

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าขนาดความถี่ ยู แอล เอฟ-อี แอล เอฟ ในตัวกลางแอนไอโซโทรปิก



นายคมสันต์ สิริวัฒนาพาท

007147

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2525

ISBN 974-561-594-3

๕/๓๗

ULF-ELF ELECTROMAGNETIC FIELDS IN AN ANISOTROPIC MEDIUM

Mr.Komsan Siriwattanapat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering


Graduate School

Chulalongkorn University

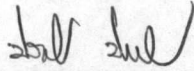
1982


หัวข้อวิทยานิพนธ์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าขนาดความถี่ ยู แอล เอฟ-อี แอล เอฟ ในตัวกลาง
แอนไอโซโทรปิก
โดย นายคมสันต์ สิริวัฒนาพาท
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.มงคล เดชนครินทร์

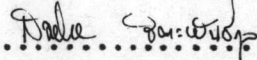
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....  คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคล)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มงคล เดชนครินทร์)

.....  กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

.....  กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต โรจน์อารยันนท์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าขนาดความถี่ ยู แอล เอฟ-อี แอล เอฟ ในตัวกลาง
แอนไอโซโทรปิก

ชื่อนิสิต นายคมสันต์ ลีริวัฒนาพาท

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.มงคล เดชนครินทร์

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2525



บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าขนาดความถี่ ยู แอล เอฟ-อี แอล เอฟ ในตัวกลางชนิดแอนไอโซโทรปิก ซึ่งมีสภาพนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทาง ตัวกลางชนิดแอนไอโซโทรปิกที่ใช้ก็คือบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กโลกอาจมีค่ามุมเทใจๆในช่วง 0-90 องศา การหาณิพจน์ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เริ่มขึ้นโดยการใช้สมการของแมกซ์เวลล์ จากนั้นจึงอาศัยวิธีวิเคราะห์เทนเซอร์เพื่อแปลงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระยะทางทำให้ได้สมการใหม่ที่แก้ได้ง่าย นอกจากนี้ผู้วิจัยก็ได้้นำเทคนิคพจนรบกวนทางความถี่มาใช้ด้วยเพื่อหาณิพจน์เชิงวิเคราะห์ของสนามอันดับหนึ่งจากสนามอันดับศูนย์ซึ่งเป็นสนามที่หาได้ในตอนแรก เมื่อได้ณิพจน์เชิงวิเคราะห์ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามที่ต้องการแล้ว ผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างการคำนวณค่าเป็นตัวเลขของสนามดังกล่าวไว้ด้วย เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของคลื่นและเพื่อเปรียบเทียบกับผลงานของผู้วิจัยอื่นๆ วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ให้ผลที่ตรวจสอบได้กับผลงานของผู้วิจัยอื่นๆ และมีข้อได้เปรียบวิธีการของผู้วิจัยอื่นๆในแง่ที่ทำให้สามารถหาค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในไอโอโนสเฟียร์ ในบริเวณที่สนามแม่เหล็กโลกมีค่ามุมเทใจๆก็ได้ ในขณะที่วิธีของผู้วิจัยอื่นๆส่วนมากใช้ได้เฉพาะกับบริเวณที่สนามแม่เหล็กโลกมีค่ามุมเทเป็น 90 องศาเท่านั้น

v

Thesis Title ULF-ELF Electromagnetic Fields in an Anisotropic Medium
Name Mr. Komsan Siriwattanapat
Thesis Advisor Dr. Mongkol Dejnakarintara
Department Electrical Engineering
Academic Year 1982

ABSTRACT

In this thesis we study ULF-ELF electromagnetic fields in an anisotropic medium, whose conductivities vary with direction. The anisotropic medium used here is the ionosphere, an atmospheric layer, in which the earth's magnetic field can have any dip angle in the range of 0-90 degrees. The derivation of expressions of electromagnetic fields starts from Maxwell's equations. Tensor analysis is applied to the equations in order to transform the space variables and obtain new equations which are easy to solve. In addition, the author uses frequency-perturbation technique to obtain analytical expressions for first-order fields from zero-order fields, which are previously derived. After having obtained the desired analytical expressions for the electromagnetic fields, the author then gives examples of numerical calculation of the fields. This is done to study the physical properties of the fields and to make a comparison with the results of other authors. The method used in this thesis gives the results which check well with those of other authors. It also has an advantage in that the expressions of the electromagnetic fields in the ionosphere can be obtained for any value of the dip angle of the earth's magnetic field whereas methods used by most of other authors can apply to the case of 90-degree dip angle only.



กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มงคล เตชนครินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาใช้เวลาให้ความรู้ คำแนะนำ และการตรวจสอบ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณท่านผู้มีพระคุณต่อข้าพเจ้าที่ได้ช่วยเหลือ และแนะนำข้าพเจ้าตลอดจนเป็นกำลังใจในการเขียนวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สารบัญ



	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
รายการรูปและกราฟ.....	ช
รายการตาราง.....	ญ

บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 ประวัติความเป็นมา.....	1
1.2 คุณสมบัติทางกายภาพของชั้นบรรยากาศ.....	1
1.3 วัตถุประสงค์.....	5
2. การคำนวณค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยวิธีวิเคราะห์เทนเซอร์.....	8
2.1 สมการพื้นฐาน.....	8
2.2 การหาสูตรตามวิธีวิเคราะห์เทนเซอร์.....	10
2.3 ค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ULF-ELF เมื่อสนามแม่เหล็กโลกทำมุม 90° กับพื้นโลก.....	21
3. การคำนวณค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยวิธีใช้พจน์รบกวน.....	36
3.1 บทนำ.....	36
3.2 สมการพื้นฐาน.....	36
3.3 ค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ULF-ELF เมื่อใช้พจน์รบกวนทางมุมเท.....	39
4. การเปรียบเทียบผลการคำนวณโดยแสดงเป็นค่าตัวเลข.....	59

	หน้า
4.1 ค่าต่างๆที่นำมาใช้ในการพิจารณา.....	59
4.2 การเปลี่ยนแปลงของค่า a , b , และ c เทียบกับค่ามุมแตกต่างกัน.....	60
4.3 ผลของการเปลี่ยนตัวแปรจาก x , y , z เป็นตัวแปร ζ , η , ξ	61
4.4 การแปรค่าของสนามตามค่า z	62
4.5 ค่าสนามไฟฟ้าอันดับศูนย์ที่ค่ามุมเท่าใดๆ จากการคำนวณโดยวิธีวิเคราะห์ เทนเซอร์.....	63
4.6 ค่าสนามไฟฟ้าอันดับหนึ่งที่ค่ามุมเท่าใดๆ จากการคำนวณโดยวิธีวิเคราะห์ เทนเซอร์.....	65
4.7 ค่าสนามไฟฟ้าอันดับศูนย์ที่ค่ามุมเท่าในช่วง 82° - 90° จากการคำนวณโดย วิธีพจน์รบกวน.....	68
5. วิจารณ์ ข้อเสนอแนะ และสรุป.....	91
5.1 วิจารณ์.....	91
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	93
5.3 สรุป.....	94
เอกสารอ้างอิง.....	95
ภาคผนวก.....	97
ประวัติผู้เขียน.....	129

รายการรูปและกราฟ

รูปที่

หน้า

1.1	ขอบเขตของชั้นบรรยากาศ.....	2
1.2	แบบจำลองแบบเก่าของชั้นบรรยากาศของโลก.....	3
1.3	แบบจำลองแบบใหม่ของชั้นบรรยากาศของโลก.....	4
1.4	แสดงค่าความนำไฟฟ้าที่ระยะความสูงต่าง ๆ.....	5
2.1	แสดงเส้นแรงสนามแม่เหล็กโลกทำมุมเท I ในระนาบ yz.....	10
3.1	แสดงมุมเท (dipangle) I ซึ่งอยู่ในระนาบ yz และทำมุมกับแกน y และ $\theta = 90^\circ - I$	37
4.1	แสดงมุมระหว่างแกน ζ , η , และ ξ	61
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a และ b กับมุมเท I ที่ระดับความสูง ต่าง ๆ กัน.....	70
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า c กับมุมเท I ที่ระดับความสูง ต่าง ๆ กัน.....	71
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเท I กับมุม γ ที่ระดับความสูงต่าง ๆ กัน	72
4.5	แสดงความสัมพันธ์ของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลของตัวแปร z ที่ระดับ ความสูงต่าง ๆ กัน.....	75
4.6	แสดงความสัมพันธ์ของค่าสนามไฟฟ้าอันดับศูนย์ (วิธีวิเคราะห์เทนเซอร์) กับมุมเท I ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ณ จุดพิกัด ($x=0$, $y=0$, $z=0$) และ ($x=1$, $y=1$, $z=1$).....	78
4.7	แสดงความสัมพันธ์ของค่าสนามไฟฟ้าอันดับหนึ่ง (วิธีวิเคราะห์เทนเซอร์) กับมุมเท I ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ณ จุดพิกัด ($x=1$, $y=1$, $z=1$) ..	82

- 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของค่าสนามไฟฟ้าอันดับศูนย์โดยวิธีวิเคราะห์แบบพจน์รบกวน
เปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์เทนเซอร์ ที่ระดับความสูง 90 กิโลเมตร ณ จุด
พิกัด $(x=0, y=0, z=0)$ และ $(x=1, y=1, z=1)$ 85
- ข.1 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กโลกกับมุมต่าง ๆ ที่จะใช้ในการคำนวณ..... 101

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าคงตัวต่าง ๆ ของสนามแม่เหล็ก \vec{H}_0	23
2.2 แสดงค่าคงตัวต่าง ๆ ของสนามไฟฟ้า \vec{E}_1	26
2.3 แสดงค่าคงตัวต่าง ๆ ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า \vec{H}_1	29
2.4 แสดงค่าคงตัวและตัวแปรต่าง ๆ ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อเส้นแรง- แม่เหล็กโลกทำมุม $\approx 90^\circ$ กับพื้นโลก.....	34
3.1 แสดงค่าคงตัวต่าง ๆ ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มุมเทิด ๆ โดยวิธีเชิง วิเคราะห์แบบพจน์รบกวน.....	46
4.1 ค่าของ σ_0 , σ_1 , และ σ_2	59