

# 一种解决 FMCW 雷达发射机功率泄漏的方法

王乐<sup>1</sup>, 习远望<sup>2</sup>, 刘辉<sup>2</sup>

(1. 西安电子工程研究所 人力资源部, 陕西 西安 710100; 2. 西安电子工程研究所 总体 3 部, 陕西 西安 710100)

**摘要** 针对 3 mm 波段调频连续波雷达发射信号泄漏问题, 在分析泄漏机理的基础上, 提出相应的对消技术改进方案, 只要合理设定、调整两个支路间的耦合量和幅度衰减量, 在保证参考信号与泄漏信号幅度基本相等的情况下, 只需通过移相器调整对消信号的相位, 便可达到对消泄漏信号的目的, 降低了泄漏信号对接收机灵敏度的影响, 实验结果与分析结果基本一致。

**关键词** 信号泄漏; 矢量对消; 调频连续波

中图分类号 TN957.3 文献标识码 A 文章编号 1007-7820(2013)02-057-03

## A Method for Solving Frequency Modulation Continuous Wave Radar Signal Leakage

WANG Le<sup>1</sup>, XI Yuanwang<sup>2</sup>, LIU Hui<sup>2</sup>

(1. H&R Department, Xi'an Electronic Engineering Research Institute, Xi'an 710100, China;

2. No. 3 Final Department, Xi'an Electronic Engineering Research Institute, Xi'an 710100, China)

**Abstract** In view of the 3 mm band frequency modulation continuous wave radar signal leakage problem, an analysis is made of leakage mechanism, based on which the corresponding cancellation techniques are proposed. Cancellation can be realized by proper setting of the amount of coupling between two branches and the amplitude attenuation value, and adjustment of the phase of the cancellation signal by the phase shifter if the reference signal and leakage signal are roughly equal in amplitude, thus reducing the effect of leakage signal on receiver sensitivity. The experimental result and the analysis result is consistent.

**Keywords** signal leakage; vector cancellation; frequency modulation continuous wave

随着电子信息技术的迅速发展,雷达已应用于海、陆、空等各个领域,承担着军事和民用任务,可进行定位测速,搜索,侦查等,它不仅是夺取电磁频谱控制权的主要方面,也是获取目标信息和控制信息的主要手段。其中,具有抗侦察与抗干扰能力的“隐身雷达”——连续波雷达,容易在小峰值功率条件下获得大的时宽、带宽乘积,测距精度高,在频率域内抑制杂波能力强、没有速度模糊、体积小、重量轻,被截获概率低<sup>[1]</sup>。然而,由于连续波体制雷达在时间上收发没有可分性,导致其发射机对接收机的影响不能像脉冲体制雷达那样可以采用收发开关来消除。另外由于受到体积、重量、成本等限制,大多数连续波体制的雷达导引头采用单天线技术,这样收发隔离不足使发射信号泄漏到接收机中将产生泄漏信号,信号泄漏将给连续波体制雷达带来如下两个问题<sup>[2-8]</sup>。首先,强泄漏信号会使中放饱和,甚至使微波混频器或前置低噪声放大器饱和。其次,发射机泄漏信号的噪声边带落入到接收带宽之内将引起接收机灵敏度下降。

所以设计时必须采取措施降低泄漏信号噪声对接收机灵敏度的影响。对消技术是解决 FMCW 雷达信号泄漏问题的一个常用方法。

### 1 对消技术的基本思想

对消的基本思想是产生泄漏信号矢量的估计矢量,应用线性叠加原理和原矢量进行对消。为便于分析,先考虑单一矢量  $U_L$  的情形。由数学分析得,矢量  $a$ 、 $b$  及  $b'$  的正交矢量  $b'$  存在如下关系<sup>[9]</sup>

$$b' = P \cdot b \quad (1)$$

其中,  $P = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ , 设  $b = b_x i + b_y j$ ,  $a = a_x i + a_y j$ , 由式(1)得  $b' = b_x j - b_y i$ , 又因为

$$(a \cdot b) \times b + (a \cdot b') \times b' = [(a_x i + a_y j) \cdot (b_x i + b_y j)] \times (b_x i + b_y j) + [(a_x i + a_y j) \cdot (b_x j - b_y i)] \times (b_x j - b_y i) = (a_x b_x^2 + a_y b_x b_y) i + (a_x b_x b_y + a_y b_y^2) j - (a_y b_x b_y - a_x b_y^2) i + (a_y b_x^2 - a_x b_x b_y) j = (b_x^2 + b_y^2) a_x i + (b_x^2 + b_y^2) a_y j = |b|^2 \cdot a \quad (2)$$

故式(3)成立

$$\frac{-1}{|b|^2} ((a \cdot b) b + (a \cdot b') b') = -a \quad (3)$$

通过式(2)可以得到如图 1 所示的矢量分解对消

收稿日期: 2012-08-27

作者简介: 王乐(1986—), 女, 硕士研究生。研究方向: 信号处理。E-mail: 836040823@qq.com

原理图,其中矢量  $a$  对应矢量  $U_L$ ,矢量  $b$  对应矢量  $U_r$ ,矢量  $b'$  对应矢量  $U'_r$ 。

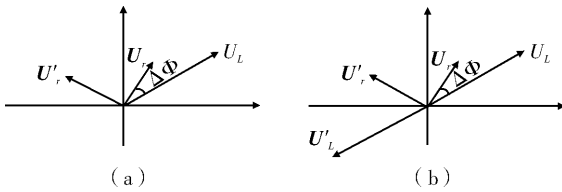


图1 泄漏信号矢量分解对消原理图

由图 1(a) 知,  $U_L$  在  $U_r$  和  $U'_r$  上的投影分别为式(4)、式(5)

$$\frac{U_r \cdot U_L}{|U_r|} = |U_L| \cos(\Delta\varphi) \quad (4)$$

$$\frac{U'_r \cdot U_L}{|U'_r|} = |U_L| \sin(\Delta\varphi) \quad (5)$$

$U'_r = PU, P = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ , 将  $U_r$  和  $U'_r$  分别放大到

$\frac{U_r \cdot U_L}{|U_r|^2}$  和  $\frac{U'_r \cdot U_L}{|U'_r|^2}$  倍, 矢量相加后便可得到如图 1(b)

所示的与  $U_L$  幅度相等、相位相反的矢量  $U''_r$ 。

根据以上分析, 对消技术的系统原理框图如图 2 所示。

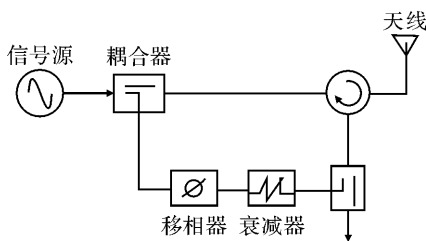


图2 泄漏对消系统原理框图

雷达输出信号经耦合器分为两路: 一路为发射信号; 另一路为参考信号。由于收发隔离不够, 发射信号将泄漏到接收通道。通过移相器与衰减器对参考信号的调整, 使参考信号和泄漏信号幅度相等, 相位相反进行叠加, 便可与泄漏信号对消。

在实际工程应用中, 通常使用移相器、衰减器或矢量调制器对信号进行幅度和相位的调整, 但在 3 mm 波段, 没有矢量调制器可供使用, 所以使用衰减器和移相器进行幅度和相位的调整。

## 2 实验分析

实验框图如图 3 所示。

将信号源产生的 3 mm 信号通过耦合器分为两路, 一路为将要被对消的信号, 即泄漏信号, 另一路为参考信号。

实验时, 通过合理设定、调整两个支路间的耦合量

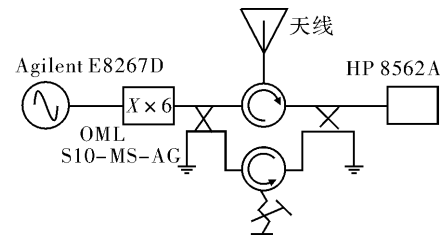


图3 泄漏对消实验框图

和幅度衰减值, 使得参考信号与泄漏信号幅度基本相等, 这样只需通过移相器调整对消信号的相位, 使之与泄漏信号相反, 便可达到对消的目的。实验中, 用可变短路器起到 3 mm 移相器的作用。

可变短路器和环形器组成的模块, 通过改变可变短路器的长度, 使信号通过传输线到短路点再反射回来, 这时, 相移是传输线电长度的两倍。依据传输线理论<sup>[3]</sup>, 线上两点之间的相位差, 等于相移常数  $\beta$  和两点之间距离  $R$  的乘积, 即与  $R$  成正比而与  $\lambda_g$  成反比<sup>[10]</sup>

$$\Delta\phi = \beta R = \frac{2\pi R}{\lambda_g} \quad (6)$$

其中,  $\Delta\phi$  为传输线上两点间的相位差;  $\beta$  是相移常数;  $\lambda_g$  为工作波长;  $R$  是传输线上两点间的距离差。

当  $R$  或  $\beta$  改变时, 相位差会有一个变化量, 就可以实现移相的目的。可变短路器就是通过改变距离差实现的相位变化。

## 3 实验结果

泄漏对消实验实物图如图 4 所示。

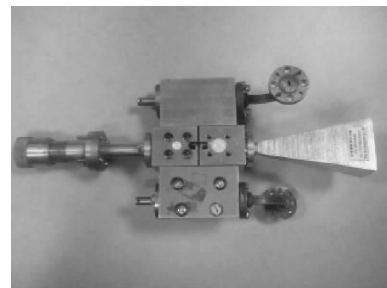


图4 泄漏对消实验模块实物图

图 5, 图 6 分别为泄漏对消前和对消后的信号幅度。

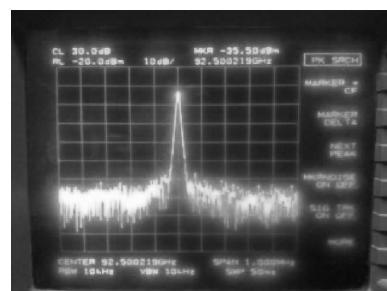


图5 未对消幅度



图6 对消后幅度

由图5和图6知,对消前信号功率为 $-35.5\text{ dBm}$ ,对消后信号功率为 $-76.33\text{ dBm}$ ,可以得到 $40.83\text{ dBc}$ 的隔离度改善。

#### 4 结束语

通过理论分析和实验证明,针对 $3\text{ mm}$ 调频连续波雷达发射信号泄漏问题,只要合理设定、调整两个支路间的耦合量和幅度衰减值,保证参考信号与泄漏信号幅度基本相等的情况下,只需通过移相器调整对消信号的相位,便可达到对消泄漏信号的目的,降低了泄漏信号对接收机灵敏度的影响。实验测试结果证明这种方法有效可行。

(上接第53页)

#### 4 结束语

详细描述了脉冲雷达发射机的工作原理和内部电子元器件容易出现的故障现象和原因,以及出现故障后相应的解决措施,为发射机的安全运行提供了依据和保障。

#### 参考文献

- [1] 丁鹭飞,耿富录,陈建春. 雷达原理[M]. 北京:电子工业出版社,2001.
- [2] 杨传凤,袁希强,黄秀韶,等. CINRAD/SA 雷达发射机故

(上接第56页)

但交叉定位受天线接收机波束宽度的限制,定位误差较大,接收天线在方位角进行机扫,对信号的接收测量较难同步<sup>[5-6]</sup>。所以还有待改进,使定位更加精确。

#### 参考文献

- [1] 赵国庆. 雷达对抗原理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1999.
- [2] 丁鹭飞,耿富录. 雷达原理[M]. 西安:西安电子科技大学

#### 参考文献

- [1] STOVE A G. Linear FMCW radar techniques [J]. IEE Proceedings - F, 1992, 139(5): 687 - 699.
- [2] 张强. 强噪声背景下噪声对消技术的研究[D]. 大连:大连海事大学,2010.
- [3] 吕波,郑秋容,袁乃昌. 一种改善雷达收发隔离的新方法[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(8): 1595 - 1597.
- [4] 王倡献. 移相器. 有源电感与混频器三种射频器件的研究[D]. 成都:西南交通大学,2007.
- [5] 郭联合,王东进. 毫米波连续波雷达成波泄漏对消[J]. 现代雷达, 2001, 23(4): 41 - 45.
- [6] 齐锋. 连续波雷达宽带泄漏信号对消技术研究[D]. 南京:南京理工大学,2007.
- [7] 韩晓东. 连续波雷达收发隔离问题的研究[D]. 南京:南京理工大学,2006.
- [8] 周永辉. 连续波雷达发射泄漏抑制技术研究[D]. 南京:南京理工大学,2004.
- [9] 郝舟剑,王东进. 毫米波连续波雷达成波泄漏对消理论分析与系统仿真[J]. 现代雷达, 1998, 20(2): 1 - 12.
- [10] 王倡献. 移相器有源电感与混频器三种射频器件的研究[D]. 成都:西南交通大学,2007.

障诊断技术与方法[J]. 气象, 2008, 34(2): 115 - 118.

- [3] 杨瑜. 无载波脉冲探地雷达发射机技术研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2007.
- [4] 徐晓荣. 基于 CPLD/FPGA 的雷达发射机脉冲工作比检测电路[J]. 雷达科学与技术, 2006, 4(1): 61 - 64.
- [5] 强伯涵,魏智. 现代雷达发射机的理论设计和实践[M]. 北京:国防工业出版社,1985.
- [6] 信息产业部电信研究院. 无线电设备杂散发射技术要求和测量方法[S]. 北京:中国通信标准化协会,2006.
- [7] 郑新. 脉冲雷达发射机频谱控制的研究[J]. 现代雷达, 2002(2): 71 - 76.

出版社,2002.

- [3] 王全全,于基恒. 一种二维无源交叉定位方法[J]. 雷达科学技术, 2004, 2(6): 333 - 336.
- [4] 胡来招. 无源定位[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [5] 余青松. 无源探测定位技术研究[D]. 成都:电子科技大学,2007.
- [6] 孟祥飞. 基于扩展卡尔曼滤波算法的无源定位效果分析[J]. 电子科技, 2012, 25(3): 25 - 27.