

一种外场无线电背景消除的方法探讨

俞一鸣

上海聚星仪器有限公司

摘要: 本文介绍了一种先进的野外对设备无线电辐射的测试方法。这种方法针对体积较大不适于无线电暗室测量的被测设备,同时这个方法有效地消除了外场空间无线电波对测量的干扰。

1 前言

设备电磁辐射不仅造成能源浪费、干扰其他敏感设备,而且容易被敌对势力和犯罪组织利用侦测到目标部署和活动信息,所以对于用频用电设备的电磁辐射测试,是设计验证和系统保障的重要工作。常规的方法是将被测设备放在微波暗室里面,用无线电接收机测量被测设备在整个感兴趣频率范围的辐射强度。但是,当面对舰船、车辆等大型被测设备时,无法建设合适体量的无线电暗室。

遇到这样的情况,很容易想象,可以放置到野外,较偏僻场地或水域进行辐射测量。但是由于广播和通信的广泛覆盖,已经很难找到这样的“净土”。一个合理的想象就是,如果将背景辐射和被测物辐射区分开,就好了。

多年以前就有工程师提出空间无线电辐射消除的研究应用。该系统利用两台无线电接收机分别接收被测物和背景辐射,但是实际使用中仍然存在消除性能不理想,不能有效消除较强背景辐射干扰的问题。由于无线

电接收技术和数字信号处理技术的发展,这项技术有了新的转机。

硬件方面,高精度同步采集带来了接收通道间时间、相位一致性的优势;而软件方面,多维度的信号处理在空间、时间、频谱等方面消除背景信号影响。软硬件先进技术的综合使用和融合,使得空间无线电背景消除达到了新的高度。

2 简易原理

简单的方案是采用两台接收机,其中一台就近采集被测设备辐射,另一台距离被测设备较远,主要接收空间背景,如图1所示。假设非被测件的背景辐射源都距离接收系统较远,那么在这两套接收机接收到的信号里,相关的部分主要是要消除的背景辐射,其他部分主要是被测件辐射。

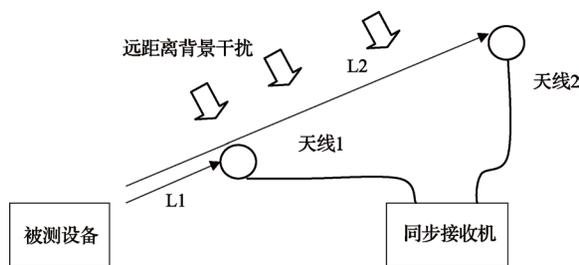


图1 简单差分背景消除原理

假设接收机1距离被测设备 D_1 ,接收到被测设备信号幅度 P_1 ;接收机2距离被测设备 D_2 ,接收到被测设备信号幅度 P_2 ,那么:

两个接收机对同一被测设备信号获取的信号幅度:

$$Pr(\text{dBm}) = Pt(\text{dBm}) + Gt(\text{dB}) - L(\text{dB}) + Gr(\text{dB})$$

式中, P_r 是接收功率, P_t 是发射功率, G_t 是发射天线系数, L 是自由空间损耗, G_r 是接收天线损耗。

$$L = 20\lg(F) + 20\lg(D) + 32.4$$

式中: F 是频率,单位是MHz; D 是距离,单位是km; L 单位是dB。

因此:

$$P1 = Pt + Gt + Gr - 20lg(F) - 20lg(D1) - 32.4$$

$$P2 = Pt + Gt + Gr - 20lg(F) - 20lg(D2) - 32.4$$

如果 $L_2 > 10L_1$ ，那么两个天线的路径衰减相差20 dB，也就是在线性单位下远处的接收机接收到的被测设备信号是近处接收机接收到被测设备信号功率的1/100。

同理，假设两台接收机距离背景干扰源距离差异相对于绝对距离比例很小，那么两台接收机接收到的背景辐射幅度基本相同。

假设接收机接收到信号功率 P_1 和 P_2 ，那么可以简单估计被测件辐射功率 P_{dut} ：

$$P_{dut}(mW) = [P_1(mW) - P_2(mW)] \cdot k$$

式中 k 是接收机1到被测设备的空间衰

减系数。

这个方法简单易用，但是实际系统里面两台接收机天线增益、功率灵敏度线缆损耗各不相同，导致校准误差较大，最后使得功率测量精度受到较严重影响。

3 改进方案

改进的方案还是采用两个天线，连接两通道同步接收机，但是天线摆放位置不同，如图2所示。简易方案是通过距离差异带来的信号强度差异来区别被测设备辐射和背景辐射。这个方案是通过两天线信号叠加产生接收的方向性，从而区分设备辐射和背景辐射。具体摆放方法是：天线1、2距离被测设备足够远，可认为形成远场辐射传播条件，将两天线连接线的中垂线对准被测设备。

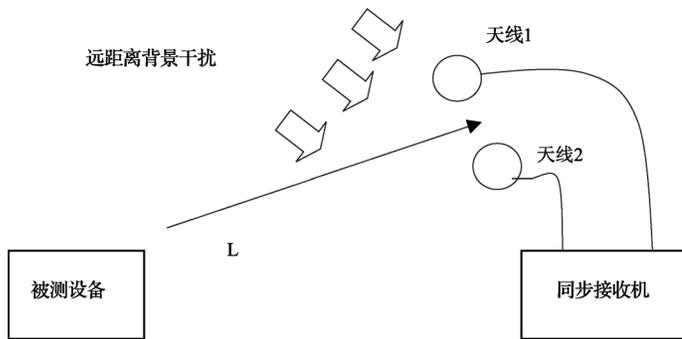


图2 空间相消背景消除原理

假设被测设备辐射 S ，传播空间损耗 L ，天线增益 G_1 、 G_2 ，接收机响应系数 H_1 、 H_2 ，则两台接收机接收到的信号 R_{x1} 、 R_{x2} 分别是：

$$R_{x1} = S \cdot G_1 \cdot H_1 / L$$

$$R_{x2} = S \cdot G_2 \cdot H_2 / L$$

设置校准系数 C_1

$$C_1 = G_2 \cdot H_2 / (G_1 \cdot H_1)$$

则，复合接收信号

$$R_n = R_{x1} \cdot C_1 - R_{x2}$$

这个复合信号在被测设备角度具有一个接收灵敏度的零点，也就是 R_n 基本不含有被测设备信号。将 R_n 和任一接收信号相关，就可以得到两者背景信号的响应校准复数系数。

$$C_r = R_{x2} \cdot R_n / (R_n \cdot R_n)$$

消除背景的被测设备信号为：

$$R_x = R_{x2} - C_r \cdot R_n$$

式中基本原理就是在 R_{x2} 里面包含被测设备和背景2部分信号，而 R_n 里面没有被测设备信号，从 R_{x2} 里面消除掉两者相关部分，就留下被测设备信号。

4 校准和设备要求

这样的系统要求两通道射频接收比较一致，差异越小产生的效果越好。两通道同步接收系统原理如图3所示。考虑到背景不同干扰信号来自不同方向，两个天线的方向图最好都接近理想的全向天线。接收机方面，应当选择动态范围较好，较稳定同步接收到监测接收模块，组成多通道同步接收机。另一方面，由于天线馈线长度差异、天线位置连线法相对被测设备方向的误差，都导致消除的困难和测量误差。这就需要一个校准过程，将两台接收机天线——数字化链路的设备差异都校准掉，方向图校准原理如图4所示。简单来说就是测出 C_1 。这个可以通过在接收主机增加一个发射模块，从功放连接发射天线，将发射天线放置在被测设备方向或者被测设备同一地点，通过两信道接收仪器自己发射的校准信号，从而校准出系统系数 C_1 。

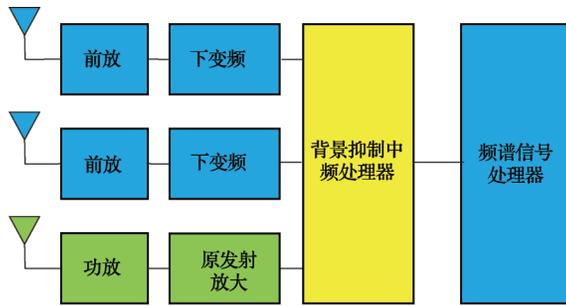


图3 两通道同步接收系统原理

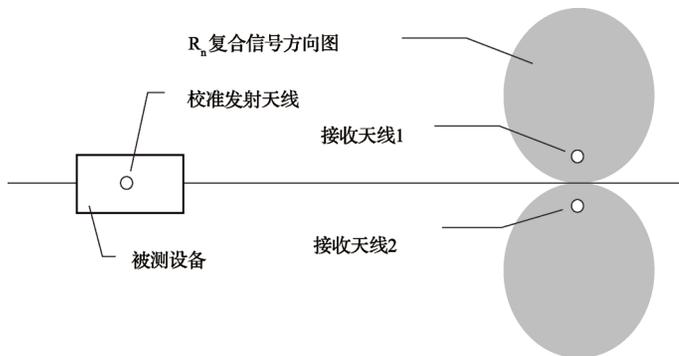


图4 方向图校准原理

5 测试结果

根据上述原理在室外架设了接收系

统，被测设备用一个FM信号源，发射信号184.25 MHz，和电视播送频率重合。

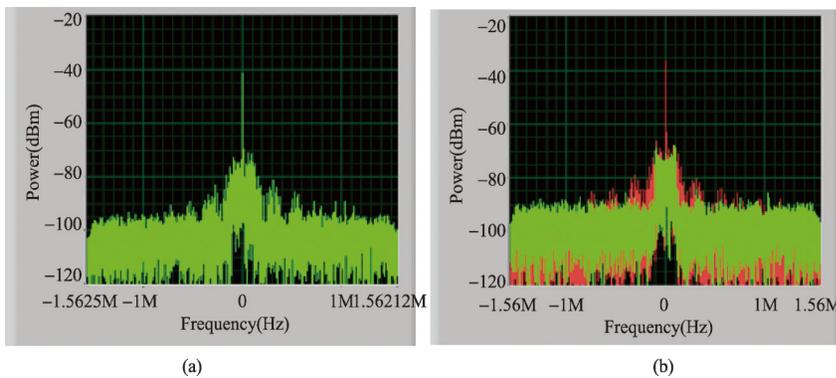


图5 电视信号背景消除试验频谱

如图5(a)为单接收机接收到的频谱，电视信号远大于被测设备信号。图(b)是背景消除后的结果，其中红色频谱是背景频谱，绿色的是被测设备频谱。可以清晰看到电视信号被抑制了40 dB以上，使得处理后的弱小FM信号仍然具有很好的信噪比。

6 进一步改进

由于本设备在室外工作，背景信号是常在的，那么校准信号也会受到背景信号干扰。除了加大校准信号这个手段以外，还可以通过对校准信号调整，甚至扩频编码，使得校准接收可以通过同步解调算法，解扩提升信噪比，或者排除背景常在干扰影响。

另一方面，由于双天线接收到复合方向图是固定的，对于被测设备同方向背景干扰不具备消除能力。所以对测试选址有一定要求。这个限制可以通过另外增加1~2个天线，形成另一个方向组合，从而排除任何方向的干扰。

7 结论

本文介绍的外场背景消除方法，通过简单的多通道同步接收，有效地抑制背景干扰辐射。背景抑制比大于40 dB。本文实验采用了聚星多通道无线电接收系统。通过实验证明了空间相消技术在野外抑制背景信号的可行性和较高的性能。