



บทที่ 4

การทดลองหากระแสรั่วเชิงความต้านทานของกั๊บดักแรงดันเกิน

ในบทที่ 3 เสนอวิธีการคำนวณหากระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานของวงจรสมมูลของกั๊บดักแรงดันเกินโดยทำการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB บทที่ 4 จะแสดงถึงการหากระแสรั่วเชิงความต้านทานในห้องปฏิบัติการโดยการจ่ายแรงดันเข้าสู่กั๊บดักแรงดันเกินและทำการคำนวณหากระแสรั่วเชิงความต้านทานโดยโปรแกรม MATLAB เปรียบเทียบกับกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากเครื่อง LCM.II

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

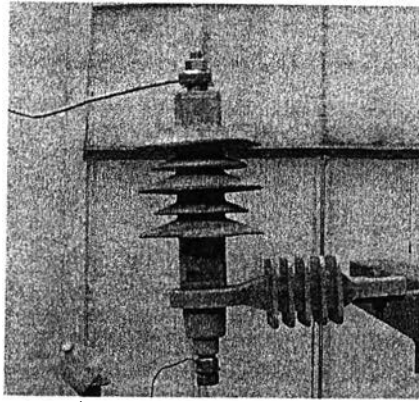
- แหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับ
- ตัวแบ่งแรงดัน (voltage divider) สำหรับวัดแรงดัน
- ตัวต้านทานชั้นที่ขนาด 10 k Ω หรือ 500 k Ω หรือ 1 M Ω สำหรับวัดกระแสรั่วรวม
- กั๊บดักแรงดันเกินที่มีพิคตต่างกันจำนวน 5 ตัว
- ออสซิลโลสโคป

รูปที่ 4.1 – 4.5 แสดงกั๊บดักแรงดันเกินที่ใช้ในการทดลอง ข้อมูลของกั๊บดักแรงดันเกินแสดงดังตารางที่ 4.1

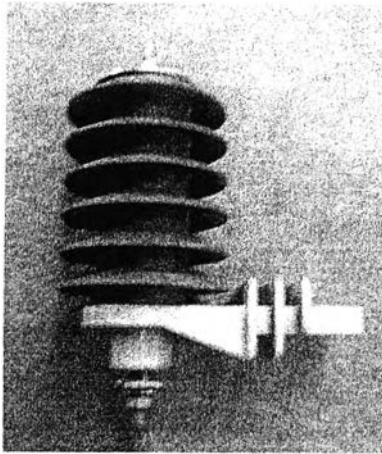
ตาราง 4.1 ข้อมูลของกั๊บดักแรงดันเกินที่ใช้ในการทดลอง

กั๊บดักแรงดันเกิน	ชนิดของกั๊บดักแรงดันเกิน	Uc (kV)	Ur (kV)
ตัวที่1	Polymer - housing	n/a	12
ตัวที่2		12	15
ตัวที่3		17	22
ตัวที่4		36	41
ตัวที่5	Porcelain	n/a	18

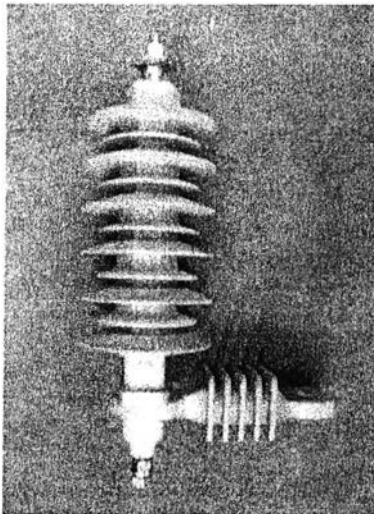
กั๊บดักแรงดันเกินในตารางที่ 4.1 แสดงดังรูปที่ 4.1 – 4.5



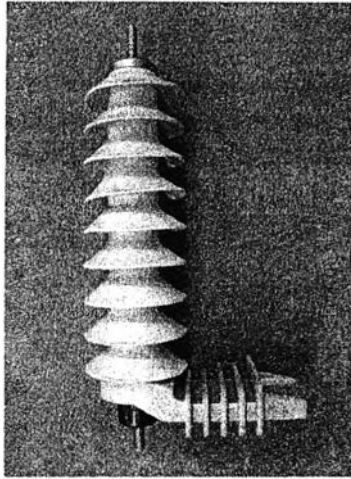
รูปที่ 4.1 กั๊บดักแรงดันเกินตัวที่ 1



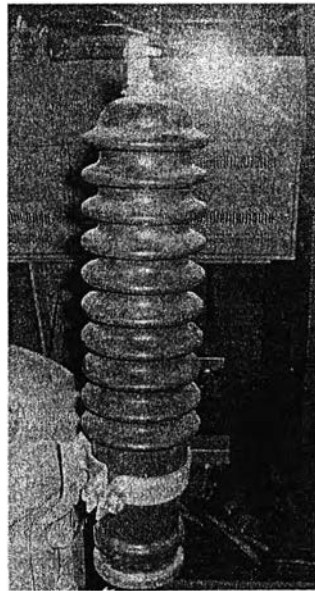
รูปที่ 4.2 กั๊บดักแรงดันเกินตัวที่ 2



รูปที่ 4.3 กั๊บดักแรงดันเกินตัวที่ 3



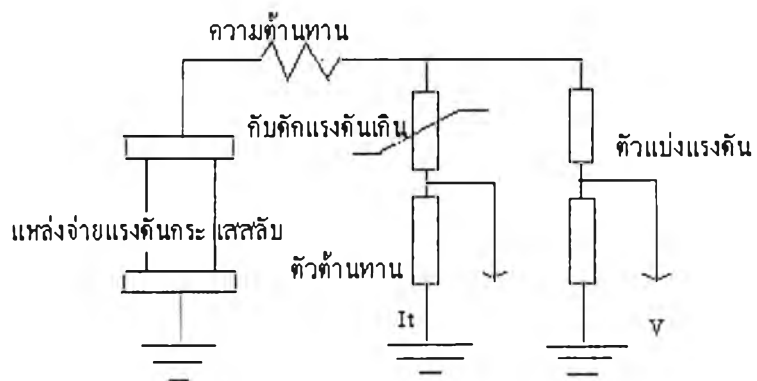
รูปที่ 4.4 กักตักแรงดันเกินตัวที่ 4



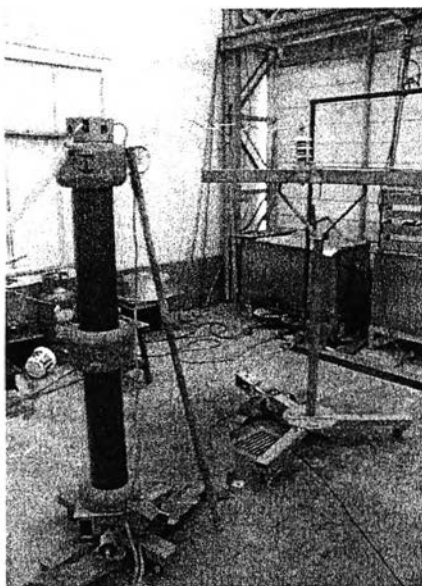
รูปที่ 4.5 กักตักแรงดันเกินตัวที่ 5

4.2 การทดลอง

ต่อวงจรดังรูปที่ 4.6 ใช้ตัวแบ่งแรงดันวัดแรงดันที่ตกคร่อมกับดักแรงดันเกิน และวัดกระแสรั่วรวมที่ไหลผ่านกับดักแรงดันเกิน โดยการวัดแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมบริเวณฐานของกับดักแรงดันเกินแล้วหารด้วยความต้านทานของตัวต้านทานนั้น



รูปที่ 4.6 วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.7 ตัวแบ่งแรงดันต่อกับกับดักแรงดันเกิน

4.2.1 การวิเคราะห์การหากระแสรั่วเชิงความต้านทาน (ดูตัวอย่างการคำนวณได้ที่

ภาคผนวก ก,ข)

ทำการทดลองเพื่อหากระแสรั่วเชิงความต้านทาน โดยจ่ายแรงดันจากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับเข้าสู่กับดักแรงดันเกิน ค่าแรงดันที่จ่ายเข้าสู่กับดักแรงดันเกินแสดงดังตารางที่ 4.2

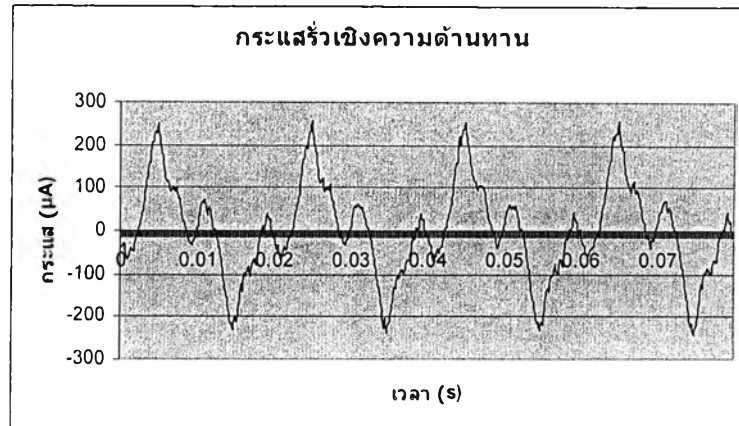
ตาราง 4.2 แรงดันที่จ่ายเข้าสู่กับดักแรงดันเกินเปรียบเทียบกับ U_c และ U_r

กับดักแรงดันเกิน	ความต้านทานชั้นที่ (Ω)	แรงดันที่จ่ายเข้าสู่ กับดักแรงดันเกิน (kV)	U_c (kV)	U_r (kV)
ตัวที่ 1	500 k	8.13	n/a	12
ตัวที่ 2	1 M	8.20	12	15
ตัวที่ 3	500 k	12.37	17	22
ตัวที่ 4	1 M	28.28	36	41
ตัวที่ 5	1 M	13.43	n/a	18

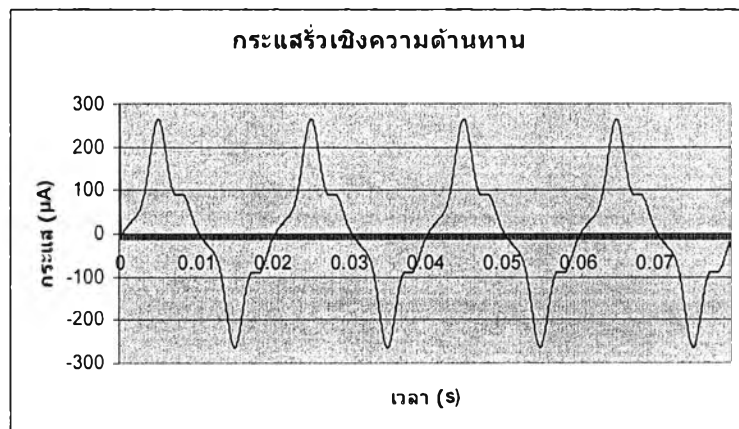
เนื่องจากแรงดันใช้งานของกับดักแรงดันเกินโดยทั่วไปจะมีค่าต่ำกว่า U_c เล็กน้อยเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน จึงทำการจ่ายแรงดันที่มีค่าใกล้เคียงแรงดันใช้งานเข้าสู่กับดักแรงดันเกินเพื่อให้กับดักแรงดันเกินอยู่ในสภาพใกล้เคียงสภาพการใช้งานจริง

ทำการวัดแรงดันที่ตกคร่อมกับดักแรงดันเกิน (V) โดยวัดแรงดันผ่านตัวแบ่งแรงดันดังรูปที่ 4.7 และวัดกระแสรั่วรวมที่ไหลผ่านกับดักแรงดันเกิน (It) โดยการวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่อบริเวณฐานของกับดักแรงดันเกินดังวงจรในรูปที่ 4.6 และนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหากระแสรั่วเชิงความต้านทานด้วยโปรแกรม MATLAB

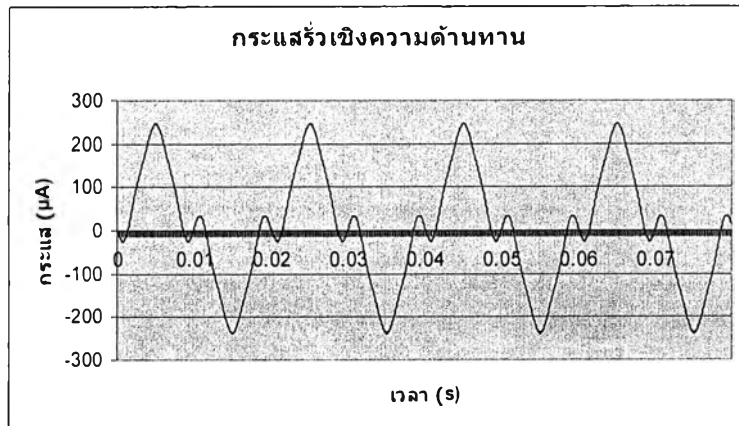
รูปที่ 4.8 ถึงรูปที่ 4.12 แสดงรูปคลื่นของกระแสรั่วเชิงความต้านทานของกับดักแรงดันเกินตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 5 ที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD , POINT-ON-WAVE METHOD และ HARMONIC ANALYSIS METHOD



a. กระแสเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD

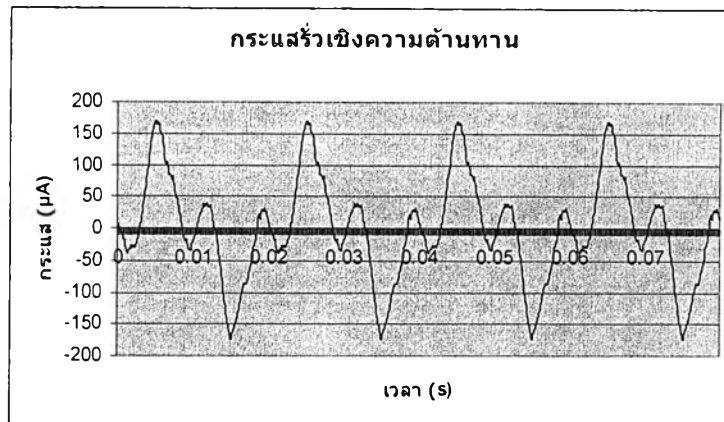


b. กระแสเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี POINT-ON-WAVE METHOD

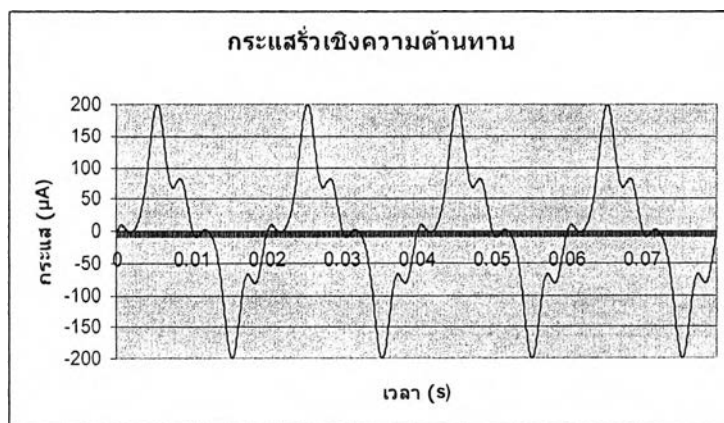


c. กระแสเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD

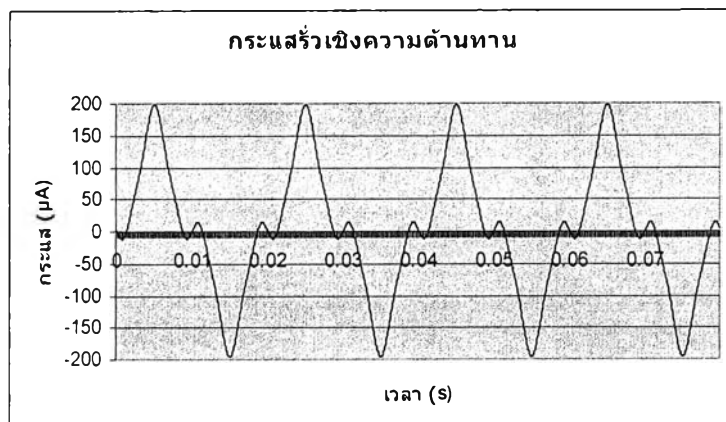
รูปที่ 4.8 กระแสเชิงความต้านทานของกับดักแรงดันเกินตัวที่ 1



รูป a. กระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD

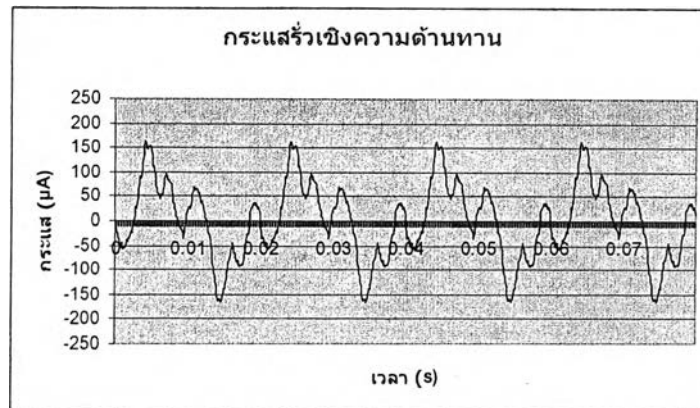


b. กระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี POINT-ON-WAVE METHOD

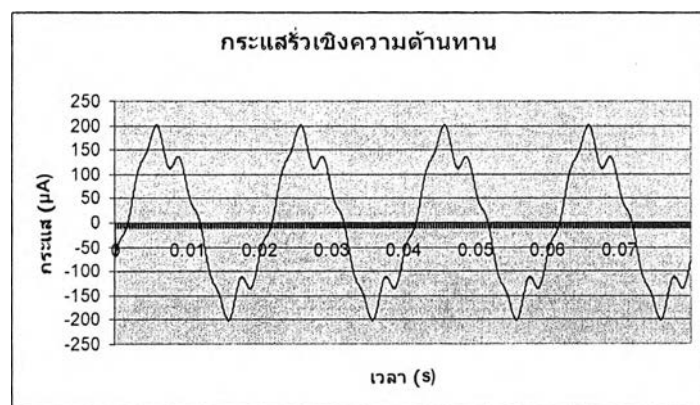


c. กระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD

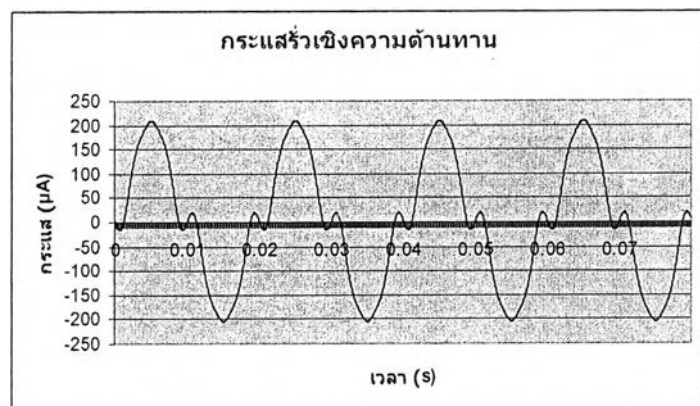
รูปที่ 4.9 กระแสรั่วเชิงความต้านทานของกัปดักแรงดันเกินตัวที่ 2



a. กระแสเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD

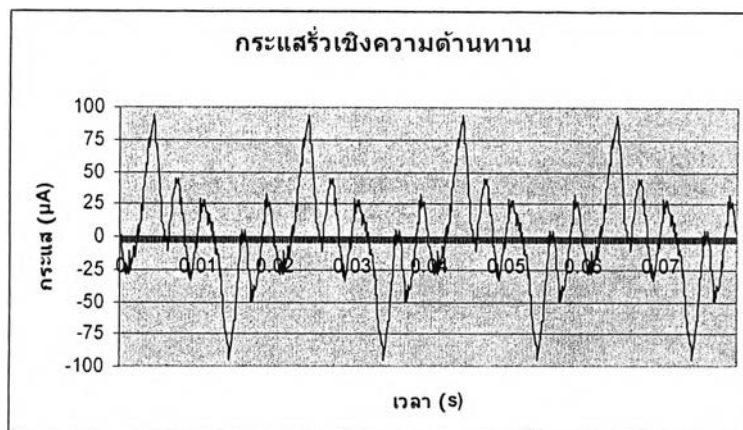


b. กระแสเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี POINT-ON-WAVE METHOD

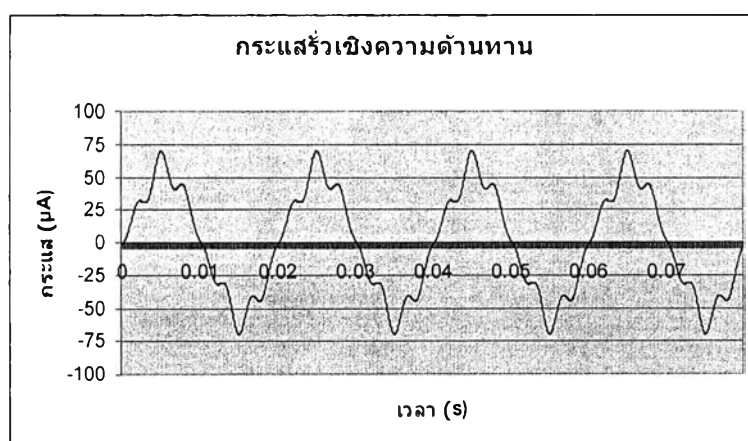


c. กระแสเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD

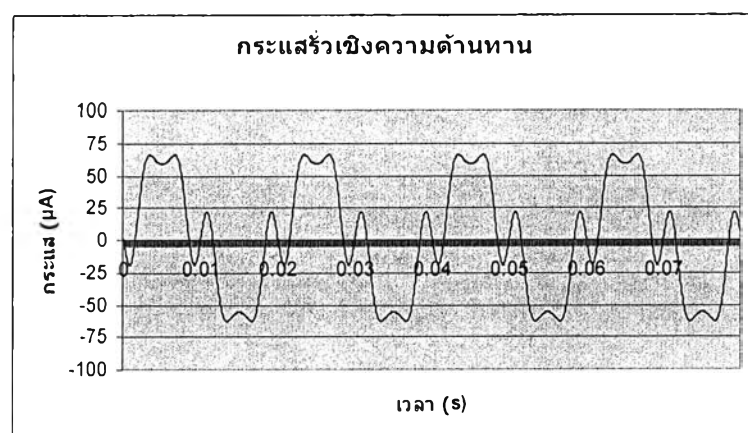
รูปที่ 4.10 กระแสเชิงความต้านทานของกับดักแรงดันเกินตัวที่ 3



a. กระแสเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD

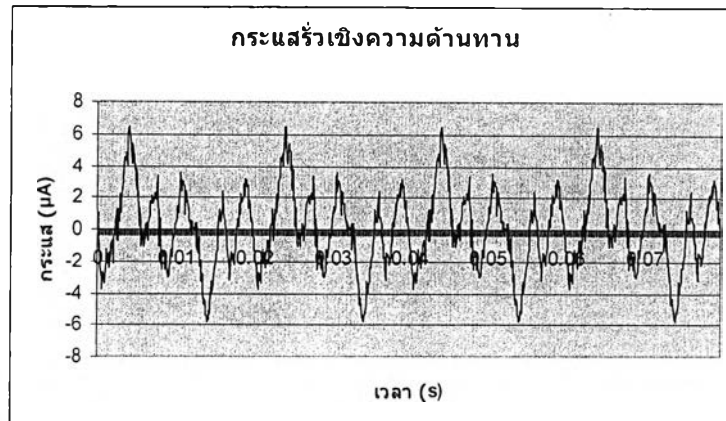


b. กระแสเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี POINT-ON-WAVE METHOD

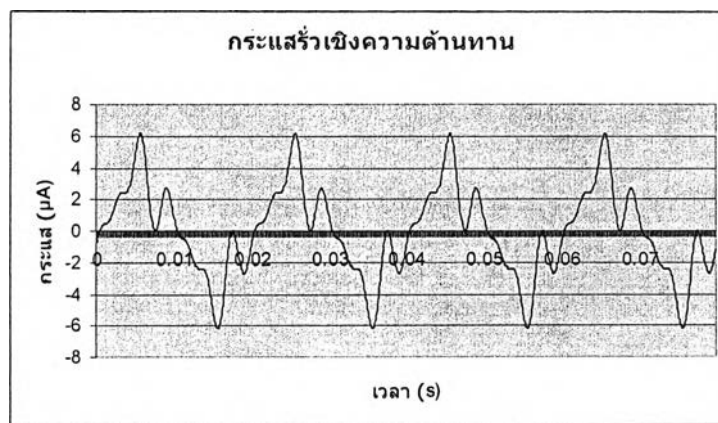


c. กระแสเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD

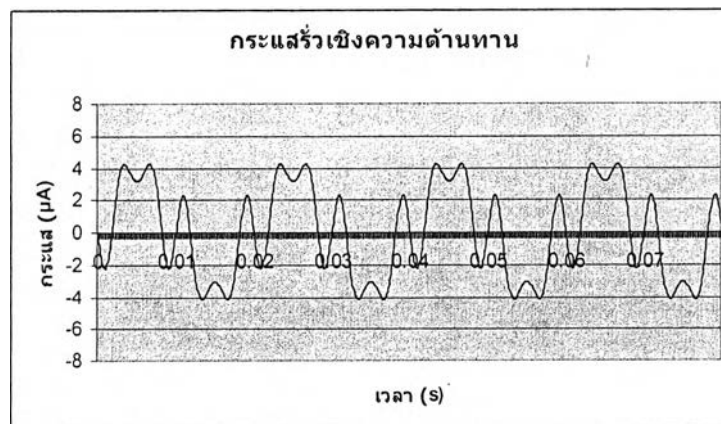
รูปที่ 4.11 กระแสเชิงความต้านทานของกับดักแรงดันเกินตัวที่ 4



a. กระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD



b. กระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี POINT-ON-WAVE METHOD



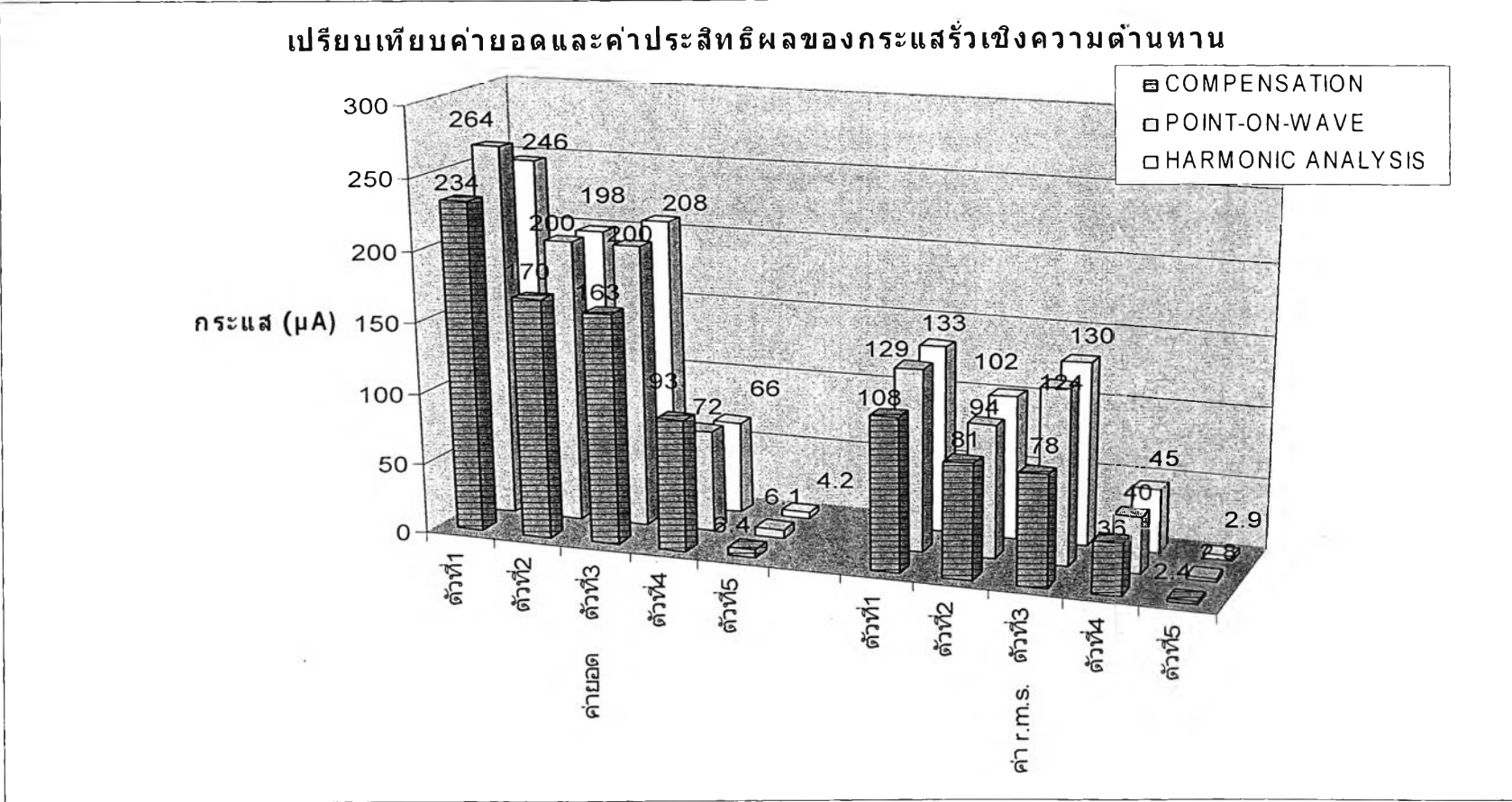
c. กระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD

รูปที่ 4.12 กระแสรั่วเชิงความต้านทานของกัปดักแรงดันเกินตัวที่ 5

ในรูปที่ 4.8 ถึง 4.12 รูปคลื่นของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD และ POINT-ON-WAVE METHOD จะมีลักษณะคล้ายกันแต่รูปคลื่นของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD จะมีการแกว่งมากกว่า

รูปที่ 4.13 แสดงค่ายอดและค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานในรูปที่ 4.8 ถึงรูปที่ 4.12 และตาราง 4.3 แสดงความคลาดเคลื่อนของค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานวิธี COMPENSATION METHOD และ POINT-ON-WAVE METHOD เมื่อเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD ซึ่งมีค่ามากที่สุด

จากรูปที่ 4.13 และค่าในตาราง 4.3 จะเห็นว่าค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD มีค่ามากที่สุด ค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี POINT-ON-WAVE METHOD มีค่าน้อยกว่าค่าประสิทธิผลที่ได้จากวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD เล็กน้อย (3% - 11.1%) และค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD มีค่าน้อยที่สุดและมีค่าแตกต่างจากค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD มากที่สุด (17.2% - 42.3%)



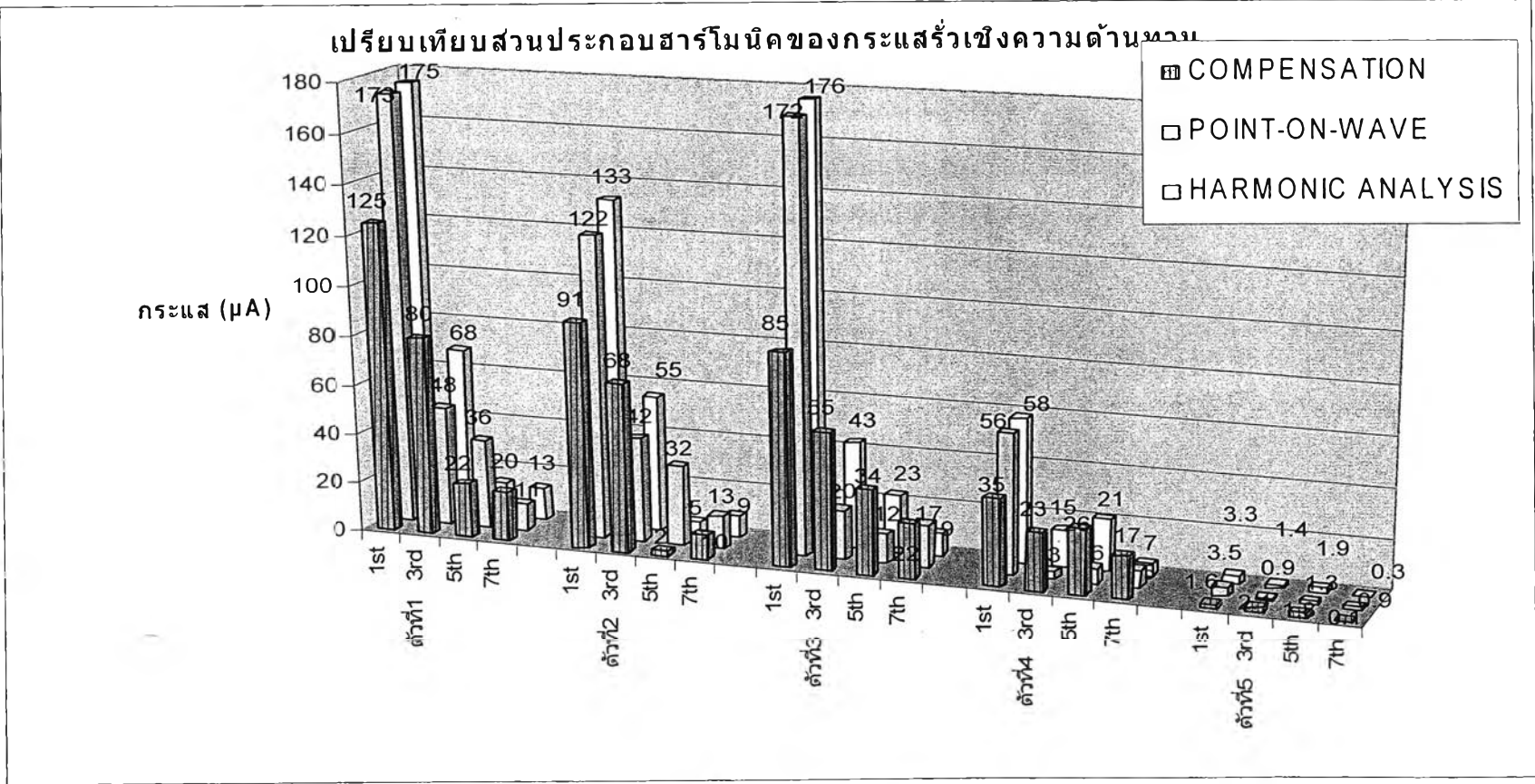
รูปที่ 4.13 ค่ายอดและค่าประสิทธิผลของกระแสรั้งเชิงความต้านทาน

ตาราง 4.3 ค่ายอดและค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทาน

กั๊บดั๊ก แรงดัน เกิน	วิธีในการหาค่า กระแสรั่วเชิงความต้านทาน	ค่ายอดของ กระแสรั่วเชิง ความต้านทาน (μ A)	ค่าประสิทธิผล ของกระแสรั่ว เชิงความ ต้านทาน (μ A)	ความคลาด เคลื่อนของค่า ประสิทธิผล ของกระแสรั่ว เชิงความ ต้านทาน (%)
ตัวที่1	COMPENSATION	234	108	-18.7
	POINT-ON-WAVE	264	129	-3.0
	HARMONIC ANALYSIS	246	133	-
ตัวที่2	COMPENSATION	170	81	-20.6
	POINT-ON-WAVE	200	94	-7.8
	HARMONIC ANALYSIS	198	102	-
ตัวที่3	COMPENSATION	163	78	-42.3
	POINT-ON-WAVE	200	124	-5.0
	HARMONIC ANALYSIS	208	130	-
ตัวที่4	COMPENSATION	93	36	-20
	POINT-ON-WAVE	72	40	-11.1
	HARMONIC ANALYSIS	66	45	-
ตัวที่5	COMPENSATION	6.4	2.4	-17.2
	POINT-ON-WAVE	6.1	2.8	-3.3
	HARMONIC ANALYSIS	4.2	2.9	-

นำกระแสรั่วเชิงความต้านทานของกั๊บดั๊กแรงดันเกินตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 5 ในรูปที่ 4.8 ถึงรูปที่ 4.12 มาแยกส่วนประกอบฮาร์มอนิกเพื่อวิเคราะห์ถึงความแตกต่างของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากทั้ง 3 วิธี

รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบค่ายอดของส่วนประกอบฮาร์มอนิกลำดับต่างๆของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากการทดลอง และ ตารางที่ 4.4 แสดงค่าส่วนประกอบฮาร์มอนิกของกระแสรั่วเชิงความต้านทานของกั๊บดั๊กแรงดันเกินทั้ง 5 ตัวโดยละเอียด



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบส่วนประกอบฮาร์มอนิกของกระแสรั้งเชิงความต้านทาน

ตาราง 4.4 ส่วนประกอบฮาร์มอนิกของกระแสรั้งความต้านทาน

กั บ ค ั ก ร แ ร ง ค ั น เ ก ิ น	วิธีในการหาค่า กระแสรั้งความต้านทาน	ค่าของส่วนประกอบฮาร์มอนิก (μA)				T.H.D.
		ความถี่ มูลฐาน (Ir1)	3 rd Harmonic (Ir3)	5 th Harmonic (Ir5)	7 th Harmonic (Ir7)	
		ตัวที่1	COMPENSATION	125	80	
	POINT-ON-WAVE	173	48	36	11	0.35
	HARMONIC ANALYSIS	175	68	14	13	0.40
ตัวที่2	COMPENSATION	91	68	2	10	0.76
	POINT-ON-WAVE	122	42	32	13	0.45
	HARMONIC ANALYSIS	133	55	5	9	0.42
ตัวที่3	COMPENSATION	85	55	34	22	0.80
	POINT-ON-WAVE	172	20	12	17	0.17
	HARMONIC ANALYSIS	176	43	23	9	0.28
ตัวที่4	COMPENSATION	35	23	26	17	1.10
	POINT-ON-WAVE	56	3	6	7	0.17
	HARMONIC ANALYSIS	58	15	21	5	0.45
ตัวที่5	COMPENSATION	1.6	2.1	1.8	0.1	1.73
	POINT-ON-WAVE	3.5	0.9	1.3	0.9	0.52
	HARMONIC ANALYSIS	3.3	1.4	1.9	0.3	0.72

จากรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพของกระแสรั้งความต้านทานที่ได้จากทั้ง 3 วิธีมีค่าแตกต่างกันสาเหตุหลักเนื่องมาจากความแตกต่างของค่า Ir1 ที่คำนวณได้จากแต่ละวิธี โดยที่ Ir1 ที่ได้จากวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD จะมีค่ามากที่สุดและ Ir1 ที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD จะมีค่าน้อยที่สุด

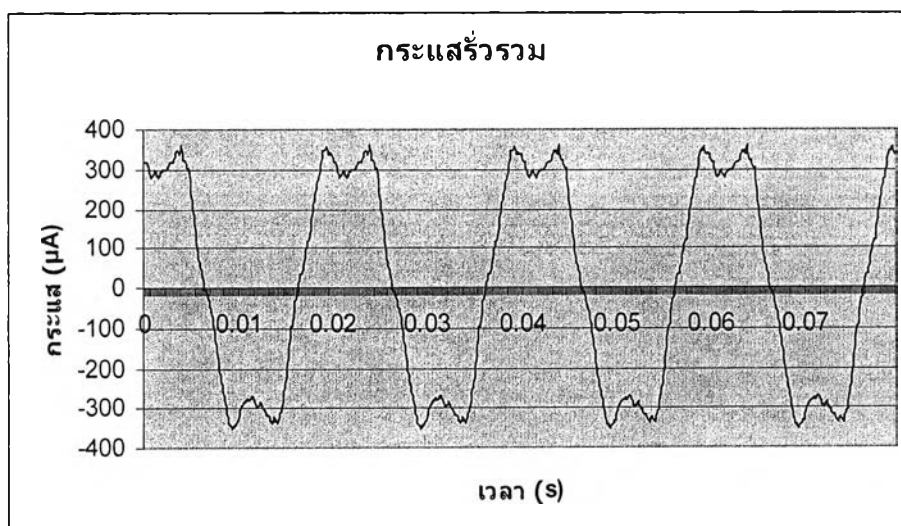
นอกจากนี้ค่ากระแสรั้งความต้านทานที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD จะมีส่วนประกอบฮาร์มอนิก (T.H.D.) มากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับรูปคลื่นของกระแสรั้งความต้านทานของวิธี COMPENSATION METHOD ที่มีลักษณะแกว่งมากที่สุดดังรูปที่ 4.8 – รูปที่ 4.12

การหากระแสรั่วเชิงความต้านทานวิธี COMPENSATION METHOD , POINT-ON-WAVE METHOD และ HARMONIC ANALYSIS METHOD ใช้แรงดันที่ตกคร่อมกับดักแรงดันเกิน (V) และกระแสรั่วรวมที่ไหลผ่านกับดักแรงดันเกิน (It) ในการคำนวณหากระแสรั่วเชิงความต้านทาน จึงทำการวิเคราะห์ผลของส่วนประกอบฮาร์มอนิกในกระแสรั่วรวม (T.H.D. ใน It) และส่วนประกอบฮาร์มอนิกในแรงดันที่ตกคร่อมกับดักแรงดันเกิน (T.H.D. ใน V) ที่มีต่อการหากระแสรั่วเชิงความต้านทาน

4.2.1.1 การวิเคราะห์ผลของ T.H.D. ใน It ที่มีผลต่อการหา Ir

ทำการวิเคราะห์ผลของ T.H.D. ใน It ที่มีผลต่อการวัดค่า Ir1 โดยใช้กับดักแรงดันเกินตัวที่ 1 เป็นกรณีศึกษา

พิจารณากระแสรั่วรวมที่ไหลผ่านกับดักแรงดันเกินตัวที่ 1



รูปที่ 4.15 กระแสรั่วรวมที่ไหลผ่านกับดักแรงดันเกินตัวที่ 1

แยกส่วนประกอบฮาร์มอนิกของกระแสรั่วรวมของกับดักแรงดันเกินตัวที่ 1 ในรูปที่ 4.15 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.5

ตาราง 4.5 ค่ายอดและมุมเฟสของส่วนประกอบฮาร์มอนิกของ
กระแสรั่วรวมที่ไหลผ่านกับดักแรงดันเกินตัวที่ 1

ลำดับ ฮาร์มอนิก	สัญลักษณ์	ค่ายอด (μ A)	มุมเฟส (องศา)	T.H.D.
1	It1	365	61.5	0.20
3	It3	68	-172.5	
5	It5	30	117.5	
7	It7	18	-135	

ลดค่า T.H.D. ของ It ลงโดยการลดค่า It3 , It5 , It7 (ค่า It1 คงที่) และหาค่ากระแสรั่ว
เชิงความต้านทานทั้ง 3 วิธี

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่า Ir1 ที่ได้จากการคำนวณแต่ละวิธีเมื่อ
กระแสรั่วรวมมีค่า T.H.D. ต่างกัน โดยเปรียบเทียบค่า Ir1 ของวิธี COMPENSATION METHOD
และ POINT-ON-WAVE METHOD กับค่า Ir1 ของวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD ซึ่ง
มีค่ามากที่สุด

ตาราง 4.6 การเปลี่ยนแปลงของ Ir1 เมื่อกระแสรั่วรวมมีค่า T.H.D. ต่างกัน

T.H.D. ของ It	วิธีในการหาค่า กระแสรั่วเชิงความต้านทาน	Ir1 (μ A)	ความแตกต่าง ของ Ir1 (%)
0.20	COMPENSATION	125	-28.6
	POINT-ON-WAVE	173	-1.1
	HARMONIC ANALYSIS	175	-
0.15	COMPENSATION	145	-17.1
	POINT-ON-WAVE	173	-1.1
	HARMONIC ANALYSIS	175	-
0.10	COMPENSATION	158	-9.7
	POINT-ON-WAVE	174	-0.6
	HARMONIC ANALYSIS	175	-
0.05	COMPENSATION	162	-7.4
	POINT-ON-WAVE	177	+1.1
	HARMONIC ANALYSIS	175	-

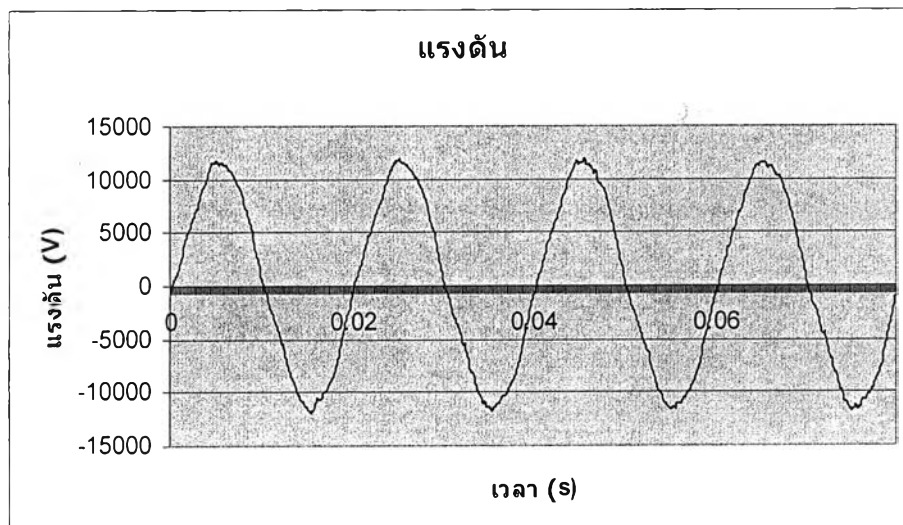
จากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าเมื่อ I_t มีค่า T.H.D. ต่ำ ค่าของ I_{r1} ที่ได้จากทั้ง 3 วิธีจะมีค่าใกล้เคียงกันแต่เมื่อ I_t มีค่า T.H.D. เพิ่มขึ้น ค่าของ I_{r1} ที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD จะเริ่มมีค่าลดลง และมีค่าแตกต่างจาก I_{r1} ที่ได้จากวิธี POINT-ON-WAVE METHOD และ HARMONIC ANALYSIS METHOD มากขึ้นเรื่อยๆ สังเกตว่าเมื่อ I_t มีค่า T.H.D. = 0.2 ค่าของ I_{r1} ที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD จะแตกต่างจากค่าของ I_{r1} ที่ได้จากวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD มากถึง 28.6%

ผลของการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.6 สามารถสรุปได้ว่า ส่วนประกอบฮาร์มอนิกในกระแสรวมจะทำให้ค่า I_{r1} ที่ได้จากการวิธี COMPENSATION METHOD มีความคลาดเคลื่อนและมีค่าน้อยกว่า I_{r1} ที่ได้จากวิธี POINT-ON-WAVE METHOD และ HARMONIC ANALYSIS METHOD ทำให้ค่าประสิทธิภาพของกระแสเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD มีค่าน้อยที่สุด

4.2.1.2 การวิเคราะห์ผลของ T.H.D. ใน V ที่มีผลต่อการหา I_{r1}

ทำการวิเคราะห์ผลของ T.H.D. ใน V ที่มีผลต่อการหา I_{r1} โดยใช้กับดักแรงดันเกินตัวที่ 1 เป็นกรณีศึกษา

พิจารณาแรงดันที่ตกคร่อมกับดักแรงดันเกินตัวที่ 1 ในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แรงดันที่ตกคร่อมกับดักแรงดันเกินตัวที่ 1

แยกส่วนประกอบฮาร์มอนิกของแรงดันที่ตกคร่อมกับดักแรงดันเกินตัวที่ 1 ในรูปที่ 4.16 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.7

ตาราง 4.7 ค่ายอดและมุมเฟสของส่วนประกอบฮาร์มอนิกของ
แรงดันที่ตกคร่อมกับดักแรงดันเกินตัวที่ 1

ลำดับ ฮาร์มอนิก	สัญลักษณ์	ค่ายอด (V)	มุมเฟส (องศา)	T.H.D.
1	V1	11310	-8.6	0.044
3	V3	390	107.5	
5	V5	300	60	
7	V7	80	160	

ลดค่า T.H.D. ของแรงดันที่ตกคร่อมกับดักแรงดันเกิน โดยการลดค่า V3, V5, V7 (ค่า V1 คงที่) เพื่อศึกษาถึงผลของส่วนประกอบฮาร์มอนิกในแรงดัน (T.H.D. ใน V) ที่มีต่อการหากระแสรั่วเชิงความต้านทาน คำนวณหากระแสรั่วเชิงความต้านทานทั้ง 3 วิธี

ตารางที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบฮาร์มอนิกของกระแสรั่วเชิงความต้านทานเมื่อแรงดันที่ตกคร่อมกับดักแรงดันเกินมีค่า T.H.D. ต่างกัน

ตาราง 4.8 การเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบฮาร์มอนิกของกระแสรั่วเชิงความต้านทาน
เมื่อแรงดันที่ตกคร่อมกับดักแรงดันเกินมีค่า T.H.D. แตกต่างกัน

T.H.D. ของ V	วิธีการหาค่า กระแสรั่วเชิงความต้านทาน	Ir1 (μ A)	Ir3 (μ A)	Ir5 (μ A)	Ir7 (μ A)
0.044	COMPENSATION	125	80	22	20
	POINT-ON-WAVE	173	48	36	11
	HARMONIC ANALYSIS	175	68	14	13
0.033	COMPENSATION	129	76	20	19
	POINT-ON-WAVE	175	52	39	13
	HARMONIC ANALYSIS	175	68	14	13
0.022	COMPENSATION	137	75	17	17
	POINT-ON-WAVE	175	61	44	17
	HARMONIC ANALYSIS	175	68	14	13
0.011	COMPENSATION	145	72	16	16
	POINT-ON-WAVE	175	69	51	19
	HARMONIC ANALYSIS	175	68	14	13

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นว่าส่วนประกอบฮาร์มอนิกของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD และ POINT-ON-WAVE METHOD จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามส่วนประกอบฮาร์มอนิกในแรงดันที่ตกคร่อมกับดักแรงดันเกิน ขณะที่ส่วนประกอบฮาร์มอนิกของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD มีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามส่วนประกอบฮาร์มอนิกในแรงดันเนื่องจากการหาค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD ไม่นำขนาดของส่วนประกอบฮาร์มอนิกในแรงดันมาใช้ในการคำนวณค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทาน

นอกจากนี้ส่วนประกอบฮาร์มอนิกในแรงดัน (T.H.D. ใน V) ยังส่งผลให้การหากระแสรั่วเชิงความต้านทานด้วยวิธี COMPENSATION METHOD มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการหากระแสรั่วเชิงความต้านทานวิธี COMPENSATION METHOD จะคำนวณกระแสรั่วเชิงความจุจากสมการที่ 4.1

$$I_c = G * V_{sf} \quad (4.1)$$

แต่เมื่อแรงดันมีส่วนประกอบฮาร์มอนิก (T.H.D. ใน V) สมการที่ใช้คำนวณกระแสรั่วเชิงความจุจะเปลี่ยนเป็นสมการที่ 4.2 และสมการที่ใช้หากระแสรั่วเชิงความต้านทานควรจะเปลี่ยนเป็นสมการที่ 4.3

$$I_c = C \frac{dV}{dt} \quad (4.2)$$

$$I_r = I_t - C \frac{dV}{dt} \quad (4.3)$$

ทำการทดลองหากระแสรั่วเชิงความต้านทานวิธี COMPENSATION METHOD โดยใช้สมการที่ 4.1 และ 4.2 หาค่ากระแสรั่วเชิงความจุ ตาราง 4.9 แสดงความแตกต่างระหว่างค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานวิธี COMPENSATION METHOD เปรียบเทียบกับค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD

ตาราง 4.9 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าประสิทธิผลของกระแสระแสร้วเชิงความ
ต้านทานวิธี COMPENSATION METHOD กับวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD

กัปดาห์ แรงดัน เกิน	วิธีในการหากระแส ที่ไหลผ่านตัวต้านทาน		ค่าประสิทธิผล (μA)	ความคลาด เคลื่อน(%)
0.044	HARMONIC ANALYSIS		133	-
	COMPENSATION	$I_c = G * V_{sf}$	108	-18.7
	METHOD	$I_c = C \frac{dV}{dt}$	115	-13.5
0.033	HARMONIC ANALYSIS		133	-
	COMPENSATION	$I_c = G * V_{sf}$	111	-16.5
	METHOD	$I_c = C \frac{dV}{dt}$	119	-10.5
0.022	HARMONIC ANALYSIS		133	-
	COMPENSATION	$I_c = G * V_{sf}$	115	-13.5
	METHOD	$I_c = C \frac{dV}{dt}$	122	-8.3
0.011	HARMONIC ANALYSIS		133	-
	COMPENSATION	$I_c = G * V_{sf}$	121	-9.0
	METHOD	$I_c = C \frac{dV}{dt}$	126	-5.3

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นว่าค่าประสิทธิผลของกระแสระแสร้วเชิงความต้านทานที่ได้จากการใช้สมการที่ 4.2 คำนวณหา I_c จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าประสิทธิผลของกระแสระแสร้วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD มากกว่าค่าที่ใช้สมการที่ 4.1 คำนวณหา I_c

จากการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.8 และ 4.9 จะสามารถสรุปได้ว่าส่วนประกอบฮาร์มอนิกในแรงดันที่ตกคร่อมกับดักแรงดันเกิน (T.H.D. ใน V) จะส่งผลให้การหากระแสระแสร้วเชิงความต้านทานวิธี COMPENSATION METHOD และ POINT-ON-WAVE METHOD มีความคลาดเคลื่อน

การวิเคราะห์ผลการทดลองของกัปดาห์แรงดันเกินตัวที่ 2, 3, 4 และ 5 ให้ผลเหมือนดังผลของกัปดาห์แรงดันเกินตัวที่ 1

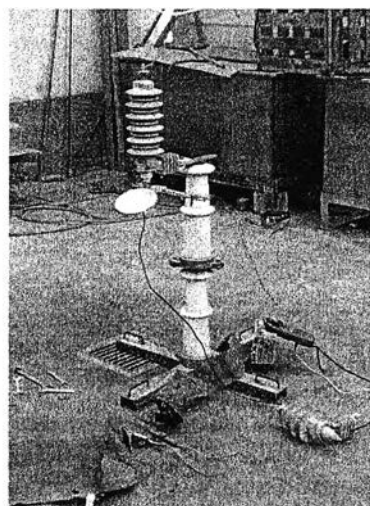
จากการวิเคราะห์การหากระแสรั่วเชิงความต้านทานวิธี COMPENSATION METHOD , POINT-ON-WAVE METHOD และ HARMONIC ANALYSIS METHOD ที่ผ่านมา จะเห็นว่า การหากระแสรั่วเชิงความต้านทานวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD จะไม่มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากผลของส่วนประกอบฮาร์มอนิกในกระแสรั่วรวม (T.H.D. ใน I_t) และ ส่วนประกอบฮาร์มอนิกในแรงดันที่ตกคร่อมกับดักแรงดันเกิน (T.H.D. ใน V) การหากระแสรั่วเชิงความต้านทานวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD จึงเป็นวิธีที่แม่นยำที่สุด

4.2.2 การวิเคราะห์การหากระแสรั่วเชิงความต้านทาน เปรียบเทียบกับกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากเครื่อง LCM.II

ในหัวข้อนี้ จะทำการทดลองหากระแสรั่วเชิงความต้านทานของกับดักแรงดันเกินที่มีพิกัดต่างกัน 3 ขนาด และนำกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากทั้ง 3 วิธีเปรียบเทียบกับกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากเครื่องวัดกระแสรั่วเชิงความต้านทาน LCM.II เพื่อต้องการรู้ถึงความถูกต้องในการหากระแสรั่วเชิงความต้านทานทั้ง 3 วิธี

วิธีในการหากระแสรั่วเชิงความต้านทานของเครื่อง LCM.II ถูกจำแนกอยู่ในหัวข้อที่ 2.3.2.1 ในบทที่ 2 ตามมาตรฐาน IEC-60099-5 ซึ่งเป็นวิธีที่หากระแสรั่วเชิงความต้านทานโดยการวัดค่าของส่วนประกอบฮาร์มอนิกที่ 3 ของกระแสรั่วเชิงความต้านทาน (ดูรายละเอียดที่ภาคผนวก ค.) กระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากเครื่อง LCM.II จะไม่มีความคลาดเคลื่อนที่เกิดส่วนประกอบฮาร์มอนิกในแรงดันหรือการเลื่อนเฟสระหว่างกระแสและแรงดัน [1]

ทำการต่อเครื่อง LCM.II เข้ากับกับดักแรงดันเกิน เครื่อง LCM.II จะทำการวัดกระแสโพรบที่จุดต่อลงดินของกับดักแรงดันเกิน และวัดสนามไฟฟ้าที่ฐานของกับดักแรงดันเกินดังรูปที่ 4.17 เพื่อใช้ในการคำนวณหากระแสรั่วเชิงความต้านทาน



รูปที่ 4.17 เครื่อง LCM.II ต่อกับกับดักแรงดันเกิน

ทำการทดลองโดยใช้กับดักแรงดันเกิน 3 ตัว (ตัวที่ 1, ตัวที่ 2 และตัวที่ 3 ในตาราง 4.1) จ่ายแรงดันจากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับเข้าสู่กับดักแรงดันเกินตามตารางที่ 4.10 วัดแรงดันที่ตกคร่อมกับดักแรงดันเกินและกระแสรั่วรวมทั้งไหลผ่านกับดักแรงดันเกิน เพื่อนำไปคำนวณหากระแสรั่วเชิงความต้านทานพร้อมกับวัดกระแสรั่วเชิงความต้านทานโดยเครื่อง LCM.II

ตาราง 4.10 ระดับแรงดันที่จ่ายเข้าสู่กับดักแรงดันเกิน

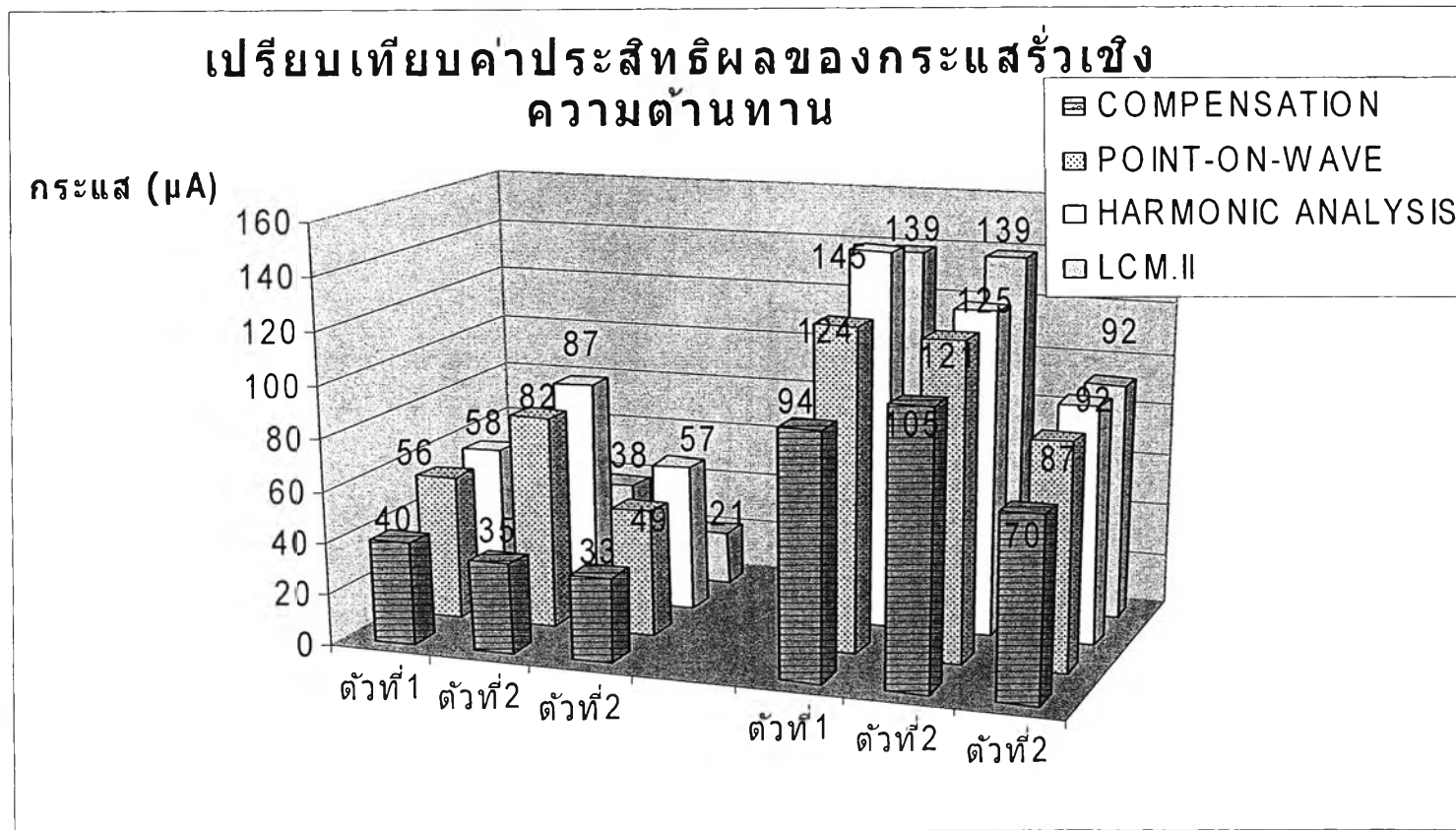
กับดักแรงดันเกิน	V (kV)		U _c (kV)	U _r (kV)
	V1	V2		
ตัวที่ 1	3.89	7.42	n/a	12
ตัวที่ 2	4.24	7.45	12	15
ตัวที่ 3	9.2	14.85	17	22

โดยที่ V1 เป็นระดับแรงดันที่ต่ำกว่าระดับแรงดันใช้งานจริง

V2 เป็นระดับแรงดันที่ใกล้เคียงระดับแรงดันใช้งานจริง

ระดับแรงดัน V2 จะมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันใช้งานจริงของกับดักแรงดันเกิน และการทดลองที่ระดับแรงดัน V1 ทำเพื่อศึกษาถึงแนวโน้มของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่จะได้จากการทดลอง

รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบกระแสรั่วเชิงความต้านทานทั้ง 4 วิธีที่ได้จากการทดลอง และตารางที่ 4.11 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากทั้ง 3 วิธีเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากเครื่อง LCM.II



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จาก 4 วิธี

ตาราง 4.11 เปรียบเทียบค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานทั้ง 4 วิธี

กั๊บดั๊ก แรงดั๊น เกิน	แรงดั๊นที่ จั๊บจั๊น กั๊บดั๊กแรงดั๊นเกิน (kV)	วิธีในกรหาค่า กระแสรั่วเชิงความดั๊นทาน	ค่าประสิทธิผล ของกระแสรั่วเชิง ความดั๊นทาน (μ A)	ความคลาด เคลื่๊น(%)
ดั๊วที่1	3.89	COMPENSATION	40	+25.0
		POINT-ON-WAVE	56	+75.0
		HARMONIC ANALYSIS	58	+81.3
		LCM.II	32	-
	7.42	COMPENSATION	94	-32.4
		POINT-ON-WAVE	124	-10.8
		HARMONIC ANALYSIS	145	+4.3
		LCM.II	139	-
ดั๊วที่2	4.24	COMPENSATION	35	-7.9
		POINT-ON-WAVE	82	+116.8
		HARMONIC ANALYSIS	87	+128.9
		LCM.II	38	-
	7.45	COMPENSATION	105	-24.5
		POINT-ON-WAVE	121	-12.9
		HARMONIC ANALYSIS	125	-10.1
		LCM.II	139	-
ดั๊วที่3	9.2	COMPENSATION	33	+57.1
		POINT-ON-WAVE	49	+133.3
		HARMONIC ANALYSIS	57	+171.4
		LCM.II	21	-
	14.85	COMPENSATION	70	-23.9
		POINT-ON-WAVE	87	-5.4
		HARMONIC ANALYSIS	92	0
		LCM.II	92	-

จากรูปที่ 4.18 และตารางที่ 4.11 เมื่อไม่พิจารณาค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากเครื่อง LCM.II จะเห็นว่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD มีค่ามากที่สุด และกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD มีค่าน้อยที่สุด

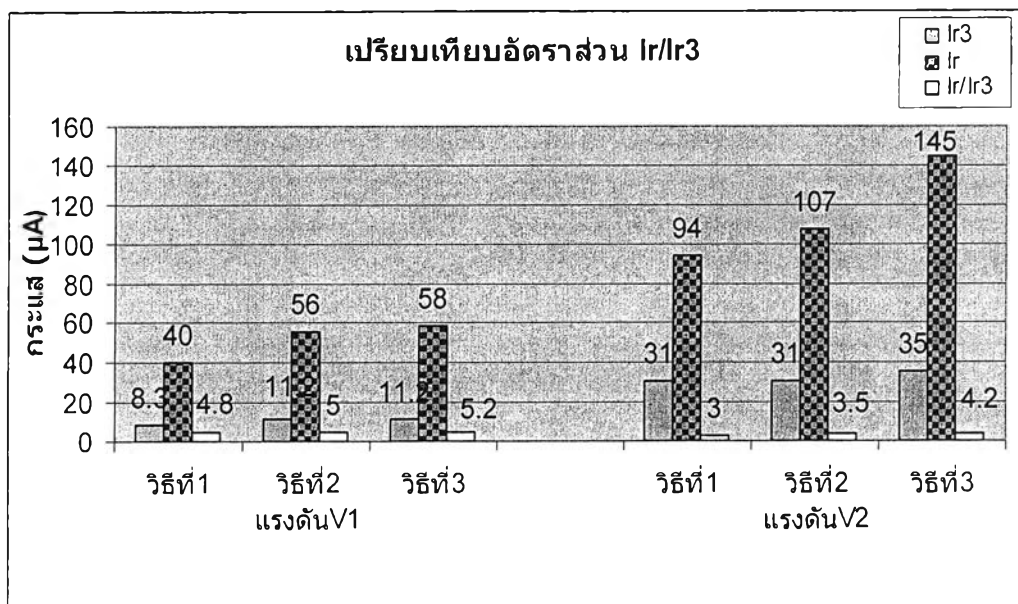
ผลการทดลองที่ระดับแรงดันแรงดัน V2 ยืนยันการวิเคราะห์ในหัวข้อ 4.2.1 ที่ว่าการหาค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD เป็นวิธีที่ดีที่สุด เนื่องจากค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD มีค่าใกล้เคียงกับค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากเครื่อง LCM.II มากที่สุด ขณะที่ค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานวิธี COMPENSATION METHOD มีค่าแตกต่างจากค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากเครื่อง LCM.II มากที่สุด

ขณะที่ผลการทดลองที่ระดับแรงดันแรงดัน V1 ค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากเครื่อง LCM.II จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD มากที่สุด ซึ่งไม่ตรงกับการวิเคราะห์ที่ผ่านมาในหัวข้อ 4.2.1 ที่สรุปว่า วิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD เป็นวิธีที่ดีที่สุด

ผลการทดลองที่ระดับแรงดัน V1 และ V2 ดังกล่าวสามารถอธิบายได้โดยการวิเคราะห์ส่วนประกอบฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 ของกระแสรั่วเชิงความต้านทาน

พิจารณากับดักแรงดันเกินตัวที่ 1 เป็นกรณีศึกษานำกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี COMPENSATION METHOD , POINT-ON-WAVE METHOD และ HARMONIC ANALYSIS METHOD ไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบฮาร์มอนิกลำดับที่ 3

รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบค่า I_{r3} และ I_r ของกระแสรั่วเชิงความต้านทานของกับดักแรงดันเกินตัวที่ 1 ที่ระดับแรงดัน V1 และ V2



รูปที่ 4.19 อัตราส่วนระหว่างค่า I_r และ I_{r3} ของกับดักแรงดันเกินตัวที่ 1

โดยที่ วิธีที่ 1 คือ COMPENSATION METHOD

วิธีที่ 2 คือ POINT-ON-WAVE METHOD

วิธีที่ 3 คือ HARMONIC ANALYSIS METHOD

และ I_r คือ ค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทาน

I_{r3} คือ ค่ายอดของส่วนประกอบฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 ของกระแสรั่วเชิงความ

ต้านทาน

จากรูปที่ 4.19 เนื่องจากค่า I_{r3} ที่ได้จากแต่ละวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้การหาค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD มีอัตราส่วน $\frac{I_r}{I_{r3}}$ มากที่สุด เนื่องจากมีค่า I_r มากที่สุด และการหากระแสรั่วเชิงความต้านทานวิธี COMPENSATION METHOD จะมีอัตราส่วน $\frac{I_r}{I_{r3}}$ น้อยที่สุดเนื่องจากมีค่า I_r น้อยที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วน $\frac{I_r}{I_{r3}}$ ที่ได้จากวิธีการหากระแสรั่วเชิงความต้านทานวิธีเดียวกันจะเห็นว่าอัตราส่วน $\frac{I_r}{I_{r3}}$ ที่ระดับแรงดันสูงจะมีค่าน้อยกว่าอัตราส่วน $\frac{I_r}{I_{r3}}$ ที่ระดับแรงดันต่ำ

เมื่อพิจารณาการหาค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD ซึ่งเป็นวิธีที่ดีที่สุดจะเห็นว่าอัตราส่วน $\frac{I_r}{I_{r3}}$ ที่ระดับแรงดัน V2 มีค่าใกล้เคียง 4 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เครื่อง LCM.II ใช้ในการคำนวณกระแสรั่วเชิงความต้านทาน จึงทำให้ค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD มีค่าใกล้เคียงกับค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากเครื่อง LCM.II มากที่สุด

การวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่าง $\frac{I_r}{I_{r3}}$ ของกับดักแรงดันเกินตัวที่ 2 และตัวที่ 3 ได้ผลคล้ายกับผลที่ได้จากกับดักแรงดันเกินตัวที่ 1

จากการวิเคราะห์การหากระแสรั่วเชิงความต้านทานในหัวข้อ 4.2.2 สามารถสรุปได้ว่าที่ระดับแรงดันใกล้เคียงแรงดันใช้งานของกับดักแรงดันเกิน (V2) อัตราส่วน $\frac{I_r}{I_{r3}}$ ของกระแสรั่วเชิงความต้านทานจะมีค่าใกล้เคียง 4 และค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานวิธี HARMONIC ANALYSIS METHOD จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าประสิทธิผลของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ได้จากเครื่อง LCM.II มากที่สุด