ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246923

การศึกษาปรับปรุงเทียบบนฐานรากแผ่นของอาคารชนิดผ้าม่านที่มีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของฐานราก

นายสาธิต รัตนานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b00251262

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246923

การศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของขั้วกระแสฟ้าผ่าที่มีต่อความยาวประสิทธิผลของรากสายดิน

นายสาธิต รัตตานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5170493721

COMPARATIVE STUDY OF IMPULSE CURRENT POLARITY IMPACT ON EFFECTIVE LENGTH OF GROUNDING ELECTRODE

Mr.Sathit Rattanon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของขั้วกระแสฟ้าผ่าที่มีต่อความยาวประสิทธิผลของรากสายดิน
โดย	นายสาธิต รัตตานนท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร. วีระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.วีระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.นาตยา คล้ายเรือง)

สาธิต รัตตานนท์: การศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของขั้วกระแสฟ้าผ่าที่มีต่อความยาวประสิทธิผลของรากสายดิน. (COMPARATIVE STUDY OF IMPULSE CURRENT POLRITY IMPACT ON EFFECTIVE LENGTH OF GROUNDING ELECTRODE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ.ดร.วีระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา, 112 หน้า

246923

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นรายงานการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของขั้วกระแสฟ้าผ่าที่มีต่อความยาวประสิทธิผลของรากสายดิน ซึ่งใช้การทดลองย่อส่วนศึกษาเปรียบเทียบ และหาค่าความยาวประสิทธิผลโดยกำหนดการเปลี่ยนแปลงอิมพัลส์อิมพิแดนซ์ของสายดินเทียบกับความยาว หรือขนาดอนุพันธ์ที่ไม่เกินค่า Tangent ของมุม $\alpha = 5^{\circ}$ ทำการทดลองโดยใช้รากสายดินแนวดิ่งและรากสายดินแนวนอน ที่ค่าความต้านทานจำเพาะ 1136 Ω.cm. 757 Ω.cm. และ 367 Ω.cm. ตามลำดับ และที่ทุกความต้านทานใช้รูปคลื่น 77.5/290 μs. 22.5/220 μs. 10/420 μs. และ 7.5/140 μs. ตามลำดับ ทั้งภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวกและขั้วลบ

จากการทดลอง พบว่า ขั้วของกระแสอิมพัลส์ ความต้านทานจำเพาะและเวลาหน้าคลื่นกระแสอิมพัลส์มีผลกระทบต่อความยาวประสิทธิผล โดยความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวดิ่งยาวกว่ารากสายดินแนวนอน และความยาวประสิทธิผลของรากสายดินภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วลบยาวกว่าขั้วบวกทั้งรากสายดินแนวดิ่งและแนวนอน ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง 0.32 – 5.07 %

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต สาธิต รัตตานนท์

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553

##5170493721: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: IMPULSE CURRENT POLARITY/ EFFECTIVE LENGTH

SATHIT RATTANON: COMPARATIVE STUDY OF IMPULSE CURRENT POLARITY IMPACT ON EFFECTIVE LENGTH OF GROUNDING ELECTRODE. THESIS ADVISOR: WEERAPUN RUNGSEEVIJITPRAPA, PH.D., 112 pp.

246323

This thesis presents the comparative study of impulse current polarity impact on effective length of grounding electrode. In the research, we used scaling experiment principle for investigate. And calculate the effective length of grounding by specify the changing of impulse impedance compare with the length of grounding electrode not exceed tangent of angle $\alpha = 5°$. Do the experiment by used vertical and horizontal grounding electrode at the specific resistance 1136 Ω.cm. 757 Ω.cm. and 367 Ω.cm. respectively. Each the specific resistance used waveform 77.5/290 μs. 22.5/220 μs. 10/420 μs. and 7.5/140 μs. respectively all under positive and negative impulse.

From the experimental results show that impulse current polarity, specific resistance of saline and impulse current wave front impact on effective length of grounding electrode by the effective length of vertical grounding electrode is longer than the effective length of horizontal grounding electrode and the effective length under negative impulse polarity is longer than the effective length under positive impulse polarity with percent difference 0.32 – 5.07%

Department : Electrical Engineering Student's Signature Sathit Rattanon

Field of Study : Electrical Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างดีจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.วีระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา ที่ได้ให้คำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์รวมทั้งได้ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เป็นที่เรียบร้อยจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ และ อาจารย์ ดร.นาตยา คล้ายเรือง ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงทุก ๆ ท่าน ที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกทั้งอุปกรณ์และสถานที่เพื่อใช้ในการทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อจรูญ และคุณแม่น้อย รัตตานนท์ ที่คอยสนับสนุน และส่งเสริมในด้านการศึกษาต่อมาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทีแด่บูรพาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน ทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีความรู้และประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์ 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 ขั้นตอนในการทำวิทยานิพนธ์ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า (Lightning Strike) 3

2.2 ผลกระทบจากฟ้าผ่า 4

2.3 กรณีฟ้าผ่าลงบนสายดินของเสาส่งไฟฟ้า 5

2.4 แรงดันช่วงก้าวและแรงดันสัมผัส 6

2.5 การสร้างกระแสอิมพัลส์ 7

2.6 ความรู้เกี่ยวกับระบบรากสายดิน 10

2.6.1 ความต้านทานดิน 10

2.6.2 ความลึกในการฝังรากสายดิน 12

2.6.3 ความชื้นภายในดิน 13

2.6.4 อุณหภูมิ 14

2.6.5 ชนิดของรากสายดิน 14

2.7 ความยาวประสิทธิผลของรากสายดิน 17

2.8 หลักการทดลองย่อส่วน 20

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22

หน้า

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 24
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 24
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง 24
3.2.1 ขั้นตอนการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง 26
3.2.2 ขั้นตอนการทดลองรากสายดินแนวนอน 26
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง 28
4.1 การศึกษาผลกระทบของขั้วกระแสฟ้าผ่าที่มีต่อรากสายดินแนวดิ่ง 28
4.1.1 กรณีกระแสอิมพัลส์ขั้วบวก (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 1136 Ω.cm.) 28
4.1.2 กรณีกระแสอิมพัลส์ขั้วลบ (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 1136 Ω.cm.) 30
4.1.3 กรณีกระแสอิมพัลส์ขั้วบวก (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 757 Ω.cm.) 31
4.1.4 กรณีกระแสอิมพัลส์ขั้วลบ (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 757 Ω.cm.) 33
4.1.5 กรณีกระแสอิมพัลส์ขั้วบวก (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 367 Ω.cm.) 34
4.1.6 กรณีกระแสอิมพัลส์ขั้วลบ (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 367 Ω.cm.) 36
4.2 การศึกษาผลกระทบของขั้วกระแสฟ้าผ่าที่มีต่อรากสายดินแนวนอน 38
4.2.1 กรณีกระแสอิมพัลส์ขั้วบวก (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 1136 Ω.cm.) 39
4.2.2 กรณีกระแสอิมพัลส์ขั้วลบ (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 1136 Ω.cm.) 40
4.2.3 กรณีกระแสอิมพัลส์ขั้วบวก (ความต้านทาจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 757 Ω.cm.) 42
4.2.4 กรณีกระแสอิมพัลส์ขั้วลบ (ความต้านทาน จำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 757 Ω.cm.) 43
4.2.5 กรณีกระแสอิมพัลส์ขั้วบวก (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 367 Ω.cm.) 45

หน้า

4.2.6 กรณีกระแสอิมพัลส์ขั้วลบ (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 367 Ω.cm.) 46
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 51
5.1 สรุปผล 51
5.2 ข้อเสนอแนะ 51
รายการอ้างอิง 53
ภาคผนวก 55
ภาคผนวก ก อุปกรณ์วัดที่ใช้ในการทดสอบ 56
ภาคผนวก ข รูปคลื่นการทดลองหาค่าความยาวประสิทธิผล 58
ภาคผนวก ค ตารางผลการทดลอง 64
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 112

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตัวอย่างความต้านทานดิน [8] 11

2.2 ชนิดของรากสายดิน 15

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ในการทดลองและค่าจริงของรากสายดินแนวดิ่งและแนวนอน 25

3.2 ค่าความต้านทานน้ำเกลือ 26

4.1 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทาน 1136 Ω.cm. กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 28

4.2 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทานน้ำเกลือ 1136 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 29

4.3 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทาน 1136 Ω.cm. กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 30

4.4 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทานน้ำเกลือ 1136 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 31

4.5 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทาน 757 Ω.cm. กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 31

4.6 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทานน้ำเกลือ 757 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 32

4.7 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทาน 757 Ω.cm. กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 33

4.8 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทานน้ำเกลือ 757 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 34

4.9 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทาน 367 Ω.cm. กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 34

4.10 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทานน้ำเกลือ 367 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 35

4.11 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทาน 367 Ω.cm. กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 36

4.12 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทานน้ำเกลือ 367 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 37

4.13 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ความต้านทาน 1136 Ω.cm. กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 39

4.14 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวนอน ความต้านทานน้ำเกลือ 1136 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 40

4.15 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ความต้านทาน 1136 Ω.cm. กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 40

ตารางที่ หน้า

4.16 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวนอน ความต้านทานน้ำเกลือ 1136 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 41
4.17 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ความต้านทาน 757 Ω.cm. กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 42
4.18 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวนอน ความต้านทานน้ำเกลือ 757 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 43
4.19 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ความต้านทาน 757 Ω.cm. กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 43
4.20 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวนอน ความต้านทานน้ำเกลือ 757 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 44
4.21 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ความต้านทาน 367 Ω.cm. กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 45
4.22 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวนอน ความต้านทานน้ำเกลือ 367 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 46
4.23 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ความต้านทาน 367 Ω.cm. กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 46
4.24 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวนอน ความต้านทานน้ำเกลือ 367 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 47
4.25 แสดงการเปรียบเทียบความยาวประสิทธิผล 49
4.26 แสดงความแตกต่างของความยาวประสิทธิผลภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวกและขั้วลบ 50
ข.1 รูปคลื่นรากสายดินแนวดิ่ง ที่ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 1136 Ω.cm 58
ข.2 รูปคลื่นรากสายดินแนวนอน ที่ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 1136 Ω.cm 59
ข.3 รูปคลื่นรากสายดินแนวดิ่ง ที่ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 757 Ω.cm 60
ข.4 รูปคลื่นรากสายดินแนวนอน ที่ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 757 Ω.cm 61
ข.5 รูปคลื่นรากสายดินแนวดิ่ง ที่ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 367 Ω.cm 62
ข.6 รูปคลื่นรากสายดินแนวนอน ที่ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 367 Ω.cm 63
ค.1 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ภายใต้รูปคลื่น 7.75/29 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 1136 Ω.cm 64
ค.2 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ภายใต้รูปคลื่น 2.25/22 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 1136 Ω.cm 66
ค.3 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ภายใต้รูปคลื่น 1/42 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 1136 Ω.cm 68
ค.4 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ภายใต้รูปคลื่น 0.75/14 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 1136 Ω.cm 70

ตารางที่ หน้า

ค.5 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ภายใต้รูปคลื่น 7.75/29 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 1136 Ω.cm 72
ค.6 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ภายใต้รูปคลื่น 2.25/22 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 1136 Ω.cm 74
ค.7 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ภายใต้รูปคลื่น 1/42 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 1136 Ω.cm 76
ค.8 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ภายใต้รูปคลื่น 0.75/14 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 1136 Ω.cm 78
ค.9 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ภายใต้รูปคลื่น 7.75/29 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 757 Ω.cm 80
ค.10 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ภายใต้รูปคลื่น 2.25/22 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 757 Ω.cm 82
ค.11 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ภายใต้รูปคลื่น 1/42 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 757 Ω.cm 84
ค.12 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ภายใต้รูปคลื่น 0.75/14 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 757 Ω.cm 86
ค.13 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ภายใต้รูปคลื่น 7.75/29 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 757 Ω.cm 88
ค.14 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ภายใต้รูปคลื่น 2.25/22 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 757 Ω.cm 90
ค.15 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ภายใต้รูปคลื่น 1/42 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 757 Ω.cm 92
ค.16 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ภายใต้รูปคลื่น 0.75/14 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 757 Ω.cm 94
ค.17 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ภายใต้รูปคลื่น 7.75/29 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 367 Ω.cm 96
ค.18 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ภายใต้รูปคลื่น 2.25/22 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 367 Ω.cm 98
ค.19 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ภายใต้รูปคลื่น 1/42 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 367 Ω.cm 100

ตารางที่ หน้า

ค.20 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ภายใต้รูปคลื่น 0.75/14 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 367 Ω.cm 102

ค.21 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ภายใต้รูปคลื่น 7.75/29 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 367 Ω.cm 104

ค.22 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ภายใต้รูปคลื่น 2.25/22 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 367 Ω.cm 106

ค.23 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ภายใต้รูปคลื่น 1/42 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 367 Ω.cm 108

ค.24 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ภายใต้รูปคลื่น 0.75/14 μs. ที่ความต้านทานจำเพาะ 367 Ω.cm 110

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 (a) เกิดเส้นทางนำขึ้น (b) เกิด return stroke current	4
2.2 รูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า	4
2.3 ผลกระทบของฟ้าผ่าที่มีต่อสัตว์	5
2.4 ฟ้าผ่าลงบนสายดิน	6
2.5 แรงดันช่วงก้าวและแรงดันสัมผัส	6
2.6 วงจรพื้นฐานของเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์	7
2.7 รูปคลื่นกระแสอิมพัลส์และค่าพารามิเตอร์	8
2.8 วงจรจำลองหาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการลดลงของหน้าคลื่นกระแสอิมพัลส์	9
2.9 ผลการจำลองที่ค่าความต้านทานคงที่และความเหนี่ยวนำลดลง	9
2.10 ผลการจำลองที่ความเหนี่ยวนำคงที่และค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น	9
2.11 อิทธิพลของรากสายดินที่มีต่อความต้านทานดิน	10
2.12 ตัวอย่างการปรับปรุงความต้านทานดินด้วยเกลือ	12
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานดินกับความลึก	12
2.14 การติดตั้งรากสายดินทำมุม 30°	13
2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานดินกับความชื้นของดิน	13
2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานดินกับอุณหภูมิของดิน	14
2.17 การจำลองรากสายดินแนวนอนยาว 40 m	16
2.18 การกระจายของแรงดันบนรากสายดิน	17
2.19 อิมพัลส์อิมพิแดนซ์กับฟังก์ชันของความต้านทานดิน	17
2.20 ค่าอนุพันธ์ระหว่างอิมพัลส์อิมพิแดนซ์ของรากสายดินเทียบกับความยาว	18
2.21 การทดลองหาค่าความยาวประสิทธิผลของรากสายดิน (a) แนวดิ่ง (b) แนวนอน	19
2.22 (a) รูปคลื่นกระแสอิมพัลส์จริง (b) รูปคลื่นกระแสอิมพัลส์จำลอง	22
2.23 แสดงความสัมพันธ์ของอิมพัลส์อิมพิแดนซ์กับกระแสตามการทดลองของ Idris, Mohamad Nor และ Ahmad	22
2.24 ความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวนอน	23
3.1 วงจรทดลองหาค่าความยาวประสิทธิผล	24
3.2 ชุดทดสอบในห้องปฏิบัติการ	25

ภาพที่ หน้า

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวดิ่งโดยสารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 1136 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก..... 29
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวดิ่งโดยสารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 1136 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 30
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวดิ่งโดยสารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 757 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 32
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวดิ่งโดยสารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 757 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 33
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวดิ่งโดยสารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 367 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 35
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวดิ่งโดยสารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 367 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 36
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวดิ่งกับเวลาหน้าคลื่นภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 37
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวดิ่งกับเวลาหน้าคลื่นภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 38
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวนอนโดยสารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 1136 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 39
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวนอนโดยสารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 1136 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 41
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวนอนโดยสารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 757 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 42
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวนอนโดยสารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 757 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 44
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวนอนโดยสารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 367 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 45
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวนอนโดยสารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 367 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 47
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวนอนกับเวลาหน้าคลื่นภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวก 48

ภาพที่ หน้า

4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวนอนกับเวลาหน้าคลื่นภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ 48
5.1 (a) ความต้านทานดินบริเวณภูเขา (b) ความต้านทานดินบริเวณที่มีความแห้งแล้ง 52
ก.1 ออสซิลโลสโคป RIGOL DS1022C 56
ก.2 ชั้นท์วัดกระแสอิมพัลส์ 56
ก.3 โวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ 56
ก.4 วงจรวัดความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ..... 57