

文章编号: 2095-4980(2019)04-0599-05

多部VHF/UHF频段机载通信电台同址干扰影响分析

刘伯栋, 于 鹏, 谢 飞, 杨会杰

(中国洛阳电子装备试验中心, 河南 洛阳 471000)

摘 要: 多部甚高频/特高频(VHF/UHF)频段机载通信电台在机上同时工作时, 存在严重的自扰、互扰、串扰等同址干扰电磁兼容性问题。以3部VHF/UHF频段机载通信电台同机工作为例, 分析了影响其通信效果的天线安装位置、空中电磁环境特性、杂散及互调等因素, 并进行了空中实际测试; 对空中电磁环境特性与地面电磁环境特性进行了比对, 初步验证了通信电台发射机杂散辐射射频分量等相关指标优劣的重要性以及多部电台同频段与不同频段通信时带来的二阶互调、三阶互调的影响程度, 有助于指导机载通信电台的电磁兼容设计。

关键词: VHF/UHF 频段机载电台; 同址干扰; 电磁兼容; 互调

中图分类号: TN911.4

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201904.0599

Analysis of co-site interference effect on VHF/UHF airborne radios

LIU Bodong, YU Peng, XIE Fei, YANG Huijie

(Luoyang Electronic Equipment Test Center, Luoyang Henan 471000, China)

Abstract: When multiple Very High Frequency/Ultra High Frequency(VHF/UHF) airborne radios work simultaneously on the same airplane, there will be serious Electromagnetic Compatibility(EMC) problems of co-site interference, such as self-interference, intermodulation interference and crosstalk. Considering the case of three VHF/UHF radios on one airplane for air test, this paper analyzes the factors affecting the communication effect which contains antenna installation positions, air electromagnetic environment characteristics, spurious, intermodulation interference and others. After the comparison of electromagnetic environments between air and ground, the importance of the radio frequency components of spurious radiation and other related indicators of communication radio transmitters is preliminarily verified, and the influence degree of second-order intermodulation and third-order intermodulation caused by multi-radio communication in the same band or different bands is analyzed, which is helpful to guide the EMC design of VHF/UHF airborne radios.

Keywords: Very High Frequency/Ultra High Frequency airborne radios; co-site interference; Electromagnetic Compatibility; intermodulation

在某些特定的飞行测试任务中, 需要安装多部同频段机载电台进行地空通信, 在同时工作时, 存在严重的自扰、互扰、串扰现象, 导致电台在选取合适工作频率时非常困难。多电台同址安装情况现已十分常见, 在此情况下天线间的距离受限, 虽然工作频率有一定间隔, 但因天线耦合较强, 电台间无法避免会发生同址干扰, 轻则使接收机输入信噪比恶化, 通信质量下降, 重则会造成通信中断。同址干扰主要有谐波干扰、邻道干扰、互调干扰等, 其中互调干扰是较难抑制的一种干扰方式^[1]。

本文以 3 部 VHF/UHF 频段机载通信电台同机工作为例, 分析了影响其通信效果的天线耦合效应带来的非线性引起的无源互调对收发共用天线通信电台性能的严重影响因素, 针对谐波杂散特别是互调干扰对多部电台的相互影响程度进行深入分析, 实际测试并比较了地面及空中电磁环境特性。同时, 随机选取了 3 部电台的不同工作频率进行空中测试, 进一步验证同址干扰的严重性。

1 天线耦合效应

天线耦合效应是天线间相互影响的一种现象^[2]。天线耦合度为电磁兼容技术(EMC)中衡量天线间干扰程度的主要技术指标。飞机机腹位置空间较小,各种天线密集安装必然带来电磁兼容性问题。图 1 为模拟飞机机腹位置同时安装 3 部 VHF/UHF 频段机载电台建立的仿真模型。

使用基于有限积分法(Finite Integration Technique, FIT)的 CST Microwave Studio 软件进行仿真。选用 $2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 0.02\text{ m}$ 的金属薄板模拟天线在机腹的分布情况,采用鞭天线代表实际使用中的马刀天线。3 个天线位于金属板面 3 个角,距两边 0.1 m 的位置,天线之间两两相距为 1.8 m , 1.8 m 和 2.5 m ; 振子直径 2 cm , 天线长度 0.5 m 。

经过仿真得到该模型的 S 参数,其中 $|S_{21}|$, $|S_{31}|$ 和 $|S_{23}|$ 分别表示天线之间的耦合度,如图 2 所示。 $|S_{21}|$ 曲线和 $|S_{23}|$ 曲线完全重合,因为天线 1、天线 3 与天线 2 的距离相同,在 $100\sim 300\text{ MHz}$ 范围时,耦合度值位于 $-17\sim -31\text{ dB}$; 天线 1,3 之间的耦合度 $|S_{31}|$ 在整个频段内低于 $|S_{21}|$, $|S_{23}|$, 耦合度值介于 $-25\sim -38\text{ dB}$ 。特别地,在 150 MHz 时, $|S_{21}|$ 为 -18 dB , 而 $|S_{31}|$ 为 -31 dB , 两者相差 13 dB 。

一般 VHF/UHF 频段机载电台发射功率为 20 W (43 dBm), 仿真天线耦合度平均为 30 dB , 互调转换损耗约为 15 dB ^[3], 则互调信号约为 -2 dBm , 电台发射机互调产物的影响非常大。

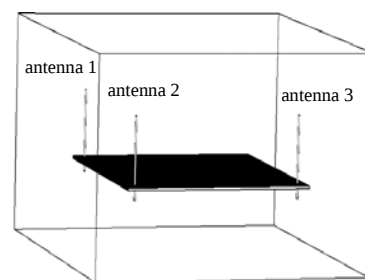


Fig.1 Simulation model
图 1 仿真建模图

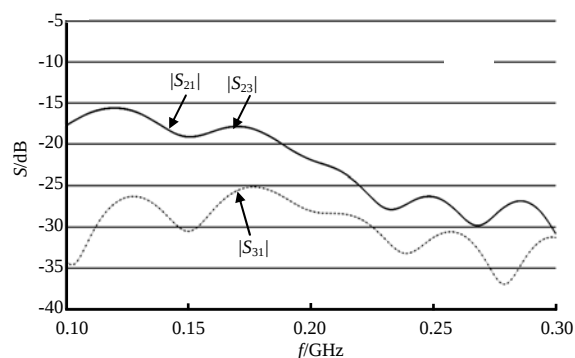


Fig.2 Simulation coupling degree of antennas
图 2 天线之间仿真耦合度曲线

2 杂散辐射及互调干扰

发射机的杂散辐射是指用标准信号调制时,除载频和由于正常调制和切换瞬态引起的边带以及邻道以外离散频率上的辐射。杂散辐射可能是一些非线性元器件产生的谐波分量、交调信号等。一般来说,落在中心频率两侧,必要带宽 ± 2.5 倍处或以外的发射都认为是杂散发射。相应的杂散干扰是一个系统的发射频段外的杂散发射落入到另外一个系统接收频段内造成的干扰。杂散干扰直接影响系统的接收灵敏度。若杂散落入某个系统接收频段内的幅度较高,被干扰系统接收机无法滤除该杂散信号。杂散信号对同址工作的多部电台影响较大,一般战术调频电台针对发射机和接收机明确规定了杂散发射和抑制的相应指标。如, GJB238A-1997《战术调频电台测量方法》中规定的发射机的杂散射频分量、接收机的杂散响应抗扰性、中频和象频抑制性等相应指标的好坏极大影响了多部电台的互扰程度。

本文对 3 种型号的 VHF/UHF 频段电台进行指标测试,杂散射频分量有较大差别。图 3~图 5 分别为 A,B,C 电台工作在 145 MHz 频率时杂散射频分量测试图,从图中可以看出, C 电台相应指标明显高于 A,B 电台,相应的 C 电台发射时对 A,B 电台影响较小。

互调干扰是指当 2 个或多个干扰信号同时加到接收机时,由于非线性的作用,这 2 个干扰的组合频率有时会恰好等于或接近有用信号频率而顺利通过接收机,其中三阶互调最严重。互调干扰又分为发射机互调干扰、接收机互调干扰、外部效应引起的互调干扰。

三阶互调是指当 2 个信号在一个线性系统中,由于非线性因素存在,使一个信号的二次谐波与另一个信号的基波产生差拍(混频)后所产生的寄生信号。如 f_1 的二次谐波为 $2f_1$, 它与 f_2 产生了寄生信号 $2f_1 - f_2$ 。由于一个信号是二次谐波(二阶信号),另一个信号是基波信号(一阶信号),它们合成为三阶信号,其中 $2f_1 - f_2$ 被称为三阶互调信号,它是在调制过程中产生的。又因为这 2 个信号的相互调制而产生差拍信号,这个新产生的信号称为三阶互调失真信号。产生这个

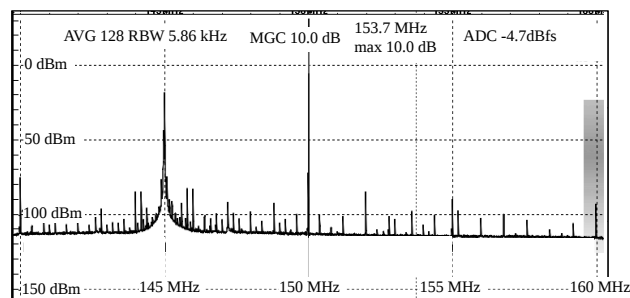


Fig.3 Spurious radiation spectrogram of radio A
图 3 A 电台杂散射频分量频谱图

信号的过程称为三阶互调失真。由于 f_1, f_2 信号比较接近, 也造成 $2f_1-f_2, 2f_2-f_1$ 会干扰到原来的基带信号 f_1, f_2 , 这就是三阶互调干扰^[4]。

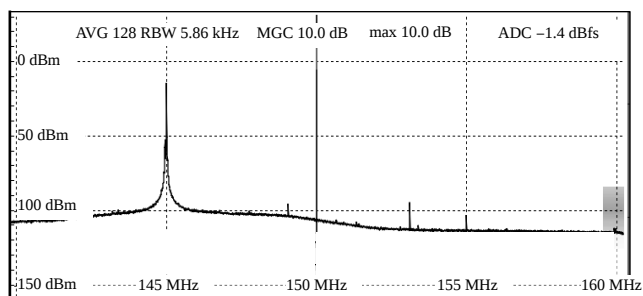


Fig.4 Spurious radiation spectrogram of radio B
图4 B电台杂散射频分量频谱图

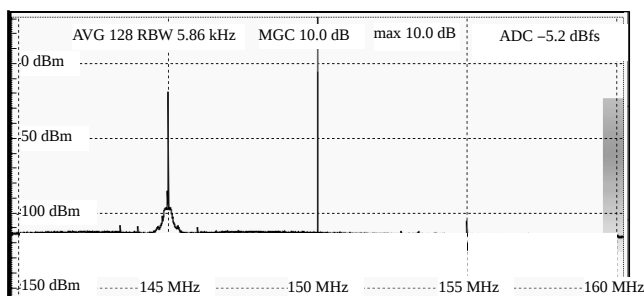


Fig.5 Spurious radiation spectrogram of radio C
图5 C电台杂散射频分量频谱图

在多电台同址工作的情况下, 同时工作的电台数为3台或更多时, 有可能会发生互调干扰^[5]。互调干扰中以三阶互调和五阶互调较为严重。但随着阶数增加, 互调系数显著减小, 互调组合频率分量也明显减小, 因此五阶以上的互调干扰影响通常可忽略^[1]。

本文选取了VHF/UHF频段机载电台进行通信测试分析, VHF/UHF频段机载电台频段一般划分为30~88 MHz, 108~175 MHz, 225~400 MHz, 频段较宽。此频段电台同时工作除了极易产生三阶互调($2f_1-f_2, 2f_2-f_1, 2f_1+f_2, 2f_2+f_1$)干扰外, 二阶互调($f_1+f_2, f_1-f_2, f_2-f_1$)干扰影响也较大。

3 空中电磁环境特性

VHF/UHF频段通信设备无线电信号一般采用直射波方式进行传播, 在地面进行通信时, 受地形地物如山地、丘陵、建筑物、树林等影响较大^[6-7]。相应地, 在此频段地面电磁环境主要受近距离电磁发射设备影响。机载电台升空后, 受地形地物影响很小, 此频段电磁波可进行远距离传播。相应地, 在此频段空中电磁环境将会受较远距离电磁发射设备影响。因此, 相同地点空中电磁环境将比地面电磁环境更为复杂^[8]。

在某地针对VHF/UHF频段地面电磁环境和空中电磁环境分别进行测试, 结果表明, 机载电台在空中同时工作时更易发生互扰串扰现象。图6为测试地点150~170 MHz地面电磁环境, 图7为150~170 MHz空中电磁环境。

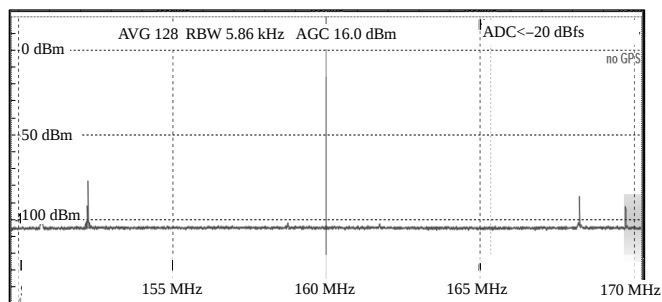


Fig.6 Ground electromagnetic environment of test site from 150-170 MHz
图6 测试地点150~170 MHz地面电磁环境

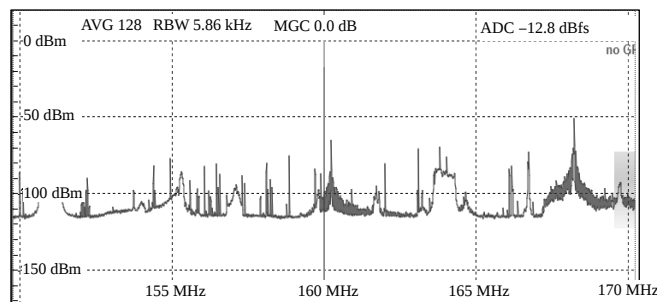


Fig.7 Air electromagnetic environment of test site from 150-170 MHz
图7 测试地点150~170 MHz空中电磁环境

4 测试与结果

在某型飞机上安装了A,B,C3种型号VHF/UHF频段机载电台, 通过随机选取工作频率分别进行同频段通信测试和不同频段通信测试, 并对其互扰情况进行统计。

由表1可以看出, A,B,C电台共址工作在100~175 MHz频段通信时, 一个电台发射, 其他2个电台处于接收状态, 存在较大的互扰现象, 相互影响较大, 无法正常通信。表1中电台接收信号清晰度划分为5级, 其中5级清晰度最高, 1级无影响。

由表2可以看出, A电台工作在108~175 MHz频段, B电台工作在300~400 MHz频段, A电台发射时, B电台容易接收到互调干扰。以A电台工作频率147.7 MHz, B电台工作频率342.675 MHz为例进行分析, 通过对接收的广播信号进行查询, 为97.5 MHz的信号带宽200 kHz的调频广播信号, 互调干扰信号为 $2 \times 97.5 + 147.7 =$

342.7 MHz，为三阶互调 $2f_1+f_2$ 。因此，电台空中通信时，容易受到信号较大的超短波广播频段影响。

表 1 同频段互扰影响测试结果记录
Table1 Impact of co-channel interference

Num.	frequency/MHz	modes	effects
1	radio A: 155	radio A transmits	radio B can receive the signal of radio A(5) and radio C has no influence
	radio B: 145	radio B transmits	radio A can receive the signal of radio B(3) and radio C can also receive the signal of radio B(3)
	radio C: 150	radio C transmits	radio B can receive the signal of radio C(5) and radio A has no influence
2	radio A: 161	radio A transmits	radio B can receive the signal of radio A(5) and radio C can also receive the signal of radio A(3)
	radio B: 143	radio B transmits	radio A can receive the signal of radio B(4) and radio C can also receive the signal of radio B(3)
	radio C: 152	radio C transmits	radio B can receive the signal of radio C(3) and radio A has no influence
3	radio A: 171	radio A transmits	radio B can receive the signal of radio A(5) and radio C has no influence
	radio B: 153	radio B transmits	radio A can receive the signal of radio B(5) and radio C can also receive the signal of radio B(2)
	radio C: 162	radio C transmits	radio A and C have no influence
4	radio A: 160	radio A transmits	radio B can receive the signal of radio A(5) and radio C can also receive the signal of radio A(2)
	radio B: 170	radio B transmits	radio A can receive the signal of radio B(5) and radio C can also receive the signal of radio B(3)
	radio C: 165	radio C transmits	radio B can receive the signal of radio C(5) and radio A has no influence

表 2 不同频段互扰影响测试结果记录
Table2 Impact of mutual interference

frequency of radio A/ MHz	frequency of radio B/ MHz	effects
145.525	308.175	radio B has no influence while radio A transmits
147.700	342.675	radio B can receive broadcast signal while radio A transmits
153.025	337.800	radio B can receive broadcast signal while radio A transmits
158.500	343.925	radio B has no influence while radio A transmits
165.100	357.675	radio B has no influence while radio A transmits
173.800	361.300	radio B can receive broadcast signal while radio A transmits
145.550	374.075	radio B can receive broadcast signal while radio A transmits
323.025	147.700	radio B has no influence while radio A transmits
337.000	153.025	radio B has no influence while radio A transmits
361.300	173.800	radio B has no influence while radio A transmits
374.075	145.550	radio B has no influence while radio A transmits

5 结论

本文通过多部 VHF/UHF 频段机载电台特定空中测试，分析了天线耦合效应、通信设备杂散指标影响、互调干扰以及空中电磁环境特性等影响电台通信效果的多种因素，分析结果适用于地面车载综合通信系统。验证了同址工作电台在同频段及不同频段通信时带来的相互影响程度，充分证明了电磁兼容性的重要性。在消除或降低通信设备之间自扰、互扰、串扰方面需要针对共址滤波器深入研究。

参考文献：

[1] 杨栋,杨宵鹏. 多电台同址工作互调干扰的计算机辅助分析[J]. 电声技术, 2012,36(1):60–62. (YANG Dong,YANG Xiaopeng. Computer aided analysis of radios’ co-site intermodulation interference[J]. Audio Engineering, 2012,36(1): 60–62.)

[2] 方志坚,郭胜祥,沈宣江. 基于 FDTD 方法的车载天线耦合特性分析[J]. 电子质量, 2007(2):61–63. (FANG Zhijian, GUO Shengxiang,SHEN Xuanjiang. Analysis of interference among the vehicular communication antennas by FDTD method[J]. Electronics Quality, 2007(2):61–63.)

[3] 于杰. 地空通信系统中互调干扰的防护[J]. 中国民用航空, 2012(9):38–39. (YU Jie. The prevention of intermodulation interference in air–ground communication system[J]. China Civil Aviation, 2012(9):38–39.)

[4] 胡向峰,张艳花. 接收机的非线性分析[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2008,6(6):440–443. (HU Xiangfeng,ZHANG Yanhua. Nonlinear analysis of receiver[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2008,6(6): 440–443.)

[5] 李阳,杨庆新,闫卓,等. 无线电能有效传输距离及其影响因素分析[J]. 电工技术学报, 2013,28(1):106–112. (LI Yang, YANG Qingxin,YAN Zhuo,et al. Analysis on effective range of wireless power transfer and its impact factors[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013,28(1):106–112.)

[6] 罗斌,生茂棠,吴仕闯,等. 磁谐振耦合式单中继线圈无线功率接力传输系统的建模与分析[J]. 中国电机工程学报, 2013(21):170–177. (LUO Bin,SHENG Maotang,WU Shichuang,et al. Modeling and analysis of magnetic resonance coupling wireless relay power transfer system with single intermediate coil resonator[J]. Proceedings of the CSEE, 2013(21):170–177.)

- [7] 李琼,陈颖. 一种用于无线充电系统的磁耦合天线[J]. 电脑知识与技术, 2016,12(34):261-263. (LI Qiong,CHEN Ying. A magnetic resonant coupling antenna for wireless charging system[J]. Computer Knowledge and Technology, 2016,12(34): 261-263.)
- [8] 廖飞龙,吕元,尹成友. 近地水平对数周期天线的性能分析[J]. 通信对抗, 2006(3):36-39. (LIAO Feilong,LYU Yuan, YIN Chengyou. Performance analysis of horizontal log-periodic antennas over ground plane[J]. Communication Countermeasures, 2006(3):36-39.)

作者简介:



刘伯栋(1977-), 男, 河北省辛集市人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为通信技术.
email:lbd95410@163.com.

于 鹏(1977-), 男, 河南省洛阳市人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为通信技术.

谢 飞(1983-), 男, 合肥市人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为通信技术.

杨会杰(1987-), 男, 河南省宝丰县人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为通信技术.

中国电子学会电路与系统分会“第三十届学术年会” 暨“首届电路与系统周”征文通知

中国电子学会电路与系统分会“第三十届学术年会”暨“首届电路与系统周”将于2019年10月18~22日在北京大学召开。会议由中国电子学会电路与系统分会主办,北京大学承办。首届电路与系统周会议主题包括电路与系统理论与技术、大规模集成电路设计与制造技术、神经网络、图论与系统优化、生物计算与生物信息处理、混沌与非线性电路等,设置特邀报告、主题报告和专题报告。我们诚征电路与系统及相关领域最新研究进展的学术论文(中英文均可)。会议征文内容及投稿如下:

一、征文范围

会议征文方向主要包括(但不限于)以下主题:

1. 电路与系统理论与技术
2. 大规模集成电路设计与制造技术
3. 图论与系统优化
4. 生物计算与生物信息处理
5. 混沌与非线性电路
6. 传感器、无线传感网和物联网
7. 信号与信息处理系统

二、征文要求

1. 投稿须是未曾在国内外公开发表过的文章,无弄虚作假,无一稿多投,不涉及国家秘密。
2. 投稿论文中英文均可。投稿首页请附作者信息页(包括题目、作者姓名、作者单位、摘要、关键词、正文、参考文献)。中文论文请包括英文题目、作者、作者单位、摘要和关键词;英文论文请附上中文题目、作者、作者单位、摘要和关键词。论文摘要应包括目的、方法、结果、结论四部分。
3. 会议论文格式请参照会议网站上的附件—《论文模板》。

三、论文提交

采用中科院国际会议服务平台 <http://cscas30.csp.escience.cn/>投稿。登录网站后请先注册,后投稿。
也可以将论文发送到邮箱 cscas@mail.ie.ac.cn,注明电路与系统周论文投稿。

四、重要日期

论文录用截止日期: 2019年9月20日
论文投稿通知日期: 2019年10月1日
论文正稿提交日期: 2019年10月8日

更多详情请登录网站: <http://www.iaeej.com>