

功率器件动态参数测试系统 选型避坑指南

动态特性是功率器件的重要特性，在器件研发、系统应用和学术研究等各个环节都扮演着非常重要的角色。故对功率器件动态参数进行测试是相关工作的必备一环，主要采用双脉冲测试进行。

按照被测器件的封装类型，功率器件动态参数测试系统分为针对分立器件和功率模块两大类。长期以来，针对功率模块的测试系统占据绝大部分市场份额，针对分立器件的测试系统需求较少，选择也很局限。随着我国功率器件国产化进程加快，功率器件厂商和系统应用企业也越来越重视功率器件动态参数测试，特别是针对分立器件的测试系统提出了越来越多的需求。

纵观现阶段市场上能够提供的功率器件动态参数测试系统，其技术和服务层次不齐。容易出现实际测试效果无法达到规格书的情况，甚至有的测试系统连基础的测试功能都不具备，使得用户花了冤枉钱，也浪费了大量的时间和精力。

为了避免上述问题再发生在广大工程师身上，本篇文章将带领大家一起来看看如何在进行功率器件动态参数测试系统选型时避坑。

功率器件动态参数测试系统选型避坑指南

一 满足的测试电压、电流范围

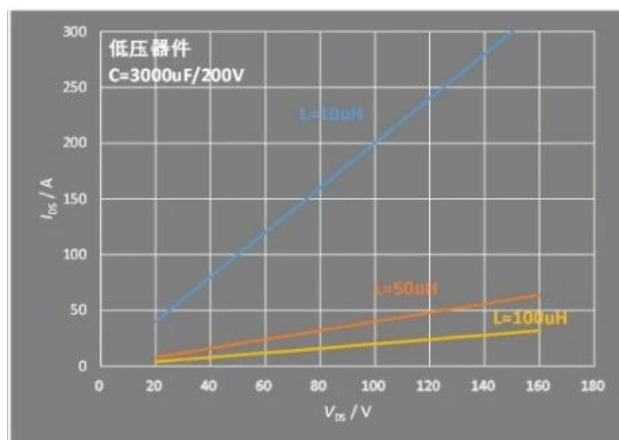
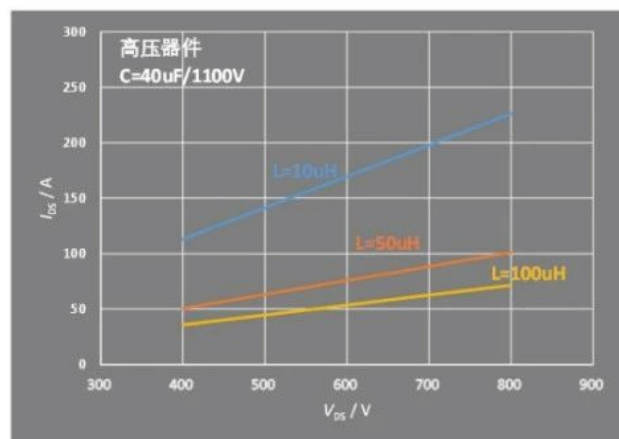
我们在选择测试系统时，首先面临的问题是测试系统能够测试器件的电压和电流范围。测试系统的规格书上一般会标注“最大 xxxV / xxxA”，但这样的标注方式是远远不够的，会出现在低于最大电压时达不到最大电流的情况。

设测试中负载电感为 L ，母线电容为 C ，测试电压为 V ，测试电流为 I ，则双脉冲第 1 脉宽 τ 、第 1 脉宽结束时母线电压跌落比例为小于 K_v 时需满足：

$$\tau = \frac{LI}{V}$$
$$C \geq \frac{LI^2}{2k_v V^2}$$

可见 τ 用于使电流达到 I ， τ 随 I 和 L 的增大而增大，随 V 的增大而减小。在实际测试中， τ 的时间不宜过长，否则会使得器件发热严重影响测试结果。同时， C 需要大于一定数值确保其在第 1 脉宽结束时母线电压跌落比例为小于 K_v ，这样才能够保证在第 2 脉冲时母线电压跌落在可接受范围内，负责双脉冲测试的开通和关断的电压不一致。 C 随 I 和 L 的增大而增大，随 V 和 K_v 的增大而减小。测试中， C 和 L 是由硬件条件确定的， V 由测试条件给定，同时对 τ 又有要求上限要求，这些参数一同决定了能够实现的测试电流。

针对高压器件，假设 $C=40\mu\text{F}$ 、电容耐压值 1100V、 $L=10\mu\text{H}/50\mu\text{H}/100\mu\text{H}$ 、 τ 的上限 $\tau_{\max}<20\mu\text{s}$ ；针对低压器件，假设 $C=3000\mu\text{F}$ 、电容耐压值 200V、 $L=10\mu\text{H}/50\mu\text{H}/100\mu\text{H}$ 、 $\tau<20\mu\text{s}$ 。根据上边的公式可以列出此时能够实现的最大电流如下图所示。



功率器件动态参数测试系统选型避坑指南

高压器件在 400V 测试条件下，负载电感选择 100uH 时可达 36A、选择 50uH 时可达 51A、选择 10uH 时可达 100A 以上；在 800V 测试条件下，负载电感选择 100uH 时可达 72A、选择 50uH 时可达 101A，选择 10uH 可达 200A 以上。

低压器件在 20V 测试条件下，负载电感选择 100uH 时仅 4A、选择 50uH 时仅 8A、选择 10uH 时可达 40A；在 150V 测试条件下，负载电感选择 100uH 时可达 30A、选择 50uH 时可达 60A、选择 10uH 可达 300A。

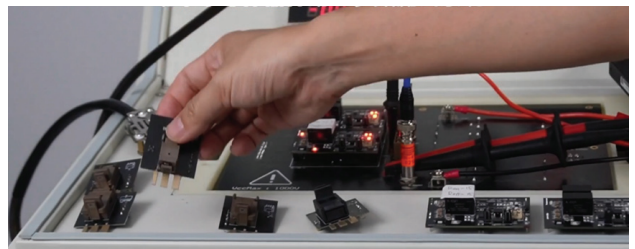
高压器件为了满足高压的测试需求，须选择耐压值高的母线电容，但此类电容容值较小，如用该电容来测试低压器件，能够实现的最大电流将大打折扣。对于功率器件来说，耐压和导通电阻是一对矛盾的关系，低压器件往往需要更大测试电流，所以低压器件应选择容值更大的母线电容。此外，由上图可知，在测试电压相同，负载电感越小可实现的最大电流值越大，为了满足低压器件大电流的要求，也应选择感量更小的负载电感。

由此可见，测试系统能够实现的最大测试电流由 C 、 L 、 V 、 $\tau_{\max}$ 共同决定。大家在进行测试系统选择时，就可以通过上述方法进行计算，考察其是否能够满足测试需求。

二 支持的器件封装类型

长期以来，针对分立器件的测试系统选择很少，其中一个原因是分立器件的封装种类很多导致开发成本和硬件成本高，特别对于贴片封装器件更是如此。市面上大多数测试系统仅支持 TO-247、TO-220 这样的插件器件，无法对其他封装形式的器件进行测试，极大地限制了测试系统的应用场景。

针对这一问题，泰克科技推出的功率器件动态参数测试系统 DPT1000A 采用转接板的方式满足了绝大多数封装形式分立器件的测试需求。转接板上采用 socket 对器件进行电气连接，转接板再插入到测试电路上的 socket 上，能够方便快速地实现被测器件及不同封装的更换。



功率器件动态参数测试系统选型避坑指南

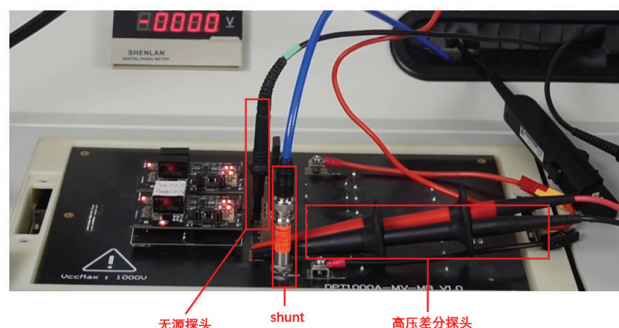
三 示波器、探头的测量能力

合适的测量仪器是测试系统能够获得精准的测试结果的基础，主要包括示波器、电压探头、电流探头。我们可以看到一些测试系统在测量仪器选择上存在很大的问题，例如：

- 使用基础示波器测量高速 MOSFET、高速 IGBT、SiC MOSFET，由于带宽和采样率严重不足导致测试结果与实际值偏差较大
- 使用 ADC 位数为 8bit 的示波器测量高电压、大电流器件，由于分辨率低导致测量值精度差
- 使用高差分探头测量驱动波形，导致波形噪声大、震荡严重
- 使用罗氏线圈测量 SiC MOSFET 的端电流，由于带宽严重不足导致测试结果与实际值偏差较大

泰克针对被测信号的特征在功率器件动态参数测试系统 DPT1000A 选择使用了合适的测量仪器以提升测试结果的精度。示波器选用 MSO5B 系列，带宽最高可达 2GHz、记录长度高达 500M 并具备 12 位 ADC，可满足高速开关对带宽的要求且具备较高的采样率、更低的噪声和更高的垂直分辨率。栅极波形测量选用无源探头，带宽可达 1GHz、衰减倍数小并具备 MMCX 接口，可精准测量下管的驱动电压，并降低了接地线的影响。

端电压测量选用高压差分探头，在满足宽电压测量范围的同时具有更大的输入阻抗，提供了安全的测试保障。端电流测试选用 shunt 电阻，其带宽达到 1GHz 以上，能够满足高速器件对带宽的要求。



功率器件动态参数测试系统选型避坑指南

四 上管测试能力

双脉冲测试采用的是半桥电感负载电路，有时需要对上桥臂器件进行测量。很多测试系统使用高压差分探头测试上桥臂器件驱动信号，测得的波形往往存在很严重的震荡，当测试高速 MOSFET、高速 IGBT、SiC MOSFET 时情况更加严重。这种情况由于高压差分探头的共模抑制比在高频下严重降低所导致的，此时测试系统实际上是不具备对上桥臂器件的测试能力的。

动态参数测试系统 DPT1000A 中，选用了泰克的 IsoVu 光隔离探头进行上桥臂器件的测试。IsoVu 光隔离探头共模电压高达 $\pm 60\text{kV}$ ，差分信号最高可达 $\pm 2000\text{V}$ ，带宽最高可达 1GHz ，同时具有优异的共模抑制比，在 1GHz 下仍可达 -90dB 。如此优异的特性确保了对上桥臂器件的测试能力。



破解 SiC、GaN 栅极动态测试难题的魔法棒

文章来源：

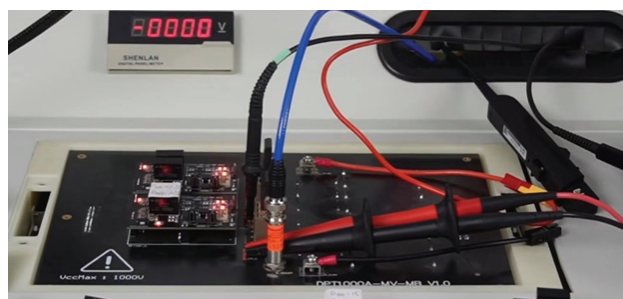
公众号：功率器件显微镜

五 主电路、驱动电路回路电感

在测试电路中有两个关键回路，即主电路回路和驱动电路回路，它们对器件动态特性的影响极大，也是评判测试电路性能好坏的关键指标。传统的功率器件的开关速度较慢，对上述两个回路的寄生电感要求不高。但随着高速 MOSFET、高速 IGBT、SiC MOSFET 的出现，原先功率器件动态参数测试系统回路电感大的问题就暴露出来了。

具体来讲，当主电路回路电感太大，会导致器件的关断电压降分过高，当其超过器件耐压值时，就有可能导致器件过压损坏。当驱动电路回路电感过大时，会导致驱动波形出现严重震荡，同时驱动回路还容易受到器件在开关过程中产生的高 di/dt 的干扰，进一步加剧震荡，可能导致器件栅极过压击穿、器件误导通导致桥臂直通。

动态参数测试系统 DPT1000A 针对这一问题进行了测试电路参数优化，使其能够测量包括 SiC MOSFET 的高速器件。驱动电路贴近被测器件并采用 PCB 布线链接，尽可能减小了驱动电路回路电感。同时，在母线电容选取、PCB 布线、电流采样方式上进行了优化，进一步降低了主电路回路电感。



泰克推荐方案

DPT1000A 功率器件动态参数测试系统



泰克官方微信

如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！

或登录泰克公司中文网站：www.tek.com.cn

泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835

服务时间：9:00am - 5:00pm，周一至周五

泰克科技(中国)有限公司
泰克中国客户服务中心
免费热线: 400-820-5835
泰克销售分公司及办事处

泰克科技(中国)有限公司
北京分公司
北京市朝阳区酒仙桥路6号院
电子城·国际电子总部二期
七号楼2层203单元
邮编: 100015
电话: (86 10) 5795 0700
传真: (86 10) 6235 1236
E-mail: china.mktg@tektronix.com

泰克上海办事处
上海市长宁区福泉北路518号
9座5楼
邮编: 200335
电话: (86 21) 3397 0800
传真: (86 21) 5031 6910
(86 21) 6289 7267
E-mail: china.mktg@tektronix.com

泰克深圳办事处
广东省深圳市深南东路5002号
信兴广场地王商业大厦3001-3002室
邮编: 518008
电话: (86 755) 8246 0909
传真: (86 755) 8246 1539
E-mail: china.mktg@tektronix.com

泰克成都办事处
四川省成都市锦江区三色路38号
博瑞创意成都B座1604
邮编: 610063
电话: (86 28) 6530 4900
传真: (86 28) 8527 0053
E-mail: china.mktg@tektronix.com

泰克西安办事处
陕西省西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦26层L座
邮编: 710065
电话: (86 29) 8723 1794
传真: (86 29) 8721 8549
E-mail: china.mktg@tektronix.com

泰克武汉办事处
武汉市洪山区珞喻路726号
华美达大酒店702室
邮编: 430074
电话: (86 27) 8781 2760
E-mail: china.mktg@tektronix.com

如需进一步信息

泰克维护着一套完善的不断扩大的应用指南、技术简介和其它资源，帮助工程师处理尖端技术。请访问www.tek.com.cn



© 2023年泰克公司版权所有，保留所有权利。泰克产品受到美国国外已经签发和正在申请的专利保护。本文中的信息代替以前出版的所有材料中的信息。技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX和TEK是泰克公司的注册商标。本文提到的所有其它商品均为各自公事的服务标志、商标或注册商标。

2023年2月

Tektronix®