



บทที่ 6

การทดสอบใช้งานระบบการวิเคราะห์ผลการทดสอบ BIL

เพื่อให้สามารถรู้ได้ว่า ระบบวิเคราะห์ผลการทดสอบ BIL ที่ได้ออกแบบไว้สามารถใช้งานวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ตามที่กำหนดไว้ จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบ โดยหัวข้อการทดสอบจะเป็นไปตามลำดับดังนี้

- 1) การทดสอบหลักคุณสมบัติของตัวลวดทองสัญญาณภายในกล่องลวดทองสัญญาณ
- 2) การทดสอบการทำงานของระบบ เพื่อการตรวจสอบรูปคลื่นแรงดัน
- 3) การทดสอบการทำงานของระบบ เพื่อการทดสอบ BIL ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

6.1 การทดสอบหลักคุณสมบัติของตัวลวดทองสัญญาณภายในกล่องลวดทองสัญญาณ

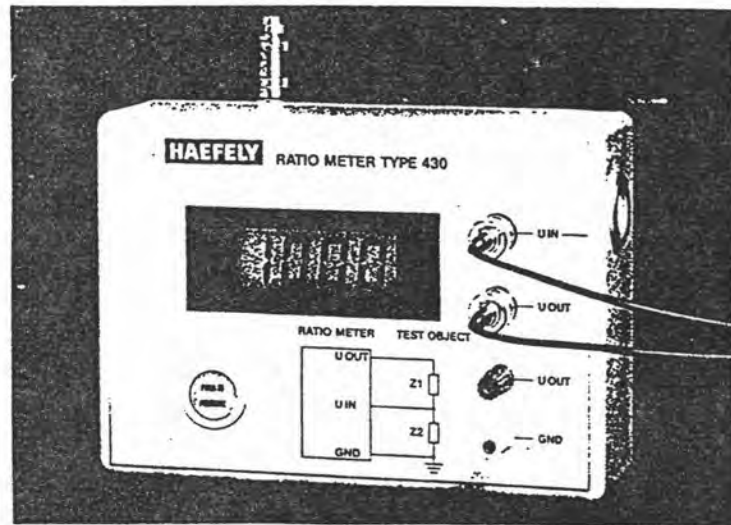
การทดสอบหลักคุณสมบัติของตัวลวดทองสัญญาณ เพื่อเป็นการพิจารณาถึงค่าอัตราส่วนการแบ่งแรงดัน และผลตอบสนองทางเวลา เป็นอย่างไร โดยการทดสอบเป็นไปตามลำดับขั้นตอนดังนี้

6.1.1 การทดสอบหาค่าอัตราส่วนการแบ่งแรงดันของตัวลวดทองสัญญาณ

ภายในกล่องลวดทองสัญญาณประกอบด้วยตัวลวดทองสัญญาณ แบบตัวเก็บประจุ และแบบความต้านทาน การหาค่าอัตราส่วนการแบ่งแรงดันของตัวลวดทองสัญญาณสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องมือทดสอบที่เรียกว่า RATIO METER, type 430 ของบริษัท HAEFELY ดังแสดงในรูปที่ 6.1 ผลการตรวจสอบค่าอัตราส่วนการแบ่งแรงดัน แสดงดังในตารางที่ 6.1

จากตารางที่ 6.1 จะเห็นได้ว่าตัวลวดทองสัญญาณแบบตัวเก็บประจุสำหรับสัญญาณแรงดันนั้นมีค่าอัตราส่วนแรงดัน แตกต่างจากค่าที่คำนวณได้ตามสมการหาอัตราส่วนแรงดัน

$$a = (C_1 + C_2)/C_1$$



รูปที่ 6.1 เครื่องมือสำหรับการตรวจวัดค่าอัตราส่วนแบ่งแรงดัน

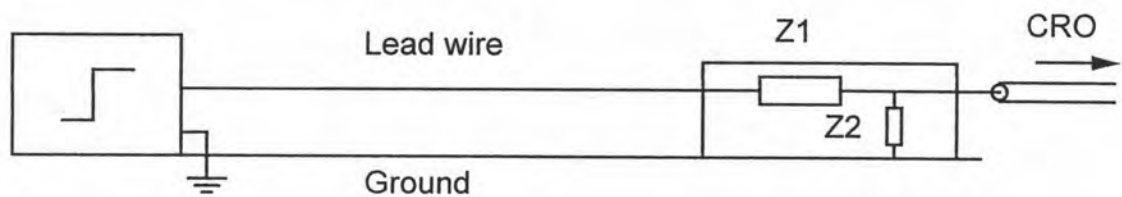
ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าอัตราส่วนแบ่งแรงดันของตัวลวดทองสัญญาณภายในกล่องลวดทองสัญญาณ

ลักษณะของ ตัวลวดทองสัญญาณ	ค่าที่คำนวณ ได้	ค่าที่อ่านได้ จาก RATIO METER	ร้อยละ ความแตกต่าง
แบบตัวเก็บประจุ สำหรับสัญญาณแรงดัน	38.82	43.05	10.9
แบบความต้านทาน สำหรับสัญญาณกระแส	40.66	40.77	0.3

เนื่องจากในโครงสร้างของตัวลวดทองสัญญาณ นอกจากมีตัวเก็บประจุซึ่งเป็นค่าองค์ประกอบที่สำคัญแล้ว ยังมีส่วนที่เรียกว่าความต้านทานเมทซิ่ง และความต้านทานหน่วงในภาคแรงสูงรวมอยู่ด้วย จึงทำให้ค่าอัตราส่วนที่วัดได้มีความผิดพลาดมากถึง 10 % สำหรับโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทานนั้น มีค่าอัตราส่วนแรงดันที่วัดได้จาก RATIO METER ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้เนื่องจากในโครงสร้างของตัวลวดทองสัญญาณนั้นไม่มีทั้งความต้านทานเมทซิ่งและความต้านทานหน่วง ทำให้ไม่มีองค์ประกอบอื่น ๆ เข้าไปเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบหลักเหมือนกับตัวลวดทองสัญญาณแบบตัวเก็บประจุ

6.1.2 การทดสอบผลตอบสนองทางเวลาของตัวลคทอนสัญญาณ

การทดสอบผลตอบสนองทางเวลาของตัวลคทอนสัญญาณนั้นทำได้ โดยการป้อนแรงดันรูปขั้นที่มีค่าความชันน้อยกว่า 5 nsec [25] ให้ทางภาคแรงสูงของตัวลคทอนสัญญาณ และดูลักษณะผลตอบทางเวลาที่ภาคแรงต่ำของตัวลคทอนสัญญาณ รูปวงจรทดสอบหาผลตอบสนองทางเวลาดูได้จากรูปที่ 6.2

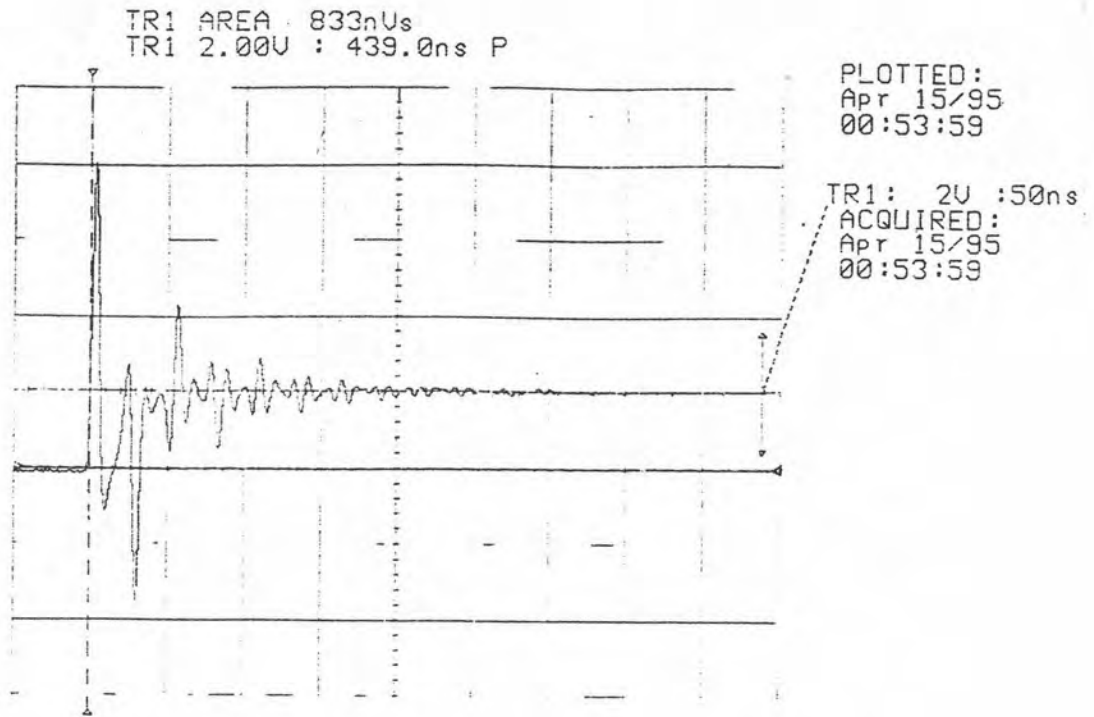


รูปที่ 6.2 แสดงวงจรที่ใช้ในการหาผลตอบทางเวลาของตัวลคทอนสัญญาณ

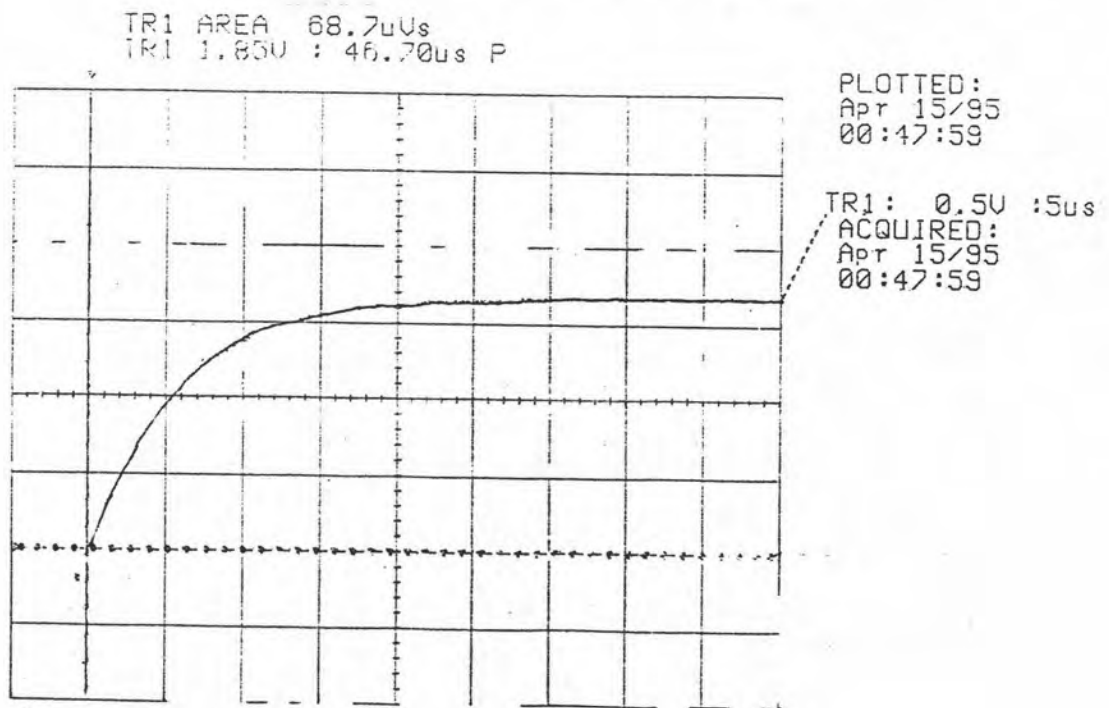
ผลการทดสอบหาค่าผลตอบสนองทางเวลา สำหรับตัวลคทอนสัญญาณแบบตัวเก็บประจุ และแบบความต้านทาน สามารถดูได้จากตารางที่ 6.2 และรูปที่ 6.3 ก), 6-3 ข)

ตารางที่ 6.2 ตารางแสดงผลการวัดค่าตอบสนองทางเวลาสำหรับตัวลคทอนสัญญาณ

ลักษณะของตัวลคทอนสัญญาณ	ผลตอบสนองทางเวลา
แบบตัวเก็บประจุ สำหรับสัญญาณแรงดัน	22.5 nsec
แบบความต้านทาน สำหรับสัญญาณกระแส	9.56 μ sec



ก) สำหรับตัวลดทอนสัญญาณแบบตัวเก็บประจุ



ข) สำหรับตัวลดทอนสัญญาณแบบความต้านทาน
รูปที่ 6.3 ภาพออสซิลโลแกรมผลตอบสนองของทางเวลา

6.2 การทดสอบการทำงานของระบบในการตรวจสอบรูปคลื่นแรงดัน

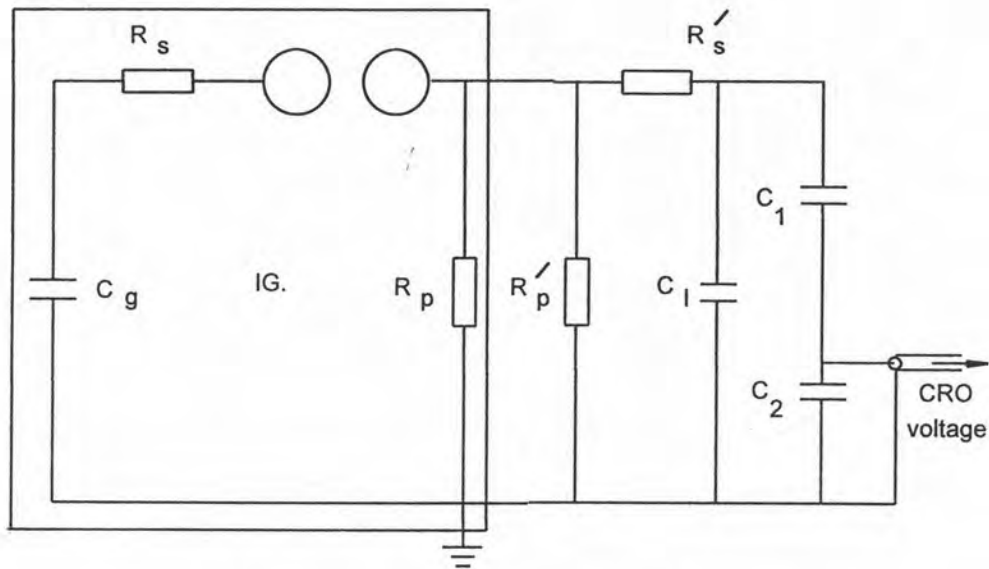
การทดสอบการทำงานของระบบในการตรวจสอบรูปคลื่นแรงดันนั้น เพื่อตรวจสอบการคำนวณที่ได้ตั้งสมมติฐานการประมาณไว้ ดังแสดงในบทที่ 4 ด้วยลักษณะรูปคลื่นที่แตกต่างกัน ลำดับขั้นวิธีการทดสอบเป็นดังนี้

- 1) ทำการคำนวณสำหรับรูปคลื่นอิมพัลส์ไฟฟ้ามาตรฐานรูปคลื่นลบ $1.2/50 \mu\text{sec}$ พร้อมภาพถ่ายจากแอนะล็อกออสซิลโลสโคป เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ
- 2) ทำการคำนวณรูปคลื่นอิมพัลส์ไฟฟ้าที่มีเวลาทางหน้าคลื่น $0.84 \mu\text{sec}$ และเวลาหางคลื่น $50 \mu\text{sec}$ พร้อมภาพถ่ายจากแอนะล็อกออสซิลโลสโคป เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ
- 3) ทำการคำนวณรูปคลื่นอิมพัลส์ไฟฟ้าที่มีเวลาทางหน้าคลื่น $1.56 \mu\text{sec}$ และเวลาหางคลื่น $50 \mu\text{sec}$ พร้อมภาพถ่ายจากแอนะล็อกออสซิลโลสโคป เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ
- 4) ทำการคำนวณรูปคลื่นอิมพัลส์ไฟฟ้าที่มีเวลาทางหน้าคลื่น $1.2 \mu\text{sec}$ และเวลาหางคลื่น $40 \mu\text{sec}$ พร้อมภาพถ่ายจากแอนะล็อกออสซิลโลสโคป เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ
- 5) ทำการคำนวณรูปคลื่นอิมพัลส์ไฟฟ้าที่มีเวลาทางหน้าคลื่น $1.2 \mu\text{sec}$ และเวลาหางคลื่น $60 \mu\text{sec}$ พร้อมภาพถ่ายจากแอนะล็อกออสซิลโลสโคป เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

การทดสอบในแต่ละขั้นตอนจะทำการทดสอบ 5 ครั้ง เพื่อดูความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่ายอดของแรงดันทดสอบ ค่าความแปรปรวนสำหรับช่วงเวลาหน้าคลื่น ค่าความแปรปรวนสำหรับช่วงเวลาหางคลื่น และค่าความแปรปรวนสำหรับร้อยละของค่าแรงดันพุ่งเกิน

ก่อนการทดสอบจะทำการปรับเทียบแรงดัน โดยการใช้ไฟล์ DEFAULT.BIL เพื่อใช้ในการตั้งค่าอัตราส่วนแบ่งแรงดันที่ระดับแรงดัน 100 kV ซึ่งจะเป็นระดับแรงดันที่ใช้ตลอดการทดสอบในส่วนนี้

วงจรที่ใช้ในการทดสอบการทดสอบการทำงานของระบบ ในการตรวจสอบรูปคลื่นแรงดันสามารถดูได้จากรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 วงจรและค่าองค์ประกอบที่ใช้สำหรับการทดสอบ
การทำงานของระบบในการตรวจสอบรูปคลื่นแรงดัน

ค่าองค์ประกอบในวงจรตามรูปที่ 6.4 เป็นดังนี้

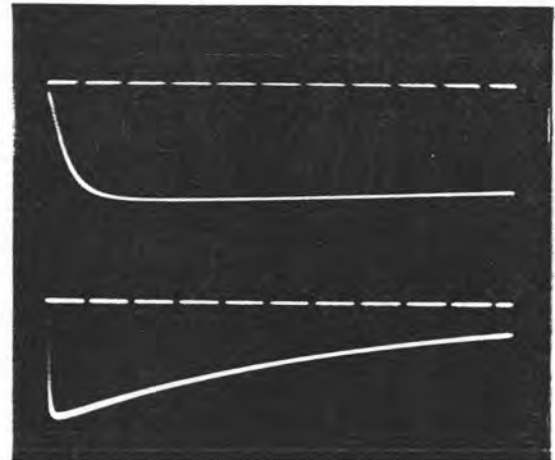
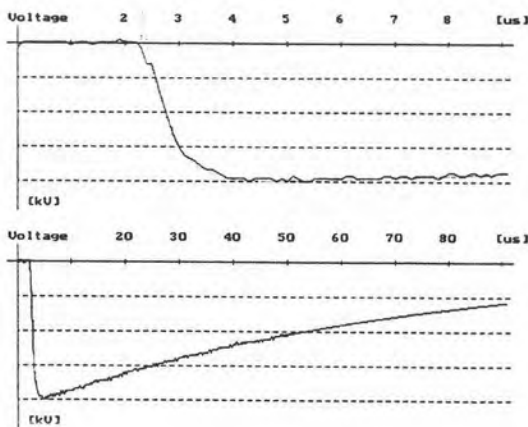
- IG คือเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ขนาดแรงดัน 400 kV 20 kWs 250 nF
- R_d คือความต้านทานหน่วงภายในมีขนาดเท่ากับ 48 โอห์ม
- R'_d คือความต้านทานหน่วงภายนอกมีขนาดขึ้นอยู่กับแต่ละการทดสอบ
- R_e คือความต้านทานคายประจุภายในมีขนาดขึ้นอยู่กับแต่ละการทดสอบ
- R'_e คือความต้านทานคายประจุภายนอกมีขนาดขึ้นอยู่กับแต่ละการทดสอบ
- C_1 คือตัวเก็บประจุโพลีมีขนาดเท่ากับ 1000 pF
- C_1, C_2 คือตัวลวดทองสัญญาณแบบตัวเก็บประจุขนาด 500 pF 400 kV

ผลการทดสอบดูได้จากตารางที่ 6.3 ถึงตารางที่ 6.7 และภาพเปรียบเทียบของรูปคลื่นที่ได้จากระบบดิจิทัล กับแอนะล็อก ดูได้จากรูปที่ 6.5 ถึงรูปที่ 6.9

ตารางที่ 6.3 ตารางแสดงผลการทดสอบการคำนวณหาค่าองค์ประกอบรูปคลื่นแรงดันอินพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 1.2/50 μsec

	T_1 (μsec)	T_2 (μsec)	Overshoot (%)	ค่าแรงดัน (kV)
ค่าที่วัดได้จริง	1.2	50	0	100
ค่าที่อ่านได้	1.2	50	0	100.9
	1.2	51	0	100.8
	1.3	51	0	100.7
	1.3	51	0	100.8
	1.2	51	0	100.2

ค่าองค์ประกอบที่ใช้ในวงจร $R_d' = 297 \Omega$, $R_c = 367 \Omega$, $R_c' = 0 \Omega$



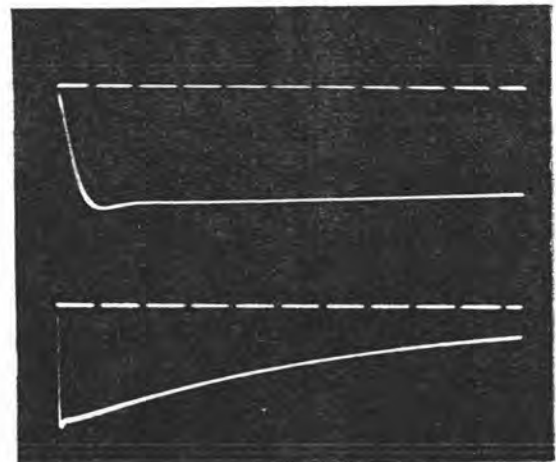
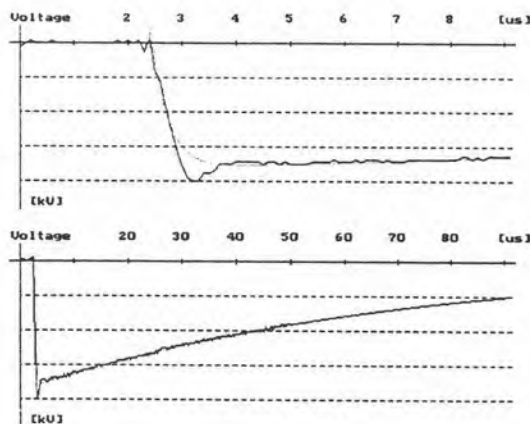
รูปที่ 6.5 ภาพออสซิลโลแกรมที่ได้จากแบบดิจิทัลเทียบกับแบบแอนะล็อกสำหรับแรงดันอินพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μsec

จากตารางที่ 6.3 ความแตกต่างในการคำนวณกับค่าที่วัดได้จริงสำหรับรูปคลื่นแรงดันอินพัลส์มาตรฐานนั้น ไม่สามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนมีแต่เพียงค่ายอดของแรงดันซึ่งมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

ตารางที่ 6.4 ตารางแสดงผลการทดสอบการคำนวณหาค่าองค์ประกอบรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่น 0.84/50 μsec

	T_1 (μsec)	T_2 (μsec)	Overshoot (%)	ค่าแรงดัน (kV)
ค่าที่วัดได้จริง	0.8	50	4	103.5
ค่าที่อ่านได้	0.74	50	4.6	105
	1.1	51	4.5	105.4
	0.95	50	4.0	105
	0.93	50	3.9	105.5
	0.79	50	3.3	104.8

ค่าองค์ประกอบที่ใช้ในวงจร $R_d' = 180 \Omega$, $R_c = 367 \Omega$, $R_c' = 0 \Omega$



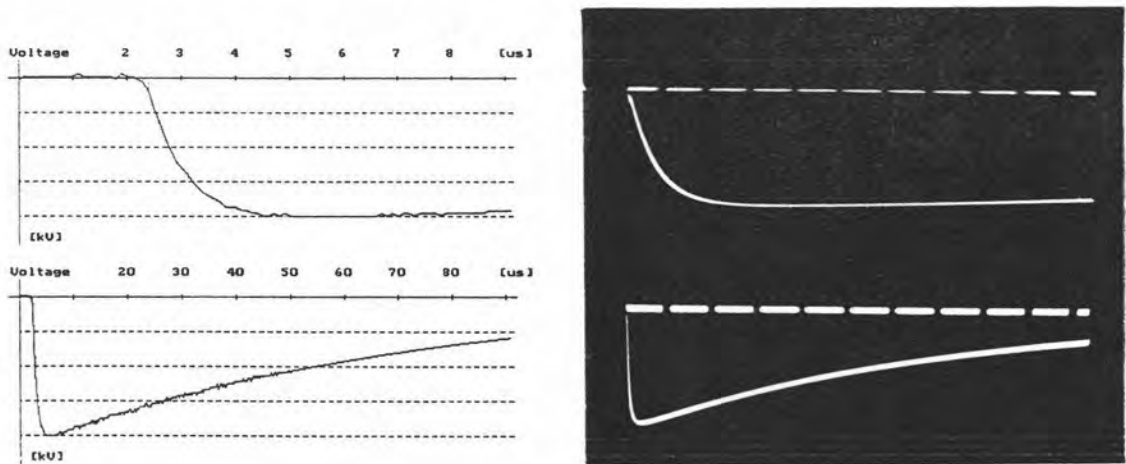
รูปที่ 6.6 ภาพออสซิลโลแกรมที่ได้จากแบบดิจิทัลเทียบกับแบบแอนะล็อกสำหรับรูปคลื่นอิมพัลส์ 0.84/50 μsec

กรณีรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่น 0.84/50 μsec นั้นจะสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างที่เกิดจากการคำนวณค่าเวลาหน้าคลื่น ซึ่งความผิดพลาดดังกล่าวอาจเกิดจากลักษณะรูปคลื่นมีการแกว่งตัวค่อนข้างสูง และการเข้ารหัสดิจิทัลในช่วงสัญญาณดังกล่าวมีค่าน้อยเกินไปทำให้การประมาณค่าเวลาหน้าคลื่นในช่วงดังกล่าว เกิดความผิดพลาดในการคำนวณ

ตารางที่ 6.5 ตารางแสดงผลการทดสอบการคำนวณหาค่าองค์ประกอบรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่น 1.56/50 μsec

	T ₁ (μsec)	T ₂ (μsec)	Overshoot (%)	ค่าแรงดัน (kV)
ค่าที่วัดได้จริง	1.6	52	0	98
ค่าที่อ่านได้	1.7	51	0	100.6
	1.7	51	0	100.1
	1.7	52	0	100.2
	1.7	52	0	99.5
	1.7	52	0	98.5

ค่าองค์ประกอบที่ใช้ในวงจร $R_d' = 430 \Omega$, $R_c = 367 \Omega$, $R_c' = 0 \Omega$



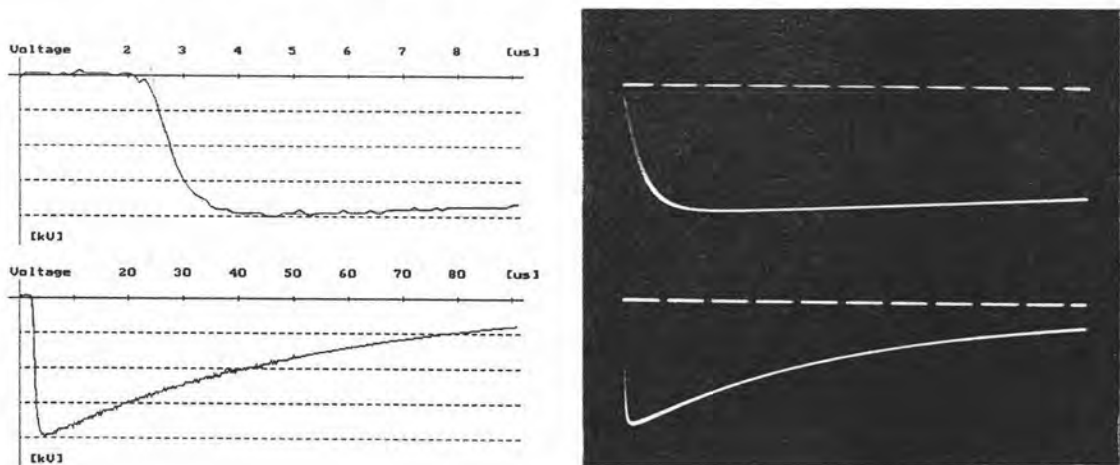
รูปที่ 6.7 ภาพออสซิลโลแกรมที่ได้จากแบบดิจิทัลเทียบกับแบบแอนะล็อกสำหรับรูปคลื่นอิมพัลส์ 1.56/50 μsec

กรณีรูปคลื่นที่มีเวลาหน้าคลื่นขีดจำกัดบนของช่วงเวลาหน้าคลื่น ไม่สามารถสังเกตเห็นความผิดปกติของโปรแกรมในการคำนวณค่าเวลาหน้าคลื่นและหางคลื่น ซึ่งการประมาณลักษณะรูปคลื่น สามารถเลียนแบบได้เหมือนรูปคลื่นของจริงทำให้ค่าความผิดพลาดจึงมีค่าต่ำด้วย

ตารางที่ 6.6 ตารางแสดงผลการทดสอบการคำนวณหาค่าองค์ประกอบรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่น 1.2/40 μsec

	T_1 (μsec)	T_2 (μsec)	Overshoot (%)	ค่าแรงดัน (kV)
ค่าที่วัดได้จริง	1.2	40	0	90
ค่าที่อ่านได้	1.1	40	0	91.64
	1.2	40	1.2	92.55
	1.2	40	1.2	92.55
	1.1	39	0	92.4
	1.1	39	0	91.73

ค่าองค์ประกอบที่ใช้ในวงจร $R_d' = 297 \Omega$, $R_c = 550 \Omega$, $R_e' = 617 \Omega$



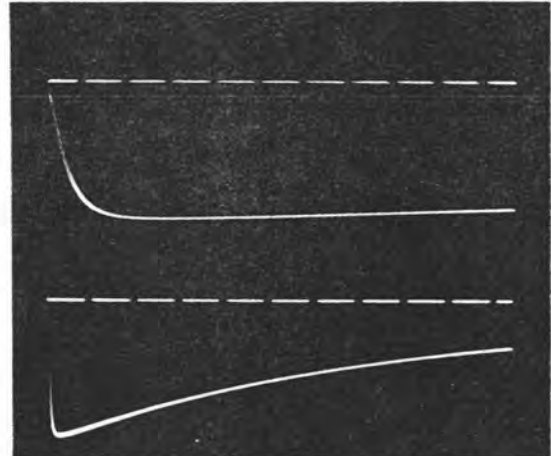
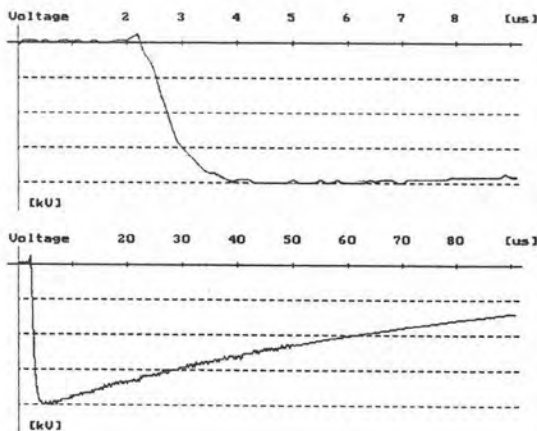
รูปที่ 6.8 ภาพออสซิลโลแกรมที่ได้จากแบบดิจิทัลเทียบกับแบบแอนะล็อกสำหรับรูปคลื่นอิมพัลส์ 1.2/40 μsec

สำหรับรูปคลื่น 1.2/40 μsec การประมาณค่าทางเวลาทางคลื่นมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง สำหรับค่ายอดของแรงดันรูปคลื่น 1.2/40 μsec มีค่าต่ำกว่ารูปคลื่น 1.2/50 μsec นั้น มีสาเหตุเนื่องมาจากการคายประจุจากโหลดให้กับความต้านทานคายประจุทำได้เร็วขึ้น (ความต้านทานคายประจุมีค่าน้อยกว่า) ทำให้ค่าแรงดันค่ายอดของรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์มีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 6.7 ตารางแสดงผลการทดสอบการคำนวณหาค่าองค์ประกอบรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่น 1.2/60 μsec

	T_1 (μsec)	T_2 (μsec)	Overshoot (%)	ค่าแรงดัน (kV)
ค่าที่วัดได้จริง	1.2	60	0	98.2
ค่าที่อ่านได้	1.3	60	0	100.4
	1.3	59	1.5	101.8
	1.3	59	1.6	102.0
	1.2	59	1.2	101.2
	1.2	59	0	99.64

ค่าองค์ประกอบที่ใช้ในวงจร $R_d' = 297 \Omega$, $R_c = 550 \Omega$, $R_c' = 0 \Omega$



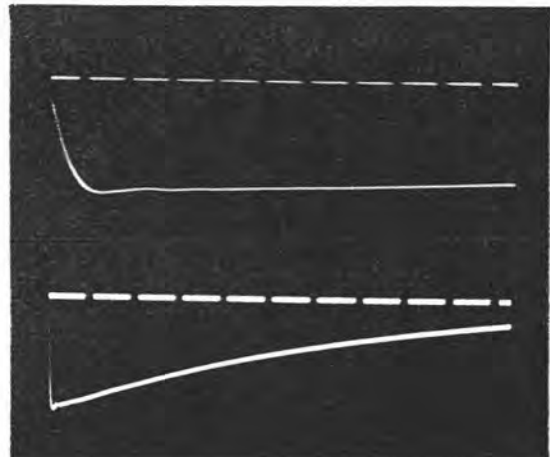
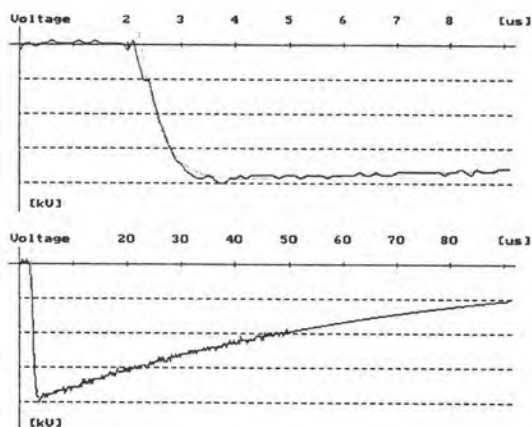
รูปที่ 6.9 ภาพออสซิลโลแกรมที่ได้จากแบบดิจิทัลเทียบกับแบบแอนะล็อกสำหรับรูปคลื่นอิมพัลส์ 1.2/60 μsec

ในรูปคลื่น 1.2/60 μsec ค่าของแรงดันมีค่าใกล้เคียงกับรูปคลื่น 1.2/50 μsec เนื่องจากค่าความต้านทานคายประจุมีค่าค่อนข้างสูง ความสามารถในการคายประจุของโหลดต้องใช้เวลามากขึ้น ทำให้แรงดันที่ได้จึงมีค่าใกล้เคียงกับรูปคลื่น 1.2/50 μsec

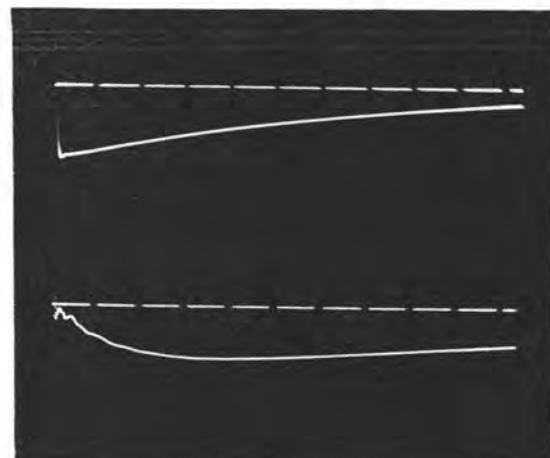
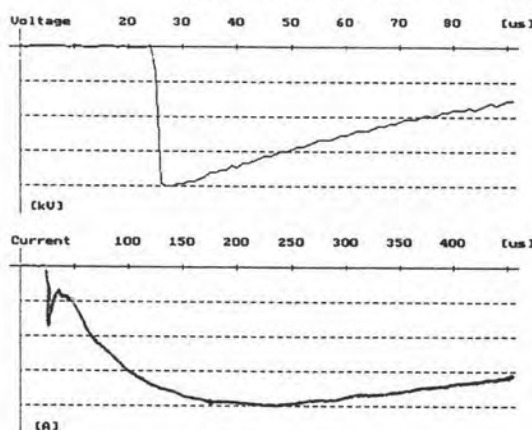
6.3 การทดสอบการทำงานของระบบในการทดสอบ BIL ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

การทดสอบการทำงานของระบบวิเคราะห์ผลการทดสอบ BIL ทำการทดสอบบนหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง พิกัดกำลัง 160 กิโลวัตต์แอมแปร์ พิกัดแรงดันด้านแรงสูง 22 กิโลวัตต์ พิกัดแรงดันด้านแรงต่ำ 400/230 โวลต์ หมายเลขเครื่อง 386007 ทดสอบ BIL ด้วยมาตรฐาน IEC ในรูปที่ 6.10 แสดงตัวอย่างรูปคลื่นที่ได้จากระบบการทดสอบแบบดิจิทัล เทียบกับแบบแอนะล็อก โดยเป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนในแต่ละขั้นตอนของการทดสอบบนเฟส A โดยขั้นตอนตามมาตรฐาน IEC ประกอบด้วย

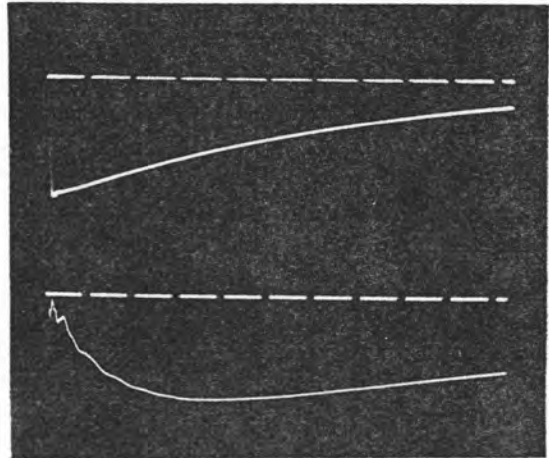
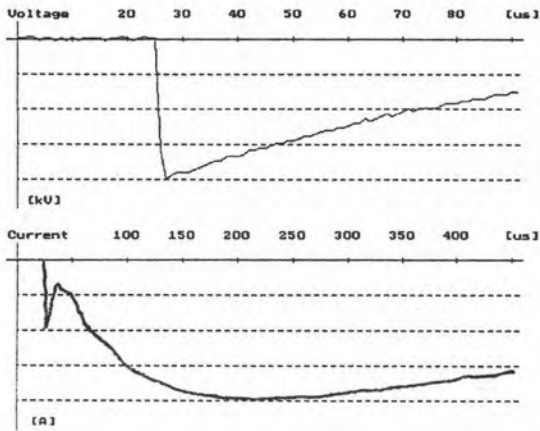
- 1) การปรับเทียบรูปคลื่นแรงดันก่อนการทดสอบ
- 2) ทดสอบด้วยแรงดันลดระดับขนาด 60 % ของแรงดันทดสอบ BIL
- 3) ทดสอบด้วยแรงดันเต็มคลื่นขนาดแรงดันทดสอบ BIL 3 ครั้ง



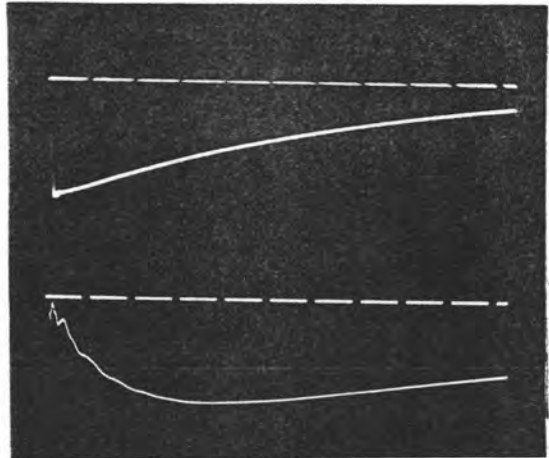
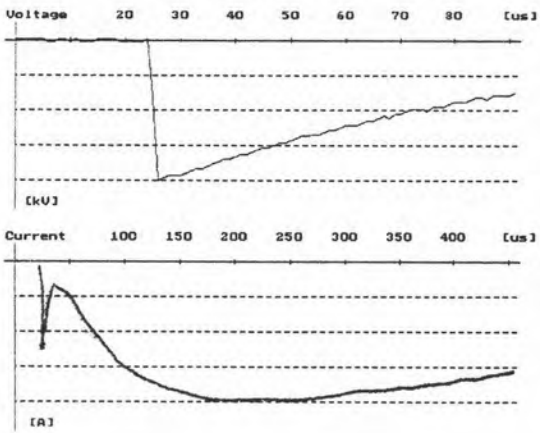
ก) ภาพออสซิลโลแกรมการปรับเทียบรูปคลื่นมาตรฐานแรงดัน 75 kV



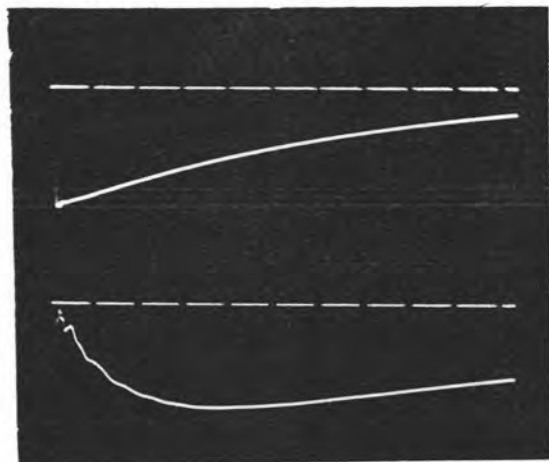
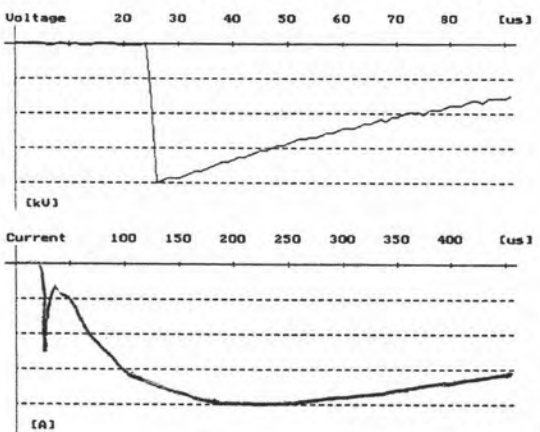
ข) ภาพออสซิลโลแกรมทดสอบที่แรงดันทดสอบลดระดับ 75 kV



ค) ภาพออสซิลโลแกรมทดสอบที่แรงดันทดสอบ 125 kV ครั้งที่ 1



ง) ภาพออสซิลโลแกรมทดสอบที่แรงดันทดสอบ 125 kV ครั้งที่ 2



จ) ภาพออสซิลโลแกรมทดสอบที่แรงดันทดสอบ 125 kV ครั้งที่ 3

รูปที่ 6.10 ภาพออสซิลโลแกรมที่ได้จากระบบวิเคราะห์แบบดิจิทัล
เทียบกับแบบแอนะล็อกสำหรับการทดสอบ BIL บนหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

จากรูปที่ 6.10 แสดงให้เห็นว่าระบบการวิเคราะห์ผลแบบดิจิทัล สามารถทำงานได้ เช่นเดียวกับแบบแอนะล็อกที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน . แต่มีข้อเสียตรงที่ภาพที่ได้จากระบบวิเคราะห์ แบบดิจิทัลไม่สามารถสังเกตเห็นการเกิดดีสซาร์จบางส่วนที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ได้ชัดเจนเหมือน กับการวิเคราะห์แบบแอนะล็อก แต่ในลักษณะการเกิดผิดพ่วงที่รุนแรง ระบบวิเคราะห์ผลแบบ ดิจิทัลก็ยังสามารถทำงานได้ดีเทียบเท่ากับแบบแอนะล็อก
