การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมสัญญาณดิจิตอลหมายเลข TMS320F28335 ร่วมกับโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

Closed Loop DC Motor Driving using TMS320F28335 Digital Signal Controller with MATLAB /SIMULINK Program

อภิชิต กระจ่างเย่า[1*] และ บุญล้ำ สุนทร[2]

Apichit Krajangyao[1*] and Boonlump Soontorn[2]

[1] นักศึกษาปริญญาเอก สาขาการจัดการเทคโนโลยี โครงการผนึกกำลังการเปิดสอนหลักสูตรปริญญาเอก มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220*

[2] สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ถนนปรีดีพนมยงค์ ตำบลระตูชัย อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

**Corresponding author, E-mail : apichit99@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบลูปปิดด้วยตัวควบคุมสัญญาณดิจิตอลหมายเลข TMS320F28335 ร่วมกับโปรแกรม MATLAB/SIMULINK วงจรการควบคุมมอเตอร์นี้ประกอบด้วย วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) วงจรเข้ารหัส (Encoder) วงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก (DAC) และวงจรพีดับเบิ้ลยูเอ็ม (PWM) และวงจรอินเตอร์เฟสอินพุตเอาต์พุต (Input/Output Interface) ใช้งานได้ทั้งในการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงและกระแสสลับ อัลกอริทึมนี้ใช้โปรแกรมโค้ดคอมโพเซอร์สตูดิโอ (Code Composer Studio : CCS) ร่วมกับโปรแกรม MATLAB/SIMULINK เพื่อใช้ในการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรแบบลูปปิด โดยใช้การออกแบบด้วยวิธีการควบคุมแบบผลตอบสนองความถี่และตัวควบคุมแบบพีไอ (PI) จากผลการทดลองพบว่าการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB และอุปกรณ์ที่ใช้งานจริงด้วยตัวควบคุมสัญญาณดิจิตอลหมายเลข TMS320F28335 มีผลตอบสนองของความเร็ว แรงดัน และกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ ขณะที่ไม่มีโหลดและมีโหลดรบกวน มีผลที่ใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: *ตัวควบคุมสัญญาณดิจิตอล การควบคุมมอเตอร์กระแสตรง*

Abstract

This paper presents closed loop DC motor driving using TMS320F28335 digital signal controller with MATLAB /SIMULINK Program .The circuits for motor drive consists of analog to digital encoder, digital to analog encoder and PWM input/output interface circuits. These interface circuits can be used in both of DC and AC motor drive. This control algorithm, using Code Composer Studio program, can be used together with MATLAB/SIMULINK for closed-loop permanent magnet DC motor control. The speed control is designed using frequency response method and PI controller. The results showed that simulation of MATLAB program and TMS320F28335 digital signal controller had similar effect to speed response, voltage and armature current no-load, and load disturbance.

Keywords: *digital signal controller, DC motor drive.*

1.บทนำ

การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมสัญญาณดิจิตอล (digital signal controller : DSC) ได้มีบทบาทมากทั้งทางด้านภาคการศึกษาและอุตสาหกรรม การประยุกต์ใช้ของตัวควบคุมสัญญาณดิจิตอลกับการควบคุมแบบอัตโนมัติ เช่น การควบคุมหุ่นยนต์ ยานยนต์ การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า (Mohna, 2003) งานวิจัยนี้เป็นการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงมาใช้ร่วมกับตัวควบคุมสัญญาณดิจิตอลหมายเลข TMS320F28335 โปรแกรม MATLAB/ SIMULINK (Ruoping, 2012) โดยเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาอัลกอริทึม(algorithm) ของการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยการใช้ชุดแผนภาพ (Block) สำเร็จรูปต่าง ๆ ในห้องสมุดซิมูลินก์ (Simulink Libraries) โดยการเลือกชุดสนับสนุนเป้าหมาย (target support package) จะพบห้องสมุด (libraries) ของตัวสนับสนุนชิพ (chip support) ประกอบด้วยชุดแผนภาพสำเร็จรูปต่าง ๆ เช่น ADC eQEP และ ePWM เป็นต้น สำหรับในการคอมไพล์ (compile) นั้นสามารถใช้ร่วมกับโปรแกรมโค้ดคอมโพเซอร์สตูดิโอ (Code Composer Studio) หรือเรียกว่าโปรแกรม CCS โดยทำการสร้างรหัส (generate code) ที่ตำแหน่งส่วนของโปรแกรม CCS ส่วนของทำงานแบบเวลาจริง (real-time workshop) ในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ที่โปรแกรม CCS นี้จะทำการคอมไพล์ เป็นภาษาซี (C language) ก่อนแล้วจึงจะแปลงข้อมูลเป็นภาษาเครื่อง (machine language) ลงไปที่ตัวควบคุมสัญญาณดิจิตอลหมายเลข TMS320F28335 (Reidla, 2012) และสามารถแก้ไข (debug) โปรแกรมโดยผ่านส่วนของโปรแกรมจำลอง JTAG (JTAG emulator) ได้ถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์ (register) โดยที่ไม่ต้องคอมไพล์โปรแกรม

2. วัตถุประสงค์

ศึกษาเปรียบเทียบการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบลูปปิดแบบพีไอด้วยการจำลองจากโปรแกรม MATLAB และใช้งานจริงด้วยตัวควบคุมสัญญาณดิจิตอลหมายเลข TMS320F28335

3.อุปกรณ์และวิธีการ

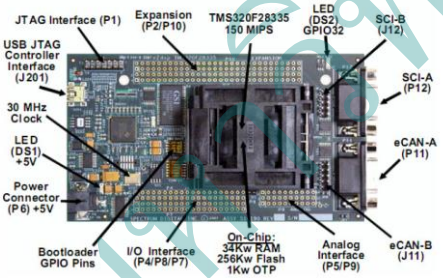
3.1 ชุดควบคุมมอเตอร์

ชุดควบคุมสำหรับในการขับเคลื่อนมอเตอร์นั้นได้จากการสร้างวงจรที่จำเป็นในการใช้งานเพื่อ

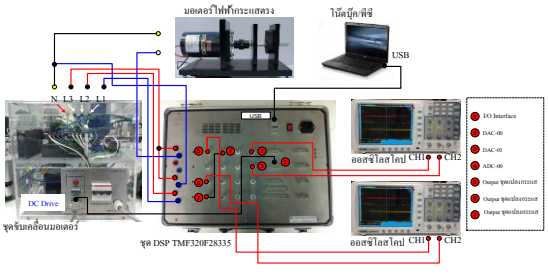
อินเตอร์เฟสระหว่างซอฟแวร์กับฮาร์ดแวร์ โดยมีโครงสร้างสถาปัตยกรรมดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 เป็นการต่อฮาร์ดแวร์จริงที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย

3.1.1 ตัวควบคุมสัญญาณดิจิตอลหมายเลข TMS320F28335

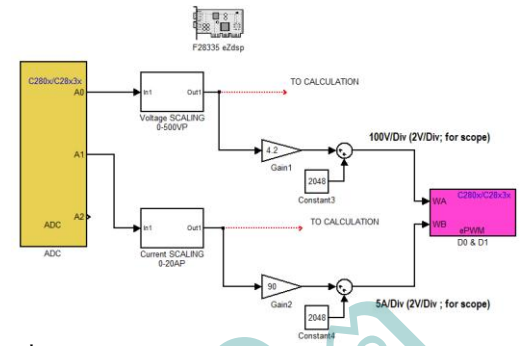
ประกอบด้วยวงจรออปแอมป์เป็นวงจรกันชน (buffer) และวงจรปรับออฟเซต (offset) โดยสามารถรับแรงดันอินพุตได้ ± 10 โวลต์ และแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 0-3 โวลต์ เพื่อต่อเข้าไปยังพอร์ตภายในของวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล (ADC) สำหรับวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอลนั้นมีขนาด 12 บิต แบบไม่มีเครื่องหมาย ดังนั้นหลังจากแผนภาพโมเดล ADC ในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK จึงต้องทำการปรับตัวเลข ±2048 ขนาด 12 บิต และให้มีขนาด 17 บิต แบบมีเครื่องหมาย ดังรูปที่ 3 สำหรับรูปที่ 4 เป็นการตั้งค่าสเกลแรงดันที่มีค่ายอดของอินพุตเท่ากับ 400 โวลต์ และอัตราส่วนการลดทอนแรงดัน 40:1โวลต์



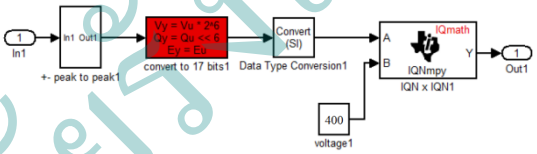
รูปที่ 1 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของตัวควบคุมสัญญาณดิจิตอลหมายเลข TMS320F28335



รูปที่ 2 การต่อชุดการควบคุมมอเตอร์กระแสตรง



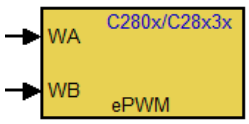
รูปที่ 3 โมดูลวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอลในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK



รูปที่ 4 การปรับขนาดแรงดัน

3.1.2 การตั้งค่าโมเดล ePWM

ตัวควบคุมสัญญาณดิจิตอลหมายเลข TMS320F28335 ประกอบด้วยโมดูลของ ePWM ที่แยกกันอิสระ 6 โมดูล โดยที่แต่ละโมดูลนั้นให้เอาต์พุต 2 ชุดที่แยกอิสระจากกัน เมื่อดูโครงสร้างของแผนรูปที่ 5 จะเป็นการตั้งค่าของ ePWM ประกอบด้วยโดยทั่วไป (general) เป็นการกำหนดค่าต่างๆ ของ ePWM ที่ต้องการและจาก ePWM5 มีการกำหนดความถี่ในการสวิตช์ได้จากคาบเวลา (time period) หรือค่ารีจิสเตอร์ TBPRD กำหนดได้ในโหมดการนับ (counting mode) เป็นการนับแบบขึ้นหรือลง (up or down)



รูปที่ 5 บล็อกโมเดลของ ePWM

เมื่อให้โมดูลย่อยฐานเวลา (Time Base Sub-Module) เป็นตัวกำหนดความถี่ของ PWM โดยที่

สัญญาณนาฬิกาฐานเวลา (time base clock) นั้นต้องสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกาของระบบ (system clock) ดังนั้นการตั้งค่าในรีจิสเตอร์ TBPRD ต้องสัมพันธ์กับความถี่ของ PWM คือ

$$TBPRD = \frac{1}{2}\frac{T_{PWM}}{T_{TBCLK}}$$ (นับแบบขึ้น-ลง (Up – Down))

หรือ

$$TBPRD = \frac{1}{2}\frac{f_{TBCLK}}{f_{PWM}} \quad (1)$$

ในกรณีที่ต้องการนับแบบขึ้น (Up) หรือลง (Down) การตั้งค่าในรีจิสเตอร์ TBPRD คำนวณได้จาก

$$TBPRD = \frac{1}{2}\frac{f_{TBCLK}}{f_{PWM}}$$ (นับแบบขึ้น–ลง(up–down) (2)

ตัวอย่างเช่นเมื่อตั้งโหมดนับขึ้น-ลง (up-down mode) และต้องการความถี่ของ PWM มีค่าเท่ากับ 20 kHz โดยที่ TMS320F28335 นั้นมีความถี่ของระบบที่ 150 MHz ข้อมูลที่จะกำหนดนี้แทนค่าลงในสมการที่ 1 ได้ค่า TBPRD เท่ากับ

$$TBPRD = \frac{1}{2}\frac{150e^6}{20e^3} = 3750 \quad (3)$$

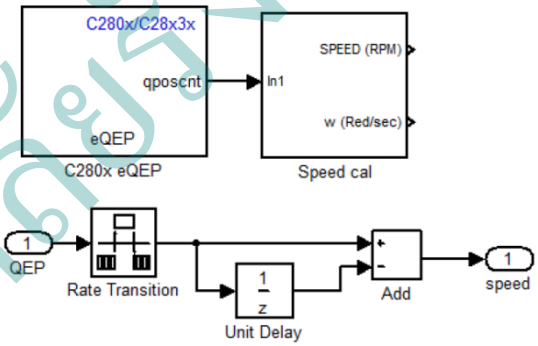
สำหรับส่วนของโมดูล ePWMA และ ePWMB เป็นตัวกำหนด การเปรียบเทียบกับสัญญาณนับของตัวนับ (counter) หรือสัญญาณพาหะ (carrier) นั่นเอง

3.1.3 วงจรการแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก (DAC)

การแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอกนั้นใช้หลักการเช่นเดียวกับหลักการของ ePWM คือการนำสัญญาณที่จะแสดงผลไปมอดูเลตกับสัญญาณคลื่นพาหะ จากนั้นนำสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของ ePWM ไปเข้าวงจรกรองความถี่ต่ำ ในที่นี้เป็นวงจรกรองที่ความถี่ตัด 1 kHz และใช้โมดูล ePWM5 และ ePWM6

3.1.4 วงจรตรวจจับความเร็ว

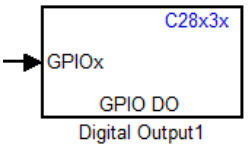
สำหรับโมดูล eQEP ต้องใช้ร่วมกับวงจรถอดรหัส (Encoder) ในการตรวจจับความเร็วโดยตั้งค่าเป็นโหมดแบบนับตรง (direct-count mode) และกำหนดตัวนับตำแหน่งมีค่าสูงสุด (maximum position counter value) เท่ากับ 216 โดยถูกทำให้เป็นศูนย์ (reset) เมื่อการนับมาถึงตำแหน่งการนับสูงสุด สำหรับการคำนวณความเร็วรอบดังรูปที่ 6 ซึ่งมีค่าเวลาสุ่ม (sample time) เท่ากับ 1 มิลลิวินาที (ms)



รูปที่ 6 โมดูล eQEP และการคำนวณความเร็วรอบ

3.1.5 เอาต์พุตอินเตอร์เฟส

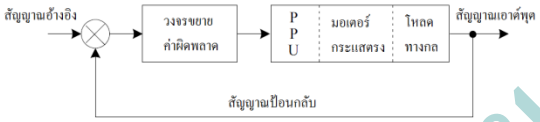
แผนภาพที่ใช้ตั้งค่าของเอาต์พุตอินเตอร์เฟสที่ใช้สำหรับส่งผ่านสัญญาณอนาลอกเพื่อควบคุมขับเอสซีอาร์ (Silicon Controlled Rectifier : SCR) สัญญาณนี้ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณควบคุมและสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้มาจากแรงดันเข้ากันกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้เอสซีอาร์ โดยมีแผนภาพของดิจิตอลเอาต์พุตดังรูปที่ 7



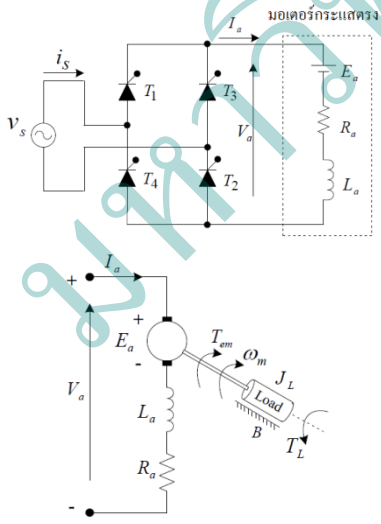
รูปที่ 7 แผนภาพดิจิตอลเอาท์พุต

3.2 การจำลองระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

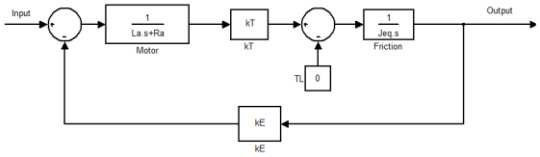
การควบคุมมอเตอร์ในงานอุตสาหกรรมต้องการความแม่นยำ ในการควบคุมโดยอาศัยการควบคุมแบบป้อนกลับดังรูปที่ 8 ซึ่งประกอบไปด้วยชุดประมวลผลทางกำลังไฟฟ้า (Power Processing Unit : PPU) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันที่เหมาะสมให้กับมอเตอร์เพื่อที่ควบคุมโหลดทางกลเช่น การควบคุมแรงบิด ความเร็ว และอื่นๆ ผ่านทางสัญญาณป้อนกลับเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง ซึ่งสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบนี้ถูกเรียกว่าสัญญาณผิดพลาด (Error) ที่จะถูกควบคุมให้มีค่าจำกัด ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของโหลดที่มารบกวนหรือการเปลี่ยนของพารามิเตอร์ของระบบ



รูปที่ 8 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ



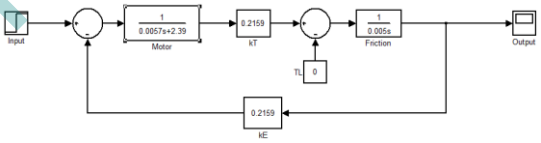
รูปที่ 9 วงจรสมมูลของมอเตอร์กระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 10 แผนภาพไดอะแกรมของมอเตอร์กระแสตรง

งานวิจัยนี้เป็นวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นโดยใช้เอสซีอาร์เป็นอุปกรณ์สวิตช์ ดังภาพที่ 9 โดยจ่ายแรงดันกระแสตรงให้กับมอเตอร์และแผนภาพไดอะแกรมของ มอเตอร์ดังภาพที่ 10 มีพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบดังต่อไปนี้ R_a = 2.39 โอห์ม L_a = 0.0057 เฮนรี่ J = 0.005 กิโลกรัม.ตารางเมตร k_T = 0.2159 k_E = 0.2159 ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้แทนลงในแผนภาพไดอะแกรมดังรูปที่ 11 จะได้ ฟังก์ชั่นถ่ายโอนเท่ากับ

$$G_p(s) = \frac{\omega_m(s)}{V_a(s)} = \frac{7575}{s^2+419.3\,s+1636} \quad (4)$$



รูปที่ 11 แผนภาพไดอะแกรมของมอเตอร์กระแสตรงแบบลูปปิด

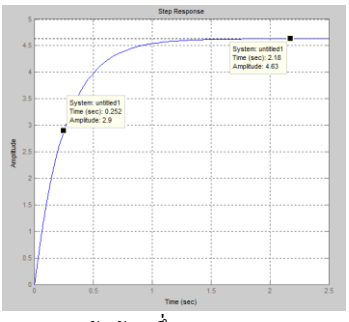
จากสมการที่ 4 แปลงเป็น

$$G_p(s) = \frac{\omega_m(s)}{V_a(s)} = \frac{7575}{(s+415.4)(s+3.938)} \quad (4)$$

สามารถหาตำแหน่งของโพล (Pole) คือ -415.4, -3.938

3.4 การออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอ

จากสมการที่ (4) ตำแหน่งของโพลอยู่ที่ตำแหน่ง -415.4 และ –3.938 ในแนวแกนจริง อาจประมาณได้ว่าโพลที่อยู่ ตำแหน่ง -415.4 นั้นแทบจะไม่มีผลกระทบต่อผลการตอบสนองของระบบ ทำให้สามารถประมาณระบบของมอเตอร์ว่าเป็นระบบอันดับหนึ่ง (first order) ดังแสดงผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ผลตอบสนองอันดับหนึ่ง

ซึ่งเป็นผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งที่มีลักษณะเช่นเดียวกับการตอบสนองความเร็วรอบของมอเตอร์ ในเบื้องต้นจะต้องทำการทดสอบหาคาบเวลาคงตัว (time constant :T) จริงเสียก่อน โดยเขียนสมการมอเตอร์ตาม สมการที่ (5)

$$G_P(s)=\frac{k_{Plant}}{1+sT} \qquad (5)$$

จากผลการทดสอบหาค่าการขยาย (Gain) ของมอเตอร์ และค่าเวลาคงตัวมีค่าเท่ากับ 0.25 วินาที และค่า k_{Plant} มีค่าเท่ากับ 4.63 ดังนั้น สมการฟังก์ชั่นถ่ายโอนของมอเตอร์ในระบบอันดับหนึ่ง คือ

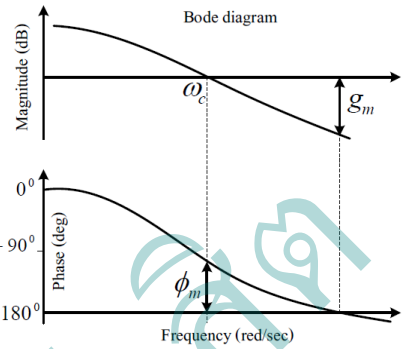
$$G_P(s)=\frac{4.63}{0.25s+1} \qquad (6)$$

เมื่อนำสมการมอเตอร์รวมกับสมการควบคุมพีไอ

$$G_C(s)G_P(s)=\left[k_P+\frac{k_pk_i}{s}\right]\left[\frac{4.63}{0.25s+1}\right] \qquad (7)$$

โดยที่ $G_C(s)=\left[k_P+\frac{k_pk_i}{s}\right]$

k_p ค่าคงที่ และ k_i ของตัวควบคุมคำนวณได้จากการวิเคราะห์ระบบควบคุมด้วยกราฟโบด (Bode Plot) ของฟังก์ชั่นถ่ายโอน k_p และ k_i แบบลูปเปิดดังรูปที่ 13 ในเทอมของเกนมาร์จิน (gain margin) และเฟสมาร์จิน (phase margin) โดยที่ตัวแปรทั้งสองจะแสดงผลของตัวควบคุม (Ogata, 1997) เมื่อปรับค่าการขยายแล้วจะทำให้ระบบเปลี่ยนจากระบบที่มีความเสถียรภาพไปเป็นระบบที่ไม่มีความเสถียรภาพ โดยมีเงื่อนไขพิจารณาคือ ที่ความถี่ตัดข้าม (crossover frequency : ω_C) ที่ขนาดของฟังก์ชั่นถ่ายโอนลูปเปิดเท่ากับ 0 dB โดยค่ามุมเฟสมาร์จิน (ϕ_m) ต้องมีค่ามากกว่า 45 องศา เพื่อที่จะทำให้ระบบควบคุมมีเสถียรภาพ



รูปที่ 13 การวิเคราะห์ด้วยพล็อตโบด

$$\emptyset_M=\angle G_C(s)G_P(s)=180^\circ \qquad (8)$$

และในส่วนของเกนมาร์จิน g_m มีค่าเท่ากับ

$$g_m=\frac{1}{|G_C(s)G_P(s)|} \qquad (9)$$

โดยค่าของเกนมาร์จินต้องมีค่าเป็นบวกจากสมการที่ (7) ระบบควบคุมคือ

$$G_C(s)G_P(s)=\left[k_P+\frac{k_pk_i}{s}\right]\left[\frac{4.63}{0.25s+1}\right]$$

โดยที่ $k_i = 1/T_i$

$$G_C(s)G_P(s)=\left[k_P+\frac{k_p}{T_is}\right]\left[\frac{4.63}{0.25s+1}\right]$$

$$G_C(s)G_P(s)=\left[\frac{18.52k_p(1+T_is)}{T_is(s+4)}\right] \qquad (10)$$

เงื่อนไขการออกแบบกำหนดให้ $\phi_m = 60^\circ$ เพื่อลดผลของการพุ่งเกิน (Overshoot) และกำหนดให้ $\omega_n = 10$ แทนค่าลงในสมการที่ 10 โดยที่มุมเฟสของผลตอบ สนองมีค่าเท่ากับ 60°

$$\angle G_c(s)G_p(s)=\tan^{-1}(T_i10)-161^\circ \qquad (11)$$

จากสมการที่ 11 แทนค่าลงในสมการที่ 8 คำนวณหาค่า T_i มีค่าเท่ากับ 0.087 จากนั้นแทนค่าลงในสมการที่ 10 ได้ ฟังก์ชั่นถ่ายโอนลูปเปิดตามสมการที่ คือ

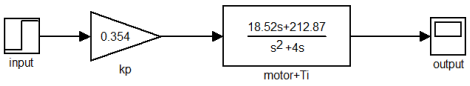
$$G_C(s)G_p(s)=\left[\frac{18.52k_p(1+0.087s)}{0.087s(s+4)}\right]$$

$$G_C(s)G_p(s)=k_p\left[\frac{18.52s+212.87}{s^2+4s}\right] \qquad (12)$$

คำนวณหาค่า k_p โดยให้

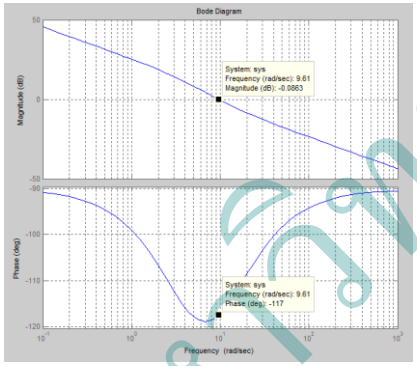
$$|G_C(s)G_s(s)|=|G_C(j\omega)G_s(j\omega)| = 1 = k_p\left[\frac{18.52(j\omega)+212.87}{(j\omega)^2+4(j\omega)}\right] \quad (13)$$

โดยที่ค่าการขยาย k_p= 0.354

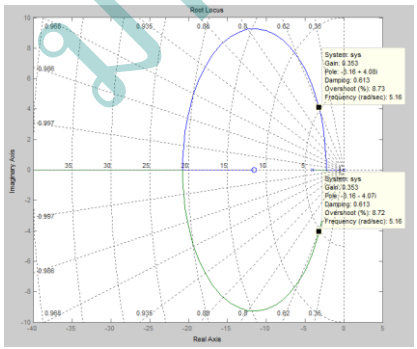


รูปที่ 14 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนระบบควบคุมลูปเปิด

นำสมการที่ 12 มาทำกราฟโบด (bode plot) ดังภาพที่ 15 โดย ความถี่ตัดข้ามที่ขนาด 0 dB มีค่ามุมเฟสมาร์จิน เท่ากับ 63° ใกล้เคียงกับที่ได้ออกแบบเป็นผลทำให้ค่าการขยายที่ออกแบบทำให้ระบบควบคุมมีความเสถียรภาพ

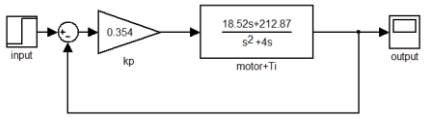


รูปที่ 15 แผนภาพกราฟโบดของฟังก์ชั่นถ่ายโอนลูปเปิด

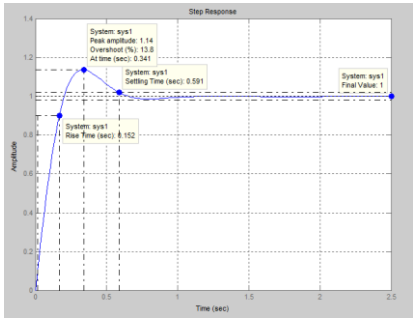


รูปที่ 16 เส้นทางเดินรากของระบบ

เมื่อพิจารณาเส้นทางเดินรากของระบบ พบว่าผลของการเปลี่ยนค่าการขยายของตัวควบคุมทำให้โพลของระบบมีการเคลื่อนตำแหน่งไปตามตำแหน่งที่เป็นเอกลักษณ์บนเส้นทางของทางเดินราก (root locus) โดยในขณะที่มีการควบคุมตำแหน่งของโพลจะมีการเคลื่อนที่จากตำแหน่ง -3.938 และที่จุดกำเนิด จากนั้นคู่โพลแยกออกไปยังตำแหน่งคู่คอนจูเกตตามทางเดินรากทำให้ระบบมีความเสถียรภาพ โดยแต่ละตำแหน่งของคู่โพลจะให้ ผลตอบสนองที่แตกต่างกัน จากสมการระบบอันดับสองมาตรฐานสมการที่เขียนในรูปฟังก์ชั่นถ่ายโอนลูปปิด ได้เป็น $s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2 = s^2+(4s+18.52k_p s)+212.87k_p$ ที่ค่า k_p เท่ากับ 0.354 คำนวณผลของความถี่ธรรมชาติไม่มีการหน่วง ω_n = 8.68 อัตราหน่วงของระบบ ζ เท่ากับ 0.46 และเวลาเซ็ตตัวที่ 2% เท่ากับ $t_S = 4/\zeta\omega_n$= 1.003 วินาที

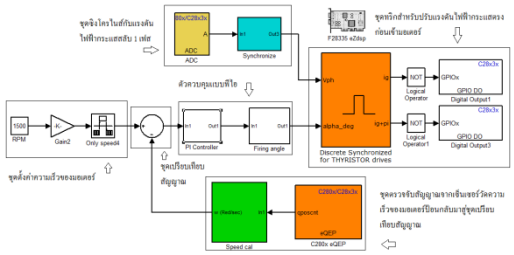


รูปที่ 17 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนระบบควบคุมลูปปิด

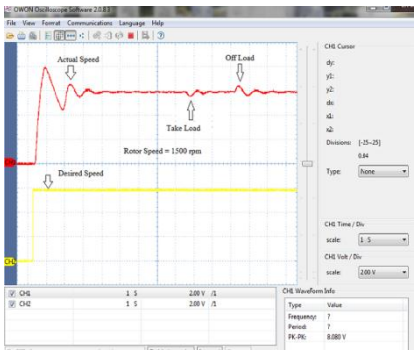


รูปที่ 18 ผลตอบสนองลูปปิด

โดยการนำสมการฟังก์ชันถ่ายโอนลูปปิดตามภาพที่ 17 ตามเงื่อนไขที่ออกแบบมาสร้างกราฟหาผลตอบสนองที่มีสัญญาณอินพุตเป็นขั้นบันได (Step) ดังรูปที่ 18



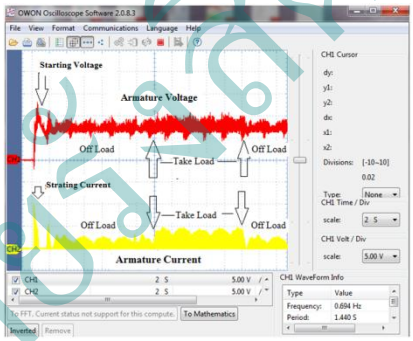
รูปที่ 19 แผนภาพไดอะแกรมระบบควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง



รูปที่ 20 ผลตอบสนองของความเร็วมอเตอร์จาก 0 – 1,500 รอบต่อนาที

4. ผลการทดสอบ

งานวิจัยนี้นำการประยุกต์ใช้ของตัวควบคุมดิจิตอลหมายเลข TMS320F28335 เพื่อควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบลูปปิดร่วมกับชุดวงจรเรียงกระแส ขนาดกำลัง 500 วัตต์ และมอเตอร์กระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวรพิกัด ขนาดกำลัง 250 วัตต์ แรงดัน 90 โวลต์ และกระแส 4.4 แอมป์ ในการพัฒนาอัลกอริทึมของการควบคุมนั้นใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK ร่วมกับโปรแกรม CCS ดังรูปที่ 19 แผนภาพไดอะแกรมของโปรแกรมประกอบด้วยแผนภาพ ADC สำหรับรับแรงดันกระแสสลับเพื่อซิงโครไนซ์กับสัญญาณจุดชนวนของเอสซีอาร์ในชุดวงจรเรียงกระแส แผนภาพ eQEP สำหรับเชื่อมต่อกับชุดเข้ารหัสเพื่อวัดความเร็วรอบของมอเตอร์และแผนภาพ DAC ใช้เพื่อแสดงค่าความเร็วรอบ กระแสและแรงดัน จากผลการทดสอบได้ผลตอบสนองของความเร็วดังรูปที่ 20 โดยกำหนดให้ความเร็วเริ่มจาก 0 ถึง 1,500 รอบต่อนาที ในเงื่อนไข k_p เท่ากับ 0.38 และ k_i เท่ากับ 11.49 จากผลการทดลองดังรูปที่ 21 ช่วงเวลาไต่ขึ้น (rise time) ประมาณ 140 มิลลิวินาที (ms) และช่วงเวลาเซ็ตตัว (settling time) เท่ากับ 1.08 วินาที (s) การทดสอบแสดงการใส่โหลดและปลดโหลดให้กับมอเตอร์กระแสตรงที่พิกัดโดยการป้อนไฟฟ้ากระแสตรงให้กับมอเตอร์กระแสสลับเพื่อใช้เป็นโหลดทางกล



รูปที่ 21 การใส่โหลดและปลดโหลดทางกล

5. สรุปผล

จากผลการทดลองด้วยการจำลองการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงด้วยโปรแกรม MATLAB และตัวควบคุมดิจิตอลหมายเลข TMS320F28335 ที่มีการออกแบบระบบควบคุมด้วยวิธีผลตอบสนองความถี่และตัวควบคุมแบบพีไอ ได้พบว่า การทำงานของทั้งสองวิธีให้ผลตอบสนองของความเร็ว แรงดัน และกระแส ทั้งในสภาวะที่ไม่มีโหลดและมีโหลด มีค่าใกล้เคียงกัน

6. เอกสารอ้างอิง

Mohan, N. (2003) “Electric Drives: An Integrative Approach”, June 1st 2003 by Mnpere.

Ogata, K.(1997) “Modern Control Engineering” third edition, Prentice Hall Intcvnaticnal.

Ruoping W. (2012) “On-line Tuning Algorithms Design and Validation for MCU Based on

TMS320F28335" Published by Atlantis Press, Paris, France.

Reidla, M. (2012) TMS320F28335-based high-accuracy complex network analyzer instrument. Education and Research Conference (EDERC), 2012 5th European DSP, Amsterdam.

มหาวิทยาลัยรังสิต