

บทที่ 4

กระบวนการทดลองเพื่อหาเส้นโค้งแรงดัน-เวลา

การเปรียบเทียบว่าโมเดลมีความถูกต้องหรือไม่นั้น ต้องเปรียบเทียบผลการจำลองการเกิดเบรกดาวนด้วยเส้นโค้งแรงดัน-เวลาไม่ใช่เปรียบเทียบด้วยรูปคลื่นอิมพัลส์ที่เกิดการเบรกดาวนกรณีใดกรณีหนึ่ง เพราะว่าการเกิดเบรกดาวนเป็นปรากฏการณ์ทางสถิติซึ่งมีเวลาเบรกดาวนไม่แน่นอน จึงไม่สามารถนำรูปคลื่นรูปใดรูปหนึ่งมาใช้อ้างอิงเปรียบเทียบได้ ดังนั้นจึงเปรียบเทียบเส้นโค้งแรงดัน-เวลาทั้งของกรณีเล็กโตรอดแบบ rod-rod, rod-plane และลูกถ้วยแท่งก้านตรงที่ได้จากแบบจำลองต่างๆกับเส้นโค้งแรงดัน-เวลาที่ได้จากการทดลองจริง

การเลือกรูปคลื่นอิมพัลส์ฟ้าผ่าเพื่อใช้ทดสอบหาเส้นโค้งแรงดัน-เวลานั้น รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ที่ใช้เป็นรูปคลื่นอิมพัลส์ฟ้าผ่าตามนิยามใน IEC 60-1 [21] ซึ่งคือ รูปคลื่นอิมพัลส์ที่มีเวลาหน้าคลื่นไม่เกิน $20 \mu\text{s}$ ซึ่งได้เลือกมา 2 รูปคลื่น คือ รูปคลื่นมาตรฐาน $1.2/50 \mu\text{s}$ และรูปคลื่นที่ไม่ใช่รูปคลื่นมาตรฐาน $5/50 \mu\text{s}$ การที่เลือกศึกษารูปคลื่นที่ไม่ใช่รูปคลื่นมาตรฐานด้วยก็เพื่อจะดูผลว่าโมเดลเบรกดาวนสามารถใช้กับรูปคลื่นอิมพัลส์ฟ้าผ่าลักษณะอื่นนอกเหนือจากรูปคลื่นมาตรฐานได้หรือไม่ การที่เลือกรูปคลื่น $5/50 \mu\text{s}$ เพราะว่าการเพิ่มเวลาหน้าคลื่นเพียงเล็กน้อยจาก $1.2 \mu\text{s}$ เป็น $5 \mu\text{s}$ จะให้รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ที่แตกต่างจากเดิมมาก ซึ่งเพียงพอในการใช้ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเบรกดาวนแล้ว

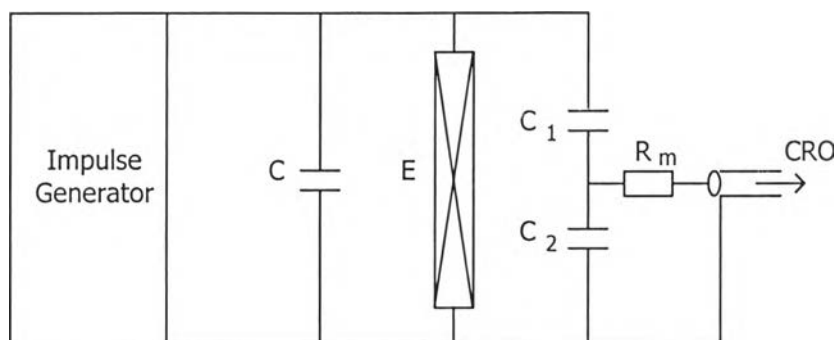
เลือกลูกถ้วยแท่งก้านตรงแบบ 56/57-2 และ 56/57-3 ในมาตรฐาน มอก. 1251-2537 เพื่อศึกษาผลของการใช้โมเดลต่างๆกับการจำลองการเกิดวบไฟตามผิวของลูกถ้วย สำหรับอิเล็กโตรดแบบ rod-rod และ rod-plane นั้น เลือกระยะแกปมาศึกษา 2 ระยะ ได้แก่ ระยะ 10cm และ 28.5cm การที่เลือกค่า 28.5cm ซึ่งเป็นระยะอาร์กหนึ่งของลูกถ้วยแท่งก้านตรงแบบ 56/57-2 นั้นก็เพื่อจะได้เปรียบเทียบเส้นโค้งแรงดัน-เวลาที่ได้จาก rod-rod rod-plane และลูกถ้วย ที่มีระยะอาร์กเท่าๆกันคือ 28.5 cm ได้ เนื่องจากมีเส้นโค้งแรงดัน-เวลารวมทั้งค่า $V_{50\%}$ ของอิเล็กโตรดแบบ rod-rod ของอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน $1.2/50 \mu\text{s}$ ที่ระยะแกป 10, 15 และ 20cm ในงานวิจัย [32] อยู่แล้ว จึงไม่ต้องหาเส้นโค้งแรงดัน-เวลารวมทั้งค่า $V_{50\%}$ และ σ ในกรณีดังกล่าวซึ่งสามารถสรุปเส้นโค้งแรงดัน-เวลาที่ต้องสร้างดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงเส้นโค้งแรงดัน-เวลาที่ต้องทดลอง

| V-t curve | | Rod-Rod | | | | Rod-Plane | | Pin-Post | |
|-----------|---|---------|---------|---------|--------|-----------|--------|----------|---------|
| | | 10cm | 15cm | 20cm | 28.5cm | 10cm | 28.5cm | 56/57-2 | 56/57-3 |
| 1.2/50 | + | จาก[32] | จาก[32] | จาก[32] | ทดลอง | ทดลอง | ทดลอง | ทดลอง | ทดลอง |
| | - | จาก[32] | จาก[32] | จาก[32] | ทดลอง | ทดลอง | ทดลอง | ทดลอง | ทดลอง |
| 5/50 | + | ทดลอง | - | - | ทดลอง | ทดลอง | ทดลอง | ทดลอง | ทดลอง |
| | - | ทดลอง | - | - | ทดลอง | ทดลอง | ทดลอง | ทดลอง | ทดลอง |

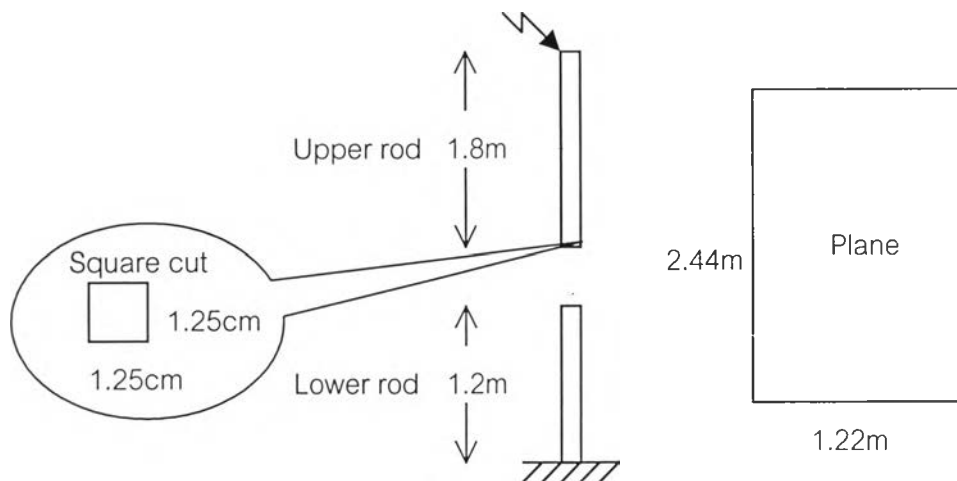
4.1 วงจรทดลอง

สร้างรูปคลื่นอิมพัลส์ฟ้าฟ้าที่ต้องการจากวงจรอิมพัลส์ฟ้าฟ้า โดยใช้โวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุเพื่อวัดสัญญาณรูปคลื่นอิมพัลส์ที่เบรกดาวนโดยวงจรทดลองมีลักษณะดังรูปที่ 5.1 โดย C คือตัวเก็บประจุซึ่งใช้ปรับรูปคลื่น C_1, C_2 เป็นตัวเก็บประจุแรงสูงและแรงต่ำของอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ R_m คือความต้านทานแมทซิง CRO คือ ออสซิลโลสโคป และ E คืออิเล็กทรอนิกส์ที่จะทดลองหาเส้นโค้งแรงดัน-เวลา

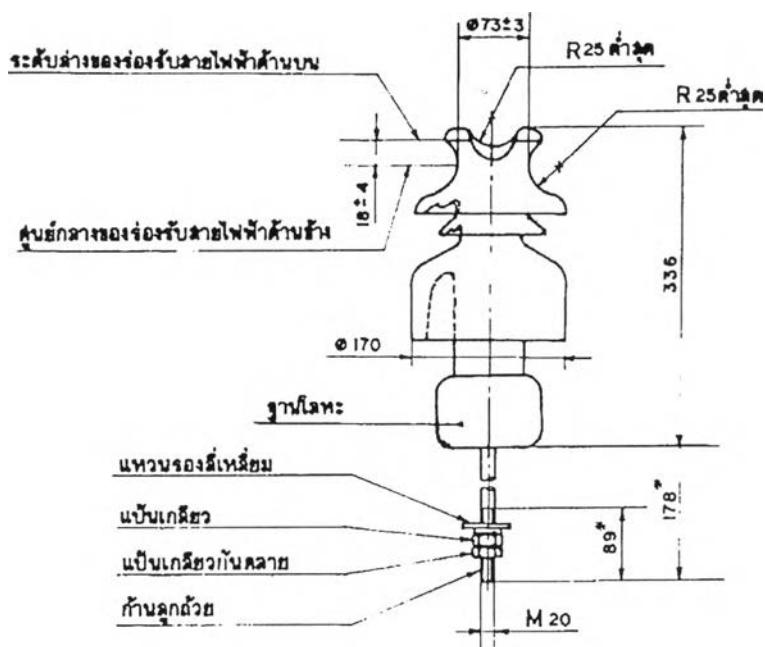


รูปที่ 4.1 วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์

สำหรับอิเล็กทรอนิกส์แบบ rod-rod และ rod-plane อิเล็กทรอนิกส์ทั้งแบบ rod และ plane ทำจากอลูมิเนียม rod มีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีขนาดเป็น $1.25 \times 1.25 \text{ cm}^2$ ตัวบนซึ่งเป็นตัวรับแรงดันอิมพัลส์จากเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์มีความยาว 1.8m ตัวล่างซึ่งต่อกับกราวด์มีความยาว 1.2m การที่เลือก rod ตัวล่างให้มีความยาวมากๆเพื่อจะหลีกเลี่ยงผลของกราวด์ที่จะมีต่อสนามไฟฟ้าบริเวณปลาย rod ตัวล่าง สำหรับ plane มีพื้นที่หน้าตัด $1.22 \times 2.44 \text{ m}^2$ มีความหนา 1.5mm สำหรับลูกถ้วยแท่งก้านตรงนั้น ติดตั้งบนคอนโหละตามที่ได้กำหนดในมาตรฐาน มอก.1251-2537 โดยวางอิเล็กทรอนิกส์ทรงกระบอกกลมในร่องบนลูกถ้วยและใช้ลวดมัด(tie wire) และต่อคอนโหละลงกราวด์ สามารถแสดงลักษณะอิเล็กทรอนิกส์รวมถึงลูกถ้วยแท่งก้านตรงแบบ 56/57-2 และ 56/57-3 ได้ดังรูป



รูปที่ 4.2 ลักษณะของ rod และ plane



รูปที่ 4.3 ลูกถ้วยแท่งก้านตรงแบบ 56/57-2

หมดจากวิธีปรับขึ้นและลงมาหาค่า $V_{50\%}$ และ σ ซึ่งเป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงดันเบรกดาวน ด้วยวิธี Maximum Likelihood ยกเว้นกรณี อิเล็กโตรดแบบ rod-rod ของอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 1.2/50 μ s ที่ระยะแก๊ป 10,15 และ 20cm ซึ่งได้ค่า $V_{50\%}$ จากงานวิจัย [32] แต่ไม่ได้แจ้งค่า σ ไว้ แสดงค่า $V_{50\%}$ และ σ ที่คำนวณได้ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.2 ค่า $V_{50\%}$ และ σ กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod

| รูปคลื่น | | 10 cm | | 15 cm | | 20 cm | | 28.5cm | |
|----------|---|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|
| | | $V_{50\%}$ (kV) | σ | $V_{50\%}$ (kV) | σ | $V_{50\%}$ (kV) | σ | $V_{50\%}$ (kV) | σ |
| 1.2/50 | + | 94 | - | 116.2 | - | 165 | - | 186.58 | 3.491 |
| | - | 97 | - | 138 | - | 174 | - | 207.97 | 12.61 |
| 5/50 | + | 118.33 | 9.42 | - | - | - | - | 200.41 | 20.81 |
| | - | 110.79 | 17.58 | - | - | - | - | 276.25 | 8.925 |

ตารางที่ 4.3 ค่า $V_{50\%}$ และ σ กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-plane

| รูปคลื่น | | 10 cm | | 28.5 cm | |
|----------|---|-----------------|----------|-----------------|----------|
| | | $V_{50\%}$ (kV) | σ | $V_{50\%}$ (kV) | σ |
| 1.2/50 | + | 83.98 | 2.117 | 162.74 | 3.107 |
| | - | 159.15 | 9.288 | 327.97 | 34.295 |
| 5/50 | + | 106.04 | 6.598 | 177.50 | 6.861 |
| | - | 183.83 | 7.688 | 332.69 | 6.796 |

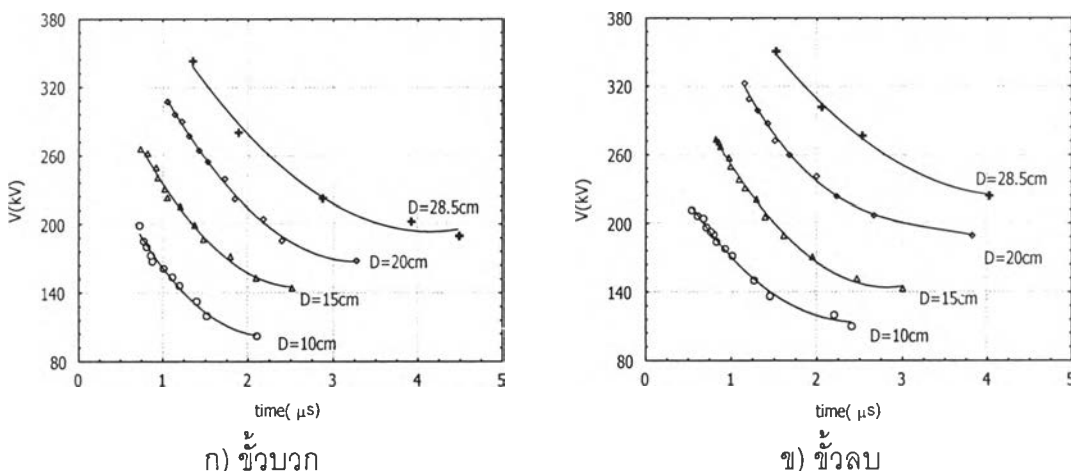
ตารางที่ 4.4 ค่า $V_{50\%}$ และ σ กรณีลูกถ้วยแท่งก้านตรง

| รูปคลื่น | | 56/57-2 | | 56/57-3 | |
|----------|---|-----------------|----------|-----------------|----------|
| | | $V_{50\%}$ (kV) | σ | $V_{50\%}$ (kV) | σ |
| 1.2/50 | + | 189.8 | 6.17 | 213.3 | 1.5 |
| | - | 254.43 | 6.7 | 251.1 | 2.186 |
| 5/50 | + | 184.12 | 18.43 | 216.14 | 5.91 |
| | - | 240.53 | 7.14 | 254.61 | 13.97 |

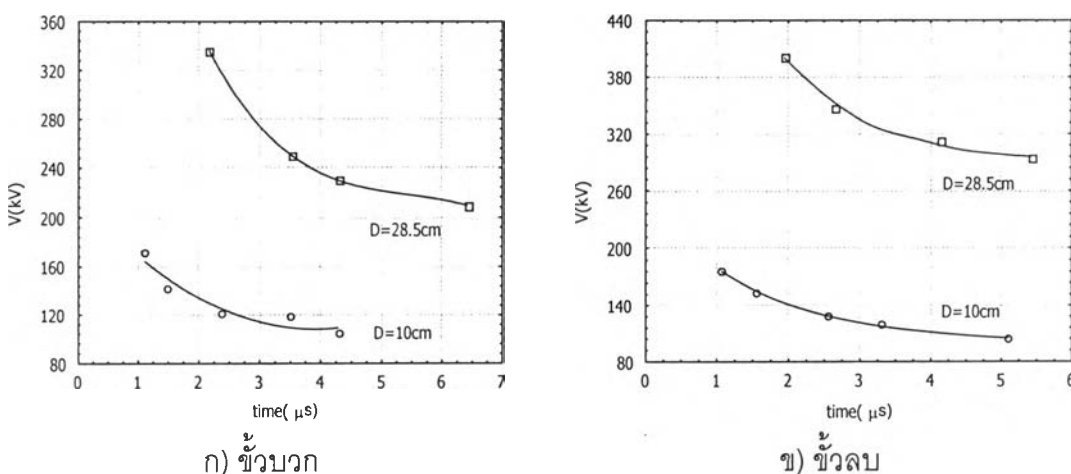
4.3 การสร้างเส้นโค้งแรงดัน-เวลา

ใช้ค่ากลางมัธยฐานหรือควอนไทล์ที่ 50% เป็นตัวแทนของแต่ละชุดข้อมูลเวลาเบรกดาวนั เพราะเป็นค่ากลางที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์หรืออายุการใช้งานของอุปกรณ์ โดยนำเวลาเบรกดาวนั 50 ค่าที่ได้มาจากแต่ละระดับแรงดันมาเรียงจากน้อยไปมาก จากนั้นหาค่าความน่าจะเป็นสะสม หรือ Rank Function โดยใช้สมการของ Bernard เพื่อหา Median Rank จากการสร้างกราฟ ความน่าจะเป็นของเวลาเบรกดาวนัพบว่าสามารถใช้การกระจายแบบล็อกปกติแทนการกระจายของ ทุกชุดข้อมูลเวลาเบรกดาวนัได้ ยกเว้นกรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-plane ที่ระยะแก๊ป 10cm แรงดัน อิมพัลส์ชั่วพลบ ที่ไม่สามารถใช้การกระจายแบบไดอริบายได้เนื่องจากการเรียงตัวของข้อมูลไม่ ให้ กราฟเส้นตรง (กราฟการกระจายทางสถิติของเวลาเบรกดาวนัในกรณีต่างๆแสดงในภาคผนวก จ.)

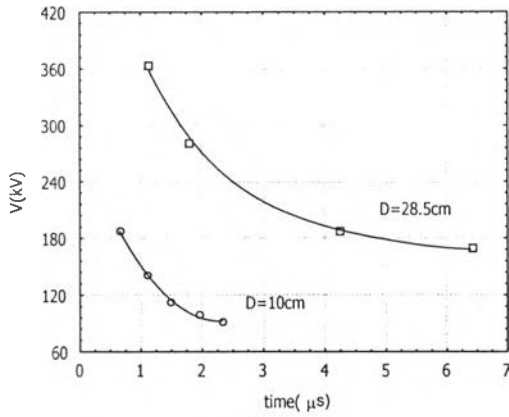
เมื่อได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเบรกดาวนัและตัวแปรสถิติแล้ว หาค่า $t_{50\%}$ และพล็อตกราฟระหว่างแรงดันเบรกดาวนัเฉลี่ยกับ $t_{50\%}$ ก็จะได้เส้นโค้งแรงดัน-เวลาดังภาพ



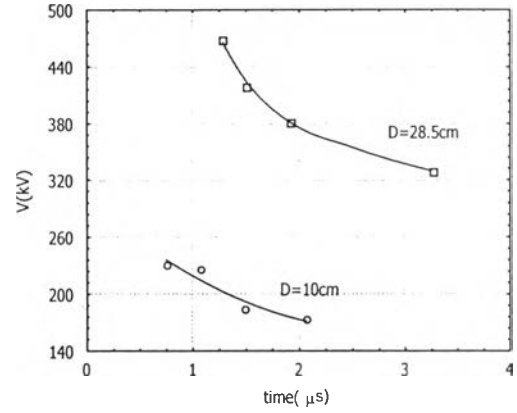
รูปที่ 4.5 เส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 1.2/50 μ s กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod



รูปที่ 4.6 เส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 5/50 μ s กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod

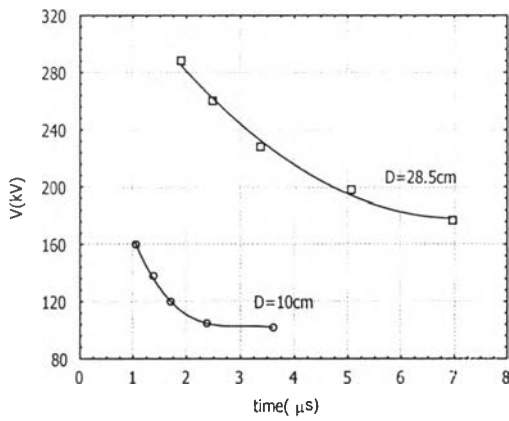


ก) ขั้วบวก

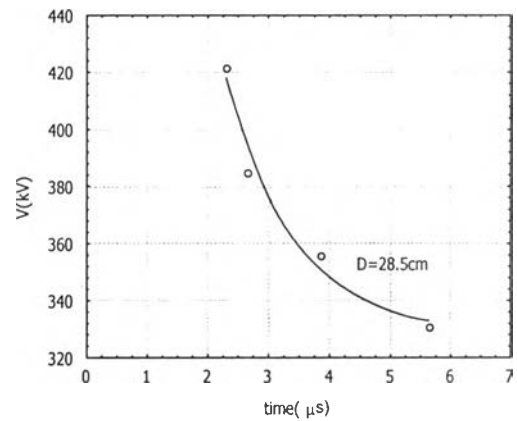


ข) ขั้วลบ

รูปที่ 4.7 เส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 1.2/50 μs กรณีอิเล็กโทรดแบบ rod-plane

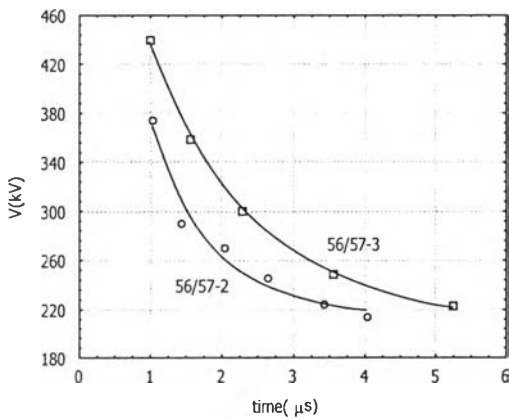


ก) ขั้วบวก

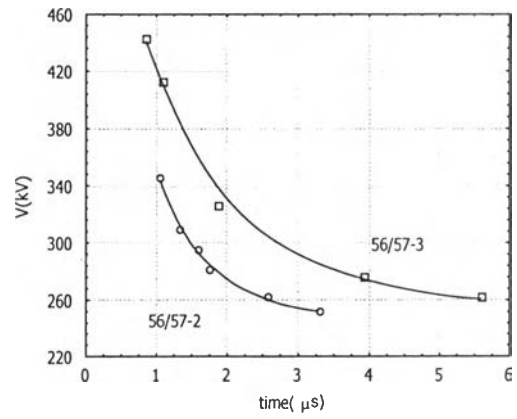


ข) ขั้วลบ

รูปที่ 4.8 เส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 5/50 μs กรณีอิเล็กโทรดแบบ rod-plane

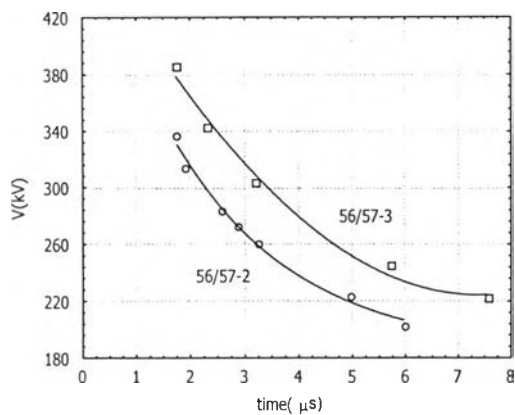


ก) ขั้วบวก

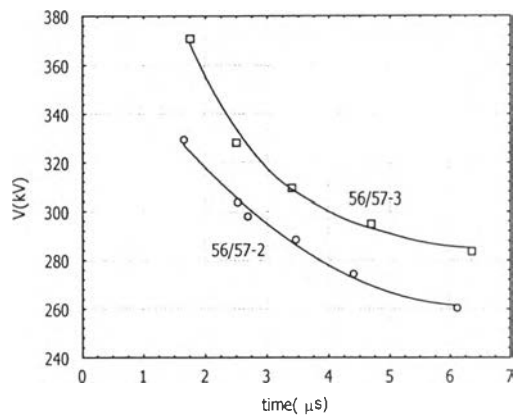


ข) ขั้วลบ

รูปที่ 4.9 เส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 1.2/50μs กรณีลูกถ้วยแบ่งก้านตรงแบบ 56/57-2 และ 56/57-3



ก) ขี้บววก



ข) ขี้ลอบ

รูปที่ 4.10 เส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 5/50μs กรณีลูกถ้วยแบ่งก้านตรงแบบ 56/57-2 และ 56/57-3