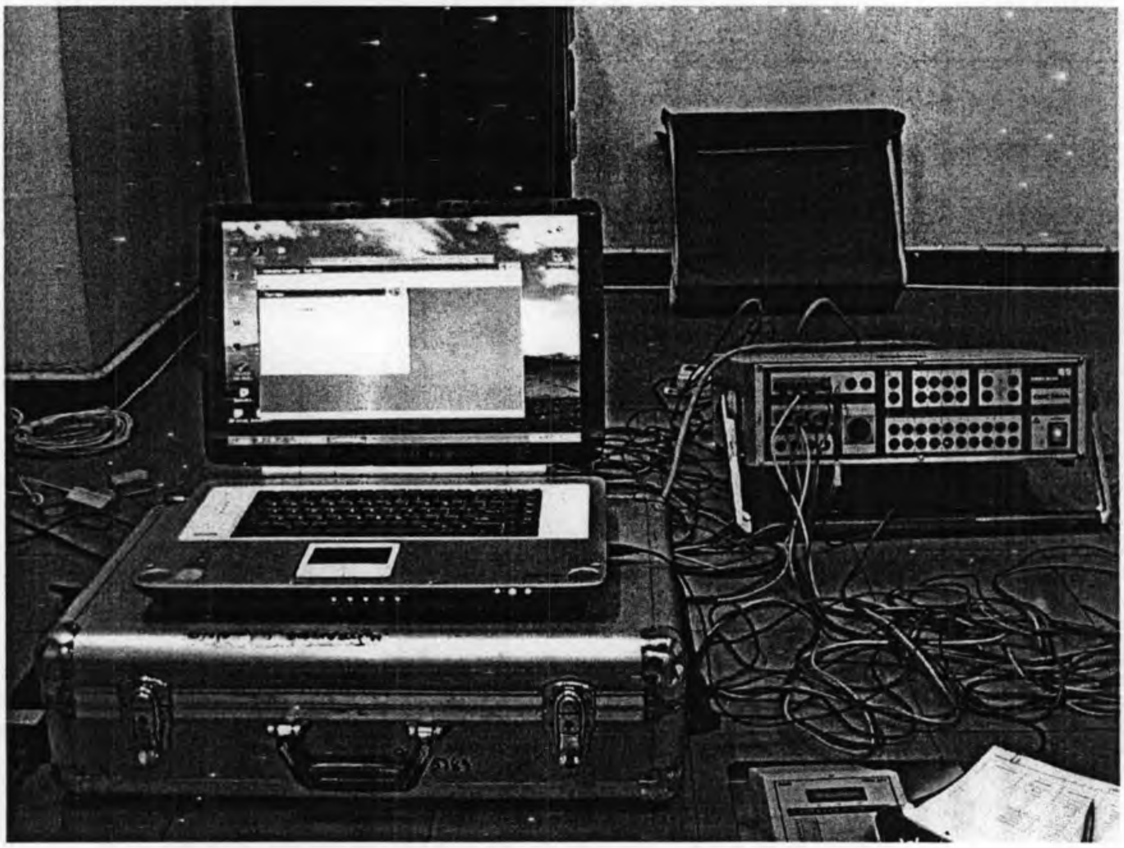
บทที่ 6
ผลการทดลอง

6.1 ผลทดลองการตรวจจับการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเหตุการณ์ลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงตามตารางที่ 5.1 – 5.3 โดยทำการบันทึกสัญญาณไฟฟ้าที่สถานีย่อยนนทบุรีโดยใช้ดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DL7100 และ DL 7440 จากนั้นทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ comtrade (.CFG) โดยใช้โปรแกรม TOP ซึ่งเป็นไฟล์ข้อมูลรูปแบบมาตรฐานของเครื่องทดสอบรีเลย์ทั่วไป วิธีการทดสอบและประเมินการทำงานของรีเลย์คือ นำรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่แปลงอยู่ในรูปแบบ comtrade แล้ว ป้อนสัญญาณดังกล่าวให้กับเครื่องทดสอบรีเลย์ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ใช้เครื่องทดสอบรีเลย์ยี่ห้อ OMICRON รุ่น CMC 256 – 6 ดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 เครื่องทดสอบรีเลย์ OMICRON รุ่น CMC 256 - 6

ผลการทำงานของรีเลย์ทั้ง 3 ชนิด ต่อสัญญาณการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง สามารถสรุปโดยแบ่งตามวันที่ทดลองได้ดังนี้

ตารางที่ 6.1 ผลการทดสอบรีเลย์ทั้ง 3 ชนิด โดยใช้สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองในวันที่ 9 กรกฎาคม 2551

การทดลองครั้งที่	**ชนิดของรีเลย์ตรวจจับการลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง**		
	A	B	C
1	N	N	N
2	N	N	N
3	N	N	N
4	N	N	N
5	N	N	N
6	N	N	N

เมื่อ Y คือ รีเลย์มีการส่งสัญญาณทริป

N คือ รีเลย์ไม่มีการส่งสัญญาณทริป

จากตารางที่ 6.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบรีเลย์ทั้ง 3 ชนิด โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกสัญญาณไฟฟ้า ในวันที่ 9 กรกฎาคม 2551 กรณีที่เกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงทางด้านโหลด พบว่าไม่มีรีเลย์ชนิดใดสามารถตรวจจับได้ ซึ่งพิจารณากรณีดังกล่าวได้คือ หม้อแปลงจำหน่ายที่ใช้ในการทดลองมีพิกัด 75 กิโลโวลต์แอมแปร์ โดยในการทดลองพบว่ากรณีที่หม้อแปลงจำหน่ายไม่มีโหลดต่อทางด้านทุติยภูมิ ทำให้ไม่มีการดึงกระแสไฟฟ้าจากหม้อแปลงจำหน่าย ดังนั้นตำแหน่งที่สายตัวนำไฟฟ้าสัมผัสพื้นจึงไม่มีอาร์กเกิดขึ้น ส่งผลให้สัญญาณกระแสไฟฟ้าบันทึกที่สถานีย่อย เมื่อทำการพิจารณาในแต่ละกลุ่มฮาร์มอนิก ดังแสดงในรูปที่ 6.2 – 6.4 ไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ จากนั้นทำการต่อโหลดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงจำหน่าย โดยให้หม้อแปลงจำหน่ายจ่ายโหลดเต็มพิกัด พบว่ามีอาร์กเกิดขึ้นที่สายตัวนำไฟฟ้าสัมผัสพื้น เนื่องจากมีการดึงกระแสจากหม้อแปลงจำหน่ายเป็นผลให้กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิสามารถไหลได้จึงเกิดอาร์ก ส่วนสัญญาณกระแสไฟฟ้าบันทึกที่สถานีย่อยเมื่อทำการพิจารณาในแต่ละกลุ่มฮาร์มอนิก ดังแสดงในรูปที่ 6.5 – 6.7 ไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวนี้สามารถพิจารณาได้ว่า หม้อแปลงจำหน่ายที่ใช้ในการ

ทดสอบมีพิกัด 75 กิโลโวลต์แอมแปร์ ติดตั้งในระบบจำหน่ายระดับแรงดัน 24 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงมีค่าพิกัดกระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิเท่ากับ 1.8 แอมแปร์ ซึ่งค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าดังกล่าวนี้เป็นผลรวมของทุกๆ ความถี่ ดังนั้นหากทำการแยกพิจารณาสัญญาณกระแสไฟฟ้าในแต่ละกลุ่มฮาร์มอนิกจะมีค่าต่ำมาก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมียังค่าน้อยกว่าในสภาวะปกติของระบบ จึงทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกรณีดังกล่าวนี้ได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองด้วยโปรแกรม ATP ในบทที่ 4

ตารางที่ 6.2 ผลการทดสอบรีเลย์ทั้ง 3 ชนิด โดยใช้สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองในวันที่ 3 ธันวาคม 2551

การทดลองครั้งที่	ชนิดของรีเลย์ตรวจจับการลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง		
	A	B	C
1	N	N	N
2	N	Y	Y
3	N	N	N
4	N	N	N
5	N	N	N
6	N	N	N
7	N	N	N
8	N	N	N
9	N	N	N
10	N	N	N
11	Y	Y	N

เมื่อ Y คือ รีเลย์มีการส่งสัญญาณทริป

N คือ รีเลย์ไม่มีการส่งสัญญาณทริป

จากตารางที่ 6.2 จำนวนเหตุการณ์ที่รีเลย์ชนิด A และ C สามารถตรวจจับได้ 1 เหตุการณ์ ส่วนรีเลย์ชนิด B ตรวจจับได้ 2 เหตุการณ์ ซึ่งเหตุการณ์ที่ตรวจจับได้เป็นกรณีการทดลองบนพื้นผิวคอนกรีต ส่วนกรณีพื้นทดสอบเป็นยางมะตอยและกรวด เมื่อพิจารณาสัญญาณกระแสไฟฟ้า

บันทึกที่สถานีย่อย ไม่พบการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 6.8 – 6.13 เนื่องจากทั้งสองเหตุการณ์ไม่เกิดอาร์ก ทำให้รีเลย์ทั้ง 3 ชนิดไม่สามารถตรวจจับได้

ตารางที่ 6.3 ผลการทดสอบรีเลย์ทั้ง 3 ชนิด โดยใช้สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองในวันที่ 4 ธันวาคม 2551

การทดลองครั้งที่	**ชนิดของรีเลย์ตรวจจับการลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง**		
	A	B	C
1	N	Y	Y
2	Y	N	Y
3	N	N	N
4	N	N	N
5	N	N	N
6	N	N	N
7	N	N	N
8	N	N	N
9	N	N	N

เมื่อ Y คือ รีเลย์มีการส่งสัญญาณทริป

N คือ รีเลย์ไม่มีการส่งสัญญาณทริป

จากตารางที่ 6.3 จำนวนเหตุการณ์ที่รีเลย์ชนิด A และ B สามารถตรวจจับได้ 1 เหตุการณ์ ส่วนรีเลย์ชนิด C ตรวจจับได้ 2 เหตุการณ์ ซึ่งเหตุการณ์ที่ตรวจจับได้เป็นกรณีทดลองบนพื้นผิวคอนกรีต ส่วนกรณีสายตัวนำไฟฟ้าสัมผัสต้นไม้ ถึงแม้ว่าจะสามารถสังเกตเห็นการเกิดอาร์กและการลุกไหม้ที่ต้นไม้ได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาในทางกายภาพของต้นไม้นั้น สามารถเกิดการลุกไหม้ได้ง่ายด้วยกระแสไฟฟ้าเพียงไม่กี่แอมแปร์เมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่นๆ ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งสังเกตได้จากสัญญาณกระแสไฟฟ้าบันทึกที่สถานีย่อยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงเพียงช่วงเวลาสั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.14 – 6.16 ซึ่งไม่เพียงพอในการตัดสินใจของรีเลย์ทั้ง 3 ชนิด ทำให้รีเลย์ทั้ง 3 ชนิดไม่สามารถตรวจจับได้

6.2 การวิเคราะห์สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองเหตุการณ์ลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงในระบบจำหน่ายของ กฟน.

รูปแบบวงจรจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงมีลักษณะแบบ 3 เฟส 3 สาย โดยหม้อแปลงไฟฟ้าที่สถานีย่อยและที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายมีรูปแบบการต่อทางด้านปฐมภูมิแบบเดลต้าส่วนทางด้านทุติยภูมิต่อแบบสตาร์โดยมีจุดต่อร่วมลงดิน การทดลองแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวที่ใช้ในการทดสอบส่วนใหญ่มีผลทำให้เกิดอาร์กเมื่อสายตัวนำไฟฟ้าสัมผัส ยกเว้นกรณีพื้นกรวดและยางมะตอย ซึ่งพฤติกรรมของอาร์กจะมีรูปแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non – linear) มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงความถี่สูงรวมถึงกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ การบันทึกสัญญาณการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้ากระทำที่ตำแหน่งสถานีย่อย โดยผ่านหม้อแปลงกระแส (current transformer) ที่มีพิกัดทางด้านปฐมภูมิ 600 แอมแปร์ ส่วนทางด้านทุติยภูมิ 1 แอมแปร์ (600/1) ดังนั้นสัญญาณที่บันทึกได้จึงประกอบด้วย สัญญาณในส่วนของการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงและส่วนของสัญญาณกระแสโหลด ดังนั้นเพื่อให้สามารถทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในช่วงที่เกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงได้ จึงใช้วิธีการแยกองค์ประกอบช่วงความถี่มูลฐานออก เพื่อลดผลจากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเนื่องจากโหลด แล้วทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าช่วงความถี่สูง (ฮาร์มอนิกและความถี่ที่มิใช่ฮาร์มอนิก) โดย IEC 61000 – 2 – 12 [24] ได้ทำการจัดกลุ่มสัญญาณฮาร์มอนิกออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคู่ (even harmonics) กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ (odd harmonics) และกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารลงตัว (triple harmonics) ซึ่งการเกิดลัดวงจรแบบมีอาร์กนี้จะมีรูปแบบการพิจารณา คือ

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้าโดยกรองความถี่มูลฐานออก (non – fundamental frequency) เป็นการพิจารณาสัญญาณทุกช่วงความถี่ที่เกิดขึ้นยกเว้นความถี่มูลฐาน เพื่อลดผลจากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเนื่องจากโหลด

กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคู่ (even harmonics) เนื่องจากการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงส่วนใหญ่จะมีอาร์กเกิดขึ้นด้วยนั้น มีผลให้รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในซีกบวกและลบมีลักษณะไม่สมมาตรจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคู่ ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณฮาร์มอนิกอันดับที่ 2, 4, 6, ... เป็นต้น

กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ (odd harmonics) การเกิดอาร์กเนื่องจากการลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงมีผลทำให้รูปคลื่นสัญญาณเกิดความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นซายน์ (sine wave) จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารไม่ลงตัว เช่น 5, 7, 11, ... เป็นต้น

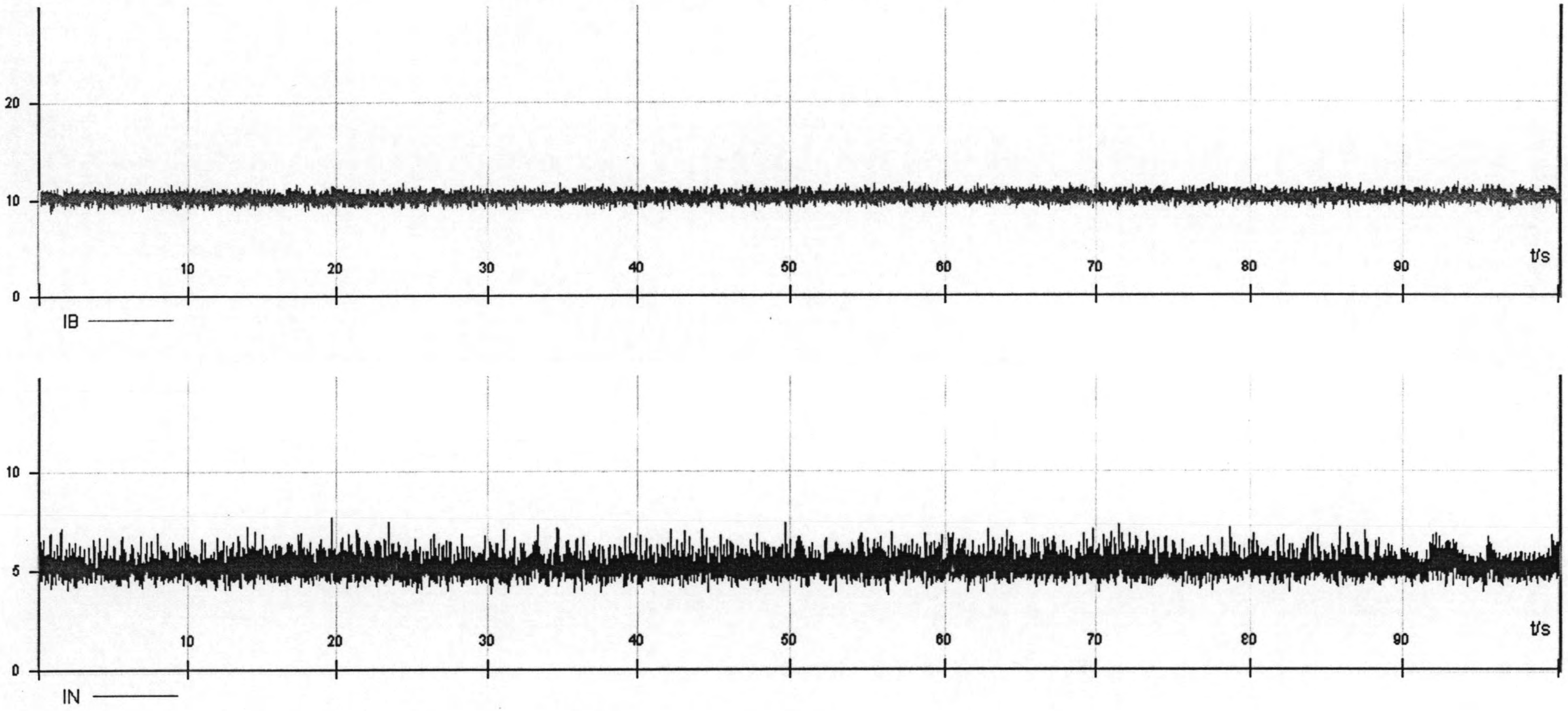
กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารลงตัว (triple harmonics) รูปแบบการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงโดยทั่วไปมีลักษณะการลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดิน จึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าลำดับศูนย์ (zero sequence current) ไหลในระบบได้ ซึ่งการเกิดกระแสไฟฟ้าลำดับศูนย์นี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารลงตัว เช่น 3, 9, 15, ... เป็นต้น

ดังนั้นการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้าช่วงที่เกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง โดยให้สอดคล้องกับการทำงานของรีเลย์จึงแยกการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ลักษณะ

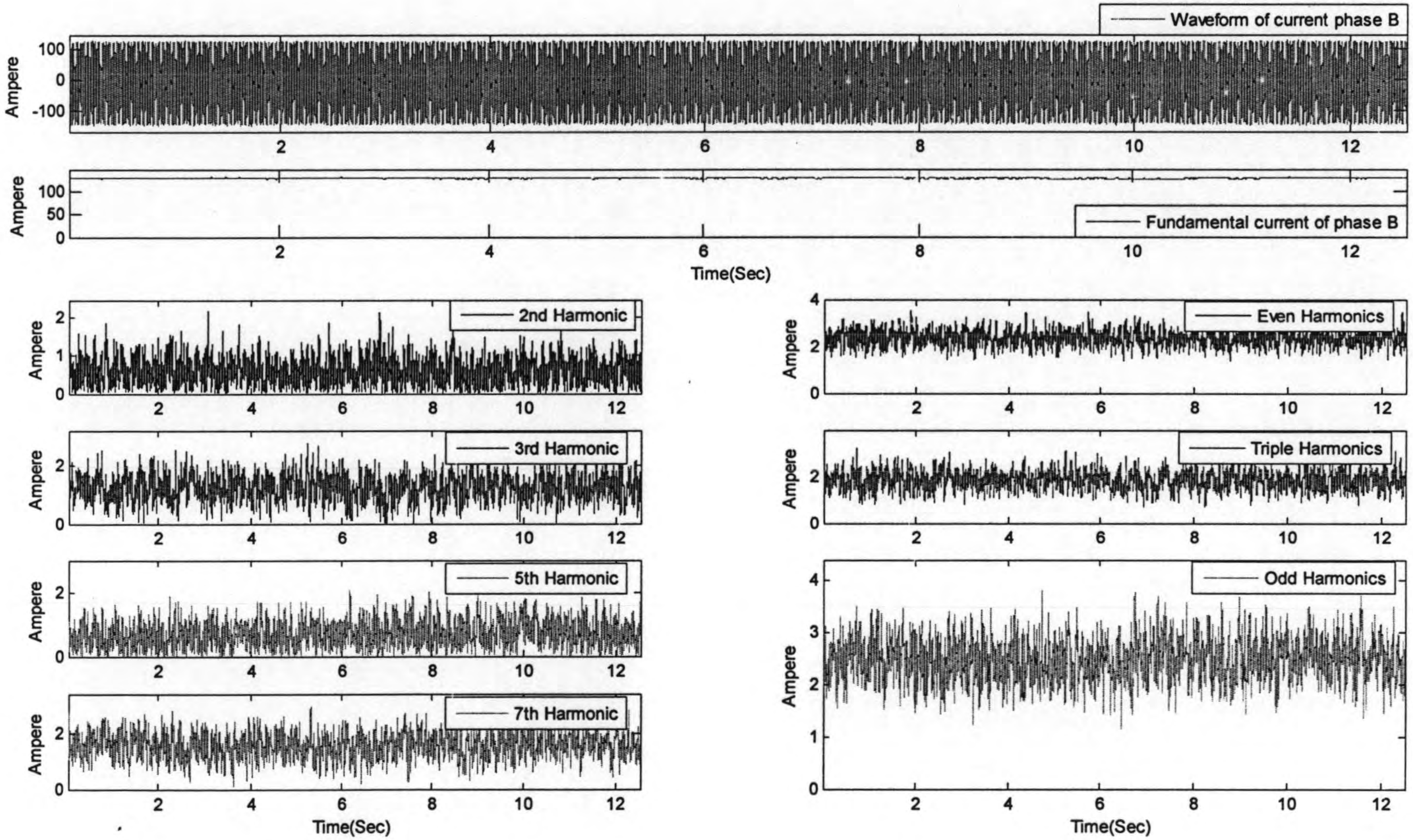
ลักษณะที่ 1 การพิจารณากลุ่มของสัญญาณกระแสไฟฟ้าโดยกรองความถี่มูลฐานออก (non fundamental frequency) เป็นการพิจารณาขนาดของกระแสฮาร์มอนิกทั้งหมดโดยไม่รวมสัญญาณช่วงความถี่มูลฐาน

ลักษณะที่ 2 การพิจารณาแยกเฉพาะกลุ่มของฮาร์มอนิก ซึ่งประกอบด้วย กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคู่, กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่และกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารลงตัว

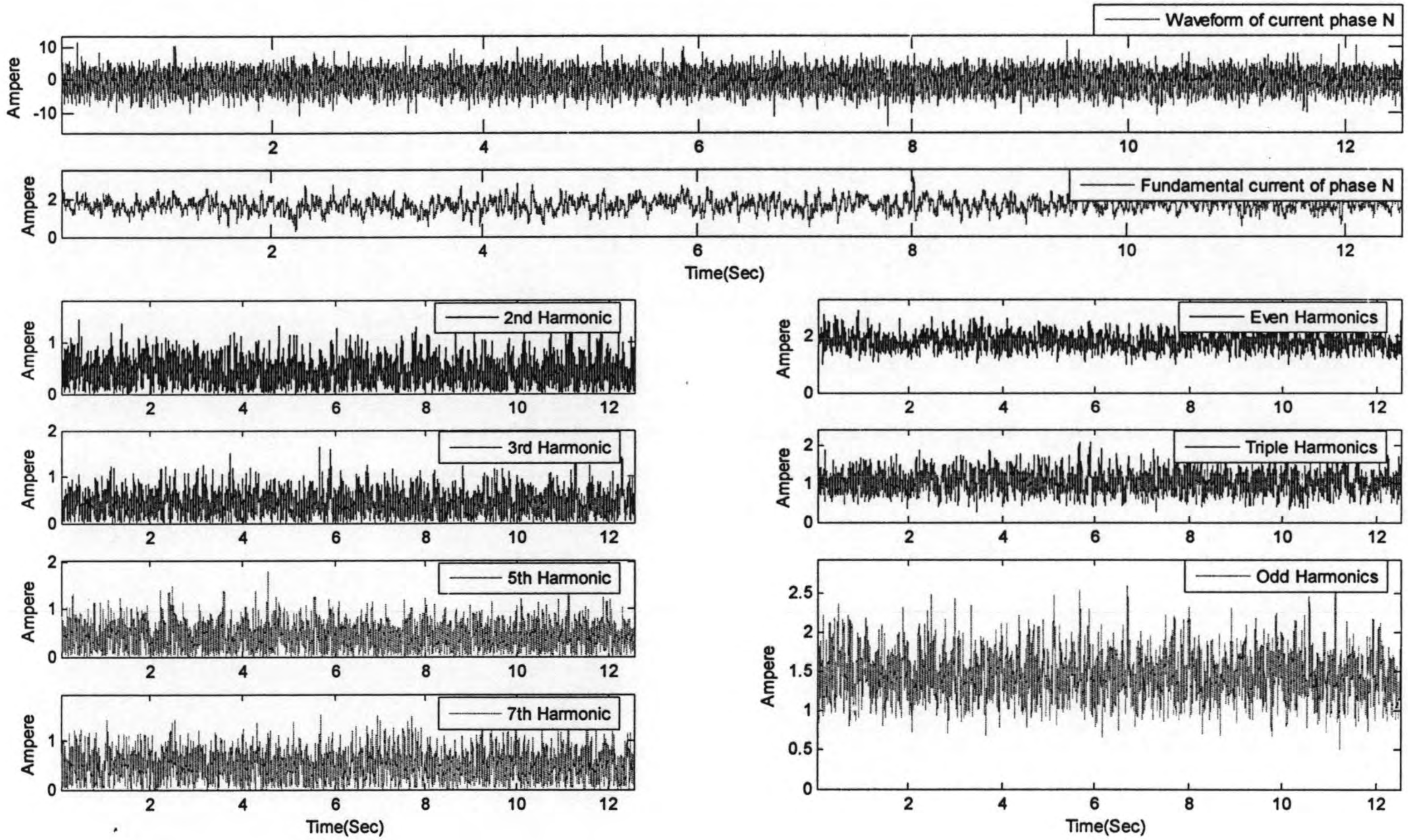
กรณีพื้นผิวคอนกรีต ลัดวงจรด้านโหลด หม้อแปลงไม่มีโหลด



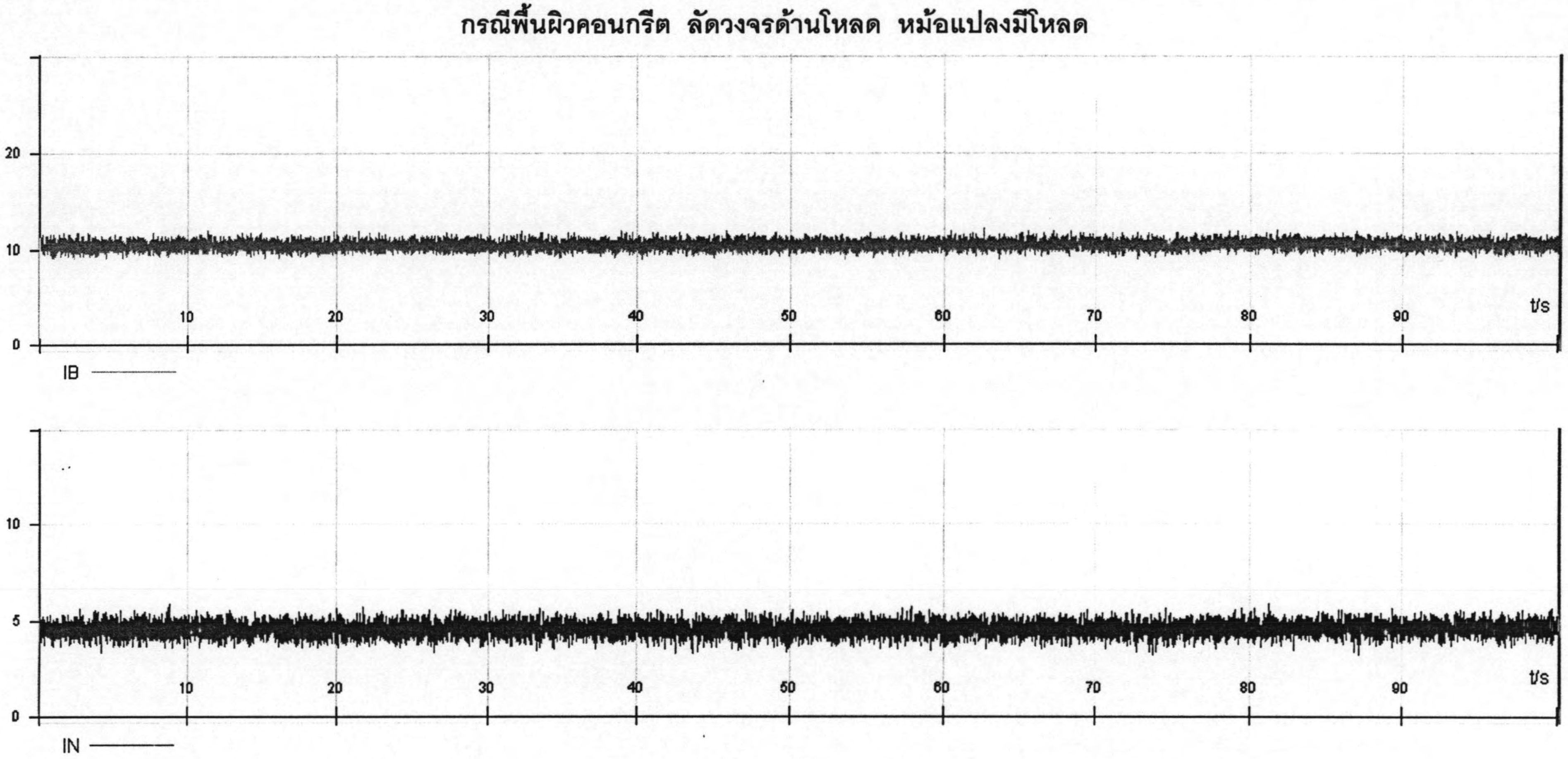
รูปที่ 6.2 สัญญาณกระแสเฟสและนิวทรัลเมื่อกรองความถี่มูลฐานออก การทดลองที่ 1 วันที่ 9 กรกฎาคม 2551



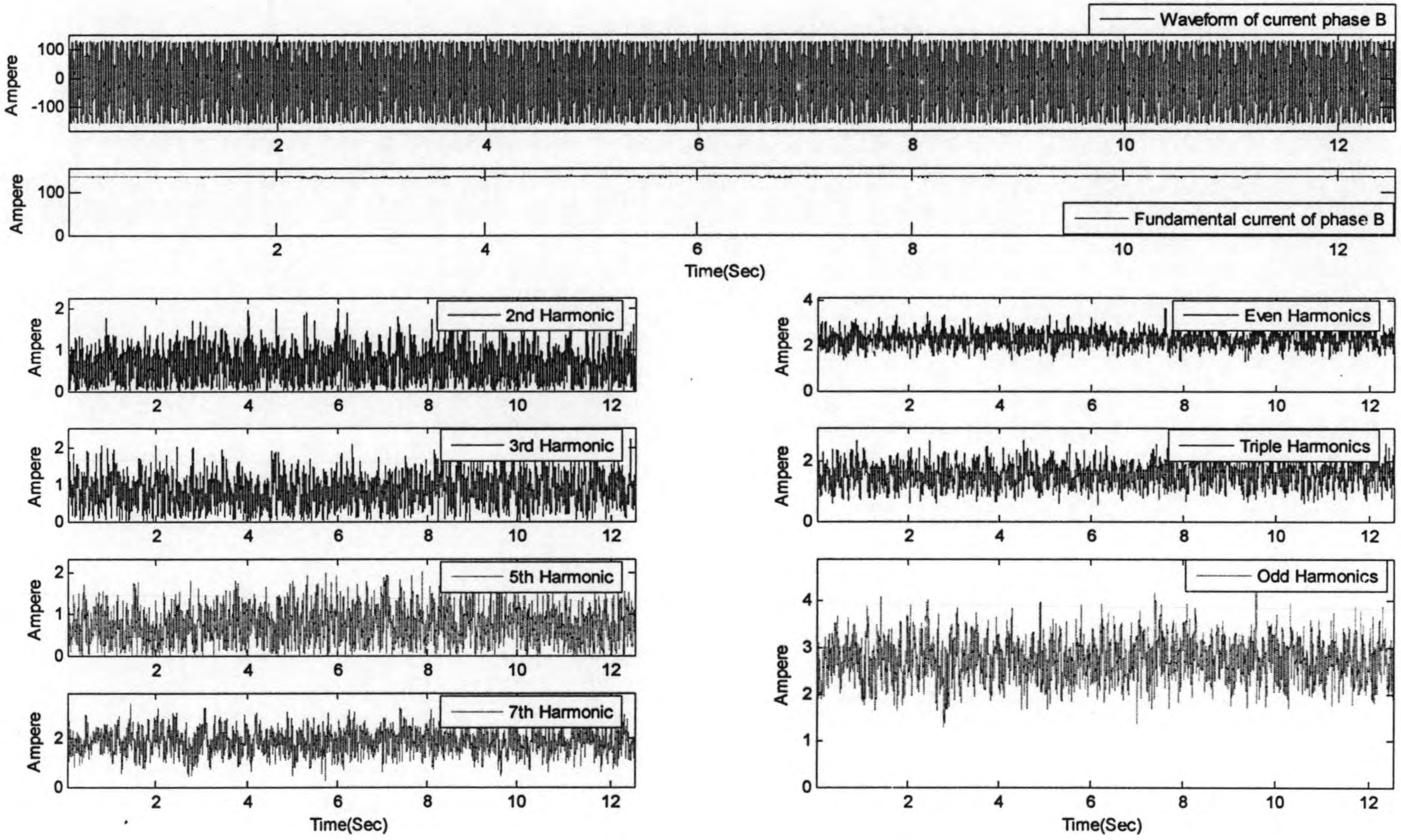
รูปที่ 6.3 รูปคลื่นกระแสเฟสของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ การทดลองที่ 1 วันที่ 9 กรกฎาคม 2551



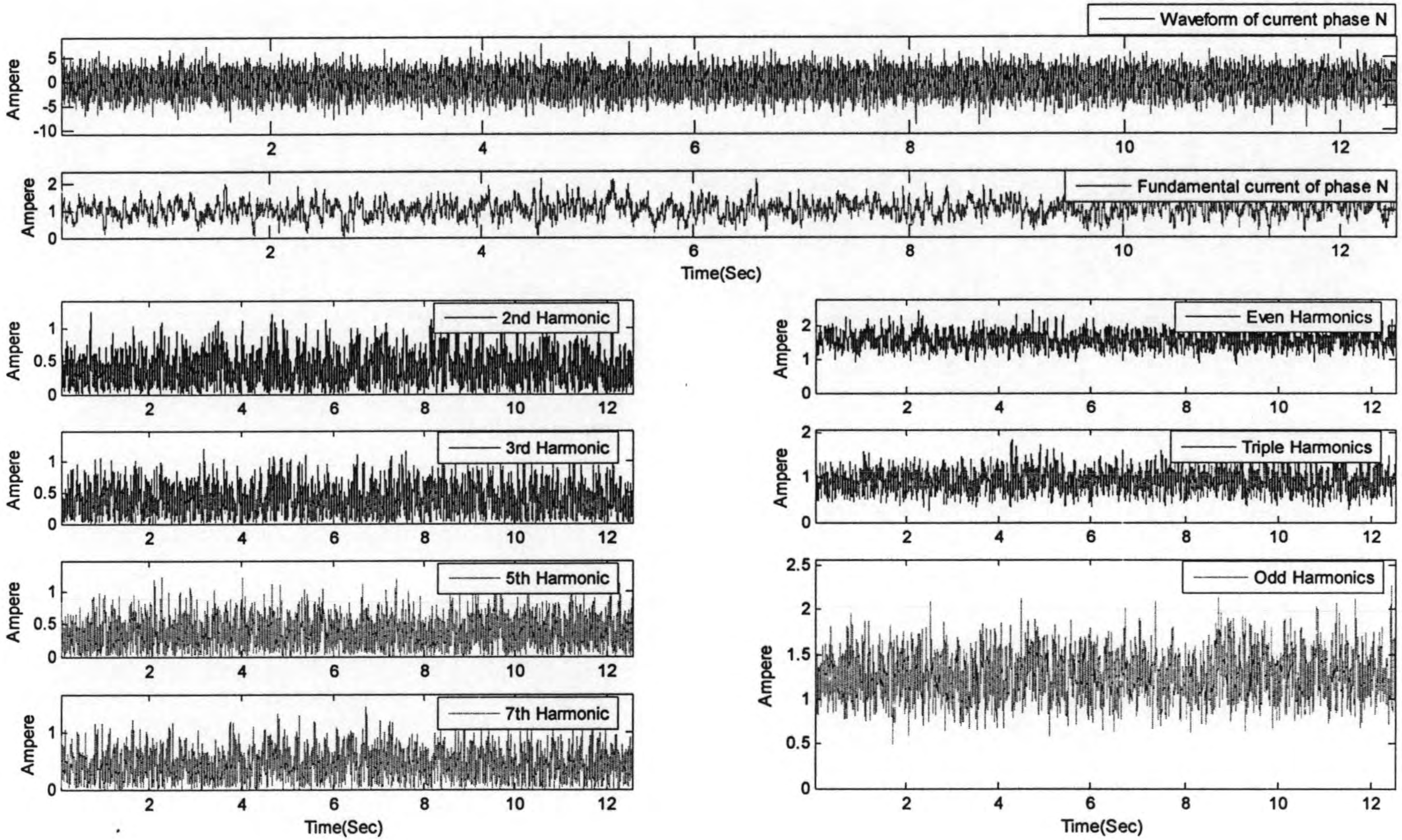
รูปที่ 6.4 รูปคลื่นกระแสนิวทรัลของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ การทดลองที่ 1 วันที่ 9 กรกฎาคม 2551



รูปที่ 6.5 สัญญาณกระแสเฟสและนิวทรัลเมื่อกรองความถี่มูลฐานออก การทดลองที่ 2 วันที่ 9 กรกฎาคม 2551

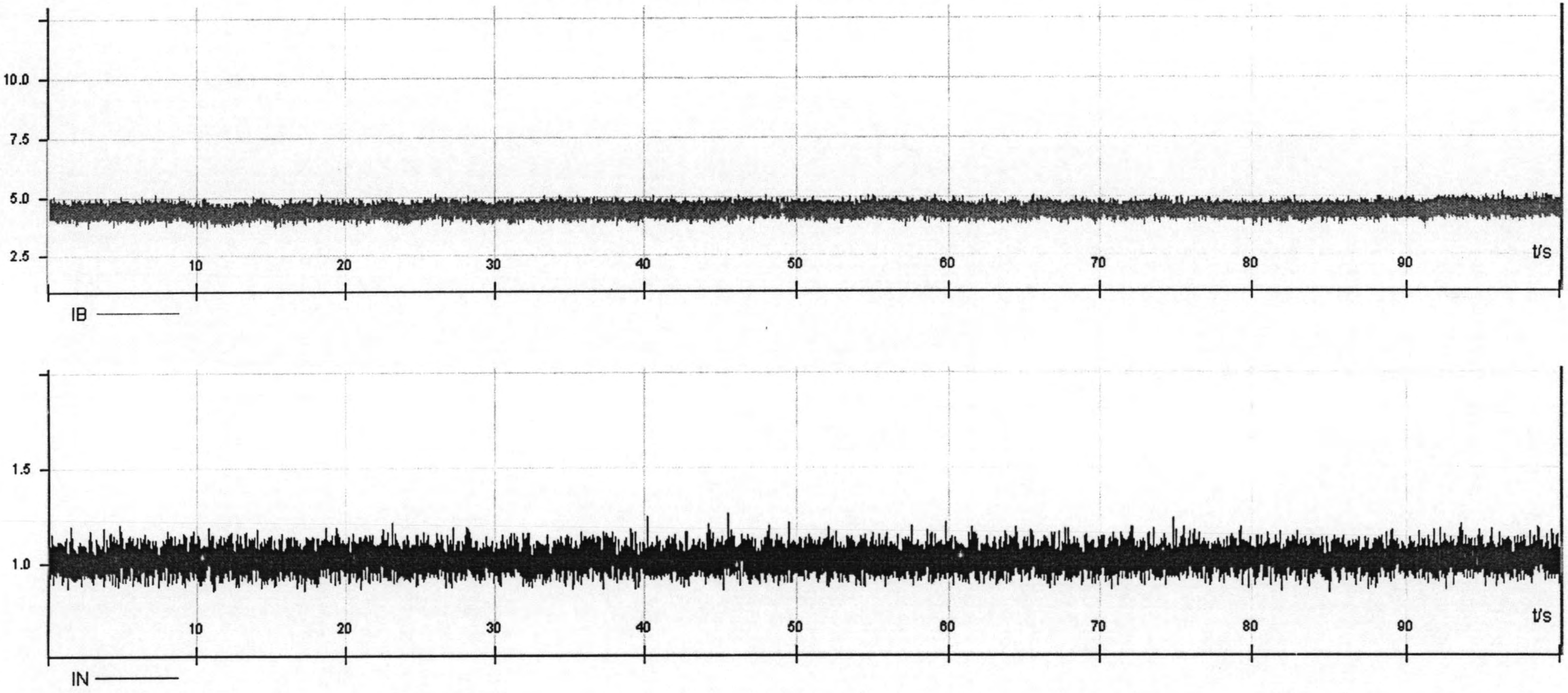


รูปที่ 6.6 รูปคลื่นกระแสเฟสของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ การทดลองที่ 2 วันที่ 9 กรกฎาคม 2551

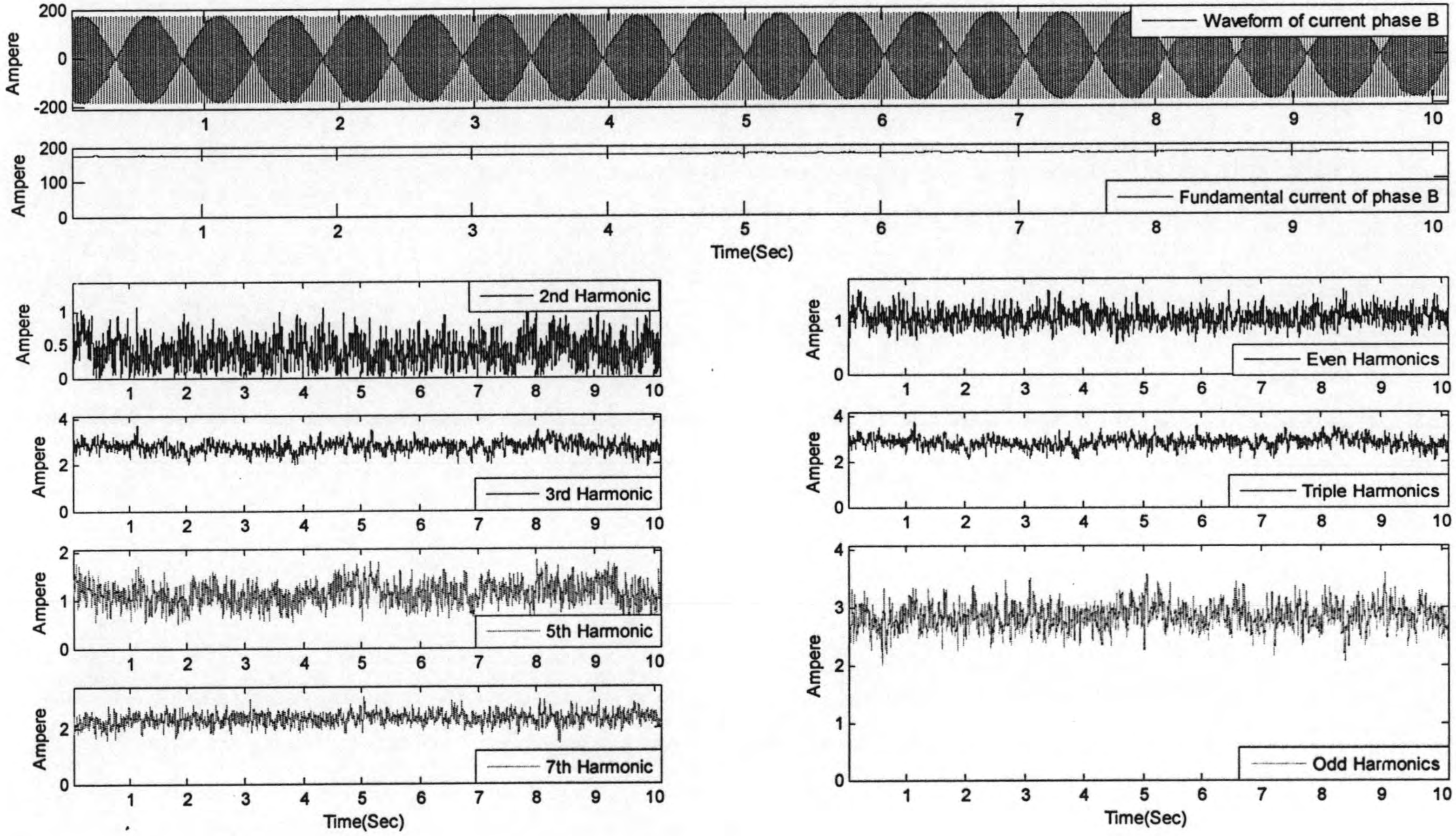


รูปที่ 6.7 รูปคลื่นกระแสนิวทรัลของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ การทดลองที่ 2 วันที่ 9 กรกฎาคม 2551

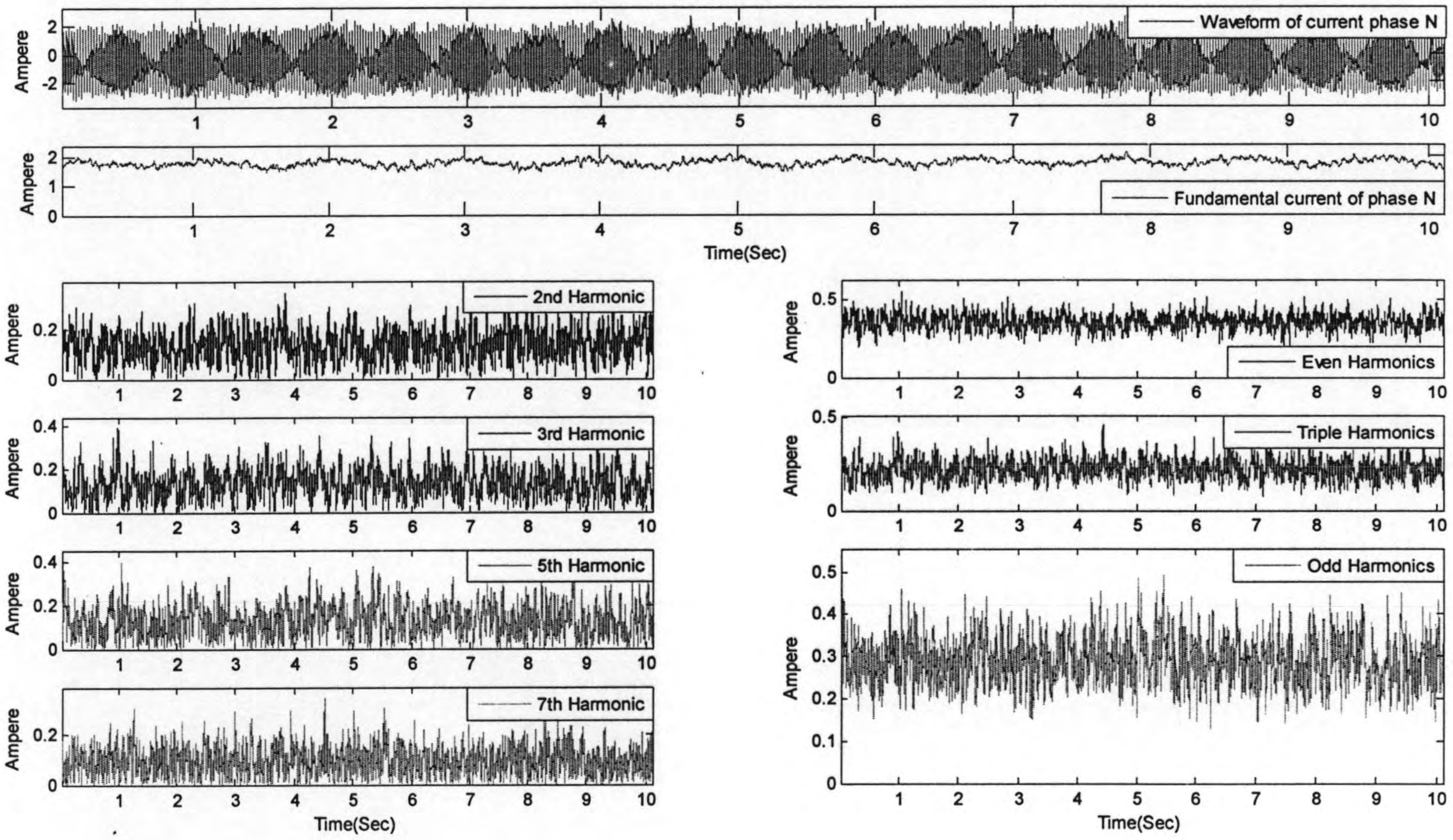
กรณีพื้นผิวยางมะตอย ลัดวงจรด้านแหล่งจ่าย



รูปที่ 6.8 สัญญาณกระแสเฟสและนิวทรัลเมื่อกรองความถี่มูลฐานออก การทดลองที่ 8 วันที่ 3 ธันวาคม 2551

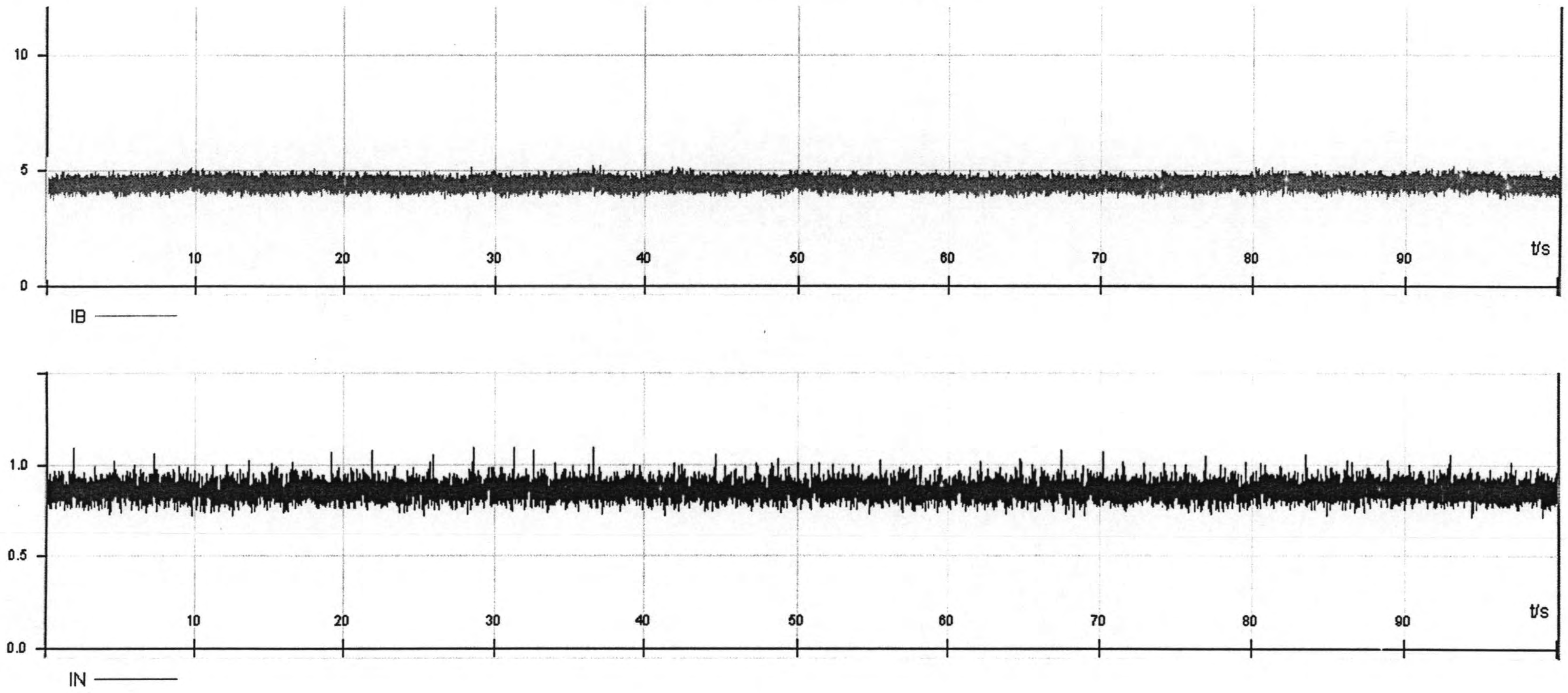


รูปที่ 6.9 รูปคลื่นกระแสเฟสของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ การทดลองที่ 8 วันที่ 3 ธันวาคม 2551

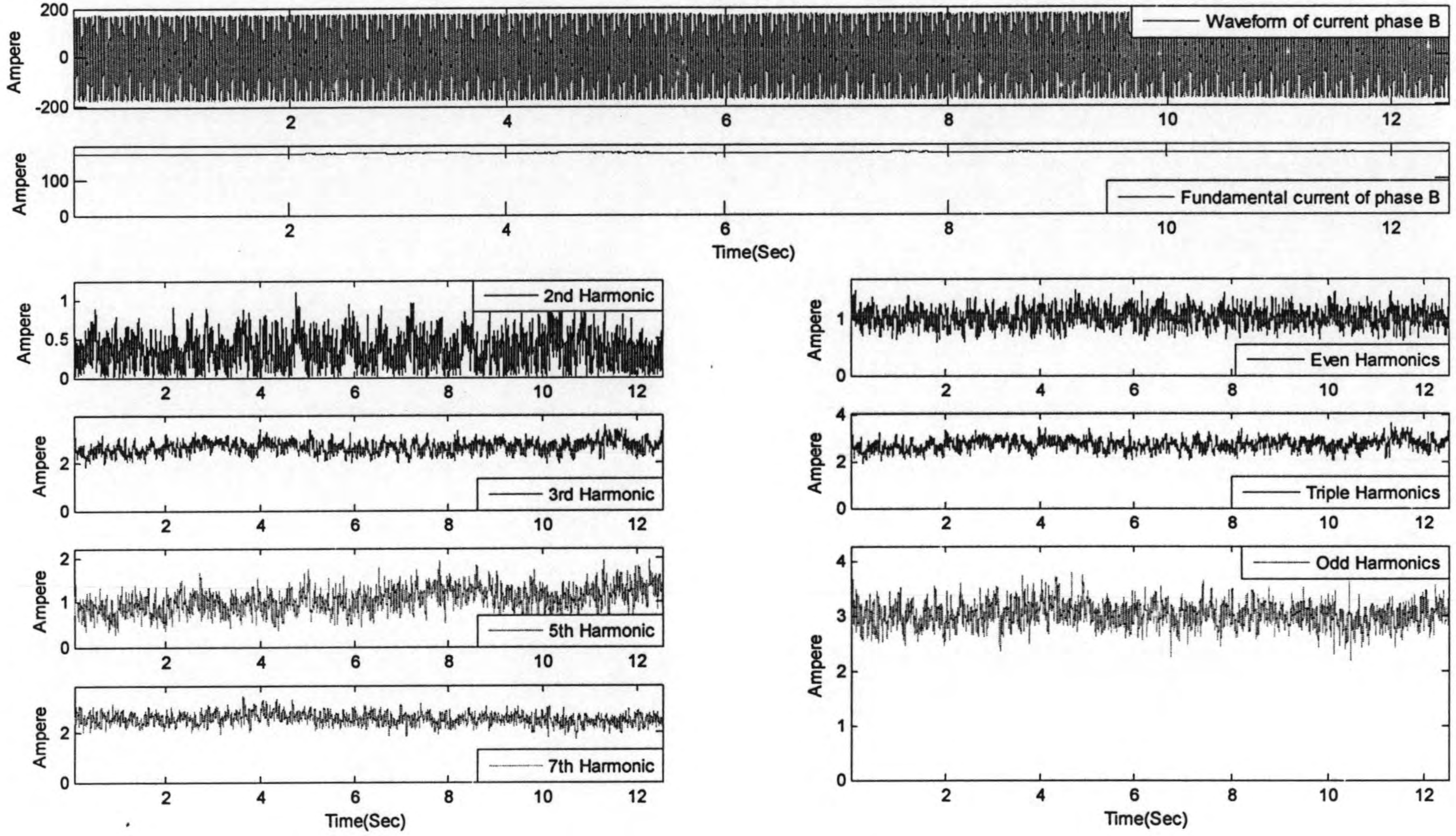


รูปที่ 6.10 รูปคลื่นกระแสนิวทรัลของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ การทดลองที่ 8 วันที่ 3 ธันวาคม 2551

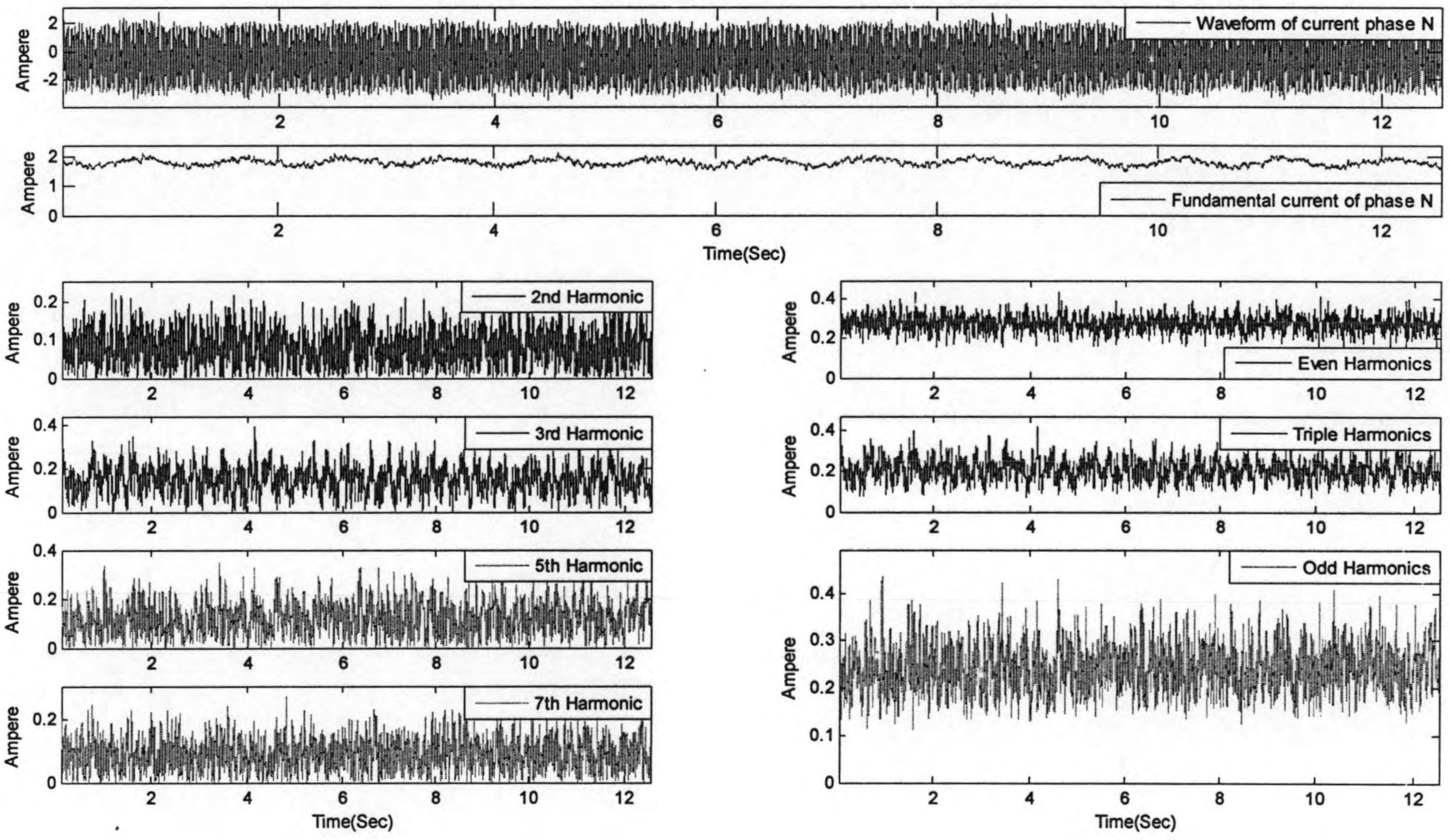
กรณีพื้นกรวด ลัดวงจรด้านแหล่งจ่าย



รูปที่ 6.11 สัญญาณกระแสเฟสและนิวทรัลเมื่อกรองความถี่มูลฐานออก การทดลองที่ 9 วันที่ 3 ธันวาคม 2551

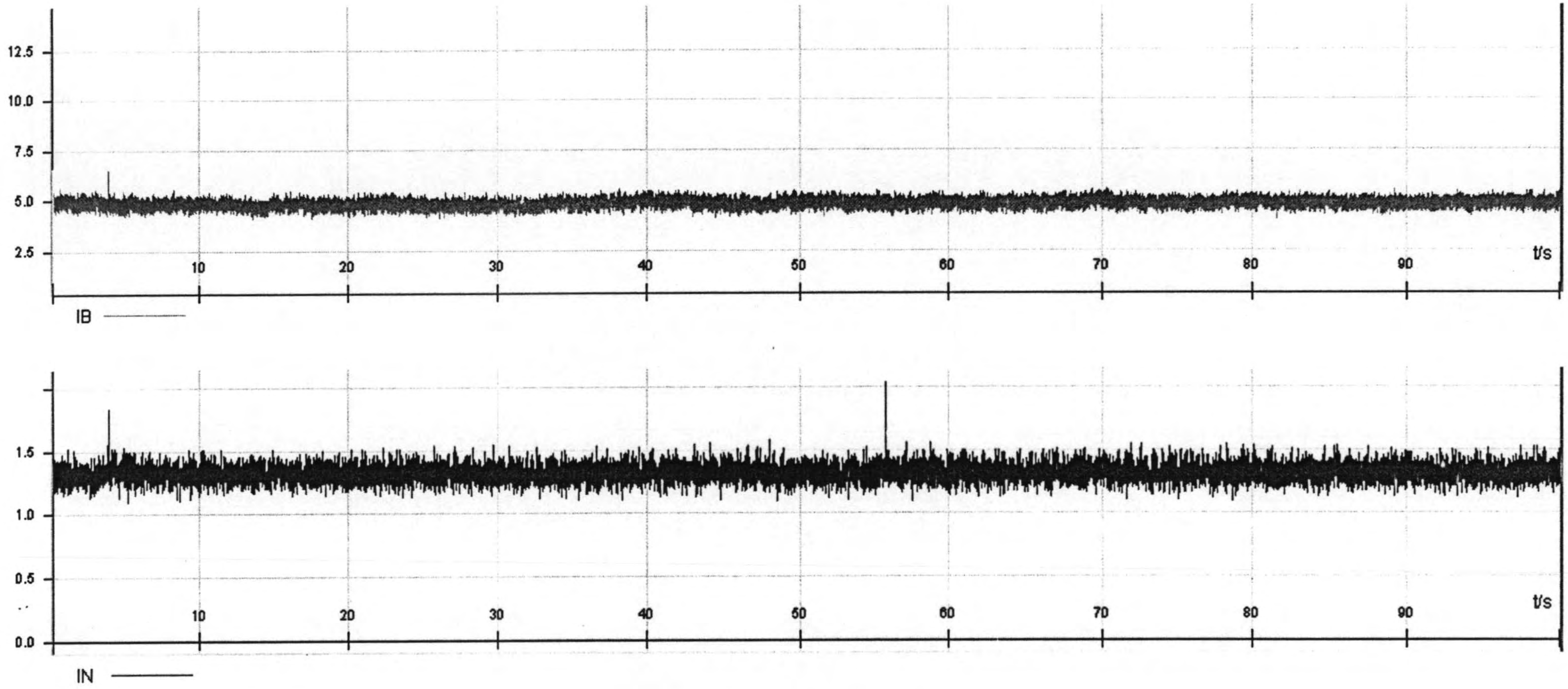


รูปที่ 6.12 รูปคลื่นกระแสเฟสของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ การทดลองที่ 9 วันที่ 3 ธันวาคม 2551

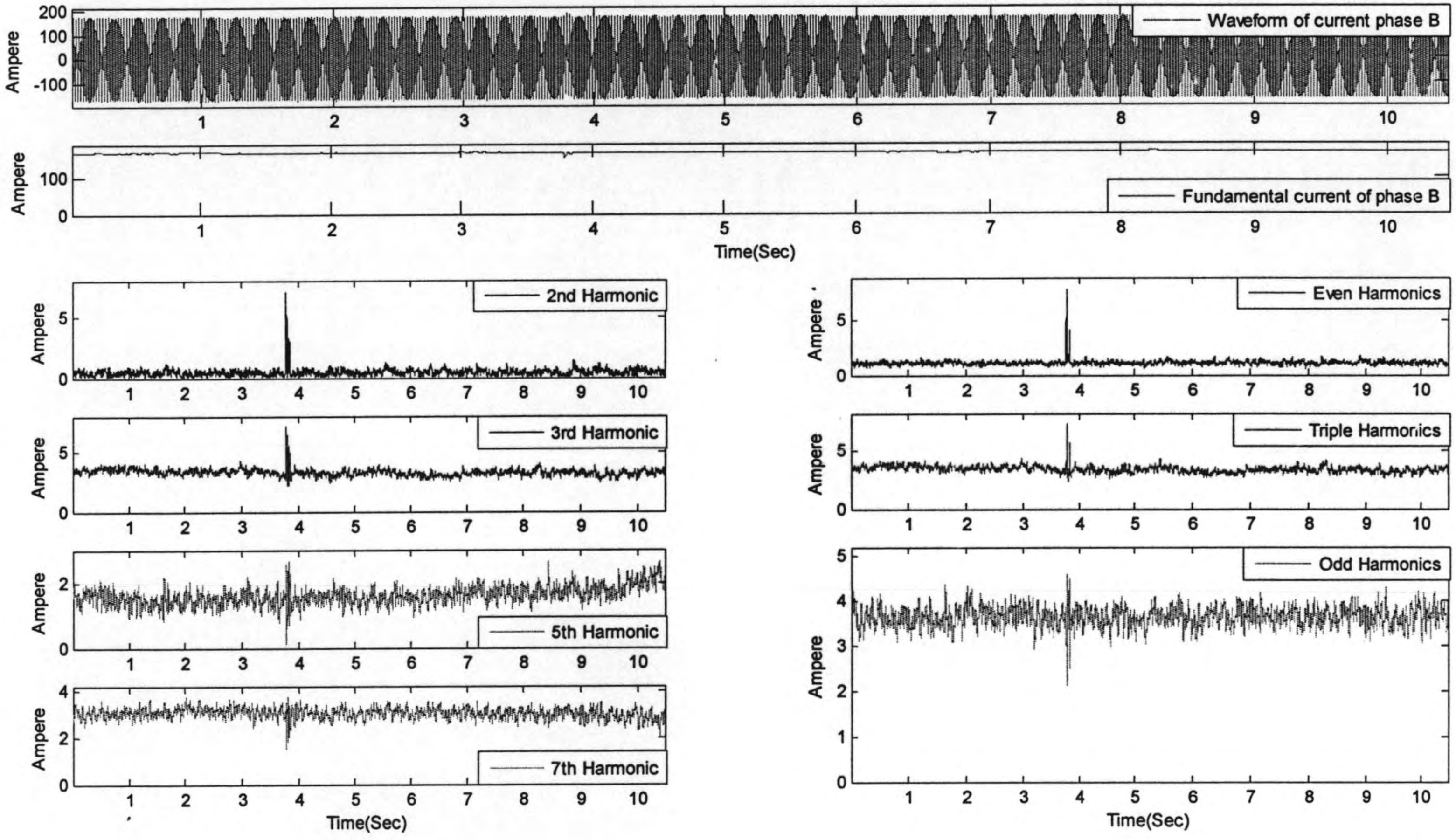


รูปที่ 6.13 รูปคลื่นกระแสนิวทรัลของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ การทดลองที่ 9 วันที่ 3 ธันวาคม 2551

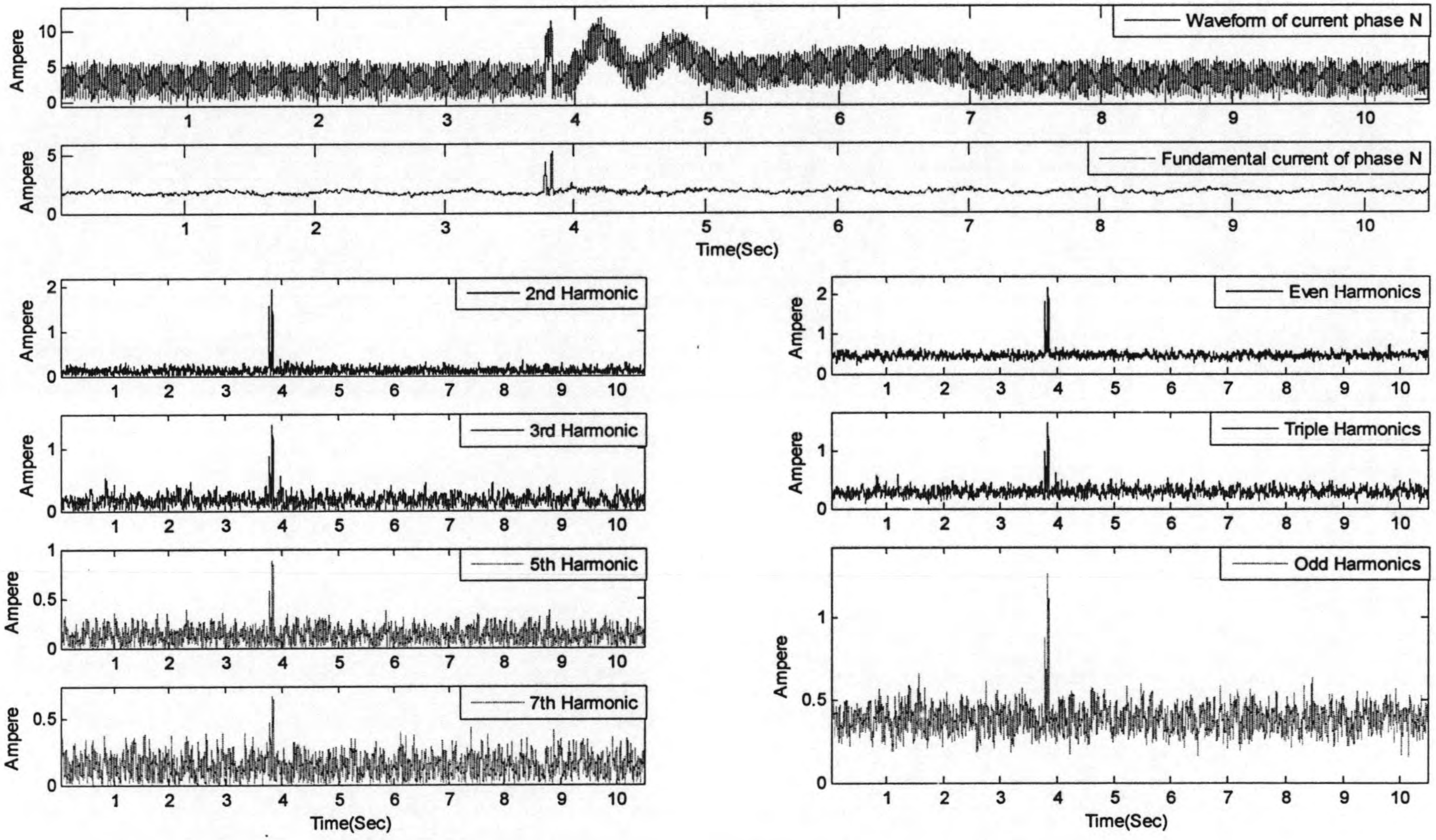
กรณีสายตัวนำไฟฟ้าสัมผัสต้นไม้



รูปที่ 6.14 สัญญาณกระแสเฟสและนิวทรัลเมื่อกรองความถี่มูลฐานออก การทดลองที่ 7 วันที่ 4 ธันวาคม 2551



รูปที่ 6.15 รูปคลื่นกระแสเฟสของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ การทดลองที่ 7 วันที่ 4 ธันวาคม 2551



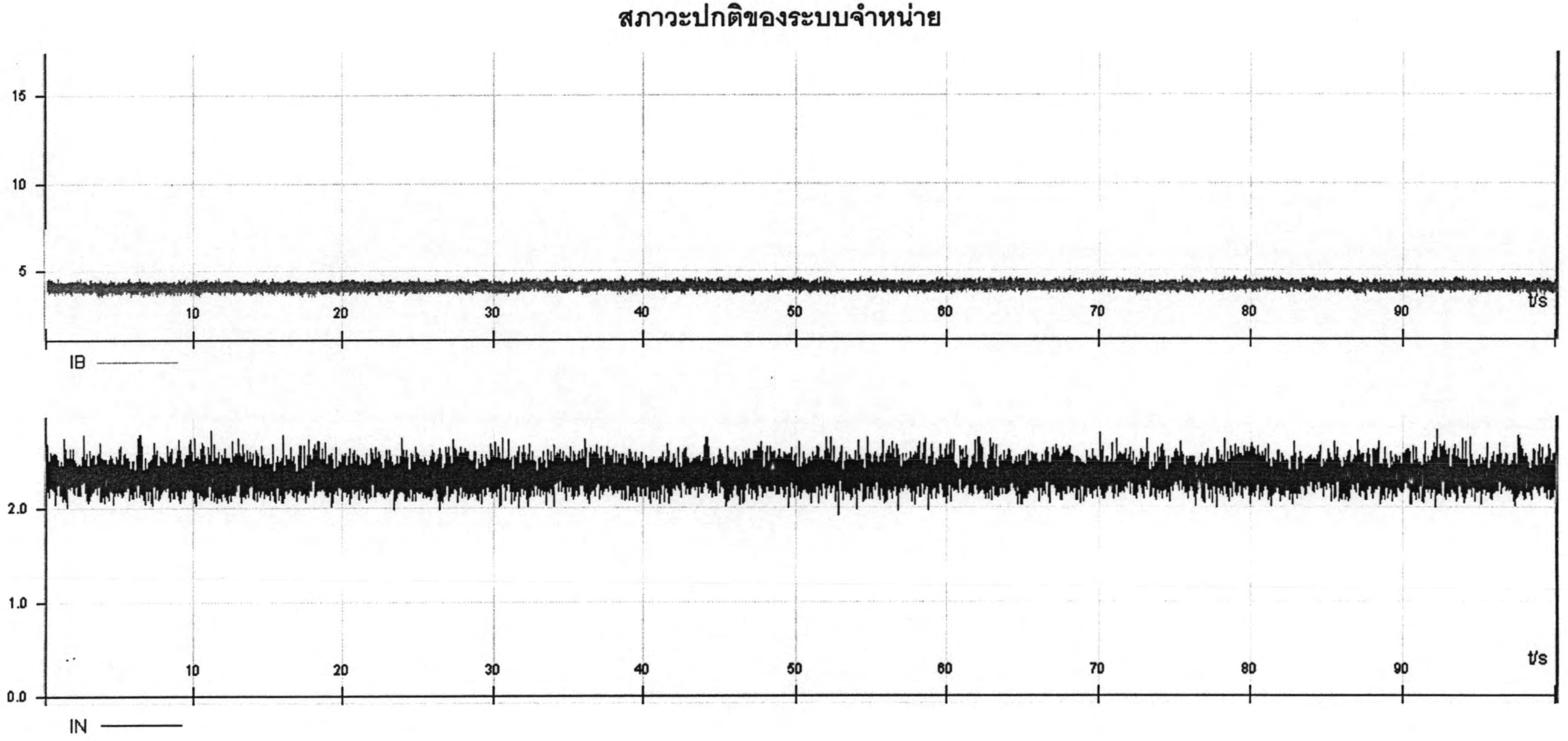
รูปที่ 6.16 รูปคลื่นกระแสนิวทรัลของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ การทดลองที่ 7 วันที่ 4 ธันวาคม 2551

6.2.1 สภาวะปกติของระบบจำหน่าย

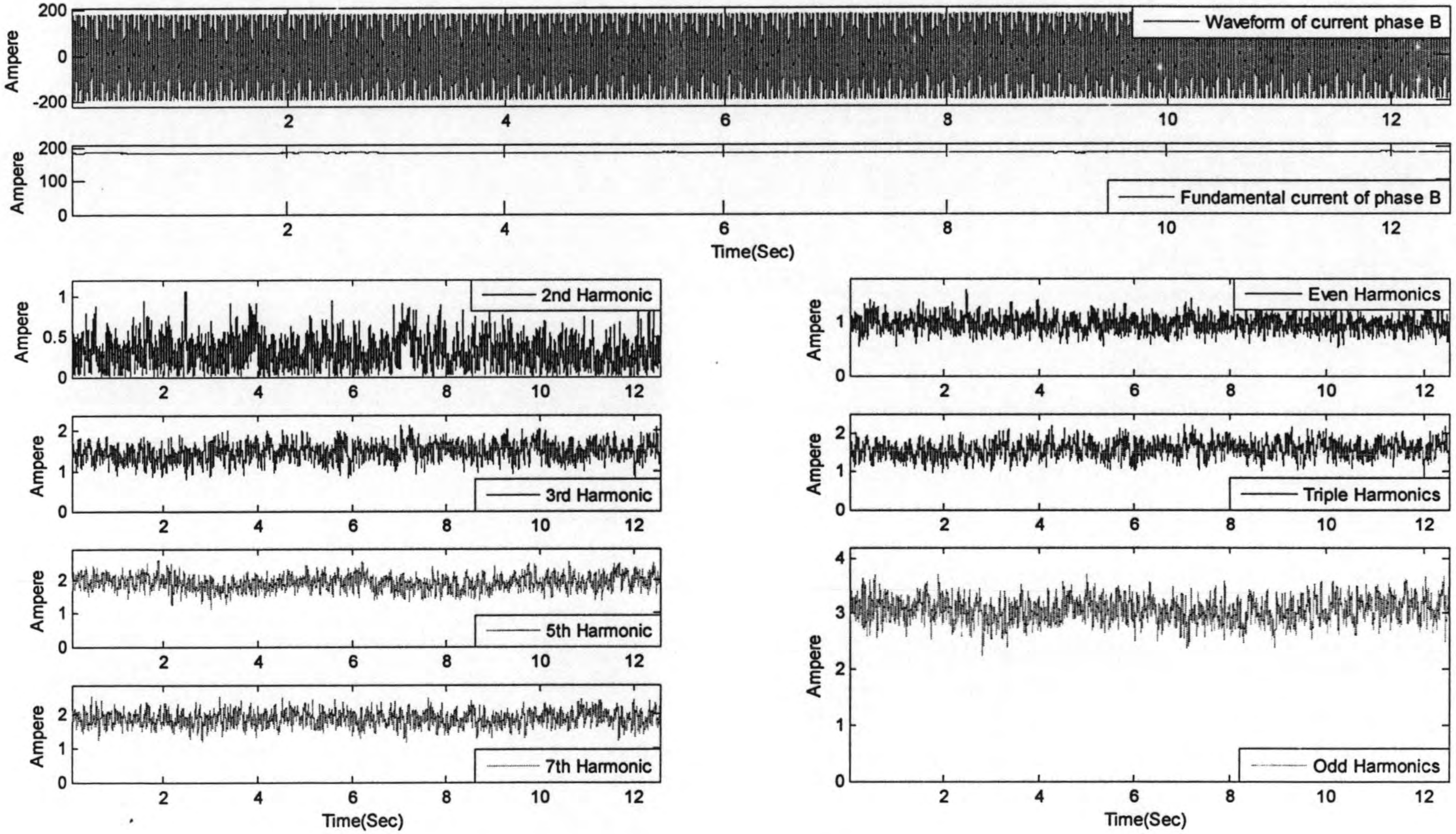
พิจารณาสัญญาณกระแสไฟฟ้าในสภาวะปกติของระบบจำหน่าย โดยทำการพิจารณากระแสเฟส B ซึ่งเป็นเฟสที่ทำการทดลองการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงและกระแสนิวทรัลช่วงที่กรองความถี่มูลฐานออกและกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ ได้ดังนี้

กระแสเฟส B จากรูปที่ 6.17 การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเมื่อกรองความถี่มูลฐานออก ในสภาวะปกติของระบบจำหน่ายพบว่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ มีค่าไม่เกิน 4.54 แอมแปร์ ซึ่งรูปคลื่นสัญญาณนี้คือผลรวมของฮาร์มอนิกทุกๆ อันดับ โดยค่าที่แสดงจะหมายถึงระดับสัญญาณพื้นฐานที่มีอยู่ในระบบจำหน่าย อันเป็นผลเนื่องจากโหลดและเมื่อพิจารณาแต่ละกลุ่มของฮาร์มอนิก ดังแสดงในรูปที่ 6.18 กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่มีค่าประมาณ 3 แอมแปร์ กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารลงตัวมีค่าประมาณ 1.5 แอมแปร์ และกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคู่มีค่าประมาณ 1 แอมแปร์ การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ นี้จะค่อนข้างคงที่ โดยการเกิดกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่และคู่เป็นผลเนื่องจากโหลดที่ต่ออยู่ในระบบ ส่วนการเกิดกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารลงตัวนั้นถึงแม้ว่ารูปแบบระบบจำหน่ายของ กฟน. มีลักษณะแบบ 3 เฟส 3 สาย ซึ่งจะทำให้ไม่มีการไหลของกระแสลำดับศูนย์ จึงไม่มีสัญญาณในกลุ่มของฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารลงตัว แต่ในความเป็นจริงแล้วระบบไฟฟ้าจะมีค่าของประจุแฝง (stray capacitance) ตลอดช่วงความยาวสาย จึงทำให้เกิดเส้นทางการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านประจุแฝงดังกล่าวลงดินครบวงจรที่จุดต่อร่วมของหม้อแปลงที่สถานีย่อย เป็นผลให้เกิดกลุ่มของฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารลงตัวได้ แต่อย่างไรก็ตามในสภาวะปกติของระบบ ปริมาณกระแสไฟฟ้าในกลุ่มฮาร์มอนิกต่างๆ นี้จะมีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่ ซึ่งรีเลย์แต่ละชนิดจะนำปริมาณสัญญาณต่างๆ เหล่านี้ใช้เป็นค่าอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่รับเข้ามาในช่วงเวลาต่างๆ

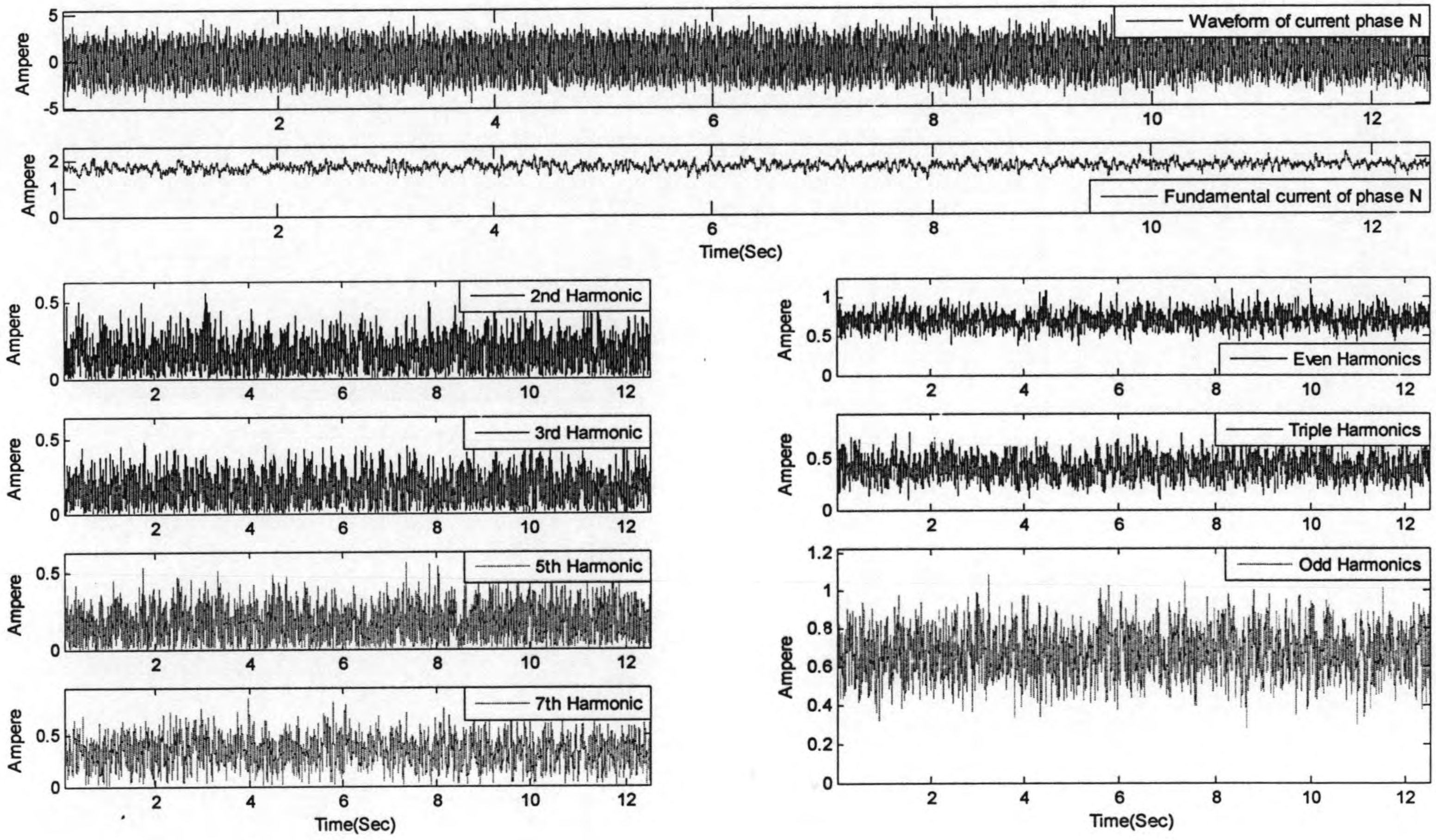
กระแสนิวทรัล การวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของ กฟน. ใช้หม้อแปลงทดกระแส (current transformer) จำนวน 3 ชุด โดยทำการวัดกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟส ซึ่งวิธีการวัดปริมาณของกระแสนิวทรัลนั้นจะทำการวัดจากจุดต่อร่วมของหม้อแปลงทั้ง 3 ชุด ดังนั้นกระแสนิวทรัลที่วัดได้ในสภาวะปกติของระบบ จึงเป็นผลของค่าความคาดเคลื่อนของหม้อแปลงกระแส ในแต่ละชุดที่นำมาต่อร่วมกัน(CT mismatch) ดังแสดงในรูปที่ 6.20 แต่โดยทั่วไปแล้วปริมาณกระแสที่เกิดขึ้นนี้จะมีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่



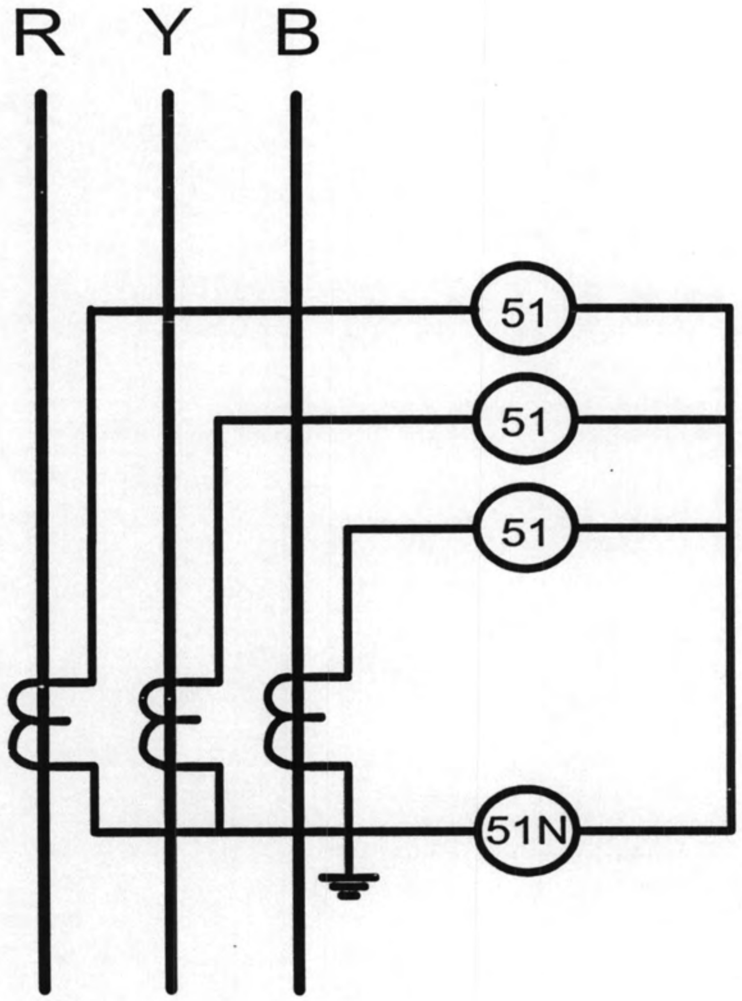
รูปที่ 6.17 สัญญาณกระแสเฟสและนิวทรัลเมื่อกรองความถี่มูลฐานออก ในสภาวะปกติของระบบจำหน่าย



รูปที่ 6.18 รูปคลื่นกระแสเฟสของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ ในสภาวะปกติของระบบจำหน่าย



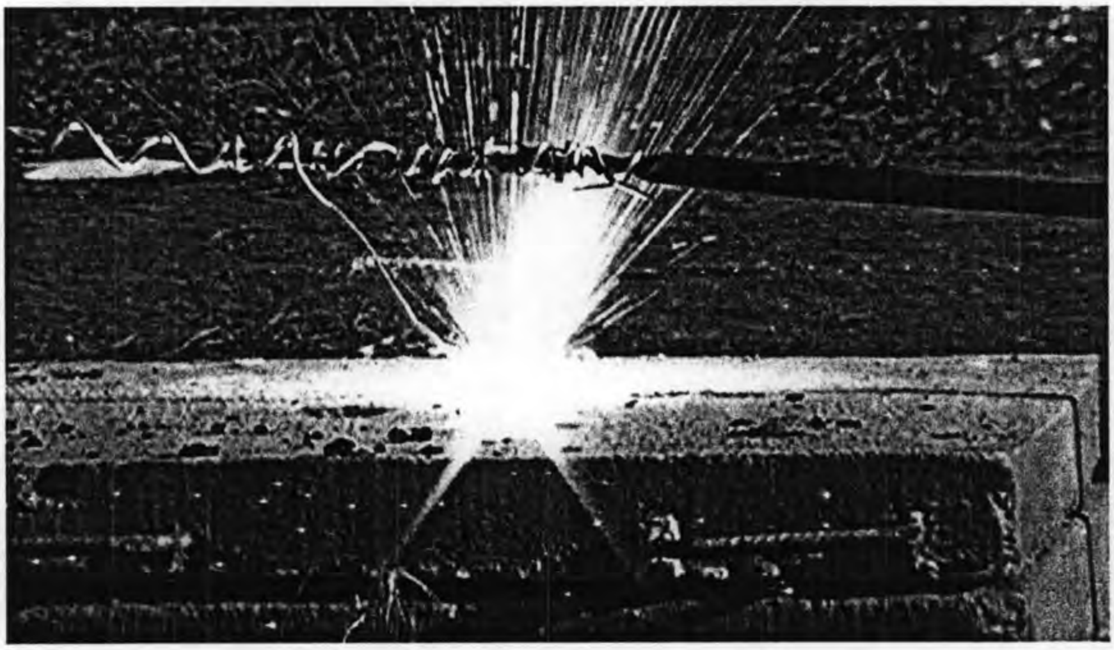
รูปที่ 6.19 รูปคลื่นกระแสนิวทรัลของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ ในสภาวะปกติของระบบจำหน่าย



รูปที่ 6.20 การต่อหม้อแปลงกระแสที่สถานีย่อยของการไฟฟ้านครหลวง

6.2.2 กรณีรีเลย์ชนิด A และ B ส่งสัญญาณทริป

พิจารณาผลการทดลองที่ 11 วันที่ 3 ธันวาคม 2551 เป็นการทดลองบนพื้นผิวคอนกรีตซ้อนคั่นด้วยทราย (sandwich) การทดลองแสดงในรูปที่ 6.21



รูปที่ 6.21 การทดลองลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงบนพื้นคอนกรีตซ้อนคั่นด้วยทราย(sandwich)

กระแสเฟส B การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเมื่อกรองช่วงความถี่มูลฐานออก สังเกตพบว่าช่วงที่เกิดอาร์กปริมาณกระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากสภาวะปกติ คือ 4.75 แอมแปร์ เพิ่มเป็น 6.4 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 6.22 และเมื่อพิจารณาผลของอาร์กที่มีต่อฮาร์มอนิกกลุ่มต่างๆ พบว่า กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารลงตัวมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องอยู่ในช่วง 5 – 55 แอมแปร์ ซึ่งเป็นผลของลักษณะการลัดวงจรแบบเฟสลงดิน จึงเกิดกระแสลำดับศูนย์ไหลในระบบ ส่วนกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคู่และคี่จะเริ่มสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงที่อาร์กมีความรุนแรงมากขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1 – 81 แอมแปร์และ 3.2 – 9.2 แอมแปร์ตามลำดับแต่เกิดขึ้นเพียงช่วงระยะเวลาสั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.23

กระแสนิวทรัล ปริมาณกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่ไหลผ่านลงดินจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากจุดต่อร่วมของหม้อแปลงกระแสซึ่งก็คือกระแสนิวทรัล โดยจากการตรวจวัดพบว่าสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่กรองความถี่มูลฐานออกมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นจากสภาวะปกติ คือ 1.25 แอมแปร์ เพิ่มเป็น 2.39 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 6.22 ส่วนกลุ่มสัญญาณฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ คือ กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารลงตัวมีการเปลี่ยนแปลงอยู่

ในช่วง 2.2 – 29 แอมแปร์ กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.7 – 7.5 แอมแปร์ และกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคู่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.5 – 28 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 6.24

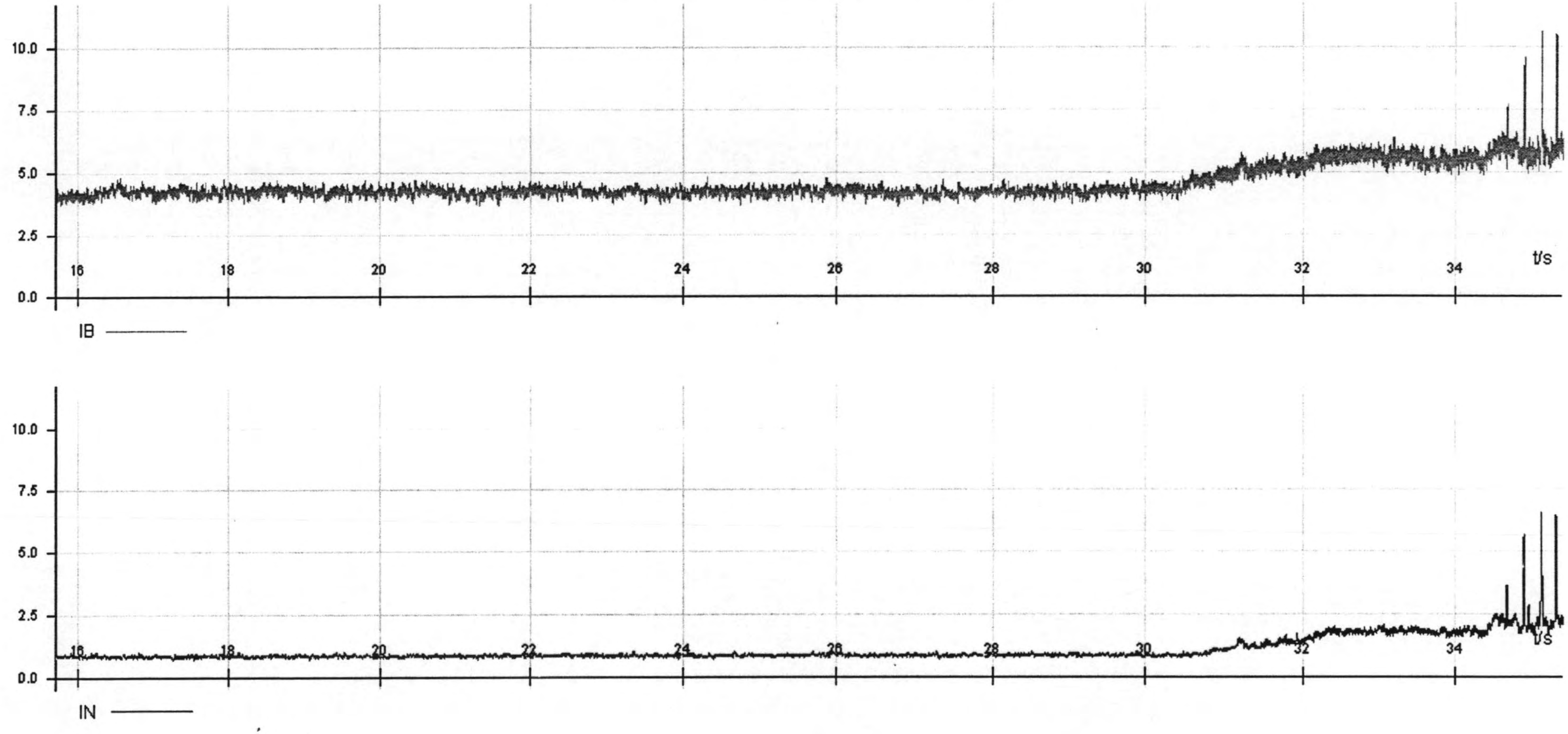
ผลการทดลองในกรณีนี้ส่งผลให้รีเลย์ชนิด A และ B ส่งสัญญาณทริป โดยสามารถพิจารณาการทำงานของรีเลย์แต่ละชนิดได้ดังนี้

รีเลย์ชนิด A จากการทดลองป้อนสัญญาณฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ ตั้งแต่ 2 – 10 พบว่ารีเลย์ชนิดนี้ ให้การตอบสนองที่ดีต่อสัญญาณฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ทำการบันทึกได้ในการทดลองการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง กรณีนี้สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ได้อย่างชัดเจน ทั้งกระแสเฟสและนิวทรัลดังแสดงในรูปที่ 6.23 – 6.24 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองป้อนสัญญาณฮาร์มอนิกอันดับดังกล่าว เป็นผลให้รีเลย์ชนิด A สามารถตรวจจับได้

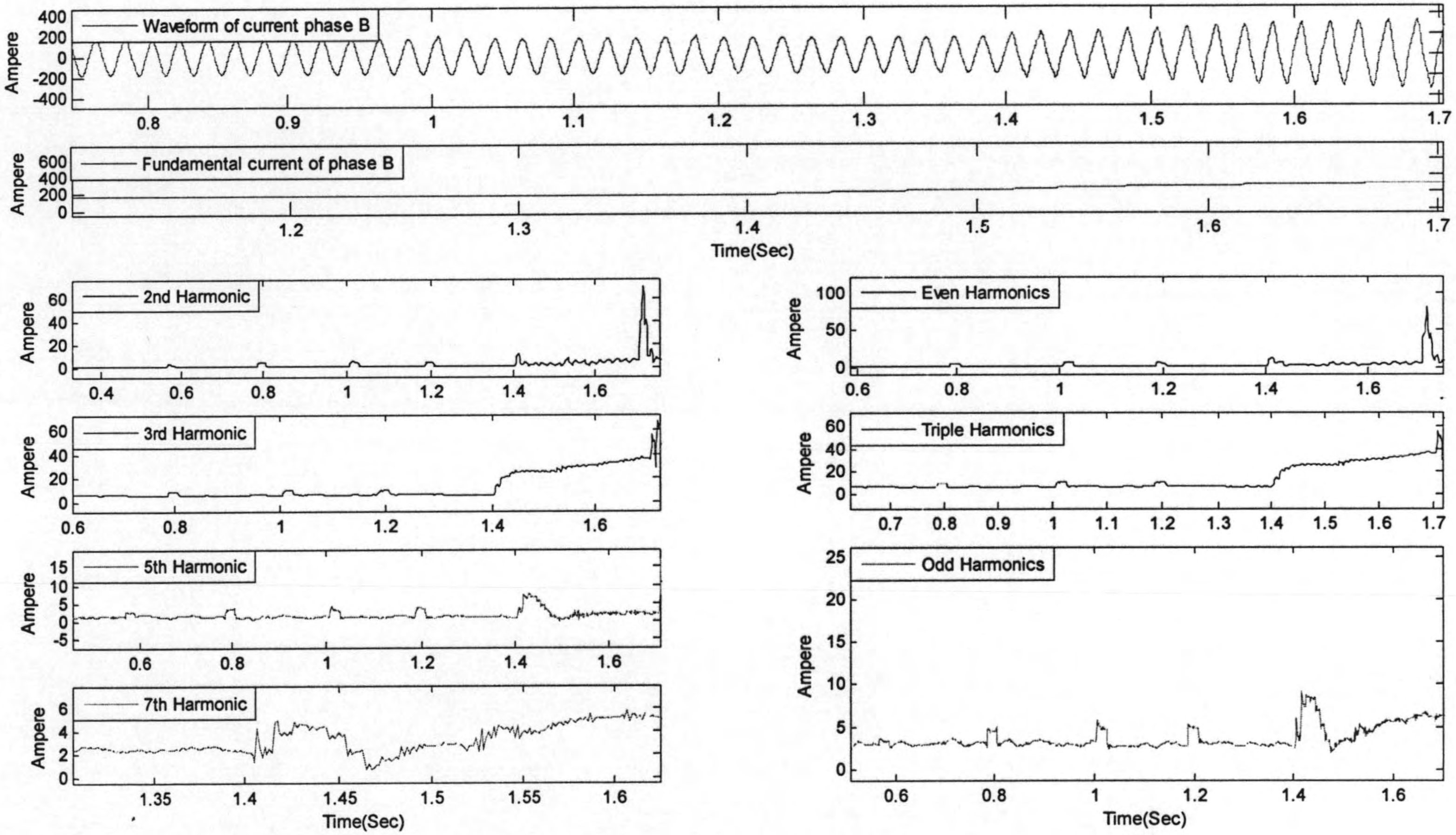
รีเลย์ชนิด B การทำงานของรีเลย์ชนิดนี้จะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ คือ กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารลงตัว และกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคู่รวมทั้งสัญญาณที่กรองความถี่มูลฐานออก แล้วนำมาประมวลผลตัดสินใจ ซึ่งผลจากการบันทึกสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ในการทดลองนี้อาร์กทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในแต่กลุ่มสูงพอและนานพอที่รีเลย์สามารถตัดสินใจได้

รีเลย์ชนิด C จากการทดลองป้อนสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการบันทึกกรณีดังกล่าวนี้ พบว่ารีเลย์ชนิด C ไม่ส่งสัญญาณทริป โดยรีเลย์ชนิดนี้จะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่กรองความถี่มูลฐานออก ดังรูปที่ 6.22 ซึ่งถึงแม้จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้แต่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจไม่นานพอที่จะทำให้รีเลย์ตัดสินใจทำงาน

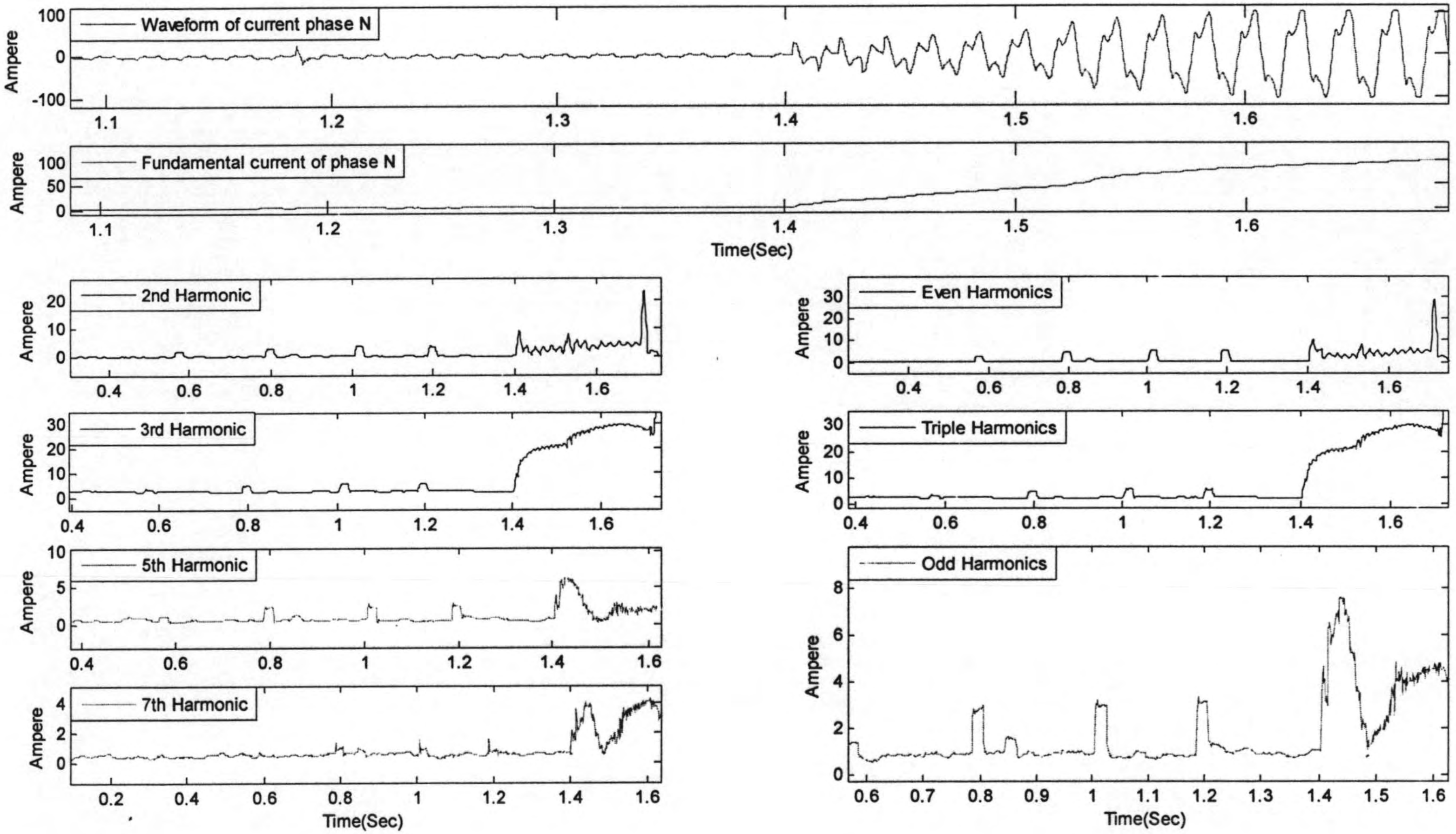
รีเลย์ชนิด A และ B ส่งสัญญาณทริป



รูปที่ 6.22 สัญญาณกระแสเฟสและนิวทรัลเมื่อกรองความถี่มูลฐานออก การทดลองที่ 11 วันที่ 3 ธันวาคม 2551



รูปที่ 6.23 รูปคลื่นกระแสเฟสของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ การทดลองที่ 11 วันที่ 3 ธันวาคม 2551



รูปที่ 6.24 รูปคลื่นกระแสนิวทรัลของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ การทดลองที่ 11 วันที่ 3 ธันวาคม 2551

6.2.3 รีเลย์ชนิด B และ C ส่งสัญญาณทริป

พิจารณาผลการทดลองที่ 1 วันที่ 4 ธันวาคม 2551 เป็นการทดลองบนพื้นผิวคอนกรีตซ้อนคั่นด้วยทราย (sandwich) การทดลองแสดงในรูปที่ 6.25

รูปที่ 6.25 การทดลองลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงบนพื้นคอนกรีตซ้อนคั่นด้วยทราย(sandwich)

กระแสเฟส B การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเมื่อกรองความถี่มูลฐานออก มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากเดิมคือ 4.75 แอมแปร์ เพิ่มเป็น 8.54 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 6.26 และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของกระแสฮาร์มอนิกในกลุ่มต่างๆ พบว่า กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารลงตัวมีการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุด คือ มีค่าอยู่ในช่วง 3 – 12 แอมแปร์ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากลักษณะการลัดวงจรแบบเฟสลงดินทำให้กระแสลำดับศูนย์ไหลในระบบ ส่วนกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคู่สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงได้มีค่าอยู่ในช่วง 1 – 5.25 แอมแปร์ แต่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาอันสั้นและกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่จะมีค่าค่อนข้างคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 6.27

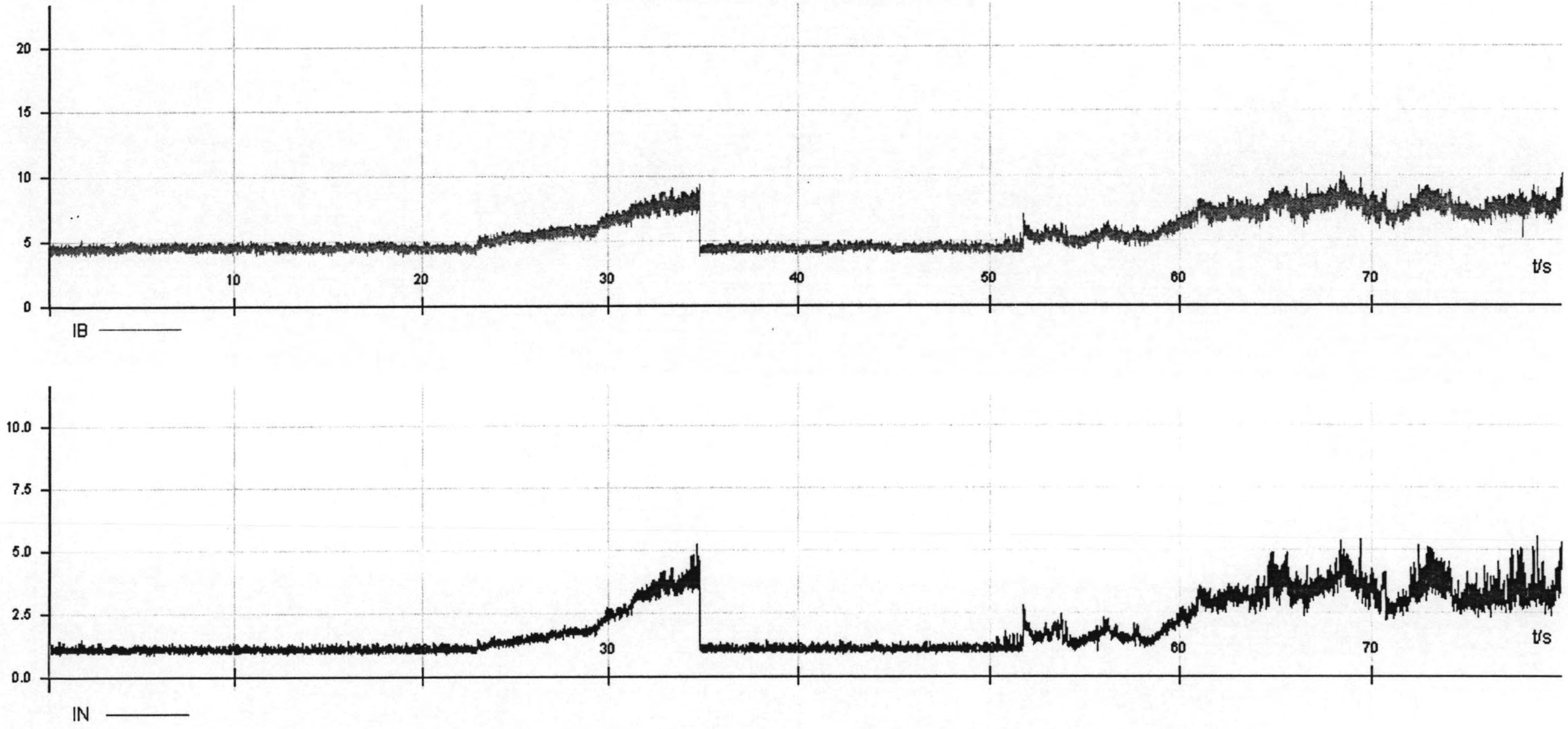
กระแสนิวทรัล ปริมาณสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่กรองความถี่มูลฐานออกมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นจาก 1.25 แอมแปร์ เพิ่มเป็น 4.72 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 6.26 ส่วนกลุ่มสัญญาณฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ คือ กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารลงตัวมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.35 – 6.6 แอมแปร์ กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.35 – 2 แอมแปร์ และกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคู่มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.4 – 3.2 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 6.28 ผลการทดลองในกรณีนี้ส่งผลให้รีเลย์ชนิด B และ C ส่งสัญญาณทริป โดยสามารถพิจารณาการทำงานของรีเลย์แต่ละชนิดได้ดังนี้

รีเลย์ชนิด A ผลจากการศึกษาก่อนหน้านี้ที่ทำให้ทราบว่ารีเลย์ชนิดดังกล่าวมีการตอบสนองที่ดีต่อสัญญาณฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ซึ่งจากการพิจารณาสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการบันทึกในการทดลองกรณีนี้ ดังแสดงในรูปที่ 6.27 – 6.28 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 มีลักษณะค่อนข้างคงที่ แม้ว่าได้ทำการปรับปรุงรูปคลื่นสัญญาณโดยทำการขยายช่วงเวลาของการเกิดอาร์กให้นานขึ้นประมาณ 1 นาทีแล้วก็ตาม รีเลย์ชนิดนี้ยังคงไม่ส่งสัญญาณทริป

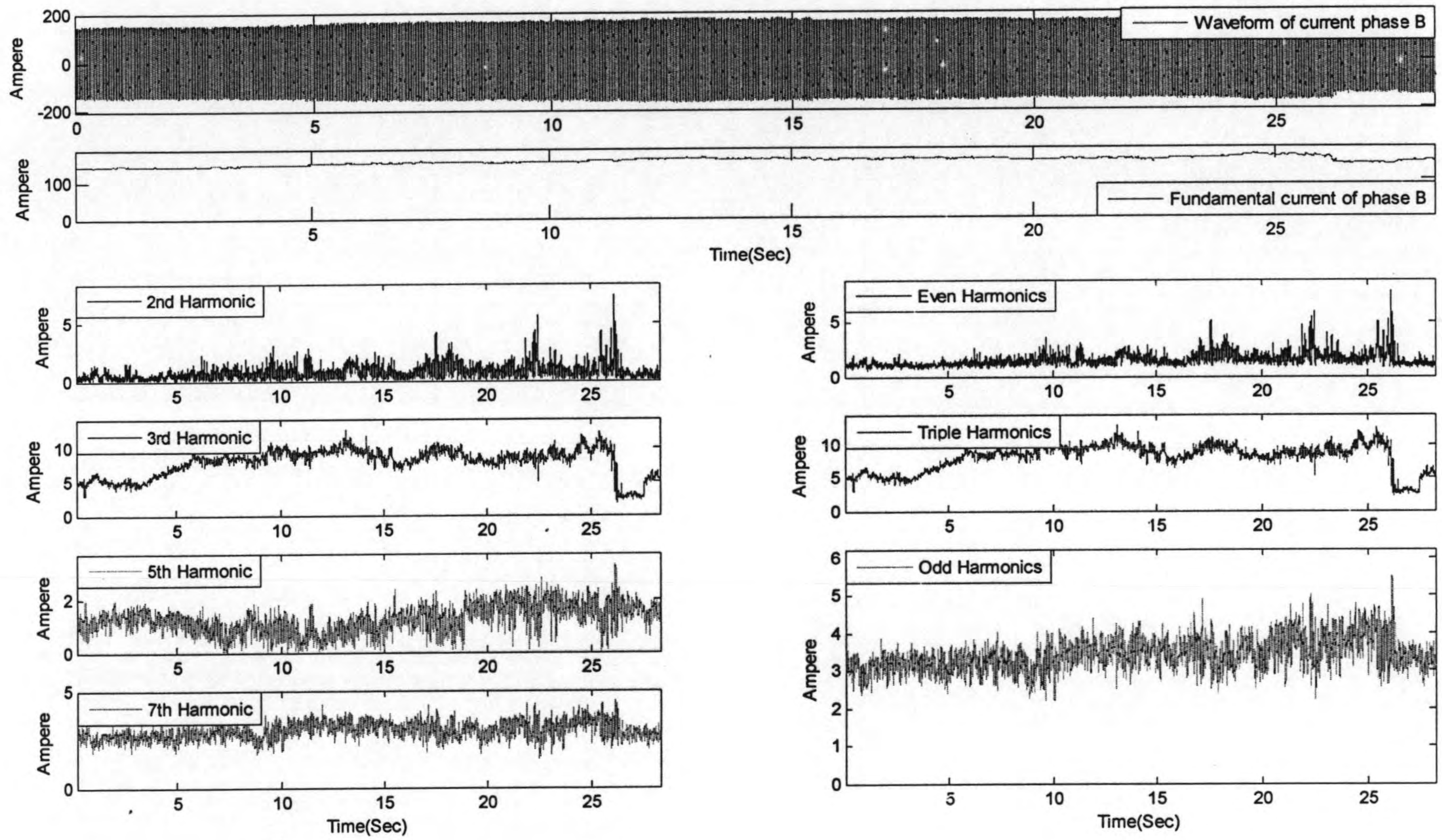
รีเลย์ชนิด B สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองกรณีดังกล่าวนี้ อาร์กที่เกิดขึ้นมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ สูงพอและนานพอที่รีเลย์สามารถตัดสินใจได้

รีเลย์ชนิด C ใช้หลักการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นสัญญาณเทียบกับสัญญาณอ้างอิงที่รีเลย์สร้างขึ้นในสภาวะปกติของระบบ ช่วงที่ทำการทดลองลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงนี้ ปริมาณของสัญญาณที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นกว่าสัญญาณอ้างอิงทั้งกระแสเฟสและนิวทรัล ดังแสดงในรูปที่ 6.29 ทำให้รีเลย์สามารถตัดสินใจส่งสัญญาณทริป

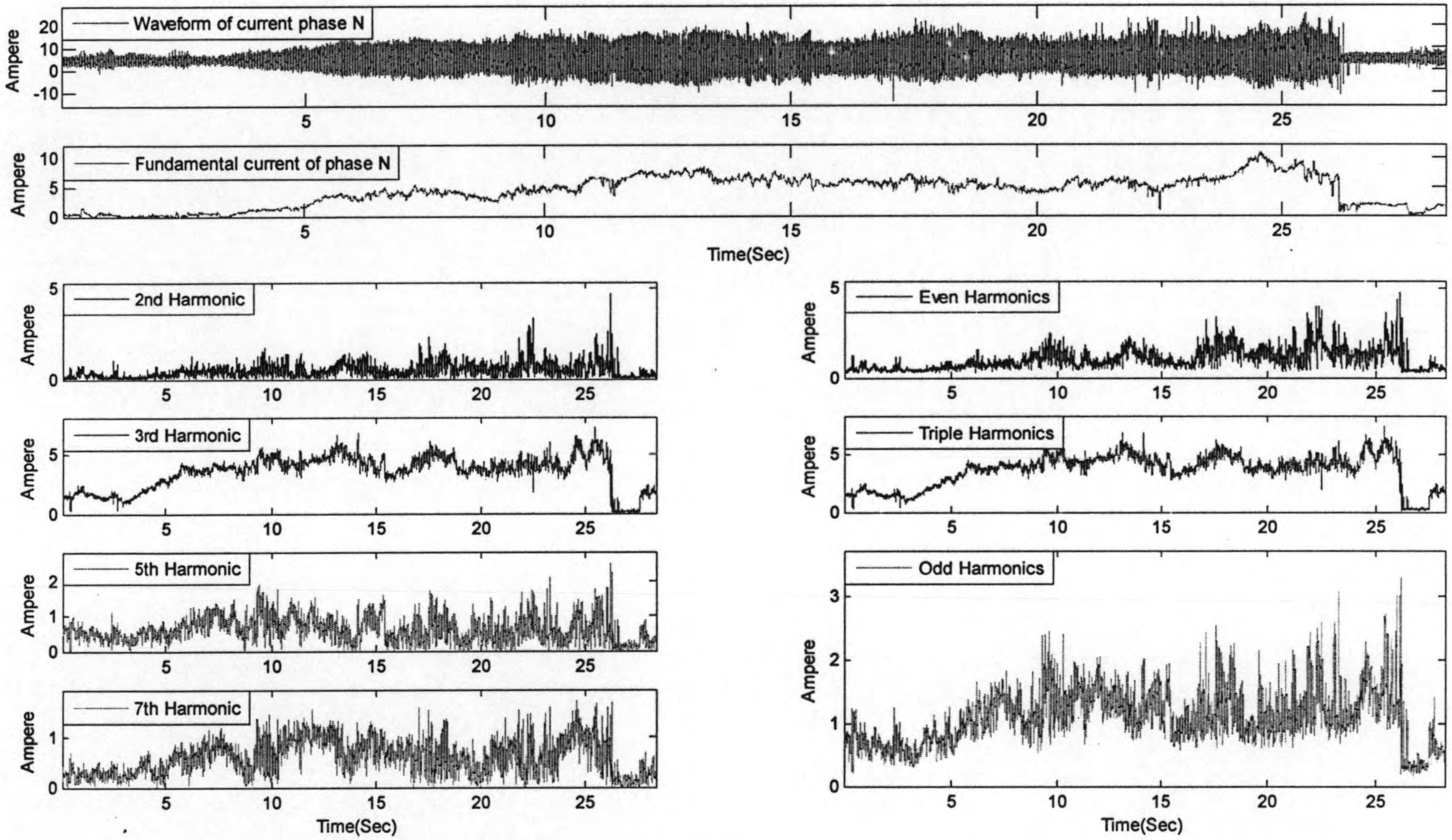
รีเลย์ชนิด B และ C ส่งสัญญาณทริป



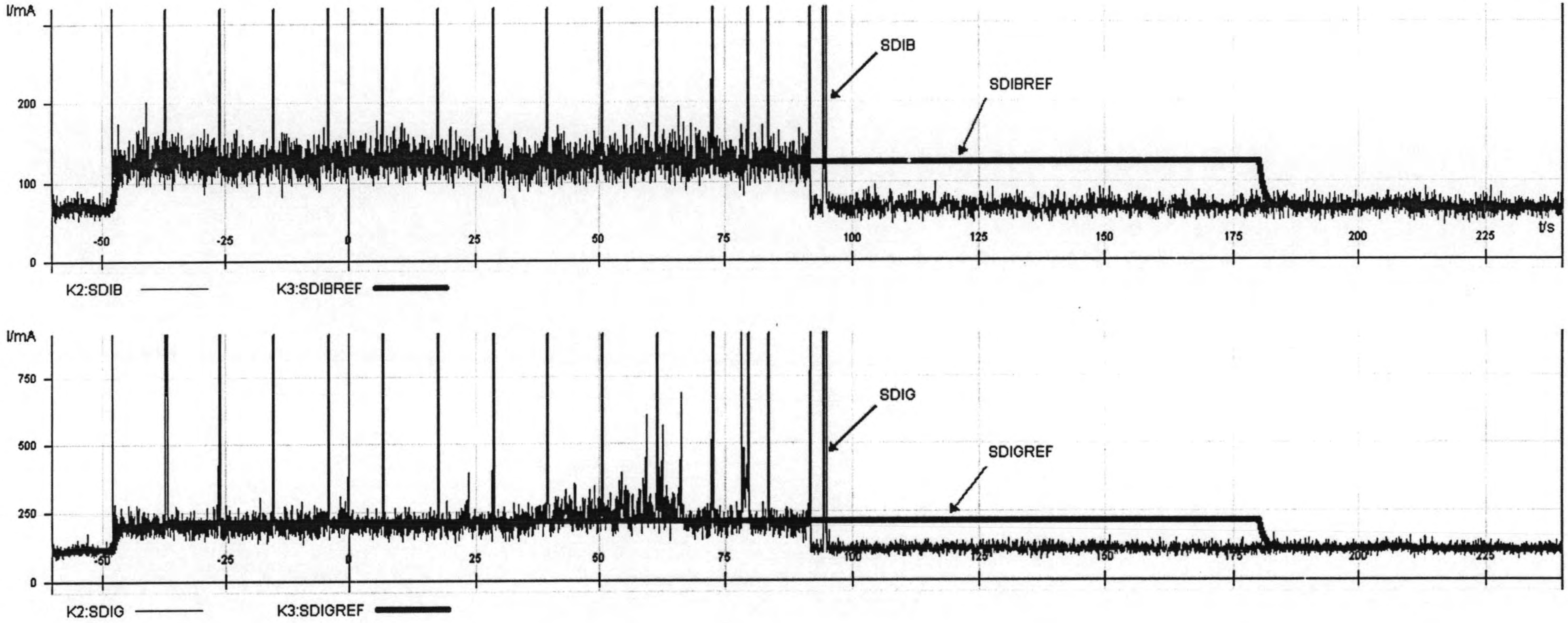
รูปที่ 6.26 สัญญาณกระแสเฟสและนิวทรัลเมื่อกรองความถี่มูลฐานออก การทดลองที่ 1 วันที่ 4 ธันวาคม 2551



รูปที่ 6.27 รูปคลื่นกระแสเฟสของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ การทดลองที่ 1 วันที่ 4 ธันวาคม 2551



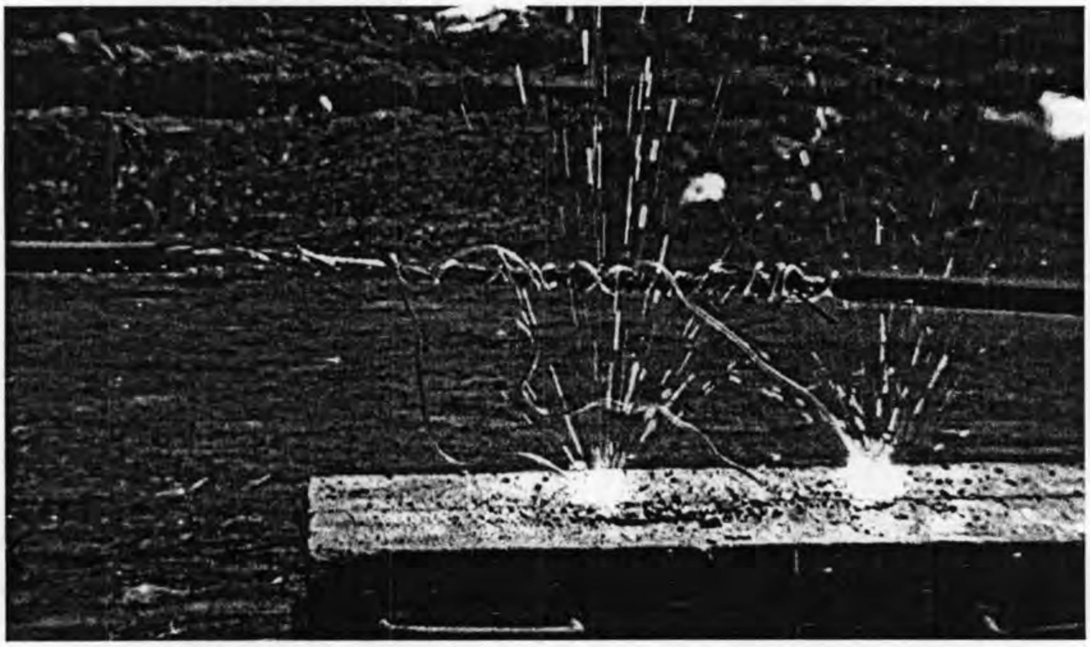
รูปที่ 6.28 รูปคลื่นกระแสนิวทรัลของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ การทดลองที่ 1 วันที่ 4 ธันวาคม 2551



รูปที่ 6.29 การเปลี่ยนแปลงค่า SDI รีเลย์ชนิด C การทดลองที่ 1 วันที่ 4 ธันวาคม 2551

6.2.4 รีเลย์ชนิด A และ C ส่งสัญญาณทริป

พิจารณาผลการทดลองที่ 2 วันที่ 4 ธันวาคม 2551 เป็นการทดลองบนพื้นผิวคอนกรีตซ้อนคั่นด้วยทราย (sandwich) การทดลองแสดงในรูปที่ 6.30



รูปที่ 6.30 การทดลองลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงบนพื้นคอนกรีตซ้อนคั่นด้วยทราย(sandwich)

กระแสเฟส B การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเมื่อกรองความถี่มูลฐานออก จะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นจาก 4.65 แอมแปร์ เพิ่มเป็น 13.9 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 6.31 และเมื่อพิจารณาในแต่ละกลุ่มฮาร์มอนิกพบว่า ฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารลงตัวมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 5 – 20 แอมแปร์ ส่วนฮาร์มอนิกอันดับคู่และคี่สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงที่เกิดอาร์กรุนแรงมากขึ้นแต่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.32

กระแสนิวทรัล การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเมื่อกรองความถี่มูลฐานออก ในช่วงที่เกิดอาร์กสัญญาณจะเพิ่มสูงขึ้นจาก 1.25 แอมแปร์ เพิ่มเป็น 10.8 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 6.31 ส่วนการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ คือ กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารลงตัวมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 1 – 15 แอมแปร์ กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.5 – 4 แอมแปร์และกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคู่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.5 – 5 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 6.33

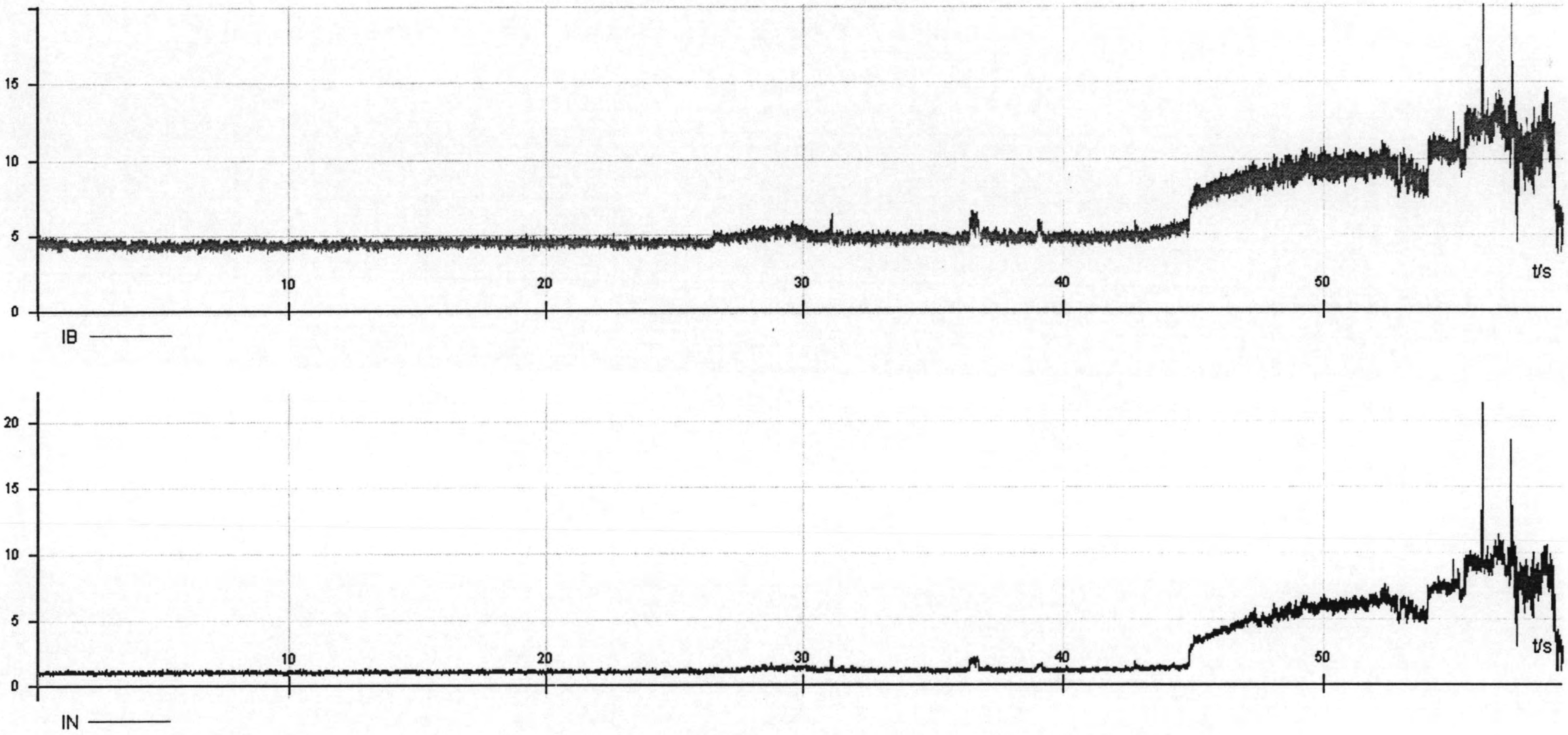
ผลการทดลองในกรณีนี้ส่งผลให้รีเลย์ชนิด A และ C ส่งสัญญาณทริป โดยสามารถพิจารณาการทำงานของรีเลย์แต่ละชนิดได้ดังนี้

รีเลย์ชนิด A พิจารณาจากรูปที่ 6.32 – 6.33 การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ในช่วงที่เกิดอาร์กมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบป้อนสัญญาณฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ แล้วรีเลย์มีการตอบสนองที่ดีต่อฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 จึงทำให้รีเลย์ชนิดนี้สามารถตัดสินใจและส่งสัญญาณทริป

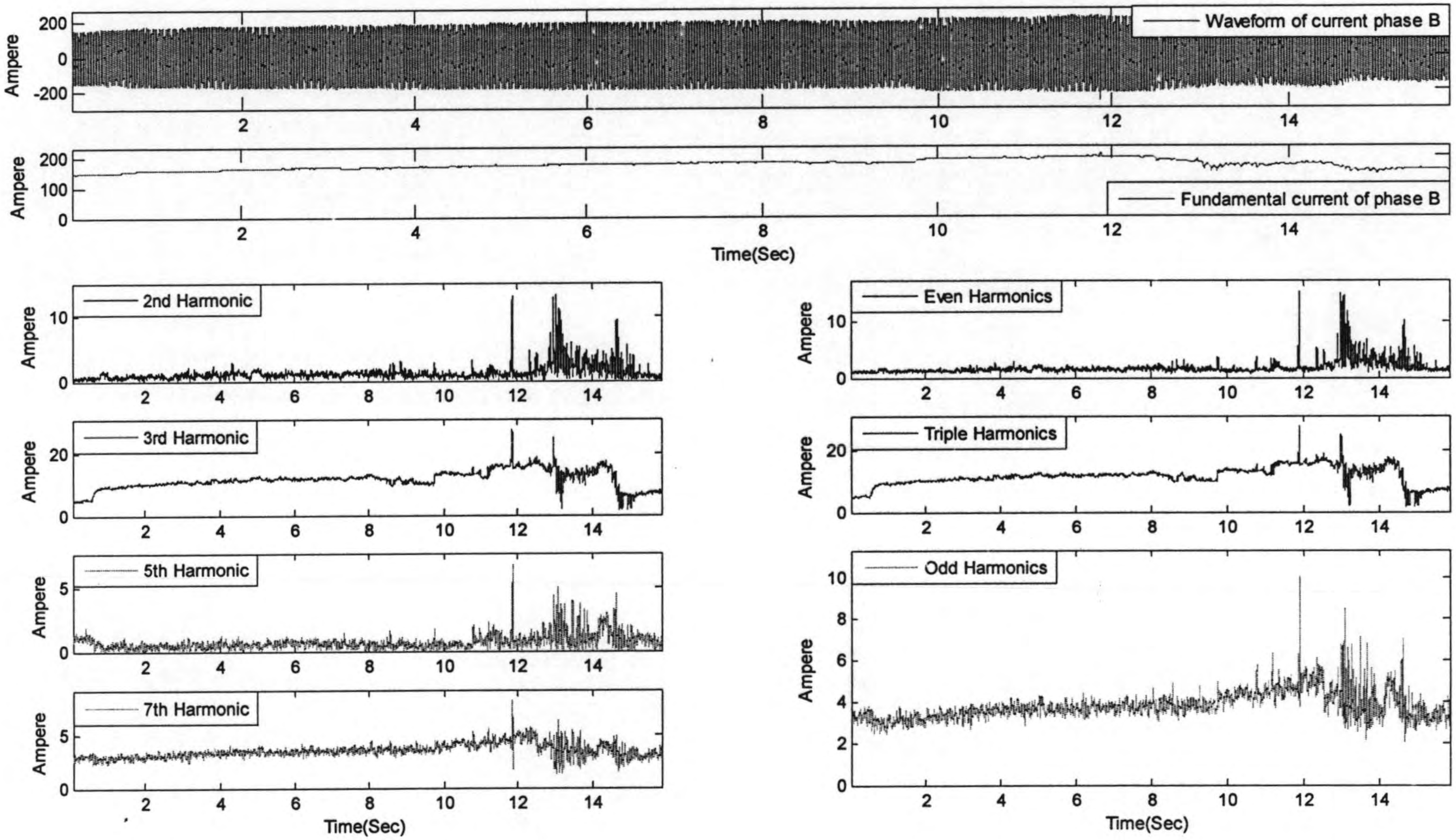
รีเลย์ชนิด B จากการทดลองป้อนสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่บันทึกได้ในการทดลองกรณีนี้ พบว่ารีเลย์ชนิด B มีการตอบสนองต่อสัญญาณโดยรับรู้เหตุการณ์เกิดอาร์กแต่ไม่มีการตัดสินใจส่งสัญญาณทริป จึงทำการปรับปรุงรูปคลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าโดยขยายช่วงเวลาที่เกิดการอาร์กให้นานขึ้นประมาณ 1 นาที ปรากฏว่ารีเลย์ชนิดนี้มีการตัดสินใจส่งสัญญาณทริป ดังนั้นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่บันทึกได้ในการทดลองกรณีนี้ รีเลย์ชนิด B สามารถรับรู้การเกิดเหตุการณ์แต่ไม่มีการตัดสินใจเนื่องจากช่วงเวลาการเกิดอาร์กไม่นานพอสำหรับการเปลี่ยนแปลงขนาดสัญญาณกระแสไฟฟ้ารูปแบบดังกล่าว

รีเลย์ชนิด C จากรูปที่ 6.34 แสดงให้เห็นว่าช่วงที่เกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงมีผลให้การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าสัญญาณที่รีเลย์ใช้อ้างอิง ดังนั้นรีเลย์จึงส่งสัญญาณทริป

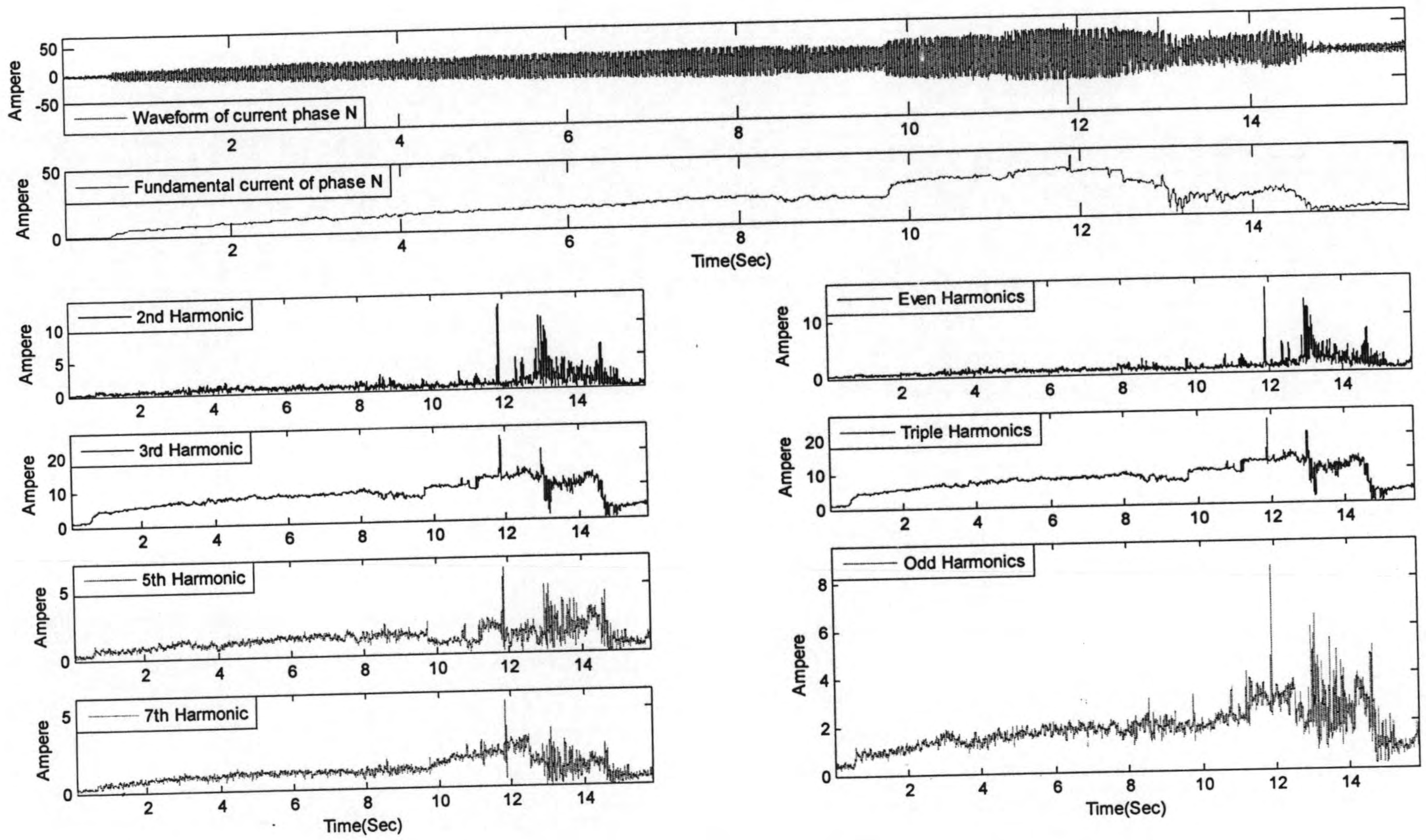
รีเลย์ชนิด A และ C ส่งสัญญาณทริป



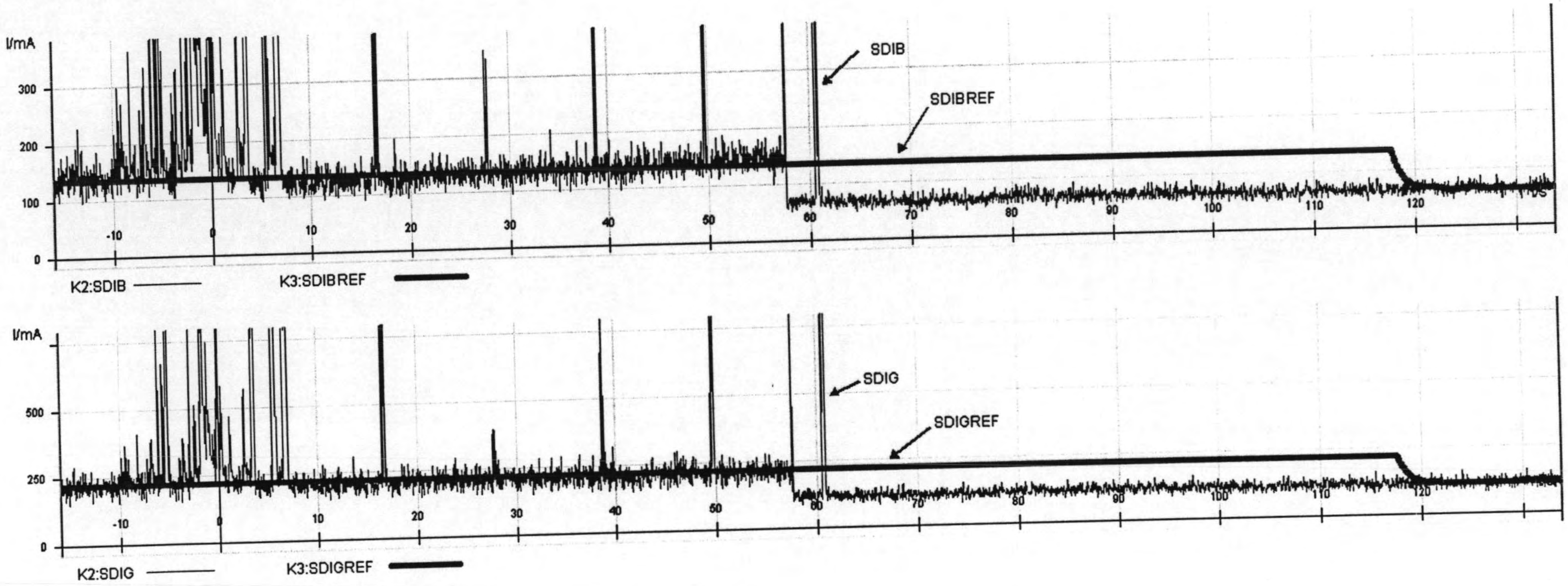
รูปที่ 6.31 สัญญาณกระแสเฟสและนิวทรัลเมื่อกรองความถี่มูลฐานออก การทดลองที่ 2 วันที่ 4 ธันวาคม 2551



รูปที่ 6.32 รูปคลื่นกระแสเฟสของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ การทดลองที่ 2 วันที่ 4 ธันวาคม 2551



รูปที่ 6.33 รูปคลื่นกระแสนิวทรัลของฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ การทดลองที่ 2 วันที่ 4 ธันวาคม 2551



รูปที่ 6.34 การเปลี่ยนแปลงค่า SDI รีเลย์ชนิด C การทดลองที่ 2 วันที่ 4 ธันวาคม 2551