



中华人民共和国国家标准

GB/T 21437.2—XXXX
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 —Electrical disturbances from conduction and coupling—Part 2:
Electrical transient conduction along supply lines only

(ISO 7637-2: 2011,MOD)

(征求意见稿)

(本稿完成日期：2020-8-1)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

前 言

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》包括 5 个部分：

- 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；
- 第 4 部分：沿高压屏蔽电源线的电瞬态传导发射和抗扰性；
- 第 5 部分：脉冲发生器及验证方法的补充

本部分为 GB/T 21437 的第 2 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2020 给出的规则起草。

本部分代替 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，主要技术变化如下：

- 修改了标准名称；
- 删除了引用文件中的标准 ISO 8854-1988，增加了标准 GB/T 29259；
- 修改了 4.3 电压瞬态发射试验，详分为：4.3.1（一般规定）、4.3.2（慢脉冲试验布置）、4.3.3（快脉冲试验布置）。修改了图 1，将原快脉冲瞬态发射试验布置分为两种情况；
- 修改 4.4 瞬态抗扰性试验，详分为：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）。删除原图 2c) 有关 5b 脉冲的图示；
- 对 5.5 测量仪器进行了整合简化，删除了原表 2（电压探头参数）；
- 将 5.6 下的悬置段内容调整为单独条款（5.6.1 一般规定），后续条款顺延。修改了 5.6 中试验脉冲 1、试验脉冲 2a 和 2b、试验脉冲 3a 和 3b 的 U_s 参数；
- 删除原 5.6.4 试验脉冲 4 和原 5.6.5 试验脉冲 5a、5b 的有关内容；
- 删除原附录 B(改善装置电磁兼容性的一般技术)；原附录 C, 附录 D, 附录 E, 附录 F, 对应修改为附录 B, 附录 C, 附录 D, 附录 E；新增附录 F(供替代的瞬态试验技术-使用电动接触开关的感性负载)；
- 表 B.1 中定义一栏内容已在 GB/T 29259 中进行了定义，予以删除。

本部分使用重新起草法修改采用 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》。

本部分与 ISO 7637-2: 2011 的技术性差异及原因如下：

- 删除了原国际标准 5.6.4 的无实际内容的条款；
- 附录 A 进行简化，对表 A.1 和 A.2 做了简化处理，删除多余的注释；
- 参照 GB/T 33014 系列对表 A.3 进行修改，以便汽车电磁抗扰标准的整体统一理解。类别 1、类别 2、类别 3 给出了注释说明，便于理解使用。

本部分还进行了下列编辑性修改：

- 删除了原国际标准的前言和参考文献。
- 将 5.6 下的悬置段内容调整为单独条款（5.6.1 一般规定），后续条款顺延；
- 原国际标准 A.2.1 没有标题，本部分补充了“一般规定”；
- 将 C.2 下的悬置段内容调整为单独条款（C.2.1 总则），后续条款顺延；
- 原国际标准缺少对表 C.1、C.2、C.3、C.4、C.5、C.6 的提及，在 C.2.1 中增加括号统一提及；

——附录 D 补充了对图 D.1 和 D.2 的提及；

本部分由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本部分由全国汽车标准化技术委员会（SAC/TC 114）归口。

本部分起草单位：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，北京奥德科汽车电子产品测试有限公司，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，广汽研究院，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，跃进事业部技术中心，北京兴科迪科技有限公司。

本部分主要起草人：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，薛军华，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，刘超。

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

本部分规定了汽车电气/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。

本部分适用于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12V或24V的电气/电子部件。

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,仅所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 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—XXXX, ISO 7637-1: 2015, MOD)

GB/T 29259 道路车辆 电磁兼容术语

3 术语和定义

GB/T 21437.1和GB/T 29259确立的术语和定义适用于本文件。

4 试验规程

4.1 一般规定

本部分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 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

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。如采用其它值,在试验报告中应加以注明。

表1 供电电压

供电电压	12V 系统 V	24V 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5V）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±5) mm处。电缆规格尺寸应按照车辆的实际使用情况选择，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±5) 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。其它瞬态参数，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到并联电阻 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)。

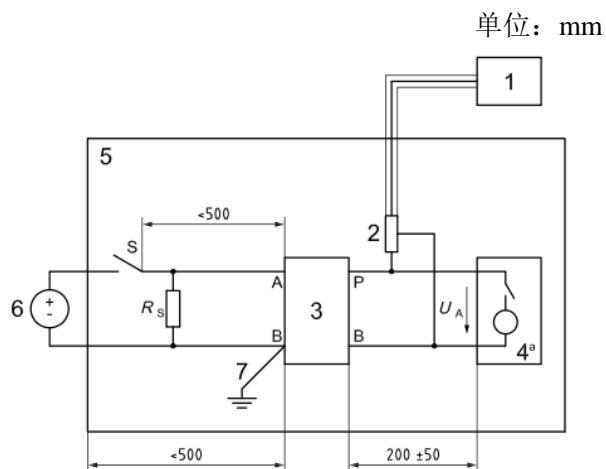
骚扰源经人工网络连接到并联电阻 R_s 、开关S和供电电源。DUT电源断开产生的瞬态在开关S断开时测量（操作开关S以便产生瞬态骚扰）。

有内部开关的DUT试验布置见图1c)。

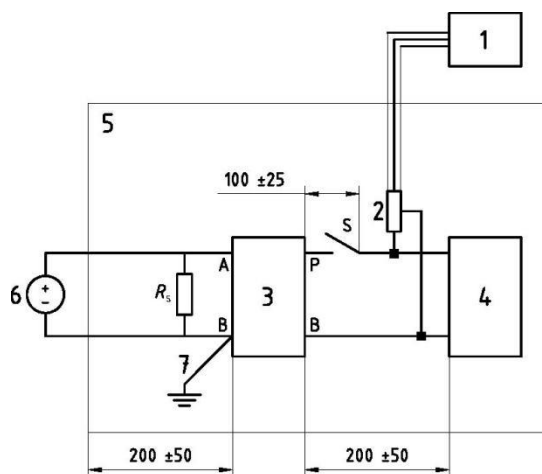
干扰源经人工网络连接到并联电阻 R_s 、开关S和供电电源。通过操作内部开关产生瞬

态骚扰（不需要开关 S）。

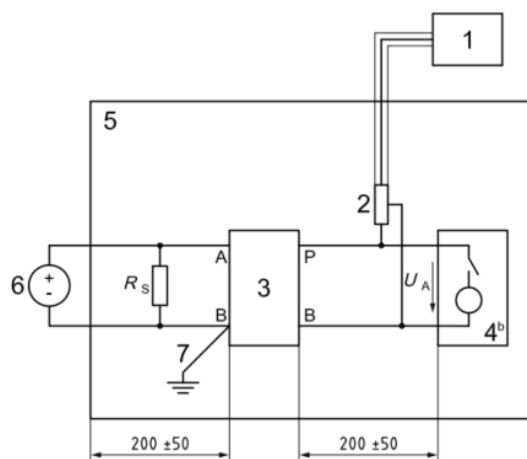
在内部开关断开时（操作开关产生瞬态骚扰），测量DUT电源断开产生的瞬态，探头尽可能接近DUT端。



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）



c) 瞬态发射试验布置（DUT有内部开关）-快脉冲（纳秒至微秒级）

说明：

1——示波器或等效设备；

R_s ——并联电阻；

- 2——电压探头；
 3——人工网络；
 4——DUT(瞬态源)；
 5——接地平板；
 6——供电电源；
 7——接地连接（长度<100 mm）；
 注：A, B 和 P, 见图 3
- S ——开关；
 U_A ——供电电压。
 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

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，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，其长度为(500±100) mm。

4.4.3 负载模拟器位置

负载模拟器最好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。

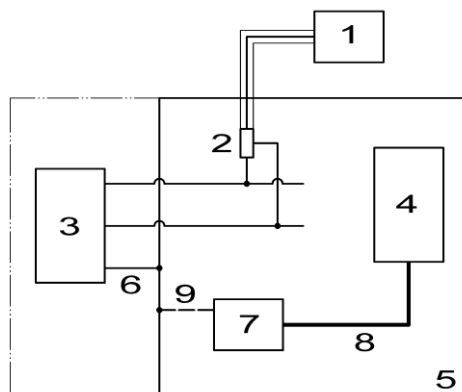
负载模拟器可放在邻近接地平板处，其壳体与接地平板搭接。

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%~+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。

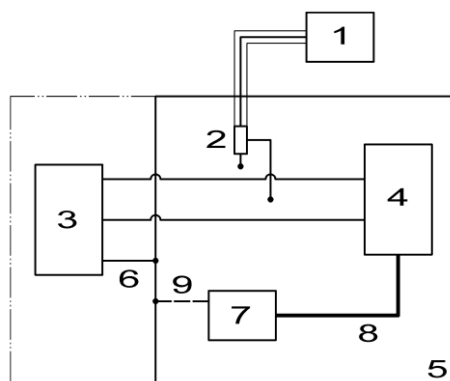
为产生规定的试验脉冲，需要接通和切断电源开关。如果试验脉冲发生器自带电源，可通过试验脉冲发生器操作开关来实现。



a) 脉冲调整

说明：

- | | |
|--------------|----------------------------------|
| 1——示波器或等效设备； | 6——DC 电源接地连接（对试验脉冲 3，最长为 100mm）； |
| 2——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）； |
| 4——未连接的 DUT； | 9——负载模拟器接地（如有要求）。 |
| 5——接地平板； | |



b) 脉冲注入

说明：

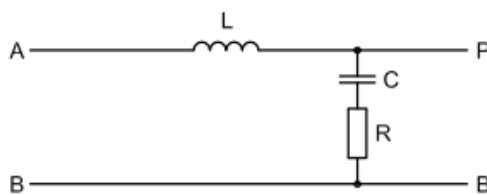
- | | |
|--------------|----------------------------------|
| 1——示波器或等效设备； | 6——DC 电源接地连接（对试验脉冲 3，最长为 100mm）； |
| 2——未连接的电压探头； | 7——负载模拟器(如要求，可连接到接地平板)； |
| 3——试验脉冲发生器； | 8——连接电缆（试验时远离 DUT 电源线，避免耦合）； |
| 4——DUT； | 9——负载模拟器接地（如有要求）。 |
| 5——接地平板； | |

图2 瞬态抗扰度试验布置

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为人工网络示意图。



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

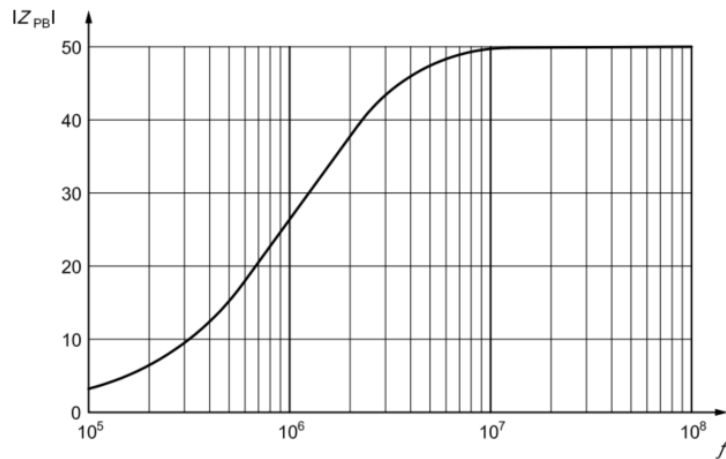
人工网络应能承受与DUT要求相一致的连续负载。

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200V、直流1500V；
- 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)、1b)和1c)。



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并联的车辆其它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400V），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400V）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：25A时最高电压 $U_{max}=400V$ ；
- 额定电流：持续最大电流 $I_{max}=25A$ ， $\Delta t \leq 1s$ 时100A；
- 压降：25A时电压降 $\Delta U \leq 2V$ ；
- 供电电压：见表1；
- 切换时间： $\Delta t_s=300ns \pm 20\%$ ，在13.5V、参考负载 $R=0.6 \Omega$ 、 $L=50\mu H$ (1kHz)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400Hz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1V，在100 μs 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0.2V。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400MHz；
- 采样率：至少2GS/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：500V(如必要，可1000V)；
- 带宽：从直流到至少400MHz；
- 输入阻抗：至少1M Ω (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至5.6.5。在表2到表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见附录C。

评价DUT抗扰性的推荐值可从表A.1、A.2和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，且应大于等于0.5s。

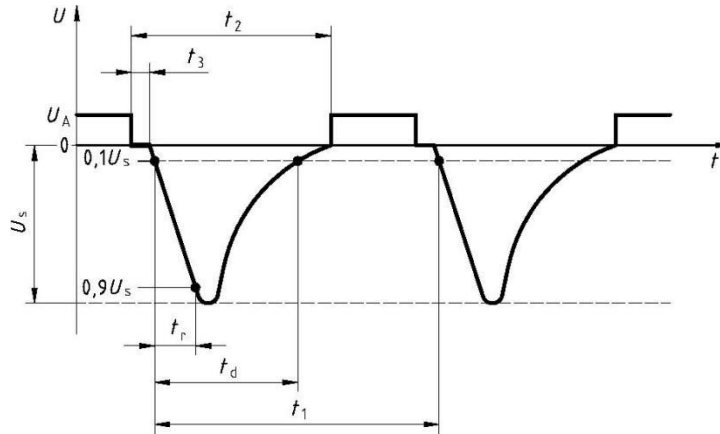


图5 试验脉冲 1

表2 试验脉冲 1 参数

参数	12V 系统	24V 系统
U_s	-75V~-150V	-300V~-600V
R_i	10 Ω	50 Ω
t_d	2ms	1ms
t_r	$(1_{-0.5}^0) \mu s$	$(3_{-1.5}^0) \mu s$
t_1^a	$\geq 0.5s$	
t_2	200ms	
t_3^b	$< 100\mu s$	
^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（见附录 E 图的 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（见附录 E 的图 E.2b））。

试验脉冲波形见图6和图7，参数见表3和表4。

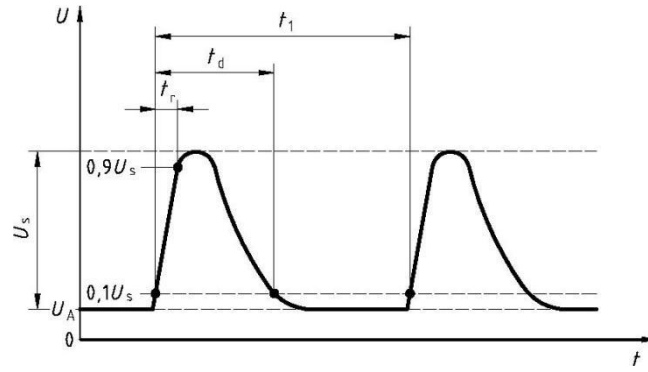


图6 试验脉冲 2a

表3 试验脉冲 2a 参数

参数	12V 系统	24V 系统
U_s	+37V~+112V	
R_i	2 Ω	
t_d	0.05ms	
t_r	$(1_{-0.5}^0)$ μ s	
t_1^a	0.2s~5s	

^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。

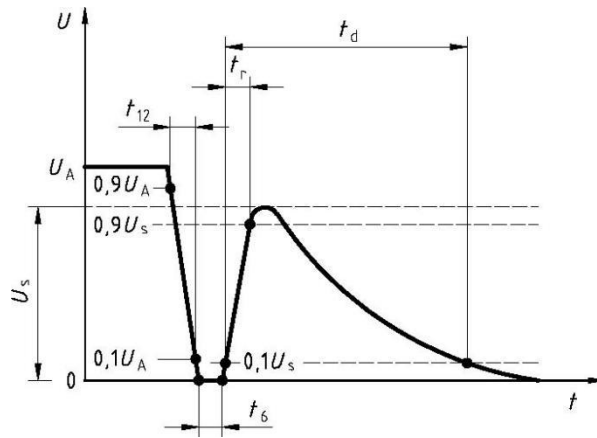


图7 试验脉冲 2b

表4 试验脉冲 2b 参数

参数	12V 系统	24V 系统
U_s	10V	20V
R_i	0 Ω ~0.05 Ω	
t_d	0.2s~2s	
t_{12}	1 ms \pm 0.5ms	
t_r	1 ms \pm 0.5ms	
t_6	1 ms \pm 0.5ms	

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（见附录 E 的图 E.3）。试验脉冲波形见图 8 和图 9，参数见表 5 和表 6。

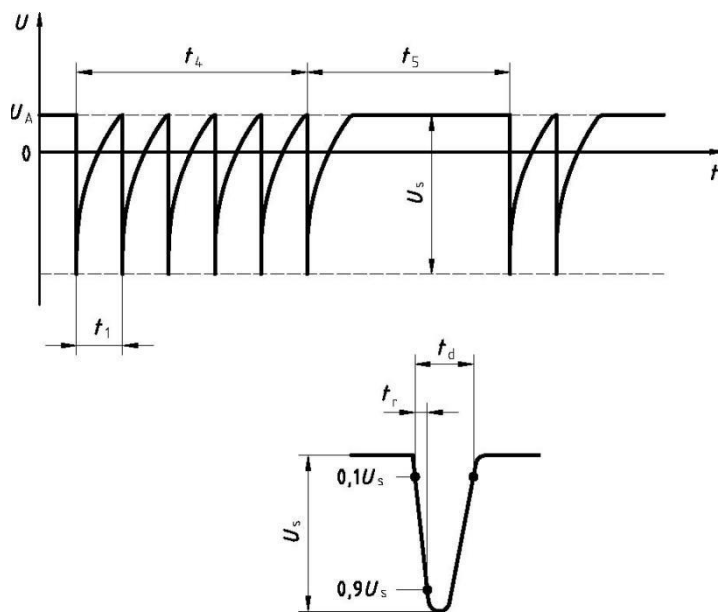


图8 试验脉冲 3a

表5 试验脉冲 3a 参数

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

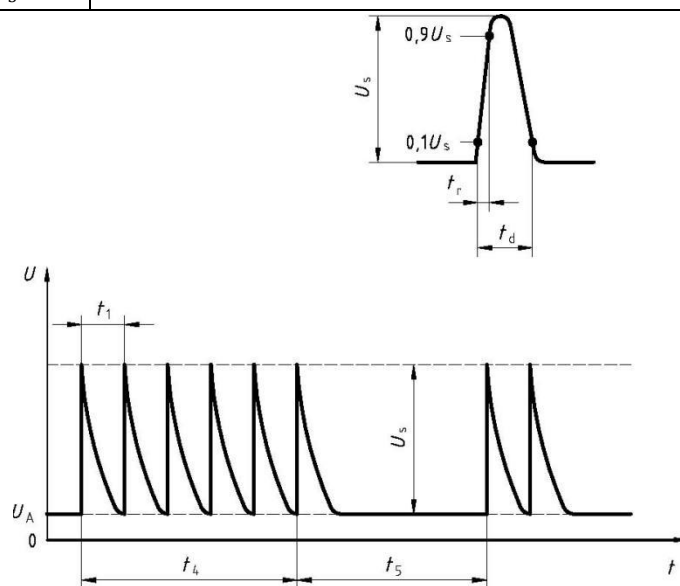


图9 试验脉冲 3b

表6 试验脉冲 3b 参数

参数	12V 系统	24V 系统
U_s	+75V~+150V	+150V~+300V
R_i	50 Ω	
t_d	150 ns \pm 45 ns	
t_r	5 ns \pm 1,5 ns	
t_1	100 μ s	
t_4	10 ms	
t_5	90 ms	

附 录 A
(资料性附录)
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 12V电气系统

推荐的电平见表A.1。

表A.1 12V 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 (V)			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 24V电气系统

推荐的电平见表A.2。

表A.2 24V 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 (V)			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12V和24V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
(规范性附录)
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

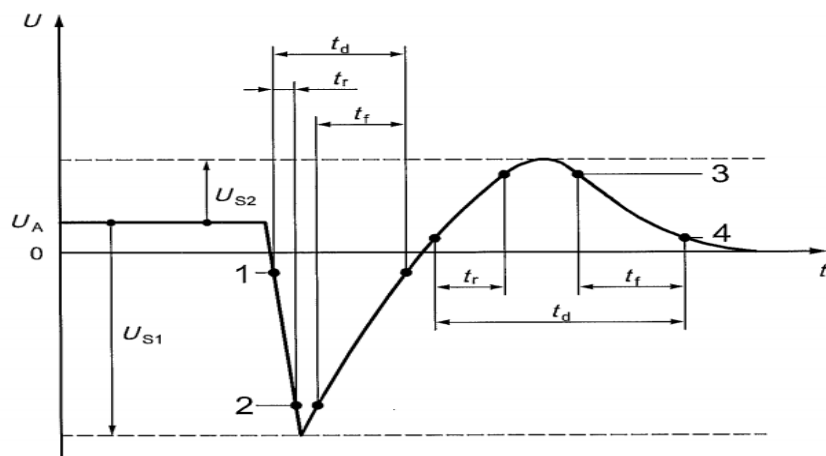
应使用负电压限值。

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。



说明:

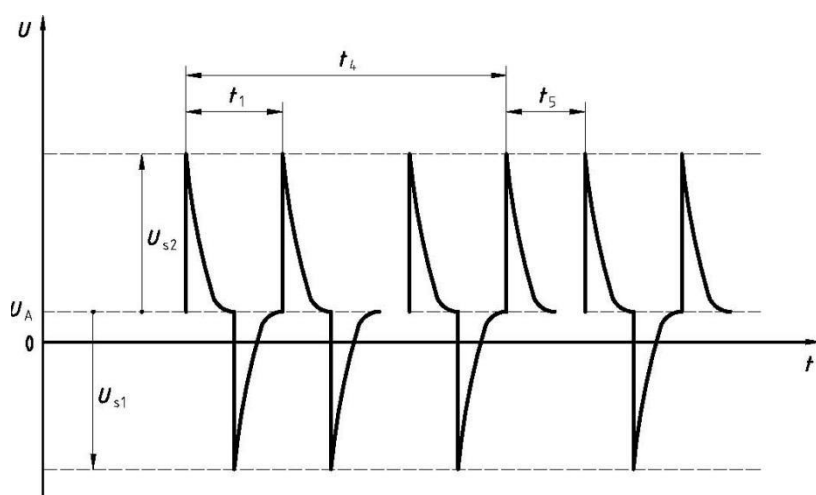
1— $0.1(U_{S1} - U_A)$

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 12V 系统分级限值

脉冲幅度 (Us)	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 (μ s 至 ns)	+50 V	+75 V	+100 V	--
负快脉冲 (μ s 至 ns)	-75 V	-112 V	-150 V	--
^a 可协商确定。				

表B.3 24V 系统分级限值

脉冲幅度 (Us)	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 (μ s 至 ns)	+100 V	+150 V	+200 V	--
负快脉冲 (μ s 至 ns)	-100 V	-150 V	-200 V	--
^a 可协商确定。				

附 录 C
(规范性附录)
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、C.2、C.3、C.4、C.5、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(12V系统)

表C.1 试验脉冲 1(12V 系统)

试验脉冲 1	U_s	t_r	t_d
无负载	$-100\text{ V} \pm 10\text{ V}$	$(1^{0.05})\ \mu\text{s}$	$2\ 000\ \mu\text{s} \pm 400\ \mu\text{s}$
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(24V系统)

表C.2 试验脉冲 1(24V 系统)

试验脉冲 1	U_s	t_r	t_d
无负载	$-600\text{ V} \pm 60\text{ V}$	$(3^{0}_{-1.5})\ \mu\text{s}$	$1\ 000\ \mu\text{s} \pm 200\ \mu\text{s}$
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(12V和24V系统)

表C.3 试验脉冲 2a(12V 和 24V 系统)

试验脉冲 2a	U_s	t_r	t_d
无负载	+75V±7.5V	$(1_{-0.5}^0)$ μs	50 μs ± 10 μs
2Ω负载	+37.5V±7.5V	—	12 μs ± 2.4 μs

C.2.3.2 试验脉冲2b(12V和24V系统)

表C.4 试验脉冲 2b(12V 和 24V 系统)

试验脉冲 2 b	U_s	t_r	t_d	t_{12}
无负载	+10 V ± 1 V(12V系统)	1 ms ± 0.5 ms	2 s ± 0.4 s	1 ms ± 0.5 ms
	+20 V ± 2 V(24V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(12V和24V系统)

表C.5 试验脉冲 3a(12V 和 24V 系统)

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

C.2.4.2 试验脉冲3b(12V和24V系统)

表C.6 试验脉冲 3b(12V 和 24V 系统)

试验脉冲 3b	U_s	t_r	t_d
无负载	+200V±20V	5ns±1.5 ns	150ns±45 ns
50Ω负载	+100V±20V	5ns±1.5 ns	150ns±45 ns

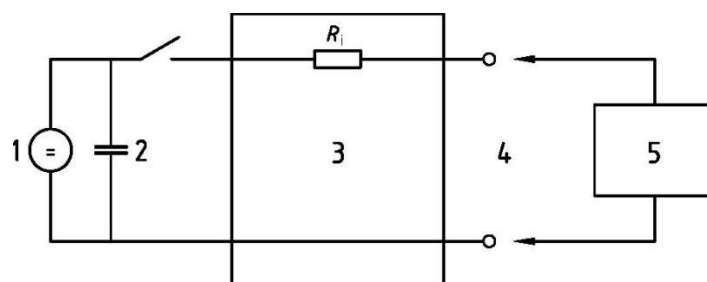
应使用同轴测量装置进行试验脉冲3a/3b的验证。脉冲频谱覆盖至200MHz的频率范围。在该频率范围内,无法使用高阻抗的电压探头,因探头接地电缆会产生明显的振铃效应并导致测量错误,应使用同轴测量装置。

附录 D
(资料性附录)
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(12V、24V)、2a、3a/3b。如图D.1和D.2所示。

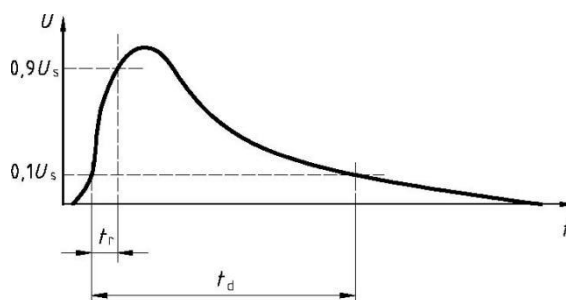
脉冲2b必须由可编程直流电源来实现。



其中:

- 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 $U(t)$ 按下式计算:

$$U(t) = \frac{U_o \times R_L}{R_i + R_L} \times e^{-\left(\frac{2.3 \times t}{t_d}\right)}$$

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 —— $0.1U_s$ 至 $0.1U_s$ 的脉冲宽度；

$U(t)$ ——电压波形函数。

电流波形函数 $I(t)$ 按下式计算：

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

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 —— $0.1U_s$ 至 $0.1U_s$ 的脉冲宽度；

$I(t)$ ——电流波形函数。

脉冲功率函数 $P(t)$ 按下式计算：

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

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 —— $0.1U_s$ 至 $0.1U_s$ 的脉冲宽度；

$I(t)$ ——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：

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

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 —— $0.1U_s$ 至 $0.1U_s$ 的脉冲宽度；

$P(t)$ ——脉冲功率函数；

W_e ——单脉冲能量。

结果以简化公式表示如下：

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

$$W_e = \frac{(U_s)^2}{(R_L)} \frac{t_d}{4.6}$$

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

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 —— $0.1U_s$ 至 $0.1U_s$ 的脉冲宽度；
 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 | CH1 | 采用电压探头测量电阻 R_L 两端的脉冲电压。 |
| | | CH1 | 选择脉冲能量测量函数。该测量为典型的（V*V*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 | CH1 | 采用电压探头测量电阻 R_L 两端的脉冲电压。 |
| | | MATH1 | 选择波形数学函数并将CH1与CH1相乘。 |
| | | | 选择面积测量函数。该测量以（V*V*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 | CH1 | 采用电压探头测量电阻 R_L 两端的脉冲电压。 |
| | | CH2 | 采用电流探头测量流过电阻 R_L 的脉冲电流。 |
| | | CHA | CH1和CH2相乘。 |
| | | | 测量函数：面积（CHA）。 |
| | | | 所得结果就是传递给 R_L 的能量。 |

附录 E
(资料性附录)
道路车辆电气系统中瞬态的来源

E.1 一般规定

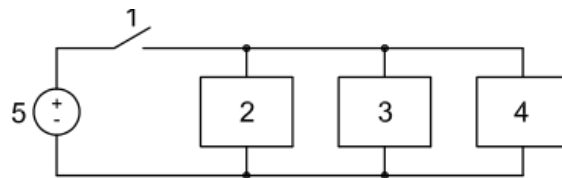
本部分所使用的试验脉冲是在一定条件下于车辆电气系统中测得的脉冲,以及由电气电路基本配置所产生的脉冲。以下原理图给出了脉冲1到脉冲3b产生的原因。发射脉冲的评估,见附录B。

注:由于线束和开关元件的差别,12V和24V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。



其中:

- | | |
|------------------------|---------|
| 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); | |

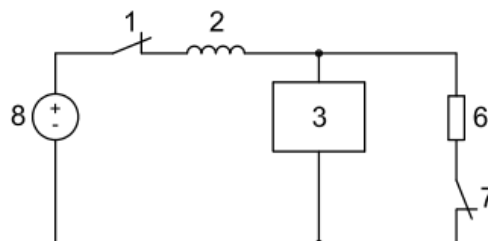
图E.1 脉冲1 电路图

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。

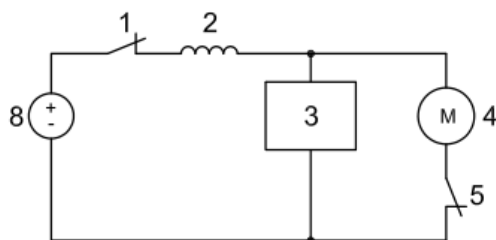
由于脉冲1的特性(DUT电源断开),在有些试验计划中,诸如复位和/或重新初始化等情况是可接受的。

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

其中：

- | | |
|-------------|----------|
| 1——点火开关； | 5——电机开关； |
| 2——线束（感性的）； | 6——负载； |
| 3——DUT； | 7——负载开关； |
| 4——感性直流电机； | 8——电源。 |

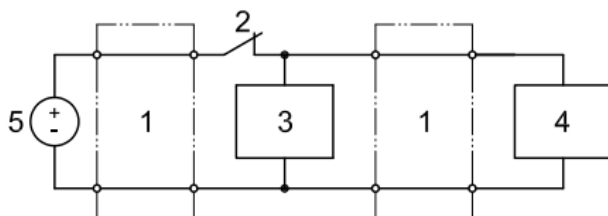
图E.2 脉冲 2a 和 2b 电路图

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。



其中：

- | | |
|--------------------|----------|
| 1——具有分布电感和分布电容的线束； | 4——感性负载； |
| 2——开关； | 5——电源。 |
| 3——DUT； | |

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

(资料性附录)

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。

选择本部分描述的试验脉冲（例如，脉冲1）的特性，反映在阻抗小于 100Ω 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。

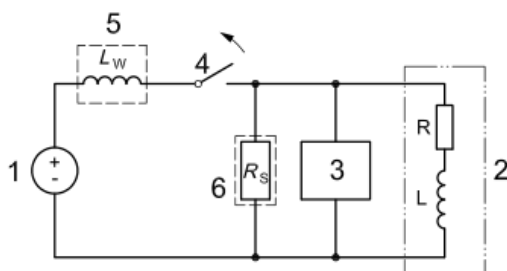
F.2 瞬态波形描述

F.2.1 概述

瞬态波形有3种主要类型，为A,B和C。

F.2.2 波形A1, A2

波形A1和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代表同一电路的其它电气负载。



其中：

1——车辆电池

2——感性负载

3——DUT

4——开关

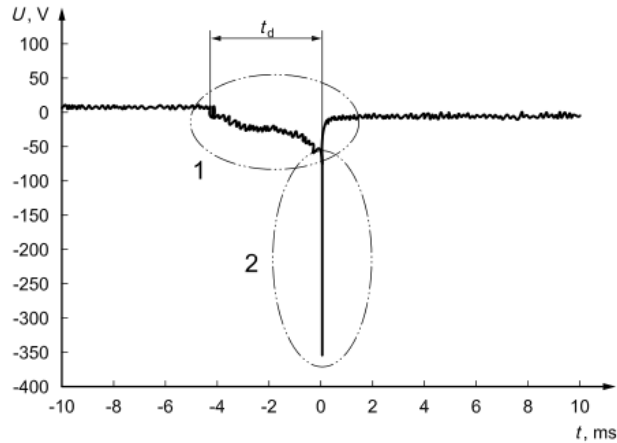
5——开关的有感负载

6——并联电阻

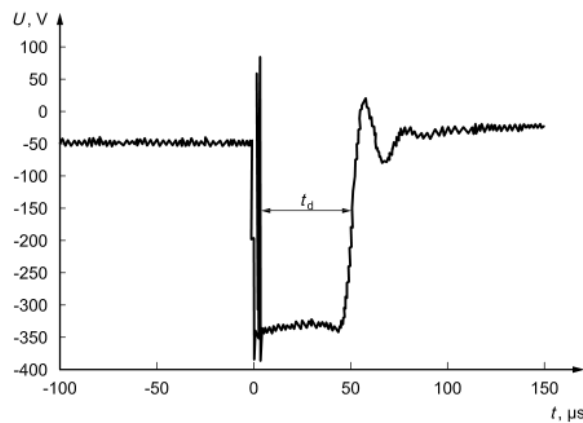
图F.1 波形 A1 和 A2 的电路拓扑

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 (Z未出现) 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 -280V 至 -500V 之间, 开路电压正峰值电平通常在 80V 至 100V 之间。



a)



b)

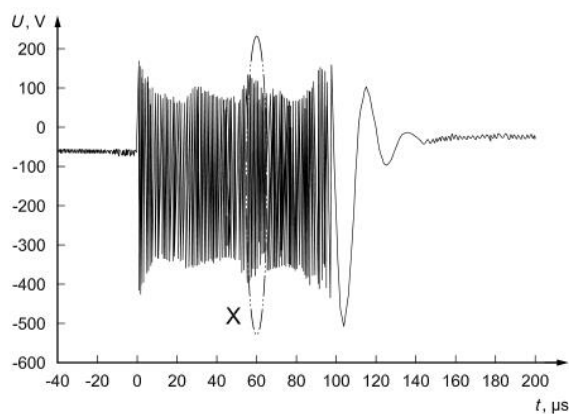
其中:

1——长时段脉冲成分

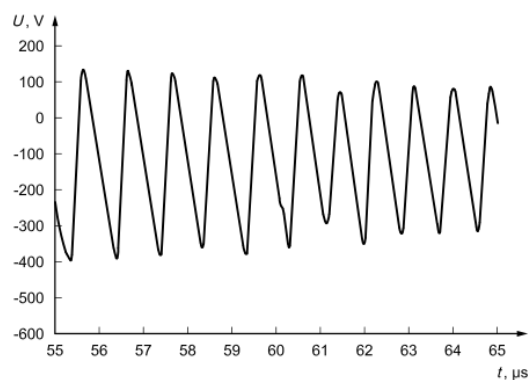
2——短时段脉冲成分

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。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 20ms 到 400ms 范围内显著变化。个别脉冲的持续时间会在 100ns 到 10ms 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 -280V 到 -500V 之间。该脉冲的电压正峰值电平可以在 $+100\text{V}$ 到 $+200\text{V}$ 之间。注意, 正瞬态电压是由电池和开关之间的电感引起。



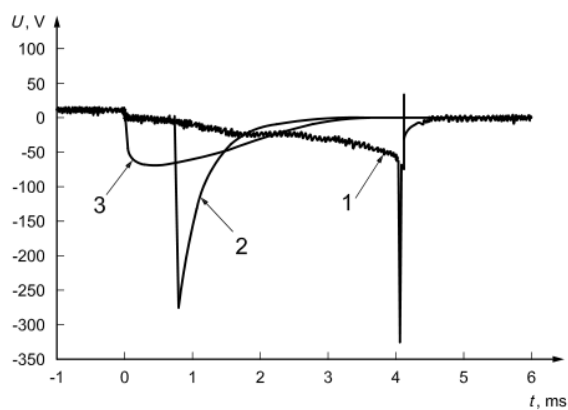
a)



b)

图F.3 波形 A2

波形A1和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 $2\ \mu\text{F}$ ）的选择很重要。波形A1类似于本部分的脉冲1。



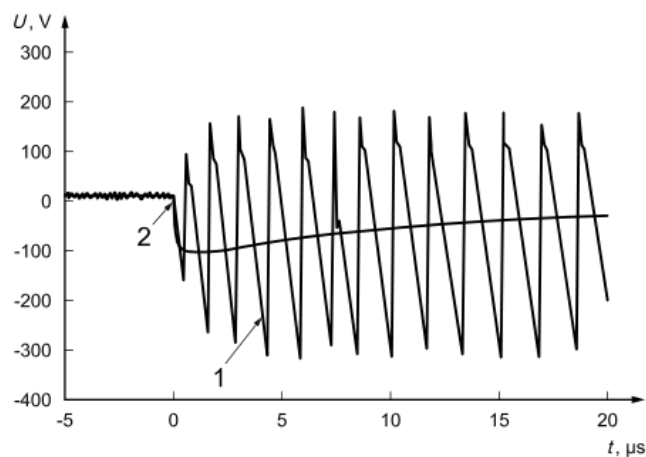
图中：

1——开路

2—— $220\ \Omega$ ； $0.1\ \mu\text{F}$

3—— $220\ \Omega$ ； $2.2\ \mu\text{F}$

图F.4 外部负载对波形 A1 的影响示例

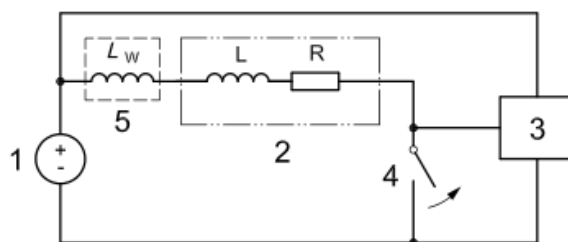


图中：
1——开路
2—— 1100Ω

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）。



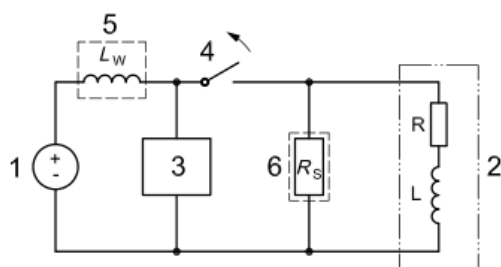
其中：
1——车辆蓄电池
2——感性负载
3——DUT
4——开关
5——转换的感性负载

图F.6 波形 B1 和 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B2分别类似于波形A1和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。



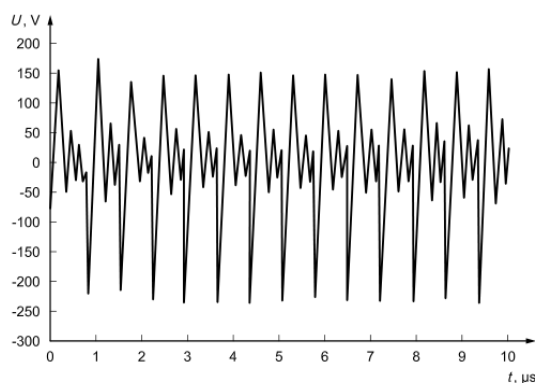
图中：

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 节）

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。



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。

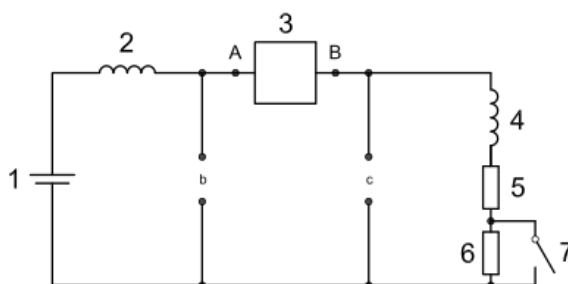
F.4 瞬态波形发生器电路

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，0.1Hz,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
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，0.1Hz,10%占空比。 模式 2：波形采用伪随机重复率。		



其中：

- 1——车用蓄电池（12V DC）
- 2——电感5 μ H(50A)^a
- 3——继电器分支电路[详见图 F.11a)和 F.11b)]
- 4——电感：100mH（2A）（直流电阻<1 Ω ）
- 5——电阻：6 Ω \pm 5%
- 6——电阻：100 Ω \pm 5%
- 7——开关：单刀单掷（2A）

开关闭合——脉冲 A1

开关断开——脉冲 A2 和脉冲 C

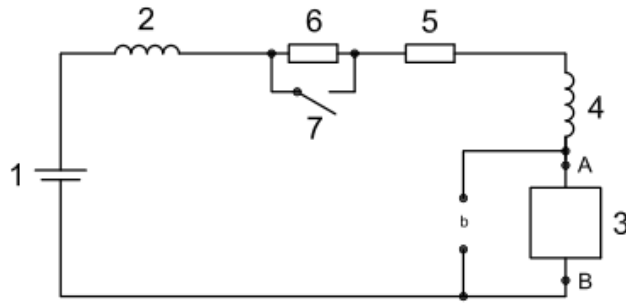
注 1：在应用波形 A2 和 C 期间，开关（7）开路；在应用波形 A1 期间，开关闭合。

a 5 μ H 电感的额定电流基于 DUT 的预计消耗电流加上 100mH 电感负载的 2A 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



其中：

1——车辆蓄电池（12V DC）

2——电感：5 μ H (50A)^a

3——继电器分支电路[详见图 F.11a)和图 F.11b)]

4——电感：100mH（2A）（直流电阻 $<1\ \Omega$ ）

5——电阻：6 $\Omega \pm 5\%$

6——电阻：100 $\Omega \pm 5\%$

7——开关：单刀单掷（2A）

 开关闭合 脉冲 B1

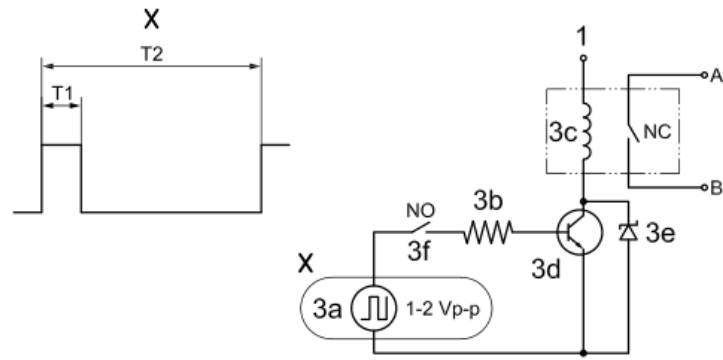
 开关断开 脉冲 B2

注 1：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。

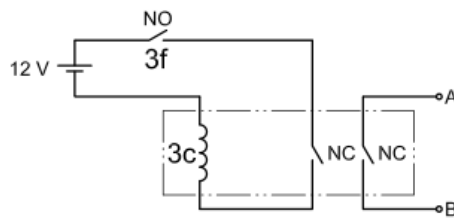
a 5 μ H 电感的额定电流基于 DUT 的预计电流消耗加上 100mH 电感负载的 2A 电流。

b DUT 连接处，适合于脉冲 B1 和 B2。

图F.10 脉冲 B1 和 B2 发生器电路



a) Mode 1



b) Mode 2

其中：

1——连接车用蓄电池

3a——函数波形发生器（例如，0.1Hz 方波）

3b——电阻 51 Ω，0.25W

3C——12V AC 继电器（双极）a

3d——NPN 晶体管，TIP41

3e——稳压二极管:39V,5W(1N5366A)

3f——试验开关：单刀单掷

a 使用12V 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