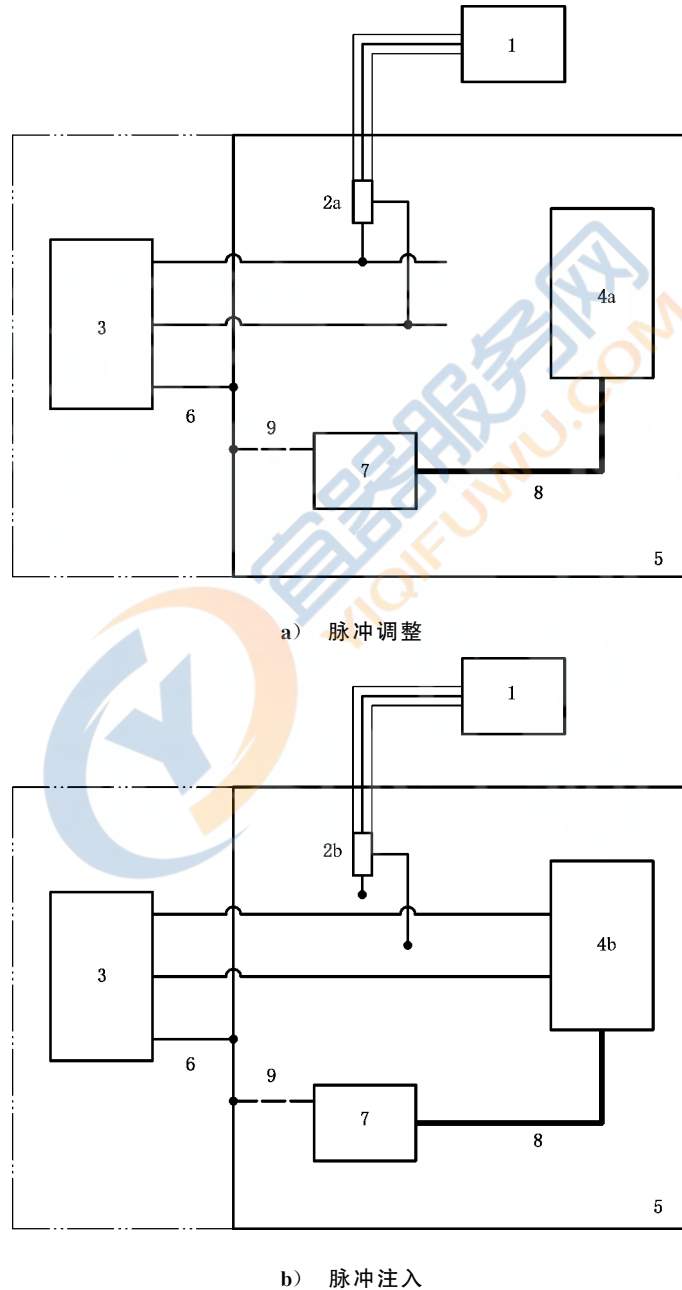


图 2 瞬态抗扰度试验布置

标引序号说明:

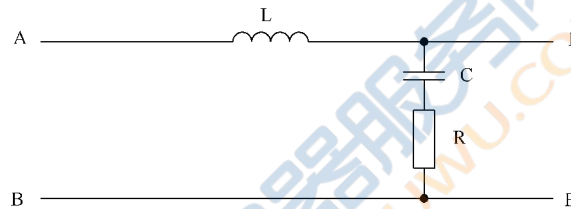
- | | |
|-----------------|--------------------------------------|
| 1 —— 示波器或等效设备; | 5 —— 接地平板; |
| 2a —— 电压探头; | 6 —— DC 电源接地连接(对试验脉冲 3, 最长为 100 mm); |
| 2b —— 未连接的电压探头; | 7 —— 负载模拟器(如要求, 可连接到接地平板); |
| 3 —— 试验脉冲发生器; | 8 —— 连接电缆(试验时远离 DUT 电源线, 避免耦合); |
| 4a —— 未连接的 DUT; | 9 —— 负载模拟器接地(如有要求)。 |
| 4b —— DUT; | |

图 2 瞬态抗扰度试验布置(续)

5 试验设备及要求

5.1 人工网络

人工网络代替车辆线束的阻抗, 在实验室中作为阻抗的参考标准, 以测定设备及电气/电子装置的性能。图 3 为人工网络原理示意图。



标引序号说明:

- | | |
|-----------------|-------------|
| A —— 电源端; | L —— 电感器; |
| B —— 公共端(可以接地); | P —— DUT 端; |
| C —— 电容器; | R —— 电阻器。 |

图 3 人工网络原理示意图

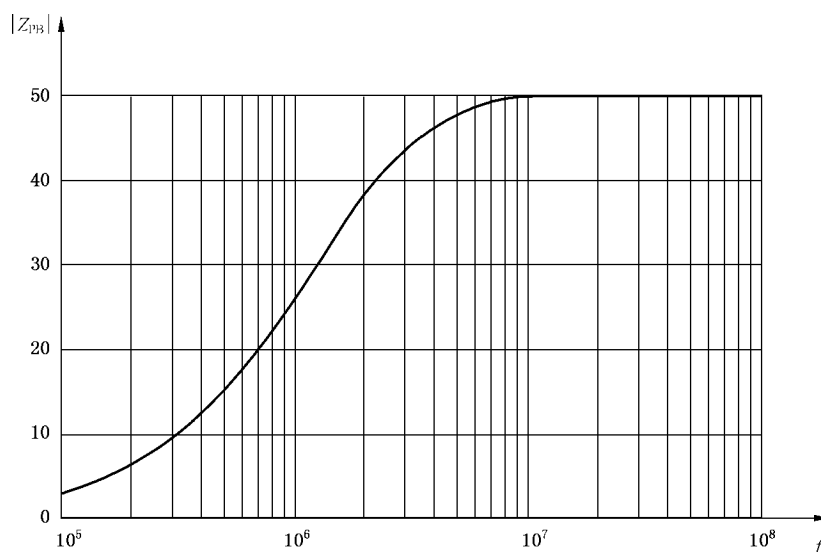
人工网络应能承受与 DUT 要求相一致的连续负载。

图 4 给出了在理想电气元件的情况下, 当 A 端和 B 端短路时, 在 P 端和 B 端之间测得的阻抗 $|Z_{PB}|$ 的值随频率变化的曲线。在实际当中, 人工网络的阻抗不应偏离图 4 所示曲线的 10% 以上。

人工网络各种元件的主要特性如下:

- $L = 5 \mu\text{H}$ (空心线圈);
- P 端和 A 端之间的内阻: $< 5 \text{ m}\Omega$;
- $C = 0.1 \mu\text{F}$, 可承受交流 200 V、直流 1 500 V;
- 电阻 $R = 50 \Omega$ 。

人工网络应放在接地平板上, 人工网络的电源接地端应连接到接地平板, 见图 1a)、图 1b) 和图 1c)。



标引序号说明:

$|Z_{PB}|$ —— 阻抗, Ω ;

f —— 频率, Hz。

图 4 阻抗 $|Z_{PB}|$ 随频率变化曲线

5.2 并联电阻 R_s

并联电阻 R_s 模拟与 DUT 并联的车辆其他电气装置的等效电阻,这些电气装置与 DUT 的连接不受点火开关控制。所选的 R_s 为开关断开时,未导通的点火开关端和地之间线束的平均阻抗,其值应由车辆制造商规定。在没有任何明确规定时,应取 $R_s = 40 \Omega$;如果使用绕线电阻,应为双绕电阻(即具有最小电抗)。

注:为模拟最严酷情况, R_s 可以断开。

5.3 开关 S

开关 S 应装在图 1a)、图 1b)所示位置。在车辆实际应用中,如果开关和负载之间的线较长(几米),则应使用慢脉冲布置。否则,宜使用快脉冲布置。无论哪种情况,只有快脉冲布置适合于测量因继电器断开而产生的快速瞬态脉冲。

通过控制人工网络 DUT 侧的开关来测量快速瞬态(t_d 约为 ns 至 μs 量级)。通过控制人工网络电源侧的开关来测量慢速瞬态(t_d 约为 ms 量级)。

当开关 S 明显影响骚扰瞬态特性时,推荐的开关特性如下:

- a) 测量高压瞬态(幅度超过 400 V),开关装置应是 DUT 在车上使用的标准产品开关。如果此装置无法使用,应采用具有下述特性的汽车继电器:
 - 触点电流额定值: $I = 30 \text{ A}$, 连续电阻性负载;
 - 高纯度银触点材料;
 - 继电器触点无抑制;
 - 单/双位触点与线圈电路电绝缘;
 - 具有瞬态抑制的线圈(对被测瞬态的影响最小)。

注:由于频繁使用而降级的开关继电器,则需要替换。

- b) 使用具有复现性的开关,便于对骚扰进行精确评估。建议使用电子开关。骚扰的幅度很可能

大于常用的传统开关(起电弧),评估试验结果时应予考虑。电子开关适合用于控制含有抑制器的 DUT。测量低压瞬态(幅度小于 400 V)时,例如由含有瞬态抑制器的源产生的,推荐使用具有下述特性的电子开关:

- 额定电压:25 A 时最高电压 $U_{\max}=400$ V;
- 额定电流:持续最大电流 $I_{\max}=25$ A, $\Delta t \leq 1$ s 时 100 A;
- 压降:25 A 时电压降 $\Delta U \leq 2$ V;
- 供电电压:见表 1;
- 切换时间: $\Delta t_s = 300(1 \pm 20\%)$ ns, 在 13.5 V、参考负载 $R=0.6 \Omega$ 、 $L=50 \mu\text{H}$ (1 kHz) 条件下测得;
- 触发器:内部和外部;
- 电压探头:1:100。

开关应能承受短路电流。

有些电子开关可能包含符合 5.1 和图 3、图 4 规定的人工网络。这种情况下,应可旁路内部人工网络而使用外部人工网络。

试验所选择的开关应在试验计划中规定,并在试验报告中记录。

5.4 电源

连续电源的直流内阻 R_i 应小于 0.01Ω ,且频率低于 400 Hz 的内阻抗 $Z_i=R_i$ 。当负载从最小变化到最大(包括浪涌电流),输出电压的偏差应不大于 1 V,在 $100 \mu\text{s}$ 内应恢复到最大幅度的 63%。叠加的纹波电压 U_r 的峰-峰值应不超过 0.2 V。如使用标准电源(具有足够的电流容量)来模拟电池,应保证模拟电池的低内阻。

当使用电池时,可使用充电电源以达到规定的供电电压 U_A (见表 1)。

5.5 测量仪器

数字示波器,或带电压探头的等效波形获取设备,测量仪器参数应满足如下要求:

- 带宽:从直流到至少 400 MHz;
 - 采样率:至少 2 GS/s(单通道采样模式)。
- 探头特性:
- 衰减:10:1(如必要,可 100:1);
 - 最大输入电压:500 V(如必要,可 1 000 V);
 - 带宽:从直流到至少 400 MHz;
 - 输入阻抗:至少 $1 \text{ M}\Omega$ (DC)。

5.6 抗扰性试验脉冲发生器

5.6.1 一般规定

试验脉冲发生器应能产生最大值为 $|U_s|$ 的开路试验脉冲,试验脉冲定义见 5.6.2~5.6.4。在表 2~表 6 规定的限值内 U_s 应可调整。

时间(t)和内阻(R_i)的允差为 $\pm 20\%$ 。特殊规定除外。

发生器性能和允差验证程序按附录 C。

评价 DUT 抗扰性的推荐值可从表 A.1、表 A.2 和表 A.3 选择。

5.6.2 试验脉冲 1

模拟电源与感性负载断开的瞬态现象。适用于 DUT 在车上使用时与感性负载保持直接并联的情

况(见附录 E 的图 E.1)。

脉冲波形见图 5, 参数见表 2。脉冲 1 的猝发周期/脉冲重复时间 t_1 , 应选择为 DUT 在施加下一个脉冲前能正常初始化的最短时间, 且应大于或等于 0.5 s。

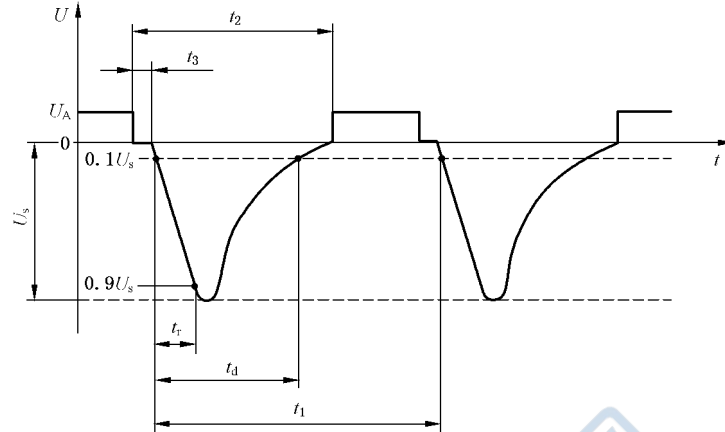


图 5 试验脉冲 1

表 2 试验脉冲 1 参数

参数	12 V 系统	24 V 系统
U_s/V	-75~-150	-300~-600
R_i/Ω	10	5
t_d/ms	2	1
$t_r/\mu s$	$1_{-0.5}^0$	$3_{-1.5}^0$
t_1^a/s		≥ 0.5
t_2/ms		200
$t_3^b/\mu s$		< 100

^a t_1 为猝发周期/脉冲重复时间。
^b t_3 为断开电源与施加脉冲之间所需的最短时间。

5.6.3 试验脉冲 2a 和 2b

脉冲 2a 模拟由于线束电感原因, 使与 DUT 并联装置内的电流突然中断引起的瞬态[见图 E.2a)]。脉冲 2b 模拟点火开关断开后直流电机作为发电机时的瞬态[见图 E.2b)]。

试验脉冲波形见图 6 和图 7, 参数见表 3 和表 4。

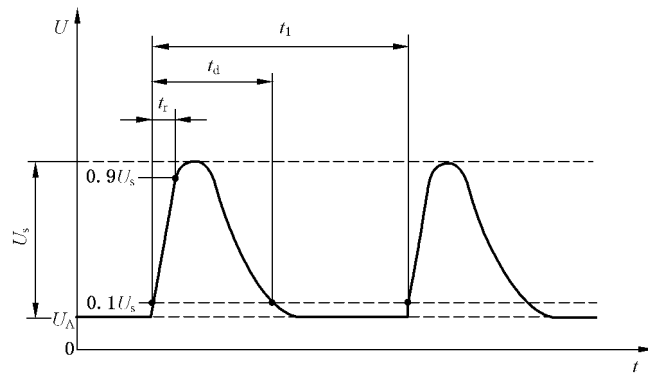


图 6 试验脉冲 2a

表 3 试验脉冲 2a 参数

参数	12 V 系统	24 V 系统
U_s/V	+37~+112	
R_i/Ω	2	
t_d/ms	0.05	
$t_r/\mu s$	$1_{-0.5}$	
t_1^a/s	0.2~5	

^a 根据开关的情况,在可选范围内,可使用短的重复时间 t_1 ,以缩短试验时间。

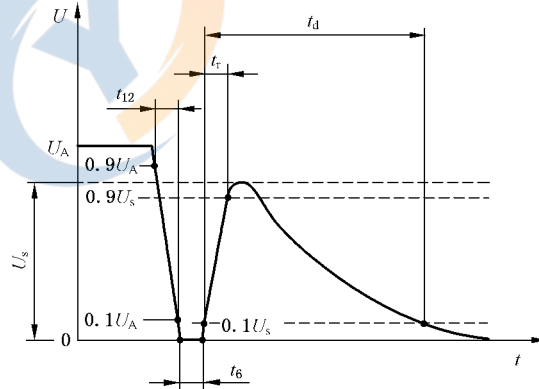


图 7 试验脉冲 2b

表 4 试验脉冲 2b 参数

参数	12 V 系统	24 V 系统
U_s/V	10	20
R_i/Ω	0~0.05	

表 4 试验脉冲 2b 参数 (续)

参数	12 V 系统	24 V 系统
t_d/s		0.2~2
t_{12}/ms		1 ± 0.5
t_r/ms		1 ± 0.5
t_6/ms		1 ± 0.5

5.6.4 试验脉冲 3a 和 3b

模拟由开关过程发生的瞬态。这些瞬态特性受线束分布电容和分布电感的影响(见图 E.3)。试验脉冲波形见图 8 和图 9, 参数见表 5 和表 6。

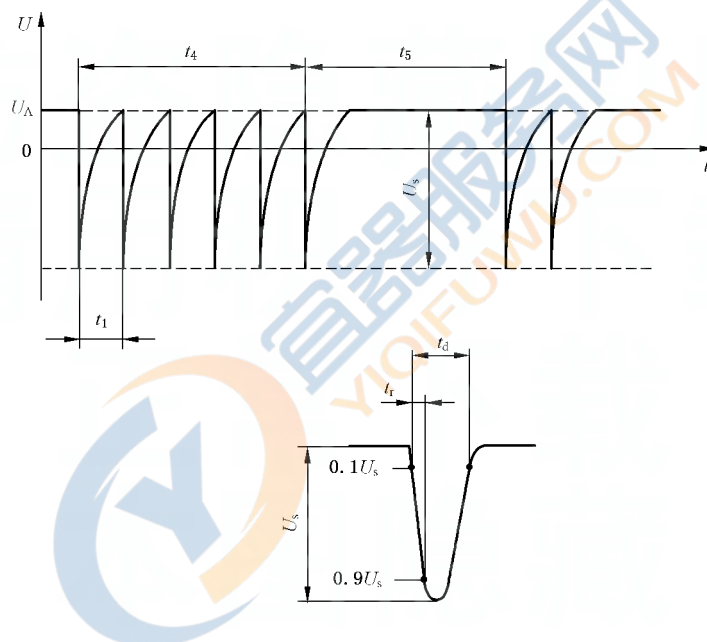


图 8 试验脉冲 3a

表 5 试验脉冲 3a 参数

参数	12V 系统	24V 系统
U_s/V	-112~-220	-150~-300
R_i/Ω		50
t_d/ns		150 ± 45
t_r/ns		5 ± 1.5
$t_1/\mu s$		100
t_4/ms		10
t_5/ms		90

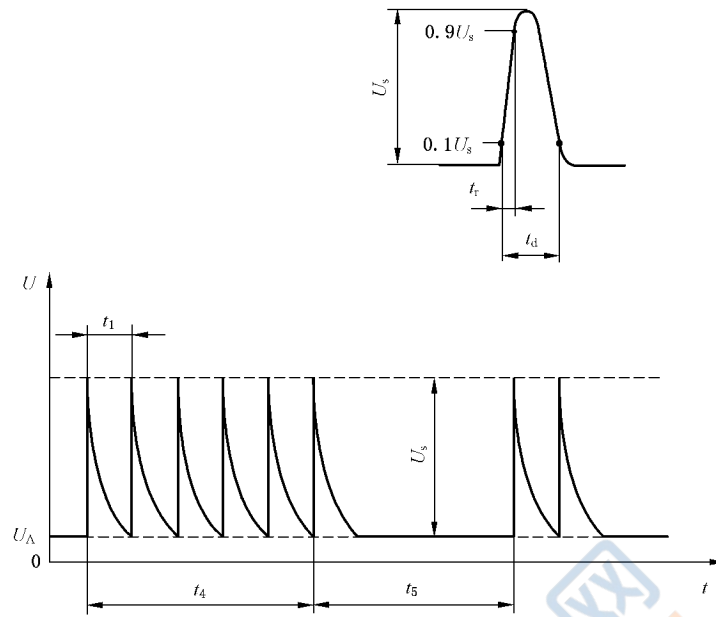


图 9 试验脉冲 3b

表 6 试验脉冲 3b 参数

参数	12V 系统	24V 系统
U_s/V	+75~+150	+150~+300
R_i/Ω	50	
t_d/ns	150 ± 45	
t_r/ns	5 ± 1.5	
$t_1/\mu s$	100	
t_4/ms	10	
t_5/ms	90	

附 录 A
(资料性)
试验脉冲严酷等级示例

A.1 概述

本附录给出了试验脉冲严酷等级的示例,功能特性状态分类(FPSC)应符合 GB/T 21437.1 规定。

A.2 试验脉冲严酷等级分类

A.2.1 一般规定

推荐的最低和最高严酷等级见表 A.1 和表 A.2 的等级 III 和等级 IV。按车辆制造商和零部件供应商协议,可在表中给出的值之间选择电平和试验时间。在未定义规定值的情况下,推荐使用表 A.1 和表 A.2 中等级 III 和等级 IV 对应的电平值。

A.2.2 12 V 电气系统

推荐的电平见表 A.1。

表 A.1 12 V 系统试验脉冲严酷等级示例

试验脉冲	试验脉冲严酷度电平 U_s			最少脉冲数或 试验时间	猝发周期/脉冲重复时间	
	IV	III	I / II		最小	最大
1	-150	-112	-75	500 个脉冲	0.5 s	(见 5.6.2)
2a	+112	+55	+37	500 个脉冲	0.2 s	5 s
2b	+10	+10	+10	10 个脉冲	0.5 s	5 s
3a	-220	-165	-112	1 h	90 ms	100 ms
3b	+150	+112	+75	1 h	90 ms	100 ms

A.2.3 24 V 电气系统

推荐的电平见表 A.2。

表 A.2 24 V 系统试验脉冲严酷等级示例

试验脉冲	试验脉冲严酷度电平 U_s			最少脉冲数或 试验时间	猝发周期/脉冲重复时间	
	IV	III	I / II		最小	最大
1	-600	-450	-300	500 个脉冲	0.5 s	(见 5.6.2)
2a	+112	+55	+37	500 个脉冲	0.2 s	5 s
2b	+20	+20	+20	10 个脉冲	0.5 s	5 s
3a	-300	-220	-150	1 h	90 ms	100 ms
3b	+300	+220	+150	1 h	90 ms	100 ms

A.3 使用试验脉冲严酷等级分类的 FPSC 应用程序示例

严酷等级示例见表 A.3。对各个脉冲及 12 V 和 24 V 电气系统(电平见表 A.1 和表 A.2),表 A.3 中的类别和试验严酷等级的选择可能是不同的。

表 A.3 试验脉冲严酷等级示例

试验严酷等级	类别 1	类别 2	类别 3
L_4	等级 IV	等级 IV	等级 IV
L_3	等级 I / II / III	等级 IV	等级 IV
L_2	等级 I / II / III	等级 I / II / III	等级 IV
L_1	等级 I / II / III	等级 I / II / III	等级 I / II / III
注: 类别 1、类别 2、类别 3 由车辆制造商和零部件供应商协商确定。比如,类别 3 为影响安全或对驾驶意图有重大影响的功能。			

附录 B

(规范性)

瞬态发射评估——电压波形

B.1 概述

本附录给出了受试骚扰源瞬态发射的评估方法。

B.2 瞬态发射波形特征的基本要素

评估波形特征要考虑表 B.1 中的波形参数。

表 B.1 术语和缩写

参数	缩写
峰值幅度	$U_s (U_{s1}, U_{s2})$
脉冲宽度	t_d
脉冲上升时间	t_r
脉冲下降时间	t_f
脉冲重复时间	t_1
猝发宽度	t_4
猝发间隔时间	t_5
猝发循环时间	$t_4 + t_5$

B.3 瞬态发射分类

B.3.1 一般规定

瞬态发射的最小和最大限值,见表 B.2 和表 B.3 的等级 I 至等级 IV。

按双方协议,可选择这些值或这些值之间可接受的限值。瞬态发射可按协议满足表 B.1 中任一参数或所有参数要求。在未规定特定值情况下,建议从表 B.2 或表 B.3 中选择等级 I 至等级 IV。

图 1a)或图 1b)或图 1c)的试验布置可用于观测慢脉冲和快脉冲,因此所有试验布置都可能会得到使用。

图 B.1 和图 B.2 描述的电压波形是按 4.3 规定的试验方法在台架上获得的典型波形。电压发射限值(U_s)的应用见如下描述。

B.3.2 具有正脉冲(U_{s2})和负脉冲(U_{s1})的瞬态

应使用正电压和负电压限值。

B.3.3 具有正脉冲(U_{s2})的瞬态

应使用正电压限值。

B.3.4 具有负脉冲(U_{s1})的瞬态

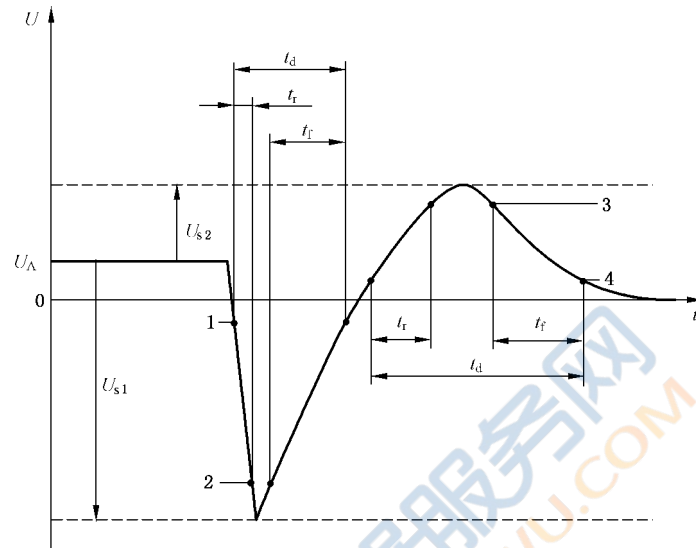
应使用负电压限值。

B.3.5 具有单脉冲或具有正脉冲(U_{s2})或负脉冲(U_{s1})的多猝发脉冲的瞬态

应使用正电压和/或负电压限值。

B.3.6 典型的瞬态波形

单个瞬态波形和猝发瞬态波形的基本参数分别在图 B.1 和图 B.2 中说明。



标引序号说明:

- 1—— $0.1(U_{s1} - U_A)$;
- 2—— $0.9(U_{s1} - U_A)$;
- 3—— $0.9(U_{s2} + U_A)$;
- 4—— $0.1(U_{s2} + U_A)$ 。

图 B.1 单个瞬态波形

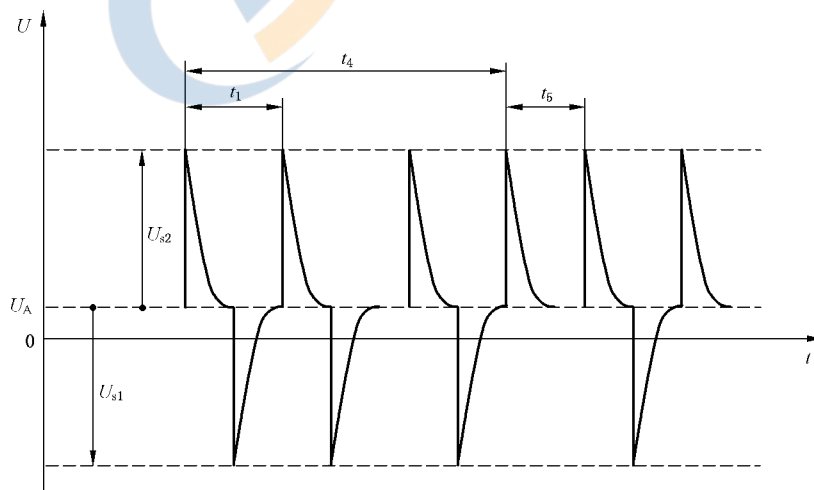


图 B.2 猝发瞬态波形

B.3.7 瞬态波形分级表

按图 1a) 的试验布置测量, 确定慢脉冲(ms)最大幅度, 判定瞬态幅度和波形。然后使用图 1b) 或图 1c) 所示的试验布置判定快脉冲(ns 至 ms) 的最大幅度。

使用表 B.2 和表 B.3 给出的值进行瞬态幅度的分级。

表 B.2 12 V 系统分级限值

脉冲幅度 U_s	严酷等级 I 到 V 建议的 U_s 范围			
	I / II	III	IV	V ^a
正慢脉冲(ms 或更慢)	+25 V	+37 V	+75 V	—
负慢脉冲(ms 或更慢)	-50 V	-75 V	-100 V	—
正快脉冲($\mu\text{s}\sim\text{ns}$)	+50 V	+75 V	+100 V	—
负快脉冲($\mu\text{s}\sim\text{ns}$)	-75 V	-112 V	-150 V	—
^a 可协商确定。				

表 B.3 24 V 系统分级限值

脉冲幅度 U_s	严酷等级 I 到 V 建议的 U_s 范围			
	I / II	III	IV	V ^a
正慢脉冲(ms 或更慢)	+25 V	+37 V	+75 V	—
负慢脉冲(ms 或更慢)	-100 V	-150 V	-200 V	—
正快脉冲($\mu\text{s}\sim\text{ns}$)	+100 V	+150 V	+200 V	—
负快脉冲($\mu\text{s}\sim\text{ns}$)	-100 V	-150 V	-200 V	—
^a 可协商确定。				

附录 C

(规范性)

试验脉冲发生器验证程序

C.1 概述

本附录提供了一种验证试验脉冲发生器输出特性的方法。

测量仪器要求见 5.5。

C.2 规定的验证应在两种不同负载条件下判定脉冲发生器的性能：

- 无负载状态；
- 匹配负载状态。

C.2 验证

C.2.1 总则

必须验证发生器,以确保能满足开路和负载两种状态要求的参数(见表 C.1、表 C.2、表 C.3、表 C.4、表 C.5、表 C.6)。脉冲能量会显著影响试验结果。实际使用的脉冲能量应在试验报告中写明(见附录 D 脉冲发生器能量的测定)。

本验证程序的 U_A 设为 0 V。

应合理选择电阻器。用于验证脉冲及直流电源额定值的电阻应有足够的耗散功率。此外,电阻应是无感的。匹配电阻的允差应为 $\pm 1\%$ 。选择的源阻抗应与每个试验脉冲所规定的负载电阻相匹配。

C.2.2 试验脉冲 1

C.2.2.1 试验脉冲 1(12 V 系统)

表 C.1 试验脉冲 1(12 V 系统)

试验脉冲 1	U_s	t_r	t_d
无负载	$-100\text{ V} \pm 10\text{ V}$	$1_{-0.5}^0\ \mu\text{s}$	$2\ 000\ \mu\text{s} \pm 400\ \mu\text{s}$
10 Ω 负载	$-50\text{ V} \pm 10\text{ V}$	—	$1\ 500\ \mu\text{s} \pm 300\ \mu\text{s}$

C.2.2.2 试验脉冲 1(24 V 系统)

表 C.2 试验脉冲 1(24 V 系统)

试验脉冲 1	U_s	t_r	t_d
无负载	$-600\text{ V} \pm 60\text{ V}$	$3_{-1.5}^0\ \mu\text{s}$	$1\ 000\ \mu\text{s} \pm 200\ \mu\text{s}$
50 Ω 负载	$-300\text{ V} \pm 60\text{ V}$	—	$1\ 000\ \mu\text{s} \pm 200\ \mu\text{s}$

C.2.3 试验脉冲 2

C.2.3.1 试验脉冲 2a(12 V 和 24 V 系统)

表 C.3 试验脉冲 2a(12 V 和 24 V 系统)

试验脉冲 2a	U_s	t_r	t_d
无负载	+75 V±7.5 V	$1_{-0.5}^0 \mu\text{s}$	$50 \mu\text{s} \pm 10 \mu\text{s}$
2 Ω 负载	+37.5 V±7.5 V	—	$12 \mu\text{s} \pm 2.4 \mu\text{s}$

C.2.3.2 试验脉冲 2b(12 V 和 24 V 系统)

表 C.4 试验脉冲 2b(12 V 和 24 V 系统)

试验脉冲 2b	U_s	t_r	t_d	t_{12}
无负载	+10 V±1 V(12 V 系统)	$1 \text{ ms} \pm 0.5 \text{ ms}$	$2 \text{ s} \pm 0.4 \text{ s}$	$1 \text{ ms} \pm 0.5 \text{ ms}$
	+20 V±2 V(24 V 系统)			
注 1: 本验证程序, U_A 按表 1 规定设置。 注 2: 波形通常在无载状态下验证。 注 3: 带载测量应采用最大功率(考虑直流电源的最大输出电流 I_N)。最小可用试验阻抗 $R_L = U_A / I_N$ 。				

C.2.4 试验脉冲 3

C.2.4.1 试验脉冲 3a(12 V 和 24 V 系统)

表 C.5 试验脉冲 3a(12 V 和 24 V 系统)

试验脉冲 3a	U_s	t_r	t_d
无负载	-200 V±20 V	$5 \text{ ns} \pm 1/5 \text{ ns}$	$150 \text{ ns} \pm 45 \text{ ns}$
50 Ω 负载	-100 V±20 V	$5 \text{ ns} \pm 1/5 \text{ ns}$	$150 \text{ ns} \pm 45 \text{ ns}$

C.2.4.2 试验脉冲 3b(12 V 和 24 V 系统)

表 C.6 试验脉冲 3b(12 V 和 24 V 系统)

试验脉冲 3b	U_s	t_r	t_d
无负载	+200 V±20 V	$5 \text{ ns} \pm 1.5 \text{ ns}$	$150 \text{ ns} \pm 45 \text{ ns}$
50 Ω 负载	+100 V±20 V	$5 \text{ ns} \pm 1.5 \text{ ns}$	$150 \text{ ns} \pm 45 \text{ ns}$

应使用同轴测量装置进行试验脉冲 3a/3b 的验证。脉冲频谱覆盖至 200 MHz 的频率范围。在该频率范围内,无法使用高阻抗的电压探头,因探头接地电缆会产生明显的振铃效应并导致测量错误,应使用同轴测量装置。

附录 D

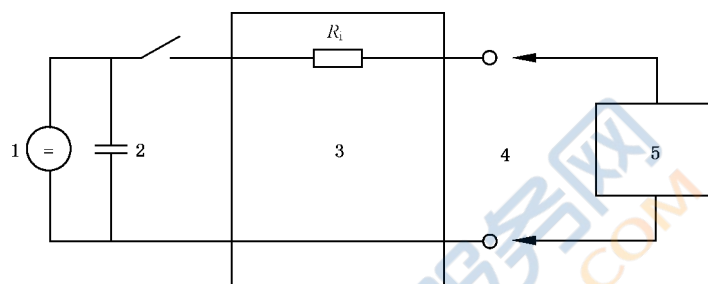
(资料性)

脉冲发生器能量的确定

D.1 能量规格的计算方法

利用测出的脉冲参数 t_d 和 U_s 来计算由发生器传递到匹配电阻(电阻负载 R_L)上的脉冲能量。瞬态脉冲发生器应产生双指数瞬态,是在脉冲成形网络进行电容性放电的结果。此类发生器适用于脉冲 1(12 V、24 V)、2a、3a/3b。如图 D.1 和图 D.2 所示。

脉冲 2b 必须由可编程直流电源来实现。



标引序号说明:

- 1——电源;
- 2——电容 C_s ;
- 3——具有内阻 R_i 的脉冲成形网络;
- 4——脉冲输出;
- 5——匹配负载电阻 R_L 。

图 D.1 瞬态发生器简单电路图例

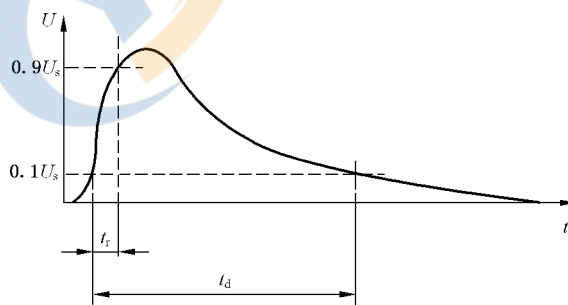


图 D.2 瞬态发生器产生的双指数脉冲波形

所有脉冲都不考虑上升时间($t_r \ll t_d$)的影响。

电压波形函数 $U(t)$ 按式(D.1)计算:

$$U(t) = \frac{U_o \times R_L}{R_i + R_L} \times e^{-\frac{2.3 \times t}{t_d}} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

- U_o ——开路输出电压;
- R_i ——脉冲发生器的源内阻;

R_L ——脉冲发生器的负载电阻；

t_d ——脉冲宽度(自脉冲幅度上升至 $0.1U_s$ 起,至脉冲幅度下降到 $0.1U_s$ 时所经历的时间)；

$U(t)$ ——电压波形函数。

电流波形函数 $I(t)$ 按式(D.2)计算：

$$I(t) = \frac{1}{R_L} \times \frac{U_o \times R_L}{R_i + R_L} \times e^{-\left(\frac{2.3 \times t}{t_d}\right)} = \frac{U_o}{R_i + R_L} \times e^{-\left(\frac{2.3 \times t}{t_d}\right)} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中：

U_o ——开路输出电压；

R_i ——脉冲发生器的源内阻；

R_L ——脉冲发生器的负载电阻；

t_d ——脉冲宽度(自脉冲幅度上升至 $0.1U_s$ 起,至脉冲幅度下降到 $0.1U_s$ 时所经历的时间)；

$I(t)$ ——电流波形函数。

脉冲功率函数 $P(t)$ 按式(D.3)计算：

$$P(t) = U(t) \times I(t) = \frac{(U_o)^2 \times R_L}{(R_i + R_L)^2} \times [e^{-\left(\frac{2.3 \times t}{t_d}\right)}]^2 = \frac{(U_o)^2 \times R_L}{(R_i + R_L)^2} \times e^{-\left(\frac{4.6 \times t}{t_d}\right)} \dots\dots\dots (D.3)$$

式中：

U_o ——开路输出电压；

R_i ——脉冲发生器的源内阻；

R_L ——脉冲发生器的负载电阻；

t_d ——脉冲宽度(自脉冲幅度上升至 $0.1U_s$ 起,至脉冲幅度下降到 $0.1U_s$ 时所经历的时间)；

$I(t)$ ——电流波形函数；

$U(t)$ ——电压波形函数；

$P(t)$ ——脉冲功率函数。

$P(t)$ 的积分表示单脉冲在负载 R_L 上产生的能量：

$$W_e = \int_0^{t_d} P(t) dt = \frac{(U_o)^2 \times R_L}{(R_i + R_L)^2} \times \int_0^{t_d} e^{-\left(\frac{4.6 \times t}{t_d}\right)} dt \dots\dots\dots (D.4)$$

式中：

U_o ——开路输出电压；

R_i ——脉冲发生器的电源内阻；

R_L ——脉冲发生器的负载电阻；

t_d ——脉冲宽度(自脉冲幅度上升至 $0.1U_s$ 起,至脉冲幅度下降到 $0.1U_s$ 时所经历的时间)；

$P(t)$ ——脉冲功率函数；

W_e ——单脉冲能量。

结果以简化公式表示如下：

$$W_e = \frac{(U_o)^2 \times R_L}{(R_i + R_L)^2} \frac{t_d}{4.6} \dots\dots\dots (D.5)$$

对于 $R_i = R_L, U_o = 2U_s; U_s$ 为电阻 R_L 的峰值电压。

$$W_e = \frac{(U_s)^2}{(R_L)} \frac{t_d}{4.6} \dots\dots\dots (D.6)$$

式中：

U_o ——开路输出电压；

- U_s ——峰值电压；
- R_i ——脉冲发生器的源内阻；
- R_L ——脉冲发生器的负载电阻；
- t_d ——脉冲宽度(自脉冲幅度上升至 $0.1U_s$ 起,至脉冲幅度下降到 $0.1U_s$ 时所经历的时间)；
- W_e ——单脉冲的能量。

D.2 脉冲发生器能量的测量方法

利用数字示波器的功能确定脉冲的能量,就是在测量了脉冲参数 t_d 和 U_s 后,得出由脉冲发生器传递到匹配电阻(阻抗 R_L)上的脉冲能量。

- 示例 1: 设定:
 - CH 1 采用电压探头测量电阻 R_L 两端的脉冲电压。
 - CH 1 选择脉冲能量测量函数。该测量为典型的 $(V \cdot V \cdot s)$ 单位。该测量值除以单位为欧姆的 R_L , 所得结果就是传递给 R_L 的能量。
- 示例 2: 设定:
 - CH 1 采用电压探头测量电阻 R_L 两端的脉冲电压。
 - MATH 1 选择波形数学函数并将 CH 1 与 CH 1 相乘。
 - 选择面积测量函数。该测量以 $(V \cdot V \cdot s)$ 为单位。该测量值除以单位为欧姆的 R_L , 所得结果就是传递给 R_L 的能量。
- 示例 3: 设定:
 - CH 1 采用电压探头测量电阻 R_L 两端的脉冲电压。
 - CH 2 采用电流探头测量流过电阻 R_L 的脉冲电流。
 - CH A CH 1 和 CH 2 相乘。
 - 测量函数: 面积(CH A)。
 - 所得结果就是传递给 R_L 的能量。

附录 E

(资料性)

道路车辆电气系统中瞬态的来源

E.1 一般规定

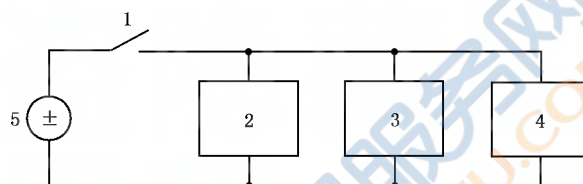
本文件所使用的试验脉冲是在一定条件下于车辆电气系统中测得的脉冲,以及由电气电路基本配置所产生的脉冲。以下原理图给出了脉冲 1 到脉冲 3b 产生的原因。发射脉冲的评估,见附录 B。

注:由于线束和开关元件的差别,12 V 和 24 V 系统电压和阻抗值不同。

E.2 典型脉冲

E.2.1 脉冲 1

产生脉冲 1 的电路原理见图 E.1 所示。



标引序号说明:

1——点火开关;

4——DUT;

2——感性负载;

5——电源。

3——并联电阻 R_s (见 5.2);

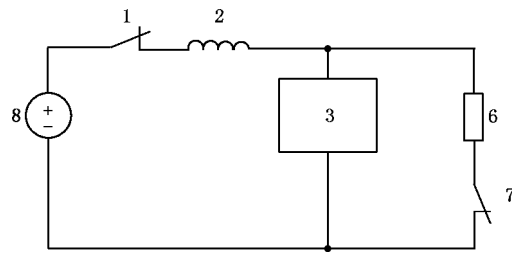
图 E.1 脉冲 1 电路图

由于感性负载与电源断开,包括保险丝熔断或拔出,会产生脉冲 1。该脉冲影响与感性负载保持并联的装置。脉冲波形见图 5。

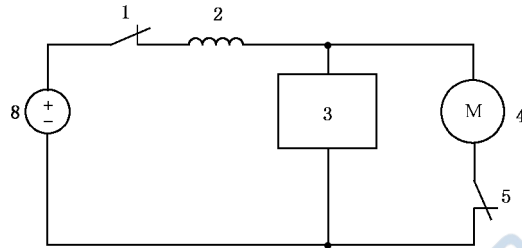
由于脉冲 1 的特性(DUT 电源断开),在有些试验计划中,诸如复位和/或重新初始化等情况是可接受的。

E.2.2 脉冲 2

产生脉冲 2a 和 2b 的电路原理,分别见图 E.2a)和图 E.2b)所示。



a) 脉冲 2a



b) 脉冲 2b

标引序号说明:

- 1——点火开关;
- 2——线束(感性的);
- 3——DUT;
- 4——感性直流电机;

- 5——电机开关;
- 6——负载;
- 7——负载开关;
- 8——电源。

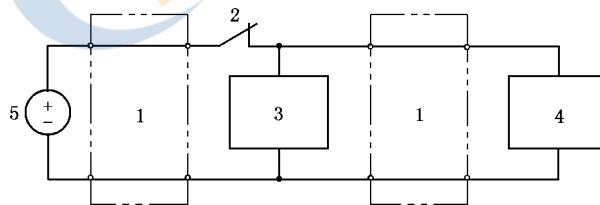
图 E.2 脉冲 2a 和 2b 电路图

当点火开关(1)闭合,负载开关(7)断开时,产生脉冲 2a。在保险丝熔断或拔出以及开关弹跳时也会产生脉冲 2a。当电动机运行,点火开关(1)断开时,产生脉冲 2b。

脉冲波形见图 6 和图 7。

E.2.3 脉冲 3

脉冲 3 的电路原理见图 E.3 所示。



标引序号说明:

- 1——具有分布电感和分布电容的线束;
- 2——开关;
- 3——DUT;

- 4——感性负载;
- 5——电源。

图 E.3 脉冲 3 电路图

开/关转换过程,包括保险丝熔断或拔出,会导致脉冲 3 产生。该脉冲特性受线束分布电容和分布电感的影响。脉冲波形见图 8 和图 9 所示的组合脉冲。

附录 F

(资料性)

基于机电切换感性负载的替代瞬态试验技术

F.1 概述

电压瞬态常常是在机电切换感性负载期间产生的电弧。电弧现象产生复杂的电压波形,其特性(如电压、脉冲持续时间)明显受与感性负载在同一电路中的电抗性和电阻性负载的影响。

选择本文件描述的试验脉冲(例如,脉冲1)的特性,反映在阻抗小于 $100\ \Omega$ 的 DUT 电源电路上的瞬态波形,主要与电路的输入滤波电容有关。许多基于微处理器的电子装置具有高阻抗的电源和输入电路,当这些高阻抗连接在开关的感性负载上时,会产生明显不同的电压瞬态特性。另外,实际的电压瞬态特性本质上是不重复的,在各连续的瞬态现象之间差异明显。这种伪随机行为经常会引起 DUT 软件执行故障。

为模拟这些复杂波形,本附录提供了替代的试验方法。即基于机电切换感性负载的替代瞬态试验技术。本附录描述的波形是由本附录定义的瞬态发生器电路产生的典型瞬态。这些波形可作为瞬态发生器所产生波形的参考。除非另有规定,所有波形应在开路条件测量。

用于瞬态发生器的选择组件会导致本附录的波形与实际波形之间存在稍许差异(例如,波形幅度,时间特性)。试验期间这些差异不应显著改变 DUT 判定结果。

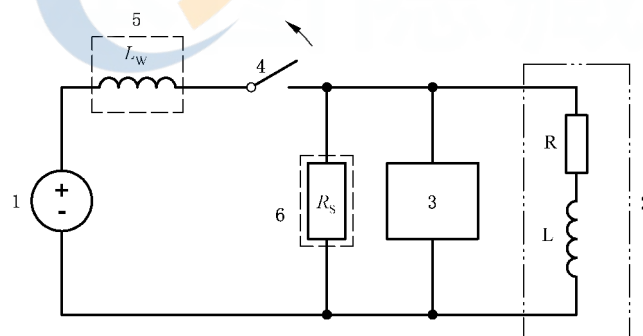
F.2 瞬态波形描述

F.2.1 概述

瞬态波形有 3 种主要类型:A、B 和 C。

F.2.2 波形 A1、A2

波形 A1 和波形 A2 模拟机械(或机电的)开关切换到与 DUT 并联的感性负载时产生的电压瞬态(见图 F.1)。阻抗 Z 代表同一电路的其他电气负载。



标引序号说明:

1——车辆电池;

2——感性负载;

3——DUT;

4——开关;

5——开关的有感负载;

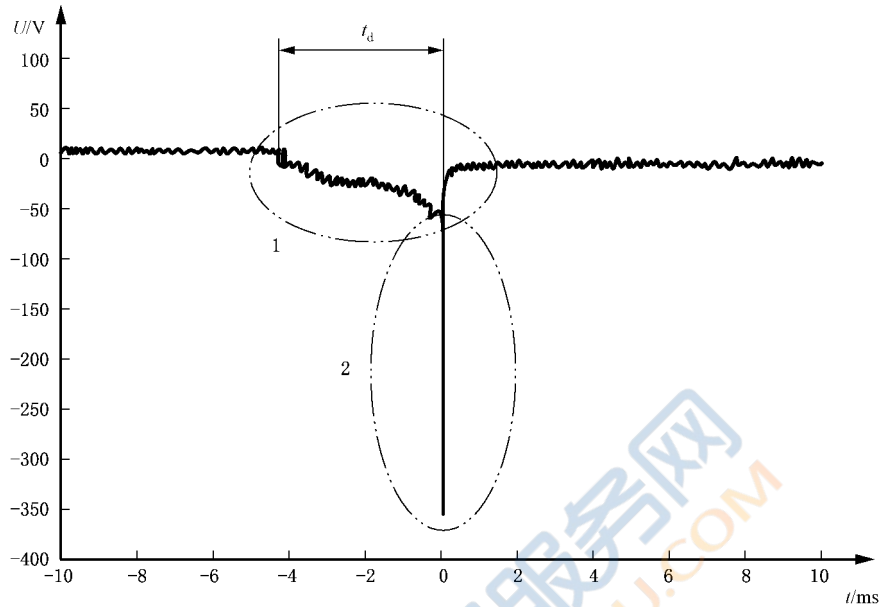
6——并联电阻。

图 F.1 波形 A1 和波形 A2 的电路拓扑

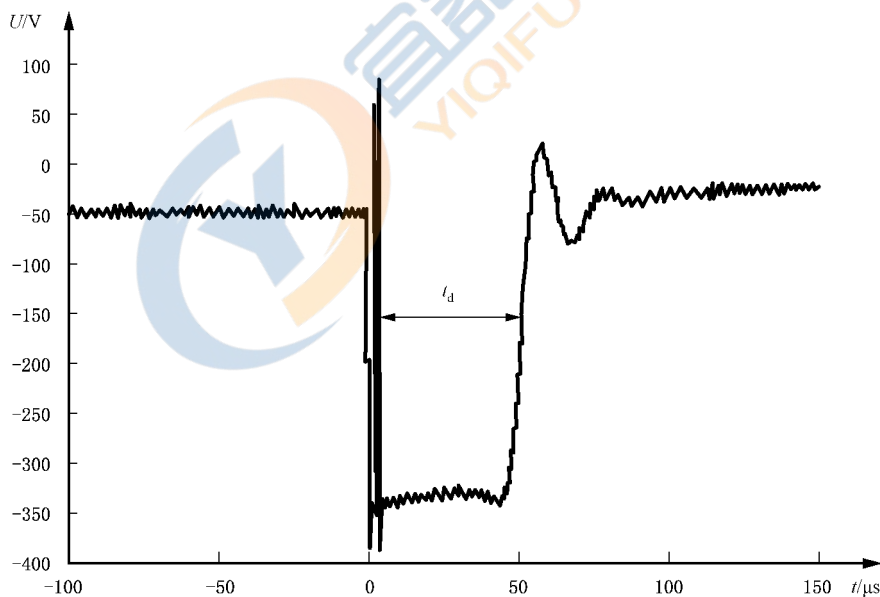
当切换大电流($>1\ \text{A}$)感性负载时,产生波形 A1。波形由开关接触时初始放电产生的持续时间长

的分量构成。持续时间长的分量时基与负载电感和稳态电流的乘积成正比。持续时间短的分量是在电弧放电消失之后由电感器中剩余的存储能量产生的感生反激电压产生。

开路电压(无其他电气负载阻抗 Z)波形 A1 见图 F.2,瞬态发生器电路见 F.4。开路电压负峰值电平在 $-280\text{ V} \sim -500\text{ V}$ 之间,开路电压正峰值电平通常在 $80\text{ V} \sim 100\text{ V}$ 之间。



a) A1 复合波形



b) A1 短时段波形分量

标引序号说明:

1——长时段脉冲成分;

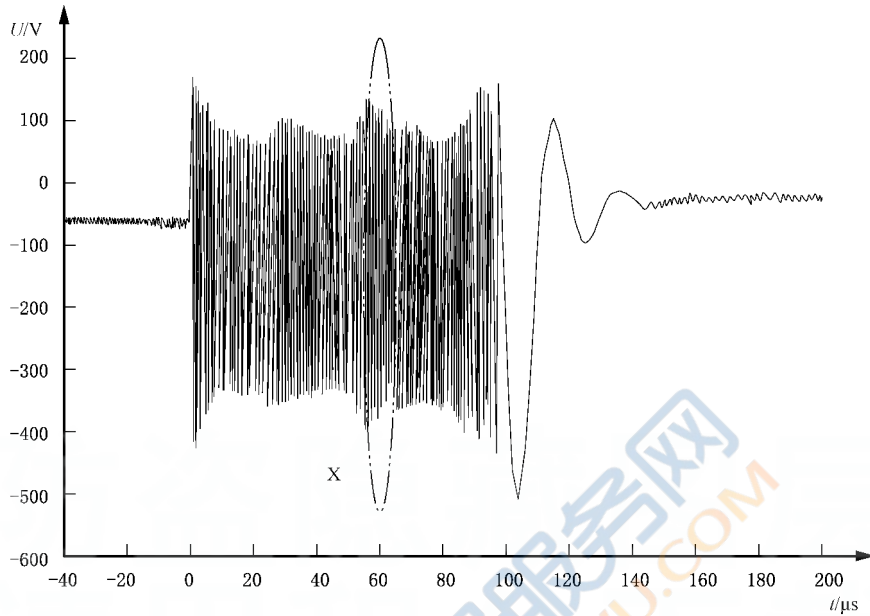
2——短时段脉冲成分。

注:波形未按比例绘制。

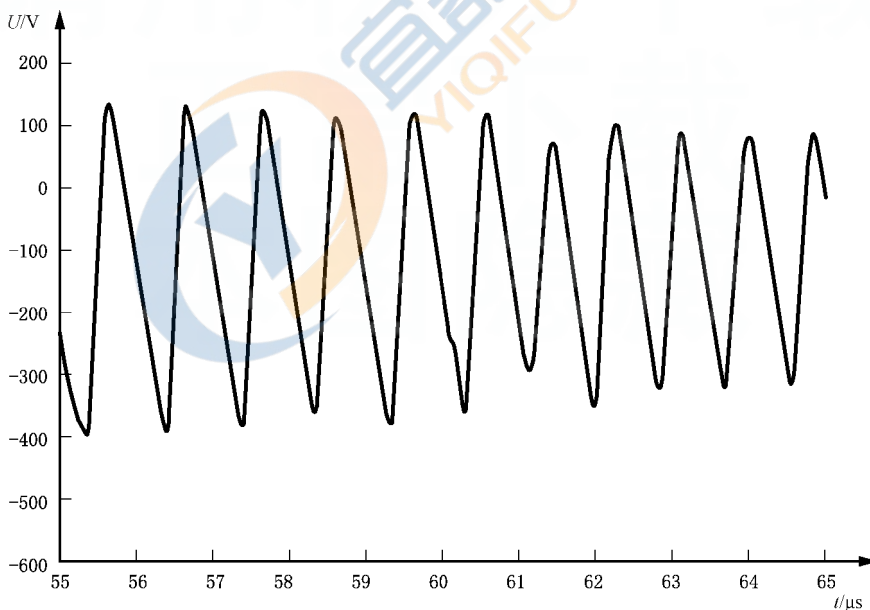
图 F.2 波形 A1

当切换以小电流($<0.4\text{ A}$)感性负载为主的负载时,产生波形 A2(见图 F.3)。少数情况下,切换大

电流($>1\text{ A}$)感性负载时,也会产生波形 A2。波形是由开关接触时二次放电的电弧所产生的,骚扰时间在 $20\text{ ms}\sim 400\text{ ms}$ 范围内显著变化。个别脉冲的持续时间会在 $100\text{ ns}\sim 10\text{ ms}$ 之间,这取决于感性负载的寄生参数(例如,线圈间的电容)。电压负峰值电平在 $-280\text{ V}\sim -500\text{ V}$ 之间。该脉冲的电压正峰值电平可以在 $+100\text{ V}\sim +200\text{ V}$ 之间。注意,正瞬态电压是由电池和开关之间的电感引起。



a) A2 复合波形

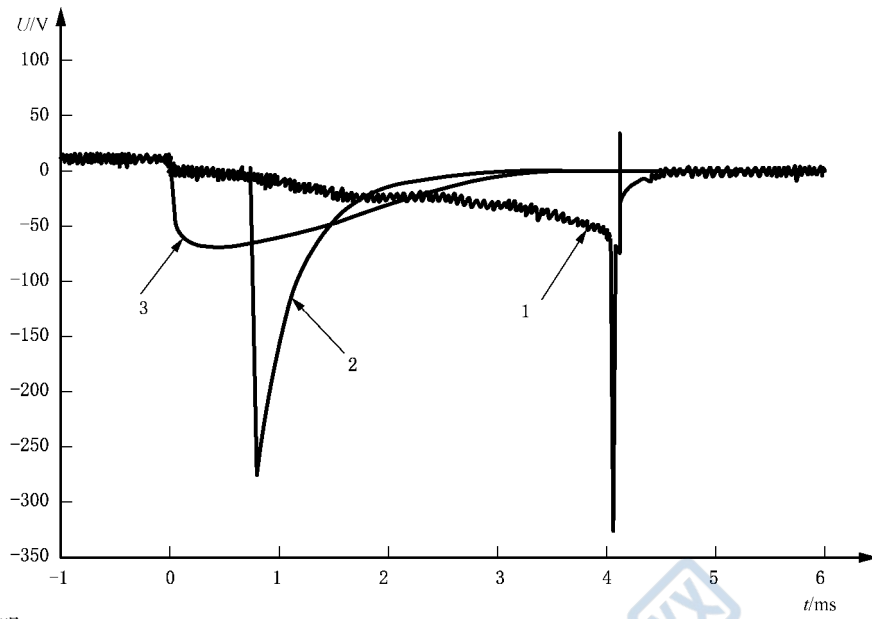


b) A2 波形细节

注:波形未按比例绘制。

图 F.3 波形 A2

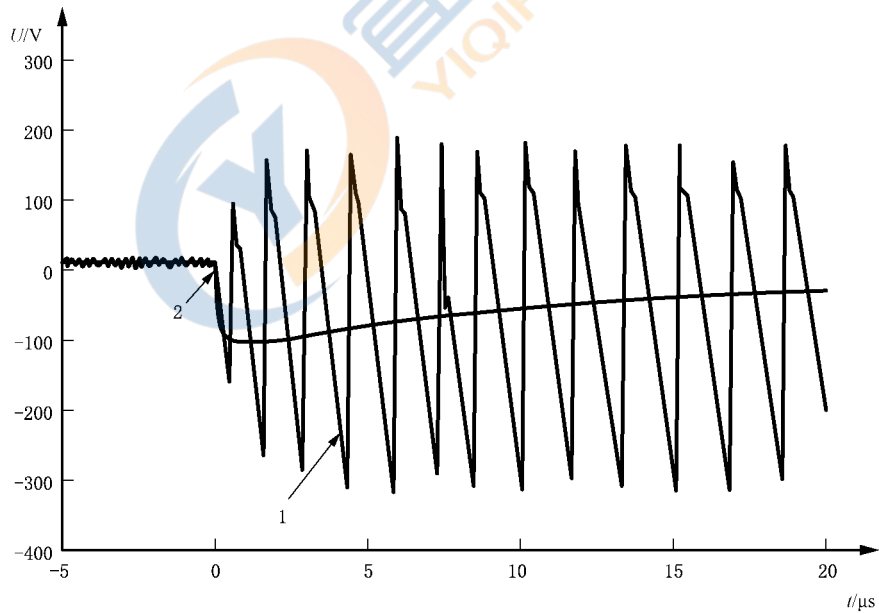
波形 A1 和波形 A2 的时间和幅度明显受外部电路负载的影响。图 F.4 和图 F.5 分别解释了不同负载情况对 A1 和 A2 的影响。注意:电容量(约 $2\text{ }\mu\text{F}$)的选择很重要。波形 A1 类似于本文件的脉冲 1。



标引序号说明：

- 1——开路；
- 2——220 Ω;0.1 μF；
- 3——220 Ω;2.2 μF。

图 F.4 外部负载对波形 A1 的影响示例



标引序号说明：

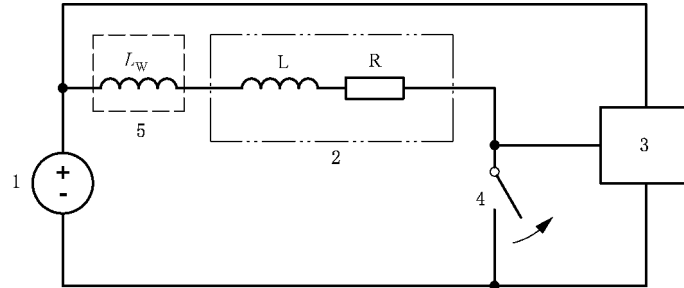
- 1——开路；
- 2——1 100 Ω。

注：波形未按比例绘制。

图 F.5 外部负载对波形 A2 的影响示例

F.2.3 波形 B1、B2

波形 B1 和波形 B2 模拟机械(或机电的)低边开关断开时与 DUT 输入端相连的感性负载产生的电压瞬态(见图 F.6)。



标引序号说明:

1——车辆蓄电池;
2——感性负载;
3——DUT;

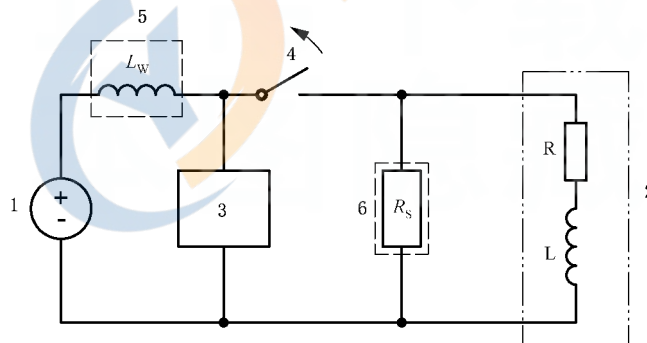
4——开关;
5——转换的感性负载。

图 F.6 波形 B1 和波形 B2 电路拓扑

由于感性负载的开关配置原因,使得除极性相反外,波形 B1 和波形 B2 分别类似于波形 A1 和波形 A2。

F.2.4 波形 C

波形 C 模拟直接连接电池,在切换以小电流(<0.4 A)感性负载为主的负载(见图 F.7)期间所产生的瞬态电压。波形是由开关接触时二次放电的电弧产生的,典型波形见图 F.8 所示。



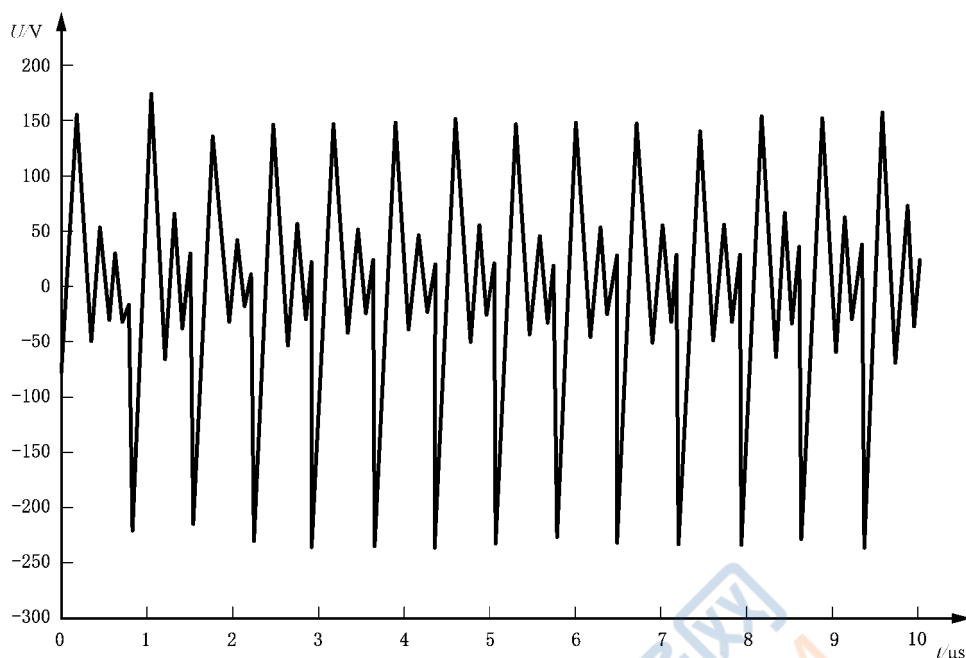
标引序号说明:

1——车辆蓄电池;
2——感性负载;
3——DUT;

4——开关;
5——转换的感性负载;
6——并联电阻(见 5.2)。

图 F.7 波形 C 电路拓扑

波形 C 会受同一电路中作为感性负载的任何外部电路负载(Z)的显著影响。如果所选的电路负载不出现电弧,波形 C 就不会产生。



注：波形未按比例绘制。

图 F.8 波形 C 特性示例

F.3 瞬态波形应用

表 F.1 给出了用于 DUT 电路的试验波形(见 F.2)。注意,除这些瞬态波形应用的位置外,还有两种施加的模式:

- 模式 1:试验波形采用固定重复率;
- 模式 2:试验波形采用伪随机形态。

模式 2 的目的是验证伪随机瞬态骚扰不会引起 DUT 软件执行的紊乱。当施加重复脉冲时,这种现象很少发生。

瞬态波形发生器电路见 F.4。除波形 B1 和波形 B2 受发生器电路的限制之外,其他波形可使用一种或两种模式。

F.4 瞬态波形发生器电路

瞬态波形 A1、A2、B1、B2 和 C 的产生电路如图 F.9 和图 F.10 所示。电路包括会影响 F.2 描述的波形特征的几个关键组件。本附录描述的波形与实际产生的瞬态波形也许存在少许差异。

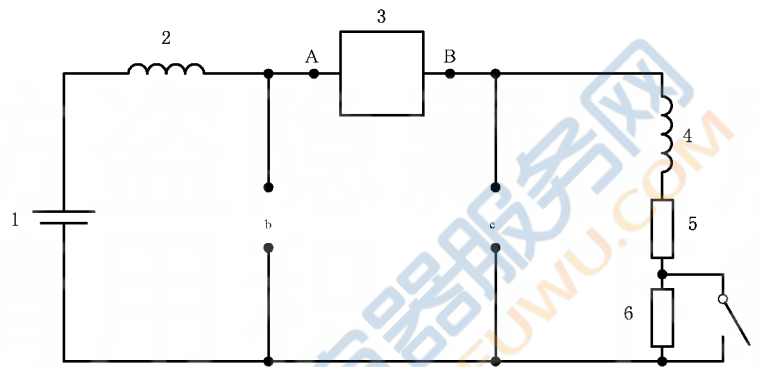
该电路易于产生模式 1 或模式 2 瞬态脉冲。模式 1 由脉冲重复率(PRR),例如,0.1 Hz,10%占空比的重复脉冲组成。图 F.11a)的分支电路容易产生模式 1 脉冲。模式 2 的伪随机脉冲由图 F.11b)分支电路产生。注意,模式 2 不适于脉冲 B1 或脉冲 B2。

表 F.1 试验波形应用

试验脉冲	脉冲应用	模式 ^a
A1、A2	DUT 电源电路经由机械开关或电磁继电器连接到车用蓄电池; DUT 输入电路经由机械开关或电磁继电器直接或间接(例如,上拉电阻)连接到车用蓄电池	1,2

表 F.1 试验波形应用 (续)

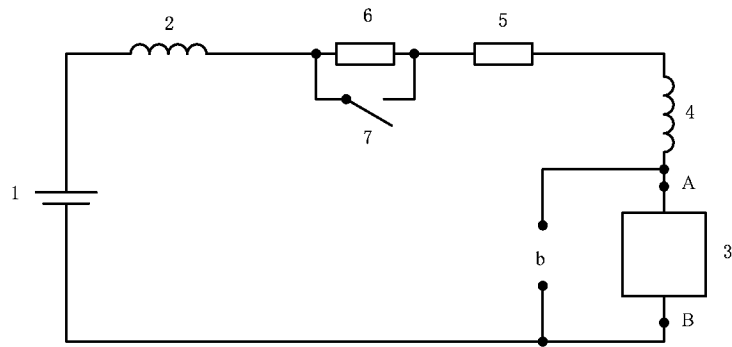
试验脉冲	脉冲应用	模式 ^a
B1、B2	DUT 输入电路连接到低边开关的感性负载	1
C	组件电源电路直接连接到车用蓄电池(即无开关)。 组件电源电路经由机械开关(例如,点火开关)和电磁继电器连接到车用蓄电池。 输入电路经由机械开关(例如,点火开关)和电磁继电器直接或间接(例如,上拉电阻)连接到车用蓄电池	1,2
^a 模式 1:波形采用固定重复率,例如,0.1 Hz,10%占空比。 模式 2:波形采用伪随机重复率。		



标引序号说明:

- 1——车用蓄电池(12 V DC);
 - 2——电感:5 μH(50 A)^a;
 - 3——继电器分支电路[详见图 F.11a)和 F.11b)];
 - 4——电感:100 mH(2 A)(直流电阻<1 Ω);
 - 5——电阻:6 Ω±0.3 Ω;
 - 6——电阻:100 Ω±5 Ω;
 - 7——开关:单刀单掷(2A);
 - 对于脉冲 A1 开关闭合;
 - 对于脉冲 A2 和脉冲 C 开关断开。
- 注:** 在应用波形 A2 和 C 期间,开关(7)开路;在应用波形 A1 期间,开关闭合。
- ^a 5 μH 电感的额定电流基于 DUT 的预计消耗电流加上 100 mH 电感负载的 2 A 电流。
- ^b DUT 连接处,适于脉冲 C。
- ^c DUT 连接处,适于脉冲 A1 和 A2。

图 F.9 脉冲 A1、A2 和 C 发生器电路



标引序号说明：

1——车辆蓄电池(12 V DC)；

2——电感： $5\ \mu\text{H}$ (50 A)^a；

3——继电器分支电路[详见图 F.11a)和图 F.11b)]；

4——电感：100 mH(2 A)(直流电阻 $<1\ \Omega$)；

5——电阻： $6\ \Omega \pm 0.3\ \Omega$ ；

6——电阻： $100\ \Omega \pm 5\ \Omega$ ；

7——开关：单刀单掷(2 A)；

● 对于脉冲 B1 开关闭合；

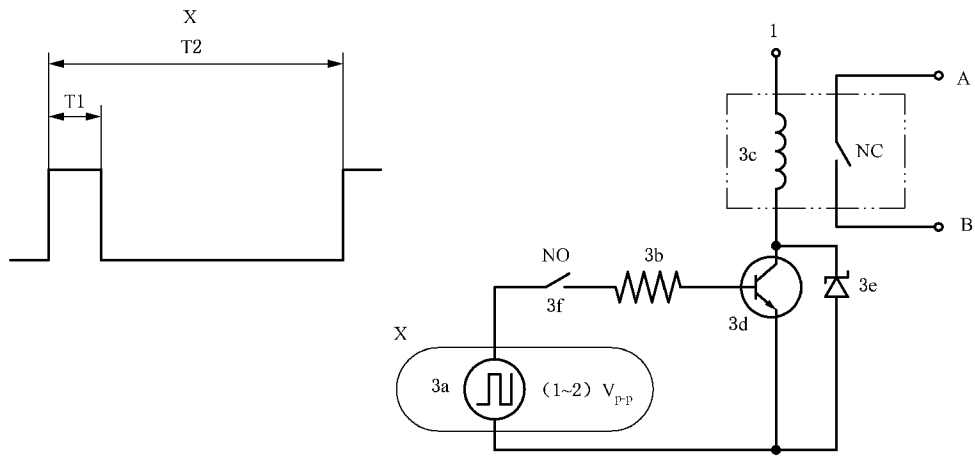
● 对于脉冲 B2 开关断开。

注：在应用波形 B2 期间，开关(7)开路；在应用波形 B1 期间，开关闭合。

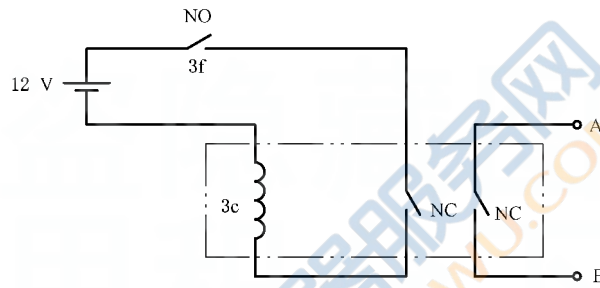
^a $5\ \mu\text{H}$ 电感的额定电流基于 DUT 的预计电流消耗加上 100 mH 电感负载的 2 A 电流。

^b DUT 连接处，适合于脉冲 B1 和脉冲 B2。

图 F.10 脉冲 B1 和脉冲 B2 发生器电路



a) 模式 1



b) 模式 2

标引序号说明:

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 —— 连接车用蓄电池; | 3d —— NPN 晶体管 (TIP 41); |
| 3a —— 函数波形发生器 (例如, 0.1 Hz 方波); | 3e —— 稳压二极管; 39 V, 5 W (1N5366A); |
| 3b —— 电阻 51 Ω, 0.25 W; | 3f —— 试验开关: 单刀单掷。 |
| 3c —— 12 V AC 继电器 (双极) ^a ; | |

^a 使用 12 V AC 继电器是实现模式 2 伪随机开关行为的关键。应采用单触点进行切换。

图 F.11 继电器分支电路