บทที่ 6

วิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุป

การทดลองผลของรูปคลื่นแรงดันต่อลักษณะสมบัติวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนปอร์ชเลน สำหรับค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนด้วยแรงดันกระแสตรง และแรงดันกระแสสลับ จะได้จากการค่อย ๆ เพิ่มแรงดันจนกระทั่งเกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนหลาย ๆ ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ส่วนค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนด้วยแรงดันอิมพัลส์ ได้จากการอัดประจุแล้วดีสชาร์จออกไป เพื่อหาค่าแรงดันที่ทำให้เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนเป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของจำนวนครั้งที่ป้อนแรงดัน วัดเป็นค่า 50 % ส่วนค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนเนื่องจากแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน ได้จากการอัดประจุที่แรงดันสูงมาก และคงที่ แล้วปล่อยให้ดีสชาร์จเกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน ผลที่ได้จากการทดสอบ (ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบอยู่ในภาคผนวก ค.) อาจแยกวิเคราะห์ผลออกเป็น

1) ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนของแรงดันรูปคลื่นต่าง ๆ โดยคำนึงถึงขั้วแรงดัน และให้ชนิดของลูกถ้วยฉนวนเป็นพารามิเตอร์

2) ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนจำเพาะ (คือ ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนต่อระยะอาร์ก) โดยคำนึงถึงเปอร์เซนต์ของระยะอาร์กตามผิวต่อระยะอาร์กแห้งทั้งหมด

3) ตำแหน่งรูปคลื่นแรงดันที่เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน

4) ลักษณะเส้นเขตอิมพัลส์ (V-t Curve)

6.1 ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนของแรงดันรูปคลื่นต่าง ๆ

ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนที่ได้จากการทดสอบ (ค่าเฉลี่ย) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแสดงในตารางที่ 6.1 และ6.2 และกราฟรูปที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน (หน่วย kV)

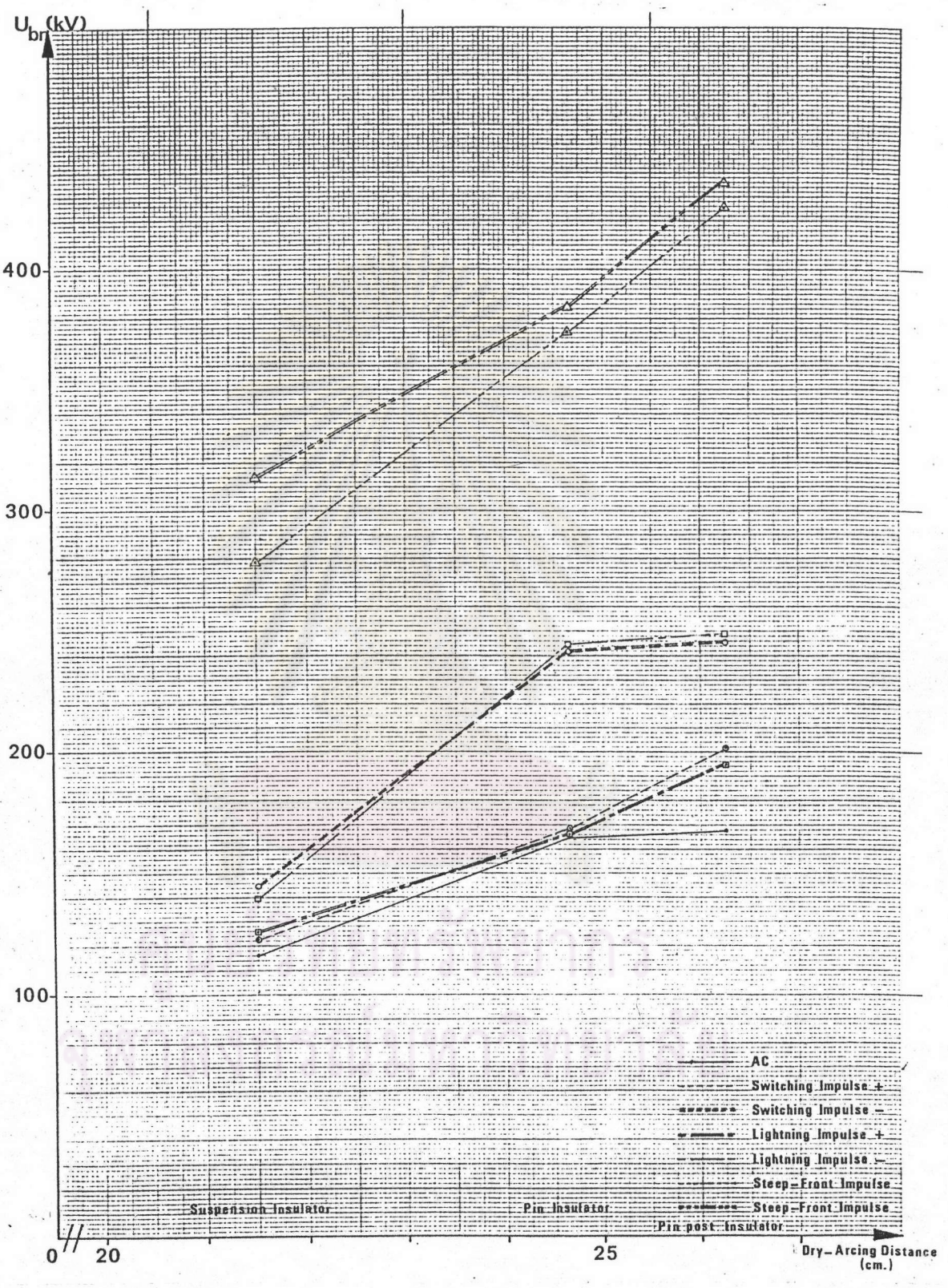
รูปคลื่นแรงดัน	ลูกถ้วยแขวน	ลูกถ้วยก้านตรง	ลูกถ้วยก้านตรงคอดัน	ช่องแกปอิเล็กโตรดหัวครอบ-ก้านตรง	ลูกถ้วยแท่งผิวเรียบ
กระแสตรง ขั้วบวก	-	175.25	-	-	-
กระแสตรง ขั้วลบ	-	185.10	-	-	-
กระแสสลับความถี่ 50 Hz	116.59	165.74	168.04	127.63	144.00
อิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่ง ขั้วบวก	123.94	169.30	202.62	154.28	183.16
อิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่ง ขั้วลบ	145.25	242.63	246.36	180.78	217.60
อิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า ขั้วบวก	126.40	166.40	195.77	166.84	191.35
อิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า ขั้วลบ	140.91	245.30	249.70	203.88	260.79
อิมพัลส์หน้าคลื่นชัน ขั้วบวก	279.02	374.10	426.72	-	-
อิมพัลส์หน้าคลื่นชัน ขั้วลบ	314.22	385.98	436.78	-	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.2 ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนที่เทียบกับค่าแรงดันวาบไฟตามผิวของแรงดันกระแสสลับความถี่พลังงาน 50 Hz

รูปคลื่นแรงดัน	ลูกถ้วยแขวน	ลูกถ้วยก้านตรง	ลูกถ้วยก้านตรงคอตัน	ช่องแกปอิเล็กโตรดหัวครอบ-ก้านตรง	ลูกถ้วยแท่งผิวเรียบ
กระแสตรง ขั้วบวก	-	1.06	-	-	-
กระแสตรง ขั้วลบ	-	1.12	-	-	-
กระแสสลับความถี่ 50 Hz	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
อิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่ง ขั้วบวก	1.06	1.02	1.21	1.21	1.27
อิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่ง ขั้วลบ	1.25	1.46	1.47	1.42	1.51
อิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า ขั้วบวก	1.09	1.00	1.17	1.31	1.33
อิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า ขั้วลบ	1.21	1.48	1.49	1.60	1.81
อิมพัลส์หน้าคลื่นชัน ขั้วบวก	2.40	2.26	2.54	-	-
อิมพัลส์หน้าคลื่นชัน ขั้วลบ	2.70	2.33	2.60	-	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน กับระยะอาร์กแห้ง

จากค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนในตารางที่ 6.1 เมื่อพิจารณาที่ขั้วแรงดันจะพบว่า รูปคลื่นแรงดันที่ทำให้เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนขั้วลบมีค่าสูงกว่าขั้วบวกทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของอิเล็กโตรดที่ลูกถ้วยฉนวนยึดอยู่มีลักษณะเป็นแบบอิเล็กโตรดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอแบบไม่สมมาตร ซึ่งมีผลของประจุค้าง ทำให้แรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนขั้วลบมีค่าสูงกว่าขั้วบวก ดังที่ได้อธิบายในหัวข้อ 3.6

เมื่อพิจารณาค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนแต่ละแบบ พบว่าลูกถ้วยก้านตรงคอตันจะมีค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนสูงที่สุด เนื่องจากลูกถ้วยก้านตรงคอตันมีระยะอาร์กแห้งและระยะส่วนที่เป็นอากาศมากที่สุดในบรรดาลูกถ้วยฉนวนที่นำมาศึกษา

ส่วนค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนที่ได้จากการทดสอบด้วยแรงดันที่มีรูปคลื่นต่างๆ พบว่าค่ายอดแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน ของแรงดันกระแสสลับความถี่พลังงาน 50 Hz มีค่าต่ำที่สุด และค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนจะมีค่าสูงขึ้นตามความชันของรูปคลื่นที่เพิ่มขึ้น นั่นก็คือ ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวของแรงดันรูปคลื่น 0.5/50 μs มีค่าสูงสุด ทั้งนี้อาจอธิบายได้ว่า แรงดันกระแสสลับความถี่พลังงาน 50 Hz มีช่วงเวลาหน้าคลื่นมาก (ประมาณ 5,000 μs) จึงไม่มีผลของเวลาล่าช้าของการเกิดเบรกดาวน์ และแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนจึงมีค่าต่ำ ส่วนแรงดันอิมพัลส์ยิ่งมีช่วงหน้าคลื่นสั้นก็ยิ่งมีผลของเวลาล่าช้าของการเกิดเบรกดาวน์มากขึ้น

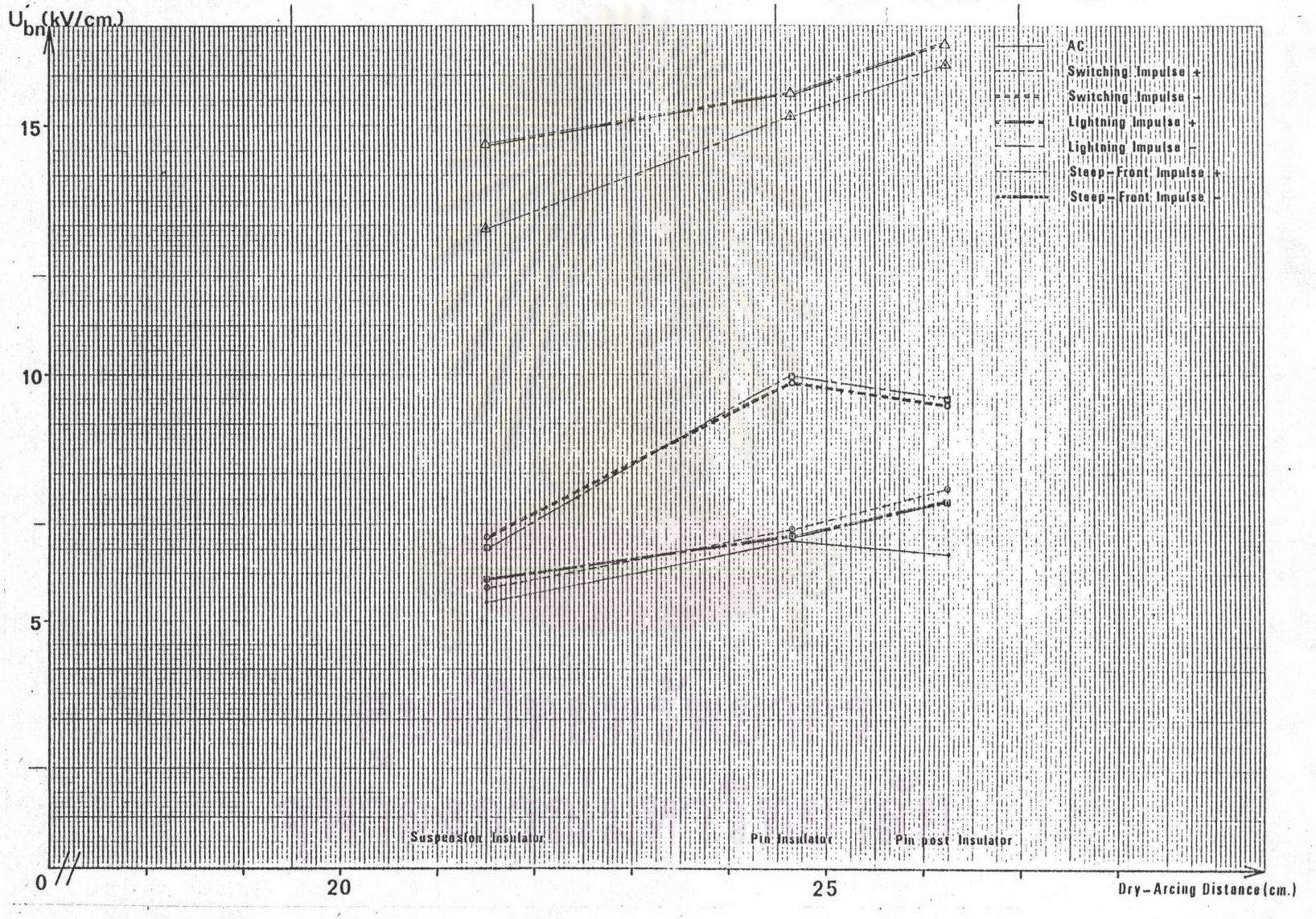
6.2 ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนจำเพาะ

ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะ คือ ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนต่อระยะอาร์กแห้ง ผลของค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนจำเพาะที่ได้จากการทดสอบเมื่อมาเปรียบเทียบกัน แสดงในตารางที่ 6.3 และกราฟรูปที่ 6.2

ตารางที่ 6.3 ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนจำเพาะ (หน่วย kV/cm)

รูปคลื่นแรงดัน	ลูกถ้วยแขวน	ลูกถ้วยก้านตรง	ลูกถ้วยก้านตรงคอตัน	ช่องแกปอิเล็กโตรดหัวครอบ-ก้านตรง	ลูกถ้วยแท่งผิวเรียบ
กระแสตรง ขั้วบวก	-	7.11	-	-	-
กระแสตรง ขั้วลบ	-	7.51	-	-	-
กระแสสลับความถี่ 50 Hz	5.43	6.72	6.41	5.94	5.49
อิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่ง ขั้วบวก	5.76	6.87	7.72	7.18	6.98
อิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่ง ขั้วลบ	6.75	9.84	9.39	8.41	8.30
อิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า ขั้วบวก	5.88	6.75	7.46	7.76	7.30
อิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า ขั้วลบ	6.55	9.95	9.52	9.49	9.94
อิมพัลส์หน้าคลื่นชัน ขั้วบวก	12.98	15.18	16.27	-	-
อิมพัลส์หน้าคลื่นชัน ขั้วลบ	14.62	15.65	16.65	-	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันวาบไฟจำเพาะ กับระยะอาร์กแห้ง

จากตารางที่ 6.2 และกราฟรูปที่ 6.2 ที่แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะ จะเห็นผลของผิวฉนวนที่มีต่อค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะได้ชัดขึ้น โดยการเปรียบเทียบลูกถ้วยฉนวนที่มีระยะส่วนที่เป็นผิวฉนวนต่างกัน ดังนี้

1) <u>การเปรียบเทียบค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะของลูกถ้วยแขวน กับของลูกถ้วยก้านตรง</u>

ลูกถ้วยแขวน และลูกถ้วยก้านตรงเป็นลูกถ้วยฉนวนที่มีเปอร์เซนต์ของระยะส่วนที่เป็นผิวฉนวนไม่เท่ากัน เมื่อนำค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะมาเปรียบเทียบกันจะพบว่าลูกถ้วยแขวนซึ่งมีเปอร์เซนต์ระยะส่วนที่เป็นผิวฉนวนประมาณ 50 % มีค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะต่ำกว่าของลูกถ้วยก้านตรงที่มีเปอร์เซนต์ระยะส่วนที่เป็นผิวฉนวนประมาณ 30 % การที่ลูกถ้วยฉนวนที่มีเปอร์เซนต์ระยะส่วนที่เป็นผิวฉนวนมาก มีค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะต่ำอาจพิจารณาได้จากพื้นผิวของลูกถ้วยฉนวนมีโอกาสได้รับฝุ่นละออง และผิวของลูกถ้วยฉนวนไม่เรียบทำให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าสูง การที่ผิวของลูกถ้วยฉนวนไม่เรียบทำให้เกิดชั้นฉนวนซ้อนกัน 2 ชั้น คือ อากาศ (มีค่าเปอร์มิตติวิตี้สัมพัทธ์ $\epsilon_r = 1$ [1]) กับปอร์ชเลน (มีค่าเปอร์มิตติวิตี้สัมพัทธ์ $\epsilon_r = 6$ [1]) อยู่ในสนามไฟฟ้า ทำให้การกระจายของสนามไฟฟ้าในฉนวนทั้ง 2 ชั้นไม่เท่ากัน โดยพิจารณาได้จากสมการ $E_1/E_2 = \epsilon_2/\epsilon_1$ จะเห็นได้ว่าในฉนวนชั้นที่มีค่าเปอร์มิตติวิตี้สัมพัทธ์ต่ำ ในที่นี้ก็คืออากาศ มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูง จึงทำให้เกิดวาบไฟตามผิวได้ง่าย นั่นคือส่วนที่เป็นผิวฉนวนมีส่วนทำให้เกิดเบรกดาวน์ได้ง่ายกว่าส่วนที่เป็นอากาศล้วน ๆ

เพื่อให้เห็นผลดังกล่าวชัดเจนขึ้น จึงเปรียบเทียบค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะของ 2 กรณี คือ กรณีแรก ลูกถ้วยฉนวนที่มีระยะอาร์กแห้งประกอบไปด้วยระยะส่วนที่เป็นผิวฉนวน และระยะส่วนที่เป็นอากาศกับแกปที่มีระยะในอากาศแต่เพียงอย่างเดียว และกรณีที่สอง เปรียบเทียบค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะของลูกถ้วยฉนวนที่มีระยะอาร์กแห้งประกอบไปด้วยระยะส่วนที่เป็นผิวฉนวน และระยะส่วนที่เป็นอากาศ กับของลูกถ้วยฉนวนที่มีแต่ระยะตามผิวฉนวนแต่เพียงอย่างเดียว ดูรายละเอียดของทั้งสองกรณีนี้จะได้กล่าวในข้อ 2) และข้อ 3) ต่อไป

2) <u>การเปรียบเทียบค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะของลูกถ้วยแขวน กับของช่องแกปอิเล็กโตรดหัวครอบ-ก้านตรง</u>

ลูกถ้วยแขวน และช่องแกปอิเล็กโตรดหัวครอบ-ก้านตรง มีลักษณะของอิเล็กโตรดเหมือนกัน มีระยะอาร์กแห้งเท่ากัน แต่มีส่วนที่เป็นระยะตามผิวไม่เท่ากัน จากการเปรียบเทียบค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะจะพบว่า ลูกถ้วยแขวนที่มีเปอร์เซนต์ระยะส่วนที่เป็นผิวฉนวนประมาณ 50 % มีค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะต่ำกว่าของช่องแกปอิเล็กโตรดหัวครอบ-ก้านตรง ที่มีแต่ระยะส่วนที่เป็นอากาศแต่เพียงอย่างเดียว จากผลดังกล่าวจะเป็นข้อสนับสนุนผลของผิวฉนวนมีส่วนทำให้เกิดวาบไฟตามผิวได้ง่ายกว่าในอากาศ เนื่องจากเหตุผลดังได้กล่าวแล้วในการเปรียบเทียบค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะของลูกถ้วยแขวน กับของลูกถ้วยก้านตรง

3) <u>การเปรียบเทียบค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะของลูกถ้วยก้านตรงคอตัน กับของลูกถ้วยแท่งผิวเรียบ</u>

ลูกถ้วยก้านตรงคอตัน และลูกถ้วยแท่งผิวเรียบ มีลักษณะของอิเล็กโตรดคล้ายกัน มีระยะอาร์กแห้งเท่ากัน แต่มีส่วนที่เป็นระยะตามผิวไม่เท่ากัน จากการเปรียบเทียบค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะจะพบว่าลูกถ้วยแท่งผิวเรียบที่มีแต่ส่วนที่เป็นระยะตามผิวฉนวนแต่เพียงอย่างเดียว มีค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะต่ำกว่าของลูกถ้วยก้านตรงคอตันที่มีระยะส่วนที่เป็นผิวฉนวนประมาณ 20 % จากผลที่ได้จะเห็นว่าผิวฉนวนมีส่วนทำให้เกิดวาบไฟตามผิวได้ง่ายกว่าในอากาศ เนื่องจากเหตุผลดังได้กล่าวแล้วในการเปรียบเทียบค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะของลูกถ้วยแขวน กับของลูกถ้วยก้านตรง

จากผลการเปรียบเทียบค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะทั้ง 3 กรณี จะพบผลในทำนองเดียวกันว่าลูกถ้วยฉนวนที่มีเปอร์เซนต์ระยะส่วนที่เป็นผิวฉนวนมาก จะมีค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะต่ำกว่าของลูกถ้วยฉนวนที่มีเปอร์เซนต์ระยะส่วนที่เป็นผิวฉนวนน้อย

นอกจากนี้ยังพบว่าค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะของแรงดันกระแสสลับความถี่พลังงาน 50 Hz มีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากแรงดันกระแสสลับความถี่พลังงาน 50 Hz มีช่วงเวลาหน้าคลื่นมาก จึงไม่มีผลของเวลาล่าช้าของการเกิดเบรกดาวน์ แรงดันวาบไฟตามผิวจึงมีค่าต่ำ ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 6.1

6.3 ตำแหน่งบนรูปคลื่นแรงดันที่เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน

เมื่อนำผลของรูปคลื่นแรงดันที่เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนมาพิจารณา ในที่นี้จะสนใจเฉพาะรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนที่ได้จากการทดสอบสามารถแยกผลการวิเคราะห์ออกตามลักษณะของรูปคลื่นแรงดัน คือ

- แรงดันอิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่ง
- แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า
- แรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน

ดังแสดงผลของรูปคลื่นแรงดันที่เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนแต่ละแบบ ในรูปที่ 6.3 ถึง 6.28

1) <u>รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่งที่เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน</u>

รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่งที่เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน ในที่นี้จะพิจารณาถึงตำแหน่งของการเกิดวาบไฟตามผิวบนรูปคลื่นแรงดันที่ค่าแรงดันที่มีโอกาสเกิดวาบไฟตามผิวใกล้เคียงค่า 50 % จากผลการทดสอบจะพบว่าตำแหน่งของการเกิดวาบไฟตามผิวบนรูปคลื่นแรงดันไม่แน่นอน กระจัดกระจายไปตามส่วนต่าง ๆ ของรูปคลื่น ทั้งส่วนหน้า ส่วนยอด หรือส่วนหลังของรูปคลื่นแรงดัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของลูกถ้วยฉนวน ดังนี้

<u>ลูกถ้วยแขวน</u> จากรูปคลื่นที่ได้จากการทดสอบพบว่า ตำแหน่งของการเกิดวาบไฟตามผิวเกิดบริเวณส่วนหน้าของรูปคลื่นแรงดัน ทั้งนี้อาจพิจารณาได้ว่าลูกถ้วยแขวนมีระยะอาร์กแห้งสั้นและมีเปอร์เซนต์ของระยะตามผิวมาก ซึ่งมีส่วนทำให้เกิดเบรกดาวน์ได้ง่าย ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 6.2 จึงเกิดวาบไฟตามผิวบริเวณส่วนหน้าของรูปคลื่น

<u>ลูกถ้วยก้านตรง</u> จากรูปคลื่นที่ได้จากการทดสอบพบว่า ตำแหน่งของการเกิดวาบไฟตามผิวเกิดบริเวณส่วนหน้า หรือส่วนยอดของรูปคลื่นแรงดัน ทั้งนี้อาจพิจารณาได้ว่าลูกถ้วยก้านตรงมีระยะอาร์กแห้งมากกว่าของลูกถ้วยแขวน และมีเปอร์เซนต์ของระยะส่วนที่เป็นผิวฉนวนน้อย ซึ่งมีส่วนทำให้เกิดเบรกดาวน์ได้ยากกว่าในกรณีของลูกถ้วยแขวน จึงต้องใช้เวลาในการเกิดเบรกดาวน์มากกว่าของลูกถ้วยแขวน ทำให้ลูกถ้วยก้านตรงเกิดวาบไฟตามผิวที่ส่วนหน้า หรือส่วนยอด

ของรูปคลื่นแรงดัน

ลูกถ้วยก้านตรงคอตัน จากรูปคลื่นที่ได้จากการทดสอบพบว่า ตำแหน่งของการเกิดวาบไฟตามผิวเกิดบริเวณส่วนยอด หรือส่วนหลังของรูปคลื่นแรงดัน ทั้งนี้อาจพิจารณาได้ว่าลูกถ้วยก้านตรงคอตันมีระยะอาร์กแห้งมากกว่าของลูกถ้วยก้านตรง ซึ่งมีส่วนทำให้เกิดเบรกดาวน์ได้ยากกว่าในกรณีของลูกถ้วยก้านตรง จึงต้องใช้เวลาในการเกิดเบรกดาวน์มากกว่าของลูกถ้วยก้านตรง ทำให้ลูกถ้วยก้านตรงคอตันเกิดวาบไฟตามผิวที่ส่วนยอด หรือส่วนหลังของรูปคลื่นแรงดัน

ช่องแกปอิเล็กโตรดหัวครอบ-ก้านตรง โดยที่ระยะแกปเท่ากับ ระยะอาร์กแห้งของลูกถ้วยแขวน จากรูปคลื่นที่ได้จากการทดสอบพบว่า ตำแหน่งของการเกิดวาบไฟตามผิวเกิดบริเวณส่วนยอด หรือส่วนหลังของรูปคลื่นแรงดัน ทั้งนี้อาจพิจารณาได้ในทำนองเดียวกับกรณีลูกถ้วยก้านตรงคอตัน เนื่องจากช่องแกปอิเล็กโตรดหัวครอบ-ก้านตรง มีส่วนที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ได้ยากขึ้นเช่นเดียวกับของลูกถ้วยก้านตรงคอตัน

ลูกถ้วยแท่งผิวเรียบ โดยที่ระยะตามผิวเท่ากับระยะอาร์กของลูกถ้วยก้านตรงคอตัน จากรูปคลื่นที่ได้จากการทดสอบพบว่า ตำแหน่งของการเกิดวาบไฟตามผิวเกิดบริเวณส่วนยอด หรือส่วนหลังของรูปคลื่นแรงดัน ทั้งนี้อาจพิจารณาได้ในทำนองเดียวกับกรณีลูกถ้วยก้านตรงคอตัน เนื่องจากลูกถ้วยแท่งผิวเรียบมีส่วนที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ได้ยากขึ้นเช่นเดียวกับของลูกถ้วยก้านตรงคอตัน

2) รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าที่เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน

รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าที่เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน จากผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนทั้ง 5 แบบพบว่า เกิดวาบไฟตามผิวที่ส่วนหลังของรูปคลื่นแรงดัน ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของเวลาล่าช้าในการเกิดเบรกดาวน์ของแรงดันอิมพัลส์ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 3.2.1

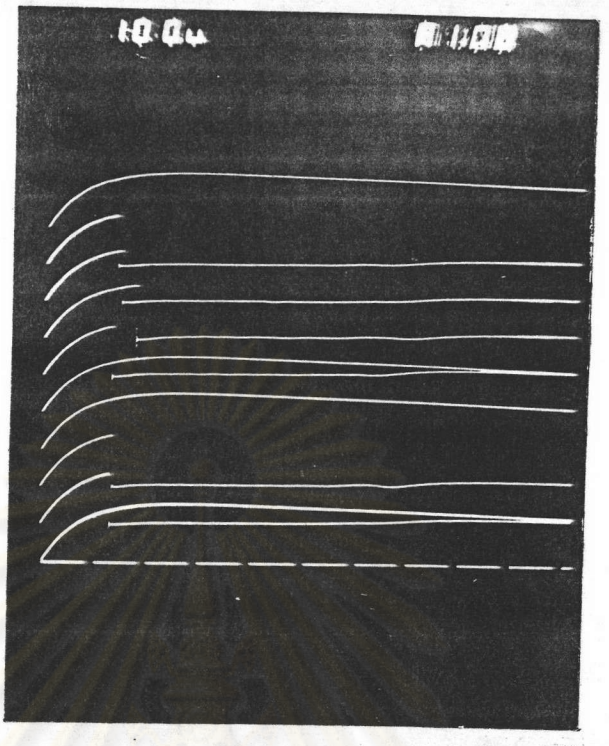
3) รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันที่เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน

รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันที่เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน จากผลการทดสอบพบว่าเกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนที่ส่วนหน้าของรูปคลื่นแรงดัน เนื่องจากแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่น

ชันมีช่วงเวลาหน้าคลื่น หรือเวลาที่แรงดันเพิ่มขึ้นถึงค่ายอดสั้น ย่อมหมายถึงช่วงเวลาที่สนามไฟฟ้าคงอยู่ก็ยิ่งสั้นตามไปด้วย โอกาสที่จะเกิดเบรกดาวน์ก็น้อยลง เพื่อให้มีโอกาสเกิดเบรกดาวน์จำเป็นต้องสร้างสนามไฟฟ้าที่มีความเครียดสูงพอที่จะทำให้เกิดเบรกดาวน์ได้ นั่นคือต้องป้อนแรงดันให้สูง ดังนั้นเมื่อเกิดเบรกดาวน์จึงเกิดที่ส่วนหน้าของรูปคลื่นแรงดัน

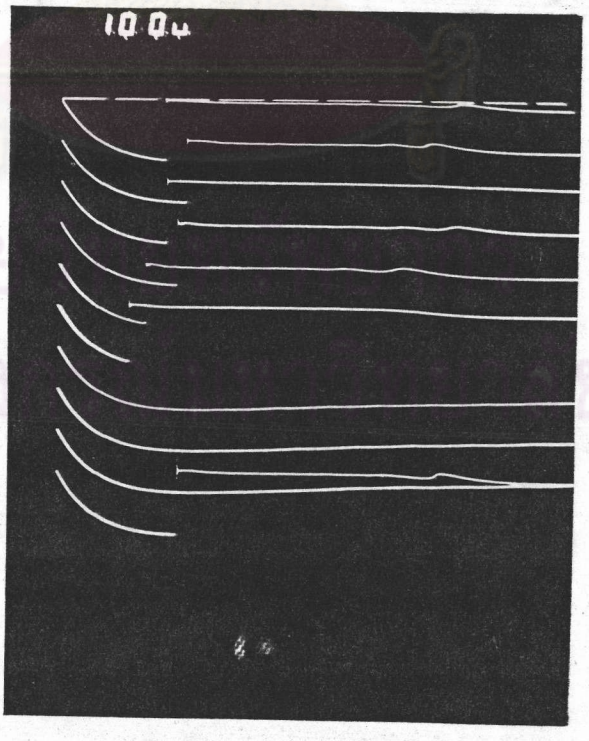
จากเวลาที่เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนของรูปคลื่นแรงดันต่างชนิดกัน และค่าแรงดันดันที่เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน สามารถแสดงผลในรูปของค่าแรงดันที่เกิดวาบไฟตามผิวของรูปคลื่นต่างชนิดกันที่เวลาต่างกันในลักษณะเส้นแรงดัน-เวลาดังจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

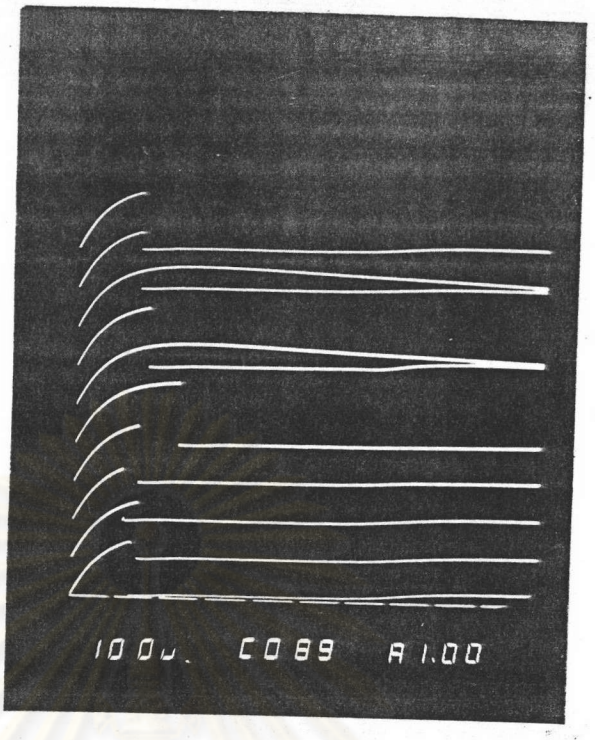


หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

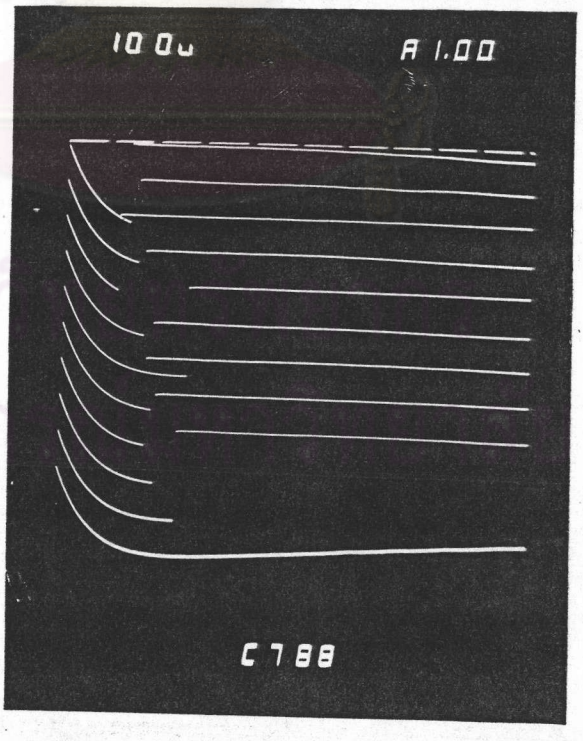
รูปที่ 6.3 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยแขวนของแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่ง ขั้วบวก



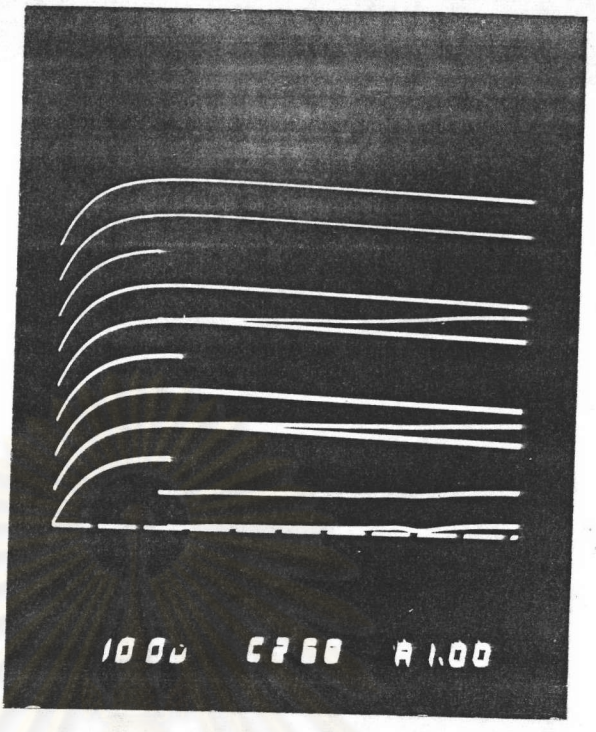
รูปที่ 6.4 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยแขวนของแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่ง ขั้วลบ



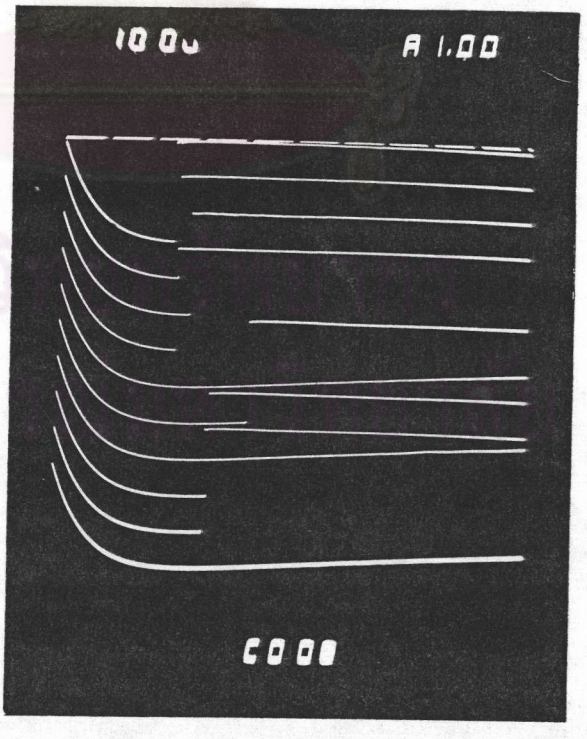
รูปที่ 6.5 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยก้านตรงของแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่ง ขั้วบวก



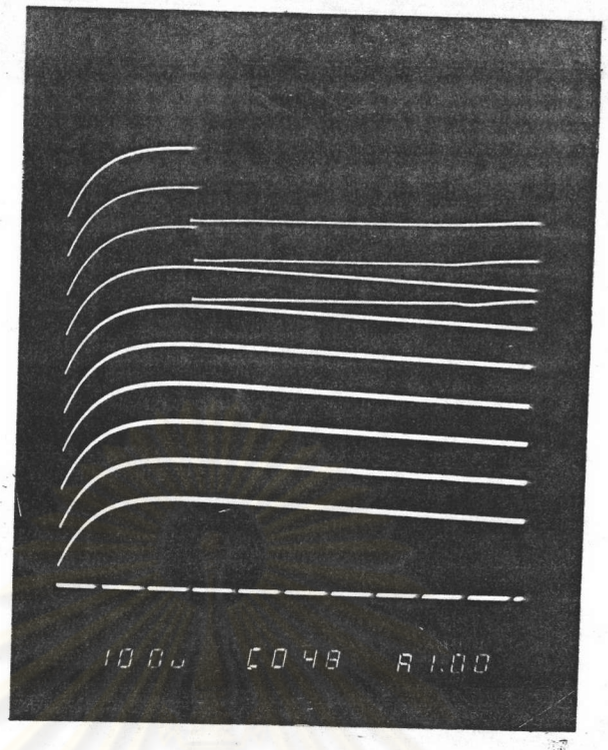
รูปที่ 6.6 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยก้านตรงของแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่ง ขั้วลบ



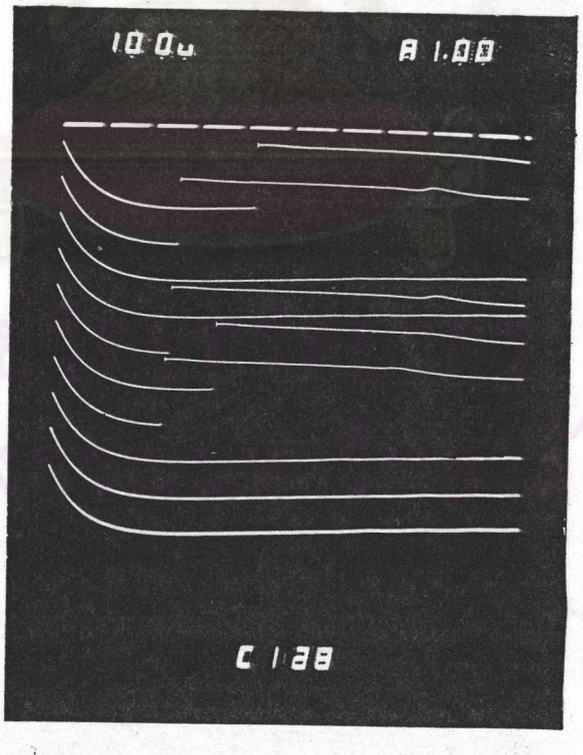
รูปที่ 6.7 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยก้านตรงคอตันของแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่ง ขั้วบวก



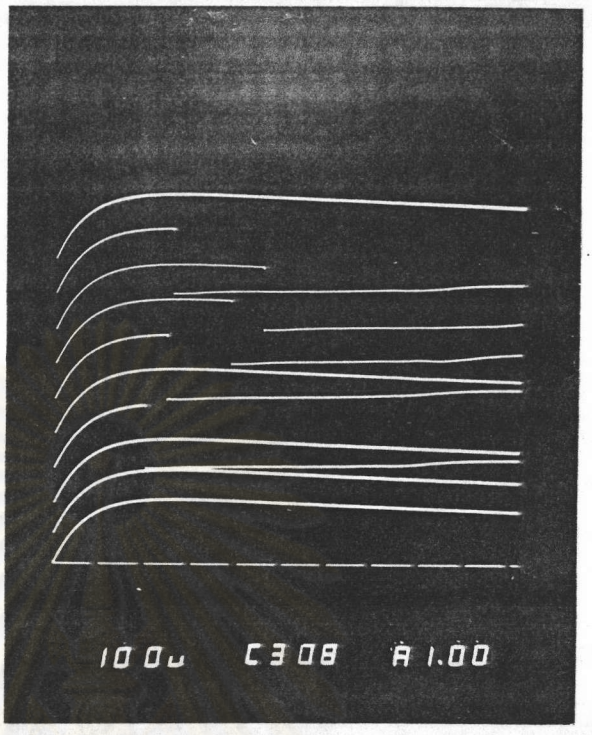
รูปที่ 6.8 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยก้านตรงคอตันของแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่ง ขั้วลบ



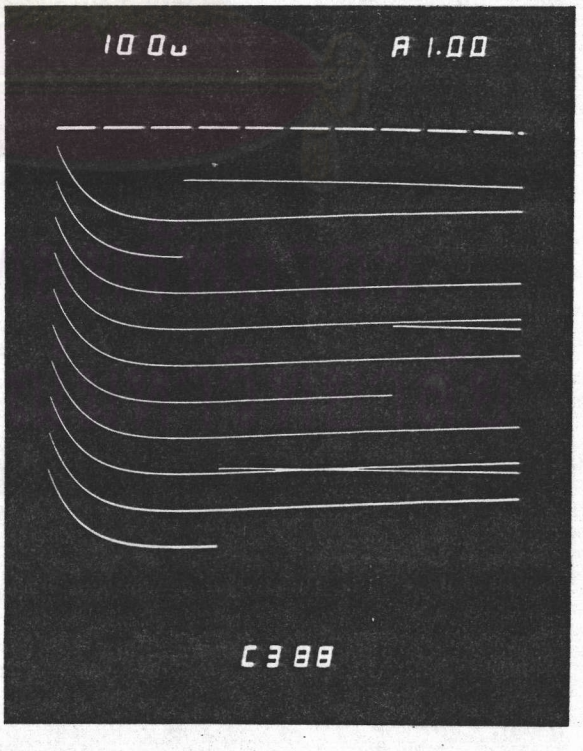
รูปที่ 6.9 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟในแกประหว่างอิเล็กโตรดหัวครอบ-ก้านตรงของแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่ง ขั้วบวก



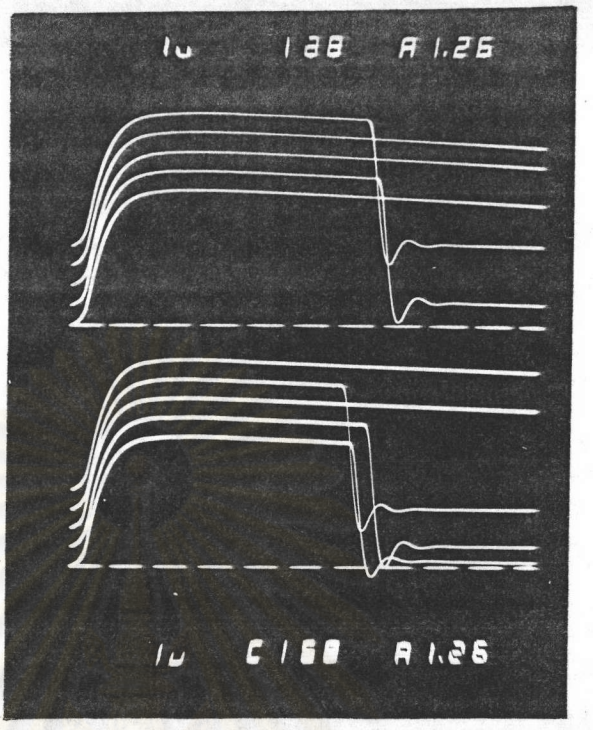
รูปที่ 6.10 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟในแกประหว่างอิเล็กโตรดหัวครอบ-ก้านตรงของแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่ง ขั้วลบ



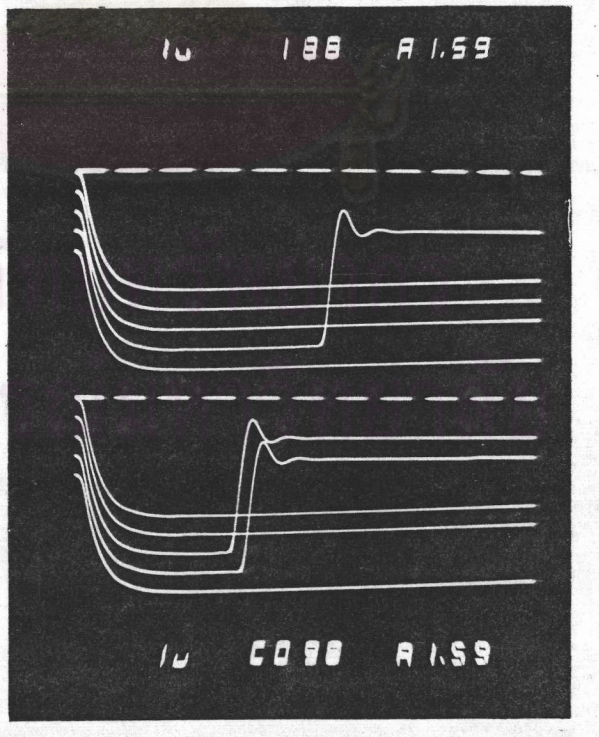
รูปที่ 6.11 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยแท่งผิวเรียบของแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่ง ขั้วบวก



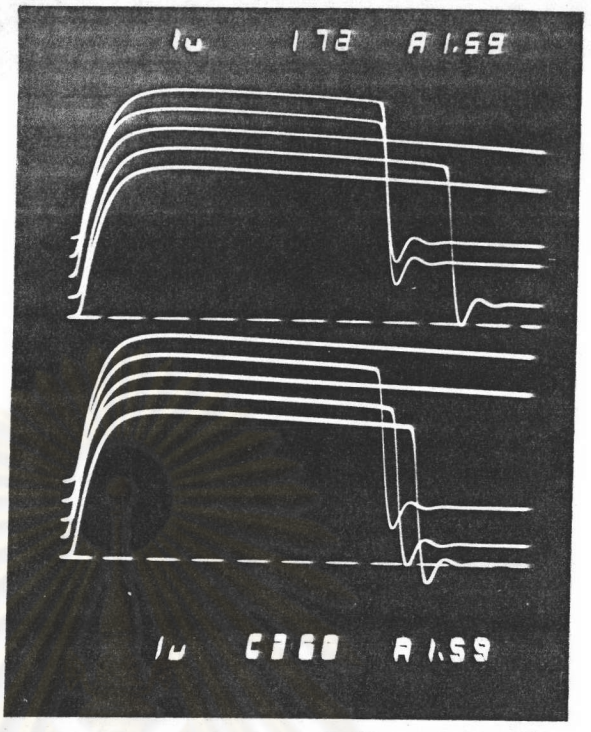
รูปที่ 6.12 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยแท่งผิวเรียบของแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่ง ขั้วลบ



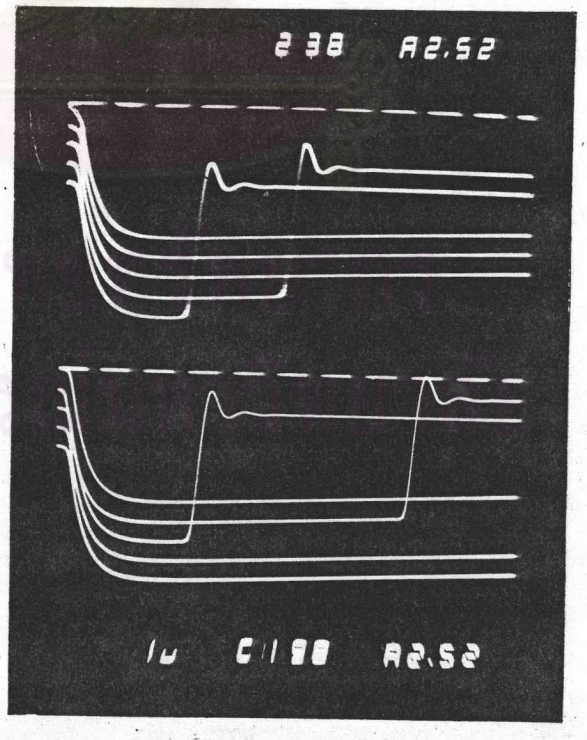
รูปที่ 6.13 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยแขวนของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า ขั้วบวก



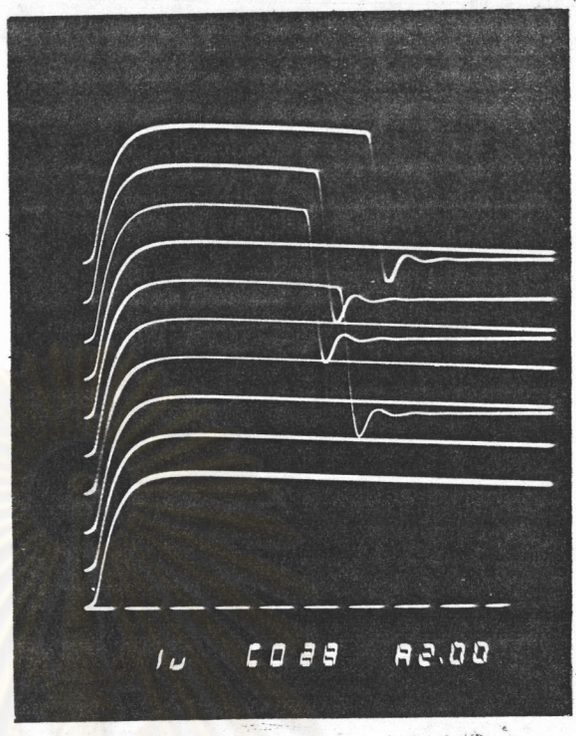
รูปที่ 6.14 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยแขวนของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า ขั้วลบ



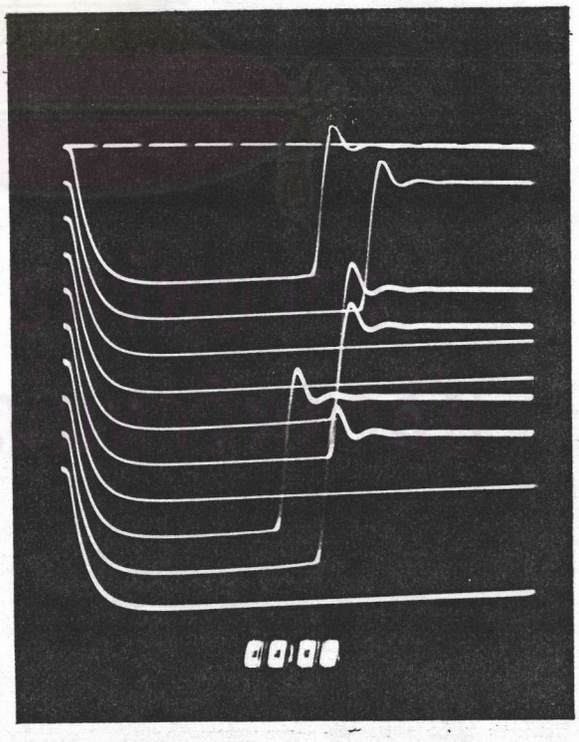
รูปที่ 6.15 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยก้านตรงของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า ขั้วบวก



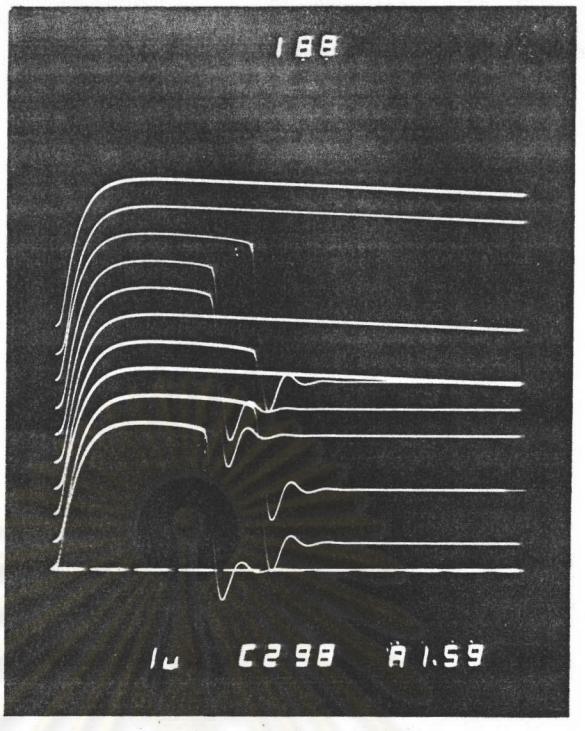
รูปที่ 6.16 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยก้านตรงของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า ขั้วลบ



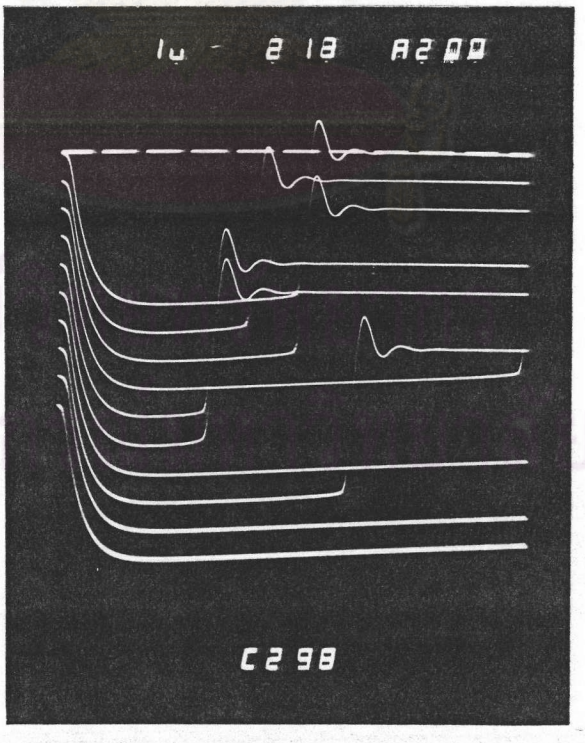
รูปที่ 6.17 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยก้านตรงคอตันของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า ขั้วบวก



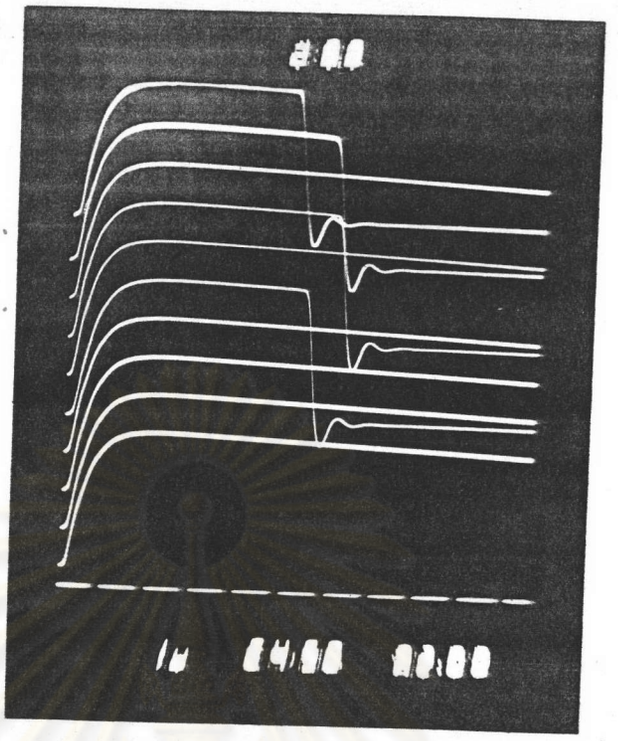
รูปที่ 6.18 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยก้านตรงคอตันของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า ขั้วลบ



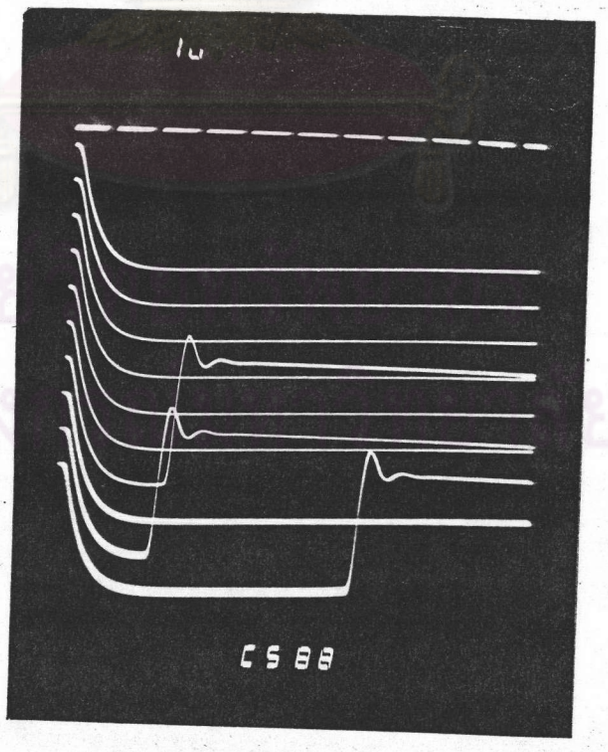
รูปที่ 6.19 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟในแกประหว่างอิเล็กโตรดหัวครอบ-ก้านตรงของแรงดันอิมพัลส์ รูปคลื่นฟ้าผ่า ขั้วบวก



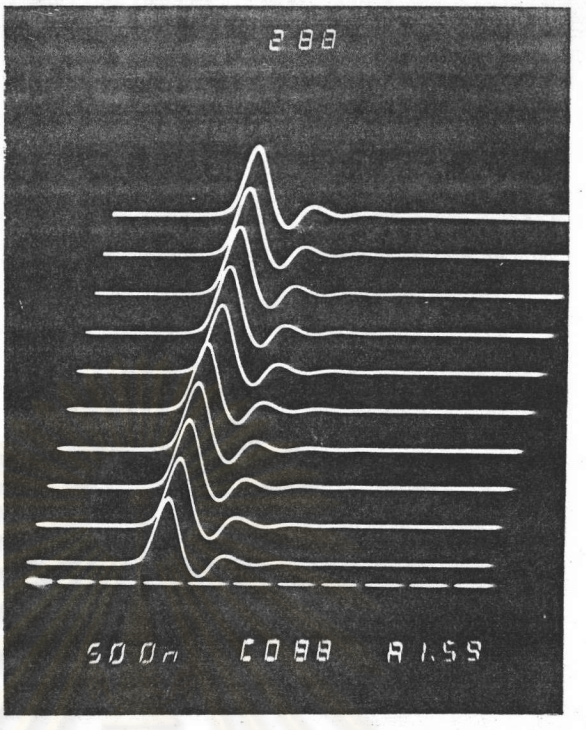
รูปที่ 6.20 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟในแกประหว่างอิเล็กโตรดหัวครอบ-ก้านตรงของแรงดันอิมพัลส์ รูปคลื่นฟ้าผ่า ขั้วลบ



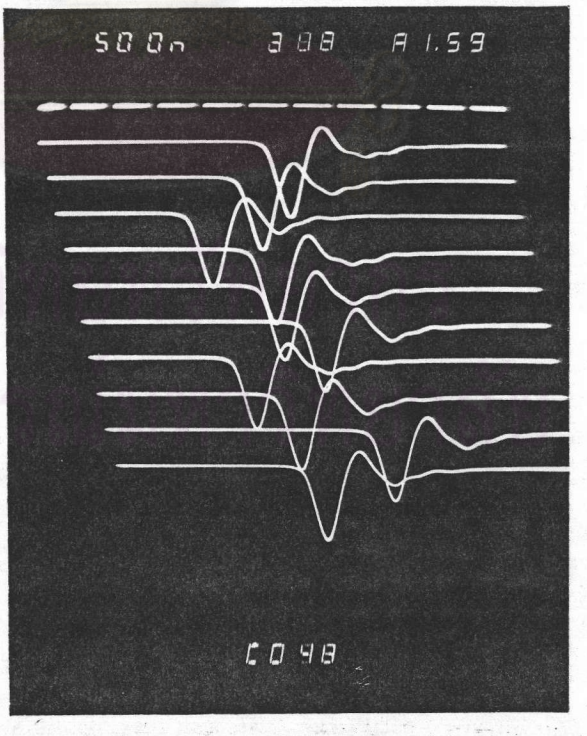
รูปที่ 6.21 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยแท่งผิวเรียบของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า ขั้วบวก



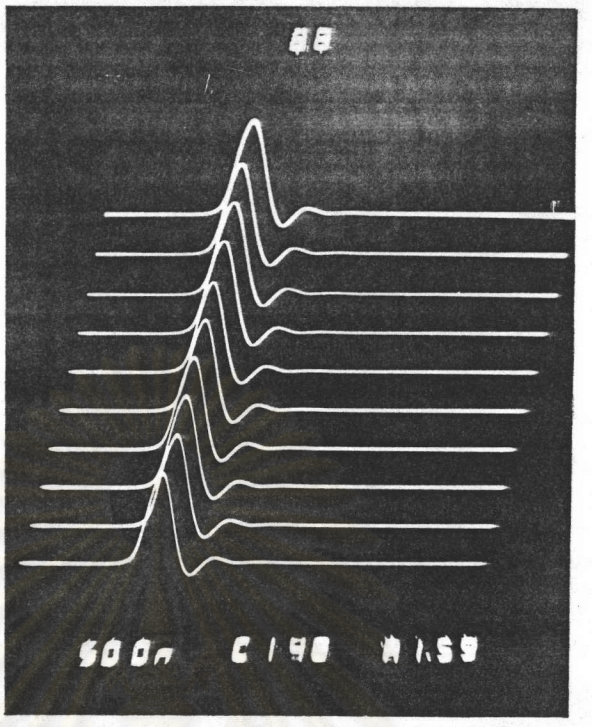
รูปที่ 6.22 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยแท่งผิวเรียบของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า ขั้วลบ



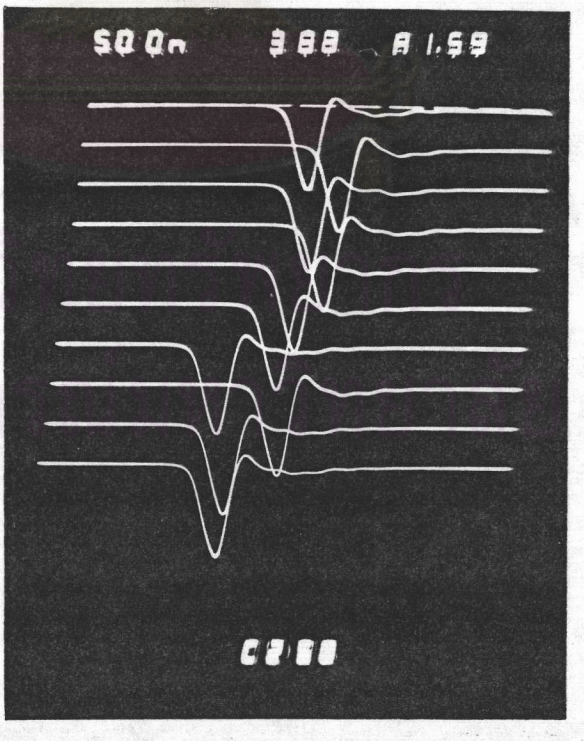
รูปที่ 6.23 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยแขวนของแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน ขั้วบวก



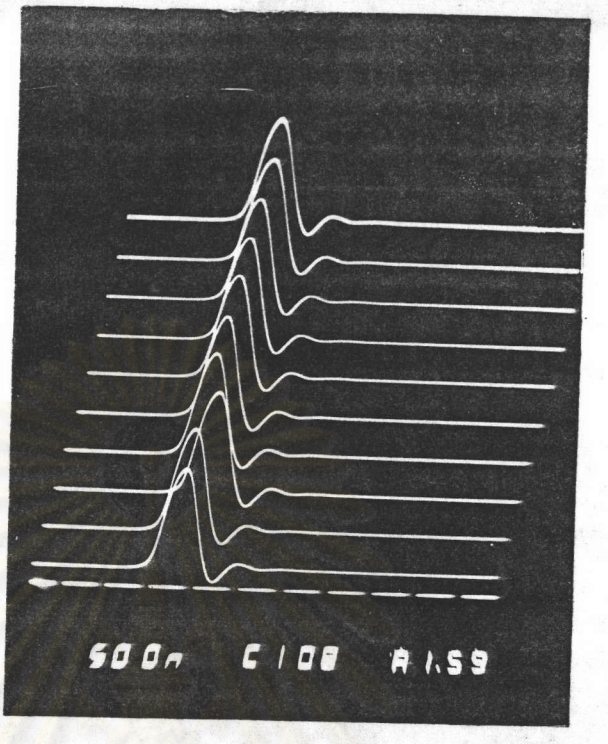
รูปที่ 6.24 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยแขวนของแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน ขั้วลบ



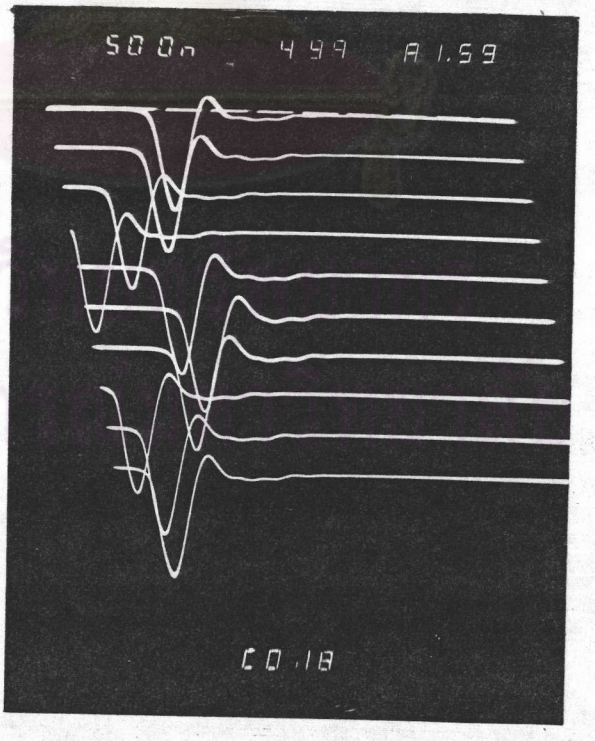
รูปที่ 6.25 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยก้านตรงของแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน ขั้วบวก



รูปที่ 6.26 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยก้านตรงของจากแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน ขั้วลบ



รูปที่ 6.27 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยก้านตรงคอตันของแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน ขั้วบวก



รูปที่ 6.28 รูปคลื่นแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยก้านตรงคอตันของแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชัน ขั้วลบ

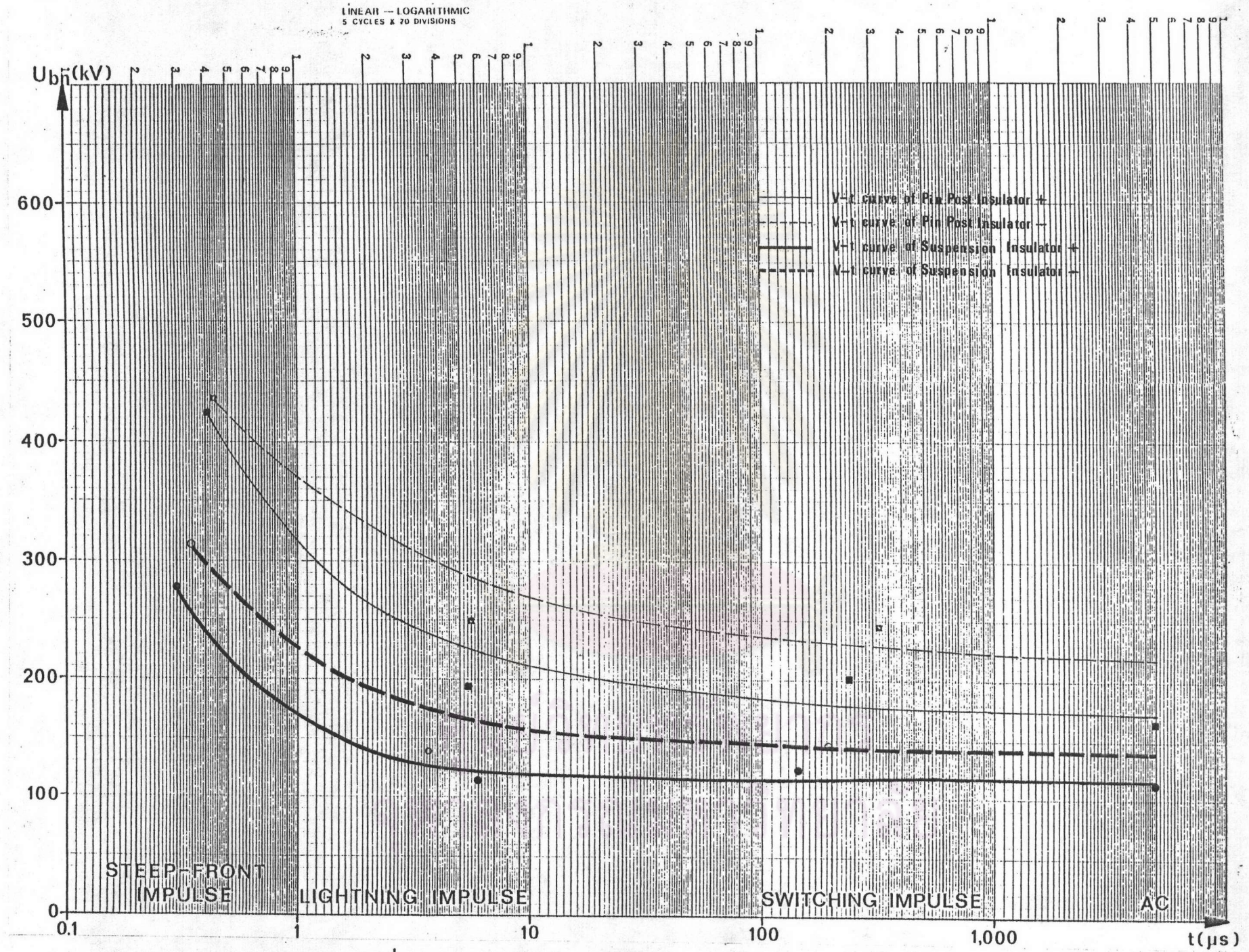
6.4 ลักษณะเส้นแรงดัน-เวลา

เพื่อเป็นการแสดงผลของเวลาล่าช้าของการเกิดเบรกดาวน์ของแรงดันรูปคลื่นต่างกันได้ชัดเจนขึ้น โดยการพิจารณาในลักษณะเส้นแรงดัน-เวลา ลักษณะเส้นแรงดันเวลาแสดงผลของค่าแรงดันที่เกิดวาบไฟตามผิวของรูปคลื่นแรงดันที่มีความชันของหน้าคลื่นต่างกัน และเกิดวาบไฟตามผิวที่เวลาต่างกัน ในที่นี้จะพิจารณาลักษณะเส้นแรงดัน-เวลาของลูกถ้วยแขวน และลูกถ้วยก้านตรงคอตัน ที่แรงดันทั้งขั้วบวก และขั้วลบ เหตุที่นำลูกถ้วยฉนวนทั้ง 2 แบบมาพิจารณาเปรียบเทียบกัน เนื่องจากลูกถ้วยแขวน และลูกถ้วยก้านตรงคอตัน มีระยะอาร์กที่ต่างกันอย่างชัดเจน ลักษณะเส้นแรงดัน-เวลาของลูกถ้วยฉนวนทั้ง 2 แบบ แสดงในกราฟรูปที่ 6.29

เมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ 6.29 จะพบว่าค่าแรงดันที่เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนของรูปคลื่นแรงดันที่มีความชันของหน้าคลื่นมาก จะเกิดที่ค่าแรงดันสูงกว่า และ เกิดขึ้นที่เวลาน้อยกว่ารูปคลื่นแรงดันที่มีความชันของหน้าคลื่นน้อย ซึ่งเป็นไปตามลักษณะเส้นแรงดันเวลาของแรงดันอิมพัลส์ ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 3.2.2

นอกจากนี้ยังเป็นการยืนยันอย่างชัดเจนว่าค่าแรงดันวาบไฟตามผิวของแรงดันขั้วลบสูงกว่าของขั้วบวกทุกรูปคลื่นแรงดัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.29 ลักษณะเส้นแรงดัน-เวลาของลูกถ้วยแขวน และลูกถ้วยก้านตรงคอตัน

6.5 สรุปผลการทดสอบ

จากการศึกษาผลของรูปคลื่นแรงดันต่อลักษณะสมบัติวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนปอร์ชเลน ทั้ง 5 แบบ สรุปผลได้ว่า

1) ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนปอร์ชเลนของรูปคลื่นแรงดันต่างชนิดกัน เมื่อมาเปรียบเทียบกันพบว่า รูปคลื่นแรงดันกระแสสลับความถี่พลังงาน 50 Hz มีค่าแรงดันวาบไฟตามผิวต่ำที่สุด

2) ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนปอร์ชเลนของแรงดันที่มีความชันของหน้าคลื่นสูงกว่า จะมีค่าสูงกว่าค่าแรงดันวาบไฟตามผิวของรูปคลื่นที่มีความชันของหน้าคลื่นต่ำกว่า

3) แรงดันอิมพัลส์ที่มีแรงดันสูงมาก ๆ จะเกิดวาบไฟตามผิวที่ส่วนหน้าของรูปคลื่นแรงดัน

4) การเกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าที่ค่า 50 % จะเกิดวาบไฟตามผิวที่ส่วนหลังของรูปคลื่นแรงดัน

5) การเกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนของแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตช์ชิ่งที่ค่าแรงดันที่มีโอกาสเกิดวาบไฟตามผิวใกล้เคียงค่า 50 % จะเกิดวาบไฟตามผิวทั้ง ส่วนหน้า ส่วนยอด หรือส่วนหลังของรูปคลื่น ขึ้นอยู่กับลักษณะของลูกถ้วยฉนวนดังนี้ คือ

- ลูกถ้วยฉนวนที่มีระยะอาร์กแห้งสั้น และมีส่วนของลูกถ้วยฉนวนที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ได้ง่าย จะเกิดวาบไฟตามผิวที่ส่วนหน้าของรูปคลื่นแรงดัน
- ลูกถ้วยฉนวนที่มีระยะอาร์กแห้งยาว หรือมีส่วนของลูกถ้วยฉนวนที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ได้ยากจะเกิดวาบไฟตามผิวทั้งส่วนยอด หรือส่วนหลังของรูปคลื่นแรงดัน

6) ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนของแรงดัน (กระแสตรง และอิมพัลส์)ขั้วลบจะมีค่าสูงกว่าขั้วบวก

7) ลูกถ้วยฉนวนที่มีเปอร์เซนต์ระยะส่วนที่เป็นผิวฉนวนมากกว่า จะมีค่าแรงดันวาบไฟตามผิวจำเพาะน้อยกว่าของลูกถ้วยฉนวนที่มีเปอร์เซนต์ระยะส่วนที่เป็นผิวฉนวนน้อยกว่า