

海面电波反射特性研究与仿真分析

王英¹, 顾健²

(1. 92785 部队 河北 秦皇岛 066000; 2. 海军装备部 北京 100841)

摘要: 分别研究了海面电磁特性和海面电波反射特性的表征参数-海面复介电常数和电波反射系数, 讨论了它们计算方法, 仿真分析了海水相对介电常数、海水电导率、光滑海面反射系数、粗糙海面修正因子的变化规律, 得出了影响其变化的主要因素和实际计算中应重点关注的方面。该文的研究可为海面电波反射特征的研究提供有益的参考。

关键词: 反射特性; 介电常数; 粗糙海面; 反射系数; 光滑海面

中图分类号: TN011.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2016)05-0113-03

Research and simulation analysis of radio reflection characteristic over the ocean

WANG Ying¹, GU Jian²

(1. NO.92785 Troops of PLA, Qinhuangdao, 066000, China; 2. Naval Armaments Department, Beijing 100841, China)

Abstract: Plural permittivity of electromagnetism characteristic and reflection coefficient of radio reflection characteristic over the ocean are researched. Their computing method is discussed. Varying rule of the seawater relative permittivity, the sea water conductivity, reflection coefficient over slick offing and modified factor over crude offing are analyzed through stimulation. Main factor that influence their change is gained. Aspect that must be importantly noticed in practice computation is gained. The research of the paper can offer useful reference for radio reflection characteristic research over the ocean.

Key words: reflection characteristic; permittivity; crude offing; reflection coefficient; slick offing

DOI:10.14022/j.cnki.dzsjgc.2016.06.033

对于海面上电波反射特性, 主要使用海面对电波的反射系数来表征。海面反射系数与电波海面掠入射角, 海浪大小, 海面电磁参数等因素有关。对于海面, 因海浪因素可以将其分为光滑海面和粗糙海面。光滑海面对电波的反射主要是镜面反射; 而粗糙海面对电波的反射除了镜面反射分量还有散射分量, 它会减弱电波在镜面反射方向的能量。下面就分这两种情况对海面反射特性开展研究, 首先研究海面电磁特性, 为反射特性的研究提供基础。

1 海面电磁特性的研究与仿真

海面电磁特性影响海面对电波的反射强度, 它与海水的温度, 盐度, 电磁波频率等多种因素有关。表征海面电磁特性的参数是海面复介电常数, 它由海水相对介电常数 ϵ_r , 海水电导率 σ 和电波波长 λ 构成, 表达式为^[1]。

$$\tilde{\epsilon} = \epsilon_r + i60\lambda\sigma \quad (1)$$

对于 ϵ_r 和 σ , 在实际应用中可根据 CCIR 给出的多项式拟合函数计算。下面分别进行仿真计算和分析。

1.1 海水相对介电常数的计算方法与仿真

海水相对介电常数 ϵ_r 的表达式为^[1]

$$\epsilon_r = \begin{cases} 70 & f \leq 2.535895 \\ \frac{1}{a+bf+cf^2+df^3+ef^4} & f > 2.535895 \end{cases} \quad (2)$$

其中, f 为电波频率, 单位为 MHz;

$$a=1.411\ 453\ 5 \times 10^{-2}$$

$$b=-5.212\ 249\ 7 \times 10^{-8}$$

$$c=5.854\ 782\ 9 \times 10^{-11}$$

$$d=-7.671\ 742\ 3 \times 10^{-16}$$

$$e=2.985\ 631\ 8 \times 10^{-21}$$

利用上面的拟和函数可计算出海水相对介电常数 ϵ_r 在各电波频率处对应值。图 1 给出了频率在 0~20 GHz 时, ϵ_r 值随电波频率的变化曲线。从图中可以看出随着频率的增加, ϵ_r 逐渐减小。

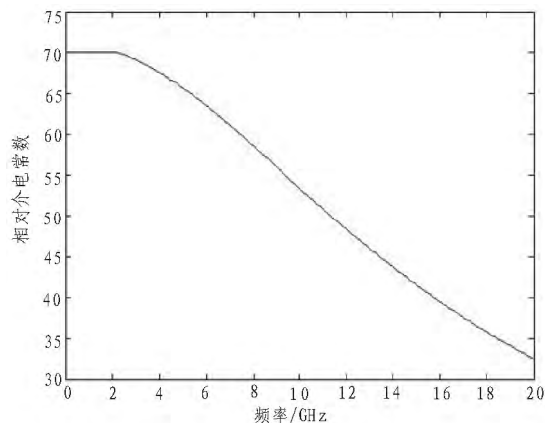


图 1 海水相对介电常数与频率的关系曲线

Fig. 1 Curve between the seawater relative permittivity and frequency

收稿日期: 2015-04-07

稿件编号: 201504060

作者简介: 王英(1981—), 男, 山西临猗人, 硕士, 工程师。研究方向: 舰船武器装备。

1.2 海水电导率的计算方法与仿真

海水电导率 σ 的表达式为^[1]

$$\sigma = \begin{cases} 5.0 & f \leq 106.207 \\ \frac{r+sf+tf^2}{1+uf+vf^2+wf^3} & f > 106.207 \end{cases} \quad (3)$$

其中, f 为电波频率, 单位为 MHz;

$$r=3.858\ 674\ 9$$

$$s=9.125\ 387\ 3 \times 10^{-4}$$

$$t=1.530\ 992\ 1 \times 10^{-8}$$

$$u=-2.117\ 929\ 5 \times 10^{-5}$$

$$v=6.572\ 750\ 4 \times 10^{-10}$$

$$w=-1.964\ 766\ 4 \times 10^{-15}$$

利用上面的拟和函数可计算出海水电导率 σ 在各电波频率处对应值。图 2 给出了频率在 0~20 GHz 时, σ 的值随电波频率的变化曲线。从图中可以看出随着频率的增加, σ 逐渐增加。通过图 1 和图 2 的对比, 可以发现 σ 对频率的变化范围比 ε_r 小, 因此 σ 与 ε_r 相比, ε_r 对频率更敏感。

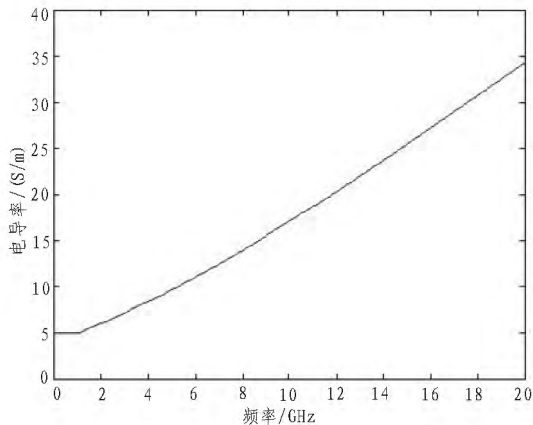


图 2 海水电导率与频率的关系曲线

Fig. 2 Curve between the sea water conductivity and frequency

2 海面反射系数的计算方法与仿真

2.1 光滑海面反射系数的计算方法与仿真

根据平面波斜射到理想介质分界面上的反射定律即 Snell 定律, 可得在光滑海面上的水平极化波和垂直极化波的费涅尔 (Fresnel) 反射系数公式为^[1]

$$R_H = \frac{\sin\theta - \sqrt{\varepsilon - \cos^2\theta}}{\sin\theta + \sqrt{\varepsilon - \cos^2\theta}} \quad (4)$$

$$R_V = \frac{\varepsilon \sin\theta - \sqrt{\varepsilon - \cos^2\theta}}{\varepsilon \sin\theta + \sqrt{\varepsilon - \cos^2\theta}} \quad (5)$$

其中, θ 为掠入射角。将 (1) 式代入上面两式可求得水平极化波和垂直极化波的反射系数。按照这种计算方法可对两种极化方式的反射系数进行仿真计算和分析。

对于水平极化波, 反射系数随掠入射角的变化曲线如图 3、图 4 所示。图 3 和图 4 显示了当电波频率为 1 GHz、5 GHz、10 GHz 和 20 GHz 时, 掠入射角在 0.000 1~90° 变化时, 反射

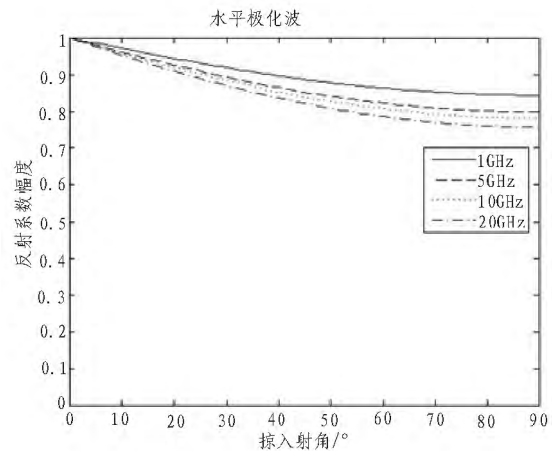


图 3 水平极化波反射系数幅度随掠入射角的变化曲线

Fig. 3 Varying curve between the grazing incidence and reflection coefficient's amplitude for the wave of horizontal polarization

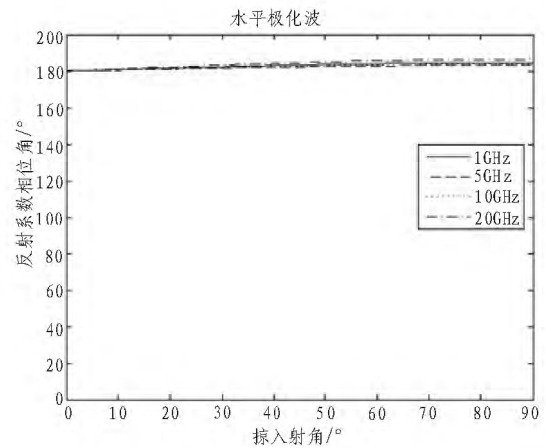


图 4 水平极化波反射系数相位角随掠入射角的变化曲线

Fig. 4 Varying curve between the grazing incidence and reflection coefficient's phase angle for the wave of horizontal polarization

系数的幅度和相位角的值。从图 3 可以看出, 随着掠入射角的增加, 反射系数的幅度逐渐减小, 但变化比较小; 当频率变化时, 反射系数的幅度变化也比较小。从图 4 可以看出, 随着掠入射角的增加, 反射系数的相位角逐渐增加, 但变化很小; 当频率变化时, 反射系数的相位角变化也很小。因此对于光滑海面, 掠入射角为几度时, 可认为反射系数的幅度为 1, 相位角为 180°。

对于垂直极化波, 反射系数随掠入射角的变化曲线如图 5、图 6 所示。图 5 和图 6 显示了当电波频率为 1 GHz、5 GHz、10 GHz 和 20 GHz 时, 掠入射角在 0.000 1~90° 变化时, 反射系数的幅度和相位角的值。从图 5 可以看出, 随着掠入射角的增加, 反射系数的幅度先迅速减小后逐渐增加到接近 1, 变化很大; 当频率变化时, 反射系数的幅度变化比较小。从图 6 可以看出, 随着掠入射角的增加, 反射系数的相位角迅速减小到接近 0°, 变化很大; 当频率变化时, 反射系数的相位角变化比较小。因此对于光滑海面, 掠入射角为几度时, 反射系数的幅度和相位角变化很大。通过图 3、图 4 和图 5、图 6 的对

比可以看出垂直极化波反射系数比水平极化波反射系数对掠入射角的变化敏感很多。

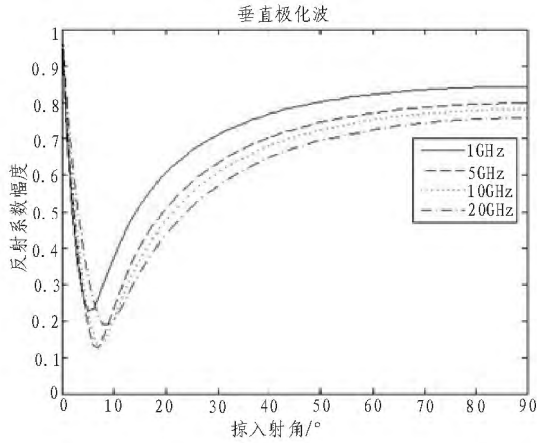


图5 垂直极化波反射系数幅度随掠入射角的变化曲线
Fig. 5 Varying curve between the grazing incidence and reflection coefficient's amplitude for the wave of perpendicular polarization

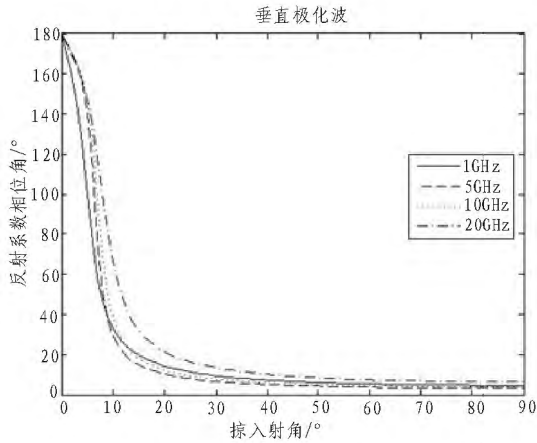


图6 垂直极化波反射系数相位角随掠入射角的变化曲线
Fig. 6 Varying curve between the grazing incidence and reflection coefficient's phase angle for the wave of perpendicular polarization

2.2 粗糙海面反射系数的计算方法与仿真

对于粗糙海面的反射问题,本文采用光滑海面反射系数前乘以粗糙修正因子 ρ 进行近似^[2-3],即

$$R' = \rho R \quad (6)$$

其中 R' 为粗糙海面反射系数, ρ 为粗糙修正因子, R 为光滑海面反射系数。国际无线电顾问委员会(CCIR)给出了粗糙修正因子 ρ 的表达式为^[4-5]

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{3.2g - 2 + \sqrt{(3.2g)^2 - 7g + 9}}} \quad (7)$$

其中

$$g = 0.5 \left(\frac{4\pi hf \sin \theta}{c} \right)^2 \quad (8)$$

其中, c 为光速, f 为电波频率, h 为海面均方根高度,它可根据 Phillips (1966) 海浪模型给出^[6-7]

$$h = 0.005 \, 1w^2 \quad (9)$$

其中 w 为海面附近高度的风速,单位为 m/s。将(8)式和(9)式代入(7)式可得粗糙修正因子 ρ ,进而可以通过(6)式得到粗糙海面的反射系数。按照以上计算方法对海面粗糙修正因子 ρ 进行仿真计算和分析,如图7和图8所示。

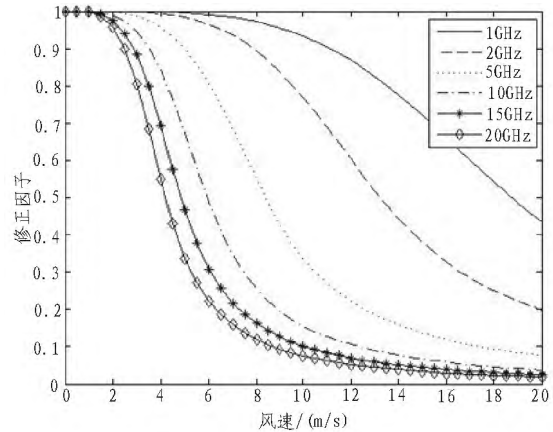


图7 $\theta=1^\circ$ 时,修正因子随风速的变化曲线
Fig. 7 Varying curve between the modified factor and wind speed for $\theta=1^\circ$

图7给出了当电波频率为1 GHz、2 GHz、5 GHz、10 GHz、15 GHz和20 GHz时,掠入射角为 1° 情况下,修正因子随风速的变化曲线。从图中可以看出随着风速的增加,修正因子迅速从1减小到趋于0,而且电波频率越高,修正因子减小的越快。当风速取大于4 m/s的定值时,修正因子随频率的增加,迅速减小。对此可以看出修正因子对频率和风速都很敏感,在实际粗糙海面反射系数计算中必须考虑它们的影响。

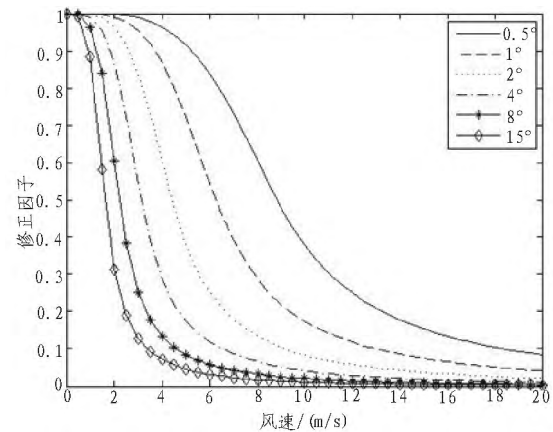


图8 $f=9$ GHz时,修正因子随风速的变化曲线
Fig. 8 Varying curve between the modified factor and wind speed for $f=9$ GHz

图8给出了当掠入射角为 0.5° 、 1° 、 2° 、 4° 、 8° 和 15° 时,电波频率为9 GHz情况下,修正因子随风速的变化曲线。从图中可以看出随着风速的增加,修正因子迅速从1减小到趋于0,减小的速度比图7快,而且掠入射角越大,修正因子减小的越快。当风速取大于2 m/s小于12 m/s区间的固定值时,修正因子随掠入射角的增加,迅速减小。说明修正因子对掠入射角和风速都很敏感,在实际粗糙海面反射系数计算中必

(下转第119页)

4.2 绝缘强度测试

用绝缘耐压测试仪测试被测电源,施加下列条件并保持1 min,应无击穿和闪络现象。分别短接输入端子和输出端子。

4.3 短路保护功能测试

按测试框图所示连接电源供电、调压器、智能电量测量仪、被测电源、电子负载及各测量仪器仪表,调节调压器使输入电压为AC230V,被测电源正常工作。

用电子负载的短路功能使被测电源输出短路,然后解除短路状态,被测电源应能恢复正常工作状态。被测电源的短路保护功能正常。

4.4 高低温工作试验

将被测电源放入温度试验箱内,按测试框图连接好仪器仪表及电子负载。启动温度试验箱降温至 $-45\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,恒温2 h后加电,进行测试。完成测试后开始升温,升温过程中保持被测电源额定工作状态,温度升至 $+45\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,恒温加电2 h后进行测试。

通过测试,本系统解决措施是有效的,提高了变换器的效率,使本电源整体效率达到了技术要求。由实验数据结果和波形得出结论:基于PFC设计与实现的LED驱动电源,设计合理,调试和试验中性能可靠稳定,性能和指标都满足设计需求。

5 结束语

LED被认为是未来最有前途的照明光源,而LED驱动电源是影响和制约LED寿命的最主要因素。本论文是在这一前景下,研制的基于PFC的LED驱动电源。该驱动电源损耗

低,具有较高的功率因数和效率。该驱动电源电路形式简洁、外围元件少、体积小、功率密度较高、可靠性高,防水、防尘等效果良好,各项性能均满足标准要求。

参考文献:

- [1] 郝珍鑫,罗全明,汪洋,等.多路输出高降压恒流LED驱动电源[J].电工技术学报,2013,28(6):178-183.
- [2] 王慧贞,张军达.一种新型无桥Boost PFC电路[J].电工技术学报,2010,25(5):109-115.
- [3] 姚凯,阮新波,王蓓蓓,等.第四代电光源—发光二极管[J].电源世界,2008(3):21-26.
- [4] 蒋志宏,黄立培,朱纪洪.并联交错临界连续PFC变换器的单周期控制[J].清华大学学报:自然科学版,2007,47(7):1197-1200.
- [5] Lu B,Dong W,Zhao Q. Performance evaluation of Cool MOSTM and SiC diode for single-phase power factor correction applications[C]. APEC'03,2003,2:651-657.
- [6] Krames M R,Shchekin O B,Mueller M R. Status and future of high-power light-emitting diodes for solid-state lighting[J]. Journal of Display Technology,2007,3(2):160-175.
- [7] Qingcong Hu,Zane R. LED driver circuit with series input connected converter cells operating in continuous conduction mode[J]. IEEE Transactions on Power Electronics,2010,25(3):574-582.
- [8] 张建飞,史永胜,宁青菊,等.单级PFC LED驱动电源的研究与设计[J].液晶与显示,2012(5):671-676.

(上接第115页)

须考虑它们的影响。

3 结束语

本文主要研究了海面电波反射特征的表征和计算方法,运用该方法仿真分析了海面电波反射系数的变化规律,得出了一些有意义的结论。本文对海面上电波反射特征进行了一些研究,但有还需要进一步的加深和完善。如粗糙海面反射系数修正因子的验证和改进,海面上电波反射系数的变化规律。这些方面的进一步研究,必将会加深对海面上电波反射特征的研究。

参考文献:

- [1] Barrios A E,Patterson W L. Advanced propagation model (APM)Ver. 1.3.1 computer software configuration item (CS-CI) documents 2002[EB/OL]. [2010-04-15]http://sunspot.spawar.navy.mil.

- [2] Patterson W L,Hattan C P,Lindem G E,et al. Engineer's refractive effects prediction system(EREPS) version 3.0 1994[EB/OL]. [2009-12-05]http://sunspot.spawar.navy.mil.
- [3] 胡绘斌.预测复杂环境下电波传播特性的算法研究[D].长沙:国防科学技术大学,2006.
- [4] Dockery G D,Kuttler J R. An improved impedance-boundary algorithm for fourier split-step solution of the parabolic wave equation [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation,1996,44(12):1592-1599.
- [5] 黄麟舒,察豪,等.粗糙海面蒸发波导传播和近掠入射散射分析[J].电波科学学报,2012,3:482-487.
- [6] 张瑜.电磁波空间传播[M].西安:西安电子科技大学出版社,2007.
- [7] 杨伟.三维复杂粗糙海面电磁散射建模研究与特性分析[D].成都:电子科技大学,2012.