

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้ จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้รับและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากการหาพารามิเตอร์ฮาร์โมนิกในรูปแบบขนาดและมุมเฟสของสัญญาณทางไฟฟ้าที่เวลาจริงใดๆ ด้วยการใช้เทคนิค  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 โดยแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ฮาร์โมนิกที่ได้รับจากการเลือกคำตอบที่เหมาะสมทั้งสองเทคนิค

#### 4.1 ผลการทดลอง

##### 4.1.1 ผลการทดลองการหาค่าขนาดและมุมเฟสที่คงที่ในสัญญาณ

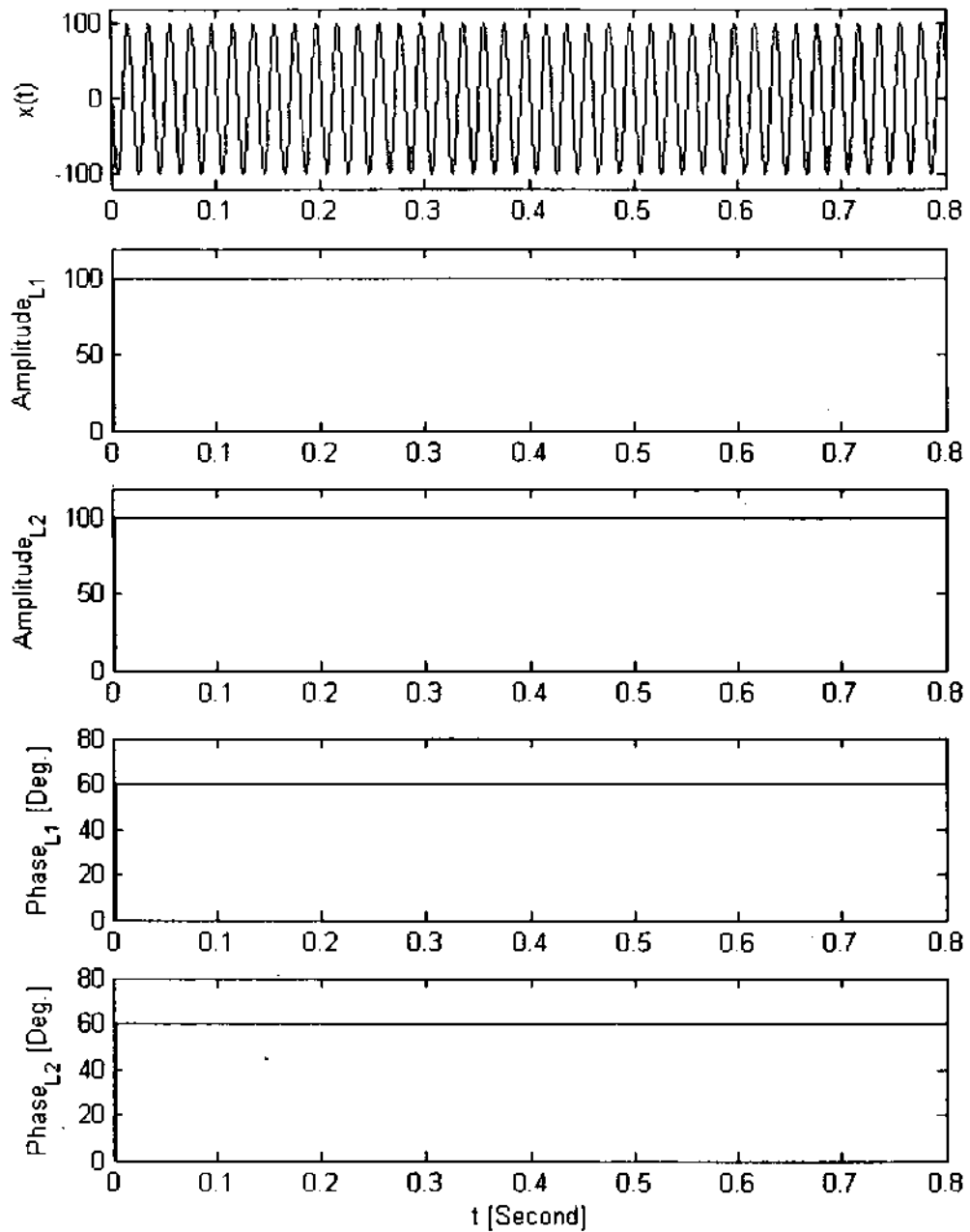
เริ่มต้นด้วยการกำหนดสัญญาณระบบไฟฟ้าที่สังเคราะห์เป็นรูปแบบคลื่นไซน์ ดังแสดงไว้ด้วยสมการ

$$x(t) = 100 \cos(\omega t + 60^\circ) \quad (4-1)$$

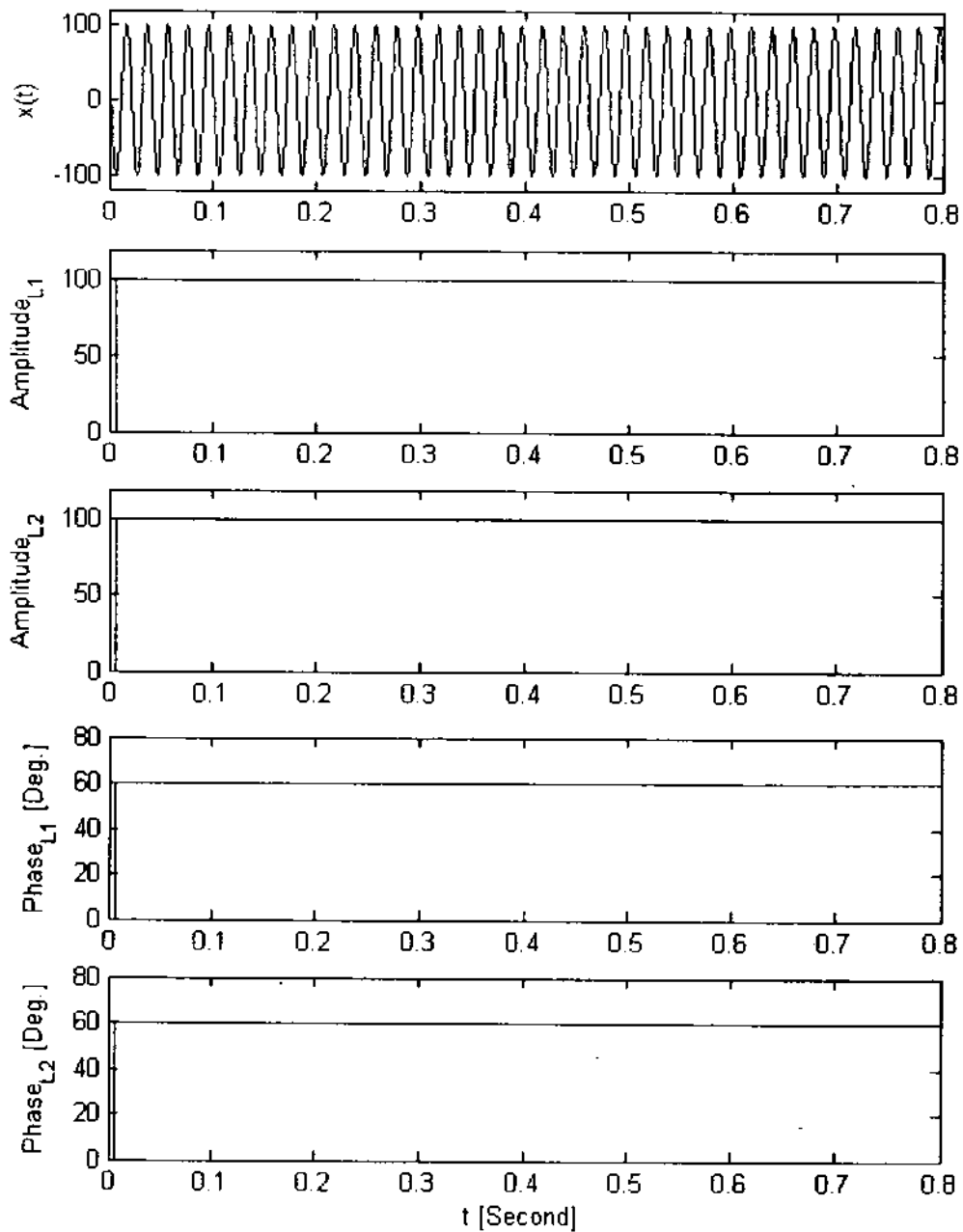
โดยที่  $\omega$  คือ ความถี่พื้นฐานของสัญญาณที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 314 [เรเดียน/วินาที] หรือ 50 [เฮิรตซ์] สำหรับเวลาจริง  $t$  [วินาที] ที่มีช่วงอยู่ระหว่าง  $0 \leq t \leq 0.8$  [วินาที]

เมื่อเลือกความถี่สุ่มตัวอย่างสัญญาณที่ 3 [กิโลเฮิรตซ์] ( $f_s = 3$  [kHz]) ทำให้ได้สัญญาณทางไฟฟ้าที่มีขนาด 100 และมุมเฟส 60 [องศา] ในรูปแบบกราฟ  $x(t)$  เทียบกับเวลา  $t$  [วินาที] ดังแสดงไว้ ภาพแถวบนสุดของรูป 4.1 รูป 4.2 และรูป 4.3 สำหรับการใช้นิยามทางพีชคณิตสำหรับกรณี que เลือกจำนวนข้อมูล  $P = 10$  ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ทำให้ผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-1) ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สองและภาพแถวที่สามของรูป 4.1 ตามลำดับ ต่อมาคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณในสมการ (4-1) ในรูปแบบเวลาจริงด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ได้ผลดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สี่และภาพแถวที่ห้าของรูป 4.1 ตามลำดับ

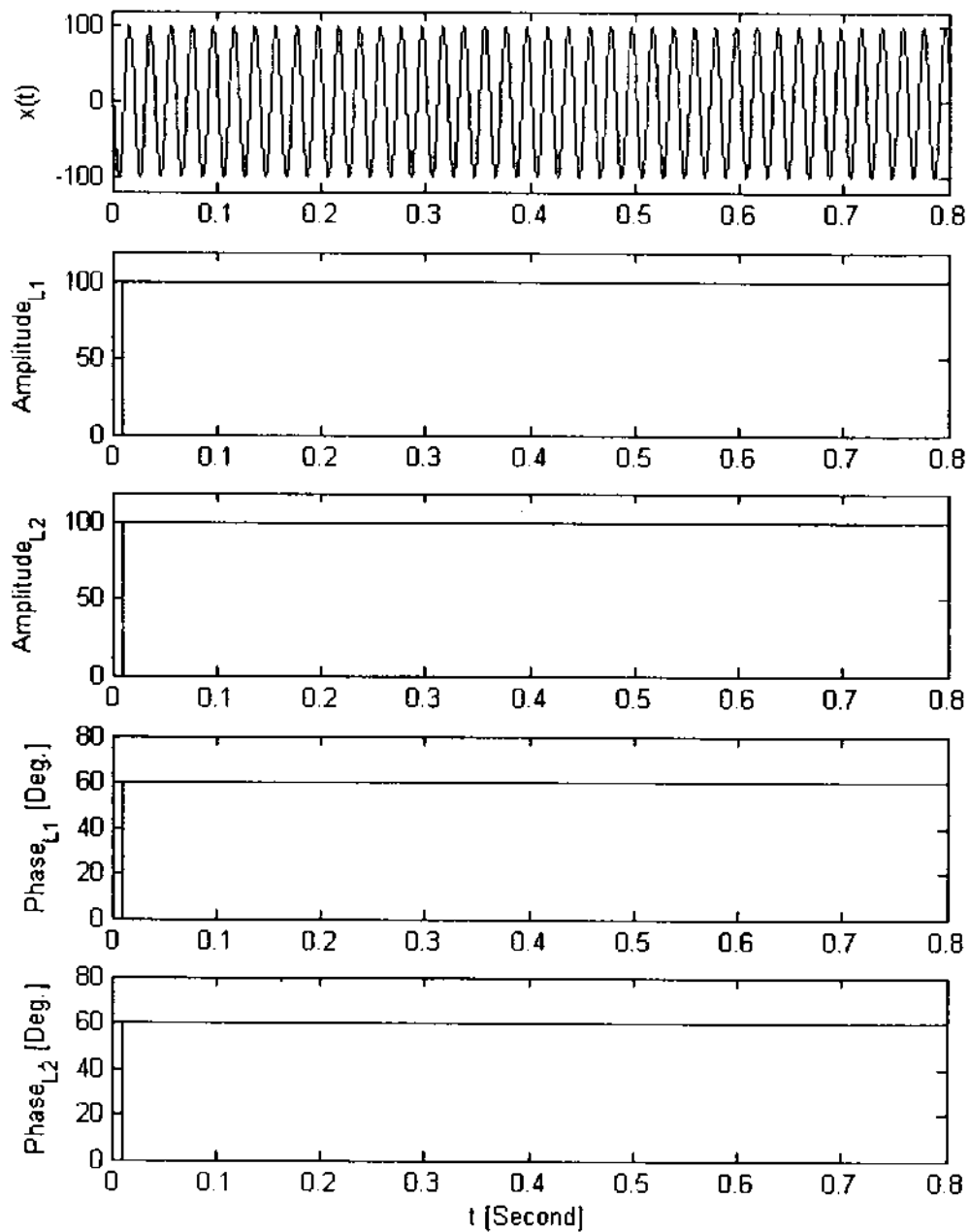
นอกจากนี้ ได้คำนวณหาค่าขนาดและมุมเฟสของสัญญาณเชิงสังเคราะห์ในสมการที่ (4-1) นี้ โดยการใช้เทคนิคทางพีชคณิตสำหรับกรณี que เลือกจำนวนข้อมูล  $P = 20$  ดังแสดงผลการประมาณค่าขนาดและมุมเฟสที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ไว้ในรูป 4.2 และโดยการใช้เทคนิคทางพีชคณิตสำหรับกรณี que เลือกจำนวนข้อมูล  $P = 30$  ดังแสดงผลการประมาณค่าขนาดและมุมเฟสที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ไว้ในรูป 4.3



รูป 4.1 การประมาณค่าขนาดและมุมเฟสในสัญญาณเชิงสังเคราะห์ความถี่ 50 [Hz] ที่ถูกสุ่มตัวอย่าง ข้อมูลด้วยความถี่สุ่ม 3 [kHz] สำหรับกรณี  $P = 10$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



รูป 4.2 การประมาณค่าขนาดและมุมเฟสในสัญญาณเชิงสังเคราะห์ความถี่ 50 [Hz] ที่ถูกสุ่มตัวอย่าง ข้อมูลด้วยความถี่สุ่ม 3 [kHz] สำหรับกรณี  $P = 20$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



รูป 4.3 การประมาณค่าขนาดและมุมเฟสในสัญญาณเชิงสังเคราะห์ความถี่ 50 [Hz] ที่ถูกสุ่มตัวอย่าง ข้อมูลด้วยความถี่สุ่ม 3 [kHz] สำหรับกรณี  $P = 30$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)

#### 4.1.2 ผลการทดลองการหาค่าขนาดที่เปลี่ยนแปลงและมุมเฟสที่คงที่ในสัญญาณ

ในบางครั้งสัญญาณทางไฟฟ้าที่เวลาจริงในระบบอาจมีการเปลี่ยนแปลงขนาดแต่มุมเฟสคงที่ ดังนั้นอัลกอริทึมที่ใช้แนวคิดพีชคณิตในงานวิจัยนี้ สามารถคำนวณหาค่าขนาดที่เปลี่ยนแปลงที่เวลาจริง และมุมเฟสคงที่ที่เวลาจริงได้ดังแสดงไว้ในผลการทดลองการหาค่าขนาดที่เปลี่ยนแปลงและมุมเฟสที่คงที่ในสัญญาณที่จะกล่าวในตอนต่อไปนี้

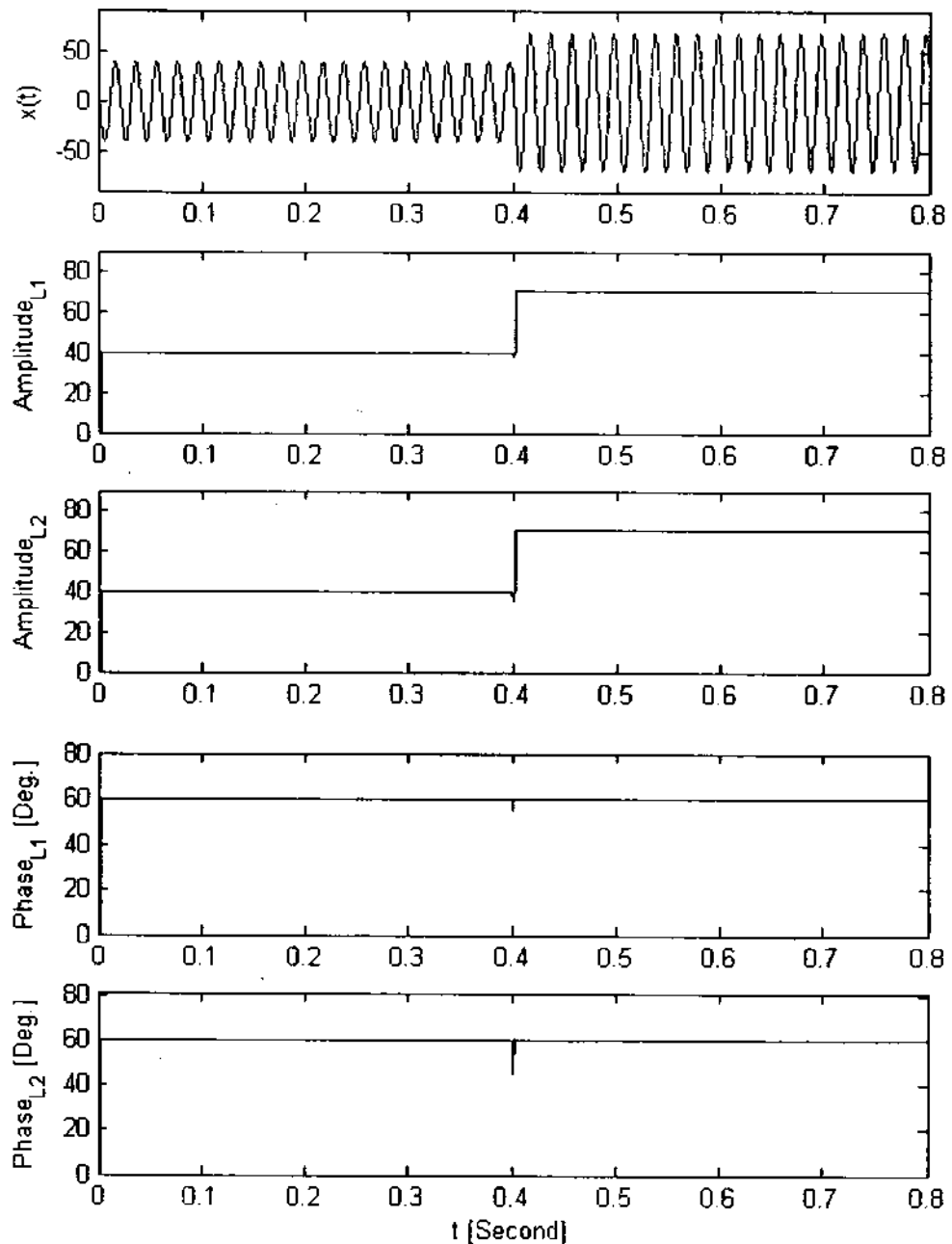
กำหนดสัญญาณระบบไฟฟ้าที่สังเคราะห์ด้วยความถี่ 50 [Hz] เป็นลักษณะรูปแบบคลื่นไซน์ที่มีมุมเฟสคงที่ 60 [องศา] สำหรับช่วงเวลา  $0 \leq t \leq 0.8$  [วินาที] แต่มีขนาดสัญญาณ 40 เมื่อเวลา  $0 \leq t < 0.4$  [วินาที] และขนาดสัญญาณ 70 เมื่อเวลา  $0.4 \leq t \leq 0.8$  [วินาที] ดังแสดงไว้ด้วยสมการ,

$$x(t) = \begin{cases} 40 \cos(314t + 60^\circ) & , \quad 0.0 \leq t < 0.4 \\ 70 \cos(314t + 60^\circ) & , \quad 0.4 \leq t \leq 0.8 \end{cases} \quad (4-2)$$

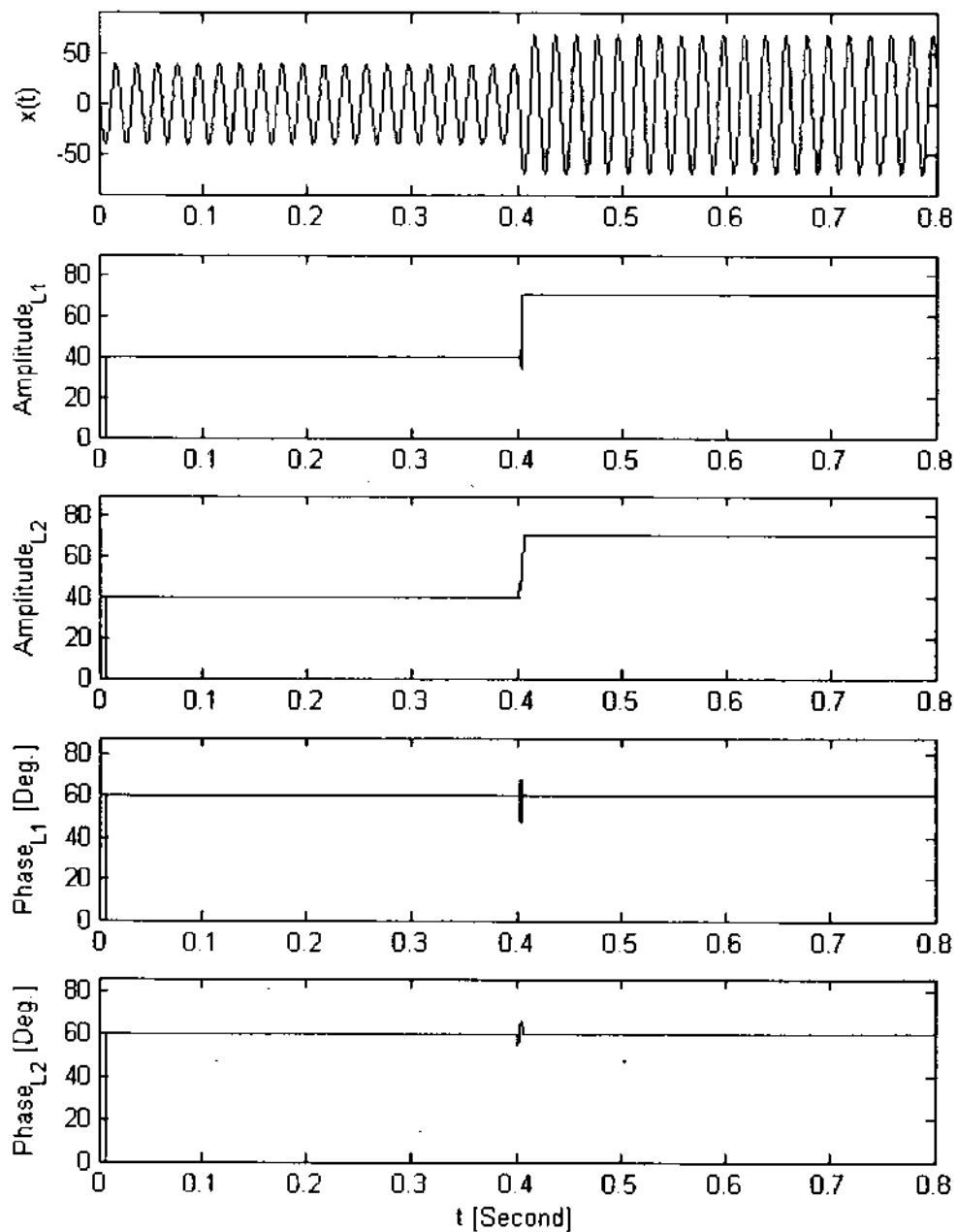
เมื่อเลือกความถี่สุ่มตัวอย่างสัญญาณ  $x(t)$  ที่ 3 [กิโลเฮิรตซ์] ( $f_s = 3$  [kHz]) ทำให้ได้สัญญาณทางไฟฟ้าที่มีขนาด 40 และมุมเฟส 60 [องศา] ณ ช่วงเวลาจริง  $0 \leq t < 0.4$  [วินาที] และที่มีขนาด 70 และมุมเฟส 60 [องศา] ณ ช่วงเวลาจริง  $0.4 \leq t < 0.8$  [วินาที] ในรูปแบบกราฟ  $x(t)$  เทียบกับเวลา  $t$  [วินาที] ดังแสดงไว้ในภาพแถบบนสุดของรูป 4.4 รูป 4.5 และรูป 4.6 เมื่อใช้เทคนิคทางพีชคณิตสำหรับกรณี que เลือกจำนวนข้อมูล  $P = 10$  ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ทำให้ผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-2) ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สองและภาพแถวที่สามของรูป 4.4 ตามลำดับ ต่อจากนั้นคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณในสมการ (4-2) นี้ในรูปแบบเวลาจริง ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ได้ผลดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สี่และภาพแถวที่ห้าของรูป 4.4 ตามลำดับ

สำหรับการใช้เทคนิคทางพีชคณิตสำหรับกรณี que เลือกจำนวนข้อมูล  $P = 20$  ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ทำให้ผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-2) ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สองและภาพแถวที่สามของรูป 4.5 ตามลำดับ ต่อจากนั้นคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณในสมการ (4-2) นี้ในรูปแบบเวลาจริง ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ได้ผลดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สี่และภาพแถวที่ห้าของรูป 4.5 ตามลำดับ

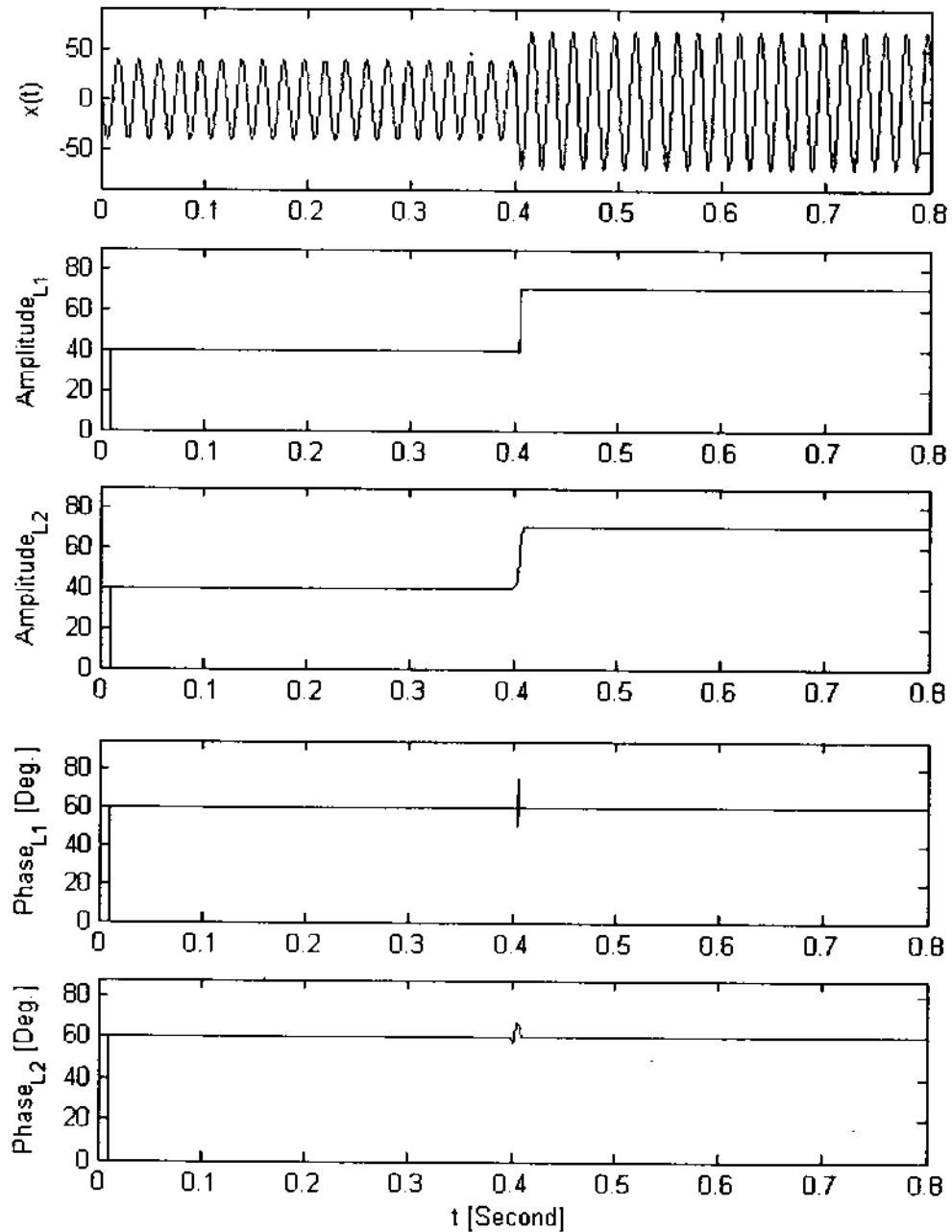
สำหรับการใช้เทคนิคทางพีชคณิตสำหรับกรณี que เลือกจำนวนข้อมูล  $P = 30$  ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ทำให้ผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-2) ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สองและภาพแถวที่สามของรูป 4.6 ตามลำดับ ต่อจากนั้นคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณในสมการ (4-2) นี้ในรูปแบบเวลาจริง ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ได้ผลดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สี่และภาพแถวที่ห้าของรูป 4.6 ตามลำดับ



รูป 4.4 การประมาณค่าขนาดที่เปลี่ยนแปลงและมุมเฟสที่คงที่ในสัญญาณเชิงสังเคราะห์ความถี่ 50 [Hz] ที่ถูกสุ่มตัวอย่างด้วยข้อมูลด้วยความถี่สุ่ม 3 [kHz] สำหรับกรณี  $P = 10$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



รูป 4.5 การประมาณค่าขนาดที่เปลี่ยนแปลงและมุมเฟสที่คงที่ในสัญญาณเชิงสังเคราะห์ความถี่ 50 [Hz] ที่ถูกสุ่มตัวอย่างข้อมูลด้วยความถี่สุ่ม 3 [kHz] สำหรับกรณี  $P = 20$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



รูป 4.6 การประมาณค่าขนาดที่เปลี่ยนแปลงและมุมเฟสที่คงที่ในสัญญาณเชิงสังเคราะห์ความถี่ 50 [Hz] ที่ถูกสุ่มตัวอย่างข้อมูลด้วยความถี่สุ่ม 3 [kHz] สำหรับกรณี  $P = 30$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



### 4.1.3 ผลการทดลองการหาค่าขนาดที่คงที่และมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงในสัญญาณ

บ่อยครั้งที่สัญญาณทางไฟฟ้า ณ เวลาจริงในระบบมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะมุมเฟสแต่ขนาดคงที่ ดังนั้น อัลกอริทึมที่ใช้แนวคิดพีชคณิตที่กล่าวในงานวิจัยนี้ ต้องสามารถคำนวณหาค่าขนาดที่คงที่และมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลง ณ เวลาจริงได้ดังแสดงไว้ในผลการทดลองการหาค่าขนาดที่คงที่และมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงในสัญญาณที่จะกล่าวในตอนต่อไป

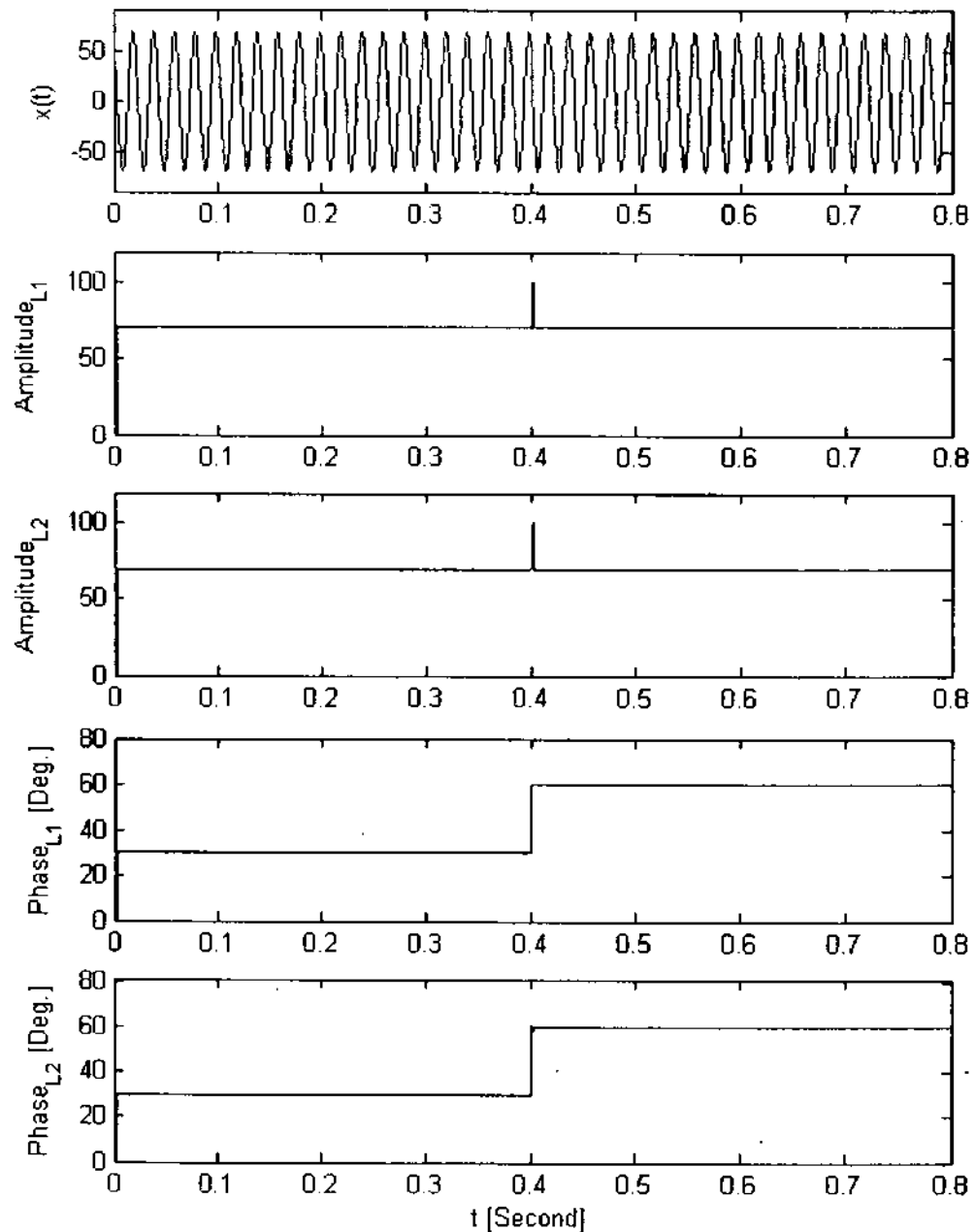
กำหนดสัญญาณระบบไฟฟ้าที่สังเคราะห์ด้วยความถี่ 50 [Hz] เป็นลักษณะรูปแบบคลื่นไซน์ที่มีขนาดสัญญาณคงที่ 70 สำหรับช่วงเวลา  $0 \leq t \leq 0.8$  [วินาที] แต่มีมุมเฟสสัญญาณเท่ากับ 30 [องศา] เมื่อเวลา  $0 \leq t < 0.4$  [วินาที] และมุมเฟสสัญญาณเท่ากับ 60 เมื่อเวลา  $0.4 \leq t \leq 0.8$  [วินาที] ดังแสดงไว้ด้วยสมการ

$$x(t) = \begin{cases} 70 \cos(314t + 30^\circ) & , 0.0 \leq t < 0.4 \\ 70 \cos(314t + 60^\circ) & , 0.4 \leq t \leq 0.8 \end{cases} \quad (4-3)$$

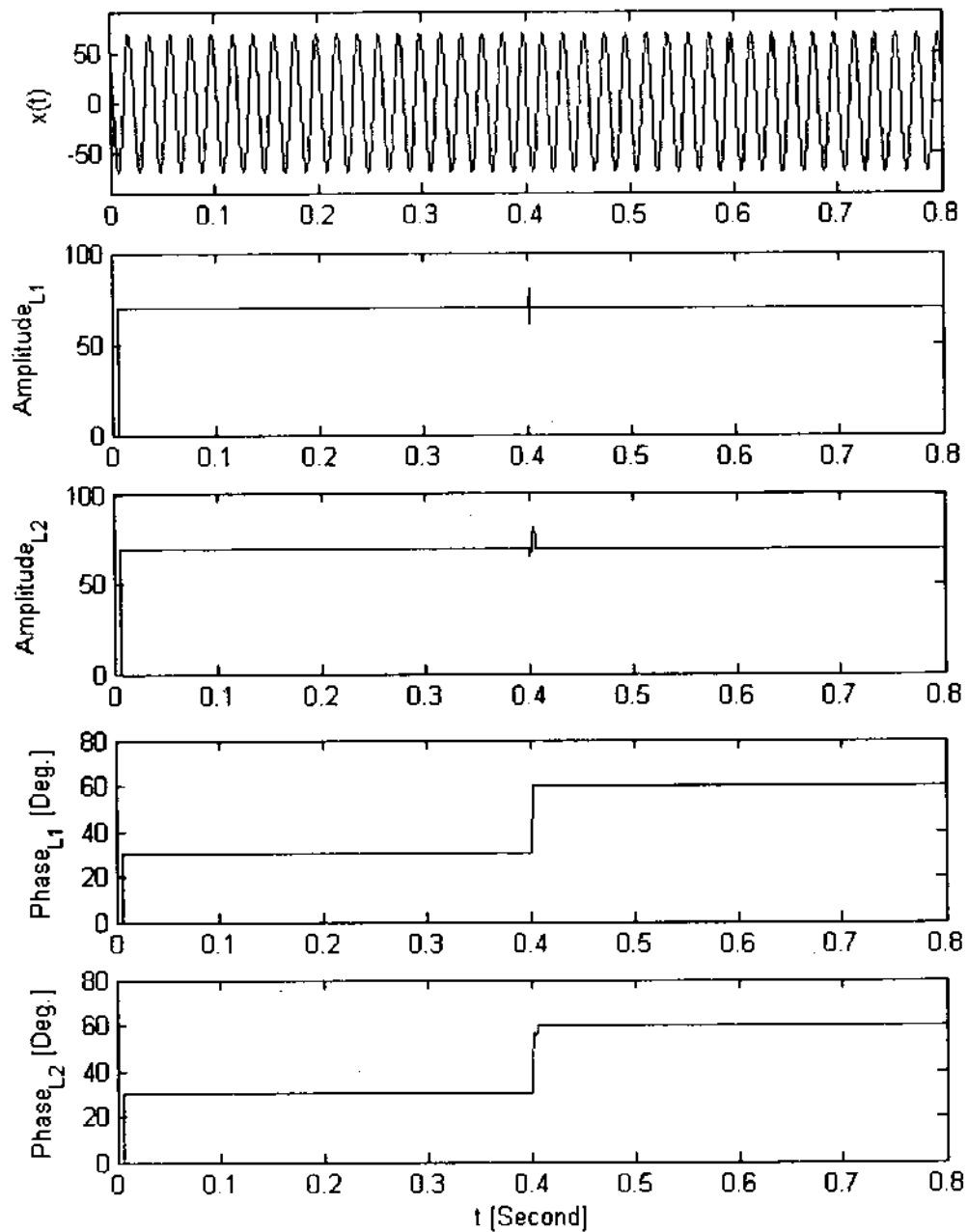
เมื่อเลือกความถี่สุ่มตัวอย่างสัญญาณ  $x(t)$  ที่ 3 [กิโลเฮิร์ตซ์] ( $f_s = 3$  [kHz]) ทำให้ได้สัญญาณทางไฟฟ้าที่มีขนาด 70 และมุมเฟส 30 [องศา] ณ ช่วงเวลาจริง  $0 \leq t < 0.4$  [วินาที] และที่มีขนาด 70 และมุมเฟส 60 [องศา] ณ ช่วงเวลาจริง  $0.4 \leq t < 0.8$  [วินาที] ในรูปแบบกราฟ  $x(t)$  เทียบกับเวลา  $t$  [วินาที] ดังแสดงไว้ในภาพแฉกบนสุดของรูป 4.7 รูป 4.8 และรูป 4.9 เมื่อใช้เทคนิคทางพีชคณิตสำหรับกรณีที่เลือกจำนวนข้อมูล  $P = 10$  ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ทำให้ผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-3) ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแฉกที่สองและภาพแฉกที่สามของรูป 4.7 ตามลำดับ ต่อจากนั้นคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณในสมการ (4-2) นี้ในรูปแบบเวลาจริง ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ได้ผลดังแสดงไว้ในภาพแฉกที่สี่และภาพแฉกที่ห้าของรูป 4.7 ตามลำดับ

สำหรับการใช้เทคนิคทางพีชคณิตสำหรับกรณีที่เลือกจำนวนข้อมูล  $P = 20$  ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ทำให้ผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-3) ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแฉกที่สองและภาพแฉกที่สามของรูป 4.8 ตามลำดับ ต่อจากนั้นคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณในสมการ (4-3) นี้ในรูปแบบเวลาจริง ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ได้ผลดังแสดงไว้ในภาพแฉกที่สี่และภาพแฉกที่ห้าของรูป 4.8 ตามลำดับ

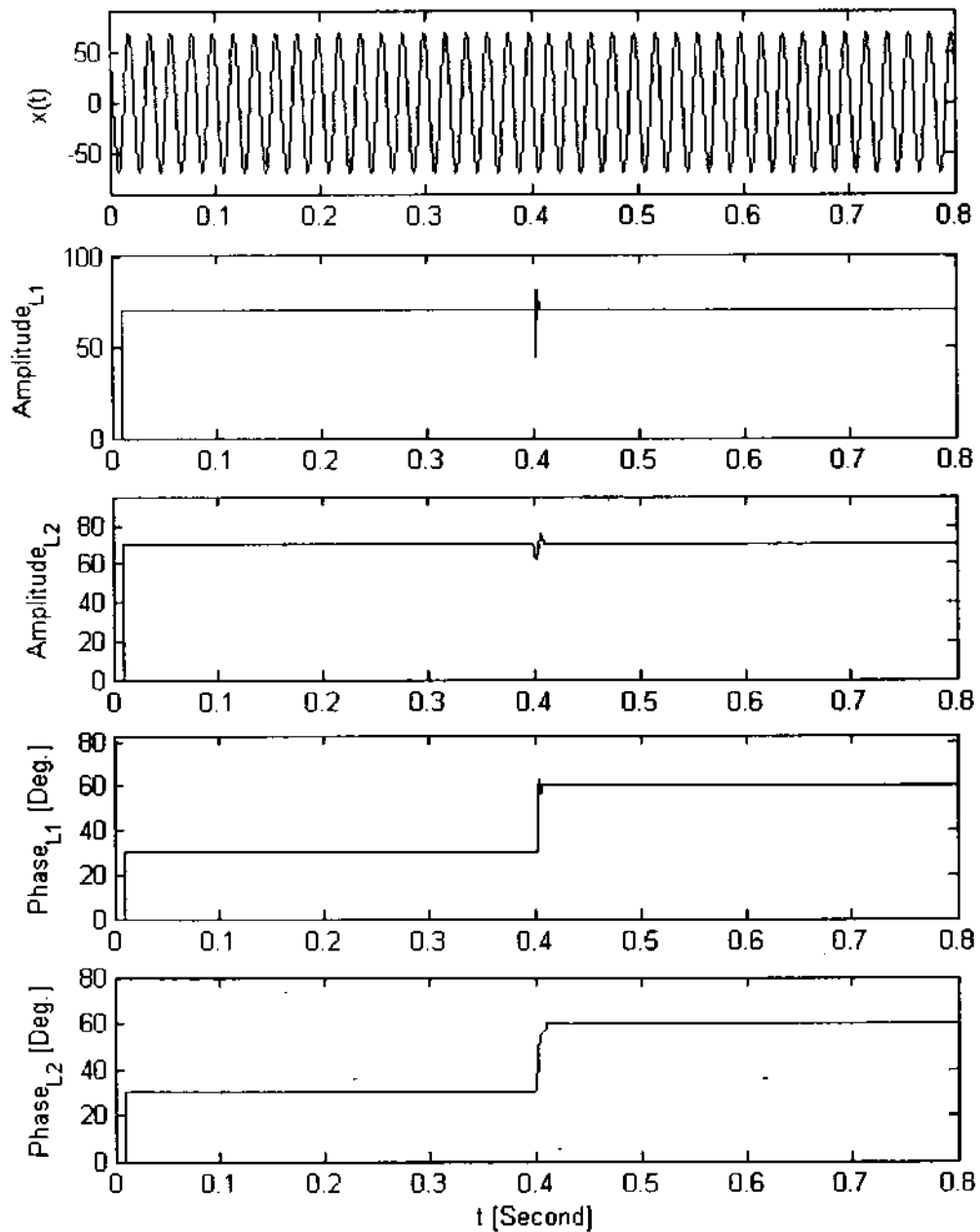
สำหรับการใช้เทคนิคทางพีชคณิตสำหรับกรณีที่เลือกจำนวนข้อมูล  $P = 30$  ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ทำให้ผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-3) ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแฉกที่สองและภาพแฉกที่สามของรูป 4.9 ตามลำดับ ต่อจากนั้นคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณในสมการ (4-3) นี้ในรูปแบบเวลาจริง ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ได้ผลดังแสดงไว้ในภาพแฉกที่สี่และภาพแฉกที่ห้าของรูป 4.9 ตามลำดับ



รูป 4.7 การประมาณค่าขนาดที่คงที่และมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงในสัญญาณเชิงสังเคราะห์ความถี่ 50 [Hz] ที่ถูกสุ่มตัวอย่างข้อมูลด้วยความถี่สุ่ม 3 [kHz] สำหรับกรณี  $P = 10$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



รูป 4.8 การประมาณค่าขนาดที่คงที่และมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงในสัญญาณเชิงสังเคราะห์ความถี่ 50 [Hz] ที่ถูกสุ่มตัวอย่างข้อมูลด้วยความถี่สุ่ม 3 [kHz] สำหรับกรณี  $P = 20$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



รูป 4.9 การประมาณค่าขนาดที่คงที่และมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงในสัญญาณเชิงสังเคราะห์ความถี่ 50 [Hz] ที่ถูกสุ่มตัวอย่างข้อมูลด้วยความถี่สุ่ม 3 [kHz] สำหรับกรณี  $P = 30$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)

#### 4.1.4 ผลการทดลองการหาค่าขนาดและมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงในสัญญาณ

โดยทั่วไป สัญญาณทางไฟฟ้าที่เวลาจริงในระบบมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและมุมเฟส ดังนั้น อัลกอริทึมที่ใช้แนวคิดพีชคณิตที่กล่าวในงานวิจัยนี้ยังสามารถคำนวณหาค่าขนาดและมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลง ณ เวลาจริงได้ดังแสดงไว้ในผลการทดลองการหาค่าขนาดที่เปลี่ยนแปลงและมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงในสัญญาณที่จะกล่าวในคอนต่อไปนี้

กำหนดสัญญาณระบบไฟฟ้าที่สังเคราะห์ด้วยความถี่ 50 [Hz] เป็นลักษณะรูปแบบคลื่นไซน์ที่มีขนาด 70 และมีมุมเฟส 60 [องศา] สำหรับช่วงเวลาจริง  $0 \leq t < 0.4$  [วินาที] และมีขนาดสัญญาณ 40 และมีมุมเฟส 60 [องศา] สำหรับช่วงเวลาจริง  $0.4 \leq t \leq 0.8$  [วินาที] ดังแสดงไว้ด้วยสมการ

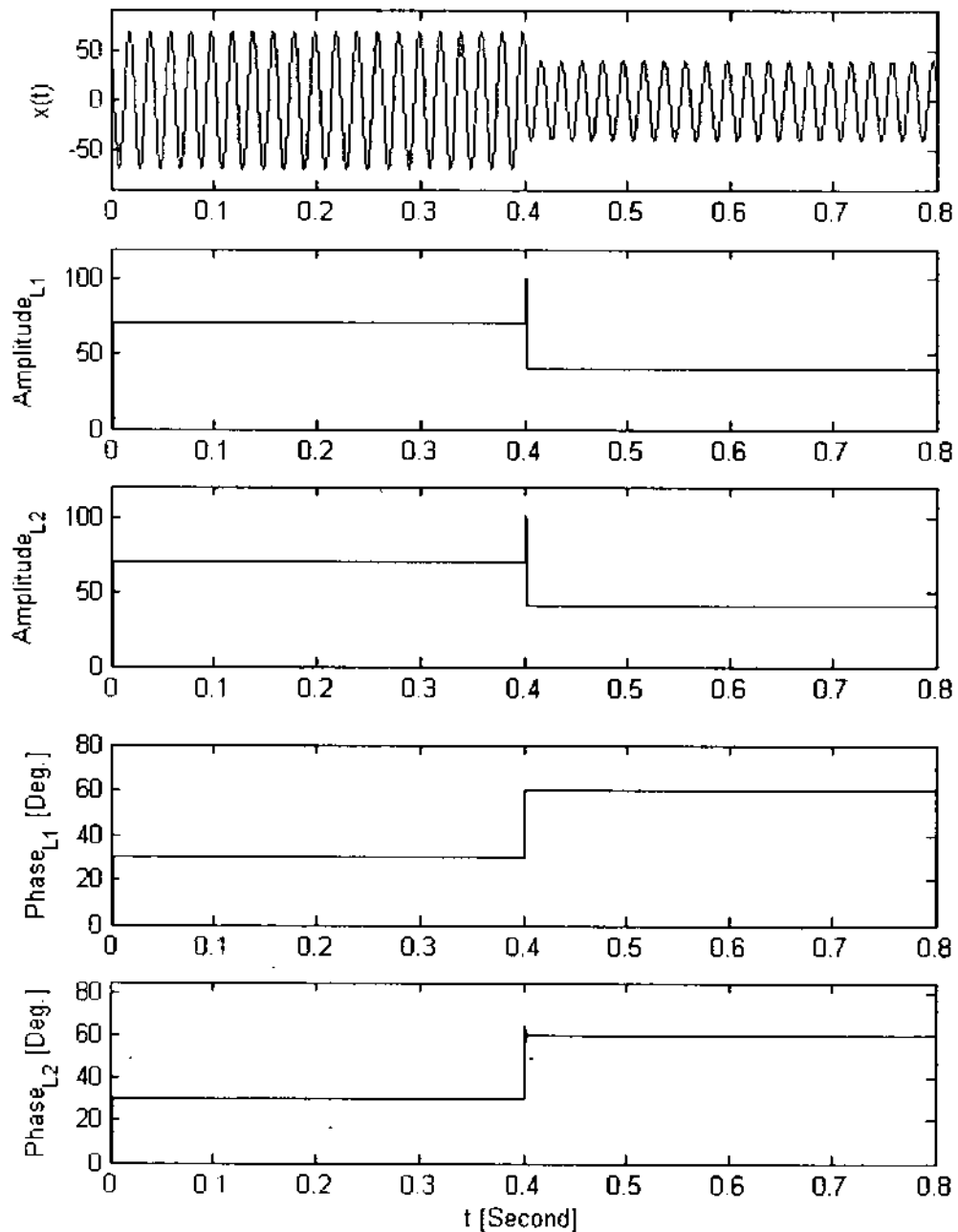
$$x(t) = \begin{cases} 70 \cos(314t + 30^\circ) & , \quad 0.0 \leq t < 0.4 \\ 40 \cos(314t + 60^\circ) & , \quad 0.4 \leq t \leq 0.8 \end{cases} \quad (4-4)$$

โดยการเลือกความถี่สุ่มตัวอย่างสัญญาณ  $x(t)$  ที่ 3 [กิโลเฮิร์ตซ์] ( $f_s = 3$  [kHz]) ทำให้ได้สัญญาณทางไฟฟ้าที่มีขนาด 70 และมีมุมเฟส 30 [องศา] ณ ช่วงเวลาจริง  $0 \leq t < 0.4$  [วินาที] และที่มีขนาด 40 และมีมุมเฟส 60 [องศา] ณ ช่วงเวลาจริง  $0.4 \leq t < 0.8$  [วินาที] ในรูปแบบกราฟ  $x(t)$  เทียบกับเวลา  $t$  [วินาที] ดังแสดงไว้ในภาพแถบบนสุดของรูป 4.10 รูป 4.11 และรูป 4.12

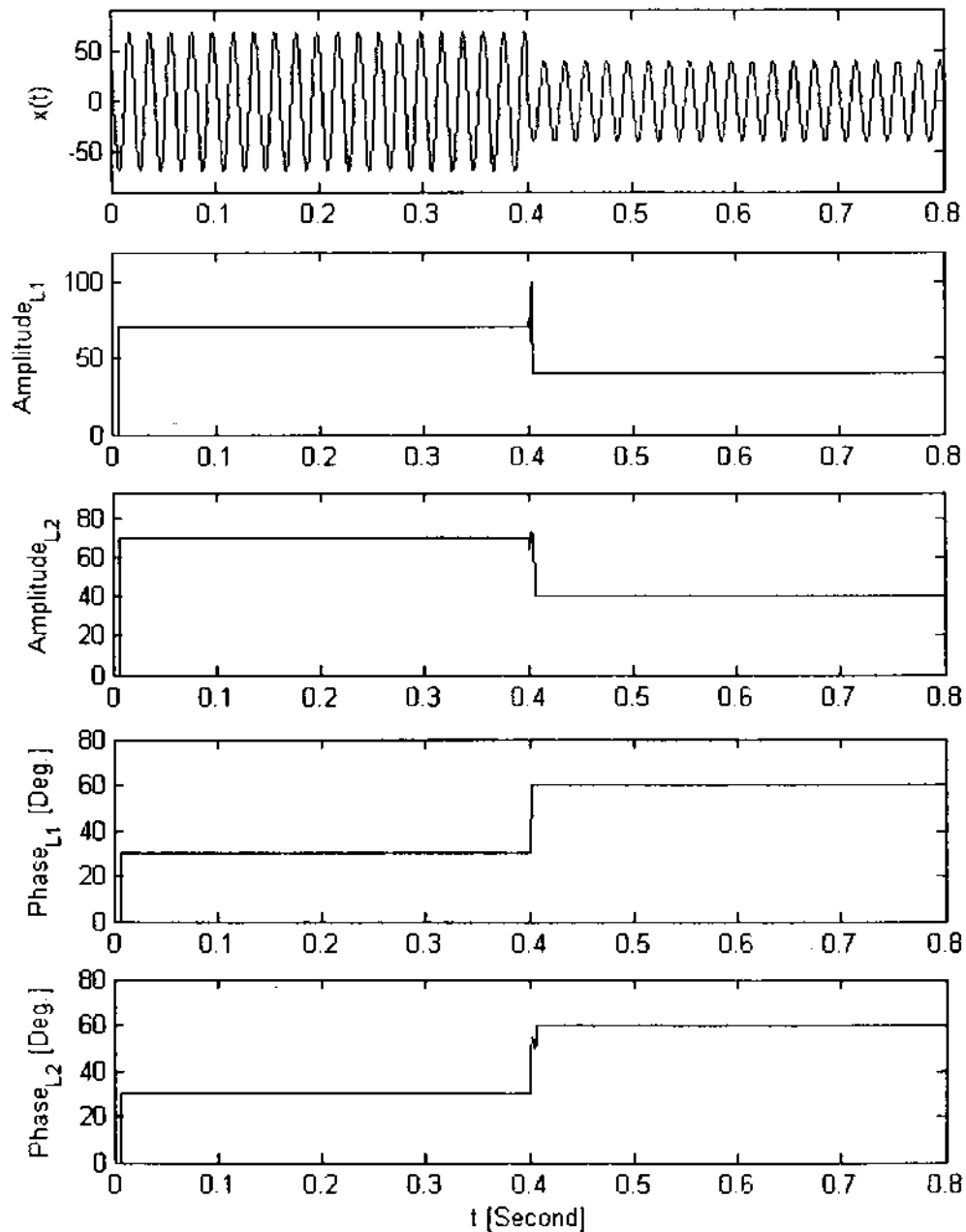
เมื่อใช้เทคนิคทางพีชคณิตสำหรับกรณีที่เลือกจำนวนข้อมูล  $P = 10$  ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ทำให้ผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-4) ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สองและภาพแถวที่สามของรูป 4.10 ตามลำดับ ต่อจากนั้นคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณในสมการ (4-4) นี้ในรูปแบบเวลาจริง ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ได้ผลดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สี่และภาพแถวที่ห้าของรูป 4.10 ตามลำดับ

สำหรับการใช้เทคนิคทางพีชคณิตสำหรับกรณีที่เลือกจำนวนข้อมูล  $P = 20$  ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ทำให้ผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-4) ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สองและภาพแถวที่สามของรูป 4.11 ตามลำดับ ต่อจากนั้นคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณในสมการ (4-4) นี้ในรูปแบบเวลาจริง ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ได้ผลดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สี่และภาพแถวที่ห้าของรูป 4.11 ตามลำดับ

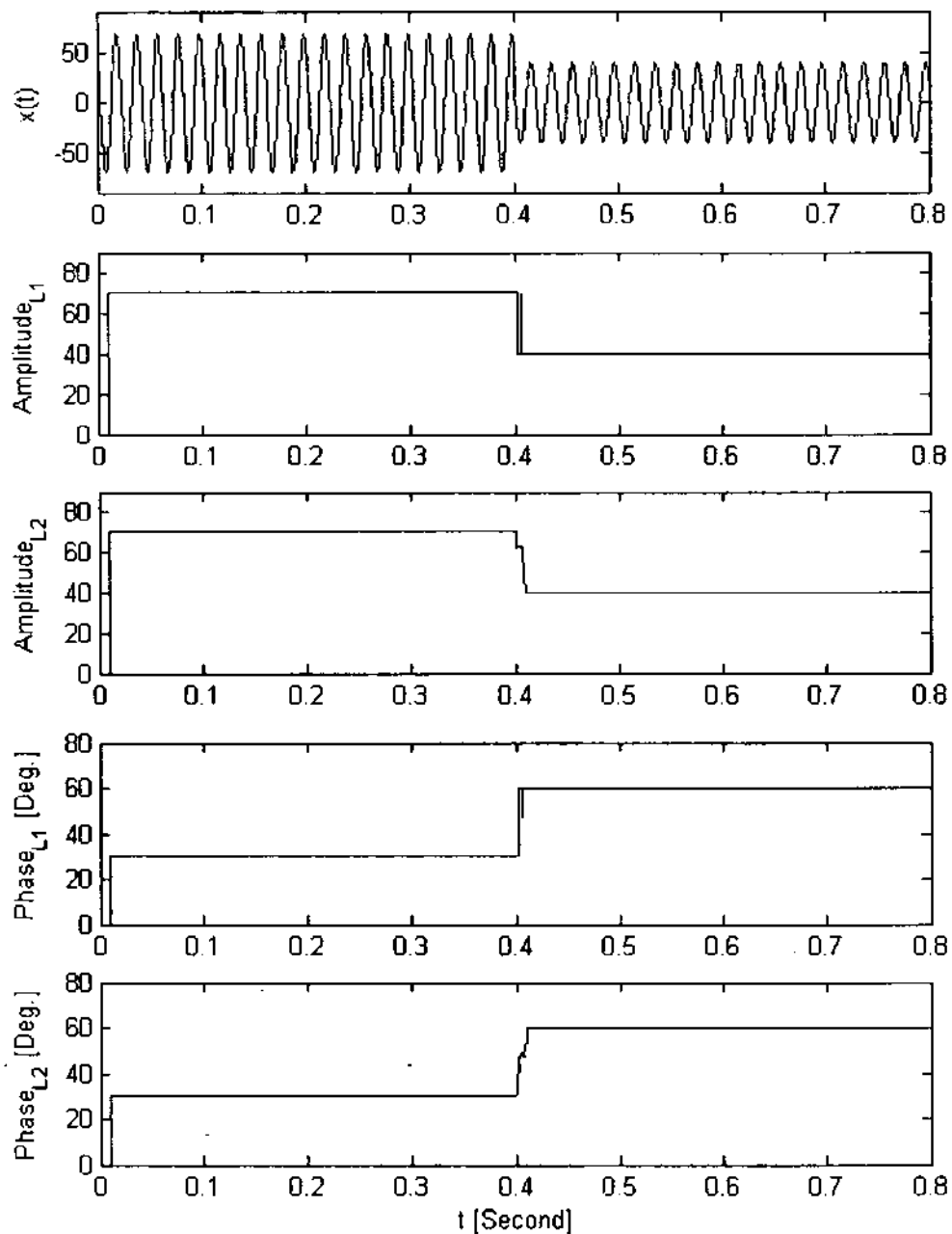
สำหรับการใช้เทคนิคทางพีชคณิตสำหรับกรณีที่เลือกจำนวนข้อมูล  $P = 30$  ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ทำให้ผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-4) ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สองและภาพแถวที่สามของรูป 4.12 ตามลำดับ ต่อจากนั้นคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณในสมการ (4-4) นี้ในรูปแบบเวลาจริง ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ได้ผลดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สี่และภาพแถวที่ห้าของรูป 4.12 ตามลำดับ



รูป 4.10 การประมาณค่าขนาดที่เปลี่ยนแปลงและมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงในสัญญาณเชิงสังเคราะห์ ความถี่ 50 [Hz] ที่ถูกสุ่มตัวอย่างข้อมูลด้วยความถี่สุ่ม 3 [kHz] สำหรับกรณี  $P = 10$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



รูป 4.11 การประมาณค่าขนาดที่เปลี่ยนแปลงและมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงในสัญญาณเชิงสังเคราะห์ ความถี่ 50 [Hz] ที่ถูกสุ่มตัวอย่างข้อมูลด้วยความถี่สุ่ม 3 [kHz] สำหรับกรณี  $P = 20$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



รูป 4.12 การประมาณค่าขนาดที่เปลี่ยนแปลงและมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงในสัญญาณเชิงสังเคราะห์ ความถี่ 50 [Hz] ที่ถูกสุ่มตัวอย่างข้อมูลด้วยความถี่สุ่ม 3 [kHz] สำหรับกรณี  $P = 30$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



#### 4.1.5 ผลการทดลองการหาค่าทั้งขนาดและมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงในสามช่วงเวลา

ในกรณี สมมุติว่าสัญญาณทางไฟฟ้าที่เวลาจริงในระบบมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและมุมเฟส ในสามช่วงเวลา กล่าวคือ กำหนดสัญญาณระบบไฟฟ้าที่สังเคราะห์ด้วยความถี่ 50 [Hz] เป็นลักษณะรูปแบบคลื่นไซน์ที่มีขนาด 30 และมุมเฟส 45 [องศา] สำหรับช่วงเวลาจริง  $0 \leq t \leq 0.27$  [วินาที] และในช่วงจริงเวลาต่อมา  $0.27 < t \leq 0.53$  สัญญาณมีขนาด 70 และมีมุมเฟส 30 [องศา] และสำหรับช่วงเวลาจริง  $0.53 < t \leq 0.80$  [วินาที] สัญญาณมีขนาดเท่ากับ 50 และมุมเฟสเท่ากับ 60 [องศา] ดังแสดงไว้ด้วยสมการ

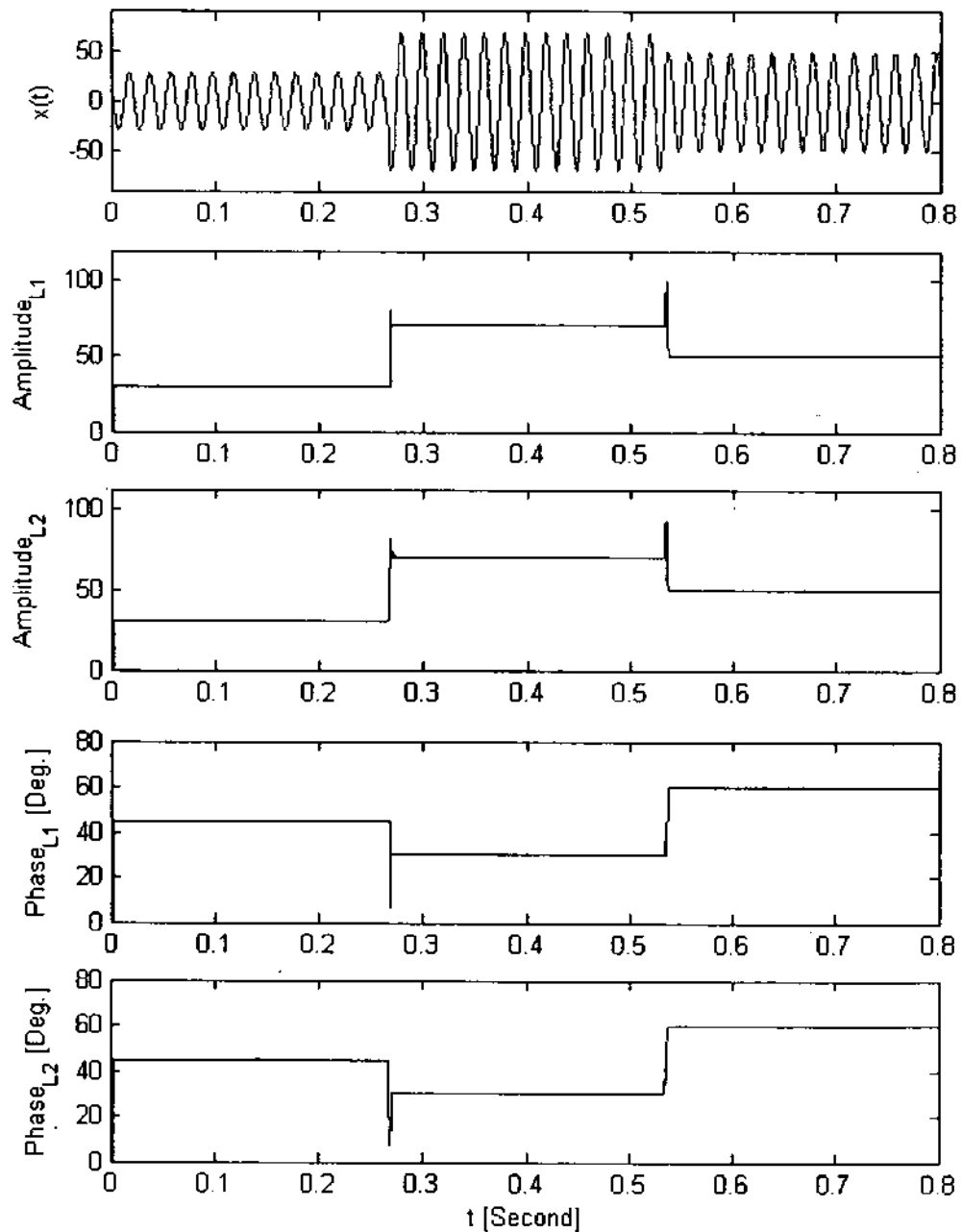
$$x(t) = \begin{cases} 30 \cos(314t + 45^\circ) & , 0.00 \leq t \leq 0.27 \\ 70 \cos(314t + 30^\circ) & , 0.27 < t \leq 0.53 \\ 50 \cos(314t + 60^\circ) & , 0.53 < t \leq 0.80 \end{cases} \quad (4-5)$$

โดยการเลือกความถี่สุ่มตัวอย่างสัญญาณ  $x(t)$  ที่ 3 [กิโลเฮิรตซ์] ( $f_s = 3$  [kHz]) ทำให้ได้สัญญาณทางไฟฟ้าที่มีขนาด 30 และมุมเฟส 45 [องศา] ณ ช่วงเวลาจริง  $0 \leq t \leq 0.27$  [วินาที] และที่มีขนาด 70 และมุมเฟส 30 [องศา] ณ ช่วงเวลาจริง  $0.27 < t \leq 0.53$  [วินาที] และที่มีขนาด 50 และมุมเฟส 60 [องศา] ณ ช่วงเวลาจริง  $0.53 < t \leq 0.80$  [วินาที] ในรูปแบบกราฟ  $x(t)$  เทียบกับเวลา  $t$  [วินาที] ดังแสดงไว้ในภาพแฉวนสุดของรูป 4.13 รูป 4.14 และรูป 4.15

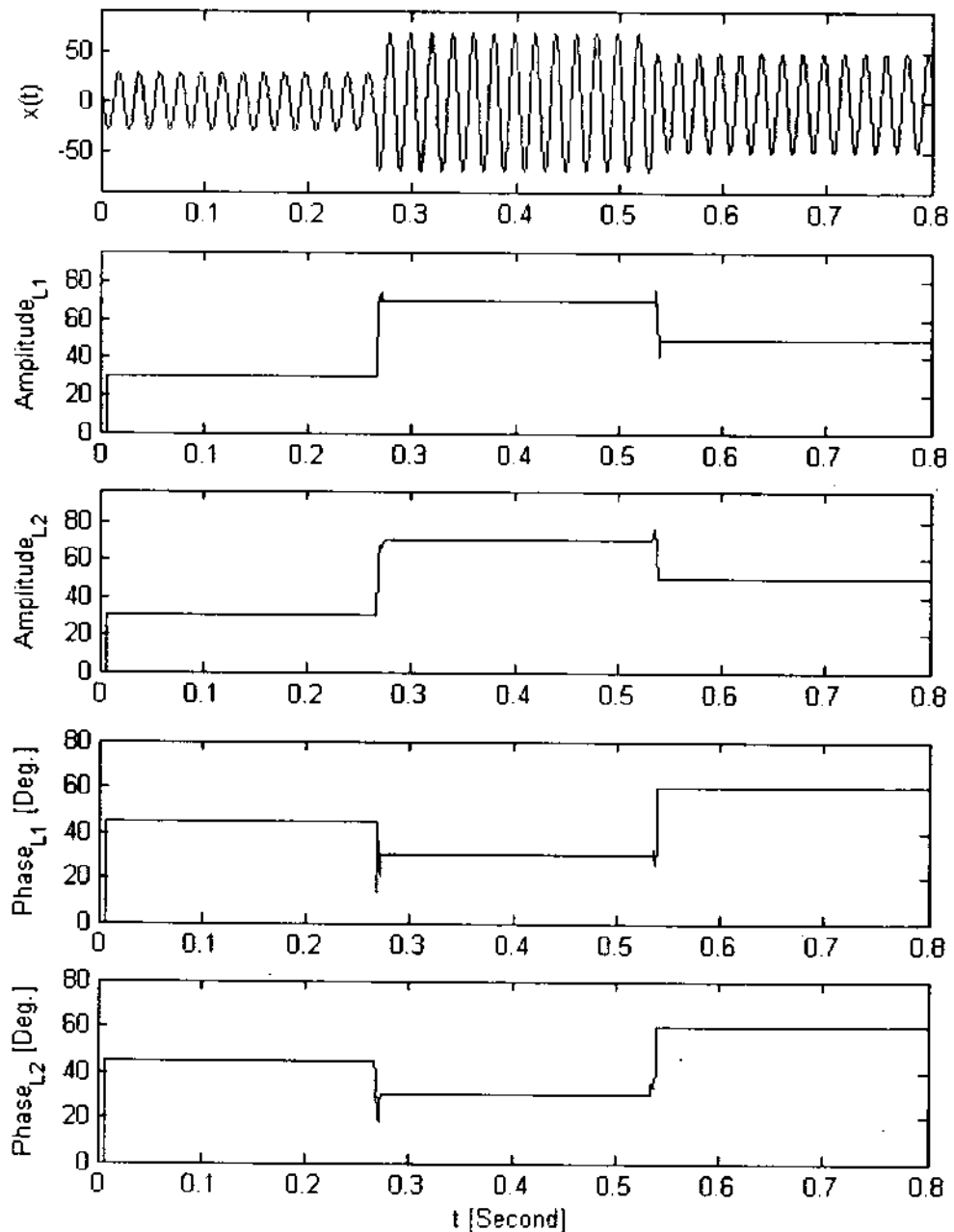
เมื่อใช้เทคนิคทางพีชคณิตสำหรับกรณีที่เลือกจำนวนข้อมูล  $P = 10$  ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ทำให้ผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-5) ด้วยวิธี  $l_1$  และ  $l_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแฉวที่สองและภาพแฉวที่สามของรูป 4.13 ตามลำดับ ต่อจากนั้นคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณในสมการ (4-5) นี้ในรูปแบบเวลาจริง ด้วยวิธี  $l_1$  และ  $l_2$  Norm ได้ผลดังแสดงไว้ในภาพแฉวที่สี่และภาพแฉวที่ห้าของรูป 4.13 ตามลำดับ

สำหรับการใช้เทคนิคทางพีชคณิตสำหรับกรณีที่เลือกจำนวนข้อมูล  $P = 20$  ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ทำให้ผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-5) ด้วยวิธี  $l_1$  และ  $l_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแฉวที่สองและภาพแฉวที่สามของรูป 4.14 ตามลำดับ ต่อจากนั้นคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณในสมการ (4-5) นี้ในรูปแบบเวลาจริง ด้วยวิธี  $l_1$  และ  $l_2$  Norm ได้ผลดังแสดงไว้ในภาพแฉวที่สี่และภาพแฉวที่ห้าของรูป 4.14 ตามลำดับ

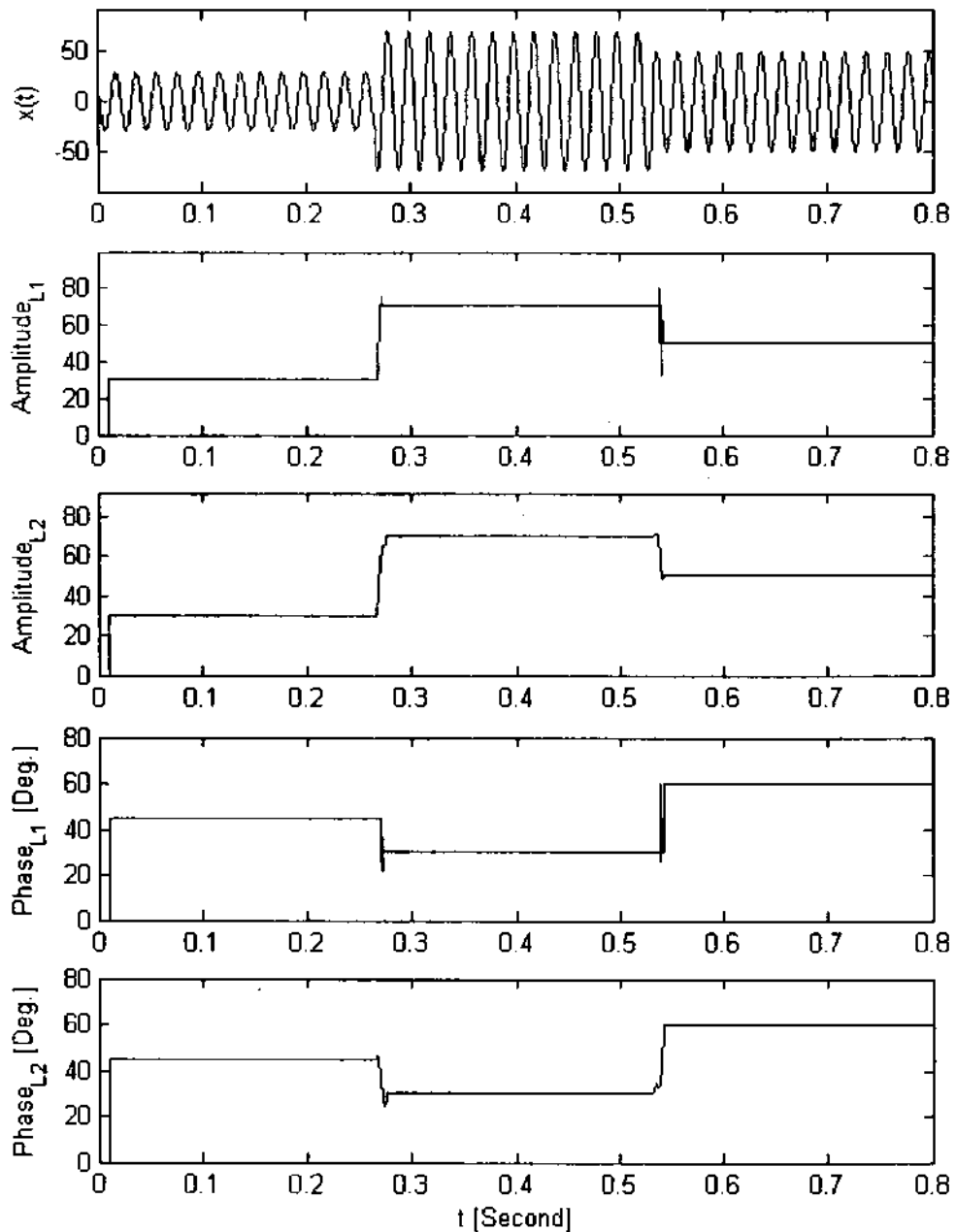
สำหรับการใช้เทคนิคทางพีชคณิตสำหรับกรณีที่เลือกจำนวนข้อมูล  $P = 30$  ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ทำให้ผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-5) ด้วยวิธี  $l_1$  และ  $l_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแฉวที่สองและภาพแฉวที่สามของรูป 4.15 ตามลำดับ ต่อจากนั้นคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณในสมการ (4-5) นี้ในรูปแบบเวลาจริง ด้วยวิธี  $l_1$  และ  $l_2$  Norm ได้ผลดังแสดงไว้ในภาพแฉวที่สี่และภาพแฉวที่ห้าของรูป 4.15 ตามลำดับ



รูป 4.13 การประมาณค่าขนาดและมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงในสามช่วงเวลาจริงของสัญญาณเชิงสังเคราะห์ ความถี่ 50 [Hz] ที่ถูกสุ่มตัวอย่างข้อมูลด้วยความถี่สุ่ม 3 [kHz] กรณี  $P = 10$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์ เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



รูป 4.14 การประมาณค่าขนาดและมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงในสามช่วงเวลาจริงของสัญญาณเชิงสังเคราะห์ ความถี่ 50 [Hz] ที่ถูกสุ่มตัวอย่างข้อมูลด้วยความถี่สุ่ม 3 [kHz] กรณี  $P = 20$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



รูป 4.15 การประมาณค่าขนาดและมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงในสามช่วงเวลาจริงของสัญญาณเชิงสังเคราะห์ ความถี่ 50 [Hz] ที่ถูกสุ่มตัวอย่างข้อมูลด้วยความถี่สุ่ม 3 [kHz] กรณี  $P = 30$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์ เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)

#### 4.1.6 ผลการทดลองการหาค่าขนาดและมุมเฟสกรณีมีสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม

ในกรณี สมมุติว่าสัญญาณไฟฟ้าที่เวลาจริงในระบบมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและมุมเฟสในสามช่วงเวลา กล่าวคือ กำหนดสัญญาณระบบไฟฟ้าที่สังเคราะห์ด้วยความถี่ 50 [Hz] เป็นลักษณะรูปแบบคลื่นไซน์ที่มีขนาด 30 และมุมเฟส 45 [องศา] สำหรับช่วงเวลาจริง  $0 \leq t \leq 0.27$  [วินาที] และในช่วงจริงเวลาต่อมา  $0.27 < t \leq 0.53$  สัญญาณมีขนาด 70 และมีมุมเฟส 30 [องศา] และสำหรับช่วงเวลาจริง  $0.53 < t \leq 0.80$  [วินาที] สัญญาณมีขนาดเท่ากับ 50 และมุมเฟสเท่ากับ 60 [องศา] ดังแสดงไว้ด้วยสมการ

$$s(t) = \begin{cases} 30 \cos(314t + 45^\circ) & , 0.00 \leq t \leq 0.27 \\ 70 \cos(314t + 30^\circ) & , 0.27 < t \leq 0.53 \\ 50 \cos(314t + 60^\circ) & , 0.53 < t \leq 0.80 \end{cases} \quad (4-6)$$

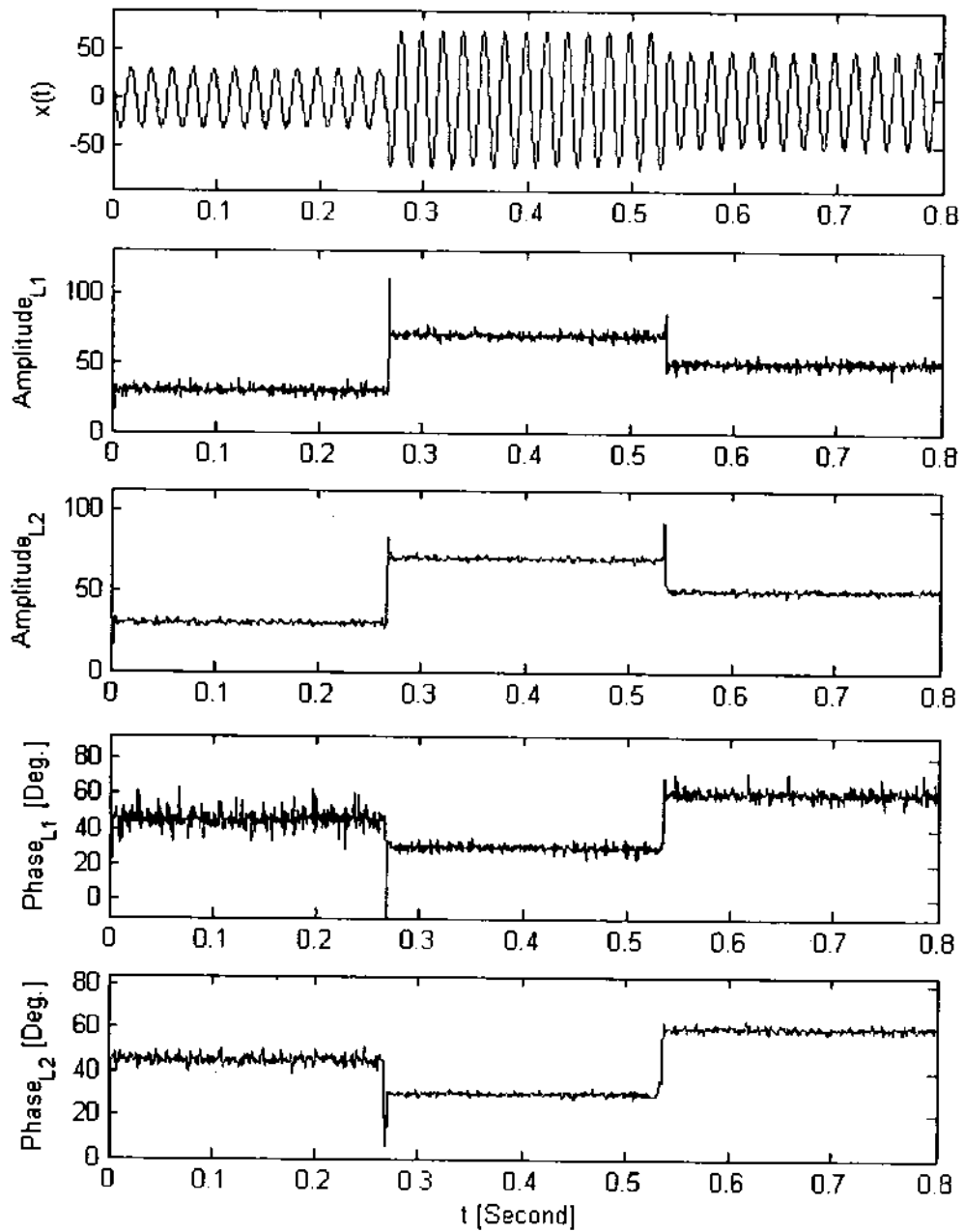
ต่อจากนั้น สัญญาณ  $s(t)$  ถูกรบกวนด้วยสัญญาณที่สุ่มมาจากเส้นโค้งธรรมชาติ (Gaussian curve) ที่มีค่าเฉลี่ยข้อมูลที่สุ่มเท่ากับศูนย์และมีค่าความแปรปรวนข้อมูลที่สุ่มเท่ากับหนึ่ง ซึ่งสัญญาณรบกวนดังกล่าวเขียนแทนด้วยสัญญาณ  $w(t)$  ทำให้ได้ผลรวมรูปคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้าลัพธ์  $x(t)$  คือ

$$x(t) = s(t) + w(t) \quad (4-7)$$

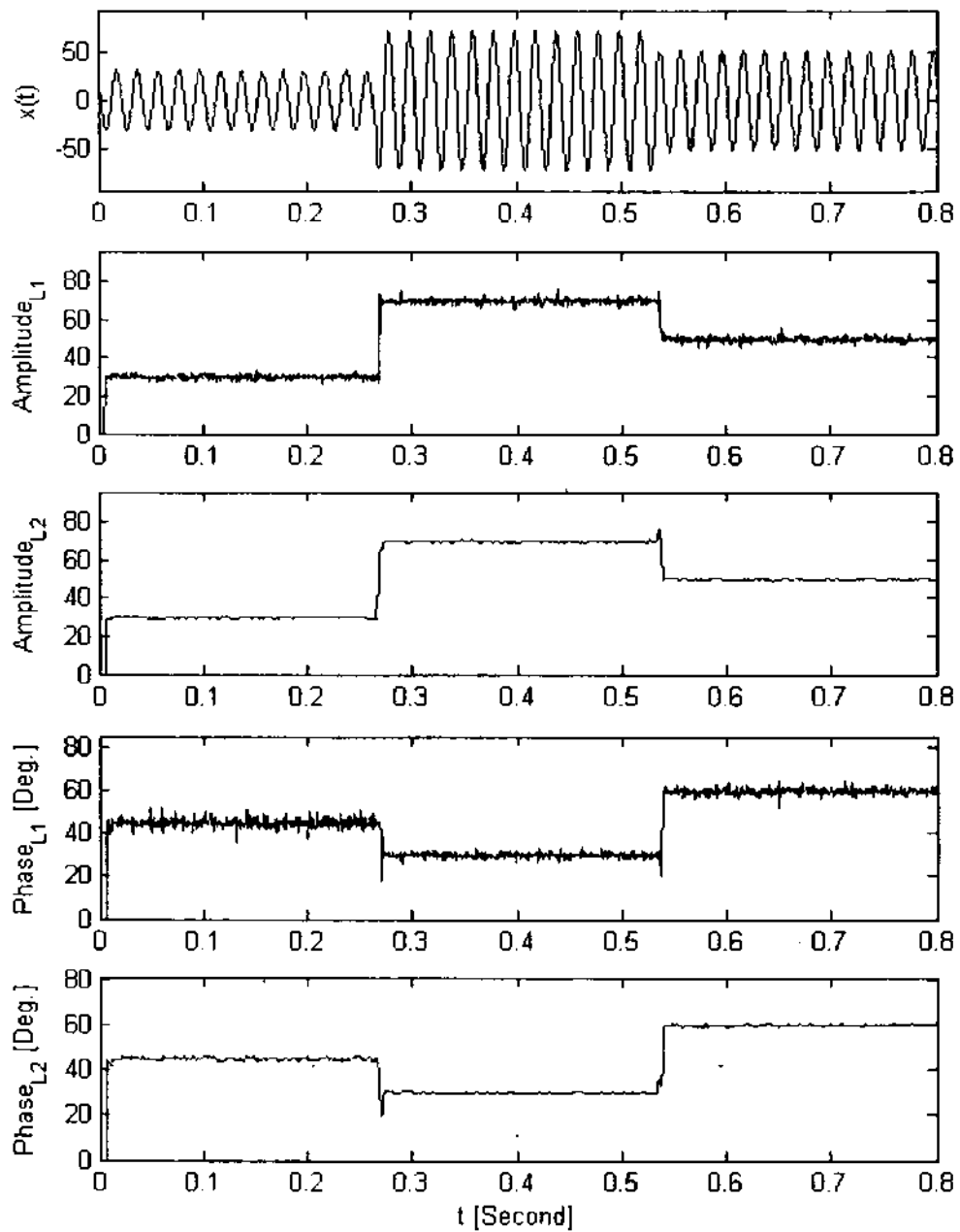
โดยการเลือกความถี่สุ่มตัวอย่างสัญญาณ  $x(t)$  ที่ 3 [กิโลเฮิรตซ์] ( $f_s = 3$  [kHz]) ทำให้ได้สัญญาณทางไฟฟ้าในสมการที่ (4-7) ในรูปแบบกราฟ  $x(t)$  เทียบกับเวลา  $t$  [วินาที] ดังแสดงไว้ในภาพแฉกบนสุดของรูป 4.16 รูป 4.17 และรูป 4.18 เมื่อใช้เทคนิคทางพีชคณิตสำหรับกรณี que เลือกจำนวนข้อมูล  $P = 10$  ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ทำให้ผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-7) ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแฉกที่สองและภาพแฉกที่สามของรูป 4.16 ตามลำดับ ต่อจากนั้นคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณในสมการ (4-7) นี้ในรูปแบบเวลาจริง ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ได้ผลดังแสดงไว้ในภาพแฉกที่สี่และภาพแฉกที่ห้าของรูป 4.16 ตามลำดับ

รูป 4.17 แสดงถึงผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-7) ด้วยวิธีทางพีชคณิตบนพื้นฐาน  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแฉกที่สองและภาพแฉกที่สามของรูปตามลำดับ และแสดงถึงผลการคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณนี้เทียบกับเวลาจริงด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแฉกที่สี่และภาพแฉกที่ห้าของรูปตามลำดับ สำหรับกรณี  $P = 20$

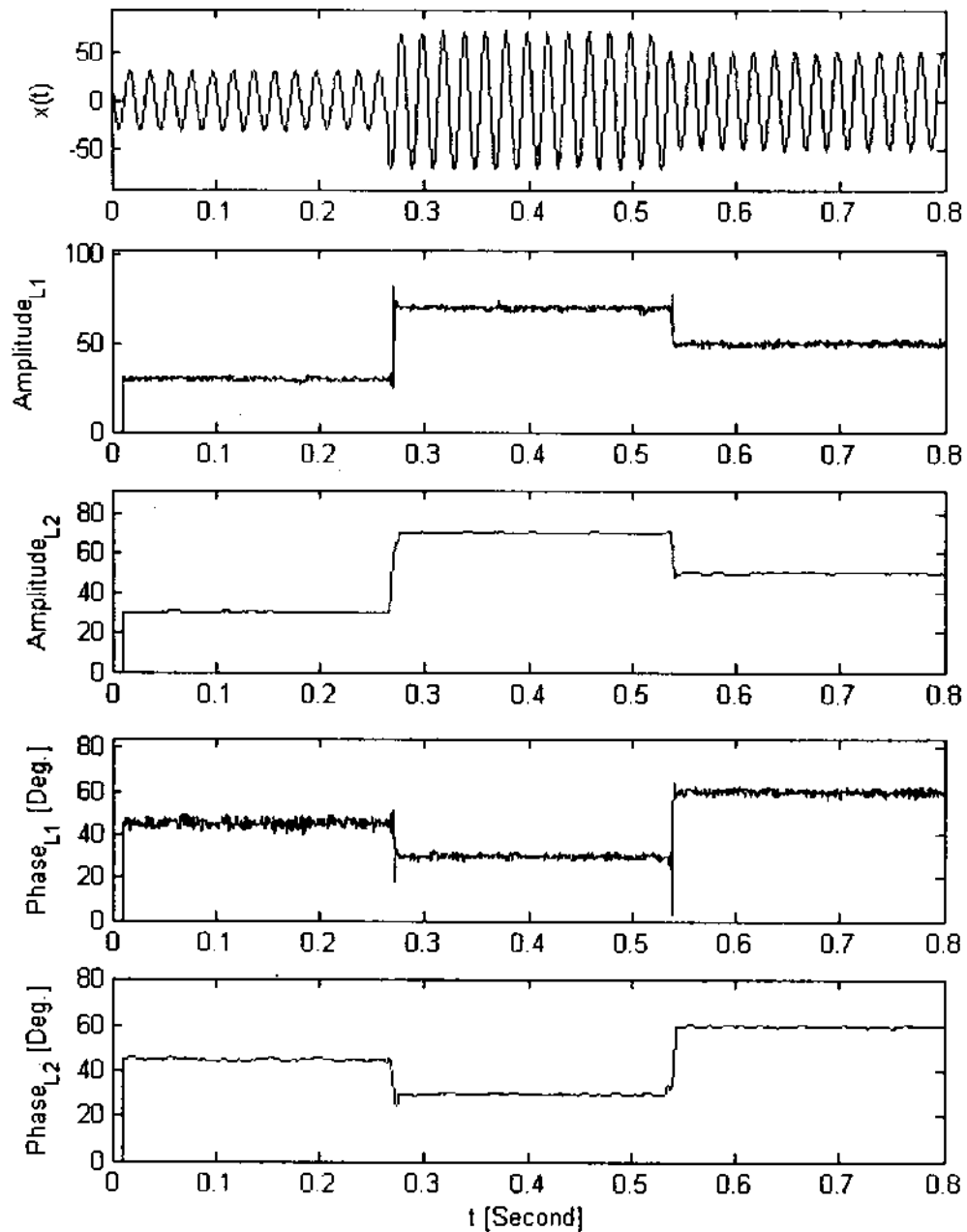
รูป 4.18 แสดงถึงผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-7) ด้วยวิธีทางพีชคณิตบนพื้นฐาน  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแฉกที่สองและภาพแฉกที่สามของรูปตามลำดับ และแสดงถึงผลการคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณนี้เทียบกับเวลาจริงด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแฉกที่สี่และภาพแฉกที่ห้าของรูปตามลำดับ สำหรับกรณี  $P = 30$



รูป 4.16 การประมาณค่าขนาดและมุมเฟสในสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนตามสมการที่ (4-7) สำหรับกรณี  $P = 10$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



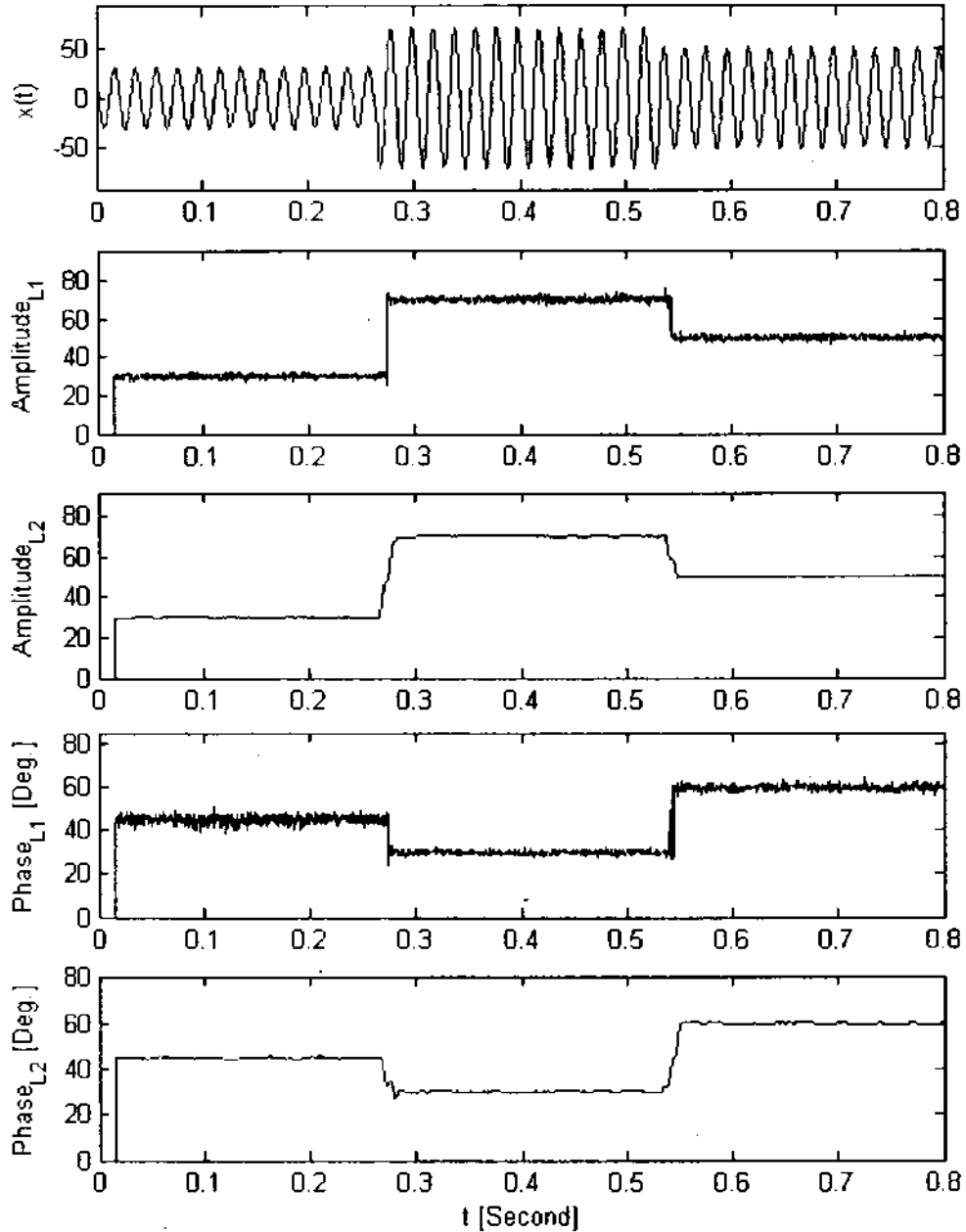
รูป 4.17 การประมาณค่าขนาดและมุมเฟสในสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนตามสมการที่ (4-7) สำหรับกรณี  $P = 20$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



รูป 4.18 การประมาณค่าขนาดและมุมเฟสในสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนตามสมการที่ (4-7) สำหรับกรณี  $P = 30$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)

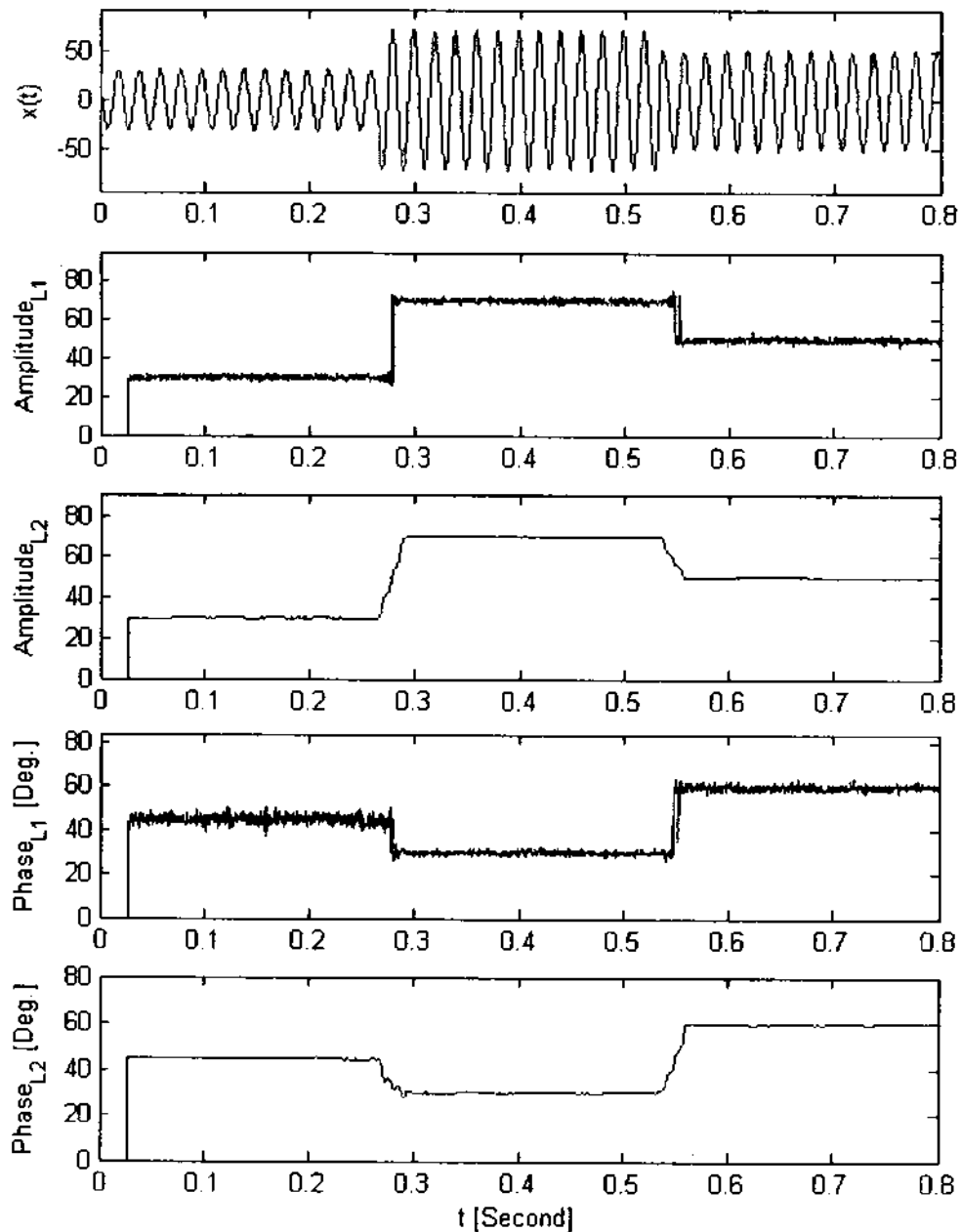


รูป 4.19 แสดงถึงผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-7) ด้วยวิธีทางพีชคณิตบนพื้นฐาน  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สองและภาพแถวที่สามของรูปตามลำดับ และแสดงถึงผลการคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณนี้เทียบกับเวลาจริงด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สี่และภาพแถวที่ห้าของรูปตามลำดับ สำหรับกรณี  $P = 50$



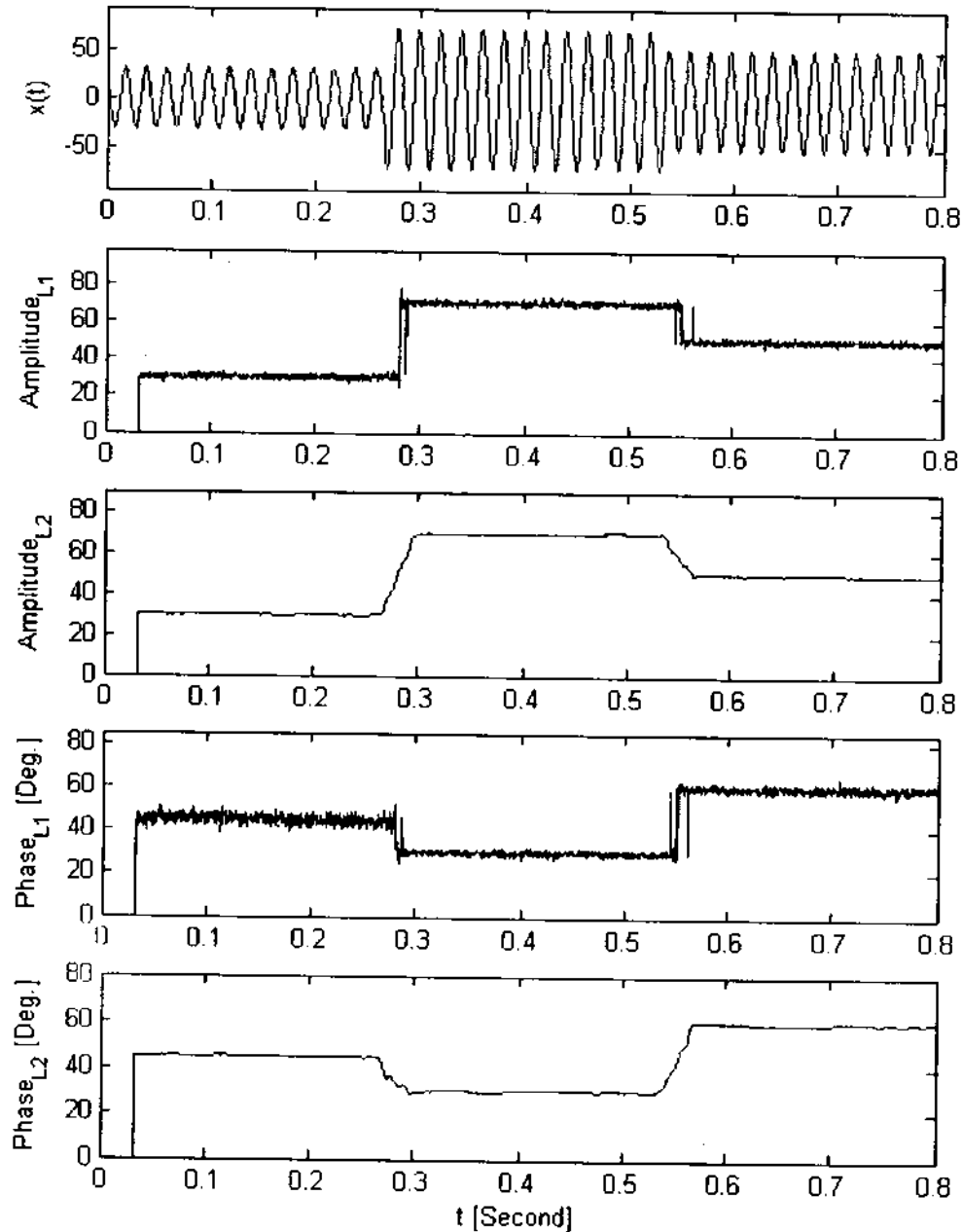
รูป 4.19 การประมาณค่าขนาดและมุมเฟสในสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนตามสมการที่ (4-7) สำหรับกรณี  $P = 50$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)

รูป 4.20 แสดงถึงผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-7) ด้วยวิธีทางพีชคณิตบนพื้นฐาน  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สองและภาพแถวที่สามของรูปตามลำดับ และแสดงถึงผลการคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณนี้เทียบกับเวลาจริงด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สี่และภาพแถวที่ห้าของรูปตามลำดับ สำหรับกรณี  $P = 80$



รูป 4.20 การประมาณค่าขนาดและมุมเฟสในสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนตามสมการที่ (4-7) สำหรับกรณี  $P = 80$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)

รูป 4.21 แสดงถึงผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-7) ด้วยวิธีทางพีชคณิตบนพื้นฐาน  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สองและภาพแถวที่สามของรูปตามลำดับ และแสดงถึงผลการคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณนี้เทียบกับเวลาจริงด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สี่และภาพแถวที่ห้าของรูปตามลำดับ สำหรับกรณี  $P = 100$



รูป 4.21 การประมาณค่าขนาดและมุมเฟสในสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนตามสมการที่ (4-7) สำหรับกรณี  $P = 100$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)

#### 4.1.7 ผลการทดลองการหาค่าขนาดและมุมเฟสกรณีมีสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์

ในกรณี สมมุติว่าสัญญาณไฟฟ้าที่เวลาจริงในระบบมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและมุมเฟสใน สมช่วงเวลา กล่าวคือ กำหนดสัญญาณระบบไฟฟ้าที่สังเคราะห์ด้วยความถี่ 50 [Hz] เป็นลักษณะ รูปแบบคลื่นซายน์  $s(t)$  ที่มีขนาด 30 และมุมเฟส 45 [องศา] สำหรับช่วงเวลาจริง  $0 \leq t \leq 0.27$  [วินาที] และในช่วงจริงเวลาต่อมา  $0.27 < t \leq 0.53$  สัญญาณมีขนาด 70 และมีมุมเฟส 30 [องศา] และ สำหรับช่วงเวลาจริง  $0.53 < t \leq 0.80$  [วินาที] สัญญาณมีขนาดเท่ากับ 50 และมุมเฟสเท่ากับ 60 [องศา] ดังแสดงไว้ด้วยสมการ (4-6) ต่อจากนั้นสัญญาณ  $s(t)$  ถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ที่มี ขนาดเท่ากับ 50 ณ เวลาที่  $t$  เท่ากับ 0.2 [วินาที] 0.4 [วินาที] และ 0.6 [วินาที] ซึ่งทำให้ได้ผลรวมรูป คลื่นสัญญาณทางไฟฟ้าลัพท์  $x(t)$  เป็น

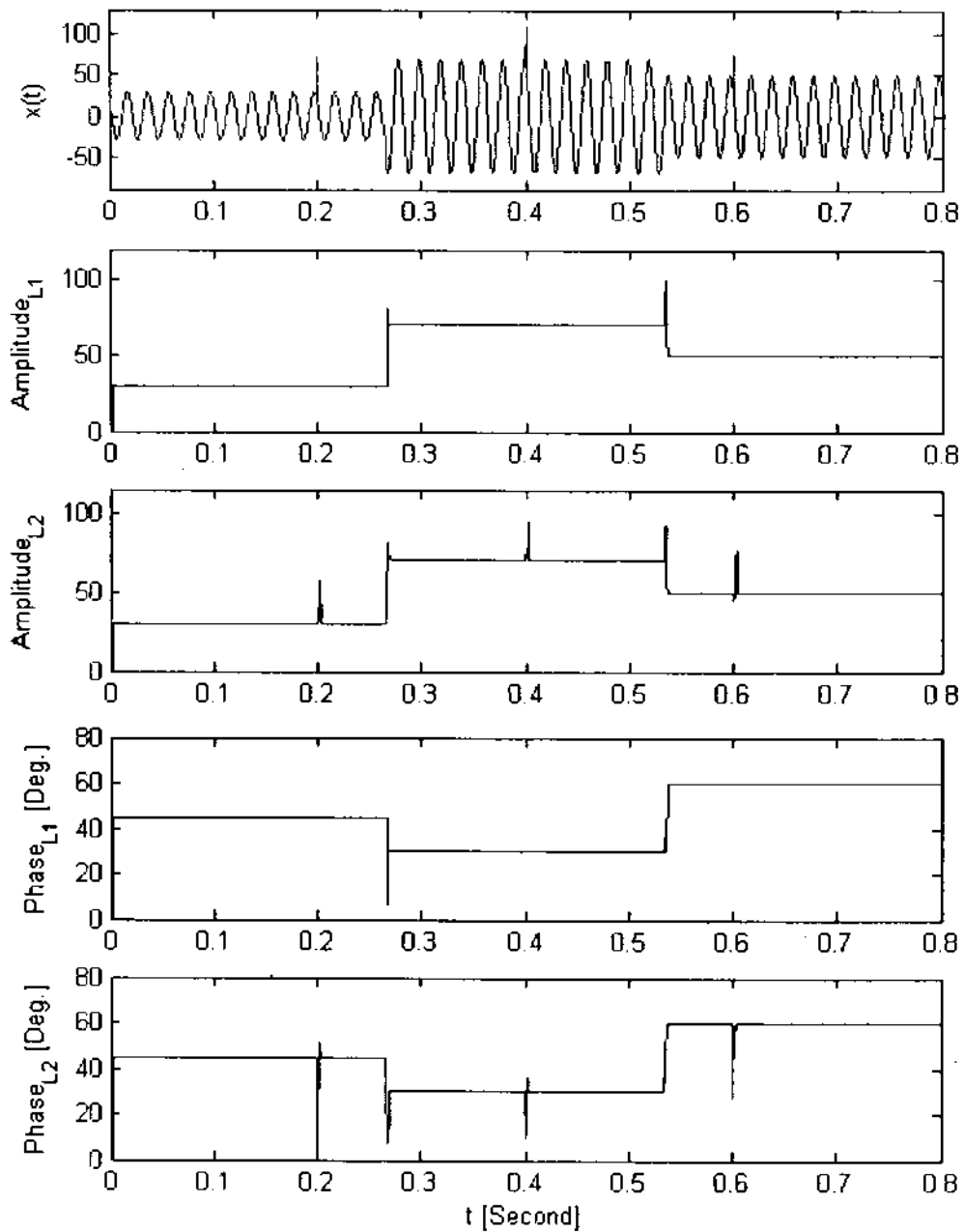
$$x(t) = s(t) + 50\delta(t - 0.2) + 50\delta(t - 0.4) + 50\delta(t - 0.6) \quad (4-8)$$

เมื่อเลือกความถี่สุ่มตัวอย่างสัญญาณ  $x(t)$  ที่ 3 [กิโลเฮิรตซ์] ทำให้ได้กราฟสัญญาณทางไฟฟ้า  $x(t)$  เทียบกับเวลา  $t$  [วินาที] ในสมการที่ (4-8) ดังแสดงไว้ในภาพแถวบนสุดของรูป 4.22 รูป 4.23 รูป 4.24 และรูป 4.25 โดยการใช้เทคนิคทางพีชคณิตสำหรับกรณีที่เลือกจำนวนข้อมูล  $P = 10$  ดังที่ได้กล่าว มาแล้วในบทที่ 3 ทำให้ผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-8) ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สองและภาพแถวที่สามของรูป 4.22 ตามลำดับ ต่อจากนั้น คำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณในสมการ (4-8) นี้ในรูปแบบเวลาจริง ด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ได้ผล ดังแสดงไว้ในภาพแถวที่สี่และภาพแถวที่ห้าของรูป 4.22 ตามลำดับ

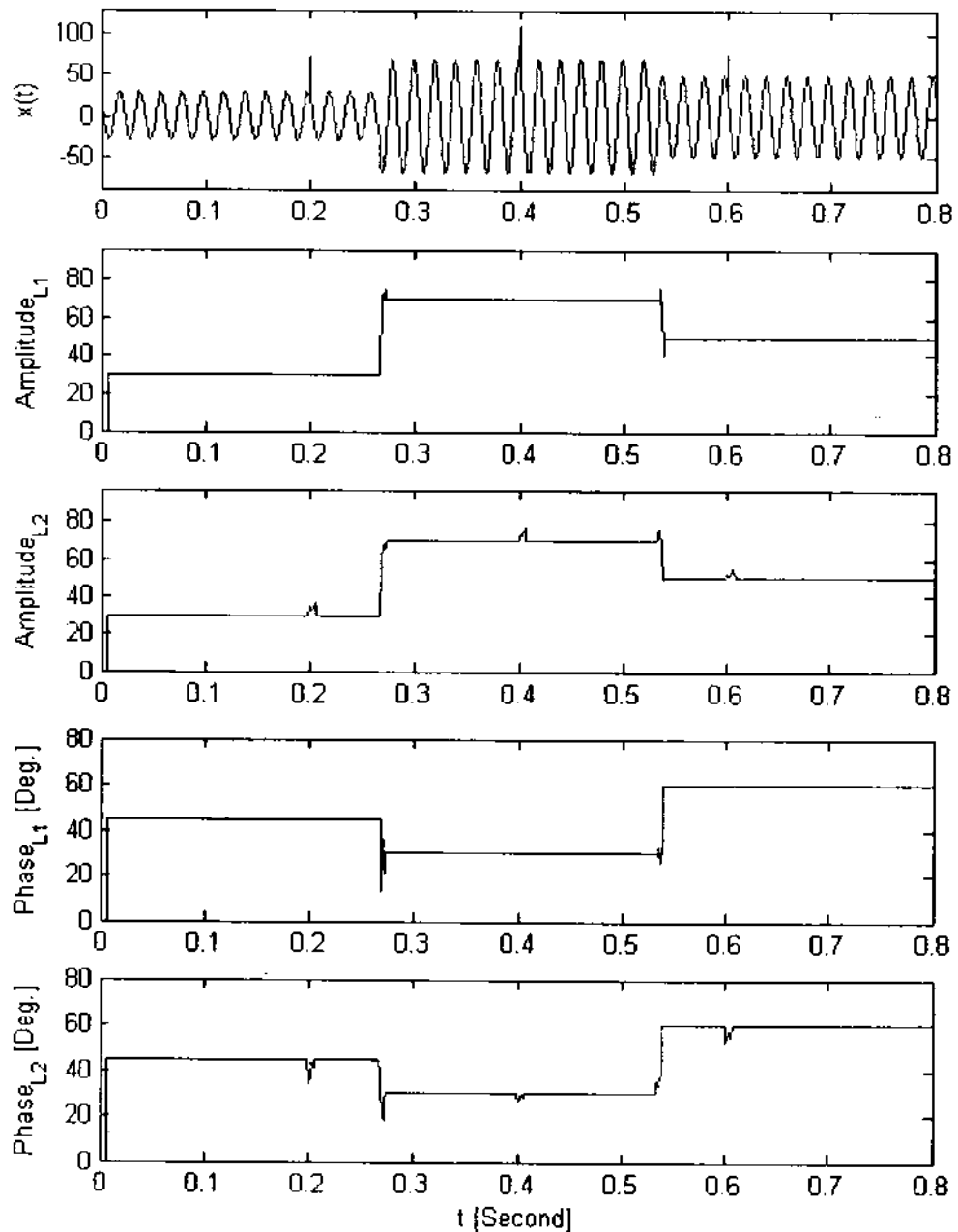
รูป 4.23 แสดงถึงผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-8) สำหรับกรณี  $P = 20$  ด้วยวิธีทางพีชคณิตบนพื้นฐาน  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ซึ่งแสดงผลไว้ในภาพแถวที่ สองและภาพแถวที่สามของรูปตามลำดับ และแสดงถึงผลการคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณนี้เทียบกับ เวลาจริงด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ซึ่งแสดงผลไว้ในภาพแถวที่สี่และภาพแถวที่ห้าของรูปตามลำดับ

รูป 4.24 แสดงถึงผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-8) สำหรับกรณี  $P = 30$  ด้วยวิธีทางพีชคณิตบนพื้นฐาน  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ซึ่งแสดงผลไว้ในภาพแถวที่ สองและภาพแถวที่สามของรูปตามลำดับ และแสดงถึงผลการคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณนี้เทียบกับ เวลาจริงด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ซึ่งแสดงผลไว้ในภาพแถวที่สี่และภาพแถวที่ห้าของรูปตามลำดับ

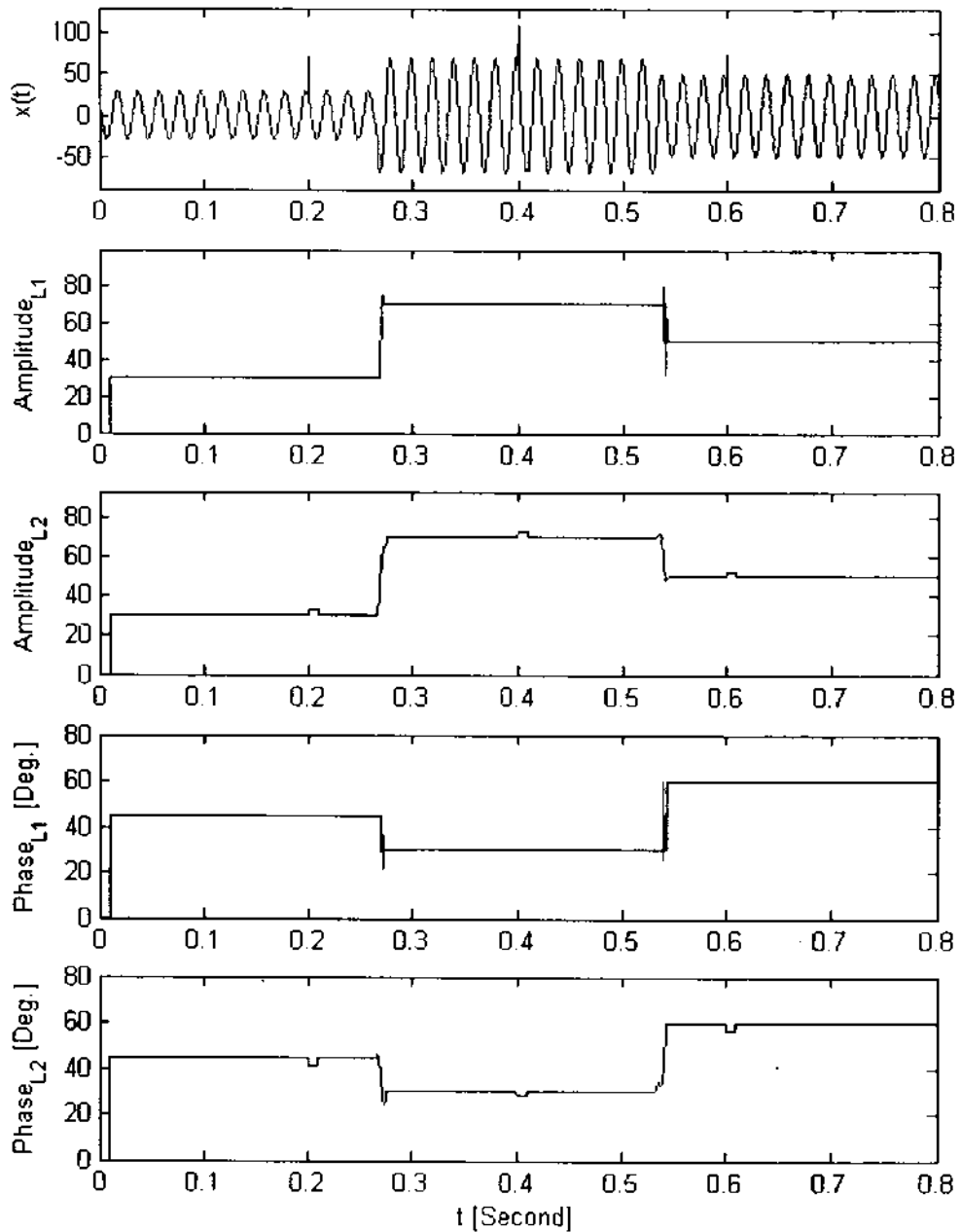
รูป 4.25 แสดงถึงผลการคำนวณหาค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงในสมการ (4-8) สำหรับกรณี  $P = 50$  ด้วยวิธีทางพีชคณิตบนพื้นฐาน  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ซึ่งแสดงผลไว้ในภาพแถวที่ สองและภาพแถวที่สามของรูปตามลำดับ และแสดงถึงผลการคำนวณหาค่ามุมเฟสของสัญญาณนี้เทียบกับ เวลาจริงด้วยวิธี  $I_1$  และ  $I_2$  Norm ซึ่งแสดงผลไว้ในภาพแถวที่สี่และภาพแถวที่ห้าของรูปตามลำดับ



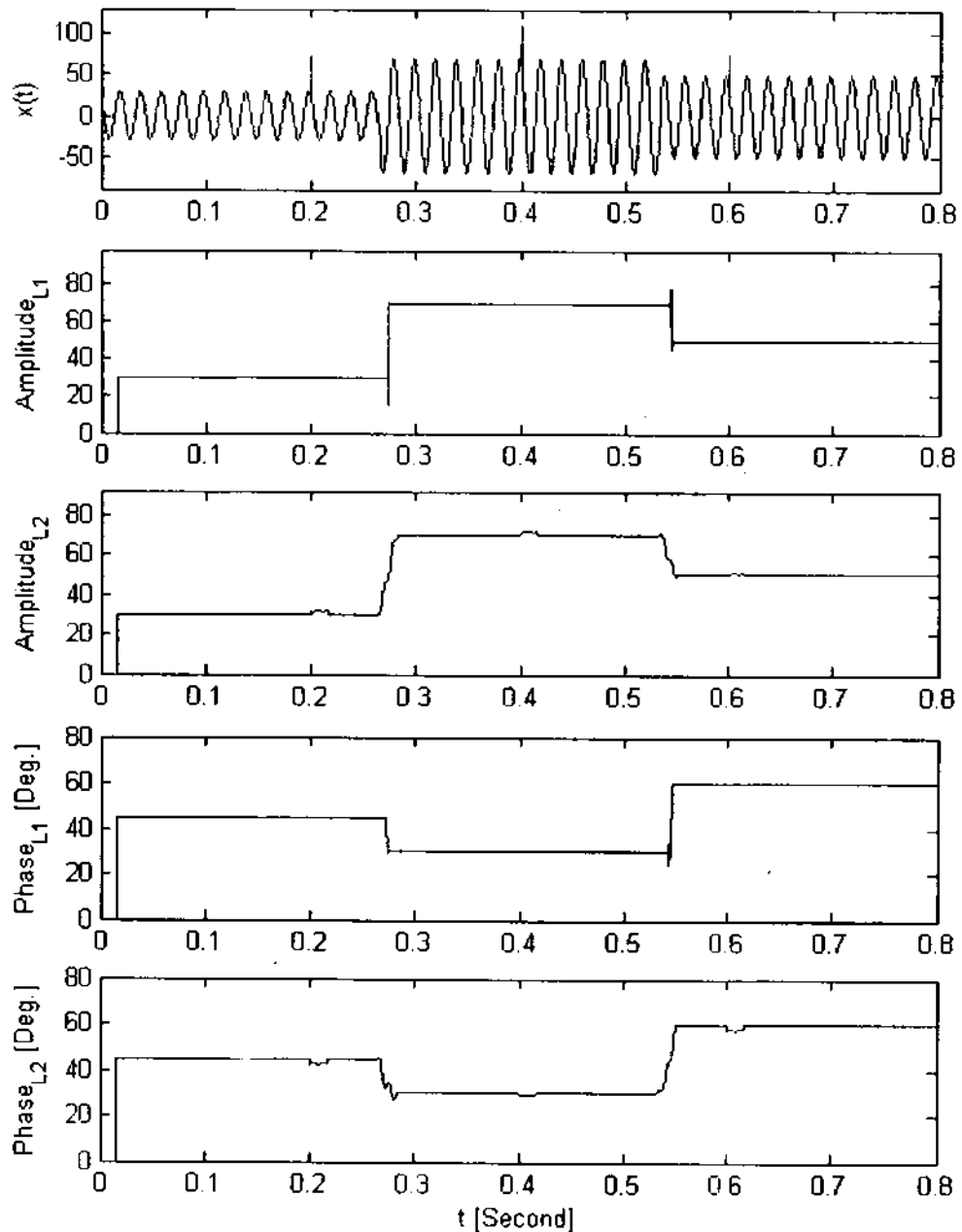
รูป 4.22 การประมาณค่าขนาดและมุมเฟสในสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนตามสมการที่ (4-8) สำหรับกรณี  $P = 10$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



รูป 4.23 การประมาณค่าขนาดและมุมเฟสในสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนตามสมการที่ (4-8) สำหรับกรณี  $P = 20$  : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



รูป 4.24 การประมาณค่าขนาดและมุมเฟสในสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนตามสมการที่ (4-8) สำหรับกรณี  $P = 30$ : (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



รูป 4.25 ค่าประมาณค่าขนาดและมุมเฟสในสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนตามสมการที่ (4-8) สำหรับกรณี  $P = 50$  (ก) สัญญาณเชิงสังเคราะห์เทียบกับเวลาจริง (ภาพบน); (ข) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สอง); (ค) ค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพแถวที่สาม); (ง) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_1$  Norm (ภาพแถวที่สี่); (จ) ค่ามุมเฟสของสัญญาณเทียบกับเวลาจริงที่ได้รับด้วยวิธี  $I_2$  Norm (ภาพล่าง)



## 4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากผลการทดสอบเทคนิคทางพีชคณิตในการหาขนาดและมุมเฟสสัญญาณระบบไฟฟ้าที่สังเคราะห์เป็นรูปแบบคลื่นไซน์  $x(t) = 100\cos(314t + 60^\circ)$  สำหรับเวลาจริงของสัญญาณที่มีช่วงอยู่ระหว่าง 0 [วินาที] ถึง 0.8 [วินาที] โดยมีความถี่พื้นฐานสัญญาณเป็น 50 [Hz] และเลือกจำนวนข้อมูลสุ่มทั้งหมด  $N = 2,401$  ที่มีความถี่สุ่มสัญญาณเท่ากับ 3 [kHz] ผลการทดลองเชิงสังเคราะห์ที่แสดงไว้ในรูป 4.1 ถึงรูป 4.3 พบว่าทั้งวิธี  $I_1$  Norm และวิธี  $I_2$  Norm สามารถหาค่าขนาดและมุมเฟสที่เวลาจริงได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพสำหรับทุกกรณีการประมาณขนาดและมุมเฟสที่ใช้จำนวนข้อมูล  $P = 10$ ,  $P = 20$  และ  $P = 30$  นอกจากนี้ยังพบว่าช่วงเวลาเริ่มต้นจะเกิดสถานะชั่วคราวซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลของ  $P$  ทำให้ค่าประมาณการของขนาดและมุมเฟสของสัญญาณถูกกำหนดให้เป็นศูนย์ถ้าจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการประมาณการ  $P$  แล้วทำให้ช่วงเวลาสถานะชั่วคราวของการประมาณการขนาดและมุมเฟสเท่ากับ  $P$

จากผลการทดลองเชิงสังเคราะห์ที่แสดงไว้ในรูป 4.4 ถึงรูป 4.6 ในการประมาณการขนาดและมุมเฟสสัญญาณไซน์ที่เวลาจริงโดยที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาด ณ เวลา  $t = 0.4$  [วินาที] แต่มุมเฟสคงที่ตลอดช่วงเวลา  $0 \leq t \leq 0.8$  [วินาที] และมีความถี่พื้นฐานสัญญาณเท่ากับ 50 [Hz] ซึ่งเลือกจำนวนข้อมูลสุ่มทั้งหมด  $N = 2,401$  ที่มีความถี่สุ่มสัญญาณเท่ากับ 3 [kHz] พบว่าวิธี  $I_1$  Norm และวิธี  $I_2$  Norm สามารถหาค่าขนาดและมุมเฟสที่เวลาจริงได้อย่างถูกต้องสำหรับทุกกรณีการประมาณขนาดและมุมเฟสที่ใช้จำนวนข้อมูล  $P = 10$ ,  $P = 20$  และ  $P = 30$  แต่อย่างไรก็ตาม ณ เวลา  $t = 0.4$  [วินาที] มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณวิธี  $I_1$  Norm สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าขนาดของสัญญาณได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วกว่าของวิธี  $I_2$  Norm เมื่อการประมาณการขนาดได้ใช้จำนวน  $P$  เพิ่มขึ้น และถึงแม้ว่ามุมเฟสของสัญญาณคงที่ทุกช่วงเวลาแต่ก็มีการเปลี่ยนแปลงมุมเฟสเกิดขึ้นเล็กน้อย ณ เวลา  $t = 0.4$  [วินาที] ทั้งสองเทคนิคเช่นกันอันเนื่องมาจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาด

จากผลการทดลองเชิงสังเคราะห์ที่แสดงไว้ในรูป 4.7 ถึงรูป 4.9 ในการประมาณการขนาดและมุมเฟสสัญญาณไซน์ที่เวลาจริงโดยที่มีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะมุมเฟส ณ เวลา  $t = 0.4$  [วินาที] แต่มีขนาดของสัญญาณคงที่ตลอดช่วงเวลา  $0 \leq t \leq 0.8$  [วินาที] และมีความถี่พื้นฐานสัญญาณเท่ากับ 50 [Hz] ซึ่งเลือกจำนวนข้อมูลสุ่มทั้งหมด  $N = 2,401$  ที่มีความถี่สุ่มสัญญาณเท่ากับ 3 [kHz] พบว่าวิธี  $I_1$  Norm และวิธี  $I_2$  Norm สามารถหาค่าขนาดและมุมเฟสที่เวลาจริงได้อย่างถูกต้องสำหรับทุกกรณีการประมาณขนาดและมุมเฟสที่ใช้จำนวนข้อมูล  $P = 10$ ,  $P = 20$  และ  $P = 30$  แต่อย่างไรก็ตาม ณ เวลา  $t = 0.4$  [วินาที] การเปลี่ยนแปลงมุมเฟสของสัญญาณวิธี  $I_1$  Norm สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่ามุมเฟสของสัญญาณได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วกว่าของวิธี  $I_2$  Norm เมื่อการประมาณการมุมเฟสได้ใช้จำนวน  $P$  เพิ่มขึ้น และถึงแม้ว่าขนาดของสัญญาณคงที่ทุกช่วงเวลาแต่ก็มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณเกิดขึ้นเล็กน้อย ณ เวลา  $t = 0.4$  [วินาที] ทั้งสองเทคนิคเช่นกันอันเนื่องมาจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงมุมเฟสในสัญญาณ

จากผลการทดลองเชิงสังเคราะห์ที่แสดงไว้ในรูป 4.10 ถึงรูป 4.12 ในการประมาณการขนาดและมุมเฟสสัญญาณขาขึ้นที่เวลาจริงช่วงเวลา  $0 \leq t \leq 0.8$  [วินาที] โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและมุมเฟส ณ เวลา  $t = 0.4$  [วินาที] และมีความถี่พื้นฐานสัญญาณเท่ากับ 50 [Hz] ซึ่งเลือกจำนวนข้อมูลสุ่มทั้งหมด  $N = 2,401$  ที่มีความถี่สุ่มสัญญาณเท่ากับ 3 [kHz] พบว่าทั้งวิธี  $I_1$  Norm และวิธี  $I_2$  Norm สามารถหาค่าขนาดและมุมเฟสที่เวลาจริงได้อย่างถูกต้องสำหรับทุกกรณีการประมาณขนาดและมุมเฟสที่ใช้จำนวนข้อมูล  $P = 10$ ,  $P = 20$  และ  $P = 30$  แต่การเปลี่ยนแปลงขนาดและมุมเฟสของสัญญาณในกรณี  $P = 30$  พบว่าวิธี  $I_1$  Norm สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและมุมเฟสของสัญญาณได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วกว่าของวิธี  $I_2$  Norm ณ เวลา  $t = 0.4$  [วินาที]

จากผลการทดลองเชิงสังเคราะห์ที่แสดงไว้ในรูป 4.13 ถึงรูป 4.15 ในการประมาณการขนาดและมุมเฟสสัญญาณขาขึ้นที่เวลาจริงช่วงเวลา  $0 \leq t \leq 0.8$  [วินาที] โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและมุมเฟส ณ เวลา  $t = 0.27$  [วินาที] กับ  $t = 0.53$  [วินาที] มีความถี่พื้นฐานสัญญาณเท่ากับ 50 [Hz] ซึ่งเลือกจำนวนข้อมูลสุ่มทั้งหมด  $N = 2,401$  ที่มีความถี่สุ่มสัญญาณเท่ากับ 3 [kHz] พบว่าทั้งวิธี  $I_1$  Norm และวิธี  $I_2$  Norm สามารถหาค่าขนาดและมุมเฟสที่เวลาจริงได้อย่างถูกต้องในทุกกรณีการประมาณขนาดและมุมเฟสที่ใช้จำนวนข้อมูล  $P = 10$ ,  $P = 20$  และ  $P = 30$  แต่การเปลี่ยนแปลงขนาดและมุมเฟสของสัญญาณในกรณี  $P = 30$  พบว่าวิธี  $I_1$  Norm สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและมุมเฟสของสัญญาณได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วกว่าของวิธี  $I_2$  Norm ณ เวลา  $t = 0.27$  [วินาที] กับ  $t = 0.53$  [วินาที]

จากผลการทดลองเชิงสังเคราะห์ที่แสดงไว้ในรูป 4.16 ถึงรูป 4.21 สำหรับการประมาณการขนาดและมุมเฟสสัญญาณขาขึ้นที่มีสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเวลาจริงช่วงเวลา  $0 \leq t \leq 0.8$  [วินาที] โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและมุมเฟส ณ เวลา  $t = 0.27$  [วินาที] กับ  $t = 0.53$  [วินาที] มีความถี่พื้นฐานสัญญาณเท่ากับ 50 [Hz] ซึ่งเลือกจำนวนข้อมูลสุ่มทั้งหมด  $N = 2,401$  ที่มีความถี่สุ่มสัญญาณเท่ากับ 3 [kHz] พบว่าทั้งวิธี  $I_1$  Norm และวิธี  $I_2$  Norm สามารถหาค่าขนาดและมุมเฟสที่เวลาจริงได้อย่างถูกต้องในทุกกรณีการประมาณขนาดและมุมเฟสที่ใช้จำนวนข้อมูล  $P = 10$ ,  $P = 20$ ,  $P = 30$ ,  $P = 50$ ,  $P = 80$  และ  $P = 100$  แต่การเปลี่ยนแปลงขนาดและมุมเฟสของสัญญาณในกรณี  $P \geq 20$  พบว่าวิธี  $I_1$  Norm สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและมุมเฟสของสัญญาณที่ถูกรบกวนด้วยสัญญาณแบบสุ่มได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วกว่าของวิธี  $I_2$  Norm ณ เวลา  $t = 0.27$  [วินาที] กับ  $t = 0.53$  [วินาที]

จากผลการทดลองเชิงสังเคราะห์ที่แสดงไว้ในรูป 4.22 ถึงรูป 4.25 สำหรับการประมาณการขนาดและมุมเฟสสัญญาณขาขึ้นที่มีสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์เวลาจริงช่วงเวลา  $0 \leq t \leq 0.8$  [วินาที] โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและมุมเฟส ณ เวลา  $t = 0.27$  [วินาที] กับ  $t = 0.53$  [วินาที] มีความถี่พื้นฐานสัญญาณเท่ากับ 50 [Hz] ซึ่งเลือกจำนวนข้อมูลสุ่มทั้งหมด  $N = 2,401$  ที่มีความถี่สุ่มสัญญาณเท่ากับ 3 [kHz] พบว่าทั้งวิธี  $I_1$  Norm และวิธี  $I_2$  Norm สามารถหาค่าขนาดและมุมเฟสที่เวลา

จริงได้อย่างถูกต้องในทุกกรณีการประมาณขนาดและมุมเฟสที่ใช้จำนวนข้อมูล  $P = 10$ ,  $P = 20$ ,  $P = 30$  และ  $P = 50$  โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดและมุมเฟสของสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์สำหรับกรณี  $P \geq 20$  ในวิธี  $I_1$  Norm สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและมุมเฟสของสัญญาณที่ถูกรบกวนด้วยสัญญาณแบบอิมพัลส์ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วกว่าวิธี  $I_2$  Norm ณ เวลา  $t = 0.27$  [วินาที] กับ  $t = 0.53$  [วินาที] นอกจากนี้ มีการเปลี่ยนแปลงขนาดและมุมเฟสของสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยวิธี  $I_2$  Norm ปรากฏขึ้นเนื่องมาจากการถูกรบกวนด้วยสัญญาณอิมพัลส์ ณ เวลา  $t = 0.2$  [วินาที],  $t = 0.4$  [วินาที] กับ  $t = 0.6$  [วินาที] สำหรับทุกกรณีของจำนวนข้อมูล  $P$  ในขณะที่วิธี วิธี  $I_1$  Norm เพิกเฉยต่อปรากฏการณ์ดังกล่าว