

การออกแบบวงจรตัวควบคุมพีไอดีเอแบบอนเนกประสงค์ และการประยุกต์ใช้งาน Versatile PIDA Controller Circuit Design and Applications

ราเชน คณะนา และ อธิพงษ์ ชัยสาย์นัห์

Rachen Kanahna and Ittipong Chaisayun

คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : ittipongc@sau.ac.th

บทคัดย่อ บทความนี้เป็นการนำเสนอ การออกแบบตัวควบคุม พีไอดีเอ แบบอนเนกประสงค์โดยใช้วงจรขยายบัฟเฟอร์ของผลต่างกระแส ตัวควบคุม พีไอดีเอ นี้ สร้างขึ้นมาจากวงจรขยายบัฟเฟอร์ของผลต่างกระแส จำนวน 6 ตัว ตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์ 3 ตัว และตัวต้านทาน 13 ตัว ลักษณะเด่นของวงจรตัวควบคุมนี้ คือ สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตสามารถเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าและ/หรือแรงดันไฟฟ้า นอกจากนี้ อัตราขยายของตัวควบคุม (K_p , K_i , K_D , และ K_A) สามารถปรับได้อย่างอิสระต่อกัน ในการประยุกต์ใช้งาน มีการนำตัวควบคุมแบบ พีไอดีเอ ที่ออกแบบไปทดสอบทำงานร่วมกับพลาตันต์อันดับสามแบบวงรอบปิด ผลการทดสอบโดยการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice พบว่าวงจรทำงานได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ในเชิงทฤษฎี

คำสำคัญ : ตัวควบคุมพีไอดี ตัวควบคุมพีไอดีเอ วงจรขยายบัฟเฟอร์ของผลต่างกระแส

Abstract This paper presents a versatile PIDA controller employing current differencing buffered amplifiers (CDBAs). The proposed PIDA controller consists of 6 CDBAs, 3 capacitors and 13 resistors. The features of the PIDA controller are that its input signal and output signal can be current and/or voltage and the gains K_p , K_i , K_D , and K_A can be independently controlled. Its application is demonstrated on a close loop system of the third order plants, the simulation results using PSpice are shown and agree well with the theoretical anticipation

Keywords: PID controller, PIDA controller, Current differencing buffered amplifier.

1. บทนำ

ตัวควบคุมแบบพีไอดีได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันเพราะ มีข้อดีหลายประการ เช่น สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ง่าย มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน และราคาถูก [1] ตัวควบคุมพีไอดี จะใช้งานได้ดีกับ พลานต์ (plant) อันดับสอง สำหรับ พลานต์ อันดับสามหรืออันดับสูงกว่า การนำตัวควบคุมแบบ พีไอดี ไปควบคุมทำได้ยาก เพราะอันดับของ พลานต์ มีสูงกว่าจำนวนซีโร (zero) ของตัวควบคุมพีไอดี โดยเฉพาะพลานต์ อันดับสาม แบบ type 2 เป็นเรื่องยากมากที่จะควบคุมด้วย ตัวควบคุม พีไอดี[2]

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวได้มีการนำเสนอ ตัวควบคุมพีไอดีเอ (Proportional-Integral-Derivative-Acceleration: พีไอดีเอ) [2] ซึ่งมีซีโร 3 ตัว อาจกล่าวได้ว่าตัวควบคุม พีไอดีเอ คือ ตัวควบคุมแบบ พีไอดี ที่เพิ่มซีโรเข้ามา 1 ตัว โดยซีโร ที่เพิ่มเข้ามานี้ จะช่วยปรับรูปทรงโลกัสของราก (root locus) ให้มีผลตอบสนองตามที่ต้องการ ในการสังเคราะห์ตัวควบคุมโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้มีการนำเสนอการออกแบบตัวควบคุมพีไอดี โดยใช้โอปแอมป์ต่อร่วมกับอุปกรณ์พาสซีฟ [3]-[4] และนำเสนอการออกแบบ ตัวควบคุม พีไอดีเอ โดยใช้วงจรโอปแอมป์ป้อนกลับกระแส [5-6] วงจรขยายความนำ [7] แต่ในบทความ [5-7] สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเป็นได้เฉพาะแรงดันเท่านั้น ต่อมาบทความ [8] ได้ออกแบบตัวควบคุมโดยใช้โอปแอมป์ป้อนกลับกระแสที่สามารถรับสัญญาณอินพุตได้ทั้งกระแสและแรงดัน แต่ในงานวิจัย [5-8] ยังไม่มีการป้องกันสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงในองค์ประกอบดีและองค์ประกอบเอ และในบทความ [9] ได้เพิ่มตัวป้องกันความถี่สูง

ความสัณฐานของกระแสและแรงดันที่โนดต่าง ๆ แสดงได้ดังนี้

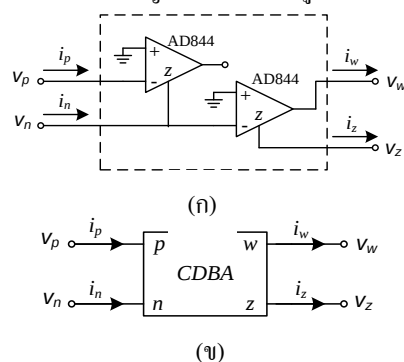
$$I_Z = I_P - I_N, \quad V_P = 0, \quad V_N = 0, \quad V_W = V_Z \quad (1)$$

รบกวนในองค์ประกอบดีและองค์ประกอบเอ แต่บทความ[5-9]ยังไม่มีการนำตัวควบคุมพีไอดี และ พีไอดีเอไปใช้ควบคุมพลานต์ต่างๆ ในบทความวิจัย [10-11] ได้แสดงการนำตัวควบคุมพีไอดี และ พีไอดีเอไปควบคุมพลานต์อันดับสาม ชนิด type 0 ขณะที่ พลานต์อันดับสาม ชนิด type 1 และ ชนิด type 2 เป็นพลานต์ที่ควบคุมยากมากนั้น[2] และยังไม่ได้มีการนำเสนอ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำตัว พีไอดีเอ ที่ผู้เขียนได้เคยนำเสนอมาแล้วใน[9] มาดัดแปลงเป็นตัวควบคุมพีไอดี และนำตัวควบคุมทั้งสอง(พีไอดีและพีไอดีเอ) มาทดสอบกับพลานต์อันดับสามชนิด TYPE 0 TYPE 1 และ TYPE 2 โดยมีการทดสอบทั้งโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ เพื่อให้เห็นคุณสมบัติการตอบสนองและเสถียรภาพของระบบหลังการควบคุม

2. ทฤษฎีและหลักการทำงานของวงจร

2.1 วงจรขยายบัฟเฟอร์ของผลต่างกระแส

วงจรขยายบัฟเฟอร์ของผลต่างกระแสที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สร้างจากวงจรโอปแอมป์ป้อนกลับกระแส โดยโครงสร้างและสัญลักษณ์แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรขยายบัฟเฟอร์ของผลต่างกระแส

(ก) โครงสร้าง (ข) สัญลักษณ์

จาก (1) กระแสที่โนด Z (I_Z) เป็นผลต่างของกระแสที่โนด P (I_P) และ โนด N (I_N) ขณะที่แรงดันที่โนด P และ โนด N มีค่าเท่ากับศูนย์ตลอดเวลา แรงดันโนดที่ W จะมีค่าเท่ากับแรงดันที่โนด Z

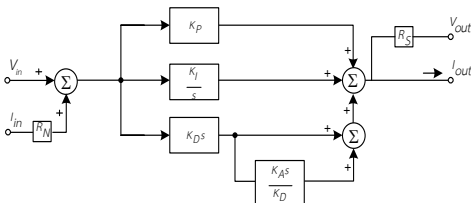
2.2 ตัวควบคุมแบบพีไอดีเอ

ตัวควบคุมแบบพีไอดีเอ นำเสนอครั้งแรกใน

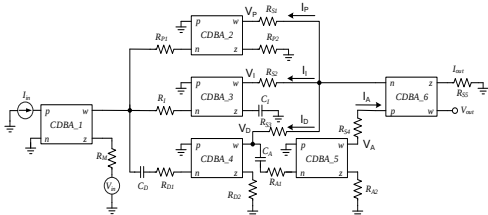
[2] โดยมีฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมดังนี้

$$T(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + \frac{sK_D}{(s+d)} + \frac{s^2K_A}{(s+d)(s+e)} \quad (2)$$

จากสมการฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม พีไอดีเอ ใน (2) สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2 และสามารถสร้างเป็นวงจรตัวควบคุม พีไอดีเอโดยใช้วงจรขยายบัพเฟอร์ของผลต่างกระแสได้ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุม พีไอดีเอ



รูปที่ 3 วงจรรวมตัวควบคุม พีไอดีเอ

เพื่อให้วงจรสามารถรับสัญญาณได้ทั้งแรงดันและกระแส ได้ออกแบบวงจรรวมสัญญาณภาคอินพุตซึ่งประกอบด้วย CDBA_1 และ R_M รวมทั้ง ให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นผลรวมของสัญญาณอินพุต V_{in} และ I_{in} การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุต ใน s โดเมนของแต่ละองค์ประกอบ V_p , V_I , V_D และ V_A เทียบกับแรงดันอินพุต V_{in} และ I_{in} แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_p(s) = -\frac{R_{p2}}{R_{p1}}(v_{in}(s) + i_{in}(s)R_M) \quad (3)$$

$$V_I(s) = -\frac{(v_{in}(s) + i_{in}(s)R_M)}{sC_I R_I} \quad (4)$$

$$V_D(s) = \frac{-sC_D R_{D2}}{1 + sC_D R_{D1}}(v_{in}(s) + i_{in}(s)R_M) \quad (5)$$

$$V_A(s) = \frac{s^2 C_A C_D R_{A2} R_{D2}}{(1 + sC_D R_{D1})(1 + sC_A R_{A1})}(v_{in}(s) + i_{in}(s)R_M) \quad (6)$$

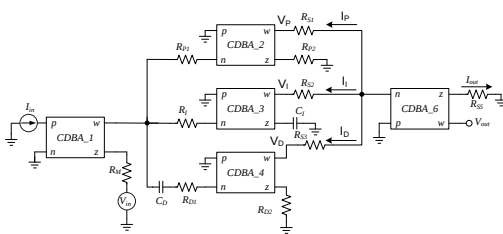
เมื่อกระแสเอาต์พุต $I_{out(s)}$ เกิดจากการรวมสัญญาณ $V_p(s)$, $V_I(s)$, $V_D(s)$ และ $V_A(s)$ โดยใช้ CDBA_6 ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมพีไอดีเอเมื่อเอาต์พุตเป็นสัญญาณกระแส สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\frac{i_{out}}{(v_{in} + i_{in}R_M)} = \left[\frac{\frac{R_{p2}}{R_{p1}R_{S1}} + \frac{1}{sC_I R_I R_{S2}} + \frac{sC_D R_{D2}}{(1 + sC_D R_{D1})R_{S3}}}{1 + \frac{s^2 C_A C_D R_{A2} R_{D2}}{(1 + sC_D R_{D1})(1 + sC_A R_{A1})R_{S4}}} \right] \quad (7)$$

และฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมพีไอดีเอเมื่อเอาต์พุตเป็นสัญญาณแรงดัน แสดงได้ดังสมการที่ (8)

$$\frac{v_{out}}{(v_{in} + i_{in}R_M)} = \left[\frac{\frac{R_{S5}R_{p2}}{R_{p1}R_{S1}} + \frac{R_{S5}}{sC_I R_I R_{S2}} + \frac{sR_{D2}R_{S5}}{\left(\frac{1}{C_D R_{D1}} + s\right)R_{D1}R_{S3}}}{1 + \frac{s^2 R_{A2}R_{D2}R_{S5}}{\left(\frac{1}{C_D R_{D1}} + s\right)\left(\frac{1}{C_A R_{A1}} + s\right)R_{A1}R_{D1}R_{S4}}} \right] \quad (8)$$

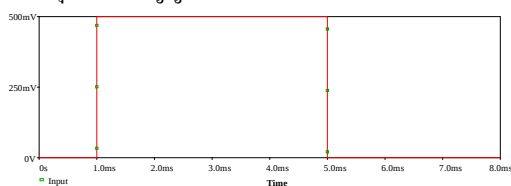
จากสมการที่ (7) และ (8) เมื่อกำหนดให้ $i_{in} = 0$ หรือ $V_{in} = 0$ ฟังก์ชันถ่ายโอนสามารถเขียนได้เป็น i_{out}/V_{in} , i_{out}/i_{in} , V_{out}/V_{in} หรือ V_{out}/i_{in} ดังนั้นจึงเรียกววงจรควบคุมนี้ว่า วงจรตัวควบคุมแบบเนกประสงค์ ในกรณีที่ต้องการทำตัวควบคุมพีไอดีเอเป็น ตัวควบคุมพีไอดี ก็สมารถทำได้โดยการตัดองค์ประกอบเอาต์พุตหรือ ตัด CDBA_5 $C_A R_{A1} R_{A2}$ และ R_{S4} ออก ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 วงจรรวมตัวควบคุม พีโอดี

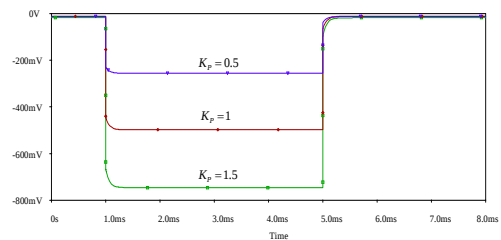
3. การจำลองผลการทำงาน

เพื่อตรวจสอบผลการวิเคราะห์ในทางทฤษฎี ได้จำลองการทำงานของวงจรควบคุม พีโอดีเอ ในรูปที่ 3 โดยใช้โปรแกรม PSpice สำหรับวงจรออปแอมป์ ป้อนกลับกระแส ในรูปที่ 1(ก) ใช้แบบจำลอง (Macro-model) ของ AD844 จาก Analog Devices ในการทดสอบนี้ ใช้ไฟเลี้ยง $\pm 10\text{ V}$ และมีค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้ $C_A = C_D = C_1 = 0.5\text{ }\mu\text{F}$, $R_{P1} = R_{P2} = 50\text{ k}\Omega$, $R_{S1} = R_{S2} = R_{S3} = R_{S4} = R_{S5} = 50\text{ k}\Omega$, $R_1 = 1\text{ k}\Omega$, $R_{D1} = 100\text{ }\Omega$, $R_{D2} = 50\text{ k}\Omega$, $R_{A1} = 100\text{ }\Omega$, $R_{A2} = 10\text{ k}\Omega$ แม้ที่ว่าตัวควบคุมที่นำเสนอสามารถรับสัญญาณอินพุตได้ทั้งสัญญาณแรงดันและกระแส นอกจากนี้เอาต์พุตสามารถให้เป็นทั้งสัญญาณแรงดันและกระแส แต่ด้วยพื้นที่จำกัดในบทความนี้จะขอแสดงเฉพาะอินพุตและเอาต์พุตที่เป็นสัญญาณแรงดันเท่านั้น

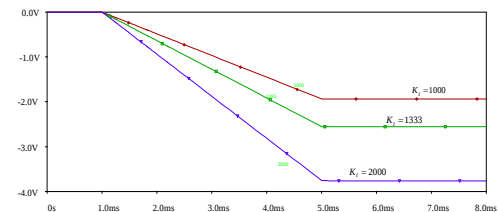


รูปที่ 5 สัญญาณอินพุตแบบขึ้นบันได

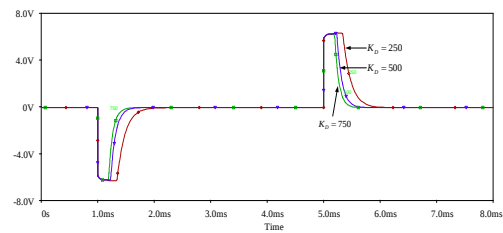
สำหรับการทดสอบตัวควบคุม พีโอดีเอ ที่ออกแบบจะถูกทดสอบโดยการป้อนสัญญาณอินพุตแบบ ขึ้นบันไดขนาดแรงดัน 0.5 โวลต์ดังแสดงในรูปที่ 5 ขณะที่ผลการตอบสนองของสัญญาณด้านเอาต์พุตของตัวควบคุมในองค์ประกอบต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 6



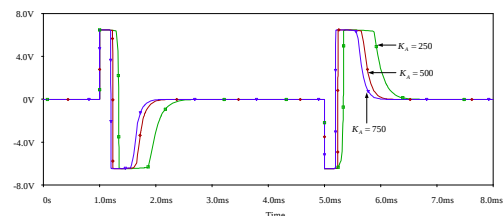
(ก)



(ข)



(ค)



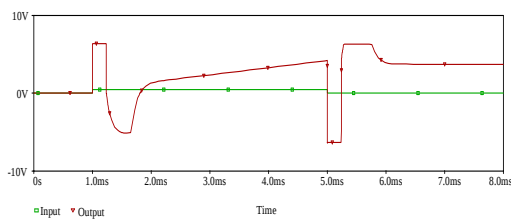
(ง)

รูปที่ 6 สัญญาณเอาต์พุตขององค์ประกอบต่าง ๆ

(ก) องค์ประกอบ P (ข) องค์ประกอบ I

(ค) องค์ประกอบ D (ง) องค์ประกอบ A

จากผลการทดสอบในรูปที่ 6 จะเห็นว่าค่า K_p , K_i , K_D และ K_A สามารถปรับค่าได้อย่างอิสระซึ่งสอดคล้องกับสมการที่(3)-(6) และผลตอบสนองทางด้านเอาต์พุตของตัวควบคุม พีโอดีเอ แสดงดังรูปที่ 7



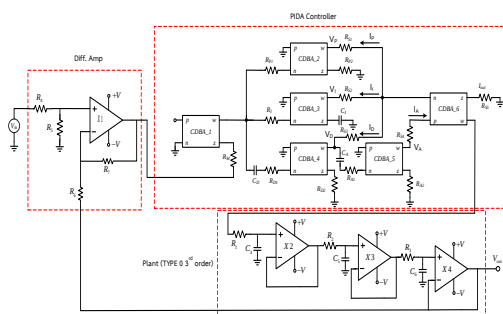
รูปที่ 7 สัญญาณเอาต์พุตแรงดันของตัวควบคุม พีไอดีโอ

4. การนำประยุกต์ใช้งานของตัวควบคุม พีไอดีโอ

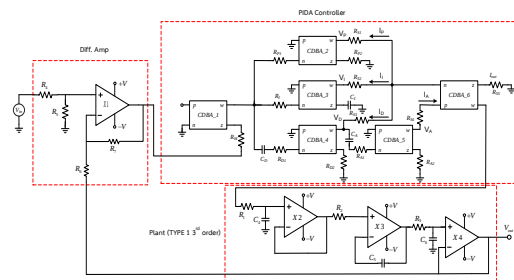
ในหัวข้อนี้ เป็นการนำตัวควบคุม พีไอดีโอ และ พีไอดี ที่ออกแบบนำมาทดสอบกับพลาตันอันดับสามชนิด TYPE 0 TYPE 1 และ TYPE 2 โดยมีการทดสอบทั้งโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

4.1 การทดสอบการควบคุมพลาตันอันดับสามในโดเมนเวลาโดยเปรียบเทียบตัวควบคุม พีไอดี กับตัวควบคุม พีไอดีโอ

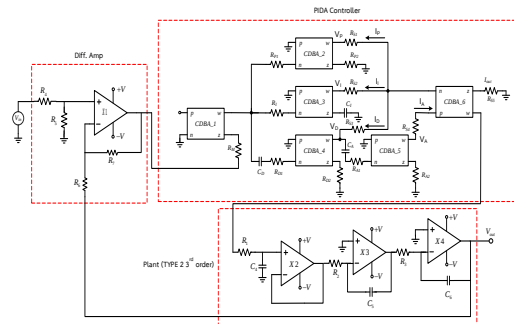
ในการทดสอบนี้จะใช้พลาตันอันดับสามชนิด TYPE 0 TYPE 1 และ TYPE 2 ดังนั้น วงจรรวมของการทดสอบ การควบคุมพลาตันอันดับสามในโดเมนเวลา แสดงในรูป 8-10 ออปแอมป์ถูกเลือกมาใช้ในการสร้างกับพลาตันอันดับสาม และตัวเปรียบเทียบสัญญาณ เพราะออปแอมป์สามารถสร้างแบบจำลองได้ง่ายไม่ซับซ้อน



รูปที่ 8 วงจรสำหรับการทดสอบตัวควบคุม พีไอดีโอ กับพลาตันอันดับสาม TYPE 0



รูปที่ 9 วงจรสำหรับการทดสอบตัวควบคุม พีไอดีโอ กับพลาตันอันดับสาม TYPE 1

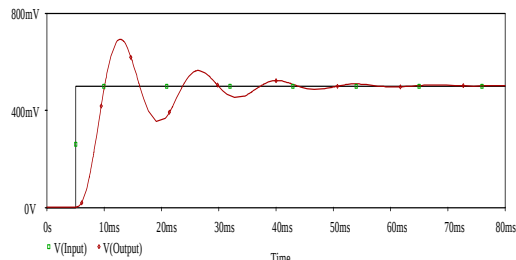


รูปที่ 10 วงจรสำหรับการทดสอบตัวควบคุม พีไอดีโอ กับพลาตันอันดับสาม TYPE 2

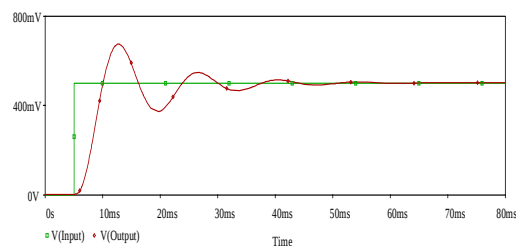
สำหรับวงจรรวมของตัวควบคุมแบบ พีไอดี กับ พลาตันอันดับสาม TYPE 0 TYPE 1 และ TYPE 2 นั้นไม่ได้แสดงในบทความนี้เนื่องจากมีพื้นที่จำกัด แต่ วงจรดังกล่าวมีลักษณะคล้ายกับวงจรรวมของตัวควบคุม พีไอดีโอ เพียงตัดองค์ประกอบออกหรือ คัด CDBA_5 C_A R_{A1} R_{A2} และ R_{S4} ออก

จากรูปที่ 8 เป็นวงจรที่ใช้จำลองการทำงานของตัวควบคุม พีไอดีโอ กับพลาตันอันดับสาม TYPE 0 ซึ่งได้ออกแบบให้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ ทำให้ได้ค่า $K_p \approx 4$, $K_i \approx 333$, $K_d \approx 2.5$ และ $K_A \approx 1.25$ จากรูปที่ 9 เป็นวงจรที่ใช้จำลองการทำงานของตัวควบคุม พีไอดีโอ กับพลาตันอันดับสาม TYPE 1 ซึ่งได้ออกแบบให้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ ทำให้ได้ค่า $K_p \approx 10$, $K_i \approx 333$, $K_d \approx 2.5$ และ $K_A \approx 1.25$ จากรูปที่ 10 เป็นวงจรจำลองการทำงานของตัวควบคุม พีไอดีโอ กับพลาตันอันดับสาม TYPE 2 ซึ่งได้ออกแบบให้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ ทำให้ได้ค่า $K_p \approx 2$, $K_i \approx 1667$, $K_d \approx 25$ และ $K_A \approx 2500$ ใน

การทดสอบนี้อินพุตจะป้อนเป็นสัญญาณแรงดัน
ขั้นบันได ขนาด 500 mV ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่
11, 12 และ 13



(ก)

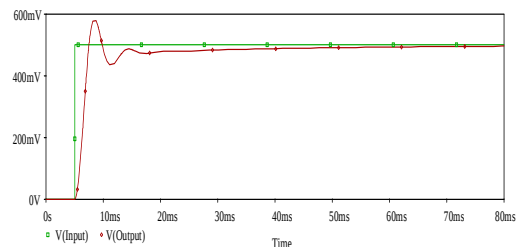


(ข)

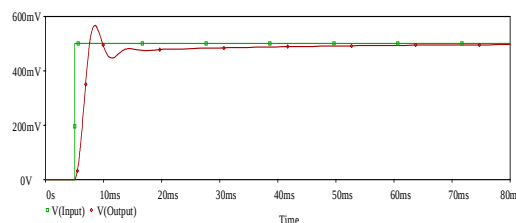
รูปที่ 11 รูปอินพุตและเอาต์พุตของระบบอันดับสาม

TYPE 0 (ก) เมื่อใช้ตัวควบคุม พีไอดี

(ข) เมื่อใช้ตัวควบคุม พีไอดีเอ



(ก)

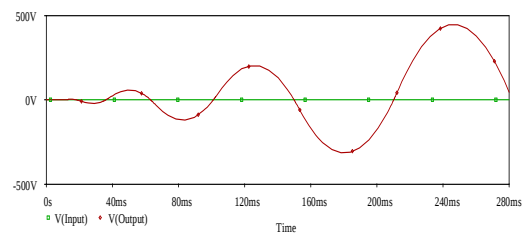


(ข)

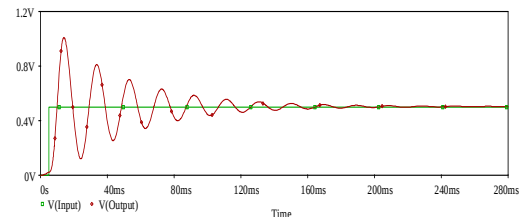
รูปที่ 12 รูปอินพุตและเอาต์พุตของระบบอันดับสาม

TYPE 1 (ก) เมื่อใช้ตัวควบคุม พีไอดี

(ข) เมื่อใช้ตัวควบคุม พีไอดีเอ



(ก)



(ข)

รูปที่ 13 รูปอินพุตและเอาต์พุตของระบบอันดับสาม

TYPE 2 (ก) เมื่อใช้ตัวควบคุม พีไอดี

(ข) เมื่อใช้ตัวควบคุม พีไอดีเอ

จากผลการตอบสนองของตัวควบคุมทั้ง 6
แบบดังที่กล่าวมาแล้วนั้น เมื่อจำแนกค่าต่าง ๆ ที่อธิบาย
ถึงคุณสมบัติการตอบสนองการควบคุม สามารถสรุปได้
ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการตอบสนองของระบบในโดเมนเวลา

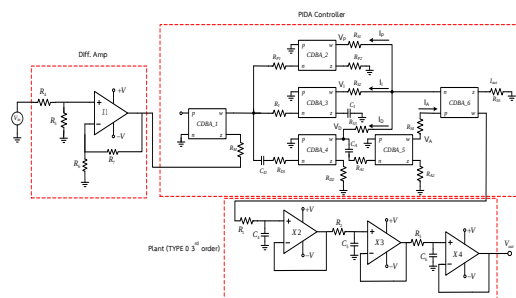
TYPE		0	1	2
ตัวควบคุม PID	t_r (ms)	10	7.5	ระบบไม่ เสถียร
	t_p (ms)	12.8	8.6	
	t_s (ms)	46.5	25.3	
	M_p (%)	38.6	15.6	
ตัวควบคุม PIDA	t_r (ms)	10	7.58	10
	t_p (ms)	12.7	8.6	14.2
	t_s (ms)	40.6	22.8	160
	M_p (%)	34.9	13.3	100

เมื่อพิจารณาการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พีไอดี และ พีไอดีเอ เมื่อมีการต่อใช้งานร่วมกับ พลานต์อันดับสามชนิด TYPE 0 TYPE 1 และ TYPE 2 ตามตารางที่ 1 พบว่า ใน พลานต์อันดับสาม TYPE 0 และ TYPE 1 จะมีการตอบสนองในส่วนค่าพุ่งเกินสูงสุดของตัวควบคุม พีไอดีเอ มีค่าน้อยกว่าค่าพุ่งเกินสูงสุดของตัวควบคุมแบบ พีไอดี

สำหรับการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พีไอดี และ พีไอดีเอ เมื่อใช้งานกับพลานต์อันดับสามชนิด TYPE 2 พบว่า ตัวควบคุมแบบ พีไอดี ไม่สามารถควบคุมได้ ขณะที่ ตัวควบคุมแบบ พีไอดีเอ สามารถควบคุมได้

4.2 การทดสอบพลานต์อันดับสามที่ถูกควบคุมในโดเมนความถี่โดยเปรียบเทียบตัวควบคุม พีไอดี กับตัวควบคุม พีไอดีเอ

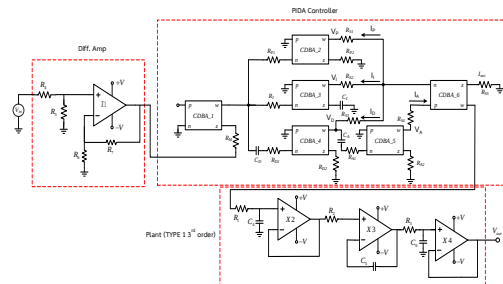
ในการทดสอบนี้จะใช้พลานต์อันดับสามชนิด TYPE 0 TYPE 1 และ TYPE 2 ดังนั้น วงจรรวมของการทดสอบ พลานต์อันดับสามที่ถูกควบคุมในโดเมนความถี่ แสดงในรูป 14-16



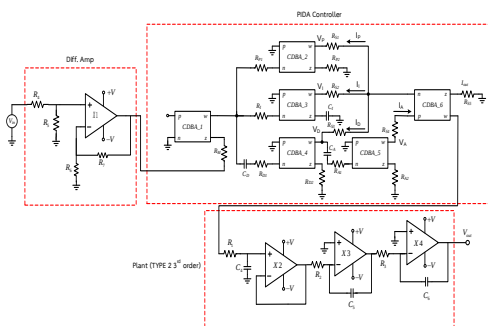
รูปที่ 14 วงจรทดสอบตัวควบคุม พีไอดีเอ กับ พลานต์อันดับสาม TYPE 0

สำหรับวงจรรวมของตัวควบคุมแบบ พีไอดี กับ พลานต์อันดับสาม TYPE 0 TYPE 1 และ TYPE 2 นั้นไม่ได้แสดงในบทความนี้เนื่องจากมีพื้นที่จำกัด แต่ วงจรดังกล่าวมีลักษณะคล้ายกับวงจรรวมของตัวควบคุม พีไอดีเอ เพียงตัดองค์ประกอบเอ ออก สำหรับค่า K_p , K_i , K_D และ K_A ที่ใช้ในส่วนนี้จะจะมีค่าเหมือนกับกรณีของ

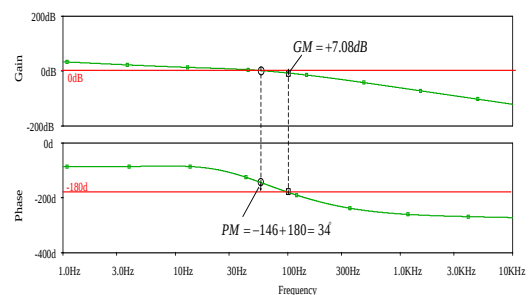
การทดสอบการควบคุมพลานต์อันดับสามในโดเมนเวลา ในการทดสอบนี้อินพุตจะป้อนเป็นสัญญาณไซน์ขนาด 1 V ที่ความถี่ถูกเปลี่ยนแปลงจาก 1Hz -1MHz วัดค่าเอาต์พุตเพื่อหาค่า PM(phase margin)และGM (gain margin) ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 17-22



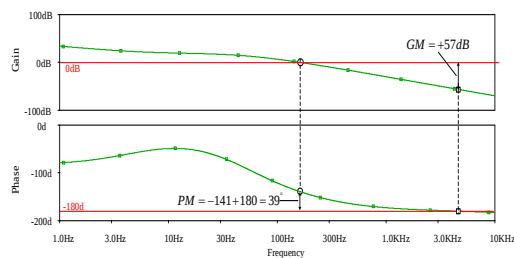
รูปที่ 15 วงจรทดสอบตัวควบคุม พีไอดีเอ กับ พลานต์อันดับสาม TYPE 1



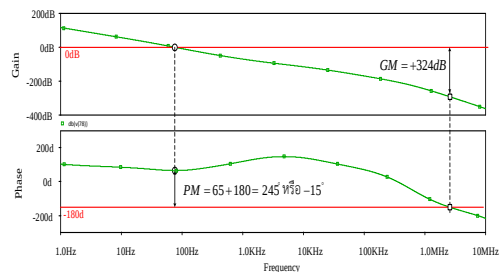
รูปที่ 16 วงจรทดสอบตัวควบคุม พีไอดีเอ กับ พลานต์อันดับสาม TYPE 2



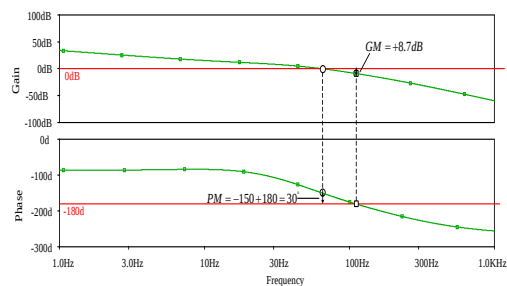
รูปที่ 17 ผลการตอบสนองของระบบอันดับสาม TYPE 0 เมื่อถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม พีไอดี



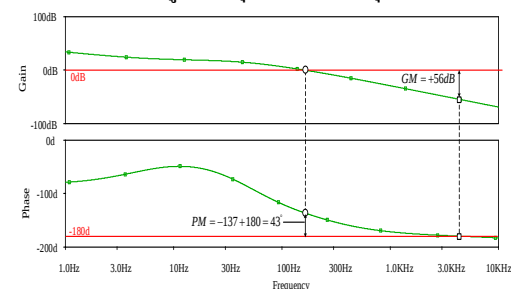
รูปที่ 18 ผลการตอบสนองของระบบอันดับสาม TYPE 1 เมื่อถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม พีไอดี



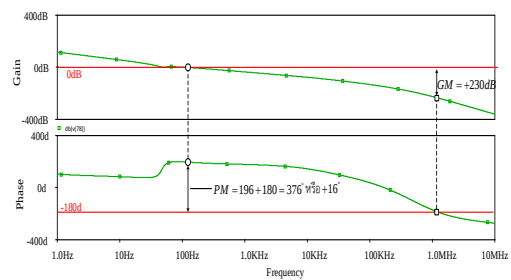
รูปที่ 19 ผลการตอบสนองของระบบอันดับสาม TYPE 2 เมื่อถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม พีไอดี



รูปที่ 20 ผลการตอบสนองของระบบอันดับสาม TYPE 0 เมื่อถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม พีไอดี



รูปที่ 21 ผลการตอบสนองของระบบอันดับสาม TYPE 1 เมื่อถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม พีไอดี



รูปที่ 22 ผลการตอบสนองของระบบอันดับสาม TYPE 2 เมื่อถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม พีไอดี

จากผลการจำลองการทำงานในโดเมนความถี่ พลาตอันดับสามที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม พีไอดี และ ตัวควบคุม พีไอดีเอ ทั้ง 6 พบว่า ตัวควบคุม พีไอดีเอ สามารถควบคุม พลาตอันดับสาม ชนิด TYPE 0, TYPE 1 และ TYPE 2 ได้ทั้งหมด เนื่องจากค่าของ Gain margin (GM) และ Phase margin (PM) มีค่าเป็นบวกทั้งคู่ ส่วนตัวควบคุมพีไอดี สามารถควบคุมพลาตอันดับสาม ชนิด TYPE 0 และ TYPE 1 แต่ไม่สามารถควบคุมพลาตเป็นแบบ TYPE 2 เนื่องจาก PM มีค่าเป็นลบ โดยสามารถสรุปผลการทดสอบด้านวิเคราะห์ เสถียรภาพของระบบ ได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการตอบสนองของระบบในโดเมนความถี่

ตัวควบคุม	TYPE	Phase margin (PM)	Gain margin (GM)	เสถียรภาพของระบบ
พีไอดี	0	34°	7dB	เสถียร
	1	39°	57dB	เสถียร
	2	-15°	324dB	ไม่เสถียร
พีไอดีเอ	0	30°	8.7dB	เสถียร
	1	43°	56dB	เสถียร
	2	16°	230dB	เสถียร

5. สรุป

การออกแบบตัวควบคุม พีไอดีเอ โดยใช้วงจรขยายบัฟเฟอร์ของผลต่างกระแส และการประยุกต์ใช้กับ พลาตันอันดับสาม ผลการจำลองการทำงานสอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางทฤษฎี คือ อัตราขยายของตัวควบคุม (K_p , K_i , K_d และ K_A) สามารถปรับได้อย่างอิสระต่อกัน ในการประยุกต์ใช้งาน ได้นำตัวควบคุม พีไอดีเอ และ พีไอดี ที่ออกแบบนำมาทดสอบกับพลาตันอันดับสามชนิด TYPE 0 TYPE 1 และ TYPE 2 โดยมีการทดสอบทั้งโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ ผลการทดสอบพบว่าตัวควบคุม พีไอดีเอ สามารถควบคุมพลาตันอันดับสาม TYPE 2 ได้ ซึ่งแตกต่างกับตัวควบคุม พีไอดี ที่ไม่สามารถควบคุมพลาตันอันดับสาม TYPE 2

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. J. Astrom, and T. Haggglund, PID Controllers: Theory Design and Tuning, North Carolina: Instrument Society of America, 1995.
- [2] S. Jung and R. C. Dorf, "Analytic PIDA controller design technique for a third order system," in Proc. International Conference on Decision and Control, 1996, pp. 2513-2518.
- [3] C. Erdal, "A new current-feedback-amplifiers (CFAs) based proportional-integral-derivative (PID) Controller realization and calculating optimum parameter tolerances," Pakistan Journal of Applied Sciences, vol. 2, no. 1, pp. 56-59, 2002.
- [4] C. Erdal, H. Kuntman, and S. Kafali, "A current controller conveyor based proportion-integral-Derivative (PID) controller," Istanbul university eng. Journal of electrical & electronics, vol. 4, no. 2, pp. 1243-1248, 2004.
- [5] K. Chueapun and I. Chaisayun, "A CFOA based PIDA controller circuit, " in proc. The 19th National Graduate Research Conference, Chiangrai, 24-25 October 2556, pp. ST246-ST252. (in Thai)
- [6] S. Buakaew, W. Narksarp, C. Wongtaychatham, and W. Sangpisit, "PIDA Controller Realized on Commercial IC Current Feedback Operational Amplifiers," in Proc. International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, IMECS 2017, Hong Kong, 2017.
- [7] A. tongpaer and I. Chaisayun, "Design of PIDA controller using OTAs, " in proc. The 19th National Graduate Research Conference, Chiangrai, 24-25 October 2556, pp. ST496-ST502. (in Thai)
- [8] I. Chaisayun, "A flexible PIDA controller circuit," in proc. The 38 Electrical Engineering Conference, 18-20 November 2558, pp. 675-678. (in Thai)
- [9] R. Kanahna and I. Chaisayun, "A Versatile PIDA Controller Employing CDBAs," in proc. The 8th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2016), Phuket, 25-27 May 2559 pp. 257-260. (in Thai)
- [10] I. Chaisayun and S. Piangprantong, "A mixed-mode PIDA controller employing OTAs," in Proc. International Conference on Technical Education (ICTECH2015), Thailand, 26 November, 2015, pp. 59-64.
- [11] P. Prommee, K. Angkeaw, "High performance electronically tunable log-domain current-mode PID controller," Microelectronics Journal, Vol. 72, pp. 126-137, Feb. 2018.