

低成本反辐射靶标方案研究

曹汝杰

(总装驻黄河厂军代室,陕西 西安 710043)

摘 要: 提出一种低成本的全频段微波辐射源方案,该方案由频率源、放大器和天馈线系统组成,采用计算机控制的直接频率合成技术,对发射功率和天线增益进行优化设计,能够模拟 P、L、S、C、X、KU 频段的雷达信号,满足反辐射导弹和反辐射无人机的训练、打靶。

关键词: 反辐射导弹;靶标;频段;频率源

中图分类号: TP974

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)10-0101-03

Low Cost Anti-radiation Target Research

CAO Ru-jie

(Military Representative Office in Huanghe Factory of GAD, Xi'an 710043, China)

Abstract: Propose A kind of scheme of low cost whole band microwave radiation, this scheme is form by frequency source, amplifiers and antenna feeder system, computer control technology; the directly combining technology; transmit power and antenna gain optimization design, can simulate P, L, S, C, X, KU frequency radar signal, meet the anti-radiation missile and the anti-radiation uav training, shooting.

Key words: anti-radiation missile; target; band; frequency source

1 引言

随着未来信息化战争的发展,制电磁权成为决定战争胜负的关键,为有效遏制周边敌对势力,做好应急作战准备,加大在复杂电磁环境下部队训练力度,特别是训练部队在近似真实环境下,用反辐射导弹对周边敌对势力雷达目标(雷达)攻击的能力,有必要研制模拟周边境外雷达的系列靶标^[1]。通过训练和试验,提高部队在复杂电磁环境下的战斗力,同时为反辐射导弹的改进提供依据,也可为研制通用的雷达诱饵提供技术支持^[2-3]。

2 对靶标的技术要求

(1) 靶标在 ARM 最大射程处的功率应大于 ARM 的灵敏度;靶标与雷达诱饵的设计出发点不同。雷达诱饵设计时,诱饵的有效发射功率(即脉冲功率乘诱饵天线增益的乘积)应大于雷达天线旁瓣方向的有效辐射功率;而靶标设计时,主要考虑反辐

射导弹能否在其射程内捕获雷达信号、精确跟踪目标。ARM 的灵敏度约为 $-70 \sim -110\text{dBm}$ 。这取决于单脉冲接收机的形式。早期的百舌鸟 ARM 接收机为高放+检波,其灵敏度为 -40dBm ;现代的 ARM 其瞬时带宽达 500MHz ,故其灵敏度也为 -70dBm 。

(2) 信号参数(如频率及其变化、脉宽、重频及其变化、脉内调制等)与所模仿的雷达一致。反辐射导弹利用重频跟踪器从多部雷达信号中选通其中一部跟踪,如果雷达的重频捷变或按某种规律变化时,重频跟踪将变得很困难。换言之,ARM 的跟踪能力不仅与雷达功率有关,也与雷达信号的参数变化方式有关。因此,靶标应能产生脉冲参数与被模拟雷达参数相应的各种信号。

(3) 极化通用。雷达的极化形式有水平、垂直极化两类。为模拟各种雷达,靶标应采用圆极化。

(4) 靶标应宽波束,适应 ARM 能从主要方向攻击靶标的需要。

现代雷达大多用相控阵天线,由于阵元间的互

耦、阵列尺寸的加工精度和馈电的幅、相误差会影响方向图形状,实现超低旁瓣很困难.因此下面计算时以低旁瓣天线为对象.

3 靶标设计

(1) 频段选择
反辐射导弹可攻击搜索雷达、目标指示雷达和火控雷达,但重点攻击对突防有重大威胁的火控雷达和有重要价值的雷达.就目前来看,C波段雷达对我方威胁最大,第一阶段设计的靶标选C波段.

(2) 靶标发射功率计算
ARM接收信号功率:
$$P_r = \frac{PGA}{4\pi R^2} \gamma$$
式中, P 为靶标功率, G 为靶标的天线增益, A 为ARM天线接收面积, R 为ARM与靶标距离, γ 为天

线极化损失.反辐射导弹的天线接收面积 A 与其天线增益 G_A 的关系:

$$A = \frac{G_A \lambda^2}{4\pi}$$
前已指出,ARM天线的搜索角为 $60^\circ \sim 70^\circ$,则其天线增益 G_A :

$$G_A = \frac{36\,000}{60 \times 60} = 10$$
(以 60° 搜索角为例计算)
考虑了靶标天线的极化损失 3db,当 R 为 70km, $P_r = -70\text{dbm}$ 时,要求的靶标功率为
$$P = \frac{(4\pi)^2 R^2}{\lambda^2 G_A G \gamma} P_r = 22 + 97 - 100 - 20\log\lambda - 10 - 10\log G + 3 = 12 - 10\log G - 20\log\lambda$$
对于各波段雷达,靶标功率(设 $G = 0\text{db}$) 如表 1 所示.

表 1 靶标功率($G=0\text{db}$ 时)

波段/GHz	0.4~0.45	1.2~1.4	2.6~3.4	5~6	10	12~18
$20\log\lambda$	-2.5	-13	-20	-26	-30.4	-34
P/dBW	15.5	26	33	39	44	54
P/kW	0.035	0.398	1.995	7.9	25	251

如果反辐射导弹的接收灵敏度为 -85dBm ,最大工作距离为 140km,靶标天线增益为 2dB,要求靶标的功率(见表 2):

$$P = \frac{(4\pi)^2 R^2}{\lambda^2 G_A G \gamma} P_r = 22 + 102 - 115 - 20\log\lambda - 10 - 2 + 3 = 0 - 20\log\lambda$$

表 2 靶标功率($G=2\text{db}$ 时)

波段/GHz	0.4~0.45	1.2~1.4	2.6~3.4	5~6	10	12~18
$20\log\lambda$	-2.5	-13	-20	-26	-30.4	-34
P/dBW	2.5	13	20	26	30.4	34
P/kW	0.001 7	0.02	0.1	0.389	1.09	2.51

(3) 系列靶标的原理框图如图 1 所示.
(4) 频率源
现代雷达的频率有的固定,有的频率捷变.例如,爱国者系统的雷达 AN/MPQ-53 的频率为 5.259~5.736GHz,带宽 500MHz,频率间隔 3MHz,共 160 个频点.可变化频率的源有:VCO 或 DTO. VCO、DTO 频率稳定性差,但便宜;锁相频综、直接频率合成器的频稳高,但锁相频综的频率切换速度慢,约几十至几百微秒,不能模拟多部雷达信号的频率变化,而直接频率合成器的频率切换速度快,但成本较高,方案应采用直接频率合成器.
现代雷达的工作波形有常规脉冲、线性调频和相位编码等,其中绝大多数为线性调频.爱国者制导

雷达 AN/MPQ-53 的信号波形如图 2 所示.
MPQ-53 雷达信号有 6 种组合.
产生线性调频信号的方法有 I、Q 调制器和 DDS.
I、Q 调制器产生线性调频、相位编码信号的原理:
线性调频信号表示为
$$u(t) = \cos(\omega_0 t + \frac{1}{2} \mu t^2)$$
$$= \cos \frac{1}{2} \mu t^2 \times \cos \omega_0 t - \sin \frac{1}{2} \mu t^2 \times \sin \omega_0 t$$
相位编码信号表示为
$$u(t) = \cos(\omega_0 t + \phi(t)) = \cos \phi(t) \times \cos \omega_0 t - \sin \phi(t) \times \sin \omega_0 t$$

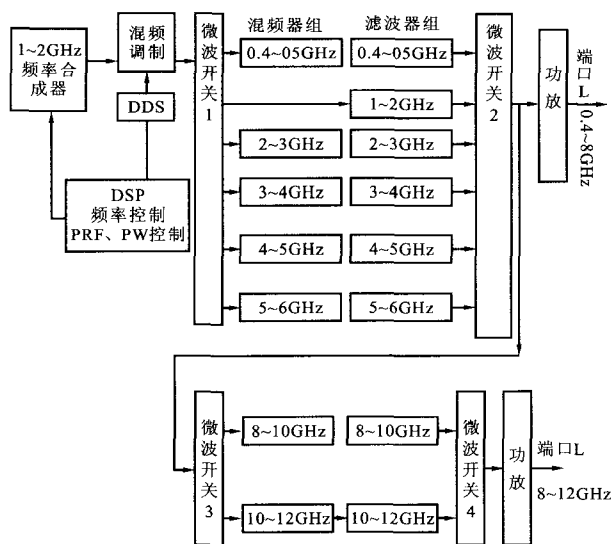


图1 系列靶标的原理框图

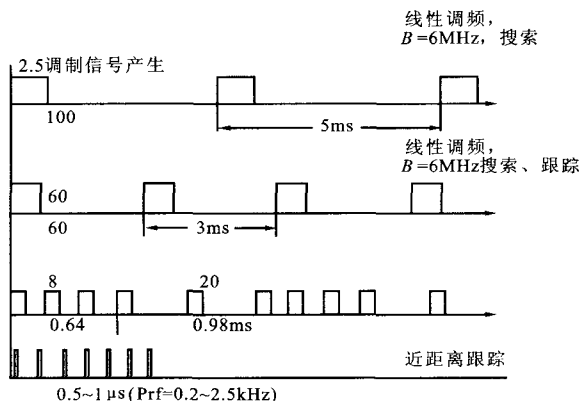


图2 AN/MPQ-53的波形

由上述二式可见,只要产生 ω_0 的正交分量,这些分量与 $\cos\phi(t)$ 、 $\sin\phi(t)$ 相乘求和,便可产生线性调频信号或相位码信号。

4 应重点关注的几个问题

(1) 考虑到反辐射训练是一种高成本、空地互动的训练,反辐射武器从发现、锁定目标到摧毁目标时间较长,所以反辐射靶标的可靠性必须很高,靶标

的频率源、功率放大器,天馈线最好采用热储备,确保反辐射武器在训练过程中靶标不出故障。

(2) 功率放大链所采用器件的选择既要考虑被模拟雷达的功率,也要考虑成本,虽然可选择的有行波管、速调管、多注速调管和前向波管,但这些器件的性能指标、适用范围和经济成本差别很大,一定要综合考虑。

(3) 天线的波束宽度与天线增益是一对矛盾。当靶标天线固定时波束宽度应当复盖一定的航路范围,方案中采用锥或柱螺旋天线。由于功放与天线相隔一定距离,馈线引起的功率衰减问题需要考虑。可用馈线有低耗同轴电缆和波导。同轴电缆铺设方便,损耗大,且难以承受大功率。因此建议采用波导作馈线。

5 结束语

由于反辐射导弹和反辐射无人机这类武器装备自身的特殊性,训练和打靶时必须提供有较强功率、能够模拟雷达信号的频率源来做靶标,这些靶标不但成本较高,而且是一次性使用;采用上述方案研制的靶标可以把频率源和放大器部分同天馈线系统分置,将频率源和放大器部分放入掩体或保护起来,每次打靶只损失一个天馈线系统,频率源和放大器部分可以重复使用,这样就大大地降低了训练成本。

参考文献:

- [1] Merrill I Skolnik. 雷达手册[M]. 王军,译. 北京:电子工业出版社,2003:21-22.
- [2] 龙笔虎,孙国政. 用于反辐射导弹试验及对抗演练的雷达系统研究[J]. 舰船电子工程,2001(2):60-64.
- [3] 刘伟,曾涛,曾大治. 相控阵靶标雷达模拟新方法[J]. 北京理工大学学报,2009,29(3):19.

作者简介:

曹汝杰 男,(1965-),高级工程师.研究方向为雷达电子系统。