



艾德克斯大功率电子负载在 DC-DC 转换器测试中的解决方案

摘要： 本文详细介绍了 DC-DC 转换器的在电动汽车中的应用，以及对其进行电压精度、效率、线性/负载调节率和瞬态响应等测试方法，重点介绍了艾德克斯 IT8900 大功率直流负载在 DC-DC 测试中的优势以及 ITS9500 电源测试系统的特点功能。

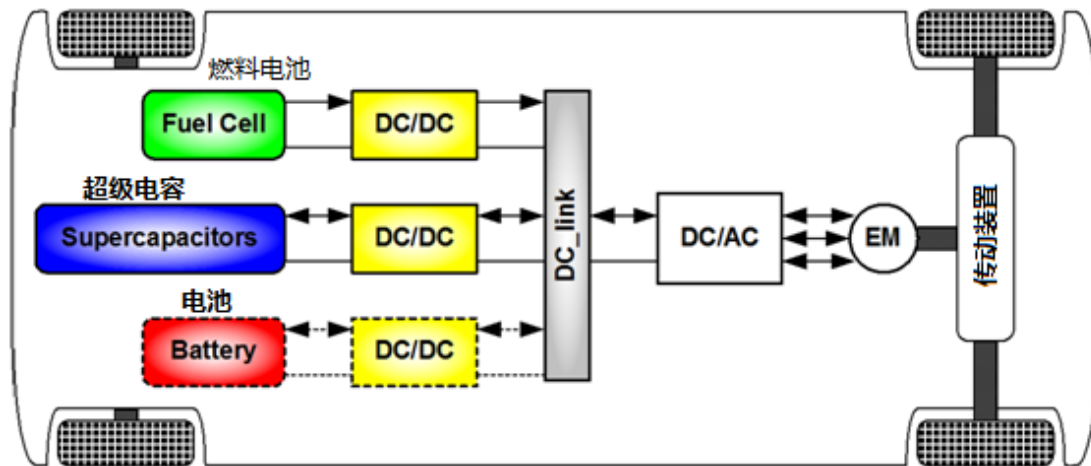
正文

DC-DC 转换器是市面上常见的电源转换器，广泛应用在各行各业，比如 UPS 电源内部、电动汽车、光伏储能系统、航空储能系统等，用于将直流电高压转换成低压或低压转换成高压。测试 DC-DC 转换器对于其性能、安全性、效率转换率的确定至关重要。下文以新能源汽车为例，介绍 DC-DC 转换器在其中的用途，以及涉及到的相关输出端的测试项，重点介绍艾德克斯 IT8900 大功率直流负载的测试优势。

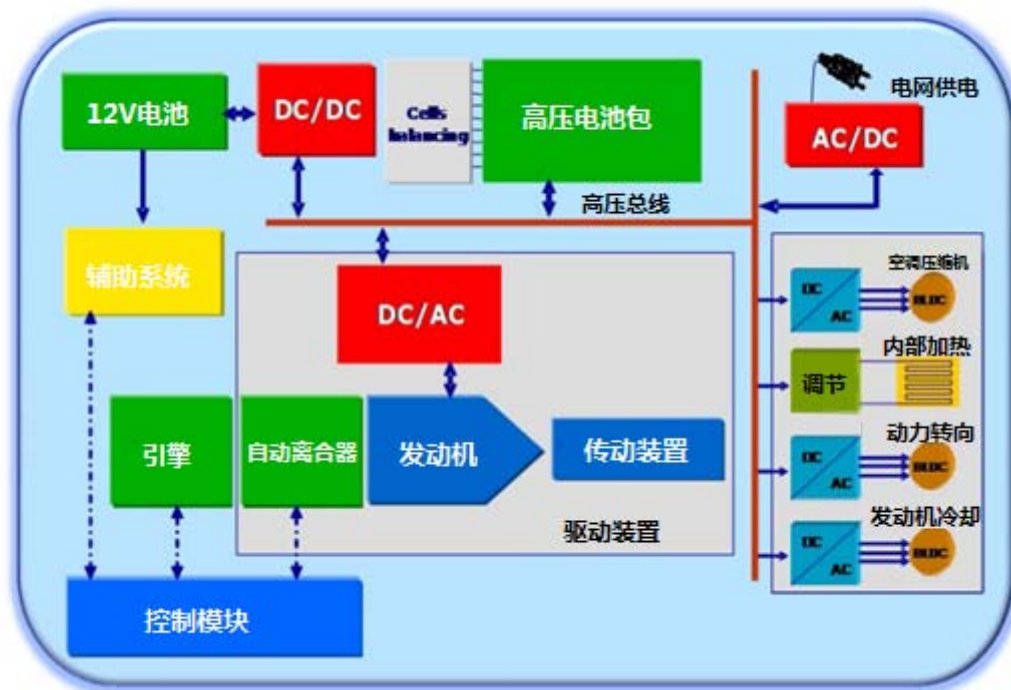
DC-DC 转换器在新能源汽车上的应用

大多数电动汽车和混合动力汽车配置使用两种能量存储装置，高能量存储装置又叫“主能源系统”（MES），另一个具有可逆变能量系统，又称“可充电能源系统”（RESS）。如图一所示，电动汽车可以同时使用燃料电池、动力电池包和超级电容器提供电力驱动，这样可以有效减少成本、体积和提高性能。

DC-DC 转换器是混合动力汽车中辅助电源的一个核心部件。该转换器需要将能量从 12V 直流总线转换到高压直流总线上（用于电力牵引）。DC-DC 转换器的功率是由汽车的特性决定的，比如最高速，百公里加速，重量，最大扭矩和功率状况（峰值功率，持续功率）。通常而言，客车的转换器功率一般大于 20 KW，最大高达 100 KW。



图一、电动汽车驱动系统

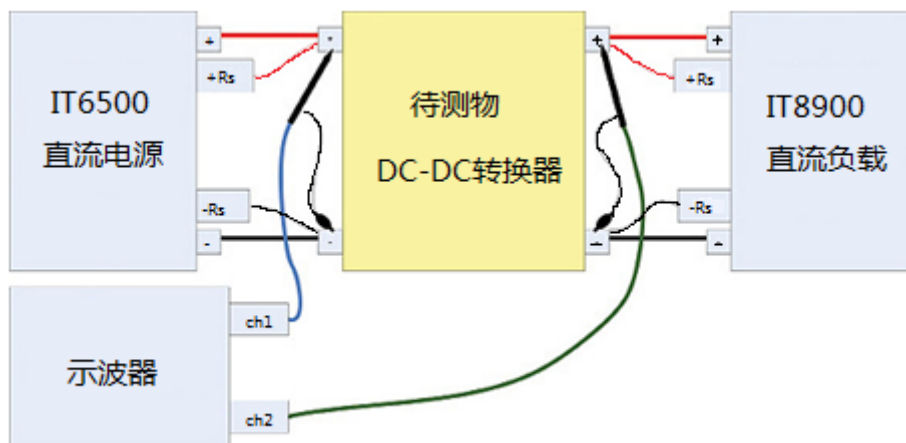


图二、混合动力传动框图

图二这张示意图具体显示了混动汽车内部的供电情况。服务电池提供 12V 标准电压用于仪表盘、制动装置和照明。动力电池提供的 200-800V 高压电用于牵引系统。动力电池可由混合控制系统和(或)电网经 AC-DC 转换器进行充电，而 12V 电池是由动力电池由经 DC-DC 转换器进行充电。因此，电动汽车的配置可以使用双向或单向系统。转换器的可靠性是关键因素，因为一个小错误就会导致 12V 服务电池的放电，直接导致整个电子系统的损失。

DC-DC 转换器的测试方法

关于 DC-DC 转换器的测试包括效率测试、动态响应测试、开关机时间测试、保护项测试等等。这些测试可以使用艾德克斯 ITS9500 电源测试系统自动完成，在产品研发、设计验证、批量生产、来货或验货测试、合格试验等环节中都有应用。下面我将重点介绍电源测试系统中的高精度大功率直流负载 IT8900 系列在 DC-DC 转换器中的相关测试项中的应用。IT8900 系列电子负载功率范围从 12KW 到 600KW，可以完全满足大功率 DC-DC 转换器的测试需求。



图三、DC-DC 转换器的测试接线

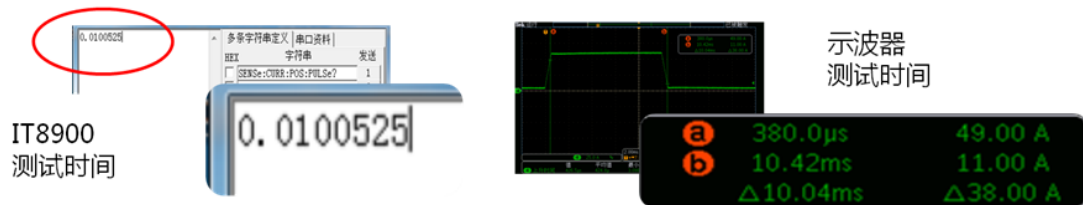


测试开、关机电压和时间：如图三所示，为待测 DC-DC 转换器接线，前级输入电压有一定的工作范围，为了验证输入电压范围，需要借助可编程直流电源（可以选用艾德克斯 IT6500、IT6700H、IT6900 系列电子负载）。直流负载 IT8900、IT8800、IT8500+可用于拉载电流和模拟后级设备。

测试最小输入电压，在 DC-DC 转换器打开后使用额定电压输入，同时负载满电流（满功率）拉载。减小输入电压直到输出跌落或者减小到最小输入电压为止。

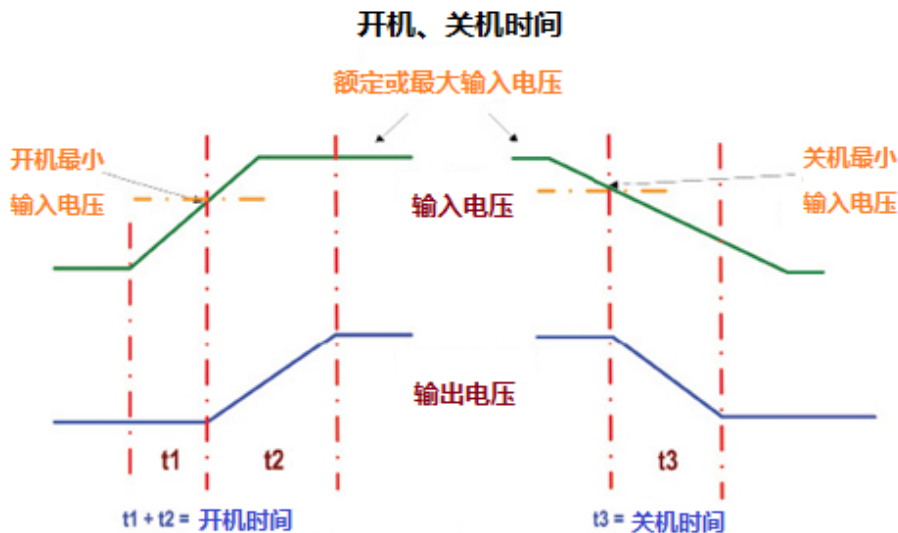
为了验证 DC-DC 转换器可以在后级满载时启动，可以设定输入电压最小，关闭再开启，同时测量输出端的电压和电流。测量输出端电压和纹波用以观察低输入电压对于输出稳定性和纹波的影响。为了保证测试精度，电源和负载的远端量测端子必须连接。

测试开、关机、保持时间，可以利用艾德克斯 IT8900 直流负载的时间量测功能，可以测试电压和电流波形的上升下降时间，内部采用 18bit、500kbps 高速 AD 采样，测试精度可以达到 10 微秒，媲美高精度示波器，如图三显示。艾德克斯电源、负载均向客户开放编程指令，客户不仅可以使使用自带软件进行上位机操作或系统操作，也可以自行搭建智能测试平台。



图三、IT8900 对于电流下降时间的测量与高精度示波器测量结果对比

开机时间是指从最小输入电压开始到输出电压达到输出规定值的时间。关机时间是指从输入电压跌落至最小输入电压开始到输出关闭或者电压跌落至 0V 为止。如图四所示。

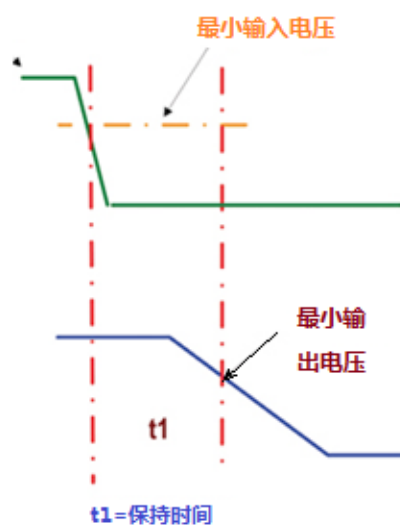


图四、开关机时间

保持时间测量采用相同的测试接线，保持时间是指从输入跌落至最小输入电压开始到输出电压跌落至最小工作电压为止。这项测试指出 DC-DC 转换器在输入有短时中断或电压跌落时输出的稳定性。有些 DC-DC 转换器具有输入失败检测信号，此信号亦可作为触发此测试的开关。



保持时间测试



图五、保持时间

输出线性调整率测试：这项测试可测得当输入电压从最小操作电压变化到最大操作电压时，DC-DC 转换器输出电压的范围，是否符合规格书标准。

输出线性调整率测试包括监测输出电压，改变输入电压（从最小值到最大值变动）并记录输出电压偏差（以绝对值或以百分比标注）。

如果输出端负载的测量精度和输入端直流电源的精度相当，那就没有必要外加数字万用表（DMM）测量电压、电流和功率。比如，艾德克斯的 IT8900 直流负载和 IT6500 直流电源具有相当的电压、电流、功率测试精度，因此无需外加 DMM 表。而测试系统中往往包含有示波器或者示波器卡用于验证输出电压的稳定性。

输出线性调整率 R_o 可以用以下公式计算出来：

$$R_o = \frac{|V_{o_{max}} - V_{o_{min}}|}{V_{o_{nom}}} \times 100\%$$

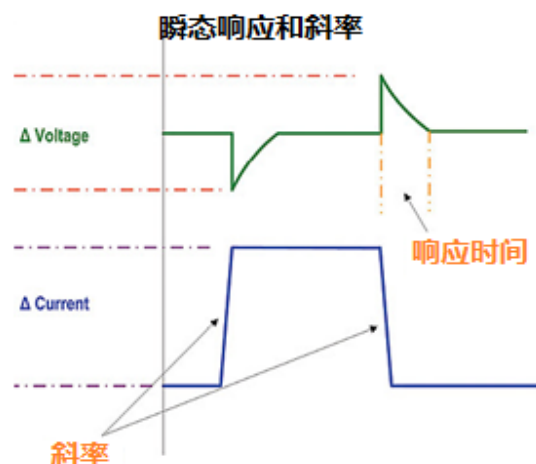
其中， $V_{o_{max}}$ 为最大输入电压时的输出电压； $V_{o_{min}}$ 为最小输入电压时的输出电压； $V_{o_{nom}}$ 为额定输入电压时的输出电压。

输出负载调节率：输出负载调节率测试保证 DC-DC 转换器的输出电压稳定在标称值内。这里，输出电压的变化会随着拉载电流的大小而变化并记录下来。利用电压差来计算负载调节率偏差的百分比。负载调节率 L_r 的计算公式如下：

$$L_r = \frac{|V_{o_{io}} - V_{o_{im}}|}{V_{o_{nom}}} \times 100\%$$

其中， $V_{o_{io}}$ 为最大拉载电流时的输出电压； $V_{o_{im}}$ 为最小拉载电流时的输出电压； $V_{o_{nom}}$ 为典型值拉载电流时的输出电压。

瞬态响应偏差和时间：此项测试用于反映 DC-DC 转换器输出电压对于输出电流瞬变的响应，包括最大输出电压偏移和恢复到规定电压值的时间。



图六、瞬态响应电压偏移和恢复时间

测试方法为首先设定负载拉载的大电流和小电流，设定电流上升、下降斜率、频率和占空比。艾德克斯 IT8900 高精度直流负载均支持动态拉载编程，频率可高达 25KHz，上升下降斜率可高达 10A/us，占空比可以从 1%-99%之间任意设置。

用户负载（波形）模拟：有些 DC-DC 转换器后级负载有其自身的特殊性，拉载波形和动态变化为非常规波形。艾德克斯 IT8900 等电子负载均可以模拟真实负载的波形，上升下降斜率高达 10A/us，并且波形数据可以存储在机器内存或通过内置 GPIB、LAN、USB、RS232 等接口，由上位机软件远程控制并保存、导出数据。

效率测试：效率反映了 DC-DC 转换器将电能从输入端转换到输出端的有效性。测试效率时，输入、输出端往往采用额定输入、输出电压。效率 E_p 从下面公式计算得出：

$$E_p = \frac{|V_{out} \times I_{out}|}{V_{in} \times I_{in}} \times 100\%$$

其中， V_{out} and I_{out} 为输出端电压和电流； V_{in} and I_{in} 为转换器输入端的电压和电流。IT8900 系列的高精度负载对于电压电流的测试精度可以高达万分之五，利用这项测试可以测试不同拉载功率下的转换效率，可以绘制出效率和输出电流的关系曲线。

标准的DC-DC转换器测试项包括电压精度、效率、线性/负载调节率和瞬态响应。艾德克斯ITS9500电源测试系统内置有模块化交/直流电源、交/直流负载，开关分析仪（IO卡、继电器卡、DSO卡），能满足客户DC-DC转换器对于功率、精度和速度的测试要求，模块化设计更增加了设计灵活性。

结论：

DC-DC转换器的各项性能对于系统的稳定和可靠运行至关重要。无论是生产前的设计验证，亦或是评估DC-DC转换器在某类产品上的应用，都需要一个可重复并能精确测试的流程。

本文介绍了艾德克斯电子负载IT8900在DC-DC转换器测试中的优势：内建高精度数字电压电流表，并具有高精度电压、电流波形的时间量测功能，内置丰富的通讯接口，配套有相关上位机软件，并开放SCPI通信协议，方便客户组建智能化测试平台。同时艾德克斯ITS9500电源测试系统可以测得40多项测试项，可以满足DC-DC转换器更全面的测试需求。