



سازمان جهاد دانشگاهی صنعتی شریف

پراکندگی امواج الکترومغناطیسی از سطوح ناهموار

تالیف:

سید عبدالرضا ترابی

استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

پاییز ۱۳۹۷

سرشناسه:	ترابی، سید عبدالرضا، ۱۳۶۴.
عنوان و نام پدیدآور:	پراکندگی امواج الکترومغناطیسی از سطوح ناهموار / تالیف سید عبدالرضا ترابی.
مشخصات نشر:	تهران: جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی شریف، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری:	۲۲۵ ص: مصور، نمودار.
شابک:	۹۷۸-۹۶۴-۶۴۴۵-۴۳-۷
وضعیت فهرست‌نویسی:	فیا
یادداشت:	واژه‌نامه.
یادداشت:	کتابنامه: ص. ۲۱۳-۲۱۹
موضوع:	امواج الکترومغناطیسی—پراکندگی.
موضوع:	Electromagnetic waves—Scattering
مناسبت‌ها:	جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی شریف.
رده‌بندی کنگره:	۱۳۹۷ ق ۴/پ ۴۵/ QC۶۶۵
رده‌بندی دیوین:	۵۳۹/۲
شماره کتابشناختی:	۵۴۱۳۳۳۱



از راه‌های نوین صنعتی شریف

عنوان کتاب: پراکندگی امواج الکترومغناطیسی از سطوح ناهموار

مولف: سید عبدالرضا ترابی

طراح جلد: سید عبدالرضا ترابی

ناشر: جهاد دانشگاهی صنعتی شریف

نوبت چاپ: اول

تاریخ چاپ: پاییز ۱۳۹۷

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۳۰۰۰۰ ریال

کلیه حقوق برای جهاد دانشگاهی صنعتی شریف محفوظ است.

ISBN: 978-964-6445-43-7

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۶۴۴۵-۴۳-۷

نشانی: تهران، خیابان آزادی، شمال دانشگاه صنعتی شریف، خیابان شهید قاسمی، پلاک ۷۱

تلفن: ۶۶۰۷۵۰۱۱، نمابر: ۶۶۰۷۵۲۵۰ و پست الکترونیک: journal@jdsharif.ac.ir

پیشگفتار مولف

انتشار امواج الکترومغناطیسی از دیرباز موضوعی جذاب و پرکاربرد برای بشر بوده است. با نگاهی به روند تکاملی مخابرات بی سیم و شبکه‌های مخابراتی می‌توان به این نکته رسید که بهبود در مدل‌های پدیده‌های انتشار امواج، منجر به پیشرفت قابل ملاحظه‌ای در عملکرد این شبکه‌ها، خصوصاً در کیفیت سرویس‌دهی شده است.

یکی از پدیده‌های مهم در انتشار، مدلسازی سطوح ناهموار است. با یک نگاه ساده به اطراف، تقریباً در تمام محیط‌ها، بارز کردهای مختلف، حضور سطوح ناهموار را می‌توان مشاهده کرد. موضوعاتی مثل انتشار امواج رادیویی در محیط‌های دشت و کوهستان، انتشار امواج میلیمتری در محیط‌های شهری، انتشار امواج در محیط‌های دریایی و سواحل آن (سطوح شنی و ماسه‌ای) و ... مثال‌های بارز برای اهمیت این موضوع هستند. با توجه به رفتار و ماهیت تصادفی بودن این سطوح و ناممکن بودن مدلسازی دقیق آنها بحث الکترومغناطیس آماری در این قسمت بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

کتاب حاضر سعی دارد با زبانی ساده و در عین حال دقیق به بررسی روش‌های تحلیلی-تقریبی و عددی برای پراکندگی امواج الکترومغناطیسی از سطوح ناهموار بپردازد. نگارش کتاب به نحوی است که خواننده قدم به قدم آماده بحث اصلی کتاب که پیاده‌سازی روش عددی معروف مومنت در تحلیل پراکندگی سطوح ناهموار هادی کامل، ناهمبندی و عایقی است، شود. به‌علاوه اینکه از پارامترهای واقعی سطوح ناهموار متداول اطراف ما مانند سطوح سیمانی و بتنی، سطوح شنی و برفی برای ارائه نتایج استفاده شده است.

در نهایت شایان ذکر است که کتاب حاضر، حاصل ۱۰ سال پژوهش اینجانب در زمینه رفتار پراکندگی امواج الکترومغناطیسی از سطوح ناهموار بوده است. اساتید و محققان دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها، دانشجویان مقاطع تحصیلات تکمیلی بخصوص رشته‌های مهندسی برق-مخابرات و ژئوفیزیک می‌توانند مخاطبان اصلی این کتاب باشند.

در انتها لازم می‌دانم که از زحمات جناب آقای دکتر امیر احمد شیشه‌گر، استاد دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی شریف بابت نظارت‌های اولیه و ارائه نکات فنی سازنده در این زمینه تشکر فراوان داشته باشم. همین طور از حمایت‌های مرکز پژوهشی رادیومتری فرکانس پایین دانشگاه تهران در نگارش و تکمیل این کتاب سپاسگزاری می‌کنم. همچنین از رییس پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاددانشگاهی، جناب آقای دکتر محمدصادق حاجی تاروردی و جناب آقای مهندس سید مجتبی برزین به جهت حمایت‌هایشان و همین‌طور از سرکارخانم آرزو مکرم برای هماهنگی و پیگیری امور چاپ و جناب آقای مهندس حسن کمالی به دلیل طراحی بند تسکر می‌نمایم.

تمام دانش‌پژوهان و کارشناسان می‌توانند جهت بهبود کار از طریق آدرس الکترونیکی aceza.rahabi@ut.ac.ir مکاتبه کرده و اینجانب را از نظرات و پیشنهادات سازنده خود مطلع سازند.

دکتر سید عبدالرضا ترابی

استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

فهرست مطالب

فصل ۱- مروری بر مفاهیم پایه ای و معرفی مسئله پراکندگی از سطوح ناهموار..... ۱۰۰۰۰۰

- ۱-۱- معادلات ماکسول ۲
- ۲-۱- شرایط مرزی ۴
- ۳-۱- برخورد به سطح هموار ۸
- ۴-۱- پراکندگی مسئله تشعشع ۱۲
- ۵-۱- تابع گرین سه بعدی ۱۴
- ۶-۱- تابع گرین دو بعدی ۱۵
- ۷-۱- میدان ۱۶
- ۸-۱- مسائل معادل ۱۸
- ۸-۱-۱- معادلسازی سطحی ۱۸
- ۹-۱- معادلات انتگرالی سطحی ۲۲
- ۹-۱-۱- معادله انتگرالی میدان اسکالاری ۲۳
- ۹-۲-۱- معادله انتگرالی میدان مغناطیسی ۲۳
- ۱۰-۱- مسئله پراکندگی از سطوح ناهموار ۲۶
- ۱۱-۱- معیار ریلی برای سطح ناهموار ۲۸
- ۱۲-۱- ویژگی های آماری سطوح ناهموار ۲۹
- ۱۲-۱-۱- توابع همبستگی متداول برای مدلسازی سطوح ناهموار ۳۶
- ۱۳-۱- تاریخچه مسئله و دسته بندی روش های بررسی پراکندگی از سطوح ناهموار ۳۹
- ۱۳-۱-۱- مدل های تجربی ۴۰
- ۱۳-۲-۱- انعکاس و پراکندگی از سطوح با ناهمواری کم ۴۲
- ۱۳-۳-۱- روش های تحلیلی - تقریبی ۴۵
- ۱۳-۴-۱- روش های عددی ۴۶
- ۱۴-۱- بیان اهداف و معرفی قسمت های مختلف کتاب ۴۸

فصل ۲- روش های تحلیلی-تقریبی بررسی پراکندگی از سطوح ناهموار ۵۱

- ۱-۲- روش تقریبی اغتشاش کوچک ۵۱
- ۱-۱-۲- انعکاس همدوس ۵۵
- ۲-۱-۲- پراکندگی بای استاتیک ۵۶
- ۲-۲- روش تقریبی کرکف ۵۹
- ۳-۲- روش معادله انتگرالی ۶۶

فصل ۳- روش مومنت در حل مسائل الکترومغناطیسی ۶۹

- ۱-۳- روش مومنت ۷۰
- ۲-۳- مراحل روش مومنت ۷۰
- ۳-۳- روش تفسیر خطا ۷۴

فصل ۴- تحلیل عددی پراکندگی از سطوح ناهموار با روش مومنت ۷۹

- ۱-۴- تولید سطح ناهموار برای روش پراکندگی ۷۹
- ۱-۱-۴- تولید سطوح ناهموار با کمک روش FET در MATLAB ۸۰
- ۲-۴- پراکندگی از سطح ناهموار یک بعدی هادی کامل ۸۴
- ۱-۲-۴- برخورد TE ۸۴
- ۳-۴- حل معادله (۴-۲۰) با روش مومنت ۸۶
- ۱-۳-۴- برخورد TM ۸۸
- ۴-۴- در نظر گرفتن موج برخوردی بصورت موج صفحه ای هموار شده در لبه ۹۱
- ۵-۴- میدان پراکنده شده ۹۲
- ۶-۴- پراکندگی از سطح ناهموار یک بعدی عایقی ۱۰۷
- ۷-۴- پراکندگی از سطح ناهموار دوبعدی هادی کامل ۱۱۶
- ۸-۴- پراکندگی از سطوح ناهموار خاص- تقویت پراکندگی برگشتی ۱۲۱

فصل ۵- تصحیح ضرایب فرنل برای انعکاس از سطوح ناهموار در باند موج میلیمتری

۱۲۵

- ۱-۵- ایده سطح مقاومتی بجای استفاده از موج صفحه ای در لبه هموار شده ۱۲۵

- ۵-۲- مدلسازی سطح عایقی با سطح هادی تلفاتی در باند موج میلیمتری ۱۳۲
- ۵-۳- تصحیح ضرایب فرنل برای سطوح ناهموار در باند موج میلیمتری ۱۳۶
- ۵-۴- نتایج شبیه سازی برای سطوح آسفالت و بتن ۱۳۹

فصل ۶- محاسبه پراکندگی با روش استخراج هارمونیک‌های سطح ناهموار ۱۵۷

- ۶-۱- روش تقریبی کرکف برای سطوح متناوب ۱۵۷
- ۶-۱-۱- سطح کسینوسی ۱۶۱
- ۶-۲- تعمیم حل تقریبی کرکف برای سطوح متناوب ۱۶۶
- ۶-۳- تقریب سطح ناهموار با روش استخراج هارمونیک‌های قوی و اعمال روش کرکف ۱۶۹
- ۶-۴- نتایج شبیه سازی و راستی آزمایی با روش مومنت ۱۷۲

پیوست‌ها ۱۷۹

- پ-۱- پیوست مربوط به فصل اول ۱۷۹
- پ-۱-۱- اثبات رابطه (۱-۲۸)، اختلاف فاز بین دو پرتو پراکنده شده در شکل (۱-۸) ۱۷۹
- پ-۲- پیوست‌های مربوط به فصل دوم ۱۸۱
- پ-۲-۱- محاسبه $\psi_s^{(0)}$ ، $\psi_s^{(1)}$ و $\psi_s^{(2)}$ در روند اغتشاش کوچک برای برخورد TE ۱۸۱
- پ-۲-۲- محاسبه توان پراکنده شده همدوس $\sigma(\theta_s)$ غیر همدوس $\sigma(\theta_s)$ در روش اغتشاش کوچک برای برخورد TE ۱۸۲
- پ-۲-۳- اثبات رابطه (۲-۳۹) در روش کرکف برای شرط ریزی بیریکله ۱۸۵
- پ-۲-۴- محاسبه $\sigma(\theta_s)$ در روش کرکف برای برخورد TE ۱۸۸
- پ-۴- پیوست‌های مربوط به فصل چهارم ۱۹۱
- پ-۴-۱- جزییات تولید سطح گوسی با روش تبدیل فوریه ۱۹۱
- پ-۴-۲- اثبات رابطه جریان روی سطح و فرم دوم معادله انتگرالی برای برخورد TE، روابط (۴-۱۴) و (۴-۱۵) ۱۹۷
- پ-۴-۳- محاسبه درایه‌های ماتریس Z برای برخورد TE ۱۹۸
- پ-۴-۴- اثبات معادله انتگرالی، رابطه (۴-۳۱)، برای برخورد TM ۲۰۰
- پ-۴-۵- محاسبه درایه‌های ماتریس Z برای برخورد TM ۲۰۲
- پ-۳-۶- اثبات رابطه دوم، رابطه (۴-۵۳)، برای معادله انتگرالی سطح ناهموار عایقی ۲۰۵
- پ-۴-۷- محاسبه عناصر قطری در روش مومنت برای سطح ناهموار دوبعدی هادی کامل ۲۰۸

- پ-۵- پیوست‌های مربوط به فصل پنجم..... ۲۰۹
- پ-۵-۱- اثبات رابطه معادله انتگرالی برای سطح تلفاتی در برخورد TE..... ۲۱۰
- پ-۵-۲- اثبات رابطه معادله انتگرالی برای سطح تلفاتی در برخورد TM..... ۲۱۱
- پ-۶- پیوست‌های مربوط به فصل پنجم..... ۲۱۲
- پ-۵-۱- اثبات رابطه E_y ، رابطه (۶-۶۰)، در روش کرکف با کمک فرم تابع گرین سه بعدی... ۲۱۲
- پ-۶-۲- اثبات رابطه پراکندگی یک‌گه شده ρ ، برای سطح ناهموار هادی کامل به طول $2L$ ۲۱۴
- پ-۶-۳- اثبات رابطه عرض بیم $\Delta\theta_{sm}$ ۲۱۶
- پ-۴-۱- اثبات رابطه پراکندگی یک‌گه شده ρ ، برای سطح کسینوسی..... ۲۱۷
- پ-۶-۵- اثبات رابطه پراکندگی یک‌گه شده ρ ، برای سطح مجموع دو کسینوسی..... ۲۱۸
- پ-۶-۶- اثبات رابطه پراکندگی یک‌گه شده ρ ، برای سطح تقریب زده شده با سری فوریه بریده شده.

۱۹

مراجع..... ۲۲۱