บทที่ 4

การทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย

การทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย เป็นการทดสอบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ประยุกต์ใช้เป็นโครงข่าย ADALINE เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ และความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่มีฮาร์โมนิค ออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย โดยได้ทำการทดสอบไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32 และไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 ซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงข่าย ADALINE โดยจะทำการทดสอบด้วยการใช้ตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายที่จำลองขึ้นจากสัญญาณแรนดัม(Random) ผสมกับสัญญาณรบกวนป้อนเป็นสัญญาณอินพุตให้กับโครงข่าย ADALINE และทดสอบจริงด้วยการป้อนสัญญาณที่วัดได้ขณะเกร็งกล้ามเนื้อด้วยการยกน้ำหนักขนาดต่าง ๆ ซึ่งเป็นสัญญาณที่มีทั้งสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายและสัญญาณรบกวนในสถานการณ์จริงที่มีทั้งสัญญาณความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิค โดยเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE ซึ่งเป็นสัญญาณกล้ามเนื้อที่ได้กำจัดสัญญาณรบกวนแล้วจะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายที่ได้จากเอาท์พุตของวงจรนอตฟิลเตอร์ (Notch Filter) ซึ่งการพิจารณาว่าโครงข่าย ADALINE สามารถกำจัดสัญญาณรบกวน ได้ดีเพียงใด จะพิจารณาจากค่าดัชนีดังต่อไปนี้

1) อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio : S/N) ของสัญญาณเอาท์พุต คำนวณได้จากสมการ

$$\frac{S}{N} = 10\log\frac{P_s}{P_n} \qquad \text{dB} \qquad (4\text{-}1)$$

โดย P_s คือขนาดเพาเวอร์สเปกตรัม (Power Spectrum) ของสัญญาณเอาท์พุตในส่วนความถี่ที่ไม่ใช่ความถี่ของสัญญาณรบกวน

P_n คือ ขนาดเพาเวอร์สเปกตรัม ของสัญญาณเอาท์พุตในส่วนความถี่รบกวน

ในการพิจารณาหากค่าของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่ามากแสดงว่าสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดี

2) ค่าความสามารถในการกำจัดกำจัดสัญญาณรบกวนคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{m}{e} = \frac{P_m}{P_e} \qquad (4\text{-}2)$$

โดย P_m คือขนาดเพาเวอร์สเปกตรัมของสัญญาณรบกวนด้านสัญญาณอินพุต

P_e คือขนาดเพาเวอร์สเปกตรัมของสัญญาณรบกวนด้านเอาท์พุต

ถ้าค่า $\frac{m}{e}$ มีค่าสูงแสดงว่าจะสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดี

3) อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวน $|A_{CL}|$ คำนวณได้จากสมการ

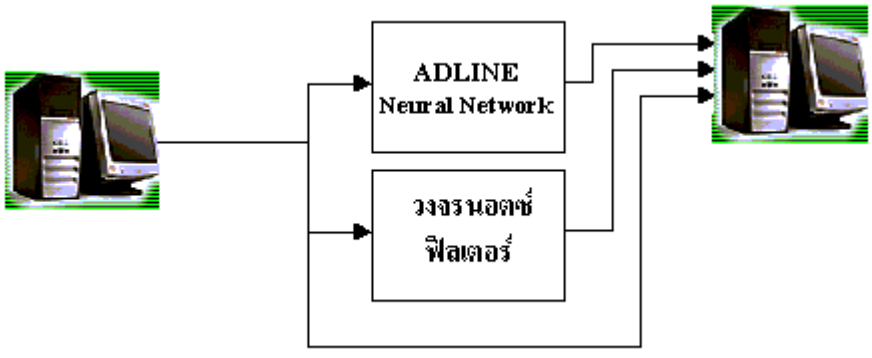
$$|A_{CL}| = 10\log\frac{P_e}{P_m} \qquad \text{dB} \qquad (4.3)$$

ถ้าค่า $|A_{CL}|$ มีค่ามากแสดงว่าสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้ดี

4) รูปร่างของสัญญาณเอาท์พุต เป็นการเปรียบเทียบรูปร่างของสัญญาณเอาท์พุตกับตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย

4.1 การทดสอบไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32 ที่ประยุกต์เป็นโครงข่าย ADALINE

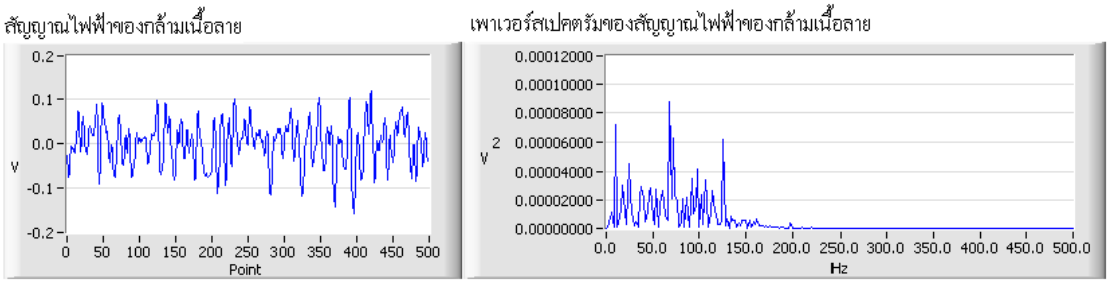
การทดสอบความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32 ที่ประยุกต์เป็นโครงข่าย ADALINE เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนนั้น ได้แบ่งเป็นการทดสอบการกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ และสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่มีฮาร์โมนิคด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ 2 ตัว ทำหน้าที่ป้อนสัญญาณอินพุตและบันทึกสัญญาณเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE โดยใช้โปรแกรม Labview 6i ควบคุมให้คอมพิวเตอร์ตัวที่หนึ่ง ทำหน้าที่ป้อนตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายจำลองซึ่งผสมรวมกับสัญญาณรบกวน ผ่านทาง PORT I/O ของการ์ด LabPC1200 ของบริษัท National Instruments (กำหนดให้เป็นสัญญาณที่วัดได้ ซึ่งมีสัญญาณรบกวนปนอยู่) ให้กับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็นโครงข่าย ADALINE และ วงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ ซึ่งเป็นวงจรกรองสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์เพื่อใช้เปรียบเทียบกับการกำจัดสัญญาณรบกวนของโครงข่าย ADALINE จากนั้นทำการบันทึกสัญญาณอินพุตของโครงข่าย ADALINE สัญญาณเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และสัญญาณเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ด้วยคอมพิวเตอร์ตัวที่สองผ่านทาง PORT I/O ของการ์ด LabPC1200 เช่นเดียวกัน โดยการบันทึกจะบันทึกแยกกันละช่องสัญญาณพร้อมกันทั้ง 3 สัญญาณ ดังแสดงในภาพประกอบ 4-1



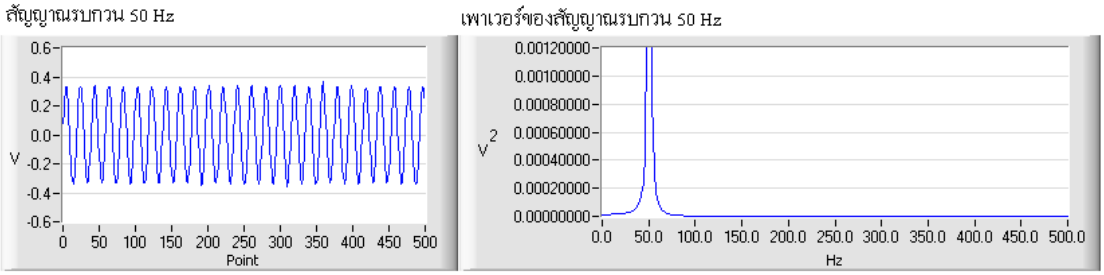
ภาพประกอบ 4-1 แสดงการทดสอบการกำจัดสัญญาณรบกวนของตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายผสมกับสัญญาณรบกวน

4.1.1 การทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ ออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย

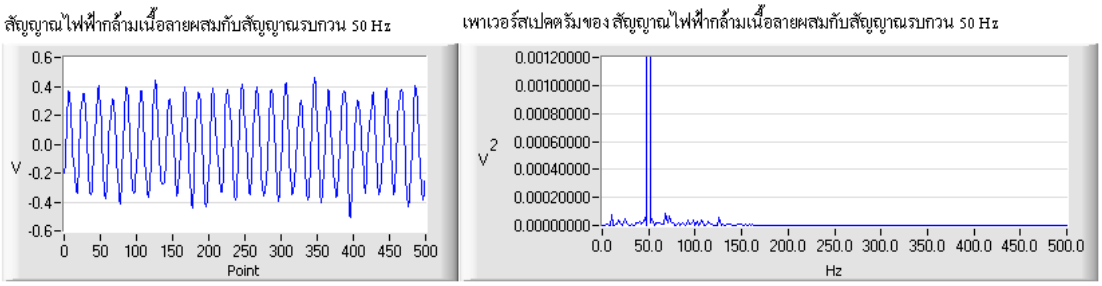
การทดสอบโครงข่ายในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายโดยนำตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายจำลอง ซึ่งมีขนาดแรงดันประมาณ 0.1 โวลท์ดังแสดงในภาพประกอบ 4-2 (a) ผสมรวมกับสัญญาณซายน์ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ขนาดแรงดันประมาณ 0.4 โวลท์ดังแสดงในภาพประกอบ 4-2 (b) จะได้เป็นสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายที่มีสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ปนอยู่ด้วย ซึ่งกำหนดให้เป็นสัญญาณที่วัดได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 4-2 (c) และภาพประกอบ 4-2 (d) แล้วจึงป้อนเป็นสัญญาณปฐมภูมิหรือเป็นสัญญาณอินพุตให้แก่ โครงข่าย ADALINE และวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ แล้วทำการบันทึกสัญญาณอินพุต สัญญาณเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ ดังแสดงในภาพประกอบ 4-2 (e) และภาพประกอบ 4-2 (f) ตามลำดับ ซึ่งเป็นสัญญาณกล้ามเนื้อลายที่ได้ทำการกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปแล้ว โดยมีค่าดัชนีและค่าเพาเวอร์ สเปคตรัมดังแสดงในตารางที่ 4-1



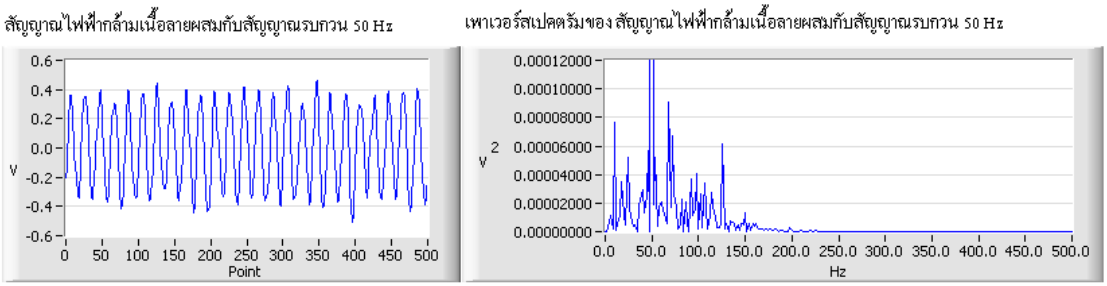
(a) ตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย



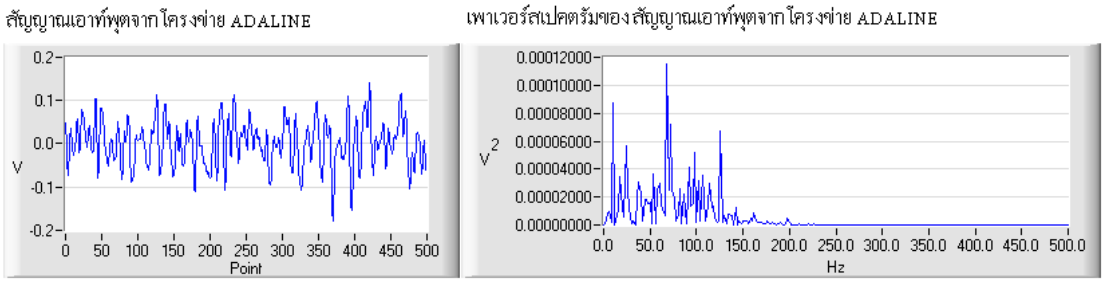
(b) สัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์



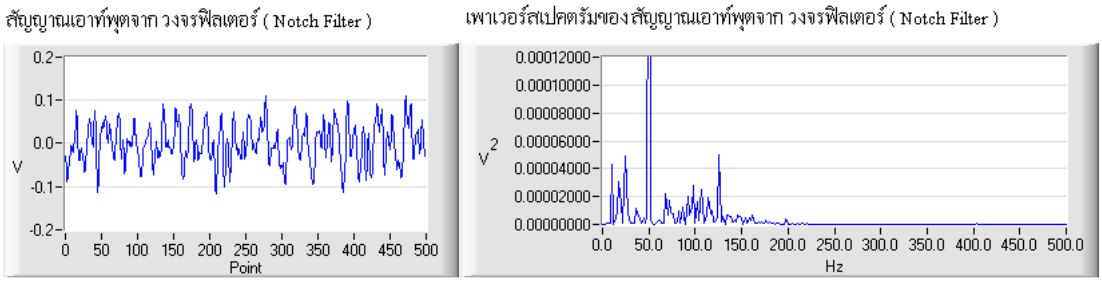
(c) สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายผสมสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์



(d) สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายผสมสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ เมื่อขยายสเกลในส่วนของเพาเวอร์สเปคตรัม



(e) สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE



(f) สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย จากเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์

ภาพประกอบ 4-2 แสดงรูปคลื่นและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายด้วย AVR ATmega32

ตารางที่ 4-1 ค่าดัชนีและเพาเวอร์สเปคตรัมจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย ด้วย AVR ATmega32

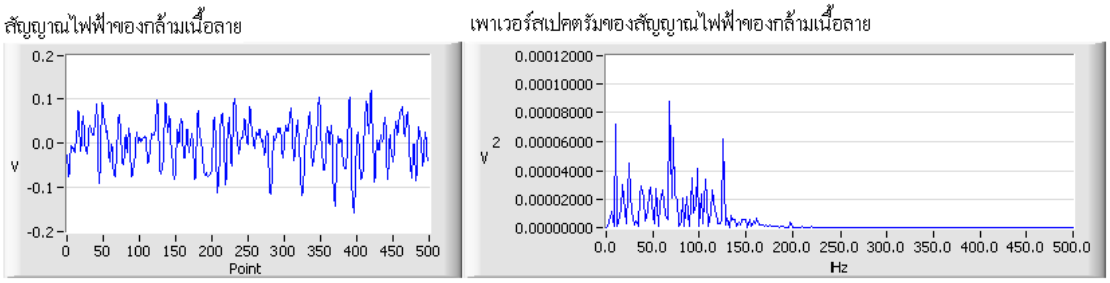
แหล่งสัญญาณ	ค่าดัชนีชี้วัด			ขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมของความถี่ 50 Hz (V^2)
	S/N (dB)	m/e (เท่า)	$\|A_{CL}\|$ (dB)	
Signal Input	-14.125	1.0001	-	3.266E-2
Output ADALINE	18.4479	1711.8400	33.0986	1.600E-5
Output Notch Filter	2.2318	81.5089	19.1152	3.955E-4

จากตารางที่ 4-1 พบว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 18.4479 dB และ 2.2318 dB ตามลำดับ ส่วนค่าความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวน (m/e) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 1711 .8400 เท่า และ 81.5089 เท่าตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีทั้งสองหากมีค่าสูงกว่าแสดงว่าสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า และหากพิจารณาอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนของโครงข่าย ADALINE สามารถลดทอนได้ 33 dB ในขณะที่เอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์สามารถลดทอนได้ 19 dB ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโครงข่าย ADAINE ที่ประยุกต์ใช้งานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32 สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ได้ดีกว่าวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ นอกจากนี้หากพิจารณารูปร่างสัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัม จะเห็นว่าเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีความใกล้เคียงกับตัวอย่างของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลายมากกว่าจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์

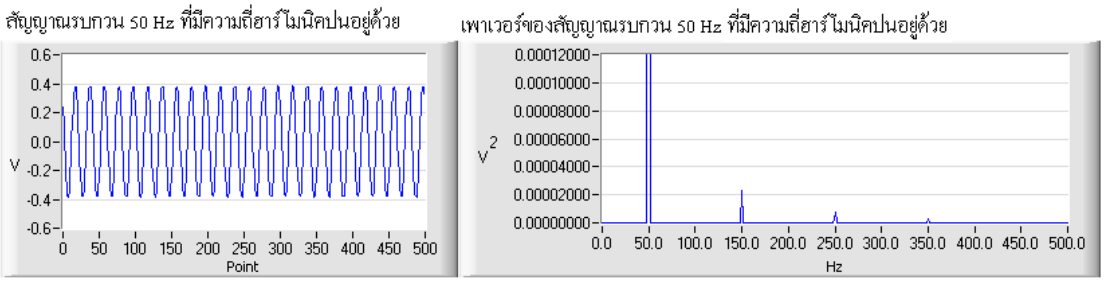
4.1.2 การทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่มีฮาร์โมนิค ออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย

การทดสอบโครงข่ายในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่มีฮาร์โมนิคคี่ที่ 3 , 5 , 7 และ 9 (ความถี่ 150, 250, 350, 450 เฮิรตซ์) ขนาดแรงดัน 0.4 โวลท์ ดังแสดงในภาพประกอบ 4-3 (b) ซึ่งจะนำมาผสมกับตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายซึ่งเป็นตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายตัวเดียวกันกับการทดสอบในหัวข้อ 4.1.1 ดังแสดงในภาพประกอบ 4-3 (a) แล้วจะได้สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายที่มีสัญญาณรบกวน 50 เฮิรตซ์และฮาร์โมนิคปนอยู่ด้วย ดังแสดงในภาพประกอบ 4-3 (c) แล้วจึงป้อนเป็นสัญญาณอินพุตหรือเป็นสัญญาณปฐมภูมิ ให้กับโครงข่าย ADALINE และวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ แล้วทำการบันทึกสัญญาณอินพุต สัญญาณเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ ดังแสดงใน ภาพประกอบ 4-3 (d) และภาพประกอบ 4-3 (e) ตามลำดับ ซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายที่ได้ทำการกำจัดหรือลดทอนสัญญาณรบกวน

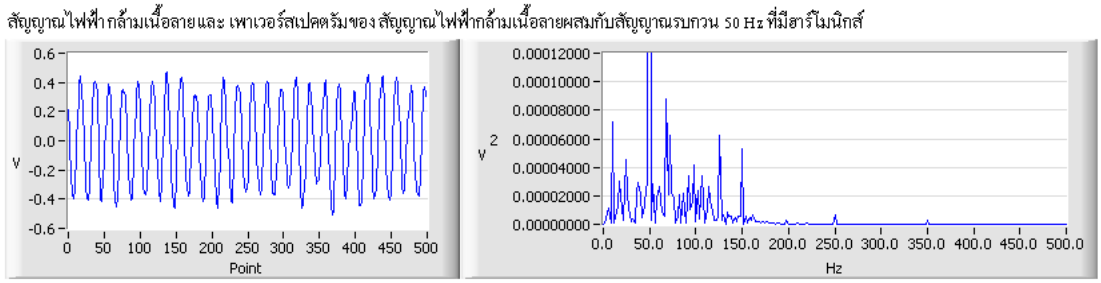
ออกไปแล้ว ซึ่งมีค่าดัชนีและค่าเพาเวอร์สเปคตรัมดังแสดงในตารางที่ 4-2 และได้เปรียบเทียบอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิค จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4-3



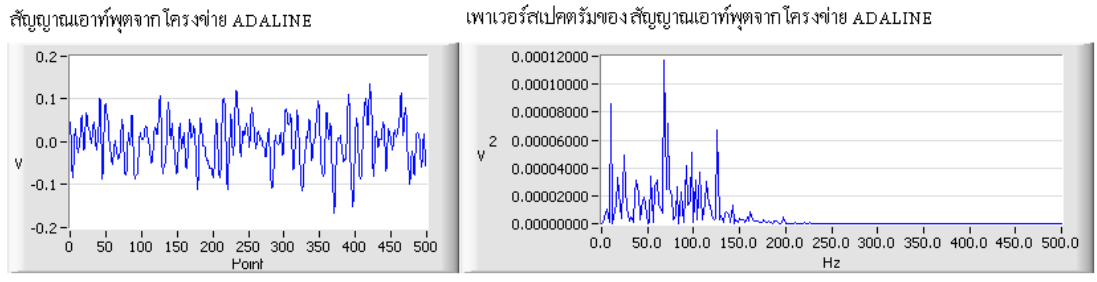
(a) ตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย



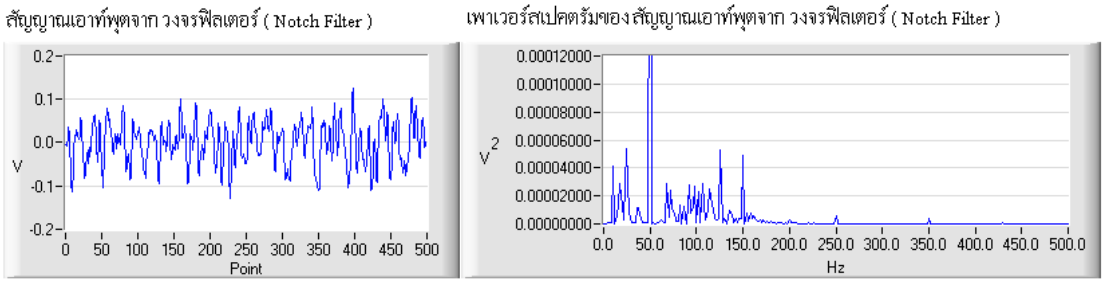
(b) สัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่มีฮาร์โมนิค



(c) สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายผสมสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่มีฮาร์โมนิค



(d) สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE



(e) สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย จากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์

ภาพประกอบ 4-3 แสดงรูปคลื่นและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่มีฮาร์โมนิคออกจากสัญญาณไฟฟ้า ของกล้ามเนื้อลาย ด้วย AVR ATmega32

ตารางที่ 4-2 ค่าดัชนีและเพาเวอร์สเปคตรัมจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่มีฮาร์โมนิคออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายด้วย AVR ATmega32

แหล่งสัญญาณ	ค่าดัชนีชี้วัด		ขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมของความถี่ 50 เฮิรตซ์และฮาร์โมนิค (V^2)				
	S/N (dB)	m/e (เท่า)	50Hz	150Hz	250Hz	350Hz	450Hz
Signal Input	-15.3343	1	4.025E-2	5.246E-5	6.642E-6	2.694E-6	2.370E-7
Output ADALINE	25.5146	10792.878	2.074E-7	3.476E-6	1.905E-8	1.339E-8	1.926E-8
Output Notch Filter	1.8406	85.2410	4.150E-4	4.852E-5	5.377E-6	3.639E-6	4.586E-7

ตารางที่ 4-3 แสดงอัตราการลดทอนของสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์และฮาร์โมนิค จากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์และโครงข่าย ADALINE ด้วย AVR ATmega32

แหล่งสัญญาณ	อัตราการลดทอนของสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่าง ๆ (dB)				
	50Hz	150Hz	250Hz	350Hz	450Hz
Output ADALINE	52.8795	11.7874	25.4240	23.0361	10.909
Output Notch Filter	19.8672	0.3391	0.9176	1.3058	2.8669

จากตารางที่ 4-2 พบว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 25.51 dB และ1.8406 dB ตามลำดับ ส่วนค่าความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวน (m/e) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 10792.8768 เท่า และ 85.241 เท่า ตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีทั้งสองหากมีค่ามากกว่าแสดงว่าสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า และจากตารางยังพบว่าขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์

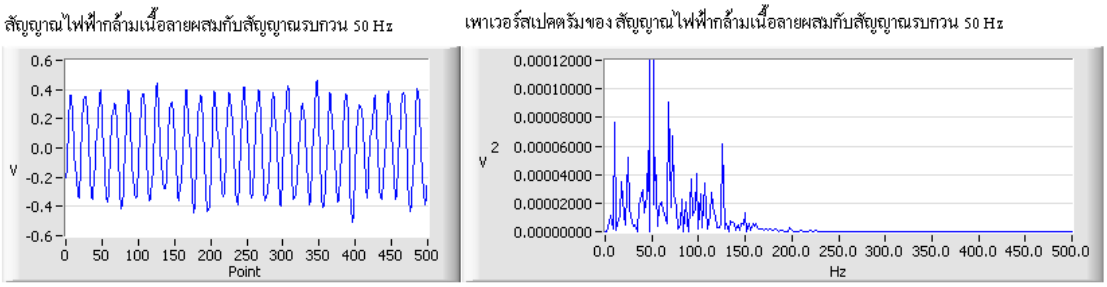
และฮาร์โมนิคที่ความถี่ 150, 250, 350 และ 450 เฮิรตซ์มีค่าลดลงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมจากเอาท์พุต ของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ และจากตารางที่ 4-3 เมื่อพิจารณาอัตราการลดทอนสัญญาณโดยเฉพาะที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีอัตราการลดทอนสัญญาณ 52.8795 dB ในขณะที่เอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีอัตราการลดทอนสัญญาณ 19.8672 dB ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโครงข่าย ADALINE ที่ประยุกต์ใช้งานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR Atmega32 สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ได้ดีกว่าและยังสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนฮาร์โมนิคคี่ที่ 3, 5, 7 และ 9 ของความถี่ 50 เฮิรตซ์ ได้อีกด้วย

4.2 การทดสอบไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 ที่ประยุกต์เป็นโครงข่าย ADALINE

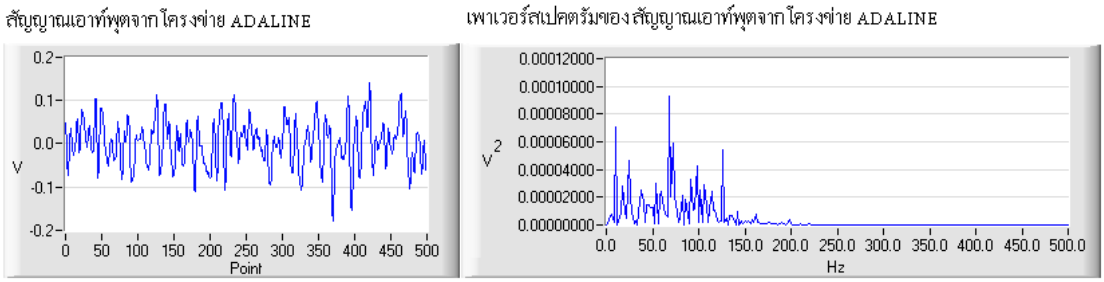
การทดสอบโครงข่าย ADALINE ในหัวข้อนี้ เป็นการทดสอบเช่นเดียวกับหัว ข้อ 4.1 เพียงแต่เปลี่ยนไมโครคอนโทรเลอร์เป็น dsPIC30F2010 ทำหน้าที่เป็นโครงข่าย ADALINE เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย

4.2.1 การทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย

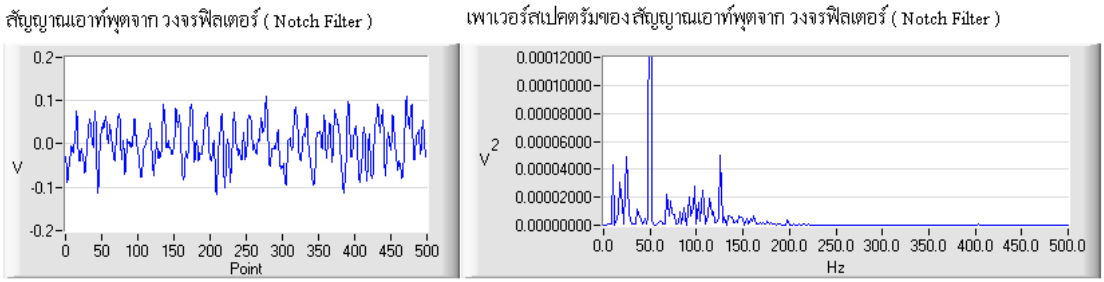
การทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 กระบวนการจะเหมือนกับการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนของสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายในหัวข้อ 4.1.1 โดยนำตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายจำลองที่ผสมกับสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อนให้กับอินพุตของโครงข่าย ADALINE ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 และอินพุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ แล้วทำการบันทึกสัญญาณทั้งสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุตดังแสดงในภาพประกอบ 4-4 ซึ่งมีค่าดัชนีและค่าเพาเวอร์สเปคตรัมดังแสดงในตารางที่ 4-4



(a) สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายผสมสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์



(b) สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE



(c) แสดงสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย จากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์

ภาพประกอบ 4-4 แสดงรูปคลื่นและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายด้วย dsPIC30F2010

ตารางที่ 4-4 ค่าดัชนีและเพาเวอร์สเปคตรัมจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย ด้วย dsPIC30F2010

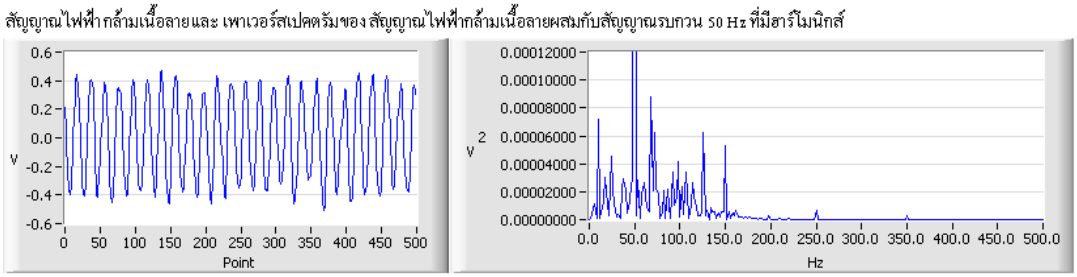
แหล่งสัญญาณ	ค่าดัชนีชี้วัด			ขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมของความถี่ 50 Hz (V^2)
	S/N (dB)	m/e (เท่า)	$\lvert A_{CL} \rvert$ (dB)	
Signal Input	-14.125	1.0001	-	3.266E-2
Output ADALINE	18.5073	1736.7378	33.1221	1.572E-5
Output Notch Filter	2.2318	81.5089	19.1152	3.955E-4

จากตารางที่ 4-4 พบว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 18.5073 dB และ 2.2318 dB ตามลำดับ ส่วนค่าความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวน (m/e) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 1736.7378 เท่า และ 81.5089 เท่า ตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีทั้งสองหากมีค่าสูงกว่าแสดงว่าสามารถลดทอนหรือกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า และหากพิจารณาอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนของโครงข่าย

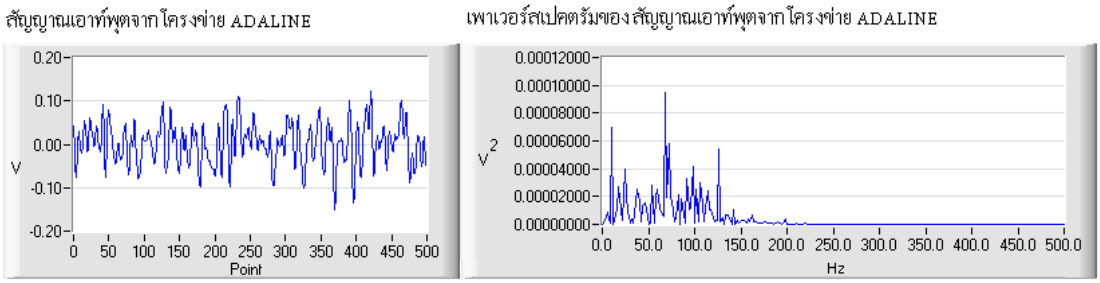
ADALINE สามารถลดทอนได้ 33.1221 dB ในขณะที่เอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์สามารถลดทอนได้ 19.1152 dB ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโครงข่าย ADAINE ที่ประยุกต์ใช้งานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ได้ดีกว่าวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ นอกจากนี้หากพิจารณารูปร่างสัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมพบว่าเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีความใกล้เคียงกับตัวอย่างของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลายมากกว่าเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ซึ่งยังคงมีสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ปนอยู่กับสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย

4.2.2 การทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่มีฮาร์โมนิคออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย

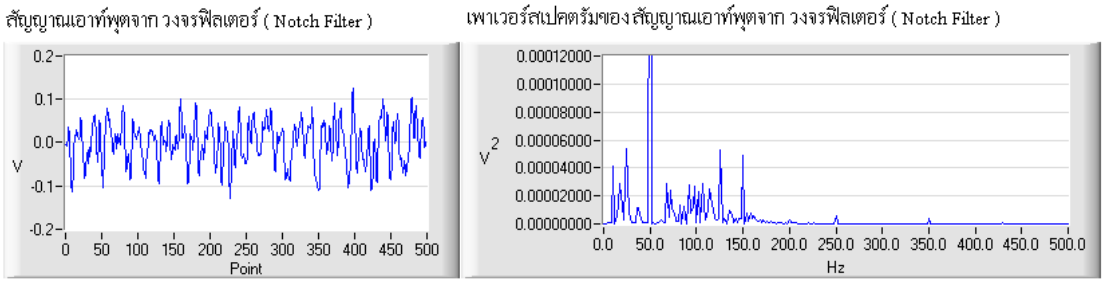
การทดสอบโครงข่ายในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวน 50 เฮิรตซ์ที่มีฮาร์โมนิคคี่ ที่ 3, 5, 7 และ 9 เหมือนกับการทดสอบในหัวข้อ 4.1.2 โดยนำตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายผสมกับสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่มีฮาร์โมนิค แล้วป้อนเป็นสัญญาณอินพุต ให้กับโครงข่าย ADALINE และวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ แล้วทำการบันทึกสัญญาณอินพุต สัญญาณเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ ดังแสดงผลในภาพประกอบ 4-5 ซึ่งมีค่าดัชนีและค่าเพาเวอร์สเปคตรัมดังแสดงในตารางที่ 4-5 และได้เปรียบเทียบอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิคจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 4-6



(a) สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายผสมสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่มีฮาร์โมนิค



(b) สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE เมื่อกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่มีฮาร์โมนิคออกแล้ว



(c) สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์

ภาพประกอบ 4-5 แสดงรูปคลื่นและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่มีฮาร์โมนิคออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายด้วย dsPIC30F2010

ตารางที่ 4-5 ค่าดัชนีและเพาเวอร์สเปคตรัมจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่มีฮาร์โมนิค ออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายด้วย dsPIC30F2010

แหล่งสัญญาณ	ค่าดัชนีชี้วัด		ขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมของความถี่ 50 เฮิรตซ์และฮาร์โมนิค (V^2)				
	S/N (dB)	m/e (เท่า)	50Hz	150Hz	250Hz	350Hz	450Hz
Signal Input	-15.3343	1	4.025E-2	5.246E-5	6.642E-6	2.694E-6	2.370E-7
Output ADALINE	25.6079	11040.2580	1.834E-7	3.389E-6	1.853E-8	1.514E-8	1.338E-8
Output Notch Filter	1.8406	85.241	4.150E-4	4.852E-5	5.377E-6	3.639E-6	4.586E-7

ตารางที่ 4-6 แสดงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์และฮาร์โมนิคจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์และโครงข่าย ADALINE ด้วย ด้วย dsPIC30F2010

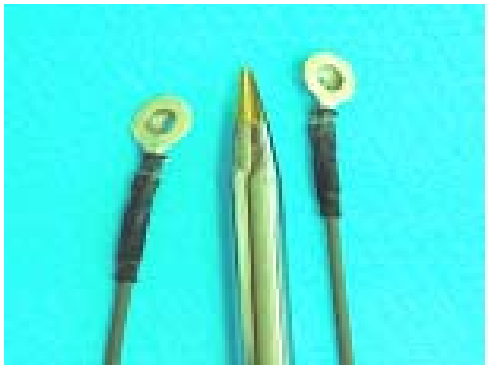
แหล่งสัญญาณ	อัตราการลดทอนของสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่าง ๆ (dB)				
	50Hz	150Hz	250Hz	350Hz	450Hz
Output ADALINE	53.4137	11.8976	25.5442	22.5027	12.4829
Output Notch Filter	19.8672	0.3391	0.9176	1.3058	2.8669

จากตารางที่ 4-5 พบว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์มีค่า 25.51 dB และ1.8406 dB ตามลำดับ ส่วนค่าความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวน (m/e) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์มีค่า 11040.258 เท่า และ 85.241 เท่า ตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีทั้งสองหากมีค่ามากกว่าแสดงว่าสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า และจากตารางยังพบว่าขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ และฮาร์โมนิคที่ความถี่ 150, 250, 350 และ 450 เฮิรตซ์จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีค่าลดลงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมจากเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ และจากตารางที่ 4-3 เมื่อพิจารณาอัตราการลดทอนสัญญาณโดยเฉพาะที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์จาก เอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีอัตราลดทอนสัญญาณ 53.4137 dB ในขณะที่จากเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์มีอัตราการลดทอนสัญญาณ 19.8672 dB ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโครงข่าย ADALINE ที่ประยุกต์ใช้งานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ได้ดีกว่าวงจรนอตช์ฟิลเตอร์และยังสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนฮาร์โมนิคคี่ที่ 3, 5, 7 และ 9 ของความถี่ 50 เฮิรตซ์ ได้อีกด้วย

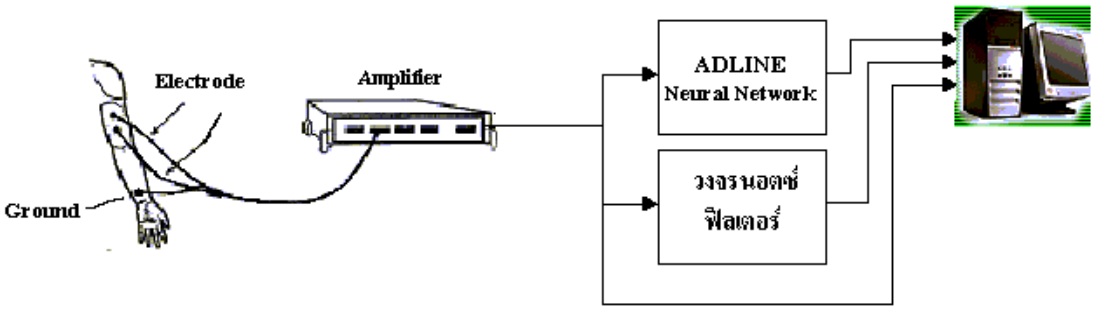
4.3 การทดสอบโครงข่าย ADALINE กำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายจริงขณะเกร็งกล้ามเนื้อ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32

ในการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายที่วัดได้ในขณะเกร็งกล้ามเนื้อโดยการยกน้ำหนักขนาด 1, 2.5 และ 4 กิโลกรัม ซึ่งเป็นสัญญาณจริงที่มีทั้งสัญญาณกล้ามเนื้อลายและสัญญาณรบกวนต่างๆ จากร่างกาย ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ ที่อาจจะมีความถี่ฮาร์โมนิคผสมอยู่ด้วย โดยสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายจะเป็นชนิด Electromyography เนื่องจากในการวัดจะใช้แผ่นอิเล็กโตรดชนิดติดผิวหนัง (Surface Electrode) ดังแสดงในภาพประกอบ 4-6 ซึ่งในกระบวนการวัดจะใช้แผ่นอิเล็กโตรดชนิดติดผิวหนัง 2 ชิ้นวางห่างกันประมาณ 1 นิ้ว ไว้ที่กลุ่มกล้ามเนื้อบริเวณต้นแขน และติดอิเล็กโตรดที่ทำหน้าที่เป็นกราวด์อีก 1 ชิ้น ที่บริเวณข้อมือของแขนข้างเดียวกันที่จะทำการวัดสัญญาณ ซึ่งมีลักษณะดังภาพประกอบ 4-7 และ ภาพประกอบ 4-8 โดยก่อนที่จะติดอิเล็กโทรด จะต้องทำความสะอาดผิวหนังด้วยแอลกอฮอร์เสียก่อน เพื่อลดความต้านทานที่ผิวหนัง จากนั้นทำการยกน้ำหนักขนาดดังที่กล่าว ค้างไว้ในลักษณะที่งอแขนเป็นมุม 90 องศาเป็นเวลา 6 วินาที ดังแสดงในภาพประกอบ 4.9 เพื่อบันทึกสัญญาณจำนวน 4000 จุด

เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายจะมีขนาดน้อยมาก จึงต้องมีชุดขยายสัญญาณทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่วัดได้ซึ่งมีอัตราขยายประมาณ 46 dB แล้วป้อนเป็นอินพุตให้กับโครงข่าย ADALINE และวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ จากนั้นทำการบันทึกสัญญาณอินพุตของโครงข่าย ADALINE สัญญาณเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และสัญญาณเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ (เพื่อเปรียบเทียบการกำจัดสัญญาณรบกวนกับการกำจัดสัญญาณรบกวนของโครงข่าย ADALINE) ด้วยคอมพิวเตอร์โดยผ่าน PORT I/O ของการ์ด LabPC1200 ของบริษัท National Instruments โดยการบันทึกจะบันทึกแยกกันละช่องสัญญาณพร้อมกันทั้ง 3 สัญญาณ ดังแสดงในภาพประกอบ 4-7

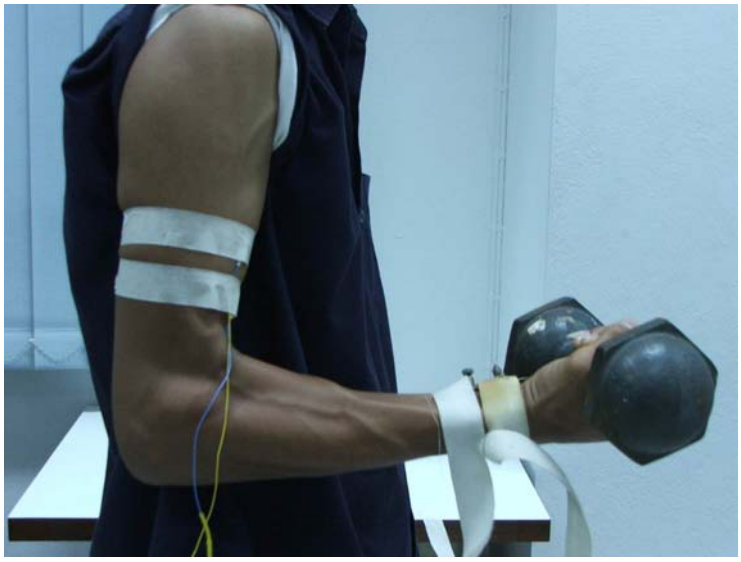


ภาพประกอบ 4-6 แสดงลักษณะของอิเล็กโตรดชนิดติดผิวหนัง



ภาพประกอบ 4-7 ผังแสดงวิธีการวัดและทดสอบ

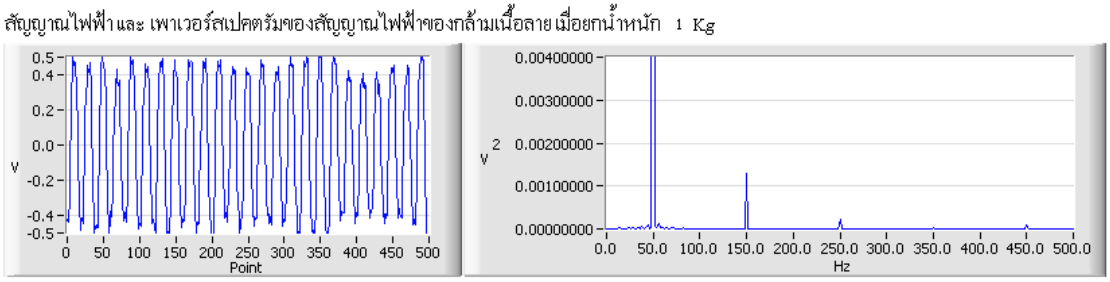
ภาพประกอบ 4-8 แสดงการติดอิเล็กโตรดบนแขนที่ต้องการวัดสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย



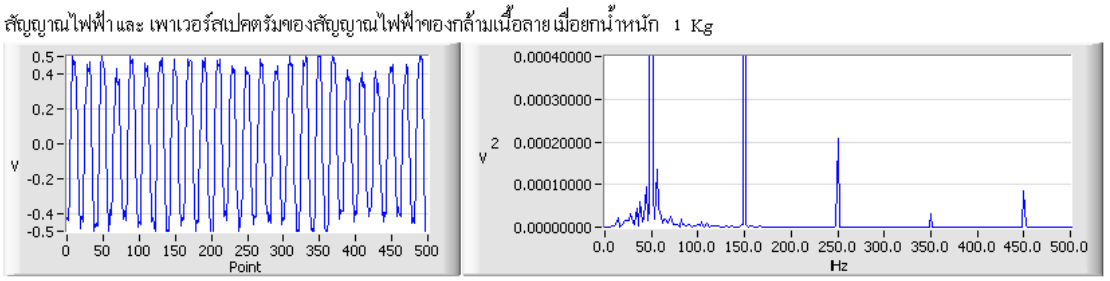
ภาพประกอบ 4-9 แสดงวิธีการเกร็งกล้ามเนื้อโดยการยกน้ำหนัก

4.3.1 การทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะยกน้ำหนักขนาด 1 กิโลกรัม

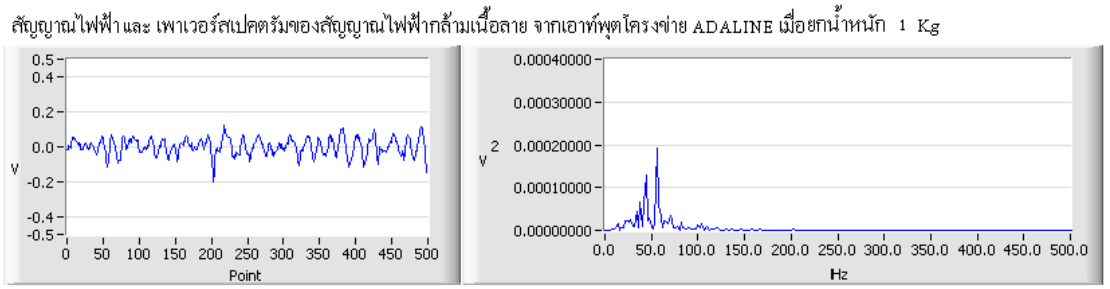
เป็นการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะเกร็งกล้ามเนื้อโดยการยกน้ำหนักขนาด 1 กิโลกรัม แล้วทำการบันทึกสัญญาณอินพุต สัญญาณเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และสัญญาณเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ดังแสดงในภาพประกอบ 4-10 ซึ่งมีค่าดัชนีและค่าเพาเวอร์สเปคตรัมดังแสดงในตารางที่ 4-7 และได้เปรียบเทียบอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิคจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4-8



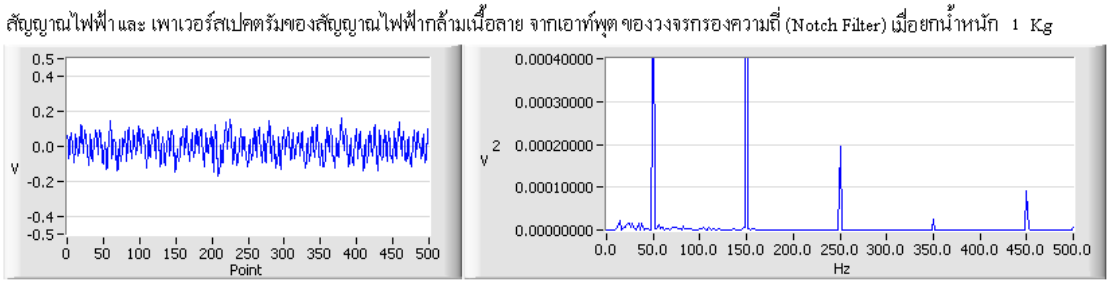
(a) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณที่วัดได้ (สัญญาณอินพุต)



(b) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณที่วัดได้ (เมื่อปรับสเกลเพาเวอร์สเปคตรัม)



(c) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE



(d) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณจากเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์

ภาพประกอบ 4-10 แสดงรูปคลื่นและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้า จากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย AVR ATmega32 ขณะยกน้ำหนัก 1 กิโลกรัม

ตารางที่ 4-7 ค่าดัชนีและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย AVR ATmega32 ขณะยกน้ำหนัก 1 กิโลกรัม

แหล่งสัญญาณ	ค่าดัชนีชี้วัด		ขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมของความถี่ 50 เฮิรตซ์และฮาร์โมนิค (V^2)				
	S/N (dB)	m/e (เท่า)	50Hz	150Hz	250Hz	350Hz	450Hz
Signal Input	-	-	6.388E-2	1.280E-3	2.082E-4	3.079E-5	8.613E-5
Output ADALINE	10.0318	740.6224	4.571E-8	4.286E-5	3.913E-5	9.837E-7	5.405E-6
Output Notch Filter	-8.0564	32.2750	5.892E-4	1.127E-3	1.951E-4	2.662E-5	9.126E-5

ตารางที่ 4-8 แสดงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์และฮาร์โมนิคจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย AVR ATmega32 ขณะยกน้ำหนัก 1 กิโลกรัม

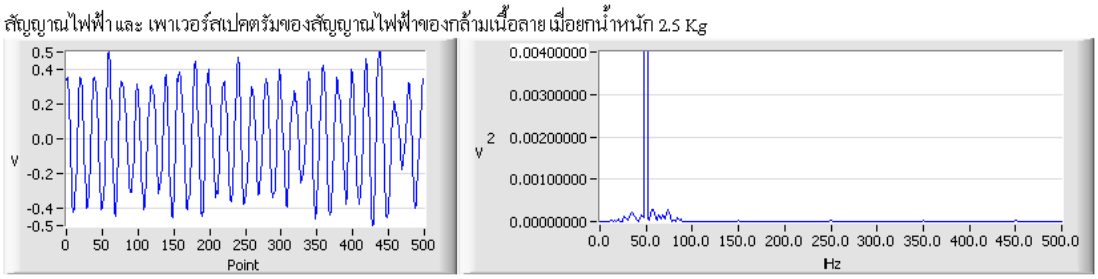
แหล่งสัญญาณ	อัตราการลดทอนของสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่าง ๆ (dB)				
	50Hz	150Hz	250Hz	350Hz	450Hz
Output ADALINE	61.4535	14.7516	7.2597	14.9555	12.0236
Output Notch Filter	20.3510	0.5529	0.2822	0.6320	0.2513

จากการทดสอบ กำจัดสัญญาณรบกวนจริง ด้วยวิธีการวัดสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะยกน้ำหนัก 1 กิโลกรัม พบว่าสัญญาณที่วัดได้ซึ่งเป็นอินพุตของโครงข่าย ADALINE มีสัญญาณรบกวนทั้งความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิค 150, 250, 350, 450 เฮิรตซ์ ซึ่งมีขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมเป็น 6.388E-2, 1.280E-3, 2.082E-4, 3.079E-5 และ 8.613E-5 V^2 ตามลำดับ โดยมีขนาดสูงกว่าสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายเป็นอย่างมาก ทำให้สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายถูกบดบังด้วยสัญญาณรบกวน ดังแสดงในภาพ

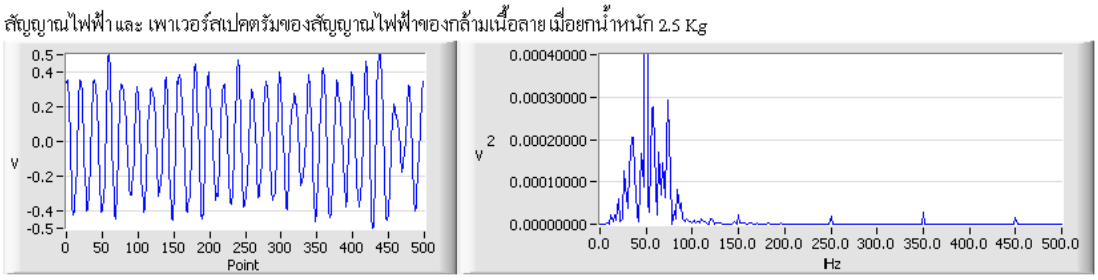
ประกอบ 4-10 (a), (b) และตารางที่ 4-7 ส่วนภาพประกอบ 4-10 (c) และ (d) เป็นเอาท์พุตจากโครงข่าย ADALINE และวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ตามลำดับ พบว่าสัญญาณรบกวนทั้งความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิค 150, 250, 350 และ 450 เฮิรตซ์จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมลดลงเป็น 4.571E-8, 4.286E-5, 3.913E-5 , 9.837E-7 และ 5.405E-6 V^2 ตามลำดับ ในขณะที่เอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมเป็น 5.892E-4,1.127E-3, 1.951E-4, 2.662E-5 และ 9.126E-5 V^2 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณรบกวนที่ความถี่ดังกล่าว ขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีขนาดลดลงมากกว่าเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ ซึ่งหากพิจารณาค่าดัชนีจากตารางที่ 4-7 พบว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 10.0381 dB และ -8.0564 dB (เป็นค่าลบเนื่องจากสัญญาณรบกวนมีค่ามากกว่าสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย) ตามลำดับ ส่วนค่าความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวน (m/e) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 740.6224 เท่า และ 32.2750 เท่า ตามลำดับ โดยค่าดัชนีทั้งสองหากมีค่ามากกว่าแสดงว่าสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า และจากตารางที่ 4-8 เมื่อพิจารณาอัตราการลดทอนสัญญาณโดยเฉพาะที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE พบว่ามีอัตราการลดทอนสัญญาณ 61.4535 dB ในขณะที่เอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีอัตราการลดทอนสัญญาณ 20.3510 dB ซึ่งจากข้อมูลในตาราง 4-7 และ 4-8 แสดงให้เห็นว่าโครงข่าย ADALINE ที่ประยุกต์ใช้งานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32 สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ได้ดีกว่าวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์และยังสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนฮาร์โมนิคคี่ที่ 3, 5, 7 และ 9 ของความถี่ 50 เฮิรตซ์ ได้อีกด้วย

4.3.2 การทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย ขณะยกน้ำหนักขนาด 2.5 กิโลกรัม

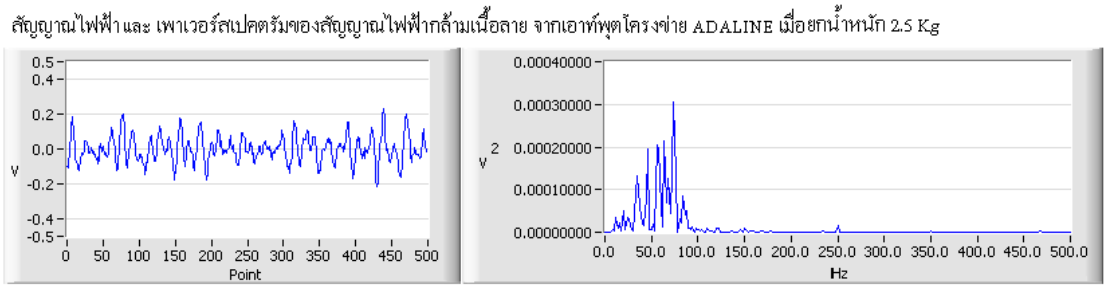
เป็นการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวน ออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย ขณะเกร็งกล้ามเนื้อโดยการยกน้ำหนักขนาด 2.5 กิโลกรัม แล้วทำการบันทึกสัญญาณอินพุต สัญญาณเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และสัญญาณเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ดังแสดงในภาพประกอบ 4-11 ซึ่งมีค่าดัชนีและค่าเพาเวอร์สเปคตรัมดังแสดงในตารางที่ 4-9 และได้เปรียบเทียบอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิคจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4-10



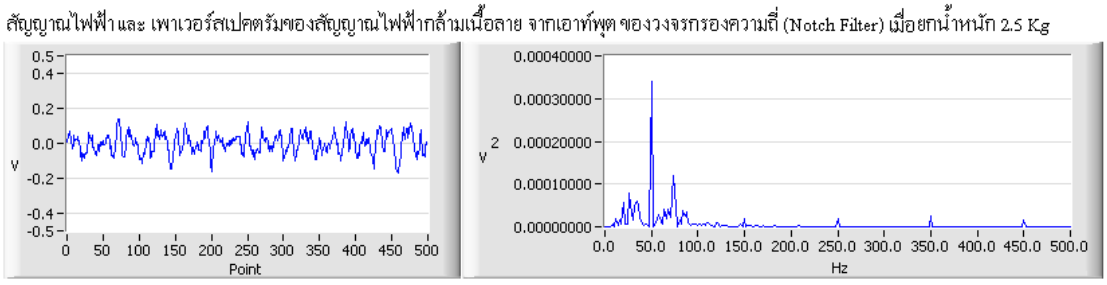
(a) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณที่วัดได้ (สัญญาณอินพุต)



(b) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณที่วัดได้ (เมื่อปรับสเกลเพาเวอร์สเปคตรัม)



(c) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE



(d) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณจากเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์

ภาพประกอบ 4-11 แสดงรูปคลื่นและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย AVR ATmega32 ขณะยกน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม

ตารางที่ 4-9 ค่าดัชนีและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย AVR ATmega32 ขณะยกน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม

แหล่งสัญญาณ	ค่าดัชนีชี้วัด		ขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมของความถี่ 50 เฮิรตซ์และฮาร์โมนิค (V^2)				
	S/N (dB)	m/e (เท่า)	50Hz	150Hz	250Hz	350Hz	450Hz
Signal Input	-	-	3.247E-2	2.229E-5	2.203E-5	2.717E-5	1.581E-5
Output ADALINE	18.9692	909.1872	6.324E-6	9.043E-6	1.700E-5	1.958E-6	1.483E-6
Output Notch Filter	4.4227	77.2977	3.415E-4	1.960E-5	1.966E-5	2.412E-5	1.625E-5

ตารางที่ 4-10 แสดงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์และฮาร์โมนิคจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย AVR ATmega32 ขณะยกน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม

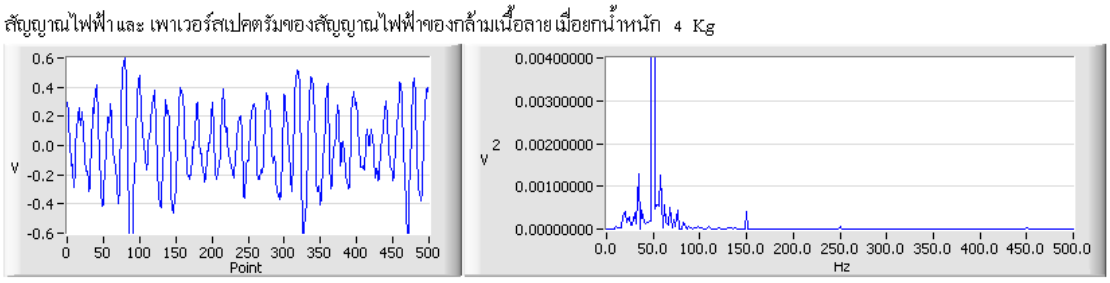
แหล่งสัญญาณ	อัตราการลดทอนของสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่าง ๆ (dB)				
	50Hz	150Hz	250Hz	350Hz	450Hz
Output ADALINE	37.1049	3.9180	1.1257	11.4228	10.2779
Output Notch Filter	19.7809	0.5585	0.4943	0.5171	0.1192

จากการทดสอบ กำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วยวิธีการวัดสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะยกน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม พบว่าสัญญาณที่วัดได้ซึ่งเป็นอินพุตของโครงข่าย ADALINE มีสัญญาณรบกวนทั้งความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิค 150, 250, 350, 450 เฮิรตซ์ ซึ่งมีขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมเป็น 3.247E-2, 2.229E-5, 2.203E-5, 2.717E-5 และ 1.581E-5 V^2 ตามลำดับ ซึ่งมีขนาดสูงกว่าสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายเป็นอย่างมากทำให้สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายถูกบดบังด้วยสัญญาณรบกวนดังแสดงในภาพประกอบ 4-11 (a), (b) และตารางที่ 4-9 ส่วนภาพประกอบ 4-11 (c) และ (d) เป็นเอาท์พุตจากโครงข่าย ADALINE และวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ตามลำดับ พบว่าสัญญาณรบกวนทั้งความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิค 150, 250, 350 และ 450 เฮิรตซ์จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมลดลงเป็น 6.324E-6, 9.043E-6, 1.700E-5, 1.958E-6 และ 1.483E-6 V^2 ตามลำดับ ในขณะที่เอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมเป็น 3.415E-4, 1.960E-5, 1.966E-5, 2.412E-5 และ 1.625E-5 V^2 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณรบกวนที่ความถี่ดังกล่าว เพาเวอร์สเปคตรัมจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีขนาดลดลงมากกว่าเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ หากพิจารณาค่าดัชนีจากตารางที่ 4-9 พบว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุต ของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 18.9692 dB และ 4.4227 dB ตามลำดับ ส่วนค่าความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวน (m/e) จาก เอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และ

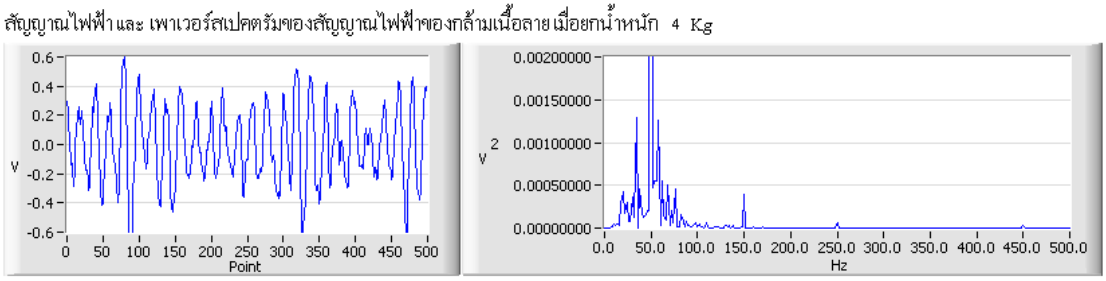
จากเอาท์พุตของ วงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 909.1872 เท่า และ 77.2977 เท่า ตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีทั้งสองหากมีค่ามากกว่าแสดงว่าสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า และจากตารางที่ 4-10 เมื่อพิจารณาอัตราการลดทอนสัญญาณโดยเฉพาะที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE พบว่ามีอัตราการลดทอนสัญญาณ 37.1049 dB ในขณะที่เอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีอัตราการลดทอนสัญญาณ 19.7809 dB ซึ่งจากข้อมูลในตาราง 4-9 และ 4-10 แสดงให้เห็นว่าโครงข่าย ADALINE ที่ประยุกต์ใช้งานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32 สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ได้ดีกว่าวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนฮาร์โมนิคคี่ที่ 3, 5, 7 และ 9 ของความถี่ 50 เฮิรตซ์ ได้อีกด้วย

4.3.3 การทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะยกน้ำหนักขนาด 4 กิโลกรัม

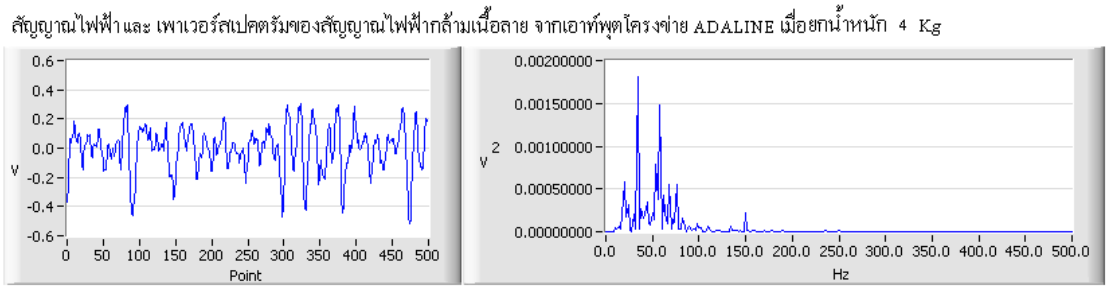
เป็นการทดสอบ กำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะเกร็งกล้ามเนื้อโดยการยกน้ำหนักขนาด 4 กิโลกรัม แล้วทำการบันทึกสัญญาณอินพุต สัญญาณเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และสัญญาณเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ดังแสดงในภาพประกอบ 4-12 ซึ่งมีค่าดัชนีและค่าเพาเวอร์สเปคตรัมดังแสดงในตารางที่ 4-11 และได้เปรียบเทียบอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิคจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และเอาท์พุตของ วงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4-12



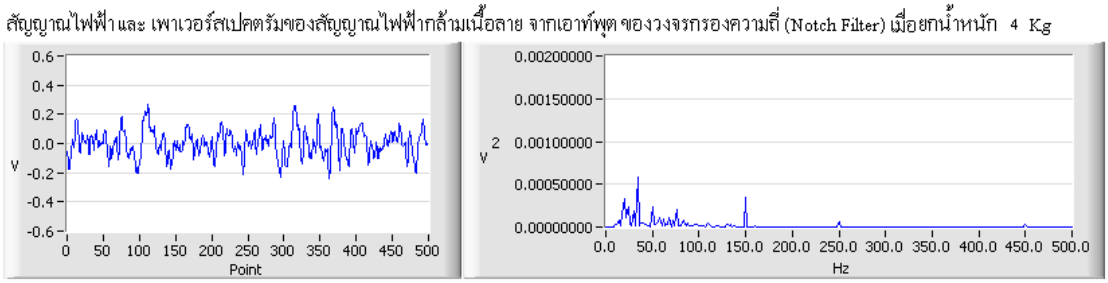
(a) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณที่วัดได้ (สัญญาณอินพุต)



(b) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณที่วัดได้ (เมื่อปรับสเกลเพาเวอร์สเปคตรัม)



(c) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE



(d) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณเอาท์พุตวงจรนอตช์ฟิลเตอร์

ภาพประกอบ 4-12 แสดงรูปคลื่นและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย AVR ATmega32 ขณะยกน้ำหนัก 4 กิโลกรัม

ตารางที่ 4-11 ค่าดัชนีและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย AVR ATmega32 ขณะยกน้ำหนัก 4 กิโลกรัม

แหล่งสัญญาณ	ค่าดัชนีชี้วัด		ขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมของความถี่ 50 เฮิรตซ์และฮาร์โมนิค (V^2)				
	S/N (dB)	m/e (เท่า)	50Hz	150Hz	250Hz	350Hz	450Hz
Signal Input	-	-	2.243E-2	3.939E-4	5.742E-5	1.713E-6	2.963E-5
Output ADALINE	13.7029	49.4516	2.232E-4	2.192E-4	1.473E-5	1.790E-7	6.044E-6
Output Notch Filter	7.3182	34.0530	2.416E-4	3.448E-4	5.728E-5	1.838E-6	2.750E-5

ตารางที่ 4-12 แสดงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์และฮาร์โมนิคจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย AVR ATmega32 ขณะยกน้ำหนัก 4 กิโลกรัม

แหล่งสัญญาณ	อัตราการลดทอนของสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่าง ๆ (dB)				
	50Hz	150Hz	250Hz	350Hz	450Hz
Output ADALINE	20.0214	2.5455	5.9086	9.8090	6.9041
Output Notch Filter	19.6773	0.5782	0.0106	0.3059	0.3240

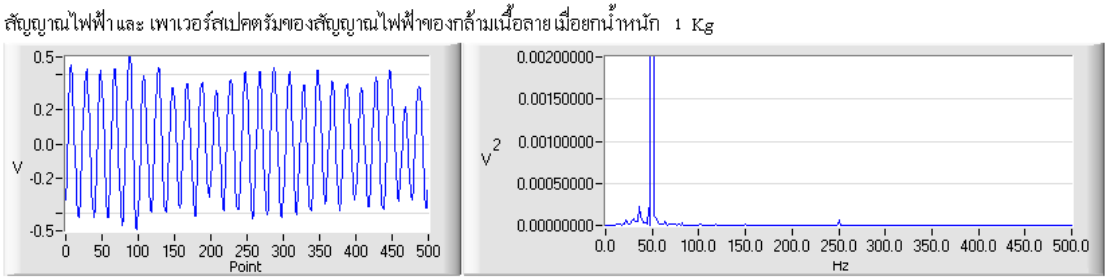
จากการทดสอบ กำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วยวิธีการวัดสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะยกน้ำหนัก 4 กิโลกรัม พบว่าสัญญาณที่วัดได้ซึ่งเป็นอินพุตของโครงข่าย ADALINE ยังมีสัญญาณรบกวนทั้งความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิค 150, 250, 350, 450 เฮิรตซ์ โดยมีขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมเป็น 2.243E-2, 3.939E-4, 5.742E-5, 1.713E-6 และ 2.963E-5 V^2 ตามลำดับ ซึ่งยังมีขนาดสูงกว่าสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายทำให้สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายถูกบดบังด้วยสัญญาณรบกวนดังแสดงในภาพประกอบ 4-12 (a), (b) และตารางที่ 4-11 ส่วนภาพประกอบ 4-12 (c) และ (d) เป็นเอาท์พุตจากโครงข่าย ADALINE และวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ตามลำดับ พบว่าสัญญาณรบกวนทั้งความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิค 150, 250, 350 และ 450 เฮิรตซ์จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีขนาดเพาเวอร์ สเปคตรัมลดลงเป็น 2.232E-4, 2.192E-4, 1.473E-5, 1.790E-7 และ 6.044E-6 V^2 ตามลำดับ ในขณะที่เอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมเป็น 2.416E-4, 3.448E-4, 5.728E-5, 1.838E-6 และ 2.750E-5 V^2 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณรบกวนที่ความถี่ดังกล่าว ขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีขนาดลดลงมากกว่าเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ หากพิจารณาค่าดัชนีจากตารางที่ 4-11 พบว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 13.7029 dB และ 7.3182 dB ตามลำดับ ส่วนค่าความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวน (m/e) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 49.4516 เท่า และ 34.0530 เท่า ตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีทั้งสองหากมีค่ามากกว่าแสดงว่าสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า และจากตารางที่ 4-12 เมื่อพิจารณาอัตราการลดทอนสัญญาณโดยเฉพาะที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีอัตราลดทอนสัญญาณ 20.0214 dB ในขณะที่เอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีอัตราการลดทอนสัญญาณ 19.6773 dB ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีค่าใกล้เคียงกับเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ เนื่องจากขนาดสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายมีขนาดสูงขึ้นใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน ซึ่งตามคุณสมบัติของโครงข่าย ADALINE จะกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีเมื่อขนาดสัญญาณรบกวนมากกว่าสัญญาณข่าวสารหรือสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายนั่นเอง

4.4 การทดสอบโครงข่าย ADALINE กำจัดสัญญาณรบกวน ออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายจริงขณะเกร็งกล้ามเนื้อ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010

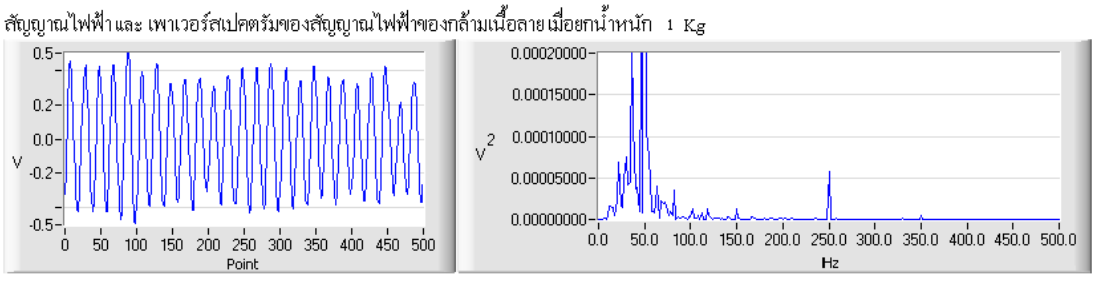
การทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายที่วัดได้ในขณะเกร็งกล้ามเนื้อ เหมือนกับการทดสอบในหัวข้อ 4.3 เพียงแต่เปลี่ยนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่เป็นโครงข่าย ADALINE จาก AVR ATmega32 มาเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 ซึ่งสัญญาณกล้ามเนื้อที่วัดได้ในการทดสอบในหัวข้อนี้จะมีลักษณะของสัญญาณไม่เหมือนกันกับสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายในหัวข้อ 4.3 เนื่องจากไม่ได้เป็นสัญญาณจากการเกร็งกล้ามเนื้อโดยการยกน้ำหนักครั้งเดียวกัน

4.4.1 การทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะยกน้ำหนักขนาด 1 กิโลกรัม

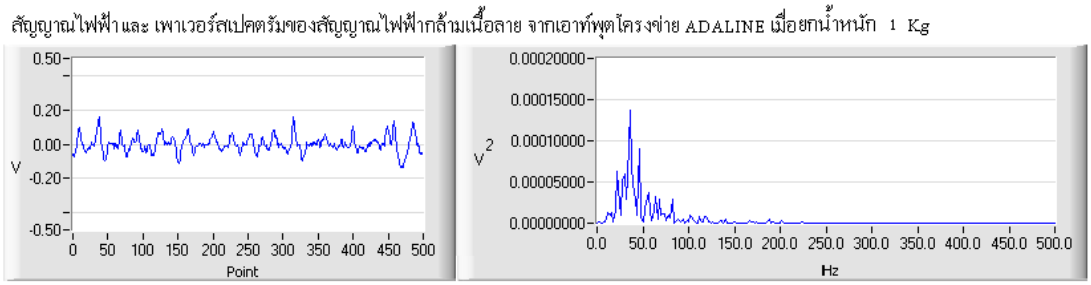
เป็นการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะเกร็งกล้ามเนื้อโดยการยกน้ำหนักขนาด 1 กิโลกรัมแล้วทำการบันทึกสัญญาณอินพุตสัญญาณเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และสัญญาณเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ดังแสดงใน ภาพประกอบ 4-13 ซึ่งมีค่าดัชนีและค่าเพาเวอร์สเปคตรัมดังแสดงในตารางที่ 4-13 และได้เปรียบเทียบอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิคจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4-14



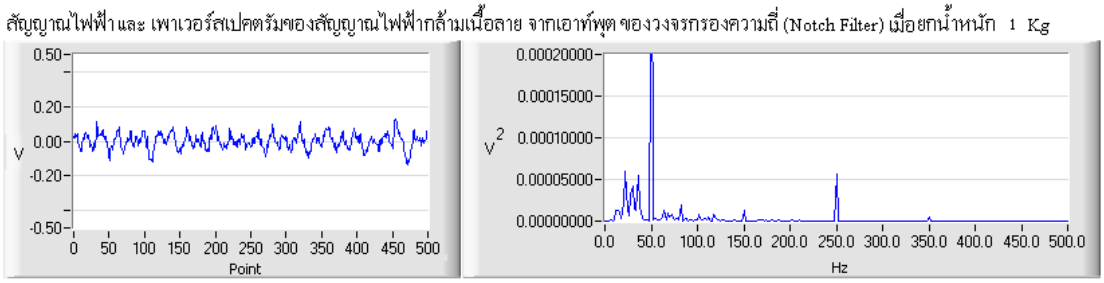
(a) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณที่วัดได้ (สัญญาณอินพุต)



(b) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณที่วัดได้ (เมื่อปรับสเกลเพาเวอร์สเปคตรัม)



(c) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE



(d) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์

ภาพประกอบ 4-13 แสดงรูปคลื่นและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย dsPIC30F2010 ขณะยกน้ำหนัก 1 กิโลกรัม

ตารางที่ 4-13 ค่าดัชนีและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย dsPIC30F2010 ขณะยกน้ำหนัก 1 กิโลกรัม

แหล่งสัญญาณ	ค่าดัชนีชี้วัด		ขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมของความถี่ 50 เฮิรตซ์และฮาร์โมนิค (V^2)				
	S/N (dB)	m/e (เท่า)	50Hz	150Hz	250Hz	350Hz	450Hz
Signal Input	-	-	3.620E-2	1.283E-5	5.834E-5	4.992E-6	3.951E-7
Output ADALINE	25.6599	12033.33	1.840E-6	8.118E-7	2.459E-7	4.504E-8	7.168E-8
Output Notch Filter	10.3814	79.640	3.814E-4	1.245E-5	5.640E-5	4.598E-6	6.058E-7

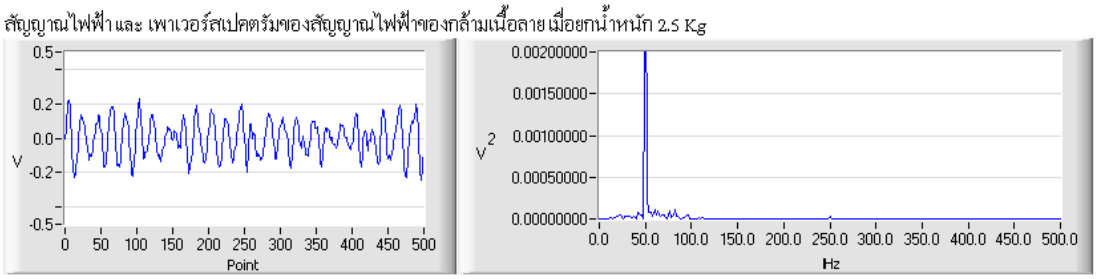
ตารางที่ 4-14 แสดงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์และฮาร์โมนิคจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย dsPIC30F2010 ขณะยกน้ำหนัก 1 กิโลกรัม

แหล่งสัญญาณ	อัตราการลดทอนของสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่าง ๆ (dB)				
	50Hz	150Hz	250Hz	350Hz	450Hz
Output ADALINE	42.9389	11.9878	23.7521	20.4468	7.4131
Output Notch Filter	19.7733	0.1306	0.1469	0.3571	1.8562

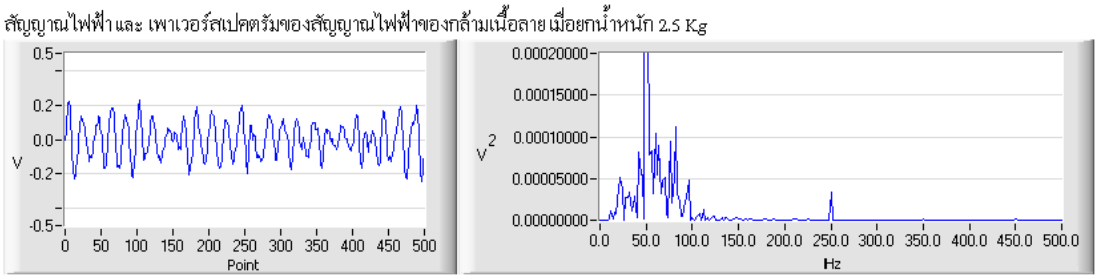
จากการทดสอบ กำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วยวิธีการวัดสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะยกน้ำหนัก 1 กิโลกรัม พบว่าสัญญาณที่วัดได้ซึ่งเป็นอินพุตของโครงข่าย ADALINE มีสัญญาณรบกวนทั้งความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิค 150, 250, 350, 450 เฮิรตซ์ ซึ่งมีขนาดเพาเวอร์สเปคตรัม 3.620E-2, 1.283E-5, 5.834E-5, 4.992E-6 และ 3.951E-7 V^2 ตามลำดับ โดยมีขนาดสูงกว่าสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายเป็นอย่างมากทำให้สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายถูกบดบังด้วยสัญญาณรบกวนดังแสดงในภาพประกอบ 4-13 (a),(b) และตารางที่ 4-13 ส่วนภาพประกอบ 4-13 (c) และ (d) เป็นเอาท์พุตจากโครงข่าย ADALINE และวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ตามลำดับ พบว่าสัญญาณรบกวนทั้งความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิค 150, 250, 350 และ 450 เฮิรตซ์จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมลดลงเป็น 1.840E-6, 8.118E-7 2.459E-7, 4.504E-8 และ 7.168E-8 V^2 ตามลำดับ ในขณะที่เอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมเป็น 3.814E-4, 1.245E-5, 5.640E-5, 4.598E-6 และ 6.058E-7 V^2 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณรบกวนที่ความถี่ดังกล่าวขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีขนาดลดลงมากกว่าเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ หากพิจารณาค่าดัชนีจากตารางที่ 4-13 พบว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 25.6599 dB และ 10.3814 dB ตามลำดับ ส่วนค่าความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวน (m/e) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 12033.33 เท่า และ 79.640 เท่า ตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีทั้งสองหากมีค่ามากกว่าแสดงว่าสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า และจากตารางที่ 4-14 เมื่อพิจารณาอัตราการลดทอนสัญญาณโดยเฉพาะที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีอัตราการลดทอนสัญญาณ 42.9389 dB ในขณะที่เอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีอัตราการลดทอนสัญญาณ 19.7733 dB ซึ่งจากข้อมูลในตาราง 4-13 และ 4-14 แสดงให้เห็นว่าโครงข่าย ADALINE ที่ประยุกต์ใช้งานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ได้ดีกว่าวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์และยังสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนฮาร์โมนิคคี่ที่ 3, 5, 7 และ 9 ของความถี่ 50 เฮิรตซ์ ได้อีกด้วย

4.4.2 การทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะยกน้ำหนักขนาด 2.5 กิโลกรัม

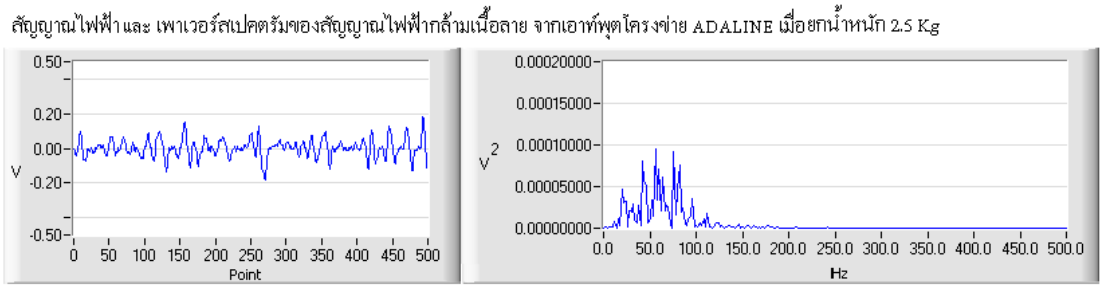
เป็นการทดสอบ กำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะเกร็งกล้ามเนื้อโดยการยกน้ำหนักขนาด 2.5 กิโลกรัมแล้วทำการบันทึกสัญญาณอินพุต สัญญาณเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และสัญญาณเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ดังแสดงในภาพประกอบ 4-14 ซึ่งมีค่าดัชนีและค่าเพาเวอร์สเปคตรัมดังแสดงในตารางที่ 4-15 และได้เปรียบเทียบอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิคจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และเอาท์พุตของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4-16



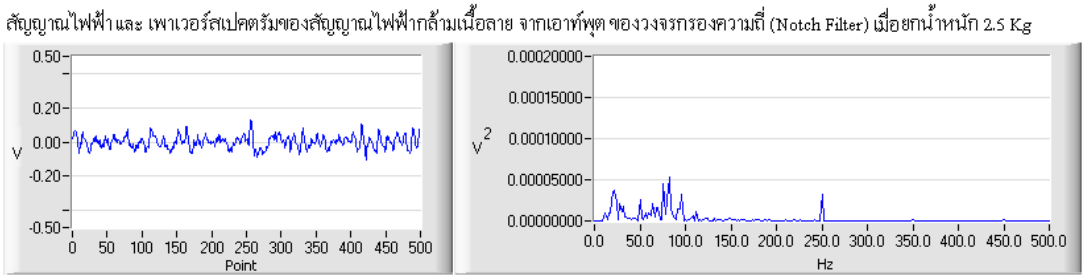
(a) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณที่วัดได้ (สัญญาณอินพุต)



(b) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณที่วัดได้ (เมื่อปรับสเกลเพาเวอร์สเปคตรัม)



(c) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE



(d) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์

ภาพประกอบ 4-14 แสดงรูปคลื่นและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย dsPIC30F2010 ขณะยกน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม

ตารางที่ 4-15 ค่าดัชนีและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย dsPIC30F2010 ขณะยกน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม

แหล่งสัญญาณ	ค่าดัชนีชี้วัด		ขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมของความถี่ 50 เฮิรตซ์และฮาร์โมนิค (V^2)				
	S/N (dB)	m/e (เท่า)	50Hz	150Hz	250Hz	350Hz	450Hz
Signal Input	-	-	3.252E-3	1.112E-6	3.421E-5	2.316E-6	9.385E-7
Output ADALINE	19.9219	241.2801	1.186E-5	1.046E-6	4.910E-7	9.883E-9	2.261E-7
Output Notch Filter	10.0082	53.924	2.501E-5	1.198E-6	3.166E-5	2.030E-6	1.118E-6

ตารางที่ 4-16 แสดงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์และฮาร์โมนิคจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย dsPIC30F2010 ขณะยกน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม

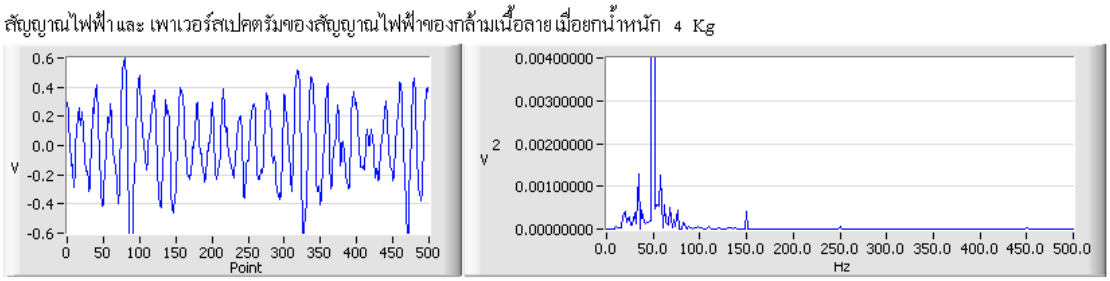
แหล่งสัญญาณ	อัตราการลดทอนของสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่าง ๆ (dB)				
	50Hz	150Hz	250Hz	350Hz	450Hz
Output ADALINE	24.3807	0.2657	18.4307	23.6985	6.1813
Output Notch Filter	21.1404	0.3235	0.3364	0.5724	0.7601

จากการทดสอบ กำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วยวิธีการวัดสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะยกน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม พบว่าสัญญาณที่วัดได้ซึ่งเป็นอินพุตของโครงข่าย ADALINE มีสัญญาณรบกวนทั้งความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิค 150, 250, 350, 450 เฮิรตซ์ โดยมีขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมเป็น 3.252E-3, 1.112E-6, 3.421E-5, 2.316E-6 และ 9.385E-7 V^2 ตามลำดับ ซึ่งยังมีขนาดสูงกว่าสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย ทำให้สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายถูกบดบังด้วยสัญญาณรบกวนดังแสดงในภาพประกอบ 4-14 (a),(b) และตารางที่ 4-15 ส่วนภาพประกอบ 4-14 (c) และ (d) เป็นเอาท์พุตจากโครงข่าย

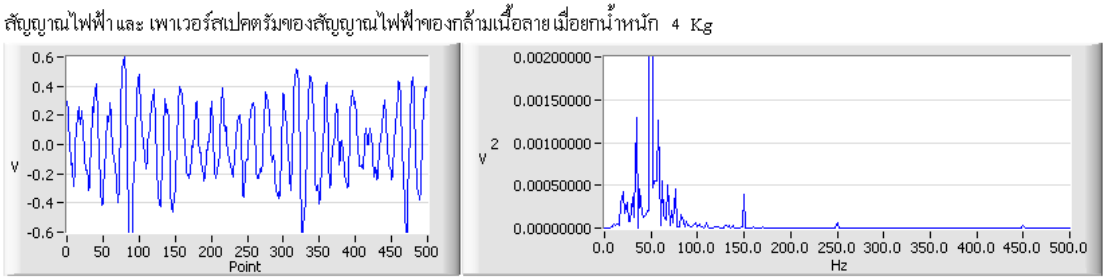
ADALINE และวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ตามลำดับ พบว่าสัญญาณรบกวนทั้งความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิค 150, 250, 350 และ 450 เฮิรตซ์จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมลดลงเป็น 1.186E-5, 1.046E-6, 4.910E-7, 9.883E-9 และ 2.261E-7 V^2 ตามลำดับ ในขณะที่เอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมเป็น 2.501E-5, 1.198E-6, 3.166E-5, 2.030E-6 และ 1.118E-6 V^2 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณรบกวนที่ความถี่ดังกล่าว ขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีขนาดลดลงมากกว่าเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ หากพิจารณาค่าดัชนีจากตารางที่ 4-15 พบว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 19.9219 dB และ 10.0082 dB ตามลำดับ ส่วนค่าความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวน (m/e) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 241.2801 เท่า และ 53.924 เท่า ตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีทั้งสองหากมีค่ามากกว่าแสดงว่าสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า และจากตารางที่ 4-16 เมื่อพิจารณาอัตราการลดทอนสัญญาณโดยเฉพาะที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีอัตราการลดทอนสัญญาณ 24.3807 dB ในขณะที่เอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีอัตราการลดทอนสัญญาณ 21.1404 dB ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีค่าใกล้เคียงกับเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ เนื่องจากขนาดสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายมีขนาดสูงขึ้นใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน ซึ่งตามคุณสมบัติของโครงข่าย ADALINE จะกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีเมื่อขนาดสัญญาณรบกวนมากกว่าสัญญาณข่าวสารหรือสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายนั่นเอง

4.4.3 การทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะยกน้ำหนักขนาด 4 กิโลกรัม

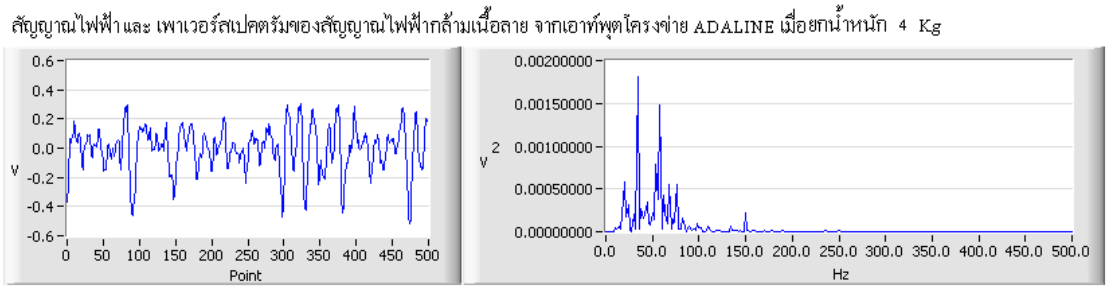
เป็นการทดสอบ กำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะเกร็งกล้ามเนื้อโดยการยกน้ำหนักขนาด 4 กิโลกรัม แล้วทำการบันทึกสัญญาณอินพุต สัญญาณเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และสัญญาณเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ดังแสดงในภาพประกอบ 4-15 ซึ่งมีค่าดัชนีและค่าเพาเวอร์สเปคตรัมดังแสดงในตารางที่ 4-17 และได้เปรียบเทียบอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิคจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4-18



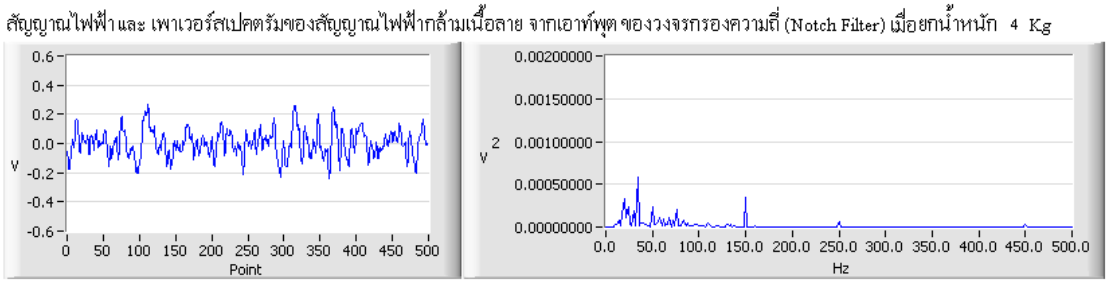
(a) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณที่วัดได้ (สัญญาณอินพุต)



(b) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณที่วัดได้ (เมื่อปรับสเกลเพาเวอร์สเปคตรัม)



(c) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE



(d) สัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์

ภาพประกอบ 4-15 แสดงรูปคลื่นและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย dsPIC30F2010 ขณะยกน้ำหนัก 4 กิโลกรัม

ตารางที่ 4-17 ค่าดัชนีและเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณไฟฟ้าจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย dsPIC30F2010 ขณะยกน้ำหนัก 4 กิโลกรัม

แหล่งสัญญาณ	ค่าดัชนีชี้วัด		ขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมของความถี่ 50 เฮิรตซ์และ ฮาร์โมนิค (V^2)				
	S/N (dB)	m/e (เท่า)	50Hz	150Hz	250Hz	350Hz	450Hz
Signal Input	-	-	2.080E-1	1.469E-5	4.867E-5	6.880E-7	6.142E-7
Output ADALINE	19.2602	13763	1.358E-5	6.577E-7	7.052E-7	1.245E-7	5.211E-8
Output Notch Filter	-5.6266	102	1.981E-3	1.087E-5	4.416E-5	1.140E-7	3.619E-7

ตารางที่ 4-18 แสดงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์และฮาร์โมนิคจากการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วย dsPIC30F2010 ขณะยกน้ำหนัก 4 กิโลกรัม

แหล่งสัญญาณ	อัตราการลดทอนของสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่าง ๆ (dB)				
	50Hz	150Hz	250Hz	350Hz	450Hz
Output ADALINE	41.8516	13.4899	18.3895	7.4242	10.7139
Output Notch Filter	20.2118	1.3079	0.4223	7.8068	2.2972

จากการทดสอบ กำจัดสัญญาณรบกวนจริงด้วยวิธีการวัดสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะยกน้ำหนัก 4 กิโลกรัม พบว่าสัญญาณที่วัดได้ซึ่งเป็นอินพุตของโครงข่าย ADALINE มีสัญญาณรบกวนทั้งความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิค 150, 250, 350, 450 เฮิรตซ์ โดยมีขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมเป็น 2.080E-1, 1.469E-5, 4.867E-5, 6.880E-7 และ 6.142E-7 V^2 ตามลำดับ ซึ่งยังมีขนาดสูงกว่าสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย ทำให้สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายถูกบดบังด้วยสัญญาณรบกวนดังแสดงในภาพประกอบ 4-15 (a),(b) และตารางที่ 4-17 ส่วนภาพประกอบ 4-15 (c) และ (d) เป็นเอาท์พุตจากโครงข่าย ADALINE และวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ตามลำดับ พบว่าสัญญาณรบกวนทั้งความถี่ 50 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิค 150, 250, 350 และ 450 เฮิรตซ์จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีขนาดเพาเวอร์ สเปคตรัมลดลงเป็น 1.358E-5, 6.577E-7, 7.052E-7, 1.245E-7 และ 5.211E-8 V^2 ตามลำดับ ในขณะที่เอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมเป็น 1.981E-3, 1.087E-5, 4.416E-5, 1.140E-7 และ 3.619E-7 V^2 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณรบกวนที่ความถี่ดังกล่าว ขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีขนาดลดลงมากกว่าเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ หากพิจารณาค่าดัชนีจากตารางที่ 4-17 พบว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และจากเอาท์พุตของ วงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 19.2602 dB และ -5.6266 dB (เป็นค่าลบเนื่องจากสัญญาณรบกวนมีค่ามากกว่าสัญญาณกล้ามเนื้อลาย) ตามลำดับ ส่วนค่าความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวน (m/e) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และ

จากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีค่า 13763 เท่า และ 102 เท่า ตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีทั้งสองหากมีค่ามากกว่าแสดงว่าสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า และจากตารางที่ 4-18 เมื่อพิจารณาอัตราการลดทอนสัญญาณโดยเฉพาะที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีอัตราการลดทอนสัญญาณ 41.8516 dB ในขณะที่เอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีอัตราการลดทอนสัญญาณ 20.2118 dB จากข้อมูลในตาราง 4-17 และ 4-18 แสดงให้เห็นว่าโครงข่าย ADALINE ที่ประยุกต์ใช้งานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ได้ดีกว่าและยังสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนฮาร์โมนิคคี่ที่ 3, 5, 7 และ 9 ของความถี่ 50 เฮิรตซ์ ได้อีกด้วย