

V形振子脉冲天线的形状优化

王均宏¹ 简水生¹

(北方交通大学光波所 北京 100044)

任 朗²

(西南交通大学电磁所 成都 610031)

摘 要 在大多数脉冲电磁场的应用中,需要能在空间某一方向上产生最强瞬时冲击脉冲的天线,为了这一目的,本文中用时间步进法对曲线形状偶极子天线的时域辐射特性进行了分析,并在此基础上用共轭梯度法对天线的形状进行了优化。优化过程的目标函数为天线前向辐射脉冲的瞬时冲击值,优化变量为天线的形状参数。

关键词 脉冲天线 形状优化 辐射特性

Optimization of the Dipole Shapes
for Maximum Peak Values of the Radiating PulseWang Junhong¹ Jian Shuisheng¹

(Northern Jiaotong University, Beijing 100044)

Ren Lang²

(Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

Abstract In most applications, the antennas which can generate maximum peak value of the radiating pulse in a certain direction are demanded. In order to meet this demand, the antenna shapes are optimized by the conjugate gradient method in this paper. The time-domain radiating characteristics of the dipole antennas are analyzed by the time stepping method. The objective functions used in the optimization procedure are the peak values of the radiating pulses in the front direction of the antenna, and the variables to be optimized are the parameters of the dipole shapes.

Key words pulse antenna, shape optimization, radiation characteristic

1 引言

在脉冲电磁波的应用中,天线的作用非常重要,在不同的场合对天线也有不同的要求。在探测系统中,需要效率高、辐射脉冲波形好的天线,而在冲击脉冲雷达以及人工电磁干扰系统中,则需要具有高方向性、强瞬时脉冲冲击值的天线。但由于在理论上很难得到脉冲天线的解析解,所以一些比较重要的脉冲天线的特性至今还没有弄清楚。目前数值方法仍是解决复杂结构脉冲天线的有效方法。在以前的工作中,我们分析了脉冲天线的方向特性与天线结构的关系^[1,2],从中发现,对于一个给定的激励脉冲总有一个与之相应的天线结构、可以在空间某一方向上产生最强的瞬时脉冲冲击值,这激励我们进行了本文的工作。

使用优化方法进行脉冲天线方向性研究的文献已有一些,但主要集中在对天线上电流分布进行优化^[3]以及对激励脉冲波形优化的研究上^[4~6]。文献^[7]虽然涉及到了脉冲天线的形状优化,但也只是对扇形板偶极子进行了优化,重点似乎也不在天线的形状上。对于任意弯曲线天线形状的优化,则很少有文献报道过,尽管文献^[8]中提出了曲线形状天线的求解方法。众所周知,天线的辐射特性不仅受激励脉冲波形的影响,而且天线的形状也是一个重要的参数,因此优化脉冲天线的形状也是非常有意义的。本文中,我们用直接时域法^[9~11]分析脉冲天线的辐射特性,并用共轭梯度法优化天线的形状。优化过程的目标函数是天线前向辐射脉冲的瞬时冲击值,优化变量则为V形天线的夹角以及圆弧形臂V形振子臂的曲率半径。

2 理论和公式

有关天线的直接时域解法可参阅文献^[1]和文献^[11],这里不再重复。

3 优化结果

本文中,我们采用高斯形脉冲作为激励源,它的表达式为

$$V_g(t) = V_0 \exp[-g^2(t-t_{\max})^2]$$

(1)

其中变量 g 为高斯参数，它决定了脉冲的宽度 t_{\max} 可通过令方程(1)中的 t 等于零和 $V(0)=0.01V_0$ 求得。在计算中我们令 $V_0=1V$ 。在优化过程中有三个目标函数，即辐射脉冲的第一个正向冲击值 E_{\max} ，辐射脉冲的第一个负向冲击值 E_{\min} 和辐射脉冲的第一个脉冲幅度 $E_{\max}-E_{\min}$ ，如图1所示。

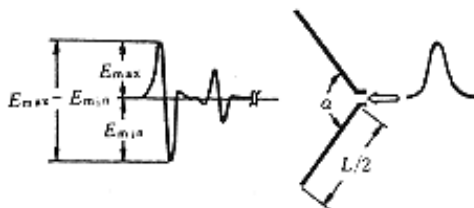


图1 目标函数以及V形振子的结构

3.1 V形振子的优化结果

V形振子的结构形状如图1所示。振子的夹角为 α ，臂长为 $L/2$ 。首先，我们固定振子的长度 L 为1m，设定不同的参数值 g ，优化振子的夹角，其结果列于表1至表3中。从中发现，当 g 增加时， E_{\max} 、 $|E_{\min}|$ 和 $E_{\max}-E_{\min}$ 同时增大，而优化所得振子的夹角 α_{opt} 减小。

同样，如果我们固定高斯参数 g 为 $1.5 \times 10^9/s$ ，改变振子的长度，优化振子的夹角，可以发现，振子长度增加时， E_{\max} 、 $|E_{\min}|$ 和 $E_{\max}-E_{\min}$ 的值也相应增大，同时最优夹角 α_{opt} 变小。这一结论基本上与正弦波天线的情况是一致的。在文献[12]中指出V形振子的增益随振子长度的增加而增大，同时振子的夹角减小。

图2给出的是振子长度为 $L=1m$ ，激励脉冲高斯参数为 $g=3 \times 10^9/s$ ，且具有最大前向 $E_{\max}-E_{\min}$ 的V形振子的E面和H面的辐射波形图。振子的最优夹角为 $\alpha_{\text{opt}}=68.6^\circ$ 。

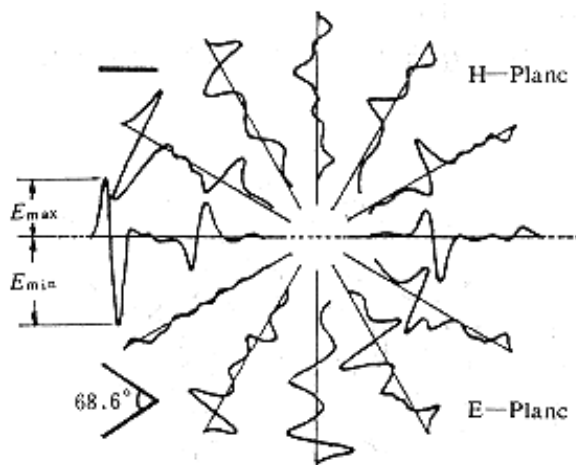


图2 以 $E_{\max}-E_{\min}$ 为目标函数优化后V形振子的E面和H面的辐射脉冲波形图

3.2 圆弧形臂V形振子的优化结果

所谓圆弧形臂V形振子，就是基本形状为V形，而振子的两臂呈圆弧形，如图3所示。要确定V形振子的结构我们只需两个参数，即振子的长度和夹角。而要确定圆弧形臂V形振子的结构，我们需要至少三个参数，即振子的长度、振子弧形臂的圆弧半径以及由圆弧中心指向馈电点的圆弧半径与主辐射方向的夹角。

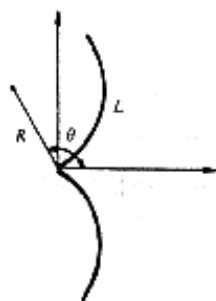


图3 圆弧形臂V形振子的结构坐标图

同样，我们首先固定振子的长度不变，改变激励脉冲的参数，然后分别以 E_{\max} 、 $|E_{\min}|$ 和 $E_{\max}-E_{\min}$ 为目标函数优化振子的形状，结果分别列于表1至表3中。优化后的圆弧形臂V形振子形状如图4所示。从表1到表3发现，所有优化后的圆弧形臂V形振子的 E_{\max} 、 $|E_{\min}|$ 以及 $E_{\max}-E_{\min}$ 都比具有相同长度和相同高斯参数的V形振子优化后得到的大。如果只考虑圆弧形臂V形振子，那么，短脉冲激励的圆弧形臂V形振子优化后，振子臂的曲率半径比宽脉冲激励的要大，而且振子的两臂也靠得更近。

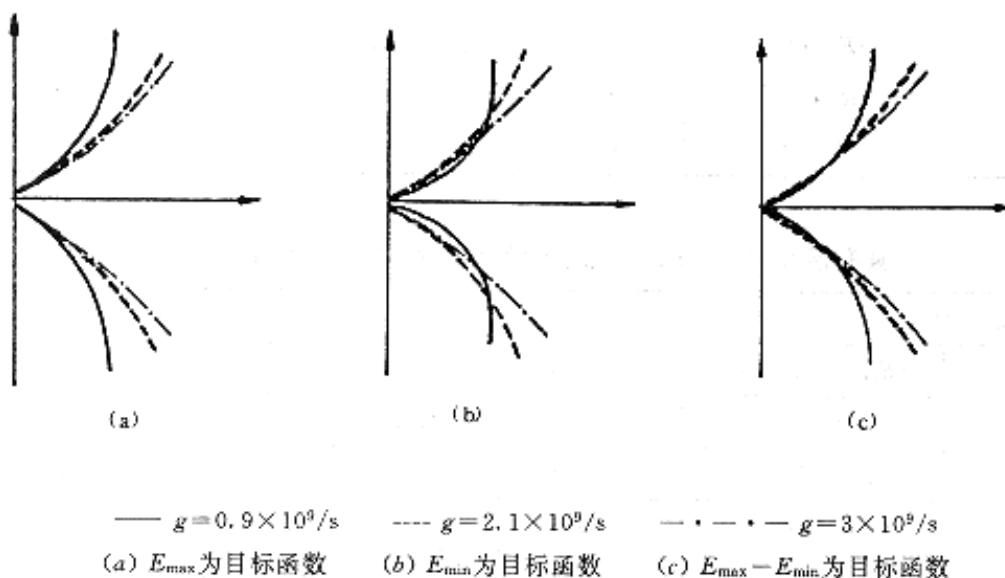
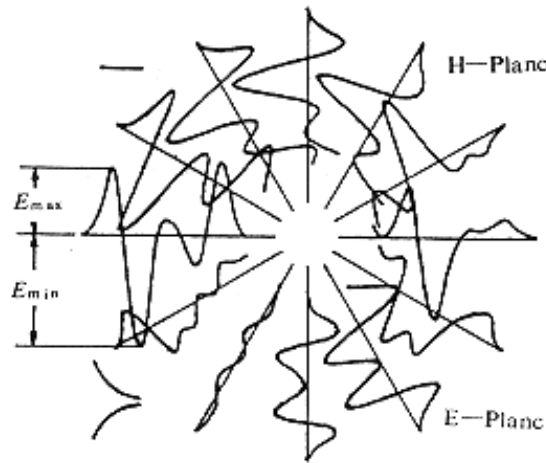


图4 圆弧形臂V形振子的最优形状

图5给出的是以 $E_{\max}-E_{\min}$ 为目标函数优化得到的圆弧形臂V形振子的E面和H面的辐射波形图，振子的长度为 $L=1\text{m}$ ，激励脉冲的高斯参数为 $g=1.5 \times 10^9/s$ 。



$L=1\text{m}, g=1.5\times10^9/\text{s}, \theta_{\text{opt}}=115^\circ, R_{\text{opt}}=0.437\text{m}$

图5 以E_{max}-E_{min}为目标函数优化后圆弧形臂V形振子的E面和H面的辐射脉冲波形图

表1 具有最大E_{max}的振子的最优数据(振子长度L=1m)

g(× 10 ⁹ /s)		0.9	1.5	2.1	2.7	3.0
V形 振子	rE _{max} (V)	0.12042	0.18903	0.26742	0.33321	0.37470
	a _{opt} (°)	129.2	125.9	85.52	80.04	65.56
圆弧形臂 V形振子	rE _{max} (V)	0.12130	0.20240	0.29178	0.36560	0.40762
	R _{opt} (m)	0.4925	0.5366	0.8784	1.077	1.390
	opt(°)	120.37	120.59	116.77	118.22	119.31

表2 具有最大 | E_{min} | 的振子的最优数据(振子长度L=1m)

g(× 10 ⁹ /s)		0.9	1.5	2.1	2.7	3.0
V形 振子	rE _{min} (V)	-0.20246	-0.27811	-0.38118	-0.45939	-0.53430
	a _{opt} (°)	129.2	88.82	85.64	70.12	68.58
圆弧形臂 V形振子	rE _{min} (V)	-0.23589	-0.34082	-0.44683	-0.53038	-0.57628
	R _{opt} (m)	0.3070	0.3657	0.6493	0.9143	1.499
	opt(°)	96.51	106.95	115.11	117.17	119.81

表3 具有最大E_{max}-E_{min}的振子的最优数据(振子长度L=1m)

g(× 10 ⁹ /s)		0.9	1.5	2.1	2.7	3.0
V形 振子	rE _{max} -rE _{min} (V)	0.32267	0.46509	0.64306	0.78788	0.91195
	a _{opt} (°)	129.2	125.0	80.22	80.00	68.60
圆弧形臂 V形振子	rE _{max} -rE _{min} (V)	0.34759	0.53559	0.74155	0.90550	0.98223
	R _{opt} (m)	0.3986	0.4370	0.8655	1.024	1.491
	opt(°)	109.39	115.00	116.51	117.85	120

以上虽然仅涉及到V形振子和圆弧形臂V形振子,但我们也曾对其它一些形状的振子,如高斯形振子,进行过研究,只是还未找到瞬时脉冲冲击值比圆弧形臂V形振子更大的振子形状。本文中也仅对高斯脉冲激励的情况进行了研究,未涉及其它脉冲波形。但我们知道,高斯形脉冲无论在理论研究上还是工程应用上都是较常用的波形。此外,本文中所研究的天线由于未进行任何加载,所以天线的辐射效率都是比较高的。唯有天线与馈线的匹配问题可能影响到天线的效率,但这已超出了本文的研究范围。

4 结论

通过以上的计算和讨论我们得出如下结论:

- (1) 对于确定的长度以及确定的脉冲宽度,可以优化天线的形状,得到相应的最大瞬时辐射脉冲冲击值。如果激励脉冲的宽度变窄,则辐射脉冲的瞬时冲击值变大,但此时优化后的V形振子的夹角必然减小;
- (2) 如果让激励脉冲的宽度不变,则优化后辐射脉冲瞬时冲击值的大小将随振子长度的增加而增大,同时V形振子的最优夹角减小。这一结论类似于从正弦波天线得到的关于天线增益与振子夹角关系的结论;
- (3) 在相同条件下,所有优化后的圆弧形臂V形振子产生的前向辐射脉冲的瞬时冲击值都比V形振子大;
- (4) 优化后圆弧形臂V形振子两臂的圆弧半径以及两臂间的夹角都随激励脉冲的宽度而变化,脉冲宽度越窄,则优化后圆弧形臂的圆弧半径越大,同时振子的两臂越靠近。

*国家自然科学基金及中国博士后科学基金资助项目

参 考 文 献

- 1 王均宏.V形振子阵的时域辐射特性.电子科学学刊,1993,10(4):289~297
- 2 王均宏,王石安.电阻加载对V形振子时域辐射特性的影响.西南交通大学学报,1992,(4):50~56
- 3 McIntosh R E, Sarna J E. Bounds on the optimum performance of planar antennas for pulse radiation. IEEE Trans on AP, 1982, AP-30(3):381~389
- 4 Pozar D M, McIntosh R E, Walker S G. The Optimum feed voltage for a dipole antenna for pules radiation. IEEE Trans on AP, 1983, AP-31:563~569
- 5 Pozar D M, Schaubert D H, McIntosh R E. The optimum transient radiation from an arbitrary antenna. IEEE Trans on AP, 1984, AP-32:633~640
- 6 Pozar D M, Kang Y M, Schaubert D H, McIntosh R E. Optimization of the transient radiation from a dipole array. IEEE Trans on AP 1985, AP-33 (1):69~75
- 7 Shlager K L, Smith G S, Maloney J G. Optimization of Bow-Tie antennas for pulse radiation. IEEE Trans on AP, 1994, 42 (7):975~982
- 8 Podosenov S A, Svekis Y G, Sokolov A A. Transient radiation of traveling waves by wire antennas. IEEE Trans on EMC, 1995, 37(3):367~383
- 9 Miller E K, Landt J A. Direct time-domain techniques for transient radiation and scattering form wires. PIEEE, 1980, 68 (11):1396~1422
- 10 Bennet C L. Time-domain electromagnetics and its application. PIEEE, 1978, 66(3):299~318
- 11 孙乃华.直线振子和V形振子的时域辐射特性.电子科学学刊,1990,12(2):128~135
- 12 Thiele G A, Ekelman E P. Design formulas for vee dipoles. IEEE Trans on AP, 1980, AP-28 (4):588~590

(1997-03-24收到,1997-09-29改定)

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，一直致力和专注于微波、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>