

# 微波射频电路杂波干扰问题技术分析 & 改进研究

发布时间: 2021-07-13T07:40:25.331Z 来源: 《现代电信科技》2021年第6期 作者: 何彦平

**[导读]** 做好电磁辐射干扰防护工作是确保广播节目优质传播的根本保证。

(维沃移动通信有限公司 广东省东莞市 523000)

**摘要:** 本文在解决微波射频电路抗干扰的技术问题时, 注重提高电路自身抗外部干扰的能力, 通过电路内部设计优化, 降低电路内部的干扰, 从而实现微波射频电路的高抗杂波干扰能力。

**关键词:** 微波射频电路; 杂波干扰; 技术改进

## 引言

中波广播传播的途径主要是地波传播, 也就是垂直极化波。当地面接收到天线发出的电磁波时, 由于地面的导电率、地质结构等多方面原因, 电磁波不能很好地反射, 一部分电磁辐射波会在大地中产生电流, 大地中的电流又会生成新的附加电场, 如此往复, 使得中波发射台近场区内的电磁环境异常复杂。各种衍生辐射干扰不仅影响发射台正常频率的发射, 还会对广播发射机及附属弱电设备产生干扰。严重的干扰因素会造成发射机系统不稳定, 计算机运行速度降低, 台内弱电设备程序混乱, 通讯设备无法正常使用。对于射频辐射干扰问题, 中波发射台常规的防护措施是做好机房接地和天馈线接地。随着新型附属设备在广播发射台的应用, 对电磁环境的要求越来越高, 因此, 分析电磁辐射的产生因素, 采取更加科学合理的防护措施, 做好电磁辐射干扰防护工作是确保广播节目优质传播的根本保证。

## 1 微波射频感应设备

微波射频感应设备是利用多普勒效应原理设计的移动物体探测器, 它以非接触方式探测物体的位置是否发生移动, 继而产生相应的开关操作, 可以安装在一定厚度的塑料、玻璃、木制等非金属材料之中。微波感应与红外感应相比, 探测距离远、角度广、无死区且灵敏度高, 能穿透玻璃、薄木板, 抗干扰能力强, 不受温度、湿度、光线、气流、尘埃等影响。随着制造成本的降低, 微波感应传感器逐步替代红外感应设备, 成为市场的主流, 广泛应用于LED灯人体感应开关、自动门窗、安保系统、ATM取款机等领域。随着物联网技术的飞速发展, 预计其应用领域将进一步拓展。

## 2 典型射频干扰源模型

### 2.1 窄带干扰

窄带干扰通常具有相对较窄的带宽, 而相对于合成孔径时间而言, 窄带干扰在时间上是连续的。典型的例子是商用陆地移动无线电和业余无线电。这种干扰信号模型在RFI的早期研究中得到了很好的研究 [11]。在数学表示中, 它可以被建模为复杂正弦波的和, 即

$$I_{\text{sum}}(t) = \sum_{l=1}^L A_l \cdot a(t) \cdot \exp(j(2\pi f_l t + \theta_l))$$

幅、载波频率、相位和调制项。被窄带射频干扰污染的雷达回波的距离维频谱和距离频率-方位时间谱如图 7 所示。该数据取自 L 波段某机载 SAR 系统, 信号发射带宽为 300MHz。在频谱上可以看到干扰能量所处频率有明显的尖峰, 在距离频率-方位时间谱中干扰会形成高线, 这些特点使干扰更易于被识别和检测。

### 2.2 数模混合布板带来干扰

随着微波射频电路集成度的提高, 数模混合布板越来越常见, 数字地和模拟地的分割、数字信号和模拟信号的交叉、数字电源和模拟电源的干扰等, 会给模拟电路带来干扰, 影响电路质量和指标。

### 2.3 脉冲型宽带干扰 (两个 2.2)

脉冲型宽带 RFI 是在脉冲重复时间不同的情况下实现的, 其带宽比窄带 RFI 要宽。这种射频干扰的常见情况来自地面无线电定位雷达。根据调制类型, 它可以进一步建模为两种主要形式的宽带干扰 (WideBand Interference, WBI), 即线性调频调制 (Chirp Modulated, CM) WBI 和正弦调制 (Sinusoidal Modulated, SM) WBI。在实际应用中, WBI 不一定完全匹配这两种特殊模型, 但 CM-WBI 和 SM-WBI 可以被看作是两种极端特例。CM-WBI 可被建模为

$$I_{\text{cm}}(t) = \sum_{l=1}^L A_l(t) \exp\{j(2\pi f_l t + \pi \gamma_l t^2)\}$$

式中: L 为干扰信号的数量;  $A_l$ 、 $f_l$ 、 $\gamma_l$  分别为系统工作信号的幅度、载波频率、调制频率。SM-WBI 可以表示为

$$I_{\text{sm}}(t) = \sum_{l=1}^L A_l(t) \exp\{j\beta_l \sin(2\pi f_l t + \phi_l)\}$$

式中： $L$ 为干扰信号的数量； $A_i$ 、 $f_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\theta_i$ 分别为系统工作信号的幅度、载波频率、调制频率和相位。时域上无法直观地识别WBI，但在频域可以最大限度地提高干信比，从而有利于干扰检测。含有WBI的雷达回波的特定距离谱如图8所示。从图8（a）可以看出，目标回波受到多个具有不同包络和带宽的WBI的干扰。它们的幅度是变化的，且最大幅度远高于目标回波，这使得目标回波在距离频谱中几乎不可见。使用短时傅里叶变换将脉冲转换为时频图表示。可以观测到干扰随频率和时间的变化是非常直观的，这说明WBI是高度非平稳的。此例中WBI特征具有CM-WBI和SMWBI的组合属性。

### 3微波射频电路杂波干扰技术问题分析

（1）电磁环境复杂。在应用过程中，微波射频电路所处的电磁环境较为复杂、空间干扰源较多，使得微波射频电路容易受到空间杂波信号的干扰，从而影响整个电路的指标和正常运行。（2）连续波宽带干扰。该类描述由于调制而具有相对较宽频带的信号，并且通常相对于合成孔径时间是连续的。常见的情况是宽带通信系统或编码信号，如全球导航卫星系统。在这种情况下，它们具有类似宽带噪声的特性。（3）微波电路体积小导致电路复杂。随着相控阵技术、多通道射频TR前端的发展，对微波射频前端电路的体积要求越来越小，从而导致微波内部电路的复杂度提高，具体表现为设备、线路以及元器件之间的距离较近，存在交叉布置的问题，容易产生干扰。

### 4微波射频电路杂波干扰技术改进

#### 4.1波器接入法

发射台的高频辐射对电子设备的干扰主要有三个途径，一是空中高频能量辐射，二是设备信号传输线感应，三是供电线路感应。对于空中能量辐射，我们采取的办法是在可能的情况下对设备进行屏蔽，将设备外壳良好的接地。对于经过信号传输线和供电线路感应的高频信号干扰，我们可以通过滤波器接入法，减轻或消除高频辐射干扰。根据需要，我们可以在信号传输线、电话线和网线上接入符合技术要求的高频滤波器，能有效滤除线路上感应的高频辐射干扰；在供电线路上接入专业的电源滤波器，滤除电源上感应的高频辐射能量，为用电设备提供无辐射的纯净电源。

#### 4.2通过分块处理优化电路结构

针对微波射频电路体积较小、复杂性较高的问题，应进行电路结构优化设计，做到布局合理，距离适宜。采取电路分块处理时，主要包括加高频放大电路、混频电路以及调节电路等内容。最大限度的将强电信号和弱电信号分开设置，将数字信号电路和模拟信号电路分开设计。对于能够完成同一功能的电路，应尽量设置在一定范围之内，缩小信号环路面积，节约电路空间。对于各部分电路的滤波网络，采取就近连接的模式，减少辐射，降低被干扰的几率，提高电路抗干扰能力。

#### 4.3调整天线发射接收电平

一般情况下，设备发信单元运行在自动功率增益控制模式下。在对端天线接收电平低于门限值时，对端通知发信端提高发信功率，从而保证接收信号的强度。一般情况下，提高发信端的功率，接收信号的误码率就会有所改善。但是在本次故障中，提高发信端信号的功率，接收端信号的误码率并没有改善，反而升高；但是降低接收端发信功率后，误码率反而有所改善。TXLEVMON由原先的32dBm降低到21dBm，网管所得到的数据RSNBBE（B1）、NES（B1）、NSES（B1）的数值明显减小。通过这个反常现象，初步判断是接收端相关设备有问题，其中接收端天馈系统的嫌疑最大。

#### 4.4屏蔽设计

当前使用的屏蔽结构主要分为屏蔽格、屏蔽盒、双层屏蔽、敷铜箔绝缘板屏蔽结构四种类型。屏蔽电路布线应遵循以下原则：其一，对于进入金属屏蔽罩的数字信号线，应位于内层，信号层位于接地层之上，中间没有其他层结构；其二，RF信号线通过屏蔽罩缺口时，应在缺口周围大量布地，通过打过孔将不同层上的地连接在一起。金属屏蔽罩接地设计如果未满足相关要求，将会影响屏蔽功能发挥。对于双层屏蔽罩接地位置设置，应考虑其对电流的影响情况，将信号电路输出端与内屏蔽罩连接在一起。

#### 4.5革新信息处理方法

除量子测量技术可在灵敏度和测量精度等方面提升电子战系统能力外，量子计算机无疑也将在未来量子—电子战中扮演极其重要的角色，二者结合，将极大提升电子战系统的综合能力。量子计算提供了一种从根本上增强计算能力的思路，其核心优势是可以进行高速并行计算，同时可以完美地解决传统计算机模拟量子系统时遇到的海量存储和指数时间问题。在系统形态层面，量子计算机的发展将对当前电子战系统实现算力升级，适用于电子战的量子专用处理架构成为可能，侦察感知能力、目标识别能力大幅度提升；在交叉应用层面，量子计算机可以使机器学习算法更快、更高效，克服当前计算机的速度与成本问题，助力强人工智能的实现，智能对抗将因此更上一个台阶。

#### 4.6并行滤波器法

这一方法在实际应用过程中，主要是在杂波出现概率较大的频段之内，设置一组凹口位置具有差异性的杂波抑制滤波器，每个滤波器均可以对输入信号实施滤波处理，并对输出端每个滤波器输出的杂波剩余情况进行判定，选取剩余杂波最小的作为杂波抑制之后的输出。在设计时，信号抗干扰滤波器应满足以下要求：其一，截止频率范围较宽，在几百kHz到几百MHz之间。其二，滤波器的源阻抗与负载阻抗能够与连接电路的阻抗相协调。其三，应尽量保证滤波器的Q值较小。

#### 4.7革新作战方式

量子-电子战的出现,将在灵敏度、测量精度、小型化和计算能力等多方面实现电子战技术升级,成为未来战争的重要组成部分,革新作战方式。无源侦察对战场决策的贡献权重提升。量子测量技术使电子信息系统对信号测量精度和灵敏度大幅提升,有限的电磁频谱资源将被更加合理精确的利用,无源侦察获得信息的维度和准确度进一步提升,电磁隐蔽能力将成为提升战场生存能力的重要因素,无源侦察在未来战场目标感知识别中将承担更加重要的角色。超视距作战向非接触战争转变。量子雷达与量子侦察技术逐步成熟,目标探测作用距离得到大幅度提升,精确感知、全域对抗将成为未来量子-电子战的重要能力,前线与后方的战场概念更加模糊,防空识别区相互交叠,千公里级非接触战争成为决胜关键。灰色地带隐蔽性军事角力成为大国博弈热点。量子科技发展将进一步扩大国家之间的军事实力差距,大国之间有克制的军事冲突常态化。不同于第一次量子科技革命中诞生的核武器的硬杀伤破坏力,量子-电子战装备将作为常规软杀伤武器应用于灰色地带军事博弈中,电磁频谱作为独立作战域的重要性更加突出。

#### 结束语

针对微功率短距离无线电发射设备存在的问题,建议无线电管理机构要与工商、质检等市场管理部门加强沟通协调,加大宣传力度,开展联合执法,进一步加强对微功率短距离无线电发射设备生产、销售、使用环节的监管,避免不符合公告要求的微功率短距离无线电发射设备流入市场。微功率短距离无线电发射设备的生产厂商应按照公告要求,在其产品使用说明中注明具体条款和使用场景,并加强对微功率短距离无线电发射设备的检测,减少无线电干扰隐患。

#### 参考文献:

- [1]杨博.量子微波磁场探测与成像系统及其应用研究[D].南京邮电大学,2019.
- [2]刘志强.高性能微波频率源与毫米波FMCW射频前端关键技术研究[D].东南大学,2019.
- [3]杨阳.单片集成射频微波功率放大器及开关的设计分析[J].中国新技术新产品,2019(20):21-22.
- [4]刘宝宏,刘彦伶,陈瑛,樊棠怀.一种应用于射频/微波能量收集系统的自适应可重构整流电路[C].中国电子学会.2019年全国天线年会论文集(下册).中国电子学会:中国电子学会天线分会,2019:660-662.
- [5]李明星.功能融合微波射频器件与共时多频多功能雷达的研究与设计[D].北京邮电大学,2019.
- [6]韩俊.基于微波射频识别的物联网前端读写器设计研究[J].电脑知识与技术,2019,15(10):153-154.
- [7]刘宝宏,陈瑛,樊棠怀.射频/微波能量收集系统的整流电路研究进展[J].半导体技术,2019,44(03):161-170.