

การออกแบบตัวควบคุมสำหรับเครื่องรีดยางพาราอัตโนมัติด้วยฟuzzyลอจิกวิธีใหม่

A Novel Design Approach of Fuzzy Logic Controller for Automatic Para Rubber Rolling Machine

ชาคริต ปานแป้น¹ กองพล อารีรักษ์^{2*} และกองพัน อารีรักษ์³

¹กลุ่มวิจัยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง พลังงาน เครื่องจักรกล และการควบคุม
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

²กลุ่มวิจัยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง พลังงาน เครื่องจักรกล และการควบคุม
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

³กลุ่มวิจัยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง พลังงาน เครื่องจักรกล และการควบคุม
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

*Corresponding author: E-mail: kongpol@sut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมฟuzzyลอจิกวิธีใหม่สำหรับเครื่องรีดยางพาราอัตโนมัติ วัตถุประสงค์ของบทความนี้ คือ การควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราให้คงที่ เพื่อให้ความหนาของแผ่นยางพาราสม่ำเสมอ ด้วยการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนลูกรีดของเครื่องรีดยางพารา ความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงถูกควบคุมผ่านค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซี ซึ่งอาศัยการควบคุมค่าวัฏจักรหน้าที่ด้วยตัวควบคุมฟuzzyลอจิก ตัวควบคุมดังกล่าวได้รับการออกแบบตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพด้วยวิธีการใหม่ นอกจากนี้ บทความนี้ได้นำเสนอการทดสอบระบบควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยชุดฮาร์ดแวร์ที่สร้างขึ้น ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ตัวควบคุมฟuzzyลอจิกที่มีการออกแบบตามแนวทางที่นำเสนอ สามารถควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราได้ตามต้องการ

คำสำคัญ: เครื่องรีดยางพารา ตัวควบคุมฟuzzyลอจิก ฟังก์ชันสมาชิกภาพ การควบคุมความเร็ว

ABSTRACT

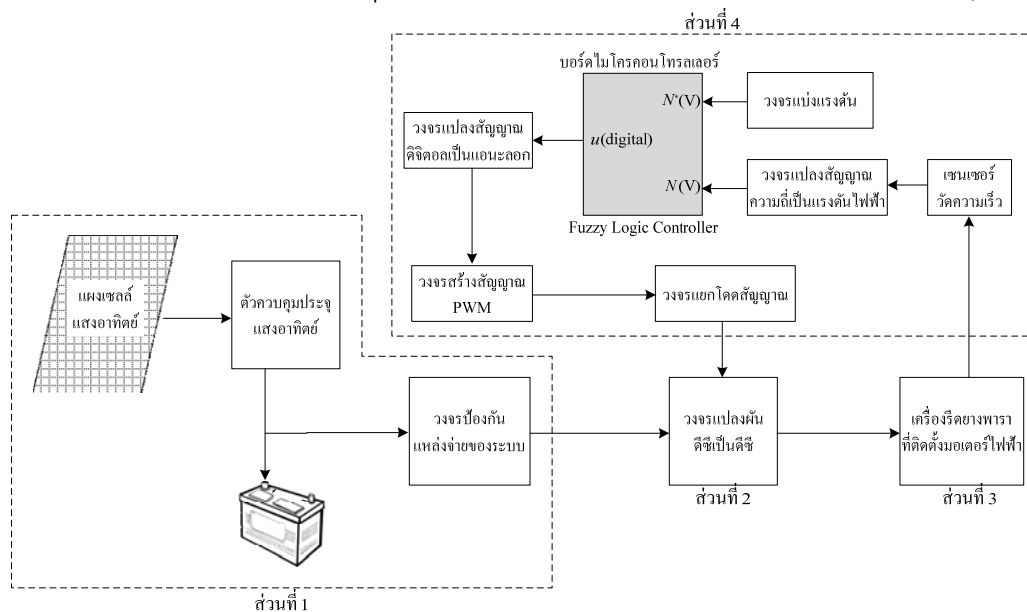
This paper presents a novel design of fuzzy logic controller for automatic Para rubber rolling machine. The speed control of Para rubber rolling machine is the aim of the paper. The constant speed can provide the constant thickness of the Para sheets. The DC motor connected with the Para rubber rolling machine is the considered system. The duty cycle controlled by fuzzy controller is used to regulate the output voltage of the DC/DC converter. This output voltage is used to control the speed of DC motor. The new design approach of the membership functions for the fuzzy logic controller is proposed in the paper. Moreover, the hardware implementation of the considered system is also presented. The experimental results show that the fuzzy logic controller can control the speed of the Para rubber rolling machine to the desired values.

Keyword: Para rubber rolling machine, Fuzzy logic controller, Membership function, Speed control

1. บทนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยจากสถิติ พบว่า ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากที่สุดในโลก และมีพื้นที่ในการปลูกยางพาราประมาณ 18.46 ล้านไร่ [1] โดยส่วนใหญ่เกษตรกรที่ปลูกยางพารา เป็นชุมชนขนาดเล็กที่กระจายอยู่ตามพื้นที่ต่าง ๆ ในประเทศ โดยเฉพาะภาคใต้ในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่ประชาชนส่วนใหญ่มีอาชีพปลูกยางพารา และเป็นชุมชนขนาดเล็กระดับครัวเรือน เกษตรกรกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะใช้เครื่องรีดยางพาราแบบมือหมุน ซึ่งมีภาระในเรื่องกำลังคนในการรีดยางพารา ใช้ระยะเวลานานในการรีดแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราที่ได้มีความหนาไม่สม่ำเสมอ ด้วยเหตุนี้ บทความนี้จึงได้นำเสนอการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิก เพื่อใช้ขับเคลื่อนลูกรีดของเครื่องรีดยางพารา แทนการใช้มือหมุน ทั้งนี้เพื่อลดภาระในเรื่องกำลังคนในการรีดยางพารา ใช้ระยะเวลาการรีดแผ่นยางพาราที่เร็วขึ้น และแผ่นยางพาราที่ได้มีความหนาสม่ำเสมอ แผนภาพระบบการควบคุมเครื่องรีดยางพาราแสดงได้ ดังรูปที่ 1 จากรูปดังกล่าวประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือ แหล่งพลังงานของระบบ ส่วนที่ 2 คือ วงจรแปลงผันดิซเป็นดิซ ส่วนที่ 3 คือ เครื่องรีดยางพาราที่ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และส่วนที่ 4 คือ ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ข้อดีของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก คือ การออกแบบตัวควบคุมดังกล่าวไม่จำเป็นต้องพึ่งพาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ จึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งกับการควบคุมเครื่องรีดยางพารา เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวมีลักษณะการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น รวมถึงตัวควบคุมฟัซซีลอจิกได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในงานด้านระบบควบคุม เช่น การควบคุมค่าวัฏจักรหน้าที่ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า โดยใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก [2-4] การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกแบบปรับตัวสำหรับระบบควบคุมกระแสชดเชยของวงจรรอกกำลังแอกที่ฟแบบขนาน [5] การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอหรือพีไอดี โดยอาศัยตัวควบคุมฟัซซีลอจิก [6-7] และการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ชนิดต่าง ๆ ด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิก [8-11] เป็นต้น ผลจากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สังเกตได้ว่า ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกมีแนวทางการออกแบบที่หลากหลาย ซึ่งการออกแบบแต่ละแนวทางมีจุดเด่นจุดด้อยแตกต่างกันไป ตามความเหมาะสมของระบบที่พิจารณา ดังนั้นบทความนี้จะนำเสนอการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกวิธีการใหม่ที่มีหลักการออกแบบตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพด้วยวิธีการที่คิดค้นขึ้น โดยทั่วไปการออกแบบค่าตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก



รูปที่ 1 แผนภาพระบบการควบคุมเครื่องรีดยางพารา

จำเป็นต้องอาศัยความชำนาญ และความเข้าใจระบบเป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม การออกแบบตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพด้วยวิธีการใหม่นี้ มีข้อดี คือ วิธีการคำนวณง่าย ไม่ซับซ้อน และไม่จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ ซึ่งตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ออกแบบด้วยวิธีการดังกล่าว จะใช้ในการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา เพื่อให้แผ่นยางพารามีความหนาสม่ำเสมอ และลดภาระในเรื่องกำลังคนในการรีดยางพารา

การนำเสนอเนื้อหาในบทความนี้ ประกอบด้วย การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกด้วยวิธีการใหม่ ซึ่งนำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 2 ส่วนหัวข้อที่ 3 เป็นการนำเสนอระบบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดสอบ หัวข้อที่ 4 นำเสนอผลการทดสอบและอภิปรายผล และการสรุปผลดำเนินการของบทความนี้ได้นำเสนอไว้เป็นหัวข้อสุดท้าย

2. การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิก

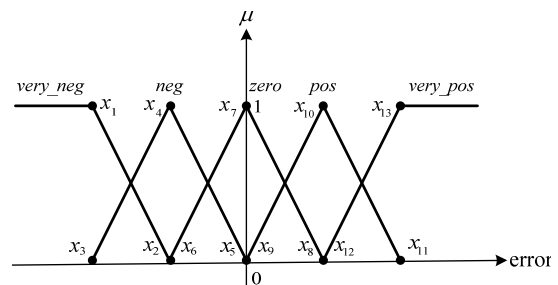
ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกถูกนำมาใช้เพื่อควบคุมแรงดันเอาต์พุตของวงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซี แรงดันเอาต์พุตดังกล่าวจะถูกใช้ป้อนเป็นแรงดันอินพุตของมอเตอร์กระแสตรงสำหรับขับเคลื่อนลูกรีด เพื่อให้สามารถควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราได้ตามต้องการ ระบบควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิกแสดงได้ ดังรูปที่ 2 จากรูปดังกล่าวสังเกตได้ว่า อินพุตของระบบควบคุม คือ ค่าความผิดพลาดของความเร็ว (e_N) ซึ่งคำนวณได้จากผลต่างระหว่างค่าความเร็วอ้างอิง (N^*) กับความเร็วที่วัดได้จริง (N) ดังสมการที่ (1) เอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกจะกำหนดให้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิต (u) โดยค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัลดังกล่าวจะถูกป้อนให้กับวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก สัญญาณแอนะล็อกที่ได้

$$e_N = N^* - N \quad (1)$$

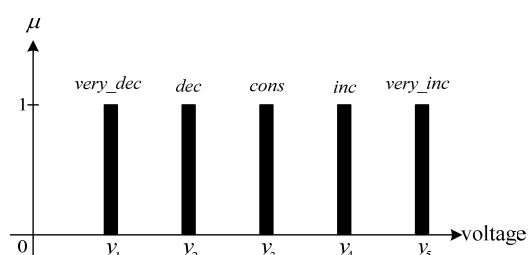
จะเข้าสู่วงจรสร้างสัญญาณ PWM เพื่อนำไปขับสวิตช์ของวงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซี

2.1 การออกแบบโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก

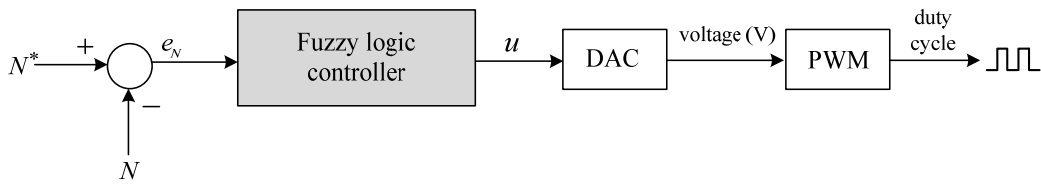
การออกแบบโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกประกอบด้วยสองส่วนที่สำคัญ ได้แก่ การออกแบบฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error ซึ่งจะใช้รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกภาพรูปสามเหลี่ยม เนื่องจากเป็นรูปร่างฟังก์ชันสมาชิกภาพที่มีค่าพารามิเตอร์ตำแหน่ง 3 ค่า ทำให้มีการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกที่ง่าย และสะดวกต่อการสร้างจริงในทางปฏิบัติ และการออกแบบฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต voltage ซึ่งจะใช้รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกภาพรูปแท่งตรงทอน ตามหลักการอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno ค่าเชิงภาษาของฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error ได้ทำการออกแบบให้มีจำนวน 5 ค่าเชิงภาษา ประกอบด้วย "very_neg" "neg" "zero" "pos" และ "very_pos" ซึ่งแสดงเป็นฟังก์ชันสมาชิกภาพได้ ดังรูปที่ 3 ส่วนค่าเชิงภาษาของฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต voltage ถูกออกแบบให้มีจำนวน 5 ค่าเชิงภาษาเช่นกัน ซึ่งประกอบด้วย "very_dec" "dec" "cons" "inc" และ "very_inc" ซึ่งแสดงเป็นฟังก์ชันสมาชิกภาพได้ ดังรูปที่ 4 ความหมายของค่าเชิงภาษาดังกล่าวสามารถดูได้จากตารางที่ 1



รูปที่ 3 ฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error



รูปที่ 4 ฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต voltage



รูปที่ 2 ระบบควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก

2.2 กฎของฟัซซี่

จำนวนกฎของฟัซซี่ได้ถูกกำหนดโดยการทดสอบของผู้วิจัย ซึ่งผู้วิจัยได้เริ่มทำการทดสอบที่จำนวน 3 กฎแล้วพบว่า ผลการควบคุมมีค่าความคลาดเคลื่อนของความเร็วสูงกว่าที่กำหนดไว้ จึงทำการเพิ่มจำนวนกฎของฟัซซี่เป็น 5 กฎ ปรากฏว่า ผลการควบคุมมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ดังนั้นในบทความนี้จึงใช้กฎของฟัซซี่จำนวน 5 กฎ ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ ดังนี้

กฎข้อที่ 1 IF error = *very_neg*

THEN voltage = *very_inc*

กฎข้อที่ 2 IF error = *neg*

THEN voltage = *inc*

กฎข้อที่ 3 IF error = *zero*

THEN voltage = *cons*

กฎข้อที่ 4 IF error = *pos*

THEN voltage = *dec*

กฎข้อที่ 5 IF error = *very_pos*

THEN voltage = *very_dec*

กฎของฟัซซี่ที่ได้ออกแบบสำหรับใช้ควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราทั้ง 5 กฎ สามารถอธิบายความหมายได้ ดังนี้

ตารางที่ 1 ตัวแปรทางภาษาและค่าเชิงภาษาของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก

ค่าของระบบ	ตัวแปรภาษาและความหมาย		ค่าเชิงภาษาและความหมาย	
	ตัวแปรภาษา	ความหมาย	ค่าเชิงภาษา	ความหมาย
อินพุต	error (e_N)	ค่าความผิดพลาดของความเร็ว	<i>very_neg</i> (very negative)	$N^* \ll N$ (น้อยกว่ามาก ๆ)
			<i>neg</i> (negative)	$N^* < N$ (น้อยกว่า)
			<i>zero</i>	$N^* = N$ (เท่ากับ)
			<i>pos</i> (positive)	$N^* > N$ (มากกว่า)
			<i>very_pos</i> (very positive)	$N^* \gg N$ (มากกว่ามาก ๆ)
เอาต์พุต	voltage (u)	ค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิต	<i>very_dec</i> (very decrease)	ลดลงมาก ๆ
			<i>dec</i> (decrease)	ลดลง
			<i>cons</i> (constant)	คงที่
			<i>inc</i> (increase)	เพิ่มขึ้น
			<i>very_inc</i> (very increase)	เพิ่มขึ้นมาก ๆ

ความหมายของกฎข้อที่ 1 คือ ถ้าค่าอินพุต error มีค่าเท่ากับ *very_neg* แล้ว กำหนดให้ค่าเอาต์พุต voltage เท่ากับ *very_inc* ซึ่งหมายความว่า ถ้าความเร็วอ้างอิงน้อยกว่าค่าความเร็วที่วัดได้จริงมาก ๆ จะกำหนดให้ลดค่าแรงดันอินพุตของมอเตอร์มาก ๆ โดยการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิต มาก ๆ เพื่อให้ค่าวัฏจักรหน้าที่มีค่าลดลงมาก ๆ

ความหมายของกฎข้อที่ 2 คือ ถ้าค่าอินพุต error มีค่าเท่ากับ *neg* แล้ว กำหนดให้ค่าเอาต์พุต voltage เท่ากับ *inc* ซึ่งหมายความว่า ถ้าความเร็วอ้างอิงน้อยกว่าค่าความเร็วที่วัดได้จริง จะกำหนดให้ลดค่าแรงดันอินพุตของมอเตอร์ โดยการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิต เพื่อให้ค่าวัฏจักรหน้าที่มีค่าลดลง

ความหมายของกฎข้อที่ 3 คือ ถ้าค่าอินพุต error มีค่าเท่ากับ *zero* แล้ว กำหนดให้ค่าเอาต์พุต voltage เท่ากับ *cons* ซึ่งหมายความว่า ถ้าความเร็วอ้างอิงเท่ากับค่าความเร็วที่วัดได้จริง จะกำหนดให้คงค่าแรงดันอินพุตของมอเตอร์ โดยการคงค่าระดับแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิต เพื่อให้ค่าวัฏจักรหน้าที่มีค่าคงที่

ความหมายของกฎข้อที่ 4 คือ ถ้าค่าอินพุต error มีค่าเท่ากับ *pos* แล้ว กำหนดให้ค่าเอาต์พุต voltage เท่ากับ *dec* ซึ่งหมายความว่า ถ้าความเร็วอ้างอิงมากกว่าค่าความเร็วที่วัดได้จริง จะกำหนดให้เพิ่มค่าแรงดันอินพุตของมอเตอร์ โดยการลดระดับแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิต เพื่อให้ค่าวัฏจักรหน้าที่มีค่าเพิ่มขึ้น

ความหมายของกฎข้อที่ 5 คือ ถ้าค่าอินพุต error มีค่าเท่ากับ *very_pos* แล้ว กำหนดให้ค่าเอาต์พุต voltage เท่ากับ *very_dec* ซึ่งหมายความว่า ถ้าความเร็วอ้างอิงมากกว่าค่าความเร็วที่วัดได้จริงมาก ๆ จะกำหนดให้เพิ่มค่าแรงดันอินพุตของมอเตอร์มาก ๆ โดยการลดระดับแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิต มาก ๆ เพื่อให้ค่าวัฏจักรหน้าที่มีค่าเพิ่มขึ้นมาก ๆ

ภายหลังจากผ่านกระบวนการประเมิน และรวมกฎของฟัซซีตามที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้น ค่าเอาต์พุตชัดเจน u จะได้รับการคำนวณผ่านการทำ

ดีฟัซซีด้วยวิธีค่าน้ำหนักเฉลี่ย (Weighted Average : WA) ดังสมการที่ (2) แนวทางการคำนวณดังกล่าวเป็นการอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno [12] ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายในขั้นตอนรวมกฎ และและสะดวกต่อการสร้างจริงในทางปฏิบัติ เนื่องจากวิธีการดังกล่าวมีฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุตเป็นค่าคงที่

$$u = \frac{\sum_{m=1}^5 \mu(y_m) \times y_m}{\sum_{m=1}^5 \mu(y_m)} \quad (2)$$

โดยที่ $\mu(y_m)$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกภาพของ

เอาต์พุต

y_m คือ ค่าคงที่ของเอาต์พุตที่เป็นเส้นตรง

2.3 การออกแบบตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก

บทความนี้มีแนวทางการออกแบบตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่สามารถคำนวณได้ง่าย ไม่ซับซ้อน และไม่จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งเป็นวิธีการใหม่ที่น่าเสนอในบทความ การออกแบบตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกสามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณค่าความเร็วอ้างอิงกึ่งกลาง (N_{mean}^*) ดังสมการที่ (3) โดยจากการทดสอบ พบว่า เครื่องรีดยางพารามีความเร็วสูงสุด (N_{max}^*) เท่ากับ 3105 rpm และมีความเร็วต่ำสุด (N_{min}^*) เท่ากับ 0 rpm ดังนั้น จากสมการที่ (3) จะได้ว่า N_{mean}^* มีค่าเท่ากับ 1552.5 rpm

$$N_{\text{mean}}^* = \frac{N_{\text{max}}^* - N_{\text{min}}^*}{2} \quad (3)$$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้า (V_{mean}^*) โดยใช้อัตราส่วนของเซนเซอร์วัดความเร็ว (ได้จากการทดสอบ) ดังสมการที่ (4) เมื่อแทนค่า N_{mean}^* เท่ากับ

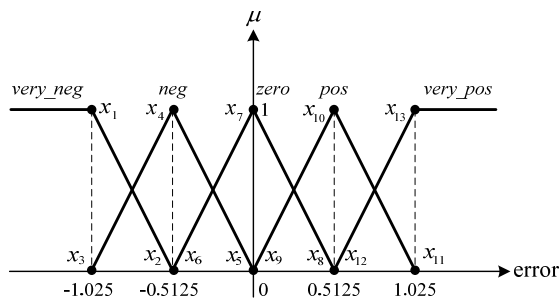
1552.5 rpm ลงในสมการที่ (4) จะได้ V_{mean}^* มีค่าเท่ากับ 2.05 V

$$V = 0.001296V + 0.03786 \quad (4)$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าความผิดพลาดสูงสุด (e_{max}) ดังสมการที่ (5) เพื่อกำหนดขอบเขตความกว้างของตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกของอินพุต error โดยแทนค่า V_{mean}^* เท่ากับ 2.05 V ลงในสมการที่ (5) ซึ่งจะได้ค่า e_{max} เท่ากับ 1.025 ผลลัพธ์ดังกล่าวถูกใช้เพื่อกำหนดขอบเขตความกว้างของตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error

$$e_{max} = \frac{V_{mean}^*}{2} \quad (5)$$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพแบบสมมาตร x_1 ถึง x_{13} ของอินพุต error โดยแทนค่า e_{max} เท่ากับ 1.025 ลงในตารางที่ 2 ซึ่งจะได้ผลการออกแบบค่าตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพ x_1 ถึง x_{13} ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ค่าตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่าแรงดันอินพุตของวงจรสร้างสัญญาณ PWM ที่ทำให้ค่าวัฏจักรหน้าที่เท่ากับ 0% (u_{max}) และที่ทำให้ค่าวัฏจักรหน้าที่เท่ากับ 100% (u_{min}) โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัฏจักรหน้าที่และแรงดันอินพุตของวงจรสร้างสัญญาณ PWM ที่ได้จากการทดสอบวงจรสร้างสัญญาณ PWM ดังสมการที่

(6) โดยเมื่อแทนค่าวัฏจักรหน้าที่เท่ากับ 0% และ 100% ลง

ในสมการที่ (6) จะได้ u_{max} เท่ากับ 3.564 V และ u_{min} เท่ากับ 0.927 V

$$u = -0.2637d + 3.564 \quad (6)$$

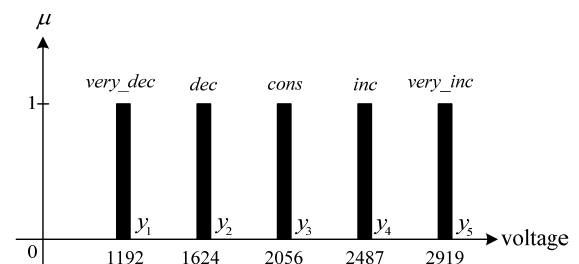
ขั้นตอนที่ 6 คำนวณค่าตัวประกอบ D ค่าดังกล่าว คือ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอ้างอิงกับความเร็วสูงสุดที่พิจารณาในรูปแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเขียนได้ดังสมการที่ (7) ยกตัวอย่างที่ความเร็วอ้างอิง 2500 rpm จะได้ค่า D เท่ากับ 0.7995

$$D = \frac{V^*}{V_{max}^*} \quad (7)$$

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณค่าตัวประกอบปรับคูณตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต (U) โดยการแทนค่า u_{max} เท่ากับ 3.564 ค่า u_{min} เท่ากับ 0.927 และค่า D เท่ากับ 0.7995 ลงในสมการที่ (8) จะได้ค่าตัวประกอบ U เท่ากับ 0.5271

$$U = \left[\frac{u_{max} - u_{min}}{4} \right] D \quad (8)$$

ขั้นตอนที่ 8 คำนวณค่าตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพ y_1 ถึง y_5 ของเอาต์พุต voltage โดยการแทนค่า u_{max} เท่ากับ 3.564 และค่าตัวประกอบ U เท่ากับ 0.5271 ลงในตารางที่ 2 ซึ่งจะได้ผลการออกแบบค่าตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพ y_1 ถึง y_5 ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่าตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต

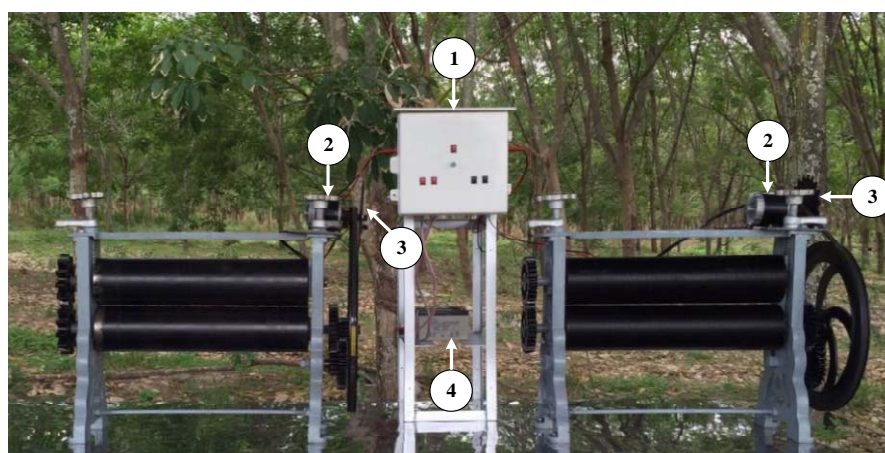
ตารางที่ 2 ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก

ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error												
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}
$-e_{\max}$	$\frac{-e_{\max}}{2}$	$-e_{\max}$	$\frac{-e_{\max}}{2}$	0	$\frac{-e_{\max}}{2}$	0	$\frac{e_{\max}}{2}$	0	$\frac{e_{\max}}{2}$	e_{\max}	$\frac{e_{\max}}{2}$	e_{\max}
ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต voltage												
y_1		y_2			y_3		y_4		y_5			
$\frac{(u_{\max} - 4U) \times 4095}{5}$		$\frac{(u_{\max} - 3U) \times 4095}{5}$			$\frac{(u_{\max} - 2U) \times 4095}{5}$		$\frac{(u_{\max} - U) \times 4095}{5}$		$\frac{u_{\max} \times 4095}{5}$			

3. ระบบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดสอบ

การติดตั้งระบบฮาร์ดแวร์กับเครื่องรีดยางพาราแบบมือหมุนแสดงได้ ดังรูปที่ 7 ชุดควบคุมเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกแสดงได้ ดังรูปที่ 8 โดยชุดควบคุมดังกล่าวมีแผนภาพโครงสร้างของชุดควบคุมแสดงได้ ดังรูปที่ 1 สำหรับหลักการทำงานเริ่มจากเซนเซอร์วัดความเร็ว ซึ่งทำหน้าที่วัดความเร็วมอเตอร์ของเครื่องรีดยางพารา ค่าที่วัดได้มีลักษณะเป็นสัญญาณความถี่ จากนั้นทำการส่งสัญญาณความถี่ที่วัดได้ให้กับวงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรดังกล่าวความสัมพันธ์กับความเร็วที่วัดได้จริงของเครื่องรีดยางพารา ตามสมการที่ (4) วงจรแบ่งแรงดันจะทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นค่าความเร็วอ้างอิง

ลำดับถัดมาทำการป้อนค่าความเร็วที่วัดได้จริง และความเร็วอ้างอิงในรูปของแรงดันไฟฟ้าให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ บอร์ดดังกล่าวทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก เพื่อคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิต ค่าแรงดันไฟฟ้างี้จะถูกส่งให้กับวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก สัญญาณแอนะล็อกที่ได้จะถูกส่งเข้าสู่วงจรสร้างสัญญาณ PWM ผ่านวงจรแยกโหนดสัญญาณ เพื่อขับสวิทช์ของวงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซี แรงดันเอาต์พุตที่ได้รับการควบคุมจะถูกใช้เป็นแรงดันอินพุตให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าที่ติดตั้งกับเครื่องรีดยางพารา โดยมีแบตเตอรี่ที่ได้รับการประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกใช้เป็นแหล่งจ่ายอินพุตให้กับวงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซี แนวทางของระบบควบคุมดังกล่าวใน



① กล่องควบคุม ② มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ③ เซ็นเซอร์วัดความเร็ว ④ แบตเตอรี่

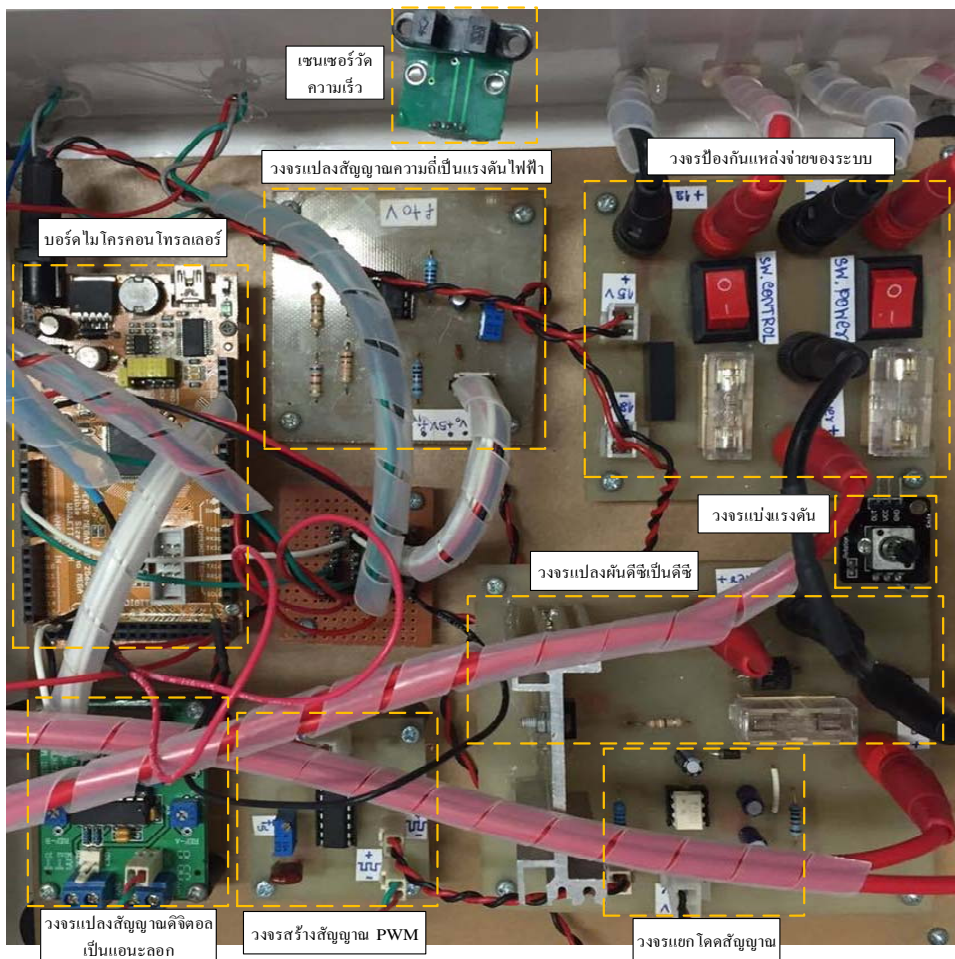
รูปที่ 7 การติดตั้งระบบฮาร์ดแวร์กับเครื่องรีดยางพารา

ข้างต้น ทำให้สามารถควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราได้ตามต้องการ

4. ผลการทดสอบและอภิปรายผล

การทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมพีซีซีลอจิก สำหรับการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา ได้ดำเนินการทดสอบด้วยการรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วอ้างอิงค่าต่าง ๆ เนื่องจากการใช้งานเครื่องรีดยางพาราของเกษตรกรมีความเร็วในการรีดแผ่นยางพาราที่แตกต่างกันตามความถนัดของเกษตรกร ซึ่งความเร็วในการใช้งานที่แตกต่างกันจะทำให้ความเร็วอ้างอิงในการออกแบบตัวควบคุมพีซีซีลอจิกเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ต้องออกแบบตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต voltage ใหม่ทุกครั้งที่ความเร็วอ้างอิงเปลี่ยนแปลง ถ้าไม่มีการออกแบบตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต voltage ของตัวควบคุมใหม่ จะทำให้ความคลาดเคลื่อน

ระหว่างความเร็วอ้างอิงกับความเร็วที่วัดได้จริงมีค่าสูงมาก ส่งผลให้สมรรถนะการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราต่ำลง ในบทความนี้ได้ทำการทดสอบที่ความเร็วอ้างอิง 1500 rpm 2000 rpm และ 2500 rpm เนื่องจากความเร็วปกติในการรีดแผ่นยางพาราก่อนหน้านี้ใช้มือหมุน ซึ่งไม่สามารถหาค่าความเร็วได้ในระดับนี้ และด้วยเหตุผลดังกล่าวการรีดแผ่นยางพาราจึงไม่ดีเท่าที่ควร เช่น ความหนาของแผ่นยางพาราไม่สม่ำเสมอ ใช้ระยะเวลานานในการรีดแผ่นยางพารา ด้วยเหตุผลนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ความเร็วดังกล่าวในการทดสอบ โดยใช้ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error และเอาต์พุต voltage ที่ได้จากการออกแบบในหัวข้อที่ 2 แสดงได้ดังตารางที่ 3 ผลการทดสอบการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราแสดงได้ ดังรูปที่ 9

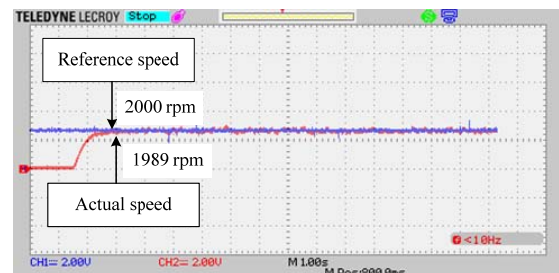


รูปที่ 8 ชุดควบคุมเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมพีซีซีลอจิก

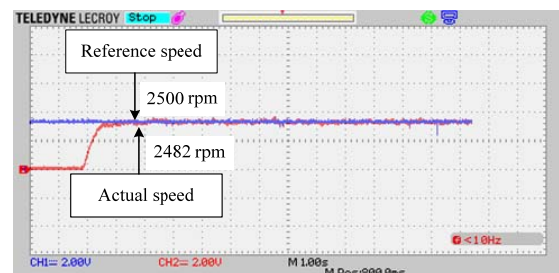
ตารางที่ 3 ค่าตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก

ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error												
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}
-1.025	-0.5125	-1.025	-0.5125	0	-0.5125	0	0.5125	0	0.5125	1.025	0.5125	1.025
ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต voltage												
$N^* = 2500$ rpm	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5							
	1192	1624	2056	2487	2919							
$N^* = 2000$ rpm	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5							
	1534	1880	2226	2573	2919							
$N^* = 1500$ rpm	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5							
	1875	2136	2397	26858	2919							

จากผลการทดสอบในรูปแบบที่ 9 สังเกตได้ว่า ผลตอบสนองที่สถานะอยู่ตัวของความเร็วที่วัดได้จริง (Actual speed) มีรูปสัญญาณที่ใกล้เคียงกับรูปสัญญาณความเร็วอ้างอิง (Reference speed) ถึงแม้ว่าความเร็วอ้างอิงจะมีการเปลี่ยนแปลงไปที่ตำแหน่ง 1500 rpm 2000 rpm และ 2500 rpm โดยที่ ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างความเร็วอ้างอิงกับความเร็วที่วัดได้จริงมีค่า เท่ากับ 0.45% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเงื่อนไขการออกแบบตัวควบคุมที่กำหนดไว้ต้องไม่เกิน $\pm 5\%$ ทั้งนี้เนื่องจาก ค่าดังกล่าวไม่ส่งผลต่อคุณภาพของแผ่นยางพารา ดังนั้น จากผลการทดสอบทั้งหมดที่น่าเสนอ ยืนยันได้ว่าตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกที่ได้รับการออกแบบตามแนวทางที่น่าเสนอในบทความนี้สามารถควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

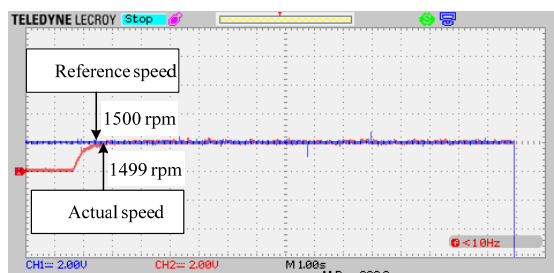


(ข) ความเร็วอ้างอิง 2000 rpm



(ค) ความเร็วอ้างอิง 2500 rpm

รูปที่ 9 ผลการทดสอบการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา



(ก) ความเร็วอ้างอิง 1500 rpm

5. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก โดยมีการออกแบบค่าตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกด้วยวิธีที่คิดค้นขึ้น เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบ โดยวิธีดังกล่าวไม่จำเป็นต้องใช้

ประสบการณ์และความเชี่ยวชาญในการออกแบบตัวควบคุม ซึ่งแตกต่างจากวิธีการดั้งเดิมที่ใช้วิธีการลองผิดลองถูก ซึ่งไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่ชัด และต้องอาศัยประสบการณ์ในการออกแบบ และในบทความนี้ได้นำเสนอการสร้างระบบฮาร์ดแวร์สำหรับการทดสอบจริง จากผลการทดสอบ ปรากฏว่า ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกที่มีการออกแบบตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพด้วยวิธีที่นำเสนอ สามารถควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราได้ตามต้องการนอกจากนี้ การควบคุมเครื่องรีดยางพาราด้วยวิธีดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานได้จริง และก่อให้เกิดประโยชน์ต่อเกษตรกรรสวนยางพารา เช่น แผ่นยางพาราที่ได้มีความหนาสม่ำเสมอ ช่วยลดภาระด้านกำลังคนในการรีดแผ่นยางพารา ลดระยะเวลาในการรีดแผ่นยางพารา ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตการรีดแผ่นยางพาราในแต่ละวันมีเพิ่มมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก กองทุนนวัตกรรม และสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ประจำปี พ.ศ. 2558 และ 2559

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันวิจัยยางพารา การยางพาราแห่งประเทศไทย (2557, 10. 21). พื้นที่ปลูกยางพาราในประเทศไทย, [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: www.rubberthai.com
- [2] G. C. D. Sousa, and B. M. Bose, "A Fuzzy Set Theory Based Control of a Phase – Controlled Converter DC Machine Drive", *IEEE Trans. on Industry Application*, vol. 30, no. 1, pp. 34-44, January/February 1994.
- [3] W. C. So, C. K. Tse, and Y. S. Lee. "A Fuzzy Controller for DC – DC Converters". *Power Electronics Specialists Conference, PESC '94 Record., 25th Annual IEEE*. Taipei : 315-320, (1994).
- [4] S-H. Huh, S.V. Bozhko, and G-T. Park, "An Adaptive Fuzzy Controller for Power Converters," *IEEE International Fuzzy Systems Conference Proceedings*, Seoul, South Korea, 22-25 August 1999, vol.1, pp. 434-439.
- [5] T. Narongrit, K-L. Areerak, and K-N. Areerak, "Adaptive Fuzzy Control for Shunt Active Power Filters," *Electric Power Components and Systems*, vol. 44, no. 6, pp. 646-657, Mar 2016.
- [6] Y-L. Long, H-L. LU, and J-B. Fan. "Design and Simulation of Cascade Fuzzy Self - Adaptive PID Speed Control of a Thyristor-Driven DC Motor". *2006 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*. 13-16/Aug/2006. Dalian, China : 655-660, (2006).
- [7] H. Ahmed, G. Singh, V. Bhardwaj, L.de Lillo, S. Saurav, and S. Agarwal. "Controlling of D.C. Motor using Fuzzy Logic Controller". *Conference on Advances in Communication and Control Systems 2013*. 666-670, (2013).
- [8] Y. Tipsuwan, and M-Y. Chow. "Fuzzy Logic Microcontroller Implementation for DC Motor Speed Control". *Industrial Electronics Society, 1999. IECON '99 Proceedings. The 25th Annual Conference of the IEEE*. 29/Nov/1999 – 3/Dec/1999. California, USA : 1271-1276, (1999).
- [9] S. Aydemir, S. Sezen, and H. M. Ertunc. "Fuzzy Logic Speed Control of a DC Motor". *Power Electronics and Motion Control Conference*. 14-16/Aug/2004. 766-771, (2004).
- [10] H. Le-Huy and M. Hamdi, "Control of a Direct-Drive DC Motor by Fuzzy Logic," *IEEE Trans. On Industrial Electronics*, pp. 732-738, 1993.
- [11] P. Guillemin, "Fuzzy Logic Applied to Motor Control," *IEEE Trans. on Industry Applications.*, vol. 32, no. 1, pp. 51-56, Jan./Feb. 1996.

- [12] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy Identification of Systems and its Applications to modeling and control." *IEEE Transaction on Systems*, pp. 116-132, 1985.