

天线系统性能对跟踪精度的影响

王卫民 南京电子技术研究所, 南京 210013

〈摘要〉 本文定量分析了跟踪系统天线性能与差斜率、跟踪精度的关系。通过分析指出, 在满足跟踪精度和工程可实现的前提下, 应合理分配零值深度这个重要指标。通过产品的实验表明, 所给的分析与实测结果吻合。

〈关键词〉 天线系统、 跟踪系统、 跟踪精度

一、 引言

众所周知, 跟踪系统天线的一些重要性能比如差方向图的差斜率、零值深度(下称零深)是衡量系统跟踪精度的重要指标之一, 但它们是如何影响跟踪精度的, 应经过精确的定量计算, 不能想当然的认为: 零深愈深, 系统跟踪精度愈高, 从而导致不顾工程实际的可实现性, 偏面追求零深这一指标的现象。本文的目的在于试图说明零深、差斜率、定向灵敏度、跟踪精度之间的关系, 以便既能兼顾工程的可实现性, 又能达到跟踪精度的要求。

需要说明的是定义零深的方式有二种, 一种是用和波瓣最大值与差波瓣最小值之比来定义的零深, 另一种是用差波瓣最大值与最小值之比来定义的零深。鉴于差斜率的计算是用和波瓣最大值归一化的, 因此, 用和波束最大值与差波束最小值之比来定义的零深(以后均用此定义)更有意义。此外, 实践证明, 提出差斜率要求比仅仅单纯要求用差波瓣最大值与最小值之比来定义的零深的要求更准确。

二、 跟踪精度与天线系统性能的关系

1. 定向灵敏度、差斜率、零深

跟踪系统是由天馈线、接收机、伺服与传动各分系统组成的一个反馈回路, 各分系统协同一致才能达到跟踪精度的要求。通常, 影响系统跟踪精度的因素很多, 但最主要的有动态滞后、零点漂移、电轴漂移以及热噪声、机械噪声、结构误差、风力矩等, 而本文只讨论与动态滞后、零点漂移、电轴漂移三项和天线系统性能密切相关的部分。

定向灵敏度、差斜率的大小直接影响动态滞后, 而决定差波瓣斜率大小的主要因素是天线系统的几何配置, 与零深无直接关联。有限零深主要影响零点漂移, 它由比较器前的相位不一致引起, 当比较器后也存在相位不一致时, 同时也引起电轴漂移。天线差方向图不对称时(幅度不一致), 将引起电轴漂移。

为减小动态滞后, 伺服系统应具备快速响应的能力, 因此, 要求接收系统提供满足一定灵敏度的误差电压; 为此, 接收系统要求天馈系统的差方向图要满足一定的差斜率; 而天馈线系统也必需根据差斜率的要求来选择系统的几何配置。

工程上, 接收、伺服分系统都按已约定的定向灵敏度值(比如, 1 伏/密位)来调试各自的电路参数, 而天馈系统则是通过保证其和、差波瓣在参考点的比值(比如, 13 dB/密位)来保证差斜率, 进而保证定向灵敏度的。

当定向灵敏度达不到要求也即差波瓣斜率不够时, 有时不得不提高差支路增益, 这样使得系统的噪声增加, 系统的零点漂移增大。如果这时零深深, 那么零点漂移仍然会很小。如果差波瓣斜率足够高, 即便是零深较浅, 只要零点漂移满足分配要求, 跟踪精度仍

可以保证。而差波瓣斜率主要决定于天线系统的几何配置 ($\frac{D}{\lambda}$ 值等), 与零深无直接关联。天线差方向图的零值深度主要由比较器前的相位不一致决定(由波导器件组成的比较器、初级辐射器其幅度不一致可忽略), 零值深度直接影响零点漂移。当比较器后也存在相位不一致时, 也影响电轴的偏移。

为减小热噪声带来的跟踪误差, 归一化差斜率 k_m 应尽可能大于 1, 因此, 可以在参考点电平和零深之间适当组合。

定量分析计算结果表明: 在满足差斜率和零点漂移、电轴偏移的要求后, 应尽可能使对零深的要求满足工程上的可实现性, 因为, 零深的实现直接涉及比较器前的相位一致要求, 这往往会对机加工提出更高的要求, 应适当降低对零深的片面追求。比如: 当要求零深 $\leq -35\text{dB}$ 时(参考点为 16dB/密位), 零点漂移、电轴偏移分别为 0.0067 和 0.0005; 比较器前的相位差不大于 2° , 而当要求零深 $\leq -30\text{dB}$ 时, 零点漂移、电轴偏移各为 0.011 和 0.002, 比较器前的相位差不大于 3.6° 。就跟踪遥感卫星而言, 后一种情形工程上即好实现, 跟踪精度也足够。当差波瓣斜率更高时(参考点为 13dB/密位), 即便零深 $\leq -25\text{dB}$, 零点漂移、电轴偏移分别为 0.015 和 0.0045, 跟踪精度也满足要求, 但制造成本减少了很多。

2、天线配置与差斜率

当天线系统几何配置一定时, 差方向图的差斜率也随之而确定。下面给出的是某产品的计算结果, 计算条件如下:

$$f=2.3\text{GHz} \quad d=133\text{mm} \quad D=6000\text{mm} \quad \theta=25.8$$

$$f=8.95\text{GHz} \quad d=95\text{mm} \quad D=6000\text{mm} \quad \theta=25.8$$

计算公式为:

$$ED_n := \left(\int_0^1 \sin(d_\lambda x) \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{x}{\lambda} \cdot D \cdot \sin(\theta_n)\right) dx \right) \quad EDD_n := 20 \cdot \log(|ED_n| + 0.01)$$

$$ES_n := \left(\int_0^1 \cos(d_\lambda x) \cdot \cos\left(\pi \cdot \frac{x}{\lambda} \cdot D \cdot \sin(\theta_n)\right) dx \right) \quad ESS_n := 20 \cdot \log(|ES_n| + 0.01)$$

定量计算结果见图 1、图 2,

计算结果表明: 差斜率主要取决于天线口径的电长度即 $\frac{D}{\lambda}$ 。当 $\frac{D}{\lambda}$ 较小时, 既使零深很深, ($\leq -35\text{dB}$) 也无法达到要求的差斜率(当然, 此时, 增大差信号增益, 零漂比较好控制)。当 $\frac{D}{\lambda}$ 较大时, 既使零深较浅 ($\geq -25\text{dB}$), 也有足够的差斜率(甚至于还要减少对差信号的放大量)。因此, 天线主、副面及初级辐射器的配置决定差斜率的大小, 零值深度对差斜率的影响是次要的。

从几个产品实测结果也表明, 表 1 的定量计算与图 1、图 2 仿真计算的结论是正确的。

三、几点讨论

1、合理选择零值深度

通过对天线配置与差斜率, 定向灵敏度与差斜率的定量计算可知, 应兼顾工程的可实现性分配相关指标。比如, 要求零深小于-35dB, 意味着要求比较器前的相位差不大于2°, 这对天线主、副面及馈源的安装精度、对馈线网络的加工精度都将提出极高的要求, 而这一切对系统的定向灵敏度的影响是次要的。虽说有限零深对零点漂移及电轴漂移带来影响, 但只要能满足要求, 应尽可能降低对零深的要求。特别是对较高的频段, 其 $\frac{D}{\lambda}$ 较大, 差斜率很大, 理应适当降低对零深的要求。对 $\frac{D}{\lambda}$ 较小的情形, 对零深的要求也要适当, 只要它导致的零漂在允许范围内即可。

2、比较器前幅度不一致的影响

以上分析与计算忽略了比较器前幅度不一致的影响, 这在由波导组成的比较器和初级辐射器的情形下是正确的。但当初级辐射器由微带阵子组成时, 比较支路的幅度一致性变差, 导致电轴的漂移, 而电轴的漂移又带来行程差, 行程差又将影响比较器前的相位差, 这时零深不仅取决于比较器前的相位差, 也取决于比较器前的幅度一致性, 比如, 某产品的比较器幅度不一致为0.2 dB, 导致电轴的漂移0.045°, 行程差为0.97°, 比较器前相差本身仅2°, 0.97°程差的影响可使零深从41 dB变为此31 dB。这种情形下, 对零深这一指标的分配更应注意。

四 结论

1. 就跟踪系统而言, 用和波峰与差波谷之差定义的零深更有意义。
2. 在满足跟踪精度的前提下, 不可偏片强调零深这一指标, 应兼顾在工程上的可实现性。
3. 对 $\frac{D}{\lambda}$ 较大的情形, 由于差波瓣斜率较大, 应根据实际情况, 适当放松对零深的要求。
4. 对 $\frac{D}{\lambda}$ 较小的情形, 相当而言, 应该适当提高对零深的要求。
5. 当初级辐射器由微带阵子组成时, 必须考虑幅度不一致所带来的影响。

五、参考资料

1. 《雷达精度分析》 楼宇希, 国防工业出版社, 1978年
2. 《××81实施方案论证》 内部资料, 1992年
3. 《××82实施方案论证》 内部资料, 1995年
4. 《4××实施方案论证》 内部资料, 2001年

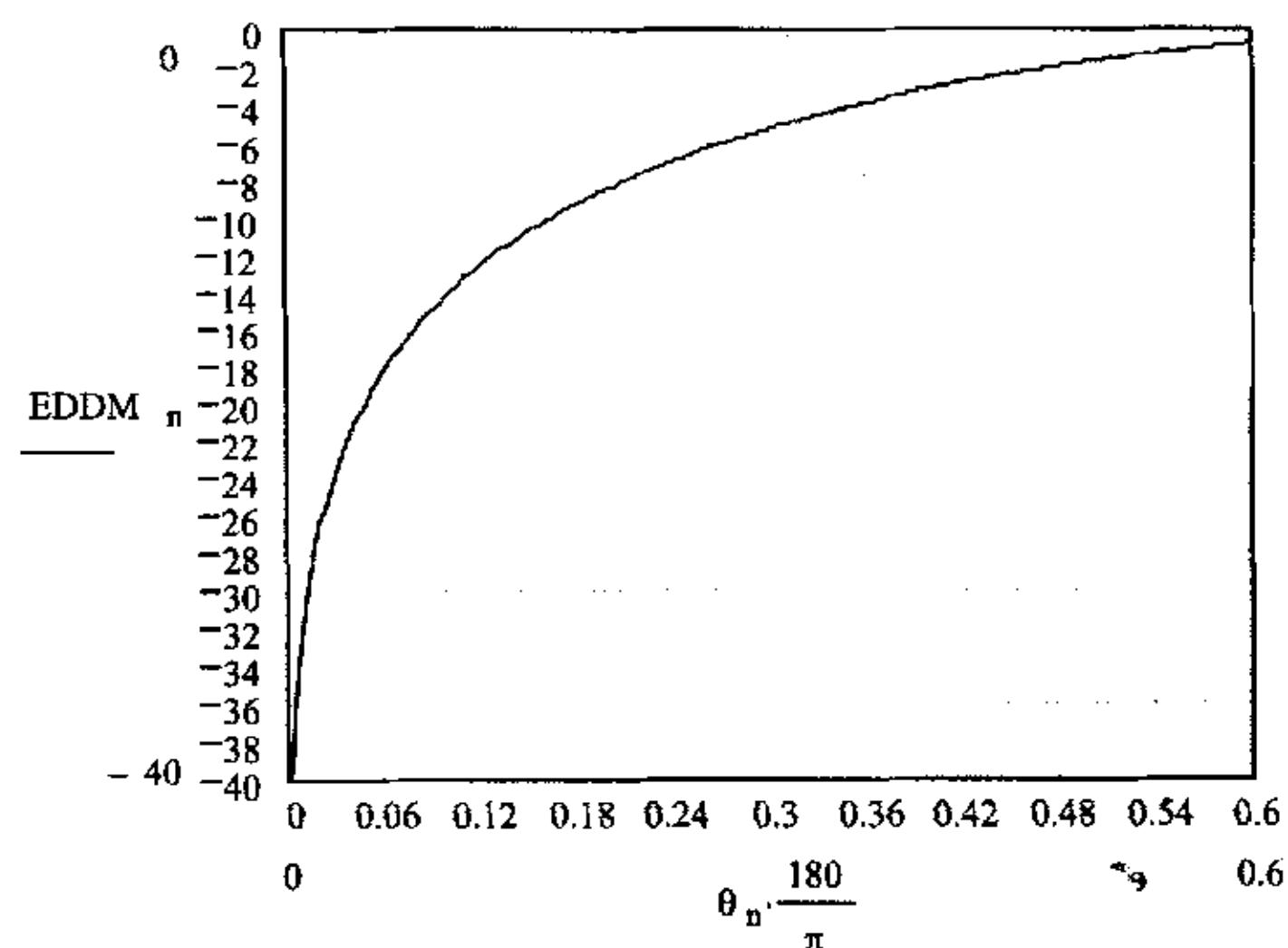


图 1 S 频段天线配置与差斜率

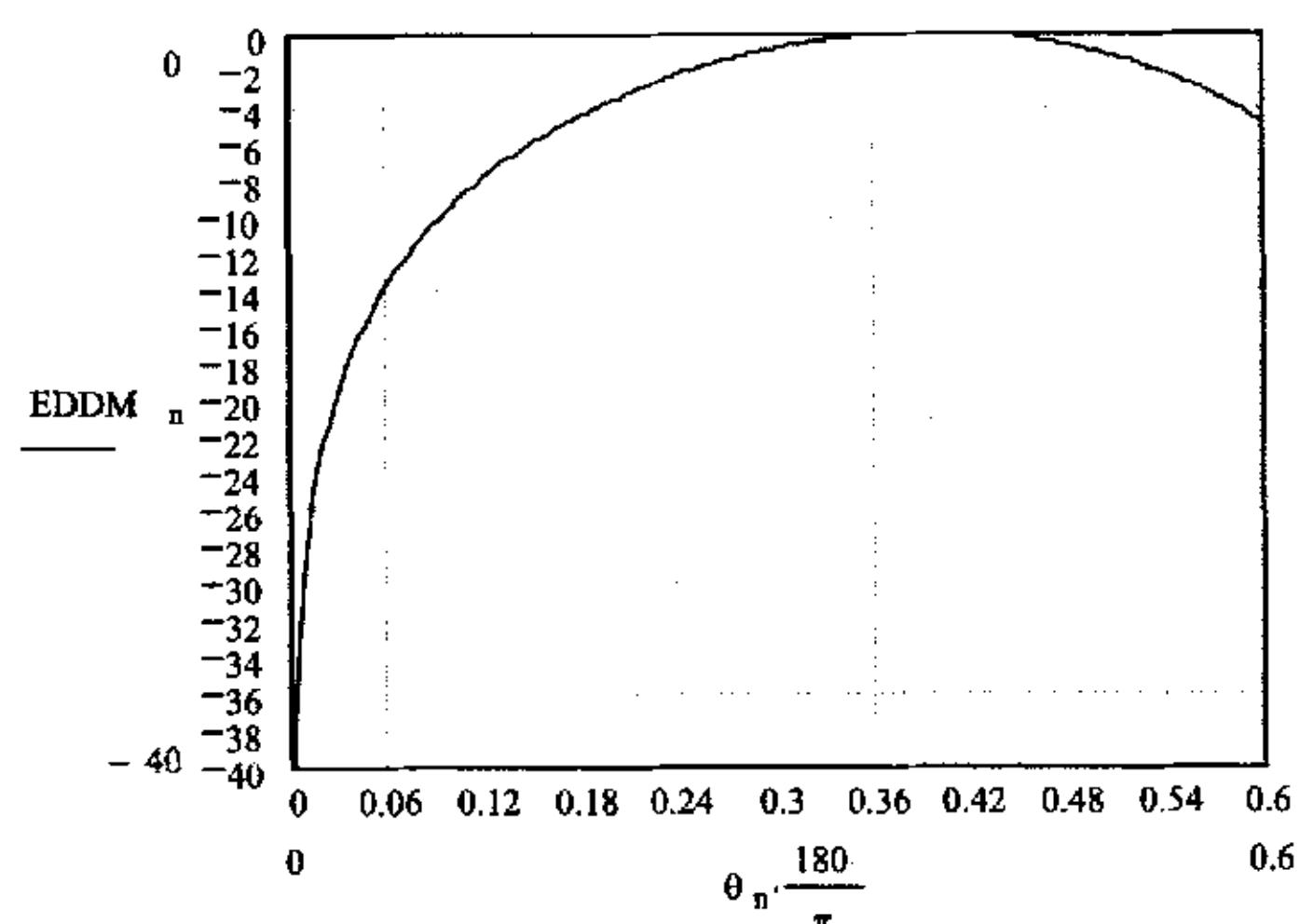


图 2 X 频段天线配置与差斜率

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>