

การคำนวณหาสนามไฟฟ้าแรงสูงของแท่งแก๊ส - ระบายด้วยวิธีจำลองแบบประจุ



นายเดช สุชะพิริยะ

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2529

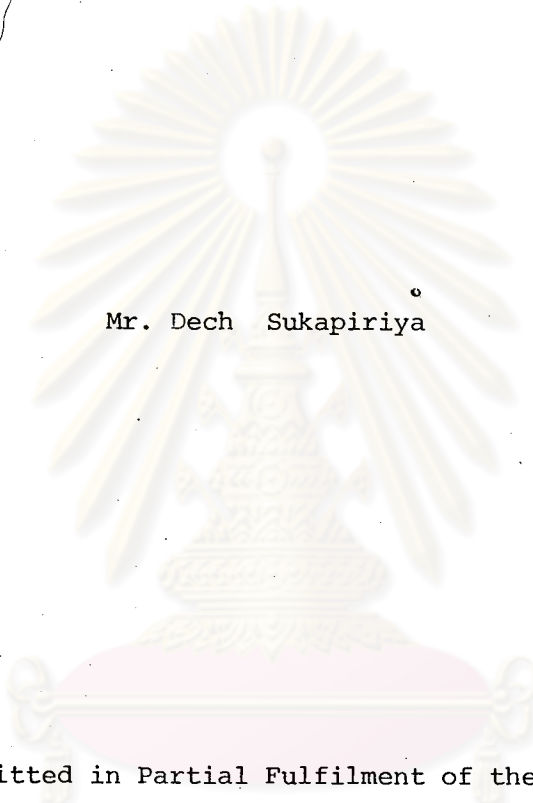
ISBN 974-566-229-1

013207

T15602382

A CHARGE SIMULATION METHOD FOR THE CALCULATION OF

H.V. ELECTRIC FIELD OF ROD - PLANE GAPS



Mr. Dech Sukapiriya

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1986

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การคำนวณหาสนามไฟฟ้าแรงสูงของแก๊สแห่งกลม-ระนาบด้วยวิธีจำลองแบบประจุ

โดย นาย เดช สุชะพิริยะ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สำรวัย สังข์สะอาด



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. สรชัย พิศาลบุตร)

รักษาการในตำแหน่งรองคณบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนรักษาการในตำแหน่งคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มงคล เดชนครินทร์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สำรวัย สังข์สะอาด)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ อยู่ถนอม)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกชัย ลีลารัมย์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หัวข้อวิทยานิพนธ์ การคำนวณหาสนามไฟฟ้าแรงสูงของแท่งแท่งกลม-ระนาบด้วยวิธีจำลองแบบประจุ

ชื่อ นาย เดช สุขะพิริยะ

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สำรวัย สังข์สะอาด

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2528

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้รายงานผลการศึกษาและวิจัยการคำนวณศักย์และสนามไฟฟ้าด้วยวิธีจำลองแบบประจุของอิลีกโทรดแท่งกลมปลายมนกับระนาบที่มีระยะแคบ 5 มิลลิเมตร ถึง 40 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งกลมปลายมนเท่ากับ 10, 20, 40, 80 และ 100 มิลลิเมตร ใช้ค่าสนามไฟฟ้ากระจายที่คำนวณได้จากวิธีจำลองแบบประจุคำนวณหาแรงดันเริ่มต้นในก๊าซ SF₆ และอากาศที่มีความดันตั้งแต่ 0.2 บาร์ ถึง 5.0 บาร์ ตามเงื่อนไขทฤษฎีสตรีมเมอร์โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ ผลของการคำนวณค่าความเครียดสนามไฟฟ้าของแรงดันเริ่มต้นต่อความดันก๊าซในเทอมของผลคูณระหว่างความดันก๊าซกับรัศมีแท่งกลมปลายมนจนถึง 25 บาร์-เซนติเมตร เป็นไปตามกฎแห่งความคล้ายคลึงกัน (Similarity law) ในภาคทดลองได้ทำการทดลองหาค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดและแรงดันเบรคควานในอากาศของอิลีกโทรดแท่งกลมปลายมนกับระนาบที่มีระยะแคบและความดันเท่ากับในภาคการคำนวณ แต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งกลมปลายมนมีขนาดโตสุดเท่ากับ 40 มิลลิเมตร ทำการทดลองด้วยแรงดันกระแสตรงและแรงดันกระแสสลับ 50 แอมป์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นเด่นชัดว่าลักษณะของแรงดันเบรคควานน่าจะเป็นแบบโคโรนาเบรคควานหรือ เบรคควานโดยตรงขึ้นอยู่กับระดับความไม่สม่ำเสมอของสนามไฟฟ้าและความดันอากาศ ตลอดช่วงความดันอากาศที่ทดลองพบว่าที่แฟกเตอร์สนามไฟฟ้ายากกว่า 57.2% ลักษณะของเบรคควาน

เป็นแบบ เบริคดาวน์โดยตรง ค่าแรงต้นเริ่มต้นแปรตามค่าความดันอากาศ ทำการเปรียบเทียบค่าแรงต้นเริ่มต้นของแรงดันกระแสดร่งกับกระแสดร่งพบว่าค่าแรงต้นเริ่มต้นกระแสดร่งมีค่าใกล้เคียงแรงดันกระแสดร่งชั่วพล เปรียบเทียบค่าแรงต้นเริ่มต้นที่ได้จากการทดลองกับผลการคำนวณพบว่าผลของการทดลองต่ำกว่าค่าทางทฤษฎีโดยมีความแตกต่างเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ 10%



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title A Charge Simulation Method for the Calculation of
 H.V. Electric Field of Rod-Plane Gaps

Name Mr. Dech Sukapiriya

Thesis Advisor Associate Professor Samruay Sangkasaad, Ph. D

Department Electrical Engineering

Academic Year 1985

ABSTRACT



This thesis deals with calculation of potential and electric field of hemispherically capped rod to plane configurations by Charge Simulation Method. Diameter of rods were 10, 20, 40, 80 and 100 mm. and gap spacing were 5 to 40 mm. Computations achieved by using digital computer. Corona inception and breakdown voltages in air and SF₆ with pressure ranges of 0.2 to 5 bars were calculated by Streamer theory. Results of electric field stress to gas pressure as a function of gas pressure times radius of rod up to 25 bar-centimetres comply with Similarity law. Investigation of corona inception and breakdown characteristics were carried out with d.c. and a.c. 50 Hz. voltages. The pressure ranges of air and gap spacings are the same as calculation but the radii were only up to 20 mm. Experimental results show clearly that breakdown characteristics could be corona breakdown or direct breakdown, depending on the degree of nonuniformity of the field and pressure of air. For a given pressure ranges, breakdown characteristics are direct breakdown and vary

directly with pressure when the field factors are greater than 57.2%. Inception voltage of a.c. and negative d.c. voltages are approximately the same. Calculated values and experimental values are compared. All experimental results are lower than theoretical values in average of about 10%.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สำรวย สังข์สะอาด ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้ควบคุมการทำการค้นคว้าวิจัยที่กรุณาให้คำแนะนำทั้งทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติ ตลอดจนได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี และขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มงคล เดชนครินทร์ ที่ได้ช่วยกรุณาแก้ไขด้านภาษาของการเขียนวิทยานิพนธ์และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกชัย ลีลารัมย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในการทดสอบ และขอขอบคุณบริษัท ไทยสแตนเลสการไฟฟ้า จำกัด ที่ให้ความสนับสนุนในการศึกษาวิจัยในช่วงเวลาที่ทำงานอยู่กับบริษัทฯ

ผู้วิจัยขอขอบคุณต่อบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนในการวิจัยและขอขอบคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวนามไว้ในที่นี้ที่ให้ความช่วยเหลือในการศึกษาค้นคว้าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนแล้วเสร็จสมบูรณ์

ศูนย์วิทยพัชยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ฅ
สารบัญ	ญ
รายการรูปประกอบ	ท
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำทั่วไปและที่มาของปัญหา	1
1.2 ประวัติความเป็นมาของวิธีจำลองแบบประจุในการคำนวณสนามไฟฟ้า	2
1.3 ขอบข่ายของการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีการเกิดเบรคดาวน์ในก๊าซ	5
2.1 ทฤษฎีของทาว เซนต์	5
2.2 ทฤษฎีสตรีมเมอร์	9
2.3 ลักษณะสนามไฟฟ้า	11
2.3.1 อิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ	11
2.3.2 อิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ	14
2.4 วิธีการคำนวณแรงดัน เริ่มต้นในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ	16
บทที่ 3 การคำนวณสนามไฟฟ้าและแรงดัน เริ่มต้นด้วยวิธีจำลองแบบประจุ	19
3.1 หลักพื้นฐานของวิธีจำลองแบบประจุ	19
3.2 การพิสูจน์การใช้วิธีจำลองแบบประจุในการคำนวณศักย์และสนามไฟฟ้า	24
3.2.1 ศักย์และสนามไฟฟ้าของแท่งกลมวางขนานกับพื้นระนาบ ..	25
3.2.2 การกำหนดตำแหน่งของประจุจำลองและตำแหน่งขอบเขต ..	31
3.2.3 ขั้นตอนการคำนวณศักย์และสนามไฟฟ้า	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การคำนวณศักย์และสนามไฟฟ้าของแท่งกลมวางขนานกับพื้นระนาบ ด้วยวิธีคณิตศาสตร์วิเคราะห์	34
3.4 การคำนวณศักย์และสนามไฟฟ้าของแท่งกลมปลายมนกับระนาบ .	40
3.4.1 การคำนวณศักย์และสนามไฟฟ้า	40
3.4.2 การกำหนดตำแหน่งของประจุจำลองและตำแหน่งขอบเขต	45
3.4.3 ขั้นตอนการคำนวณศักย์และสนามไฟฟ้า	45
3.5 การคำนวณค่าแรงดัน เริ่มต้น	47
3.5.1 แรงดัน เริ่มต้นของก๊าซ SF ₆	48
3.5.2 แรงดัน เริ่มต้นของอากาศ	49
3.6 การคำนวณหาระยะวิกฤต (x_c)	50
3.7 การคำนวณแฟกเตอร์สนามไฟฟ้า (η^*)	52
3.8 การคำนวณหาสนามไฟฟ้ากระจายที่แรงดัน เริ่มต้น	52
บทที่ 4 การทดลองหาค่าแรงดัน เริ่มต้น	59
4.1 อุปกรณ์และการติดตั้ง	59
4.1.1 อิเล็กโทรดและการติดตั้ง	59
4.1.2 ตัวจ่ายแรงดันทดสอบและระบบการวัดแรงดัน	63
4.1.3 การบรรจุก๊าซและการวัดความดัน	67
4.2 วิธีทดลอง	67
4.2.1 การทดลองหาค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด (U_i)	67
4.2.2 การทดลองหาค่าแรงดันเบรคดาวน์ (U_b)	70
บทที่ 5 ผลการทดลอง	71
5.1 ผลของความดันอากาศต่อค่าแรงดันโคโรนา เริ่ม เกิดและแรงดัน- เบรคดาวน์	71
5.2 ผลของขั้วแรงดันและรูปคลื่นแรงดัน	77

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 ผลของระยะแก้ปัดต่อค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดหรือแรงดัน เบรคความ เมื่อแฟกเตอร์สนามไฟฟ้าคงที่	80
5.4 เปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณ	85
5.4.1 เปรียบเทียบ U_i และ U_b ในเทอมของความดันอากาศ	85
5.4.2 เปรียบเทียบ U_i และ U_b ในเทอมของความดันก๊าซ SF ₆	92
5.5 ความสัมพันธ์ของ E_i/P ในเทอมของ P.r	92
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ	94
6.1 สรุป	94
6.2 ข้อเสนอแนะ	95
เอกสารอ้างอิง	97
ภาคผนวก	101
1. ทฤษฎีภาพเงา	101
2. ผลลัพธ์การคำนวณศักย์และสนามไฟฟ้าของอิ เล็กโทรดแท่งกลมวาง ขนานกับพื้นระนาบด้วยวิธีจำลองแบบประจุ	103
3. ผลลัพธ์การคำนวณศักย์และสนามไฟฟ้าของอิ เล็กโทรดแท่งกลมวาง ขนานกับพื้นระนาบด้วยวิธีคณิตศาสตร์วิเคราะห์	105
4. การคำนวณอนุพันธ์ที่ 2 และที่ 4 ของอิ เล็กโทรดแท่งกลมวางขนาน กับพื้นระนาบ	106
5. การคำนวณอนุพันธ์ที่ 2 และที่ 4 ของอิ เล็กโทรดแท่งกลมปลายมน กับพื้นระนาบ	114
6. ตารางแสดงผลการคำนวณของอิ เล็กโทรดแท่งกลมปลายมนกับพื้นระนาบ ในอากาศด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์	125
7. ตารางแสดงผลการคำนวณของอิ เล็กโทรดแท่งกลมปลายมนกับพื้นระนาบ ใน SF ₆ ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์	131

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
8. ตารางแสดงผลการทดลองของอิ เล็กโทรดแท่งกลมปลายมนระนาบ	137
8.1 ที่ความดันอากาศและแฟกเตอร์สนามไฟฟ้าต่าง ๆ เมื่อตัว- จ่ายแรงดัน เป็นแรงดันกระแสตรงขั้วลบ	137
8.2 เมื่อตัวจ่ายแรงดัน เป็นแรงดันกระแสตรงขั้วบวก ขั้วลบ และ กระแสสลับ	149
ประวัติการศึกษา	155



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการสร้างอิเล็กตรอนอิสระโดยกระบวนการ γ	8
2.2 แสดงการเกิดสตรีมเมอร์	10
2.3 เปรียบเทียบสนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดลักษณะต่าง ๆ	11
2.4 ความเครียดสนามไฟฟ้า เบรคดาวน์ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ	12
2.5 แสดงเงื่อนไขของสตรีมเมอร์เบรคดาวน์	17
3.1 แสดงประจุจำลองแบบจุด	20
3.2 แสดงประจุจำลองแบบเชิงเส้น	21
3.3 แสดงประจุจำลองแบบวงแหวน	23
3.4 แสดงประจุจำลองของแท่งกลมวางขนานกับพื้นระนาบ	26
3.5 แสดง FLOW CHART การคำนวณศักย์และสนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรด แท่งกลมวางขนานกับพื้นระนาบ	33
3.6 แสดงประจุเชิงเส้น $-Q$ และ $+Q$	34
3.7 แสดงเส้นผิวสมศักย์	36
3.8 แสดงตำแหน่งของประจุสมมติพร้อมทั้งภาพเงาของแท่งกลมวางขนาน กับพื้นระนาบ	37
3.9 แสดงประจุจำลองของแท่งกลมปลายมนกับระนาบพร้อมทั้งภาพเงา	40
3.10 แสดงการหาพื้นที่วิกฤต $\frac{K}{PC}$ ของก๊าซ SF_6	48
3.11 แสดงการหาพื้นที่วิกฤต $\frac{K}{PC}$ ของอากาศ	49
3.12 แสดงความสัมพันธ์ของ $\frac{\alpha}{PC}$ กับระยะ X	50
3.13 แสดง FLOW CHART การคำนวณของอิเล็กโทรดแท่งกลมปลายมนกับ ระนาบ	54
3.14 แสดงการเปรียบเทียบสนามไฟฟ้ากระจายของอิเล็กโทรดขนาดต่าง ๆ ในแท่ง 5 มิลลิเมตร	55

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.15 แสดงการเปรียบเทียบสนามไฟฟ้ากระจายของอิ เล็กโทรดขนาดต่าง ๆ ในแก๊ป 10 มิลลิเมตร	56
3.16 แสดงการเปรียบเทียบสนามไฟฟ้ากระจายของอิ เล็กโทรดขนาดต่าง ๆ ในแก๊ป 20 มิลลิเมตร	57
3.17 แสดงการเปรียบเทียบสนามไฟฟ้ากระจายของอิ เล็กโทรดขนาดต่าง ๆ ในแก๊ป 40 มิลลิเมตร	58
4.1 แสดงอิ เล็กโทรดติดตั้งยึดด้วยโครงกระบอ กพีวีซี	60
a) ติดตั้งอิ เล็กโทรดภายในโครงกระบอ กพีวีซี (กระบอ กใน)	
b) ติดตั้งโครงกระบอ ก a) ในกระบอ กพีวีซีอัดความดัน (กระบอ กนอก)	
4.2 แสดงโครงบอ กฉนวนอัดความดันตั้งอยู่บนแท่นฉนวนอิ หอกซีพร้อมมาตรวัด ความดัน	61
4.3 แสดงภาพโครงสร้างของโครงบอ กพีวีซีและอิ เล็กโทรด	62
4.4 a) แสดงแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 400 kV 8 mA	63
b) แสดงแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ 50 แอร์ตซ์ 5 kVA 100 kV ..	64
4.5 แสดงอุปกรณ์ควบคุมและ เครื่องวัด	65
4.6 วงจรที่ใช้ทดลองพร้อมทั้งอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกิน	66
a) วงจรแรงดันกระแสตรง	
b) วงจรแรงดันกระแสสลับ	
4.7 แสดงรูปพัลส์โคโรนา เริ่ม เกิดจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขั้วลบ 112 kV. ของ อิ เล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ระยะแก๊ป 40 มิลลิ- เมตร ที่ความดัน 5.0 บาร์	68
4.8 แสดงรูปพัลส์โคโรนาจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขั้วลบ 84 kV. ของ อิ เล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ระยะแก๊ป 40 มิลลิ- เมตร ที่ความดัน 3.0 บาร์	69

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.9	แสดงรูปพัลส์โคโรนาบวกและลบจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ 17 kV. ของ อิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ระยะแก๊ป 40 มิลลิ- เมตร ที่ความดัน 0.6 บาร์	70
5.1	แสดงค่าแรงดันเริ่มต้นในเทอมของความดันอากาศของอิเล็กโทรดขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 10, 20 และ 40 มิลลิเมตร ที่ระยะแก๊ปคงที่ 5 มิลลิเมตร จากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงชั่วพล	73
5.2	แสดงค่าแรงดันเริ่มต้นในเทอมของความดันอากาศของอิเล็กโทรดขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 10, 20 และ 40 มิลลิเมตร ที่ระยะแก๊ปคงที่ 10 มิลลิเมตร จากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงชั่วพล	74
5.3	แสดงค่าแรงดันเริ่มต้นและแรงดัน เบรคดาวน์ในเทอมของความดันอากาศ ของอิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10, 20 และ 40 มิลลิเมตร ที่ระยะแก๊ปคงที่ 20 มิลลิเมตร จากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงชั่วพล	75
5.4	แสดงค่าแรงดันเริ่มต้นและแรงดัน เบรคดาวน์ในเทอมของความดันอากาศ ของอิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10, 20 และ 40 มิลลิเมตร ที่ระยะแก๊ปคงที่ 40 มิลลิเมตร จากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงชั่วพล	76
5.5	แสดงการเปรียบเทียบแรงดัน U_b ในเทอมของความดันอากาศระหว่าง แรงดันกระแสสลับกับแรงดันกระแสตรงชั่วพลและชั่วพลของอิเล็กโทรด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ระยะแก๊ป 10 มิลลิเมตร ($\eta^* = 57.2\%$)	78
5.6	แสดงการเปรียบเทียบแรงดัน U_b และ U_i ในเทอมของความดันอากาศ ระหว่างแรงดันกระแสสลับกับแรงดันกระแสตรงชั่วพลและชั่วพลของ อิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ระยะแก๊ป 40 มิลลิ- เมตร ($\eta^* = 14.2\%$)	79

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.7	แสดงการเปรียบเทียบแรงดัน U_b , U_i ในเทอมของความดันอากาศที่แฟกเตอร์สนามไฟฟ้าคงที่ 24.4% จากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง ขั้วลบ	81
5.8	แสดงการเปรียบเทียบแรงดัน U_b , U_i ในเทอมของความดันอากาศที่แฟกเตอร์สนามไฟฟ้าคงที่ 39.3% จากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง ขั้วลบ	82
5.9	แสดงค่าแรงดันเบรคดาวน์โดยตรง U_b ในเทอมของความดันอากาศที่แฟกเตอร์สนามไฟฟ้าคงที่ 57.2% จากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง ขั้วลบ	83
5.10	แสดงค่าแรงดันเบรคดาวน์โดยตรง U_b ในเทอมของความดันอากาศที่แฟกเตอร์สนามไฟฟ้าคงที่ 73.5% จากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง ขั้วลบ	84
5.11	แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองกับการคำนวณในเทอมของความดันอากาศของอิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10, 20 และ 40 มิลลิเมตร ที่ระยะแก๊ปคงที่ 5 มิลลิเมตร	87
5.12	แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองกับการคำนวณในเทอมของความดันอากาศของอิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10, 20 และ 40 มิลลิเมตร ที่ระยะแก๊ปคงที่ 10 มิลลิเมตร	88
5.13	แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองกับการคำนวณในเทอมของความดันอากาศของอิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10, 20 และ 40 มิลลิเมตร ที่ระยะแก๊ปคงที่ 20 มิลลิเมตร	89
5.14	แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองกับการคำนวณในเทอมของความดันอากาศของอิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10, 20 และ 40 มิลลิเมตร ที่ระยะแก๊ปคงที่ 40 มิลลิเมตร	90
5.15	แสดงจำนวนและความถี่คลาดเคลื่อนของผลการทดลองเทียบกับผลการคำนวณ	91

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.16 แสดงผลการคำนวณและทดลอง E_1/P ในเทอม P.r ของอิเล็กโทรด แท่งกลมปลายมนกับระนาบในอากาศและผลการคำนวณใน SF_6	93
ผ.1.1 แสดงสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุไดโพล	102



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย