

一种舰用短波宽带天线的效率及增益分析*

陈海涛

(中船重工七院第七二二研究所 武汉 430079)

摘要

本文对带有预匹配器的一类短波宽带天线的效率和增益进行了分析，并将计算结果与国外有关研究报告所公布的数据进行了对比。分析结果表明，在天线和无源匹配网络之间加入由有耗元件组成的预匹配器，在改善天线的宽带性能的同时，将在某一部分频段上牺牲较大的增益。

关键词 短波宽带天线 预匹配 效率 增益

1 前言

随着现代高频通信技术的发展，短波宽带天线成为人们研究的一个热点。总的来说，短波宽带天线可分为两种：一种是以较大的体积来获得天线的宽带性能，如舰用双扇天线[1]、双鞭天线[2]等；另一种就是以牺牲天线的效率来获得宽带性，如加载天线[3]。而在一些特殊的使用场合中，如小型水面舰艇、潜艇等，由于环境的限制，天线的体积不可能做得很大，往往只能使用单鞭天线。鞭天线实现宽带性的途径一般是在天线上进行阻抗加载或者是在天线与无源匹配网络之间加入有耗的预匹配器。对于舰载短波鞭天线而言，其高度也受到限制，从而使得天线在短波低频端时电长度很小（往往只有 0.1λ 左右）。这样一来，单纯依靠在天线进行阻抗加载，还难以在整个频段内满足宽带性能要求（美国海军要求 $2-30MHz, VSWR \leq 3.0$ ）。在文献[2]中提出了一种在天线上和天线根部同时加载

的方案，可以将之看作是一种既有阻抗加载，又带有预匹配器的天线形式。对于宽带单鞭天线而言，牺牲增益的多少，是衡量其性能优劣的一个重要指标。本文就以文献[2]所提出的这种天线为例，来分析带有预匹配器的天线的效率和增益，并以此评估此类天线的性能。

2 理论分析

在天线与其无源匹配网络之间接入有耗的预匹配器，实际上等同于给天线加上一个有耗匹配网络。那么整个系统损耗的功率应为天线本身损耗的功率加上预匹配器损耗的功率。从目前的有关资料来看，这种预匹配器可分为两种：串联式和并联式。如下图所示。

下面分别对这两种形式进行分析。设天线输入阻抗为 Z_{in} ，预匹配器阻抗为 Z 。天线辐射体自身的效率为 η ，增益为 G 。

（1）串联式

设天线输入电流为 I ，则天线输入功率

* 收稿日期：2001年7月6日

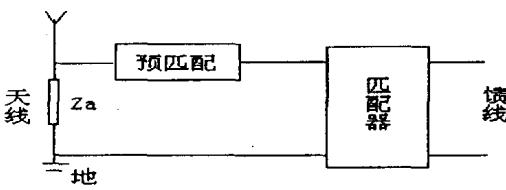


图 1a 预匹配器与天线串联

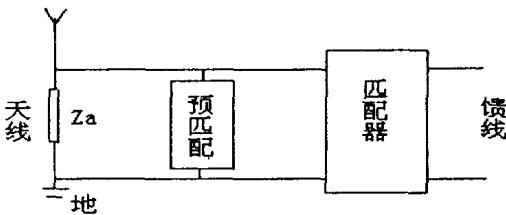


图 1b 预匹配器与天线并联

为：

$$P_a = \frac{1}{2} |I|^2 \cdot Re(Z_{in}) \quad (1)$$

预匹配器消耗的功率为：

$$P_t = \frac{1}{2} |I|^2 \cdot Re(Z) \quad (2)$$

所以匹配网络的效率为：

$$\eta_m = \frac{P_a}{P_a + P_t} = \frac{Re(Z_{in})}{Re(Z_{in}) + Re(Z)} \quad (3)$$

因此，天线系统的效率为：

$$\eta_s = \eta \cdot \frac{Re(Z_{in})}{Re(Z_{in}) + Re(Z)} \quad (4)$$

天线系统的增益为：

$$G_s = G \cdot \frac{Re(Z_{in})}{Re(Z_{in}) + Re(Z)} \quad (5)$$

(2) 并联式

设天线输入电压为 V ，则天线的输入功率为：

$$P_a = \frac{1}{2} \left| \frac{V}{Z_{in}} \right|^2 \cdot Re(Z_{in}) \quad (6)$$

预匹配器消耗的功率为：

$$P_t = \frac{1}{2} \left| \frac{V}{Z} \right|^2 \cdot Re(Z) \quad (7)$$

匹配网络的效率为：

$$\eta_m = \frac{P_a}{P_t + P_a} = \frac{\frac{Re(Z_{in})}{|Z_{in}|^2}}{\frac{Re(Z_{in})}{|Z_{in}|^2} + \frac{Re(Z)}{|Z|^2}} \quad (8)$$

天线系统的效率为：

$$\eta_s = \eta \cdot \frac{\frac{Re(Z_{in})}{|Z_{in}|^2}}{\frac{Re(Z_{in})}{|Z_{in}|^2} + \frac{Re(Z)}{|Z|^2}} \quad (9)$$

天线系统的增益为：

$$G_s = G \cdot \frac{\frac{Re(Z_{in})}{|Z_{in}|^2}}{\frac{Re(Z_{in})}{|Z_{in}|^2} + \frac{Re(Z)}{|Z|^2}} \quad (10)$$

3 计算实例和结果分析

文献[2]中提出了一种舰用单鞭短波宽带天线。其天线形式如图 2 所示。天线高为 12m，半径 15cm，在天线上距根部 8.55m 处接入一个由电阻和电感并联的复阻抗，在天线根部和匹配器之间再接入一个由电阻、电感、电容并联的复阻抗，对于这个复阻抗，可以将之看作是一个预匹配器。

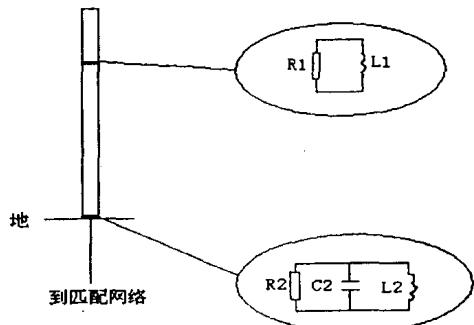


图 2 带预匹配器的短波宽带天线

$$R1 = 300\Omega \quad L1 = 5\mu H$$

$$R2 = 300\Omega \quad L2 = 10\mu H \quad C2 = 300\text{pF}$$

天线自身是一个集总阻抗加载的天线，其增益和效率可由矩量法计算，具体计算方法可参考有关讲述矩量法的文献[4][5]，此处不再赘述。根据前面的分析，笔者计算了该天线系统的效率和水平方向的增益，如图 3，图 4 所示，其结果与文献[2]中公布的数据基本一致。

从图 3、4 中可以看出，预匹配器在最低端消耗了大量的功率，致使天线在最低端的效率和增益很低。而随着频率的升高，预匹配

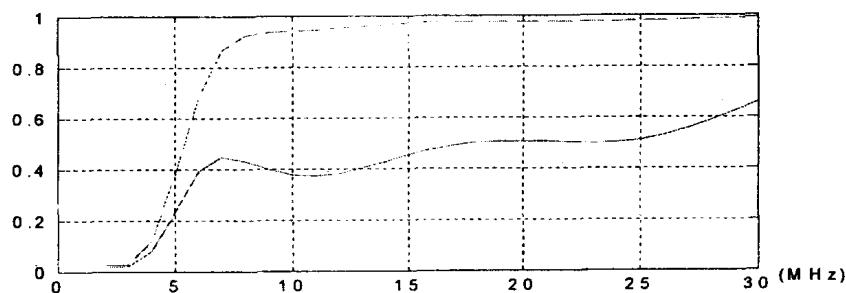


图 3 效率曲线图
实线为天线系统的效率 虚线为匹配网络的效率

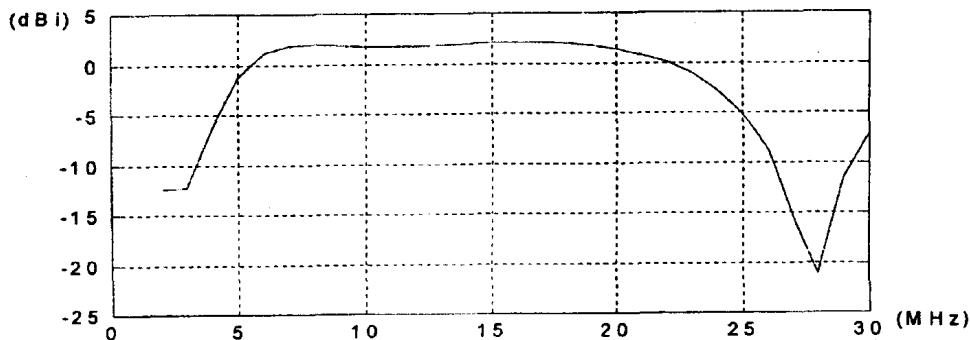


图 4 水平方向的增益曲线图

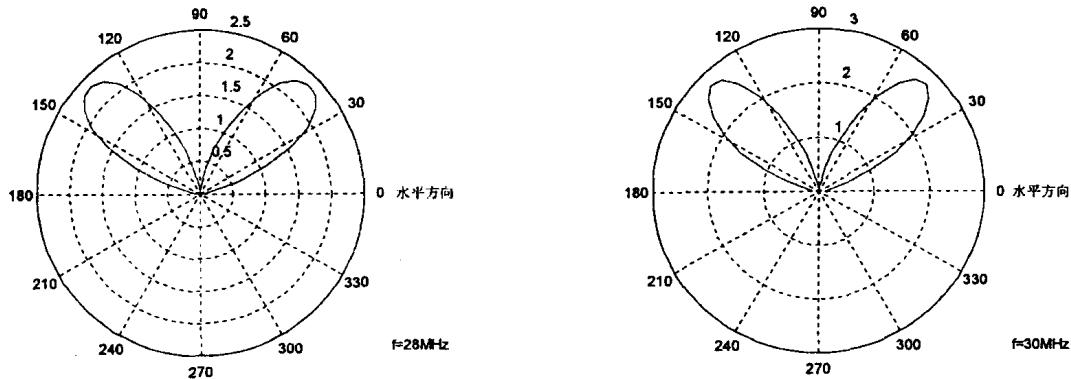


图 5 频率为 28MHz 和 30MHz 时天线垂直面的方向图

器所消耗的功率迅速下降,匹配网络的效率和天线增益迅速提高。另外,从图 4 中还可以发现,当频率到高端时,增益值反而降低了,并在 28MHz 达到最低点。这是因为当天线工作在高端时,其最大辐射方向已经不在水平方向了。图 5 中给出了天线在 28MHz 和 30MHz 时垂直面的功率增益方向图(因为天线位于地面上,故而只有上半平面的方向图)。

4 结论

本文针对为获得短波鞭天线的宽带性而在其根部加预匹配器的情形,分析了其效率和增益,指出这种方案实质上是一种有耗匹配网络的形式。分析结果表明,加预匹配器将大大降低天线在某一频段的效率和增益。如果对其进行优化设计,就有可能在尽可能小的频段内牺牲较大的增益,而(下转第 10 页)

6 结束语

随着光电探测设备及光电武器系统日趋广泛应用,舰载激光有源干扰技术愈益倍受人们的关注,并必将获得迅速的发展。迄今,舰载激光有源干扰的作用还主要是损坏敌方的光电探测、侦察、火控、导航及制导装置。随着激光技术的不断发展,强激光干扰装置必将在对付精确制导武器中发挥快速而又灵活之优势,在防御、保护作战舰队、大型舰艇及重点军事设施等方面发挥重要的作用。随着激光技术进一步的发展,采用强激光束直接摧毁任何来袭目标亦指日可待。激光武器之问世,必将对现代战争产生重大的影响。2015~2025年,激光武器将会成为一些军事大国的主战武器之一。在21世纪的海战战场上,拥有先进激光武器的国家必将占据海战的主导地位。在电子化的现代海战中,防御系统采用低能激光武器破坏敌方的电子设备,真可谓如鱼得水。而直接用于摧毁飞机和舰船的高能激光武器一旦发展成熟,必将成为威力巨大的首选重要攻击性武器。因此,激光武器的发展必将进一步引起军事上的变革,也将会导致新的军备竞赛,并将会改变未来数十年内全球的军事格局。

从最近几次战争中激光制导武器的使用不难看出,在21世纪高技术局部战争中,谁掌握了光电制导武器的优先使用权,谁便掌握住海战的主动权。为在21世纪反侵略战争中立于不败之地,我国必须及早大力发展战略对抗系统。我国的舰载激光有源干扰技术,应根据我国国情、军情及海情之特点,循序渐进,逐步发展。

参考文献

- [1]瞿宝林等.外军防空体系发展分析情报研究报告.总装备部情报研究所,1999.8
- [2]97光电技术研讨会及学术交流会论文集.航天工业总公司光电技术信息网,安徽黄山,1997.10
- [3]侯印鸣等.综合电子战——现代战争的杀手锏.国防工业出版社,2000.1
- [4]刘天华,王云萍.高能激光武器综述.现代军事,2001.6,pp:42—44

作者简介

蒋庆全(1942.12)男,广东东莞人,1963年毕业于通信兵学院电子机械专业。南京电子工程研究所高级工程师。中国电子学会高级会员。香港世界华人远程学院科技信息专业终身教授、研究员。中国管理科学研究院特约研究员。四川省世界经济学会特约研究员。从事电子对抗科技信息处理与研究。

(上接第37页)

不影响其余大部分频段内的增益。因此,在一些特殊场合,当对天线宽带性能要求很高,而天线尺寸又受到很大限制时,可以采用这种方案。

参考文献

- [1]R. L Goodbody. Design of Shipboard HF Antennas for Broadband Characteristics. Naval Ocean Systems Center. 1979. AD-A076 539

[2]R. S. Abramo. Broadband, High-Power, 2-30MHz, Twin-Whip Antenna. Naval Ocean Systems Center. 1994. AD-A277 619

[3] R. A. Formato. Improved Impedance Loading for Wideband Antennas. Electronics World (UK), March 1997, P. 102

[4] R. F. Harrington. Field Computation by Moment Methods. 1968

[5]李世智.电磁辐射与散射问题的矩量法.北京:电子工业出版社,1985.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>