สัมประสิทธิ์ไม่เชิงเส้นยังผลของคอมโพสิตไดอิเล็กทริกทรงกระบอกไม่เชิงเส้นอย่างอ่อน

นายชัยเวช ทองบุญฤทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTIVE NONLINEAR COEFFICIENTS OF WEAKLY NONLINEAR CYLINDRICAL DIELECTRIC COMPOSITES

Mr. Chaivej Thongboonrithi

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Physics
Department of Physics
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

501959

Thesis Title	Effective Nonlinear Coefficients of Weakly Nonlinear Cylindrical Dielectric Composites
By	Mr. Chaivej Thongboonrithi
Thesis Advisor	Associate Professor Dr. Mayuree Natenapit

Accepted by the Faculty of Science, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

S. Hannongbua .....Dean of Faculty of Science

(Professor Supot Hannongbua, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

Wichit Sritrakool .....Chairman

(Associate Professor Wichit Sritrakool, Ph.D.)

.....Mayuree Natenapit.....Thesis Advisor

(Associate Professor Mayuree Natenapit, Ph.D.)

Montian Tianprateep .....Member

(Montian Tianprateep, Ph.D.)

V. Hengpeunya .....Member

(Varagorn Hengpunya, Ph.D.)

นายชัยเวช ทองบุญฤทธิ์: สัมประสิทธิ์ไม่เชิงเส้นยังผลของคอมโพสิตไดอิเล็กทริกทรง กระบอกไม่เชิงเส้นอย่างอ่อน (EFFECTIVE NONLINEAR COEFICIENTS OF WEAKLY NONLINEAR CYLINDRICAL DIELECTRIC COMPOSITES)
อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. มยุรี เนตรนภิส, 75 หน้า.

ในงานวิจัยนี้สมการศักย์ไฟฟ้าและเงื่อนไขขอบสำหรับคอมโพสิตไดอิเล็กทริกไม่เชิงเส้นอย่างอ่อนได้ถูกพัฒนาโดยใช้วิธีการกระจายเพอร์เทอร์เบชันของศักย์ไฟฟ้าถึงลำดับที่สาม สมการศักย์ไฟฟ้าและเงื่อนไขขอบถูกประยุกต์ใช้หาผลเฉลยของศักย์ไฟฟ้าถึงลำดับที่สามของคอมโพสิตไดอิเล็กทริกไม่เชิงเส้นอย่างอ่อนกรณีสารฝังกระจายเชิงเส้นทรงกระบอกกระจายอย่างสุ่มและเบาบางอยู่ในตัวกลางไม่เชิงเส้น สูตรทั่วไปสำหรับการคำนวณสัมประสิทธิ์ไม่เชิงเส้นยังผลถึงลำดับที่เก้าโดยใช้วิธีการกระจายเพอร์เทอร์เบชันซึ่งพิจารณาความไม่เชิงเส้นของคอมโพสิตถึงลำดับที่ห้าถูกคำนวณโดยจากนิยามสัมประสิทธิ์ไม่เชิงเส้นยังผลจากพลังงานของคอมโพสิต สูตรทั่วไปนี้ถูกประยุกต์ใช้ในกรณีสัมประสิทธิ์ไม่เชิงเส้นยังผลของคอมโพสิตไดอิเล็กทริกไม่เชิงเส้นอย่างอ่อนซึ่งมีสารฝังกระจายไม่เชิงเส้นทรงกระบอกกระจายอยู่ในตัวกลางเชิงเส้นอย่างสุ่มและเบาบาง สัมประสิทธิ์ไม่เชิงเส้นยังผลที่เราคำนวณความไม่เชิงเส้นถึงลำดับที่ห้าถูกลดรูปลงได้ตรงผลงานแบบง่ายของ กู และ ยู (1992) ซึ่งพิจารณาความไม่เชิงเส้นถึงลำดับที่สามเท่านั้นโดยการคำนวณใช้นิยามของสัมประสิทธิ์ไม่เชิงเส้นยังผลในรูปแบบของค่าเฉลี่ยของการกระจัดทางไฟฟ้า นอกจากนั้นเราแสดงให้เห็นว่าวิธีของเรากระชับและให้ผลแม่นตรงกว่าผลการคำนวณโดยใช้วิธีของ กู และ ยู (1992) นอกจากนี้เรายังได้ประยุกต์สูตรทั่วไปของเรากับคอมโพสิตไดอิเล็กทริกไม่เชิงเส้นอย่างอ่อนในกรณีที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้นซึ่งประกอบด้วยสารฝังกระจายเชิงเส้นทรงกระบอกกระจายอย่างสุ่มและเบาบางอยู่ในตัวกลางไม่เชิงเส้น

ภาควิชาฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชาฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2550

4772270723 : MAJOR PHYSICS

KEY WORDS : WEAKLY NONLINEAR COMPOSITES/PERTURBATION EXPANSION METHOD/NINTH-ORDER EFFECTIVE NONLINEAR COEFFICIENTS

CHAIVEJ THONGBOONRITHI : EFFECTIVE NONLINEAR COEFFICIENTS OF WEAKLY NONLINEAR CYLINDRICAL DIELECTRIC COMPOSITES. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. MAYUREE NATENAPIT, PH.D., 75 pp.

In this research, the electric potential equations and the boundary conditions for weakly nonlinear composites based on the third-order perturbation expansion are developed. These expressions are applied to solve for the electric potentials up to the third-order of a weakly nonlinear dielectric composite consisting of dilute linear cylindrical inclusions randomly dispersed in a nonlinear host medium. General formulae for calculating the effective nonlinear coefficients up to the ninth-order by using the perturbation expansion method, including terms up to the fifth-order nonlinear coefficient, are derived from the composite energy definition of the effective coefficients. These general formulae are applied to a case of nonlinear dielectric composite consisting of dilute weakly nonlinear cylindrical inclusions randomly dispersed in a linear medium. Our results, which include the fifth-order nonlinearity of the effective coefficients, reduce to the simple results of Gu and Yu (1992) considering only the third-order nonlinearity obtained by using the average electric displacement definition of the effective nonlinear coefficients. Moreover, we show that our method is more concise and gives more accurate results than those obtained by using the method of Gu and Yu (1992). Furthermore, we also apply our general formulae to a more complicated weakly nonlinear composite consisting of dilute linear cylindrical inclusions randomly dispersed in a nonlinear host medium.

Department Physics Student's signature Chaivej Thongboonrithi

Field of study Physics Advisor's signature Myn. Nat

Academic year 2007

Acknowledgements

The author wishes to express his gratitude to his thesis advisor, Associate Professor Dr. Mayuree Natenapit for her useful advice, encouragement and helps in various ways.

He would like to thank the thesis committee, Associate Professor Dr. Wichit Sritrakool, Dr. Montian Tianprateep and Dr. Varagorn Hengpunya, for their helps in reading and criticizing the manuscript.

He is also grateful to Dr. Rujikorn Dhanawittayapol for his helps in various ways.

Finally, he is extremely grateful to his family who has supported him during the whole period of his education.

CONTENTS

Page

Abstract in Thai iv

Abstract in English v

Acknowledgements vi

Contents vii

List of Figures ix

List of Symbols x

Chapter

1 Introduction 1

2 Theory 4

2.1 Linear dielectrics 4

2.2 Nonlinear dielectrics 4

2.3 Basic equations of electrostatics 5

2.4 The perturbation expansion method 6

2.5 Field equations and boundary conditions 6

3 Electrostatic Boundary Value Problem of Nonlinear Dielectric Composites 11

3.1 Physical modeling 11

Chapter Page

3.2 Boundary conditions for the case of linear inclusions in a nonlinear medium 12

3.3 Derivation of the electric potentials of nonlinear composites 14

4 General Formulae for Effective Coefficients of Nonlinear Composites 32

4.1 The definition of effective coefficients 32

4.2 Process to determine general formulae for the effective coefficients 33

5 Effective Coefficients of Nonlinear Composites 38

5.1 The case of nonlinear inclusions in a linear host medium 38

5.1.1 Effective coefficients by using the perturbation expansion method 40

5.1.2 Effective coefficients by using the method of Gu and Yu . . 42

5.1.3 Application 46

5.2 The case of linear inclusions in a nonlinear host medium 51

6 Conclusions 58

References 60

Appendices 63

Appendix A 64

Appendix B 71

Appendix C 74

Vitae 75

LIST OF FIGURES

3.1 A single inclusion model of a nonlinear dilute dielectric composite in an external uniform electric field ($\mathbf{E}_0$). 12

5.1 The relative fifth-order nonlinear coefficient for packing fraction $p_i = 0.05$ and 0.1. 48

5.2 The relative ninth-order nonlinear coefficient for packing fraction $p_i = 0.05$ and 0.1. 49

5.3 Comparison of the relative ninth-order nonlinear coefficient by using our method and the method of Gu and Yu. 50

5.4 The relative third-order nonlinear coefficient for packing fraction $p_i = 0.05$, 0.1 and 0. 55

5.5 The relative fifth-order nonlinear coefficient for packing fraction $p_i = 0.05$, 0.1 and 0. 56

5.6 The relative seventh-order nonlinear coefficient for packing fraction $p_i = 0.05$, 0.1 and 0. 57

LIST OF SYMBOLS

λ	expansion parameter
ε	linear dielectric coefficient or dielectric constant
χ	the third-order nonlinear coefficient
η	the fifth-order nonlinear coefficient
ε_e	effective linear coefficient
χ_e	the third-order effective nonlinear coefficient
η_e	the fifth-order effective nonlinear coefficient
δ_e	the seventh-order effective nonlinear coefficient
μ_e	the ninth-order effective nonlinear coefficient
ϕ_0	the zeroth-order electric potential
ϕ_1	the first-order electric potential
ϕ_2	the second-order electric potential
ϕ_3	the third-order electric potential
$\mathbf{D}$	electric displacement
$\mathbf{E}$	local electric field
$\mathbf{E}_0$	apply electric field
V	volume of the composite