

doi: 10.7690/bgzdh.2024.02.005

某电子对抗系统干扰反应时间指标测试方法的改进

全 鹏¹, 王信钢², 张 俊³

1. 陆军装备部驻重庆地区军事代表局驻广元地区军事代表室, 四川 广元 628000;
2. 西南电子设备研究所总装集成中心, 成都 610036;
3. 陆军装备部驻重庆地区军事代表局, 重庆 400060)

摘要: 为解决某电子对抗系统验收测试过程中, 原测试方法对测试设备要求较高、测试时间较长等问题, 提出一种改进方法。采用普通示波器来替代高速示波器, 射频前端增加检波器, 对射频信号进行检波, 干扰反应时间为信号源输出射频信号和干扰机输出干扰信号的检波信号由低到高变化的时间差值, 降低了对测试设备的要求、缩短了测试时间。分析和试验验证结果表明: 在不影响测试准确性的情况下, 该改进方法是有效可行的。

关键词: 电子对抗; 干扰反应时间; 测试

中图分类号: TN974 **文献标志码:** A

Improvement on Testing Method for Interference Response Time of Certain Type Electronic Countermeasures System

Quan Peng¹, Wang Xin'gang², Zhang Jun³

1. PLA Military Representative Office in Guangyuan District of Chongqing District Military Representative Bureau of Army Armaments Department, Guanyuan 628000, China; 2. Equipment Assembly and Integration Center, Southwest Electronic Research Institute, Chengdu 610036, China; 3. Military Representative Bureau of Army Armaments Department in Chongqing District, Chongqing 400060, China)

Abstract: In order to solve the problems of the original test method in the acceptance test of an electronic countermeasure system, such as high requirements for test equipment and long test time, an improved method is proposed. A common oscilloscope is used to replace a high-speed oscilloscope, a detector is added at the front end of the radio frequency to detect the radio frequency signal, and the interference reaction time is the time difference value of the change of the detection signal of the radio frequency signal output by the signal source and the interference signal output by the jammer from low to high, so that the requirements on the test equipment are reduced, and the test time is shortened. The analysis and experimental results show that the improved method is effective and feasible without affecting the accuracy of the test.

Keywords: electronic countermeasures; interference response time; test

0 引言

干扰反应时间是指被试品处于自动干扰状态时, 系统接收机从接收目标信号到干扰机输出对应干扰信号的时间。干扰反应时间是某电子对抗系统(以下简称被试品)的一个主要性能指标, 特别是X/Ku频段较宽、射频信号频率较高, 采用直接测试射频信号进行干扰反应时间测量时, 需要高速示波器来完成。按产品规范规定的方法对该指标进行测试时, 发现存在: 测试设备要求高, 资源调配困难; 仪器操作复杂, 操作人员能力要求高; 测试方法不科学, 测试时间过长等问题。如何降低对测试设备的要求, 缩短测试时间, 对于提高验收测试效率有重要意义。

1 原测试方法及存在的问题

产品规范规定, 用射频信号源来模拟目标信号, 让目标处在干扰天线波束范围内, 从射频信号源发出射频信号到干扰机输出对应干扰信号的时间差即为干扰反应时间。测试连接如图1所示。

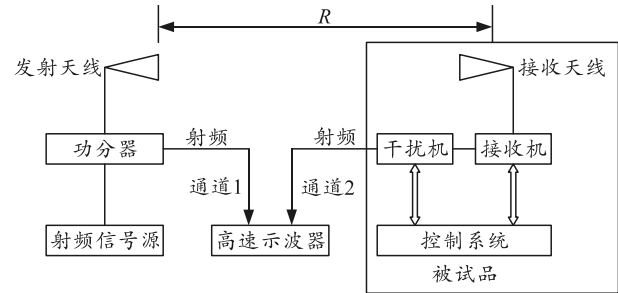


图1 改进前干扰反应时间测试连接

收稿日期: 2023-10-12; 修回日期: 2023-11-25

第一作者: 全 鹏(1986—), 男, 四川人, 硕士。

具体测试步骤:

1) 按图 1 所示连接测试线路。设置信号发射天线和接收天线距离为 R , 调整信号发射天线的指向, 使其对准被试品的接收天线; 功分器的一端经过数米长射频电缆接到高速示波器的通道 1, 另一端接到信号发射天线, 干扰机输出的干扰射频信号经过数米长射频电缆接高速示波器的通道 2。

2) 仪器和设备、被试品加电, 设置射频信号源参数, 在工作频段内任意选取 1 个频率点, 并设置脉宽、重频等信号参数。

3) 关闭射频信号源输出, 设置被试品处于自动干扰状态。

4) 打开射频信号源输出, 记录高速示波器测试通道 1 第 1 次由低变高的时刻 T_1 和通道 2 第 1 次由低变高的时刻 T_2 , 计算差值 ΔT 。

5) 关闭信号源直到目标消失, 选取下一个频率点, 重复步骤 2)~4), 完成多个频率点测试。

6) 取测试结果 ΔT 的平均值作为被试品的干扰反应时间。

通过高速示波器采集的测试信号波形如图 2 所示, 通道 1 为信号源输出射频信号波形, 通道 2 为干扰机输出干扰信号波形, 2 个波形由低变高的时间差值即为干扰反应时间 ΔT 。

$$\Delta T = |T_2 - T_1|。$$

式中: ΔT 为干扰反应时间, s; T_1 为信号源输出射频信号波形由低变高的时刻, s; T_2 为干扰机输出干扰信号波形由低变高的时刻, s。

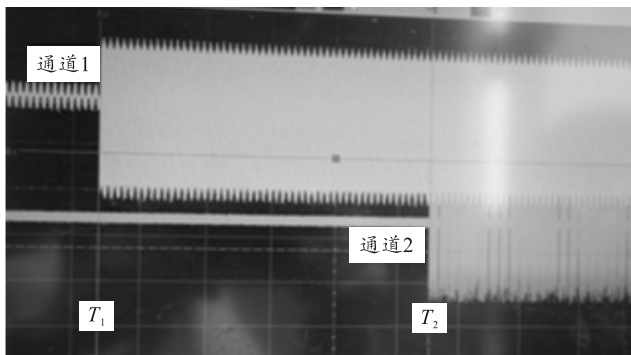


图 2 干扰反应时间测试波形

实际测试时发现, 干扰反应时间的测试难度较大, 测试需要的时间较长。

分析如下: 测试时需要对该产品的 X/Ku 全频段射频信号干扰反应时间进行测量, 必须采用高速示波器。在对频率较高射频信号的干扰反应时间进行测量时, 高速示波器采集处理射频信号的高频波形信息需要时间较长, 同时高速示波器还容易被测

试线路上的扰动引起误触发^[1-4], 造成测试不成功。据统计: 完成 1 套被试品的干扰反应时间指标测试平均需要 4 h 以上。

满足射频波形信息测量要求的高速示波器与普通示波器相比规格要求高、价格昂贵(对比见表 1 所示)。在检验验收时, 发现高速示波器在承制单位并不多, 会有一定程度的资源紧张, 同时高速示波器操作使用较为复杂, 对操作使用人员的能力要求也更高。以上原因导致图 1 所示的测试方法可操作性较差, 效率也较低。

表 1 高速示波器与普通示波器价格对比

序号	名称	参考型号	参考价格/万元
1	高速示波器	RTO1044	30
2	普通示波器	TDS2014	2

为降低干扰反应时间的测试难度, 缩短测试时间, 考虑对干扰反应时间的测试方法进行改进优化。

2 测试方法的改进及验证

干扰反应时间采用高速示波器进行测量的测试波形如图 2 所示, 通道 1 显示信号源输出的射频信号波形, 通道 2 显示干扰机输出的干扰信号波形。从测试波形图分析, 干扰反应时间为仅测量通道 1 和 2 显示波形由低变高变化的时间差值, 对后续的信号源输出射频信号和干扰机输出干扰信号的射频波形信息不需要进行其他的测量和处理。

测试方法改进的思路: 考虑用普通示波器来替代高速示波器, 为了保证普通示波器能处理通道 1 和 2 的信号, 采取增加检波器对信号源输出射频信号和干扰机输出干扰信号进行检波, 转换为视频信号后再进行测量处理^[5], 干扰反应时间为信号源输出射频信号和干扰机输出干扰信号的检波信号由低到高变化的时间差值。

满足视频信号处理要求的示波器规格要求低, 价格便宜, 一台满足视频波形信息测试要求的示波器仅需数万元, 满足 X/Ku 全频段检波要求的检波器一台仅需数千元, 且此类示波器数量多、操作容易、测试方法简单, 这样就能降低测试资源使用和调配难度并缩短测试时间。

2.1 第 1 次改进

在示波器通道 1 和 2 输入端增加检波器, 对射频信号和干扰信号进行检波, 通过检测两路视频信号波形由低变高的时间差值为干扰反应时间, 测试连接如图 3 所示。

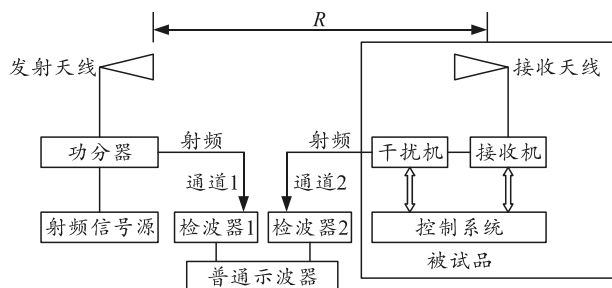


图3 第1次改进后干扰反应时间测试连接

测试步骤同改进前一致。通过普通示波器采集的测试信号波形如图4所示：通道1为信号源输出射频信号检波后的视频波形，通道2为干扰机输出干扰信号检波后的视频波形^[6]，2个波形由低变高的时间差值即为干扰反应时间 ΔT 。

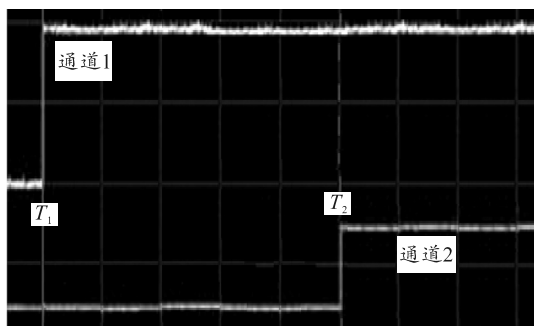


图4 改进后干扰反应时间测试波形

对改进后测试的干扰反应时间与改进前测试的干扰反应时间进行对比，2种方法测试的干扰反应时间测量结果一致。

但在测量较高频率点（如Ku频段的18GHz）的干扰反应时间时，通道1显示的信号源输出射频信号检波后的视频波形幅度非常小，难以正确识别，导致该频率点下的干扰反应时间难以准确测量。

经分析，射频信号源输出射频信号先经过功分器，通过数米长射频电缆再连接检波器（检波器1）后接到示波器通道1，射频信号在高频段时经过射频电缆后功率损耗较大，经检波器后视频波形幅度非常小。在射频信号为18GHz时示波器通道2的视频波形幅度也明显降低。故考虑降低射频损耗，对测试方法进行再次优化。

2.2 第2次改进

射频信号源输出射频信号经过功分器后先通过检波器1检波变为视频信号，再通过射频电缆连接

示波器通道1，被试品干扰机输出的干扰射频信号也先经过检波器2再通过射频电缆连接示波器的通道2。通过检测两路视频信号的波形由低变高的时间差值为干扰反应时间。测试连接如图5所示。

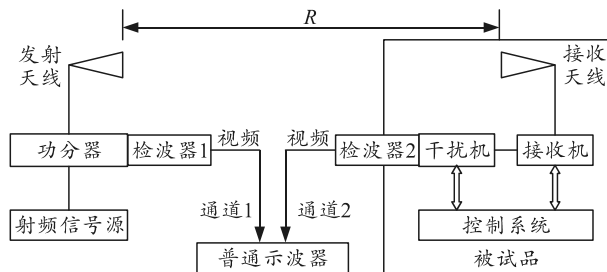


图5 第2次改进后干扰反应时间测试连接

由于视频信号在射频电缆中的损耗非常小，在X/Ku全频段测量干扰反应时间时，视频波形幅度均能很好地满足测试要求。

经过第2次改进后，干扰反应时间的测试难度明显降低，每一个测试频率点均能达到只需1次操作就可以正确测量出干扰反应时间，完成一套被试品的干扰反应时间测试平均在1h以内，缩短为原来的1/4，测试所需时间明显减少。

3 结束语

结果表明：通过改进测试方法，在射频前端增加检波器，对射频信号进行检波，用普通示波器就能完成测试，减少了测试成本，提升了测试操作性，缩短了测试时间，较好地提高了测试效率，具有一定的借鉴意义和推广价值。

参考文献：

- [1] 范庆辉, 张强, 刘丹峰, 等. 基于光纤式图像位移测试系统的研究[J]. 兵工自动化, 2023, 42(3): 53-61.
- [2] 王小芳, 胡际万, 朱磊, 等. 一种基于PXI的雷达频综组合测试系统[J]. 兵工自动化, 2023, 42(4): 26-28.
- [3] 曾熠, 朱玉玉, 江蔚. 国产化便携式电阻测试仪[J]. 兵工自动化, 2023, 42(9): 59-63.
- [4] 倪育才. 实用测量不确定度评定[M]. 北京: 中国计量出版社, 2008.
- [5] 马恒儒. 脉冲参数计量[M]. 北京: 原子能出版社, 2002.
- [6] 李立功. 现代电子测量技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.