บทที่ 5

ผลจากเวลาจริง

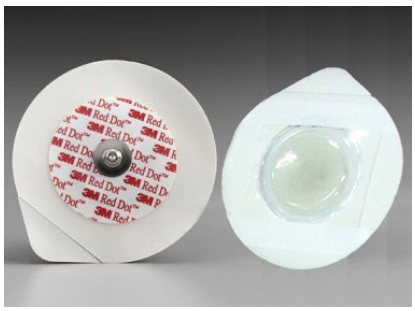
ในบทที่นี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบเครื่องต้นแบบที่ประยุกต์ใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลสำหรับการลดสัญญาณรบกวนและการตรวจจับจุดกลืนจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย ซึ่งกำหนดพารามิเตอร์ของระบบลดสัญญาณรบกวนด้วยค่าอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 511, ค่าหน่วงเวลาเท่ากับ 10, จำนวน Tapped delay line เท่ากับ 10 และได้ใช้อัตราการสุ่มสัญญาณในการประมวลผลเท่ากับ 1000 ข้อมูลต่อวินาที (1000 Sampling/second) ความละเอียดขนาด 16 บิต (16 – bit resolution)โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. การทดสอบกับสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อแขนที่ตำแหน่งไบเซ็บ (Biceps)
2. การทดสอบกับสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อบริเวณใต้คางเพื่อตรวจจับจุดกลืน

5.1 การทดสอบกับสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อแขนที่ตำแหน่งไบเซ็บ (Biceps)

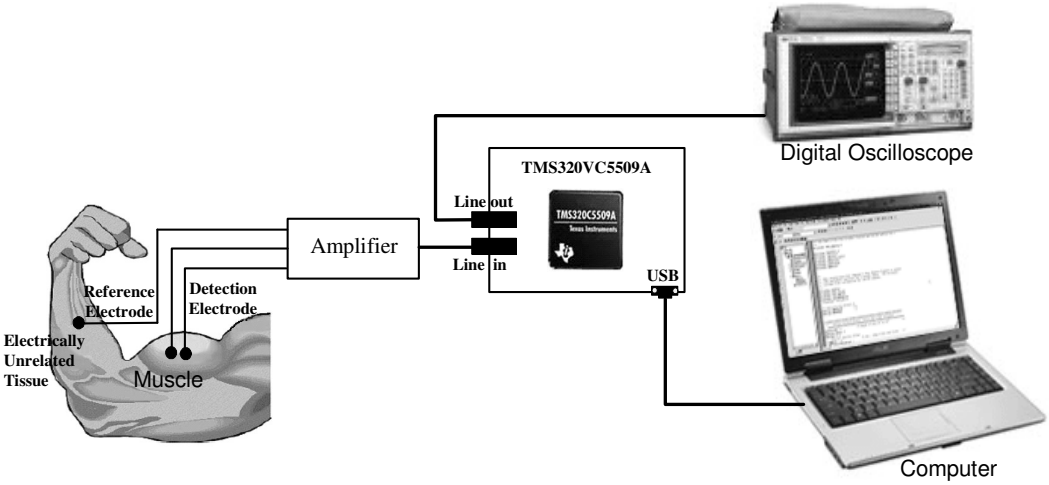
5.1.1 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

ในการทดสอบเครื่องต้นแบบที่ประยุกต์ใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลสำหรับการลดสัญญาณรบกวนและการตรวจจับจุดกลืนจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย จะใช้อิเล็กโทรดชนิดติดผิวหนัง (Surface electrode) ของบริษัท 3M (3M red dot 5.1 cm. foam solid gel) ดังภาพประกอบ 5-1 จำนวนทั้งหมด 3 ชิ้น โดยติดอิเล็กโทรดที่กล้ามเนื้อบริเวณ Biceps จำนวน 2 ชิ้น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดทั้ง 2 ชิ้นประมาณ 2 เซนติเมตร และติดที่บริเวณข้อมือเพื่อทำหน้าที่เป็นกราวด์อีก 1 ชิ้น ดังรูปที่ 4 ซึ่งก่อนที่จะติดอิเล็กโทรดต้องทำความสะอาดผิวหนังด้วยแอลกอฮอล์เพื่อลดความต้านทานที่ผิวหนังลง สำหรับการบันทึกสัญญาณต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบจะใช้ดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Tektronix รุ่น TDS360 ทั้งนี้วิธีการทดสอบแสดงได้ดังภาพประกอบ 5-3



ภาพประกอบ 5-1 ลักษณะของอิเล็กโทรด

ภาพประกอบ 5-2 ลักษณะของการติดอิเล็กโทรดที่ตำแหน่งไบเซ็บ



ภาพประกอบ 5-3 แผนภาพแสดงวิธีการทดสอบ

จากภาพประกอบ 5-3 สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อที่วัดได้จากอิเล็กโทรดจะถูกส่งมาขยายสัญญาณให้มีขนาดที่เหมาะสมเพื่อส่งเข้าตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล จากนั้นส่งสัญญาณดิจิตอลที่ได้ไปยังตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลเพื่อทำการประมวลผลตามอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบไว้ ผล

ที่ได้จากตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลจะถูกส่งมายังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกเพื่อแสดงผลด้วยออสซิลโลสโคปต่อไป ทั้งนี้การทดสอบระบบในหัวข้อนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

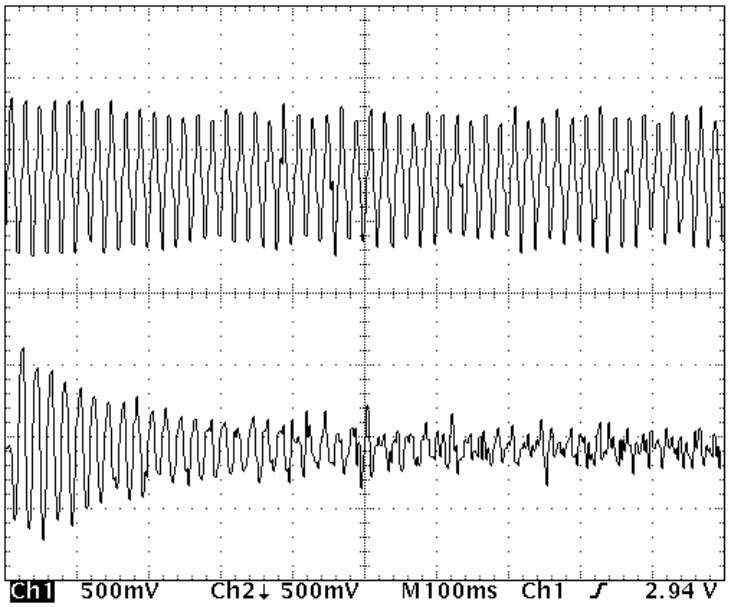
1. การทดสอบการทำงานของระบบลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการวัดสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย โดยจะแสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อที่วัดได้จากอิเล็กโทรดกับสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวน

2. การทดสอบความสามารถในการลดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 Hz และฮาร์มอนิคออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย จะแสดงด้วยค่าเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อในสภาพปกติ และในขณะเกร็งกล้ามเนื้อ ซึ่งการหาค่าเพาเวอร์สเปคตรัมนี้ทำได้โดยการเก็บบันทึกสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อที่วัดได้จากอิเล็กโทรดก่อนผ่านการลดสัญญาณรบกวนและสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหลังผ่านการลดสัญญาณรบกวนด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคปจำนวน 1000 จุด โดยเก็บบันทึกเป็นไฟล์ .CSV หลังจากนั้นจึงนำไปประมวลผลเพื่อหาค่าเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณด้วยโปรแกรม MATLAB

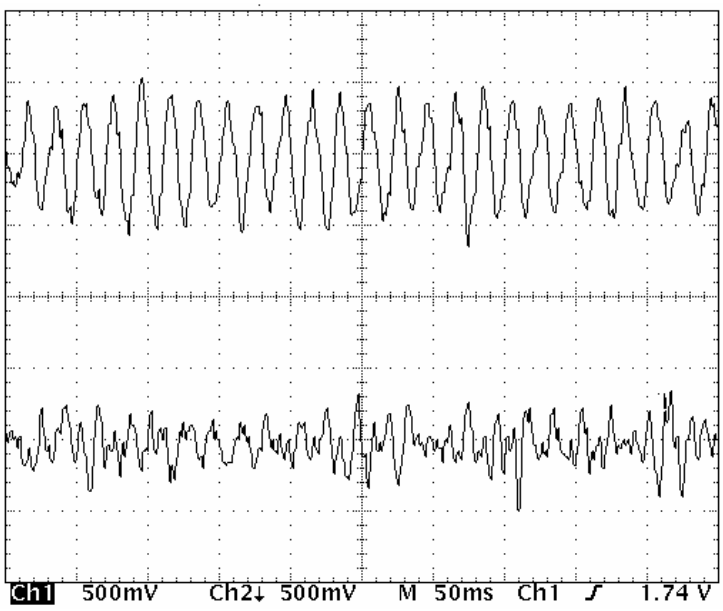
3. การทดสอบเครื่องต้นแบบที่ประยุกต์ใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลสำหรับการลดสัญญาณรบกวนและการตรวจจับจุดกลืนจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย โดยการทดสอบในขั้นตอนนี้จะทำการตรวจจับการเกร็งกล้ามเนื้อ กล่าวคือ ระบบจะต้องส่งสัญญาณทริกเกอร์เป็นเวลา 1 วินาที เมื่อตรวจพบว่ามีการเกร็งกล้ามเนื้อเกิดขึ้น ซึ่งการทดสอบนี้เป็นการทดสอบระบบก่อนนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจจับจุดกลืนในขั้นตอนถัดไป

5.1.2 ผลการทดสอบการทำงานของระบบลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการวัดสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย

ผลที่ได้จากการทำงานของระบบลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการวัดสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายแสดงดังภาพประกอบ 5-4 และภาพประกอบ 5-5 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อที่วัดได้จากอิเล็กโทรดมีสัญญาณรบกวนปะปนอยู่จนทำให้สัญญาณที่วัดได้ผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อจริง เมื่อนำสัญญาณนี้ไปผ่านระบบลดสัญญาณรบกวนโดยมีวงจรกรองปรับตัว ADALINE และอัลกอริทึม LMS ทำการปรับค่าน้ำหนักและไบอัสทุกครั้งพร้อมทั้งคำนวณค่าสัญญาณผิดพลาด ซึ่งจากภาพประกอบ 5-4 พบว่าอัลกอริทึมใช้เวลาในการลู่เข้าสู่ผลลัพธ์ที่ต้องการประมาณ 400 ms และเมื่ออัลกอริทึมทำการปรับค่าน้ำหนักและไบอัสจนเข้าสู่สภาวะเสถียร สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหลังผ่านการลดสัญญาณรบกวนจะแสดงดังภาพประกอบ 5-5



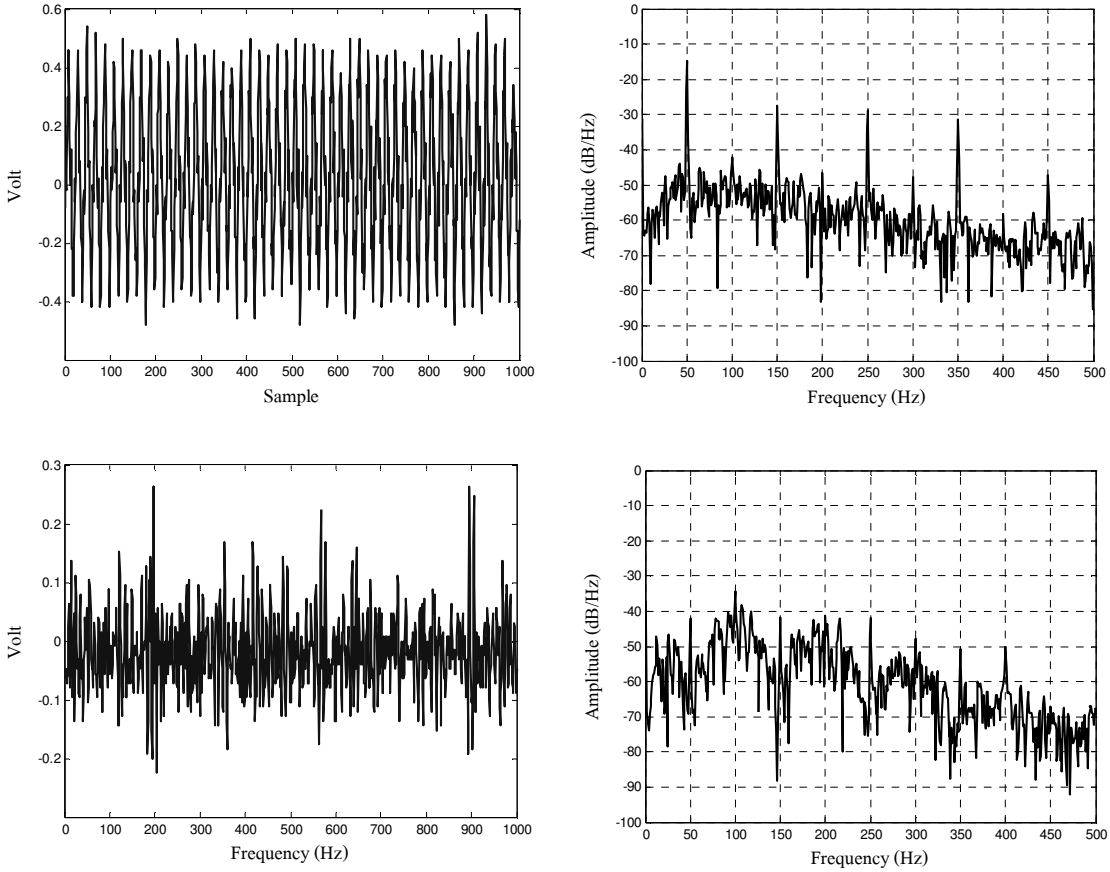
ภาพประกอบ 5-4 สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อที่วัดได้จากอิเล็กโทรด (บน) และสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวน (ล่าง)



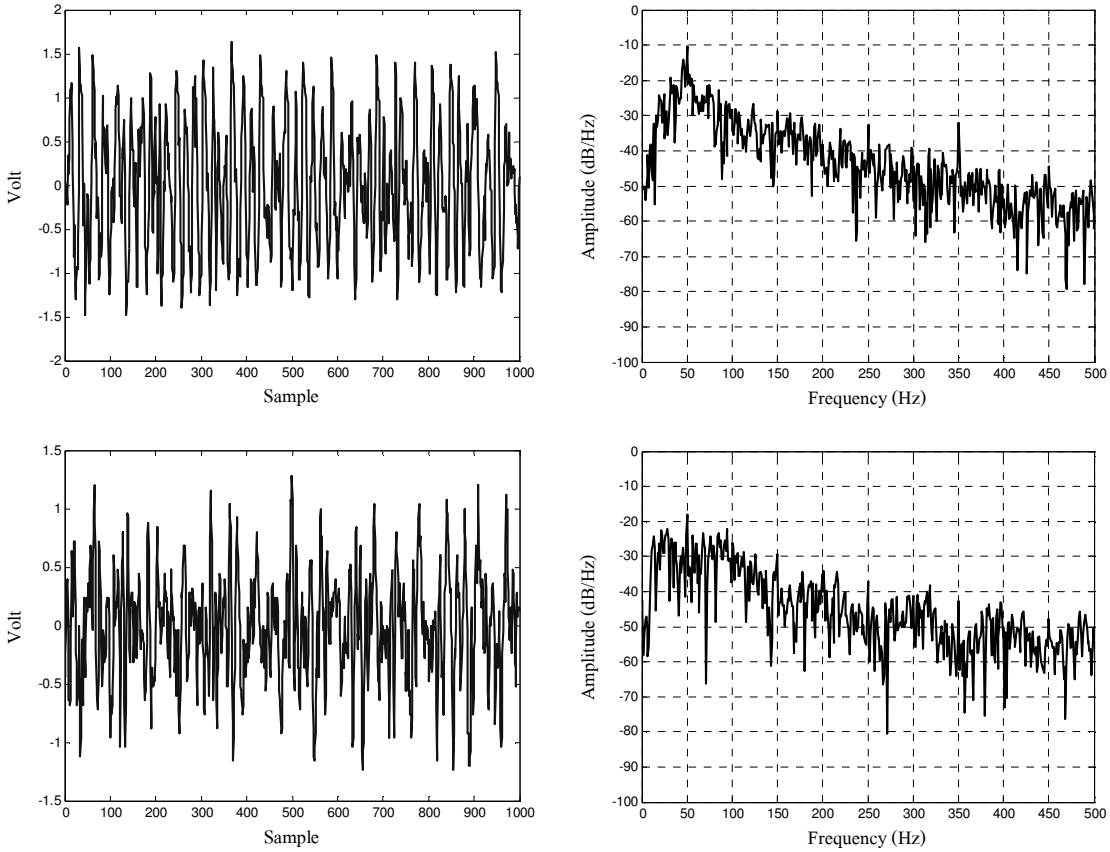
ภาพประกอบ 5-5 สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อที่วัดได้จากอิเล็กโทรด (บน) และสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวนเมื่อเข้าสู่สภาวะเสถียร (ล่าง)

5.1.3 ผลการทดสอบความสามารถในการลดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 Hz และความถี่ฮาร์มอนิคออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย

ผลการทดสอบความสามารถในการลดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 Hz และฮาร์มอนิคออกจากสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ แสดงดังในภาพประกอบ 5-6 และภาพประกอบ 5-7 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 5-6 สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ (ซ้าย) และเพาเวอร์สเปคตรัม (ขวา) ในขณะที่ไม่มีการเกร็งกล้ามเนื้อก่อนที่จะผ่านการลดสัญญาณรบกวน (บน), หลังจากที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวน (ล่าง)

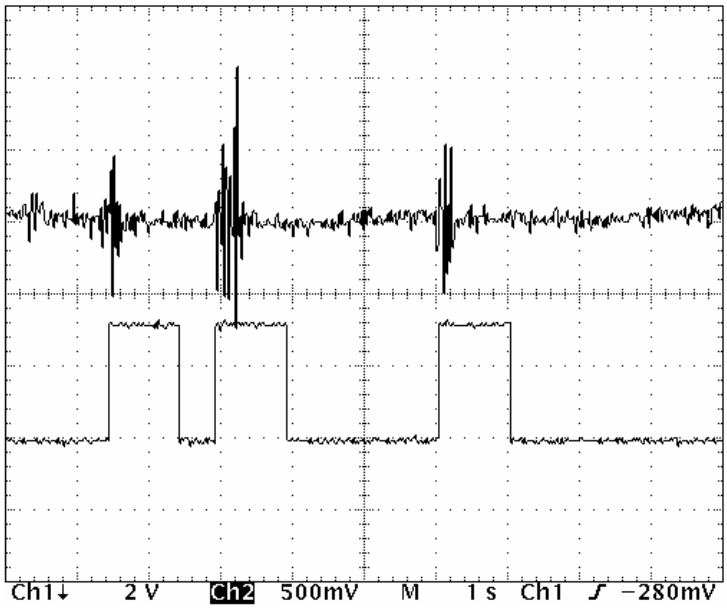


ภาพประกอบ 5-7 สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ (ซ้าย) และเพาเวอร์สเปคตรัม (ขวา) ในขณะที่เกร็งกล้ามเนื้อก่อนที่จะผ่านการลดสัญญาณรบกวน (บน), หลังจากที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวน (ล่าง)

จากภาพประกอบ 5-6 จะเห็นได้ว่าค่าเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวนความถี่ที่ 50 Hz, 150 Hz, 250 Hz, 350 Hz, และ 450 Hz มีขนาดที่ลดลง นอกจากนี้จะพบว่าเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อในขณะที่ไม่มีการเกร็งกล้ามเนื้อ จะมีขนาดกำลังไม่สูง และมีสเปคตรัมของความถี่ที่กระจาย ในขณะที่เพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อขณะเกร็งกล้ามเนื้อดังในภาพประกอบ 5-7 จะมีขนาดกำลังที่สูงกว่าและปรากฏสเปคตรัมของความถี่ต่ำชัดเจนขึ้นในช่วงประมาณ 10 – 200 Hz

5.1.4 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบที่ประยุกต์ใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลสำหรับการลดสัญญาณรบกวนและการตรวจจับจุดกลืนจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ

ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบที่ประยุกต์ใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลสำหรับการลดสัญญาณรบกวนและการตรวจจับจุดกลืนจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อเพื่อทำการตรวจจับการเกร็งกล้ามเนื้อ แสดงดังภาพประกอบ 5-8



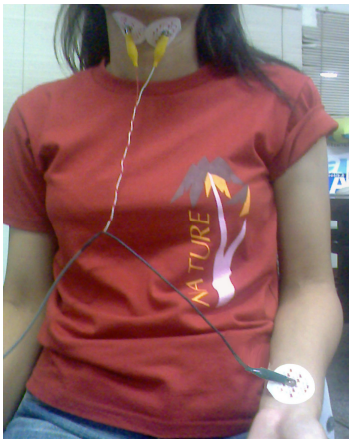
ภาพประกอบ 5-8 สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อแขน (บน) และสัญญาณทริกเกอร์ (ล่าง)

จากภาพประกอบ 5-8 จะเห็นได้ว่าสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อในขณะเกร็งมีขนาดของสัญญาณสูงกว่าสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อในสภาพปกติอย่างเด่นชัด และระบบทำการส่งสัญญาณทริกเกอร์เป็นเวลา 1 วินาที เมื่อตรวจพบว่ามีการเกร็งกล้ามเนื้อเกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง

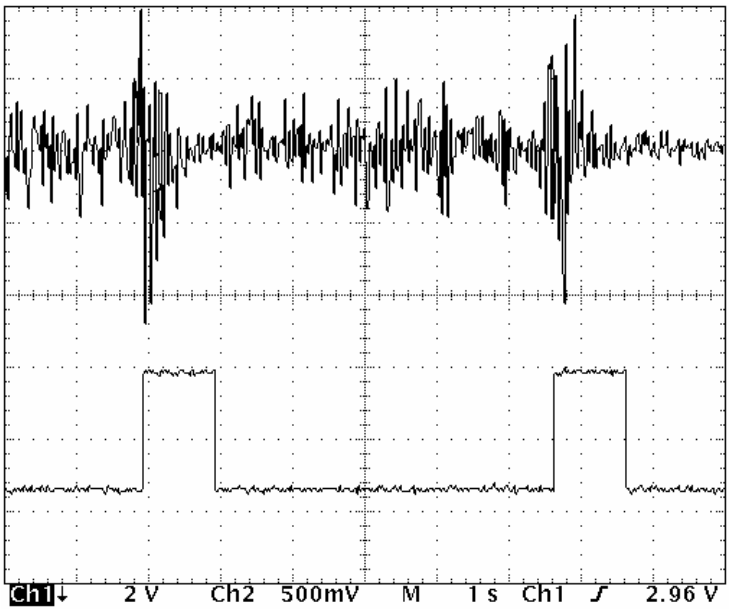
5.2 การทดสอบกับสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อบริเวณใต้คางเพื่อตรวจจับจุดกลืน

การทดสอบเครื่องต้นแบบที่ประยุกต์ใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลสำหรับการลดสัญญาณรบกวนและการตรวจจับจุดกลืนจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายในหัวข้อนี้ มีวัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับภาพประกอบ 5-3 ปรับเปลี่ยนเพียงตำแหน่งของการวัดสัญญาณไฟฟ้าจากบริเวณกล้ามเนื้อ Biceps ไปเป็นบริเวณใต้คางเพื่อตรวจจับจุดกลืน ดังภาพประกอบ 5-9 โดยอาสาสมัครถูกฝึกวิธีการเคี้ยวและการกลืนเพื่อใช้ในการกำหนดค่าอ้างอิงที่

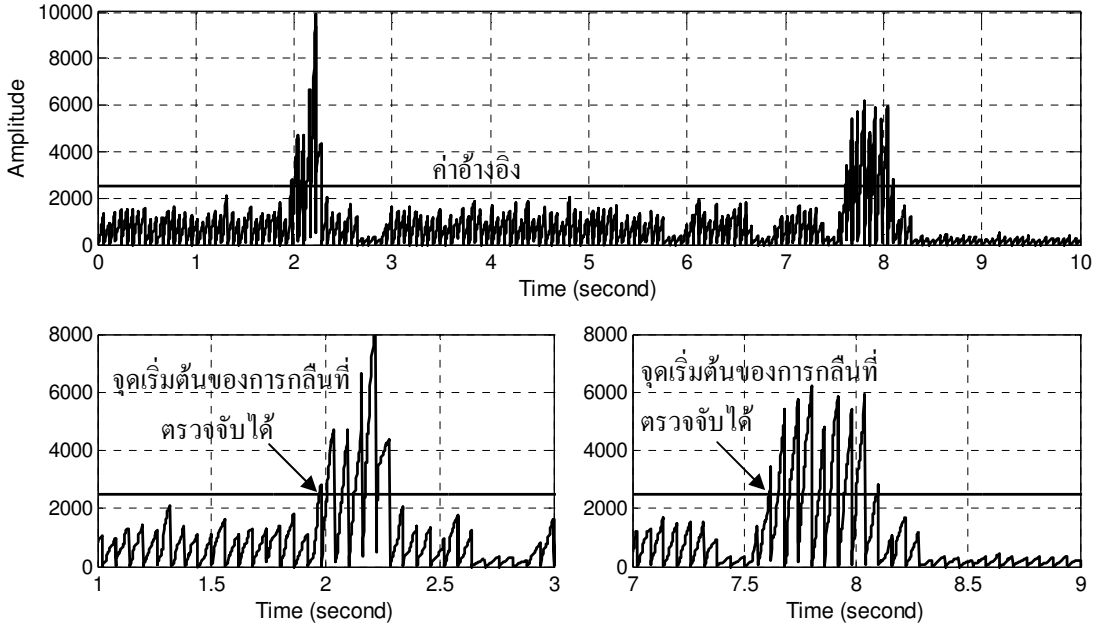
เหมาะสมให้กับระบบ จากนั้นก็ให้อาสาสมัครทำการกลืนหลาย ๆ ครั้งเพื่อดูการทำงานของเครื่องต้นแบบ ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังภาพประกอบ 5-10 และภาพประกอบ 5-11



ภาพประกอบ 5-9 ลักษณะของการติดอิเล็กโทรดบริเวณใต้คางเพื่อตรวจจับจุดกลืน



ภาพประกอบ 5-10 สัญญาณไฟฟ้าจากล้ามเนื้อใต้คาง (บน) และสัญญาณทริกเกอร์ (ล่าง)



ภาพประกอบ 5-11 กำลังเฉลี่ยของสัญญาณไฟฟ้าจากการกลืน

จากภาพประกอบ 5-10 และภาพประกอบ 5-11 เมื่อทำการกำหนดค่าอ้างอิงเท่ากับ 2500 (ตัวเลข Fixed-point) จะเห็นได้ว่าเครื่องต้นแบบสามารถตรวจจับจุดกลืนได้ถูกต้อง โดยเมื่อคิดจากจำนวนครั้งที่กลืนกับจำนวนครั้งที่เครื่องต้นแบบตรวจจับได้ จะพบว่าเมื่อให้อาสาสมัครทำการกลืนทั้งหมด 40 ครั้ง เครื่องต้นแบบตรวจจับถูกต้อง 37 ครั้ง อีก 3 ครั้งตรวจจับไม่ได้ ซึ่งเกิดจากแรงในการกลืนน้อยทำให้สัญญาณในการกลืนต่ำกว่าค่าอ้างอิง นอกจากนี้เครื่องต้นแบบยังส่งสัญญาณทริกเกอร์อีก 2 ครั้งโดยไม่มีการกลืน ซึ่งเหตุการณ์นี้เกิดจากแรงในการเคี้ยวสูง ทำให้สัญญาณการเคี้ยวนี้สูงกว่าค่าอ้างอิงนั่นเอง