

汽车电子抗扰度测试

原创 圣邦微电子 圣邦微电子 2026年3月19日 08:08 北京

基于ISO7637（汽车中传导和耦合产生的电气干扰）和ISO16750（汽车中电气和电子设备的环境条件和测试），首先以客户实际应用环境为例，评估SGM63600电源系统的汽车电子抗扰度，随后依据SGM63600宽输入电压范围（5-60V）的优势，对滤波电路进行简化程度验证。

01

简介

ISO7637（汽车中传导和耦合产生的电气干扰）和ISO16750（汽车中电气和电子设备的环境条件和测试）将汽车中EMI（Electro-Magnetic Interference）归并为几个类型的典型干扰源及其作用路径，都是关于汽车用电子单元抗扰度试验的指导标准。ISO7637主要包括三个部分：沿电源线传导的电瞬态、供电线路以外的线路通过电容和电感耦合进行电瞬态传输，以及沿屏蔽高压电源线进行传导的瞬态；ISO16750主要包括四个部分：电气负荷、机械负荷、气候负荷和化学负荷。这些测试项目是针对设备和装置的，而不是单个电子器件。

基于SGM63600（5-60V Input, Current Mode, Synchronous Buck Controller）设计的车载电源系统将12V或者24V的电池电压降压到5V/10A供电给车载中控台[1]。正常行驶的汽车内电磁环境较为恶劣，车内电子装置在运行时会产生大量电磁干扰，如启动机、ABS、远光灯、点火系统、发电机及整流器系统等发出的干扰脉冲。这些干扰脉冲频带很宽，通过线束传导或耦合方式传播到SGM63600电源系统内。针对道路车辆及其挂车通过传导和耦合引起的电干扰，国际标准ISO7637和ISO16750提出了车载电源系统沿电源线的电瞬态抗扰度的测试方法，适用于12V或24V供电的车载电源模组。本测试基于ISO7637和ISO16750，通过远方EMS7637A汽车电子抗扰度测试系统，评估测试SGM63600电源系统的抗扰度性能（Immunity），这也是电磁兼容EMC（Electro-Magnetic Compatibility）中电磁敏感度EMS（Electro-Magnetic Susceptibility）性能的一部分。

为了抑制SGM63600电源系统自身的传导电磁干扰（Conducted EMI）和辐射电磁干扰（Radiated EMI）对整车系统的影响，通常在线束入口到SGM63600应用电路之间加入滤波电路。由于脱离客户实际应用环境测试局部电路的抗扰度的作用有限，本文首先基于客户的滤波电路对SGM63600电源系统进行抗扰度评估实验，随后依据SGM63600宽输入电压范围（5-60V）的优势，对滤波电路进行简化程度验证。

1.1 客户滤波电路

在SGM63600的输入端，针对SGM63600电源系统的传导EMI和辐射EMI，客户设计了如图1所示的π型滤波电路。图1针对ISO7637和ISO16750中沿电源线传导的电磁干扰项所采取的措施主要有防反二极管D1和TVS管D2、D3。

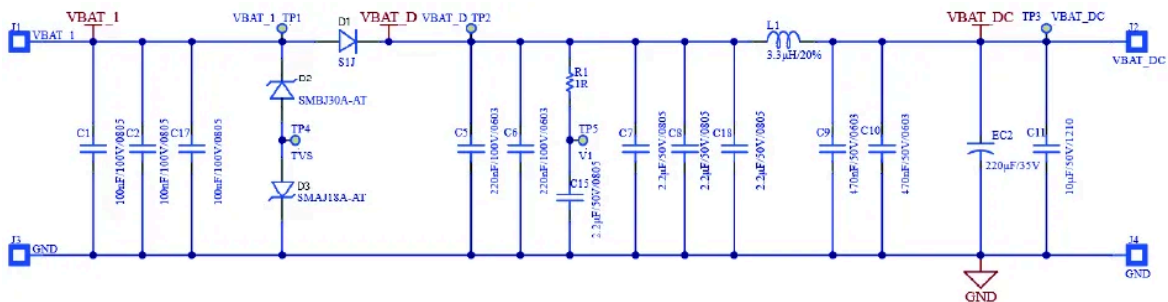


图1 客户滤波电路

滤波电路与SGM63600 EVB的实际连接方式如图2所示，其中滤波电路的VBAT_DC端子和SGM63600 EVB的VIN端子相连，滤波电路的GND端子和SGM63600 EVB的GND端子相连。



图2 SGM63000电源系统

1.2 简化滤波电路

在进行汽车电子抗扰度测试时，因为SGM63600 EVB具备5-60V电压范围的优势，可对图1所示的滤波电路进行简化，去除图1中的TVS管D2和D3，如图3所示。

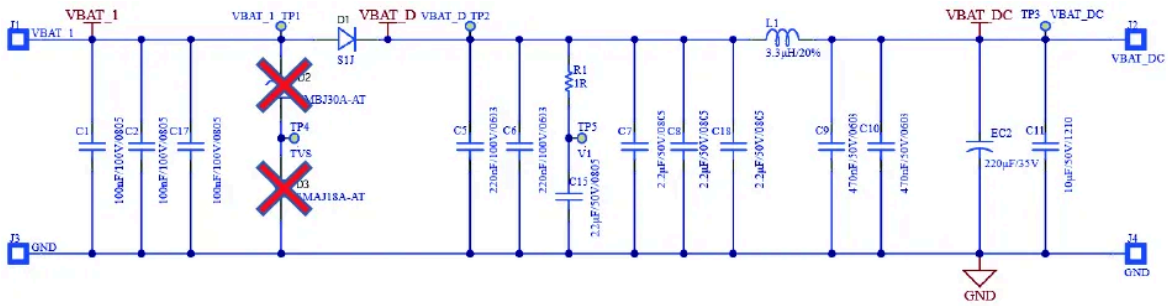


图3 简化的滤波器电路

02

ISO7637测试项目

2.1 Pulse 1

2.1.1 测试目的

模拟汽车电池电源与感性负载断开时所产生的瞬态现象，电路框图如图4所示。产生的脉冲波形如图5所示。评估测试SGM63600电源系统对此负脉冲的抗扰度。

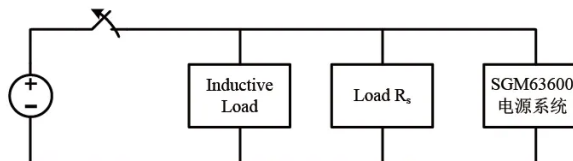


图4 Pulse 1产生电路框图^[2]

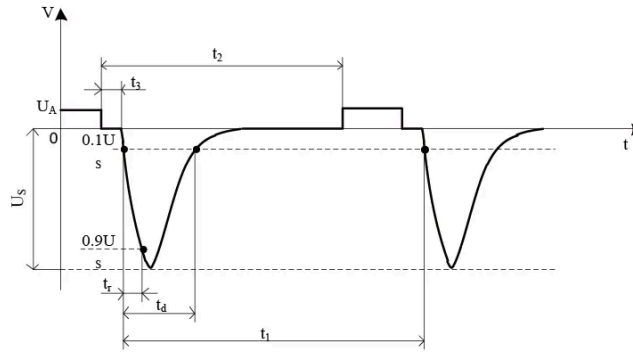


图5 Pulse 1波形^[2]

2.1.2 测试条件

根据ISO7637-2:2011标准，结合客户需求，设置图5中 $U_A=13.5V$ ， $U_s=-100V$ ， $t_1=500ms$ ， $t_2=200ms$ ， $t_d=2ms$ ， $t_r=1\mu s$ ， $R_i=4\Omega$ ， $t_3<100\mu s$ ，脉冲次数500次。首先测出空载输出的Pulse 1实际波形，再将其施加在滤波电路输入侧，测试SGM63600的空载输出工作特性。

2.1.3 客户滤波电路测试波形

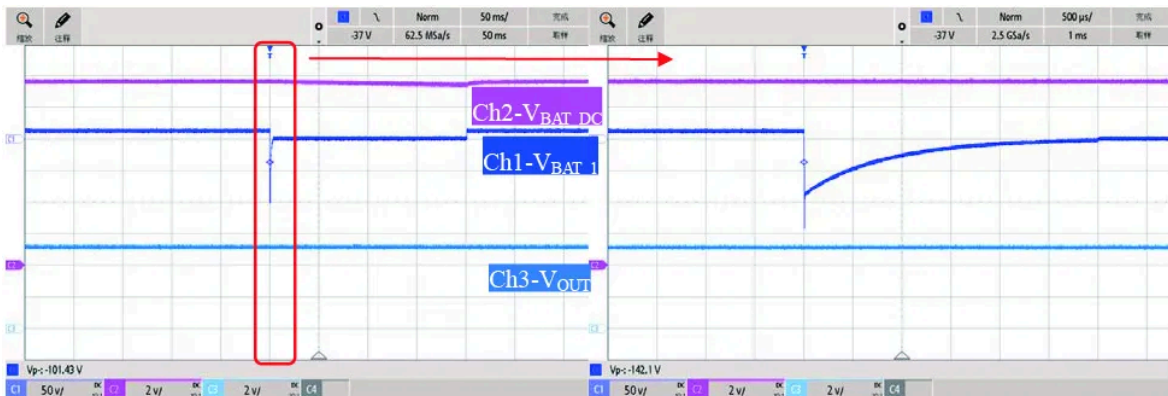


(a) 波形放大前

(b) 波形放大后

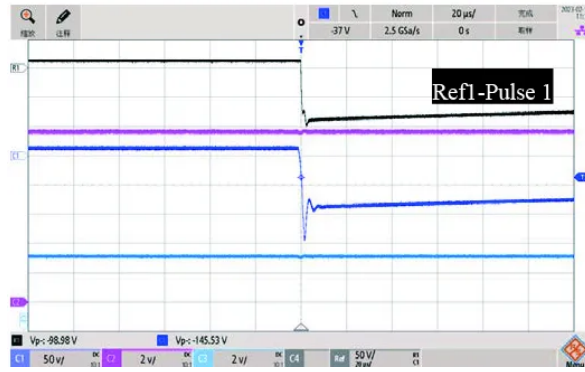
图6 Pulse 1抗扰度测试波形（基于客户滤波电路）

2.1.4 简化滤波电路测试波形



(a) 波形放大前

(b) 波形放大后



(c) 波形细节

图7 Pulse 1抗扰度测试波形（基于简化滤波电路）

2.1.5 测试结果

1) 连接客户滤波器电路测试时，SGM63600输出电压正常。符合ISO7637-1:2015中功能性能等级 I 的要求。

2) 连接简化滤波器电路测试时，SGM63600输出电压正常。符合ISO7637-1:2015中功能性能等级 I 的要求。

2.2 Pulse 2a

2.2.1 测试目的

模拟和SGM63600电源系统并联的车载装置电流突然中断的瞬态现象，电路框图如图8所示。产生的脉冲波形如图9所示。评估测试SGM63600电源系统对此正脉冲的抗扰度。

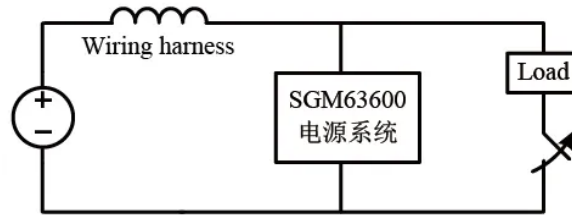


图8 Pulse 2a产生电路框图^[2]

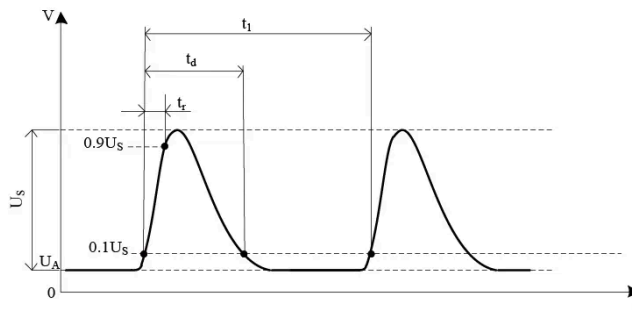


图9 Pulse 2a波形^[2]

2.2.2 测试条件

根据ISO7637-2:2011标准，结合客户需求，设置图9中 $U_A=13.5V$ ， $U_s=+37V$ ， $t_1=500ms$ ， $t_d=50\mu s$ ， $t_r=1\mu s$ ， $R_i=2\Omega$ ，脉冲次数500次。首先测出空载输出的Pulse 2a实际波形，再将其施加在滤波电路输入侧，测试SGM63600的空载输出工作特性。

2.2.3 客户滤波电路测试波形

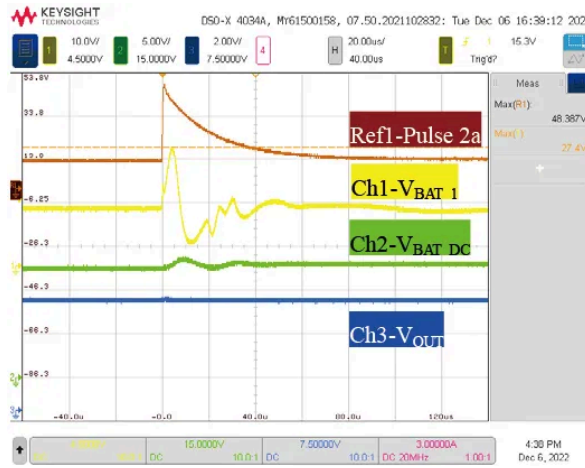


图10 Pulse 2a抗扰度测试波形（基于客户滤波电路）

2.2.4 简化滤波电路测试波形



图11 Pulse 2a抗扰度测试波形（基于简化滤波电路）

2.2.5 测试结果

- 1) 连接客户滤波电路测试时，SGM63600输出电压正常。符合ISO7637-1:2015中，功能性能等级 I 的要求。
- 2) 连接简化滤波电路测试时，SGM63600输出电压正常。符合ISO7637-1:2015中，功能性能等级 I 的要求。

2.3 Pulse 2b

2.3.1 测试目的

模拟直流马达在点火开关被切断的瞬间充当发电机所产生的瞬变现象，电路框图如图12所示。产生的脉冲波形如图13所示。评估测试SGM63600电源系统对此脉冲的抗扰度。



图12 Pulse 2b产生电路框图^[2]

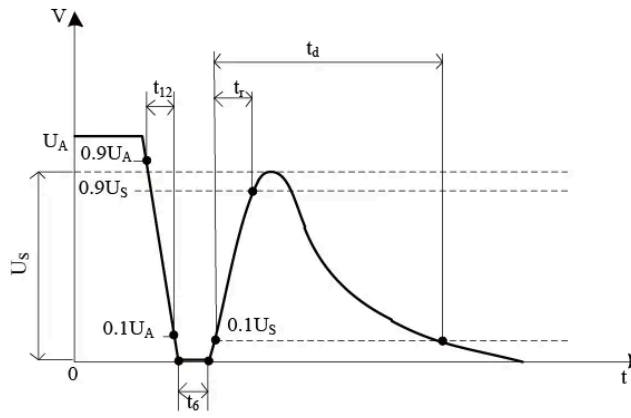


图13 Pulse 2b波形^[2]

2.3.2 测试条件

根据ISO7637-2:2011标准，结合客户需求，设置图13中 $U_A=13.5V$ ， $U_S=+10V$ ， $t_{12}=1ms$ ， $t_6=1ms$ ， $t_d=200ms$ ， $t_r=1ms$ ， $R_i=0\Omega$ ，脉冲次数10次，每次间隔500ms。测试SGM63600的空载输出工作特性。

2.3.3 客户滤波电路测试波形



图14 Pulse 2b抗扰度测试波形（基于客户滤波电路）

2.3.4 简化滤波电路测试波形

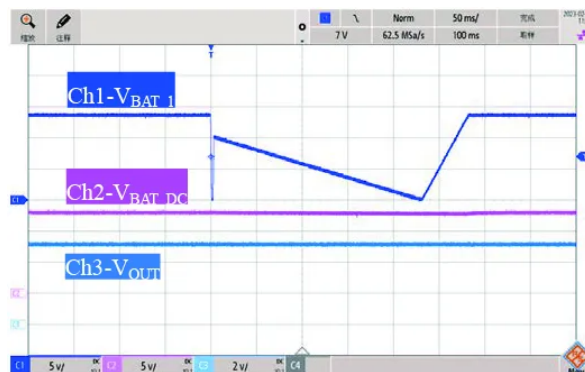


图15 Pulse 2b抗扰度测试波形（基于简化滤波电路）

2.3.5 测试结果

1) 连接客户滤波电路测试时，SGM63600输出电压正常。符合ISO7637-1:2015中，功能性能等级 I 的要求。

2) 连接简化滤波电路测试时, SGM63600输出电压正常。符合ISO7637-1:2015中, 功能性能等级 I 的要求。

2.4 Pulse 3a

2.4.1 测试目的

模拟汽车电子系统中各种开关、继电器在断开过程中由于分布电容和分布电感产生的电弧脉冲群。如图16所示, 在开关由闭合状态转换为断开状态的过程中, 感性负载易产生负脉冲, 整体叠加后的脉冲波形如图17所示。评估测试SGM63600电源系统对此电弧所产生的快速低能量的负脉冲群的抗扰度。

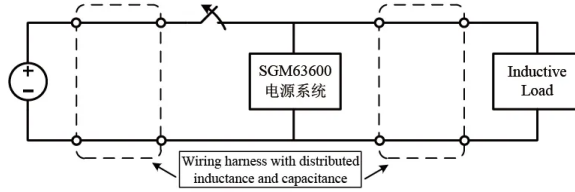


图16 Pulse 3a产生电路框图^[2]

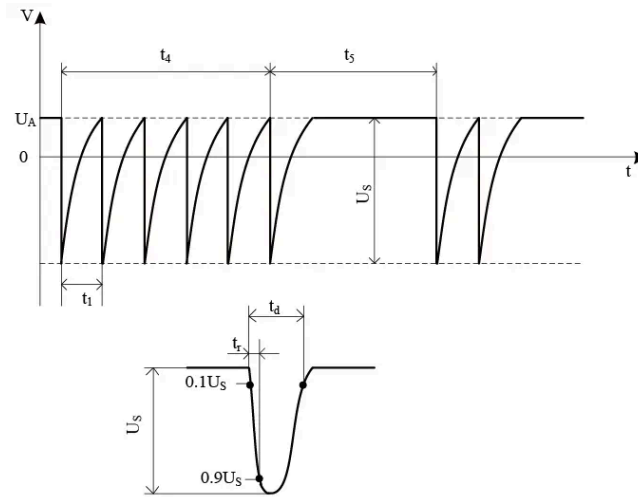
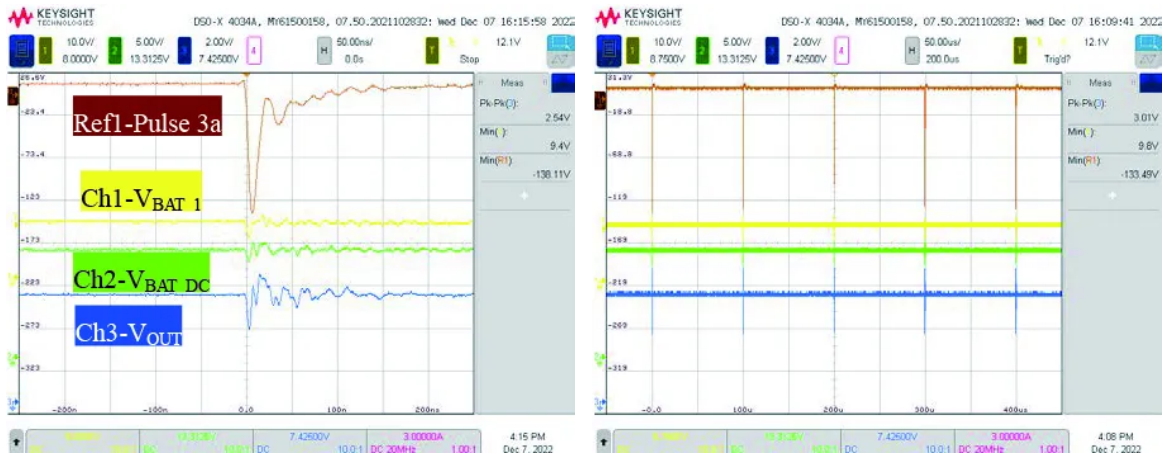


图17 Pulse 3a波形^[2]

2.4.2 测试条件

根据ISO7637-2:2011标准, 结合客户需求, 设置图17中 $U_A=13.5V$, $U_S=-150V$, $t_1=100\mu s$, $t_4=10ms$, $t_5=90ms$, $t_d=0.1\mu s$, $t_r=5ns$, $R_i=50\Omega$, 测试时间1小时。首先测出空载输出的Pulse 3a实际波形, 再将其施加在滤波电路输入侧, 测试SGM63600的空载输出工作特性。

2.4.3 客户滤波电路测试波形

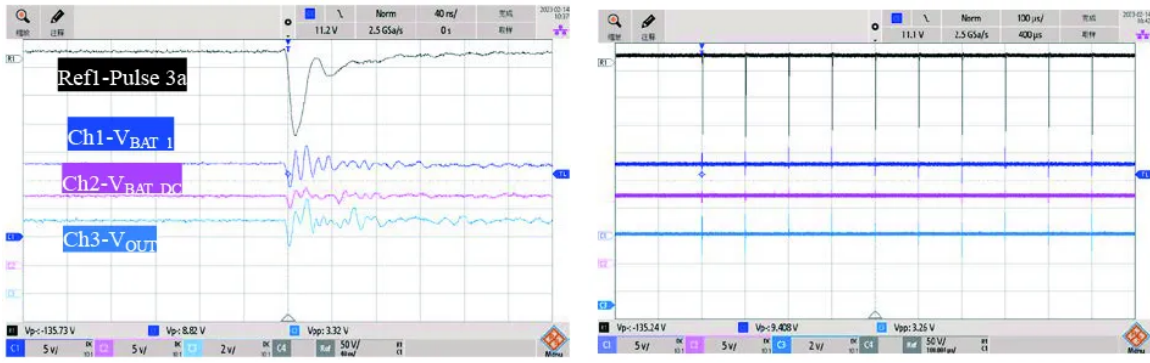


(a) 波形细节

(b) 测试波形

图18 Pulse 3a抗扰度测试波形 (基于客户滤波电路)

2.4.4 简化滤波电路测试波形



(a) 波形细节

(b) 测试波形

图19 Pulse 3a抗扰度测试波形 (基于简化滤波电路)

2.4.5 测试结果

- 1) 连接客户滤波电路测试时, SGM63600输出电压正常, 但存在耦合噪声。
- 2) 连接简化滤波电路测试时, SGM63600输出电压正常, 但存在耦合噪声。

2.5 Pulse 3b

2.5.1 测试目的

模拟汽车电子系统中各种开关、继电器在闭合过程中由于分布电容和分布电感所产生的电弧脉冲群。如图20所示, 在开关由断开状态转换为闭合状态的过程中, 感性负载易产生正脉冲, 整体叠加后的脉冲波形如图21所示。评估测试SGM63600电源系统对此电弧所产生的快速低能量的正脉冲群的抗扰度。

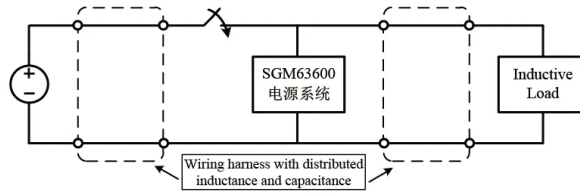


图20 Pulse 3b产生电路框图^[2]

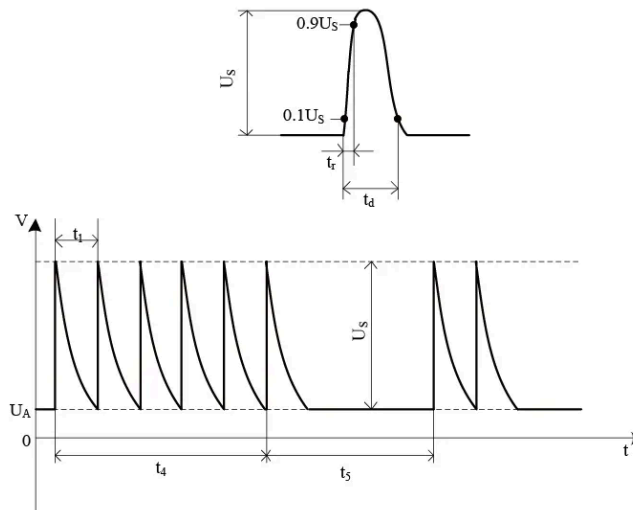
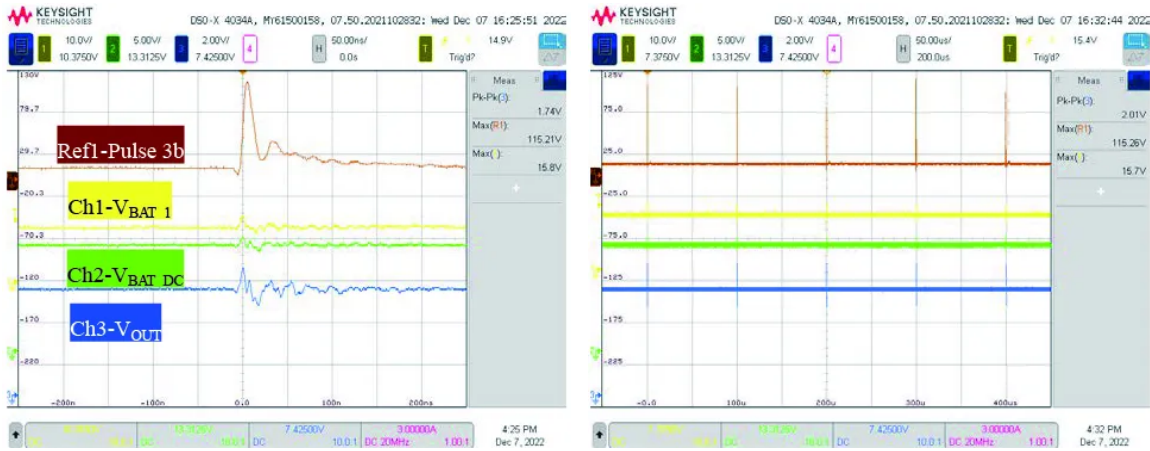


图21 Pulse 3b波形^[2]

2.5.2 测试条件

根据ISO7637-2:2011标准，结合客户需求，设置图21中 $U_A=13.5V$ ， $U_s=+100V$ ， $t_1=100\mu s$ ， $t_4=10ms$ ， $t_5=90ms$ ， $t_d=0.1\mu s$ ， $t_r=5ns$ ， $R_i=50\Omega$ ，测试时间1小时。首先测出空载输出的Pulse 3b实际波形，再将其施加在滤波电路输入侧，测试SGM63600的空载输出工作特性。

2.5.3 客户滤波电路测试波形

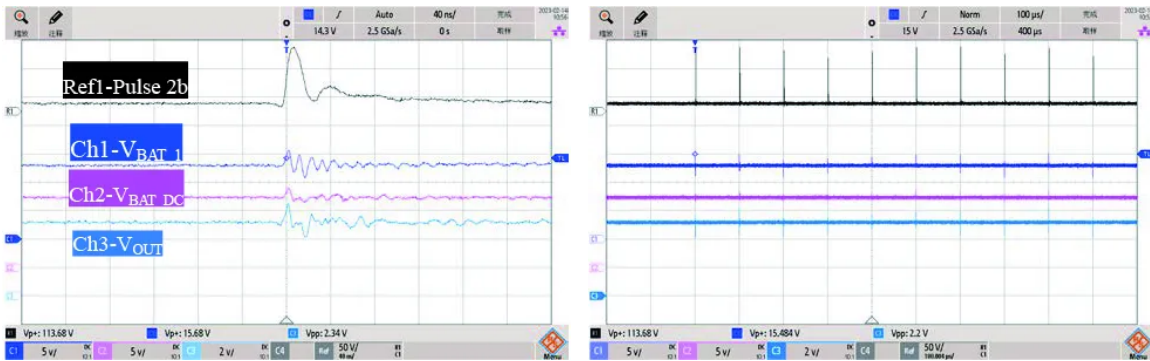


(a) 波形细节

(b) 测试波形

图22 Pulse 3b抗扰度测试波形（基于客户滤波电路）

2.5.4 简化滤波电路测试波形



(a) 波形细节

(b) 测试波形

图23 Pulse 3b抗扰度测试波形（基于简化滤波电路）

2.5.5 测试结果

- 1) 连接客户滤波电路测试时，SGM63600输出电压正常，但存在耦合噪声。
- 2) 连接简化滤波电路测试时，SGM63600输出电压正常，但存在耦合噪声。

2.6 Pulse 4

2.6.1 测试目的

模拟内燃机起动机启动时（如Cold Crank），如图24所示，或者由于接入大的负载（如打开空调）引起电源电压降低的现象，脉冲波形如图25所示，评估测试SGM63600电源系统对此电压跌落脉冲的抗扰度。

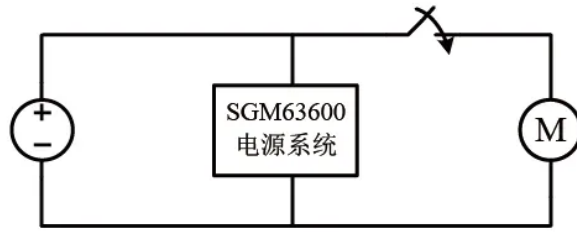


图24 Pulse 4产生电路框图^[3]

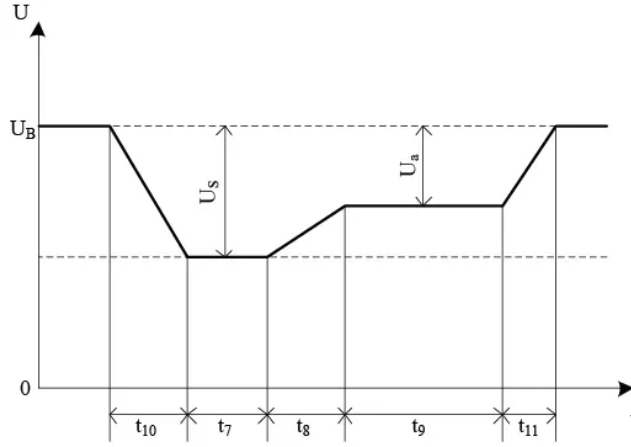


图25 Pulse 4波形^[3]

2.6.2 测试条件

根据ISO7637-2:2004标准，结合客户需求，设置图25中 $U_B=12V$ ， $U_s=-7V$ ， $U_a=-6V$ ， $t_7=15ms$ ， $t_8=1ms$ ， $t_9=500ms$ ， $t_{10}=5ms$ ， $t_{11}=5ms$ ， $R_i=0\Omega$ ，脉冲次数1次。测试SGM63600的空载输出工作特性。（ISO7637-2:2011版已删除该项测试。）

2.6.3 客户滤波电路测试波形



图26 Pulse 4抗扰度测试波形（基于客户滤波电路）

2.6.4 简化滤波电路测试波形

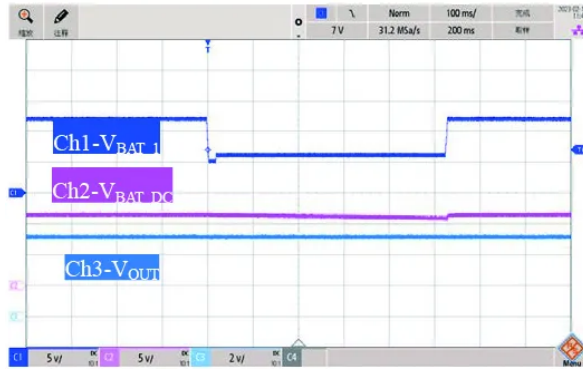


图27 Pulse 4抗扰度测试波形（基于简化滤波电路）

2.6.5 测试结果

1) 连接客户滤波电路测试时，SGM63600输出电压正常。符合ISO7637-1：2015中，功能性能等级 I 的要求。

2) 连接简化滤波电路测试时，SGM63600输出电压正常。符合ISO7637-1：2015中，功能性能等级 I 的要求。

2.7 Pulse 5b

2.7.1 测试目的

模拟汽车高能量抛负载的现象，如图28所示，脉冲波形如图29所示，评估测试SGM63600对此现象产生的瞬态脉冲的抗扰度。

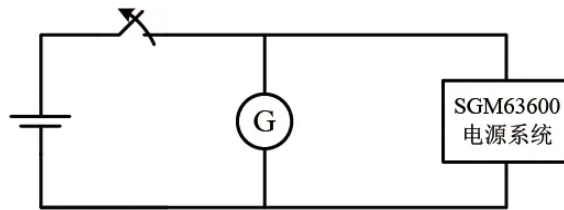


图28 Pulse 5b产生电路框图^[3]

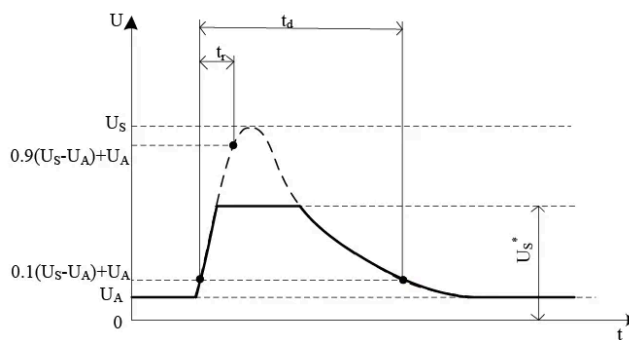


图29 Pulse 5b波形^[4]

2.7.2 测试条件

根据ISO16750-2:2012标准，结合客户需求，设置图29中 $U_A=14V$ ， $U_S=+79V$ ， $U_S^*=+39V$ ， $t_d=400ms$ ， $t_r=10ms$ ， $R_l=0.5\Omega$ ，脉冲次数5次，时间1分钟。测试SGM63600的空载输出工作特性。

(注：该测试要求在ISO7637:2004有规定并编号，2011年后，移至ISO16750中。)

2.7.3 客户滤波电路测试波形

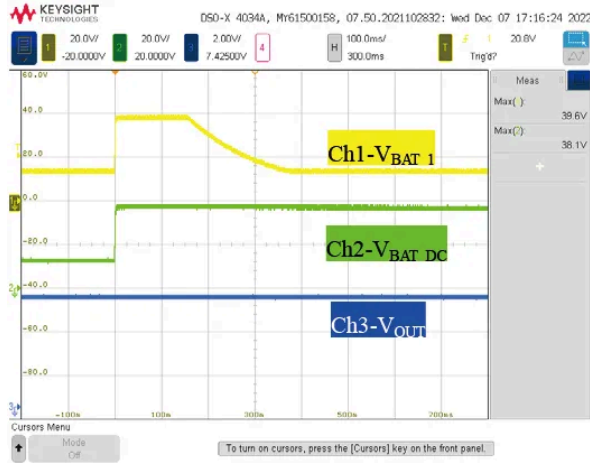


图30 Pulse 5b抗扰度测试波形 (基于客户滤波电路)

2.7.4 简化滤波电路测试波形

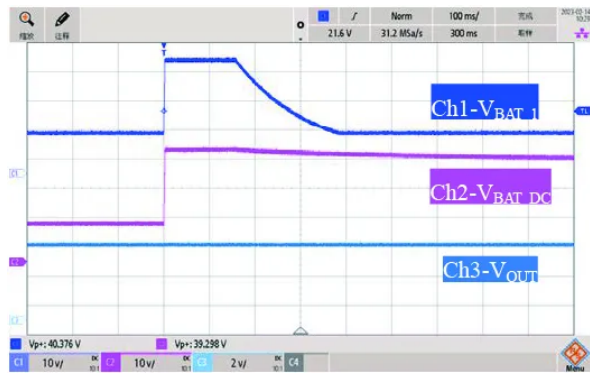


图31 Pulse 5b抗扰度测试波形 (基于简化滤波电路)

2.7.5 测试结果

- 1) 连接客户滤波电路测试时, SGM63600输出电压正常。符合ISO16750-1:2018中, 功能性能等级A的要求。
- 2) 连接简化滤波电路测试时, SGM63600输出电压正常。符合ISO16750-1:2018中, 功能性能等级A的要求。

03

ISO16750测试项目

3.1 过电压

3.1.1 测试目的

汽车发电机调节器损坏, 或跨接启动, 导致供电电压上升, 针对该工况下的过压现象, 评估测试SGM63600的抗扰度。

3.1.2 测试条件

根据ISO16750-2:2012标准, 结合客户需求, 设置过压值为24V, 持续时间10s, $R_i=0\Omega$ 。测试SGM63600的空载输出工作特性。

3.1.3 客户滤波电路测试波形

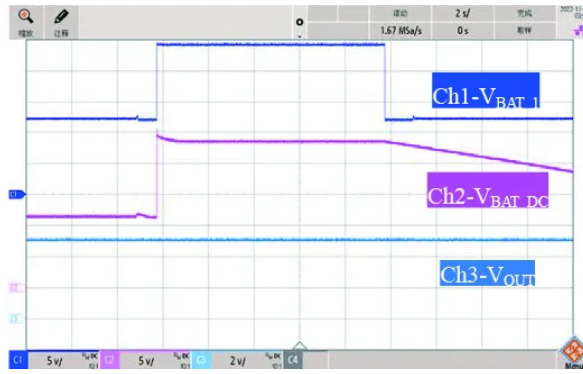


图32 过电压抗扰度测试波形（基于客户滤波电路）

3.1.4 简化滤波电路测试波形

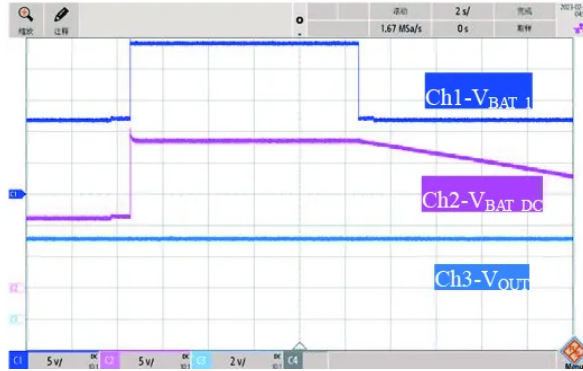


图33 过电压抗扰度测试波形（基于简化滤波电路）

3.1.5 测试结果

- 1) 连接客户滤波电路测试时，SGM63600输出电压正常。符合ISO16750-1:2018中，功能性能等级A的要求。
- 2) 连接简化滤波电路测试时，SGM63600输出电压正常。符合ISO16750-1:2018中，功能性能等级A的要求。

3.2 叠加交流电压

3.2.1 测试目的

模拟汽车供电电压中残留交流电压的干扰现象，脉冲波形如图34所示，评估测试SGM63600电源系统对此叠加交流电压干扰脉冲的抗扰度。

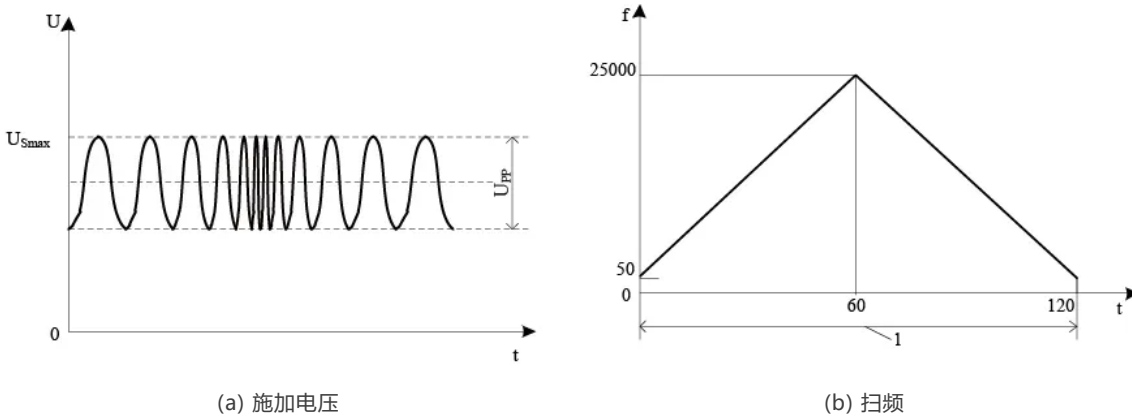


图34 叠加交流电压^[4]

3.2.2 测试条件

根据ISO16750-2:2012标准，结合客户需求，设置图34中 $U_{Smax}=16V$ ， $U_{PP}=4V$ ， $f_{max}=25kHz$ ， $R_i=50m\Omega$ ，连续测量5次，每次120s。测试SGM63600的空载输出工作特性。

3.2.3 客户滤波电路测试波形

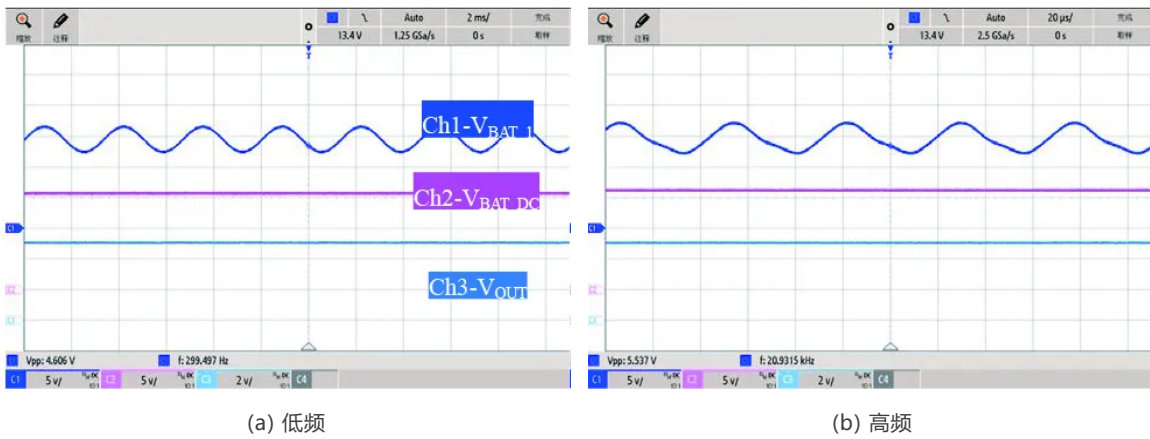


图35 叠加交流电压抗扰度测试波形（基于客户滤波电路）

3.2.4 简化滤波电路测试波形

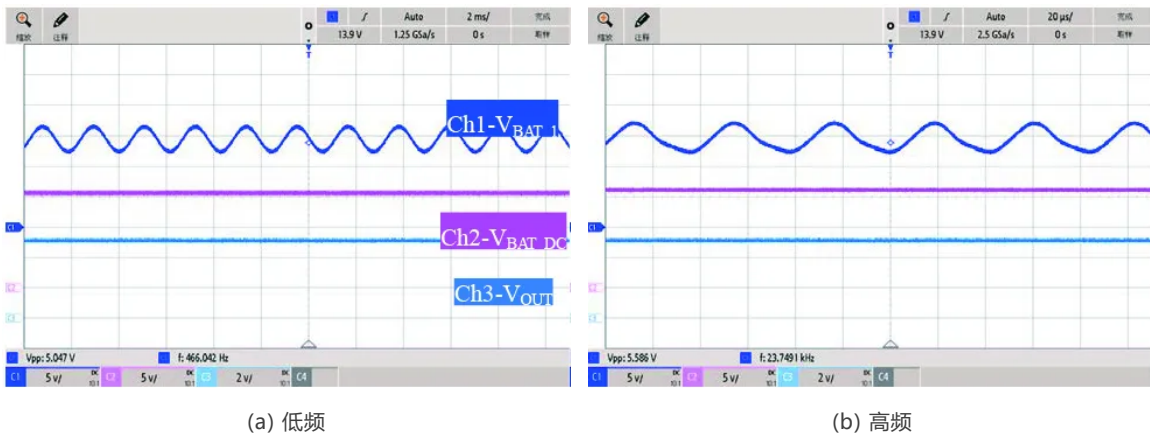


图36 叠加交流电压抗扰度测试波形（基于简化滤波电路）

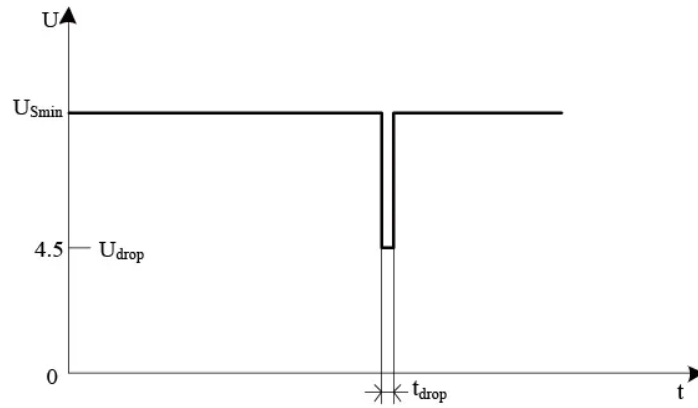
3.2.5 测试结果

- 1) 连接客户滤波电路测试时，SGM63600输出电压正常。符合ISO16750-1:2018中，功能性能等级A的要求。
- 2) 连接简化滤波电路测试时，SGM63600输出电压正常。符合ISO16750-1:2018中，功能性能等级A的要求。

3.3 供电电压瞬时下降

3.3.1 测试目的

模拟其他并联电路中的保险丝熔断时造成的电压瞬态跌落现象，脉冲波形如图37所示，评估测试SGM63600电源系统对此电压瞬态跌落脉冲的抗扰度。

图37 瞬时电压下降^[4]

3.3.2 测试条件

根据ISO16750-2:2012标准，结合客户需求，设置 $U_{Smin}=9V$ ， $U_{drop}=4.5V$ ， $t_{drop}=300ms$ ， $R_i=0\Omega$ ，测试次数1次。测试SGM63600的空载输出工作特性。

3.3.3 客户滤波电路测试波形

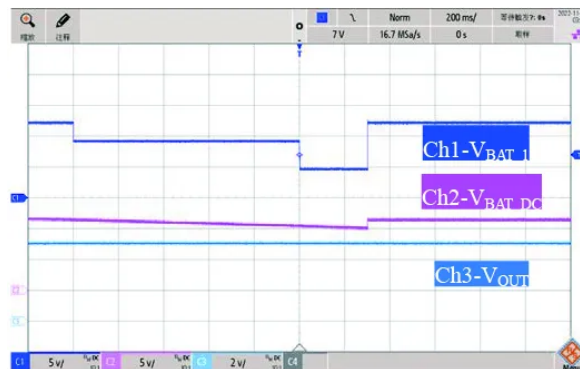


图38 电源电压瞬态跌落抗扰度测试波形（基于客户滤波电路）

3.3.4 简化滤波电路测试波形

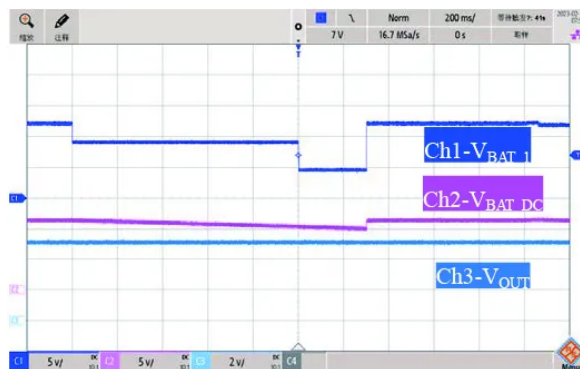


图39 电源电压瞬态跌落抗扰度测试波形（基于简化滤波电路）

3.3.5 测试结果

1) 连接客户滤波电路测试时，SGM63600输出电压正常。符合ISO16750-1:2018中，功能性能等级A的要求。

2) 连接简化滤波电路测试时，SGM63600输出电压正常。符合ISO16750-1:2018中，功能性能等级A的要求。

3.4 对电压骤降的复位性能

3.4.1 测试目的

模拟电压跌落情况，脉冲波形如图40所示，评估测试SGM63600电源系统的复位功能是否符合设计。

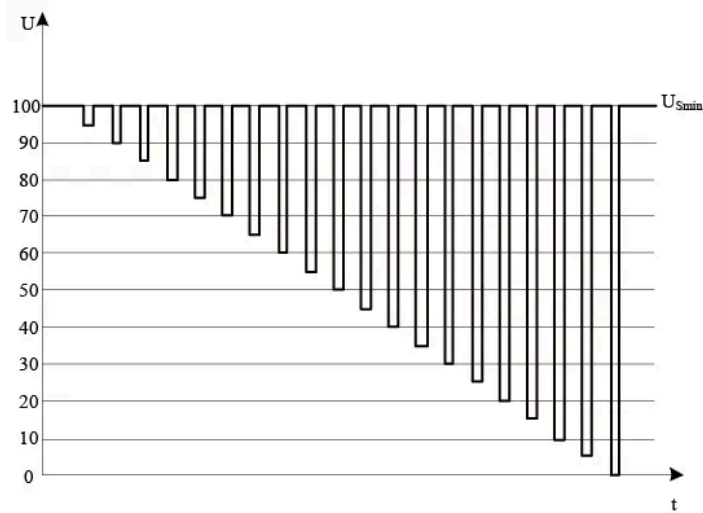


图40 复位试验供电电压^[4]

3.4.2 测试条件

根据ISO16750-2:2012标准，结合客户需求，如图40所示，供电电压以5%间隔，首先从 U_{Smin} 降到 $0.95U_{Smin}$ ，保持5s，再上升到 U_{Smin} ，保持10s，然后将电压降至 $0.9U_{Smin}$ ，保持5s，再上升至 U_{Smin} ，如此类推直至供电电压降低到0V，电压又重新升到 U_{Smin} 。电压误差： $\pm 0.2V$ ，时间误差： $\pm 5\%$ 。设置 $U_{Smin}=10.5V$ ， $R_i=0\Omega$ ，测试次数1次。测试SGM63600的空载输出工作特性。

3.4.3 客户滤波电路测试波形

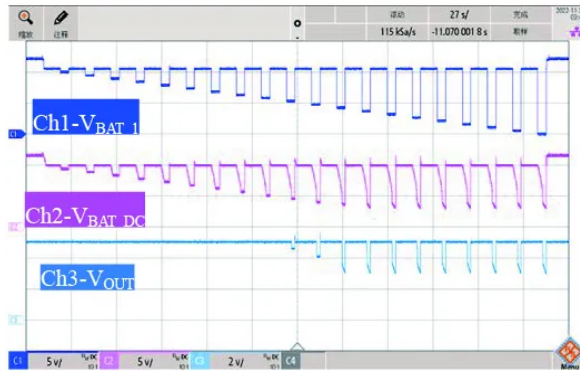


图41 复位性能抗扰度测试波形（基于客户滤波电路）

3.4.4 简化滤波电路测试波形

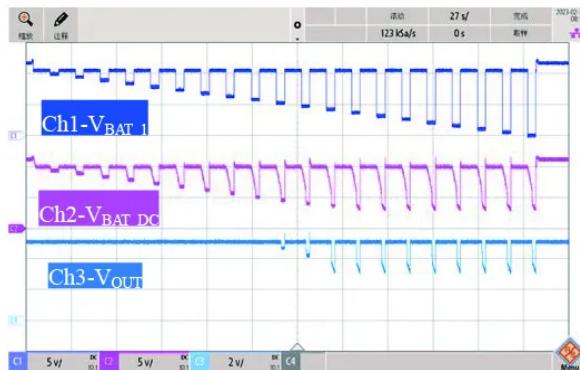


图42 复位性能抗扰度测试波形（基于简化滤波电路）

3.4.5 测试结果

1) 连接客户滤波电路测试时，在输入电压骤降至50%之前，SGM63600输出电压正常，输入电压骤降至50%之后，首先受SGM63600最大占空比限制，随后在芯片的输入电压 V_{BAT_DC} 跌落至4V之后，触发SGM63600的UVLO，芯片停止工作，输出电压跌落。输入电压恢复正常后，SGM63600输出电压自动恢复正常，复位功能正常。符合ISO16750-1:2018中，功能性能等级B的要求。

2) 连接简化滤波电路测试时，复位功能正常。符合ISO16750-1:2018中，功能性能等级B的要求。

3.5 启动特性

3.5.1 测试目的

模拟汽车启动阶段造成的电压跌落干扰（如Cold Crank），脉冲波形如图43所示，评估测试SGM63600电源系统对此电压跌落脉冲的抗扰度。

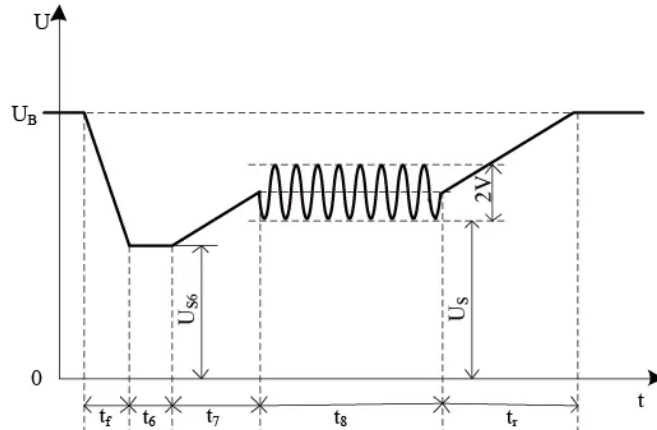
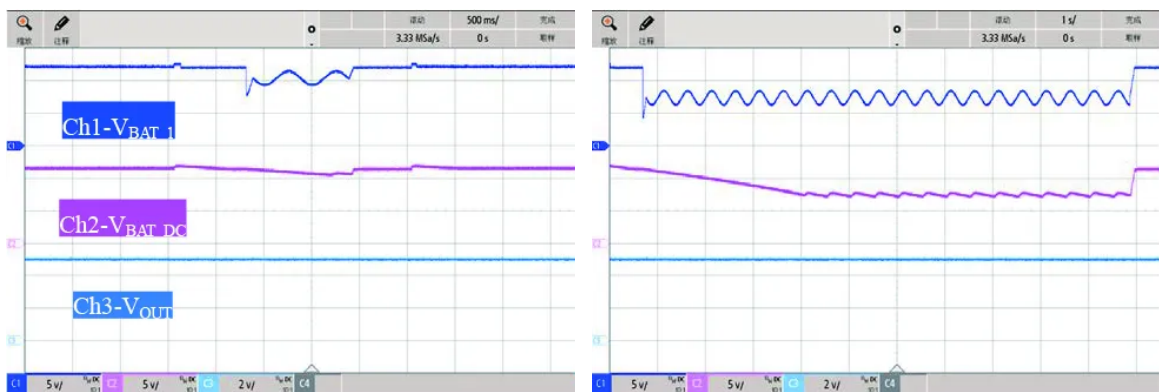


图43 启动电压曲线^[4]

3.5.2 测试条件

图43所示脉冲波形的具体参数根据启动工况和蓄电池能量存储情况可分为四种扰动等级。根据ISO16750-2:2012标准，结合客户需求，分别设置Level I、II、III、IV四个扰动等级，每个等级测试10次，每次间隔2s。测试SGM63600的空载输出工作特性。

3.5.3 客户滤波电路测试波形



(a) Level I

(b) Level II

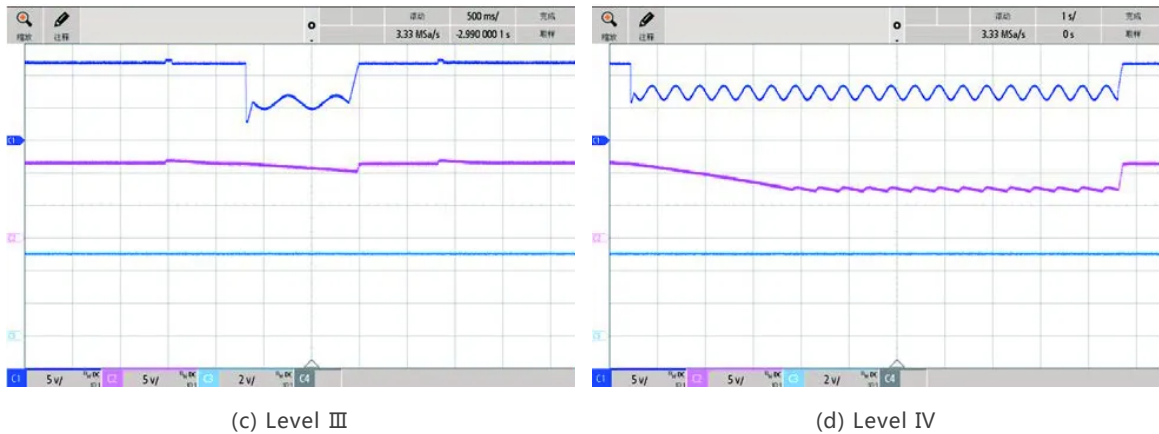


图44 启动特性抗扰度测试波形（基于客户滤波电路）

3.5.4 简化滤波电路测试波形

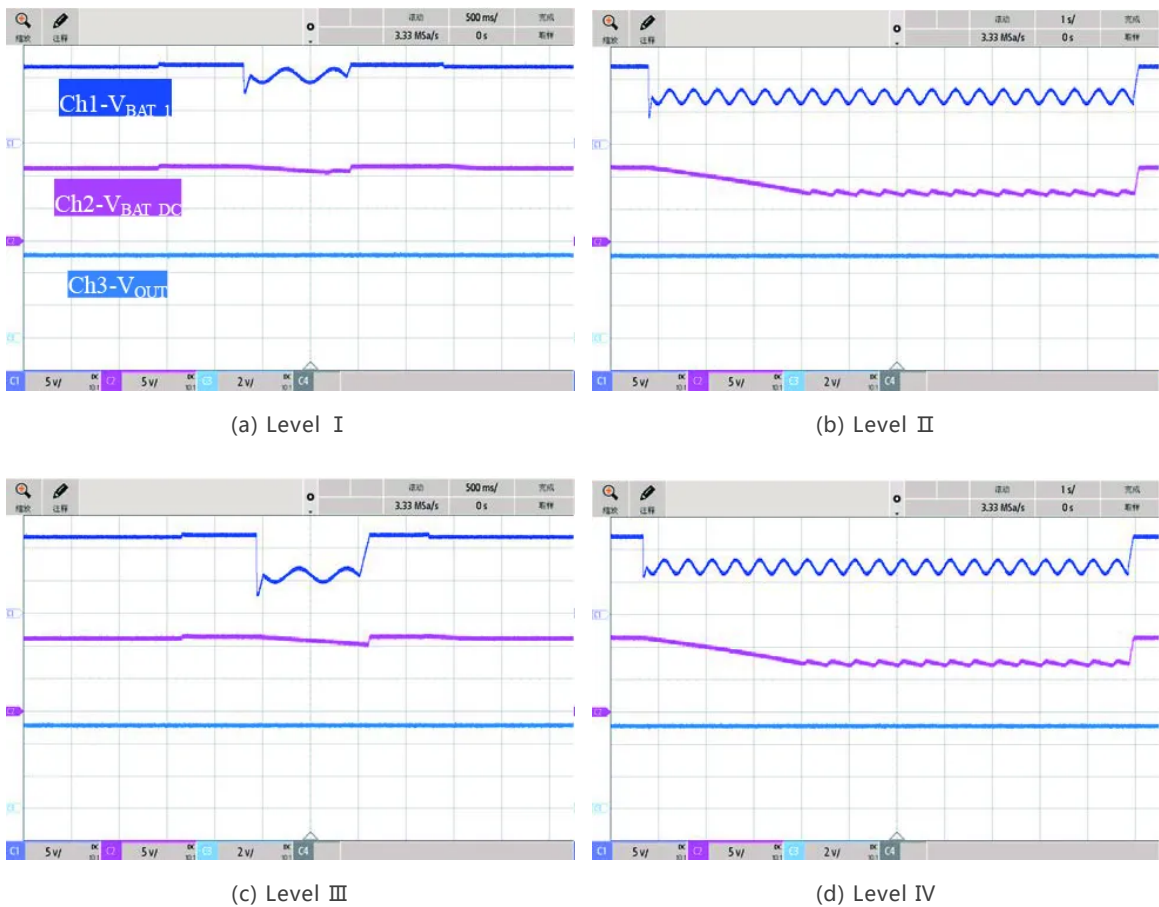


图45 启动特性抗扰度测试波形（基于简化滤波电路）

3.5.5 测试结果

1) 连接客户滤波电路测试时，SGM63600输出电压正常。符合ISO16750-1:2018中，功能性能等级A的要求。

2) 连接简化滤波电路测试时，SGM63600输出电压正常。符合ISO16750-1:2018中，功能性能等级A的要求。

3.6 反向电压

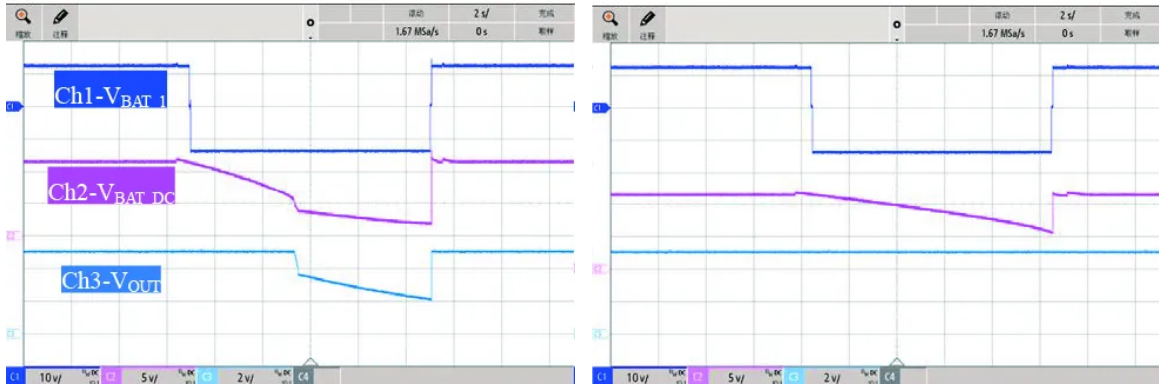
3.6.1 测试目的

模拟辅助启动汽车时，电极极性反接的现象，评估测试SGM63600电源系统对此极性反接的抗扰度。

3.6.2 测试条件

根据ISO16750-2:2012标准，结合客户需求，在滤波电路输入端接入反向电压-14V，模拟电池反接，反接时间10s。测试SGM63600的空载输出工作特性。

3.6.3 客户滤波电路测试波形



(a) 常规条件

(b) EC2+330μF

图46 反向电压抗扰度测试波形（基于客户滤波电路）

3.6.4 简化滤波电路测试波形

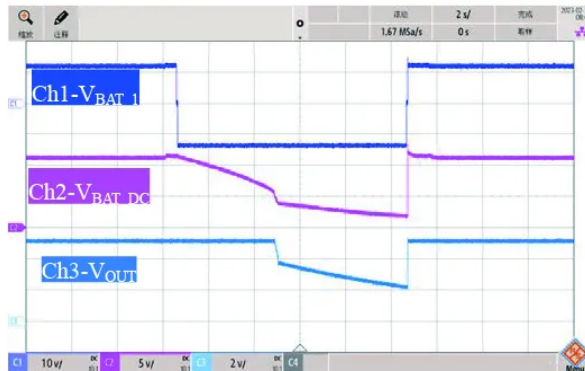


图47 反向电压抗扰度测试波形（基于简化滤波电路）

3.6.5 测试结果

1) 连接客户滤波电路测试时，SGM63600输出电压在输入反压4.3s后出现跌落，在输入电压恢复正常后，输出恢复正常。符合ISO16750-1:2018中，功能性能等级B的要求。若在V_{BAT_D}与GND之间增加一个330μF/50V的铝电解电容以增加保持时间，则反压期间，SGM63600输出电压正常，可达到ISO16750-1:2018中，功能性能等级A的要求。

2) 连接简化滤波电路测试时，SGM63600输出电压在输入反压4.3s后出现跌落，在输入电压恢复正常后，输出恢复正常。符合ISO16750-1:2018中，功能性能等级B的要求。

04

| 保持时间测试

4.1 测试目的

针对SGM63600的抗扰度评估是基于输出空载，以及当前客户滤波条件下220μF/35V的支撑电容。与支撑电容的容值呈正比关系的保持时间对部分电磁干扰项起至关重要的作用，本节测试客户滤波条件下不同负载的保持时间，为衡量不同负载条件下SGM63600对各项干扰的抗扰度提供参考。

4.2 测试条件

电路稳定工作后，断开12V输入的电源，测试SGM63600在不同负载下的保持时间。

4.3 客户滤波电路测试波形

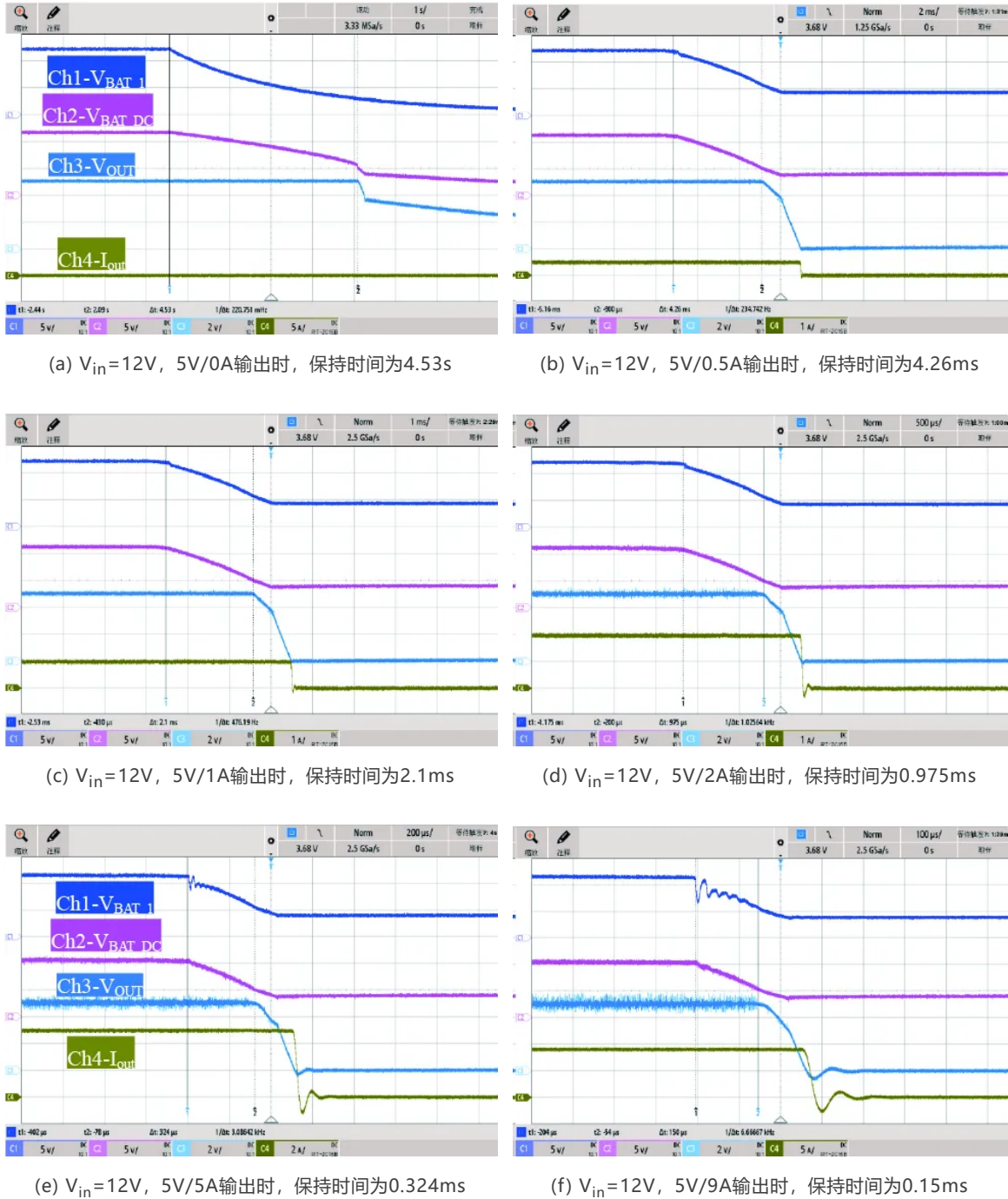


图48 保持时间测试波形

4.4 测试结果

SGM63600芯片的输入电压 V_{BAT_DC} 跌落至5.2V附近时，输出电压开始跌落。保持时间与输出电流接近线性反比变化，可为衡量不同负载条件下SGM63600对各项干扰的抗扰度提供参考。

参考资料

- [1] SG Micro Corp. SGM63600 Datasheet [EB/OL]. (2023-11). <https://www.sg-micro.com/uploads/soft/20231118/1700299536.pdf>.
- [2] Road vehicles-Electrical disturbances from conduction and coupling-Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only: ISO_7637-2: 2011[S].

[3] Road vehicles-Electrical disturbances from conduction and coupling-Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only:ISO_7637-2: 2004[S].

[4] Road vehicles-Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment-Part 2:Electrical loads: ISO_16750-2: 2012[S].

| 关于圣邦微电子

圣邦微电子（北京）股份有限公司（股票代码300661）作为高性能、高品质综合模拟集成电路供应商，产品覆盖信号链、电源管理、传感器及存储器等领域。公司拥有38大类近7,000款可销售型号，为工业与能源、汽车、网络与计算和消费电子等领域提供各类模拟及混合信号创新解决方案。

点击下方[阅读原文](#)，获取产品规格书、申请样片。



圣邦微电子

始终致力于为用户提供高性能、高品质的模拟IC解决方案。一分耕耘，一分收获，圣邦微...
179篇原创内容

公众号

阅读原文