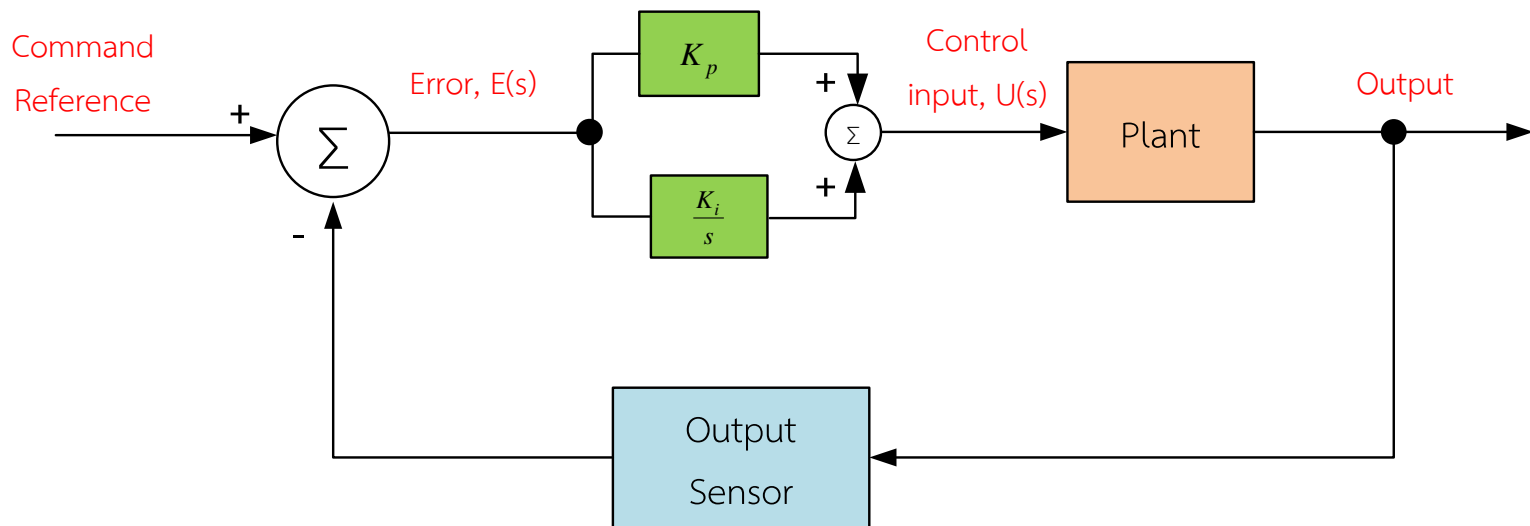
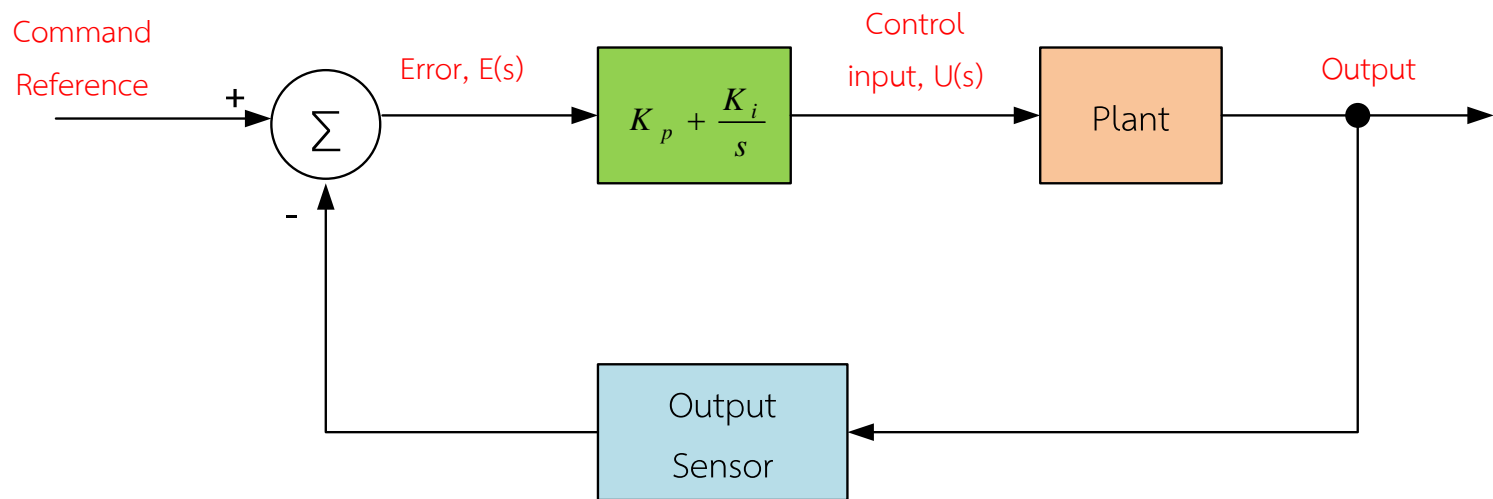
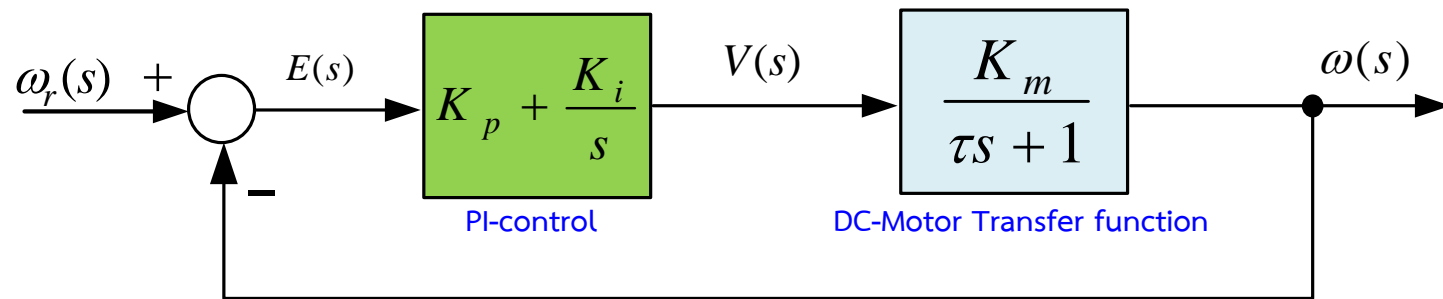


# การควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกอินทิกรัล (PI-control)



## การควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกอินทิกรัลกับระบบอันดับ 1

ดังนั้นหากใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกอินทิกรัล มาควบคุมความเร็วการหมุนของมอเตอร์ สามารถเขียนแผนภาพบล็อกระบบควบคุมแบบสัดส่วนได้



จากรูปสามารถวิเคราะห์หาฟังก์ชันถ่ายโอนของการควบคุมความเร็วการหมุนของ DC-Motor ได้

$$\frac{\omega(s)}{\omega_r(s)} = \frac{\left( \frac{K_p s + K_i}{s} \right) \left( \frac{K_m}{\tau s + 1} \right)}{1 + \left( \frac{K_p s + K_i}{s} \right) \left( \frac{K_m}{\tau s + 1} \right)} = \frac{K_m (K_p s + K_i)}{\tau s^2 + (1 + K_p K_m) s + K_i K_m}$$

$$\frac{\omega(s)}{\omega_r(s)} = \frac{K_m(K_p s + K_i)}{\tau s^2 + (1 + K_p K_m)s + K_i K_m}$$

สามารถวิเคราะห์ผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่ต้องการได้ โดยกำหนดให้สัญญาณอ้างอิงเป็นฟังก์ชันหนึ่งหน่วย หรือ  $\omega_r(s) = \frac{1}{s}$  จะได้

$$\omega(s) = \frac{K_m(K_p s + K_i)}{\tau s^2 + (1 + K_p K_m)s + K_i K_m} \omega_r(s)$$

$$\omega(s) = \frac{K_m(K_p s + K_i)}{\tau s^2 + (1 + K_p K_m)s + K_i K_m} \frac{1}{s}$$

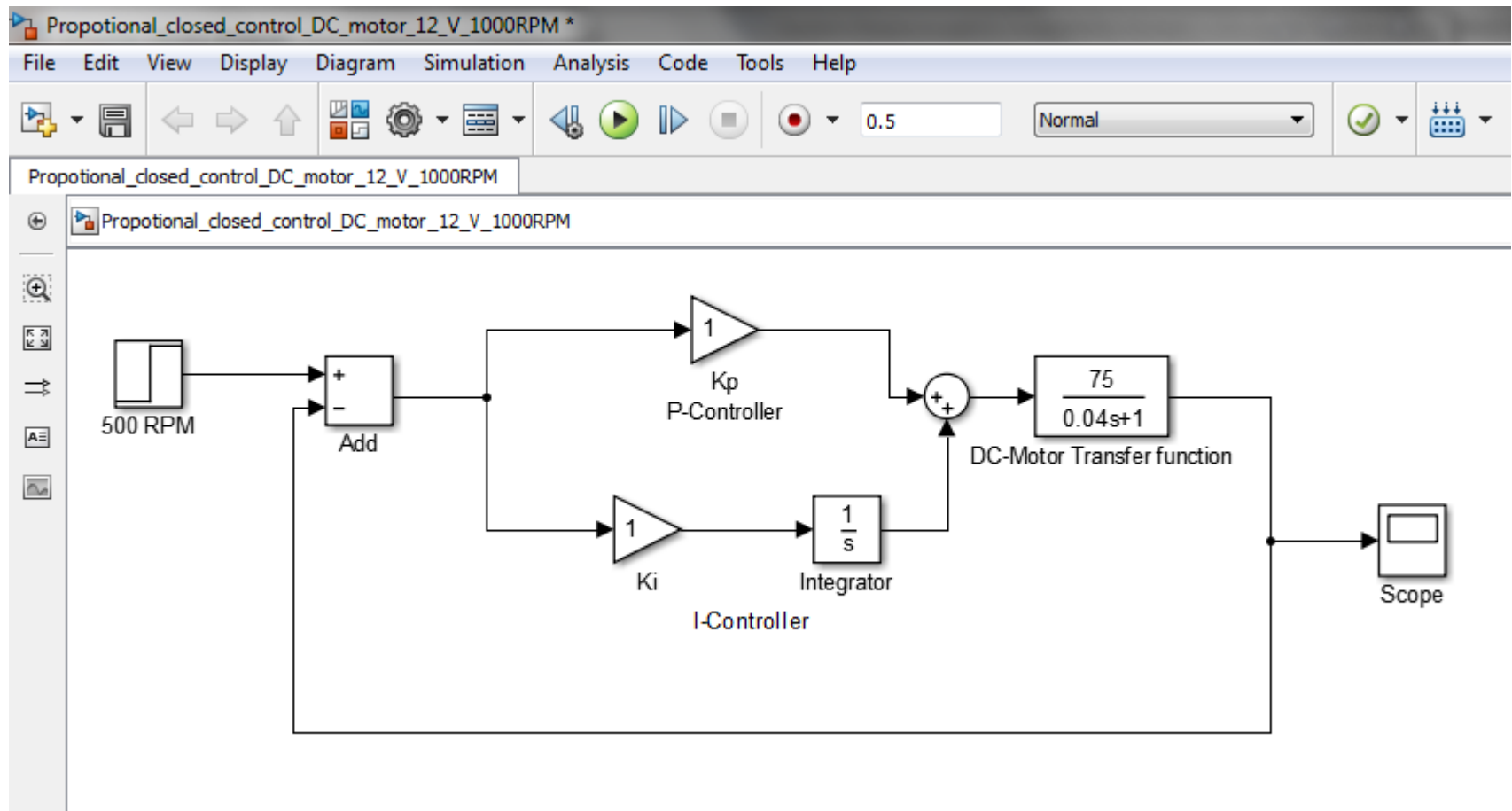
พิจารณาความเร็วในสถานะอยู่ตัวคือ

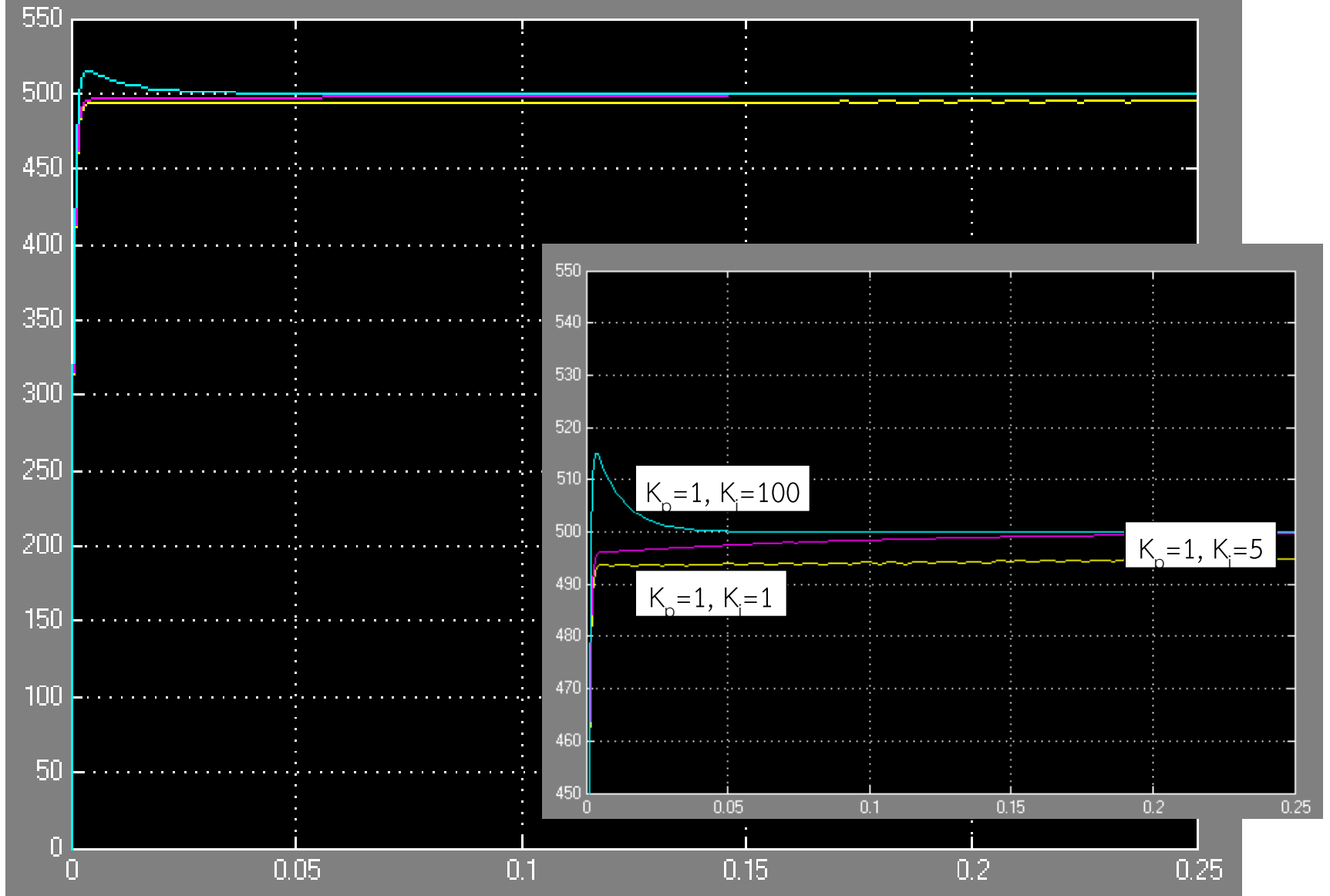
$$\omega_{ss}(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \left( \frac{K_m(K_p s + K_i)}{\tau s^2 + (1 + K_p K_m)s + K_i K_m} \right) \frac{1}{s}$$

$$\omega_{ss}(s) = \frac{K_i K_m}{K_i K_m} = 1$$

สังเกตว่าค่าความเร็วในการหมุนของ DC-Motor ในสถานะอยู่ตัว จะมีค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากตัวอินทิกรัลเป็นตัวเพิ่มอันดับการควบคุม

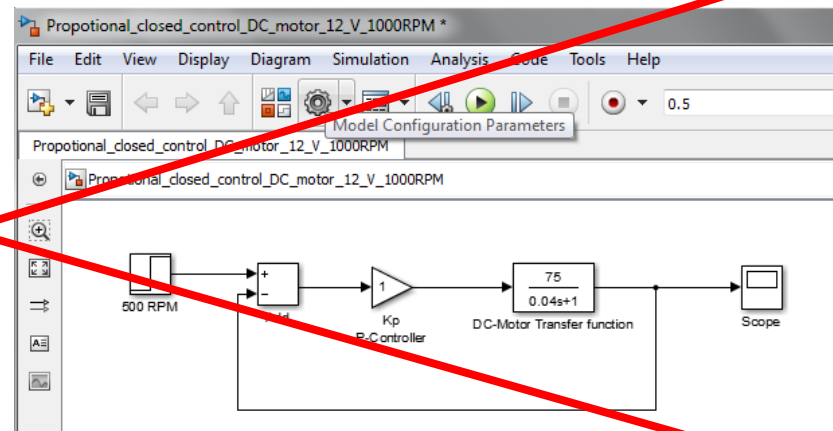
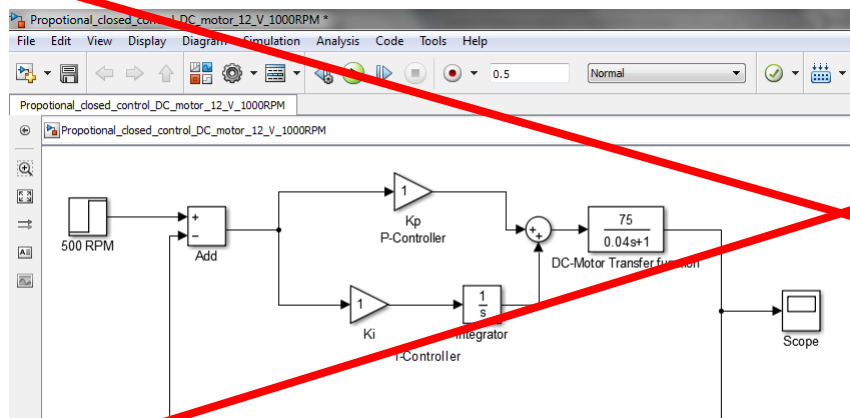
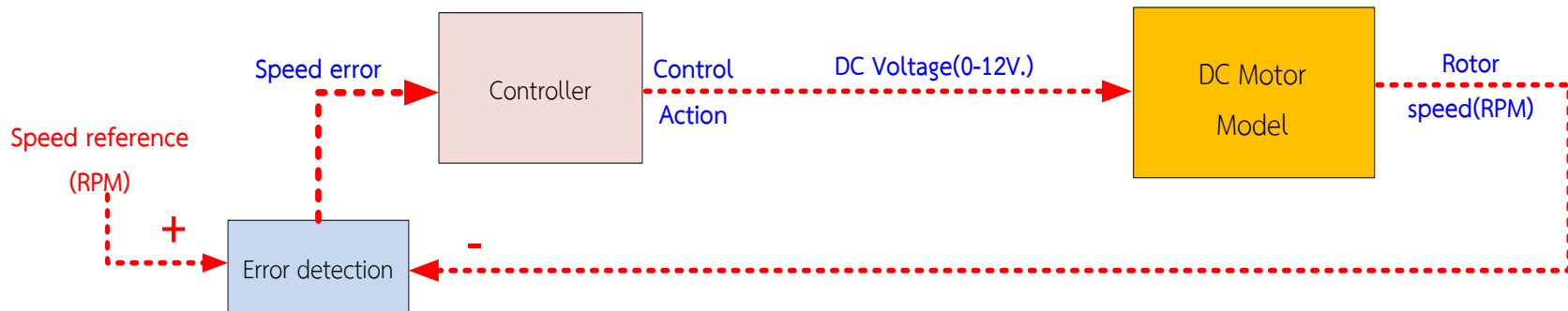
## การจำลองการทำงานการควบคุมความเร็ว DC-Motor ที่ใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกอินทิกรัล





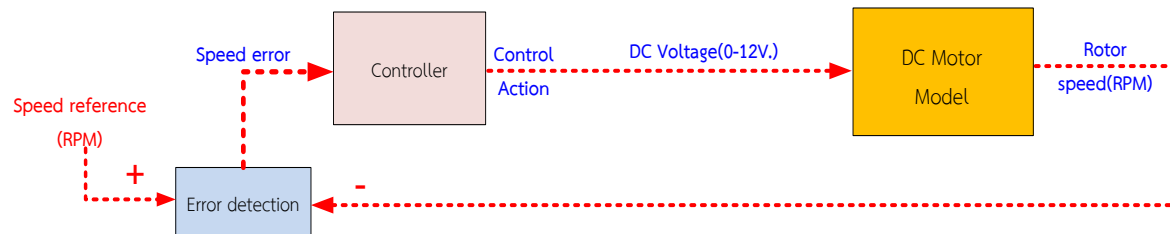
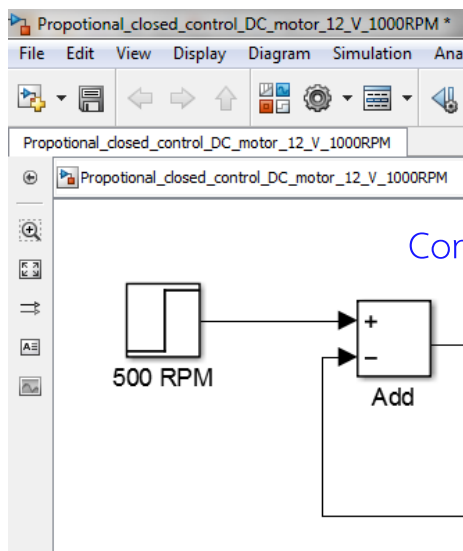
ผลการจำลองการทำงานการควบคุมความเร็ว DC-Motor ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PI ที่กำหนดให้ค่า  $K_p, K_i$  ที่แตกต่างกัน

# การสร้างแบบจำลองระบบควบคุมความเร็วของ DC Motor เพื่อใช้งานจริง

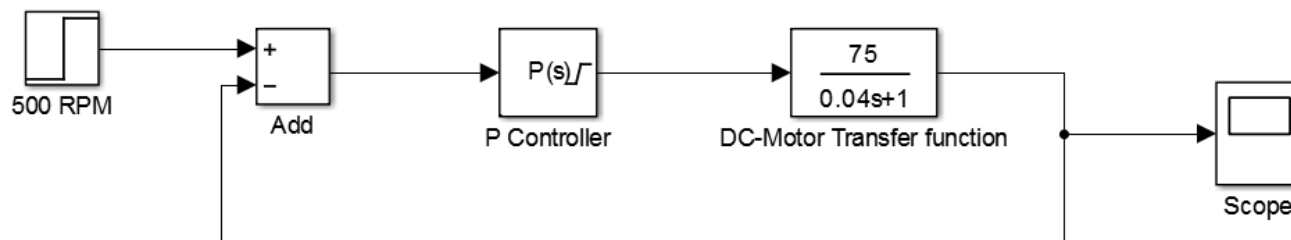


ไม่สามารถใช้งานได้จริง

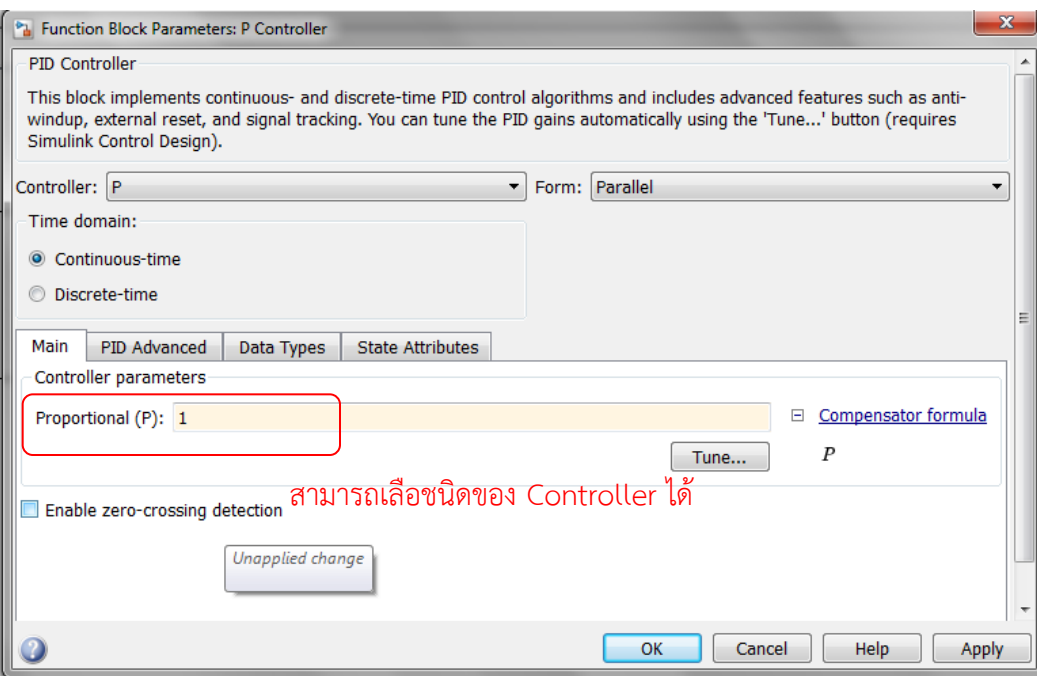
เนื่องจากสัญญาณควบคุม Control action ไม่อยู่ในช่วงของการใช้งานจริง กล่าวคือ DC-Motor Model ที่นำมาใช้สามารถรองรับแรงดันไฟฟ้าเลี้ยงได้ไม่เกิน 12 V. แต่ในตัวอย่างที่ยกมาสัญญาณควบคุมสามารถปรับได้โดยไม่มีขอบเขต



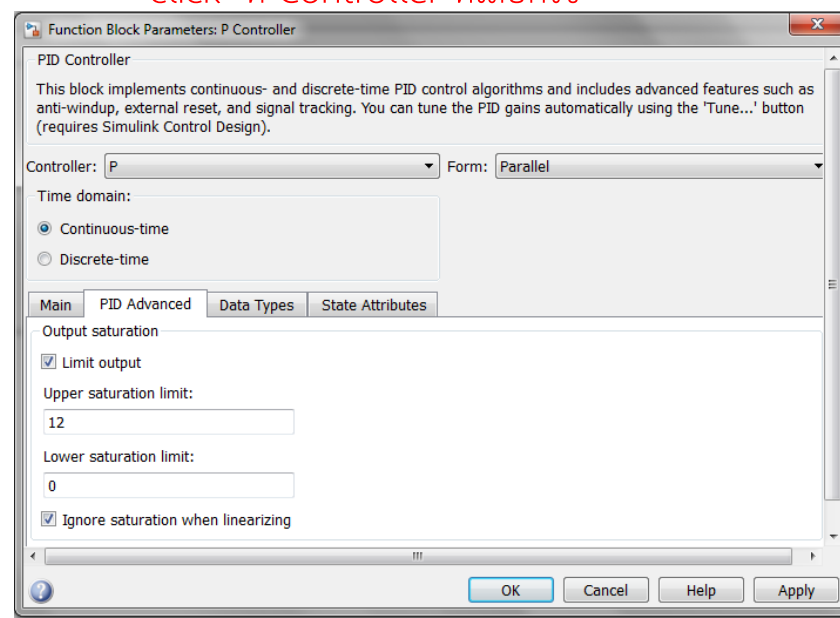
Controller สามารถเลือกได้จาก Simulink Library → continuous → PID controller

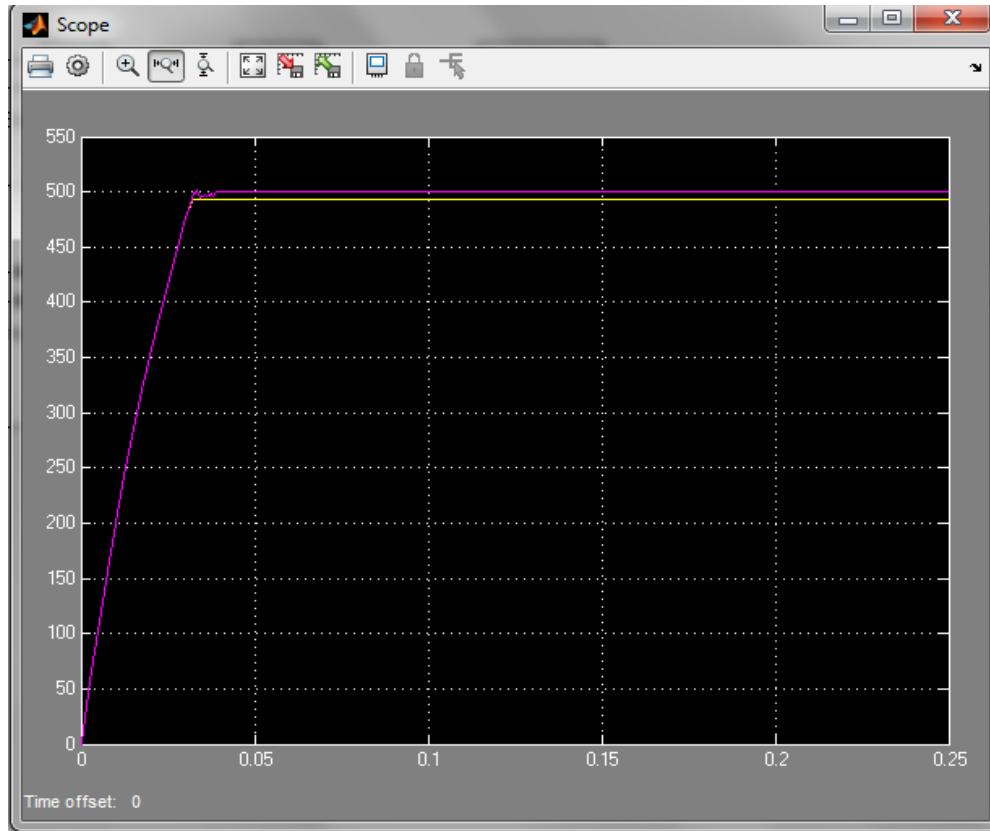
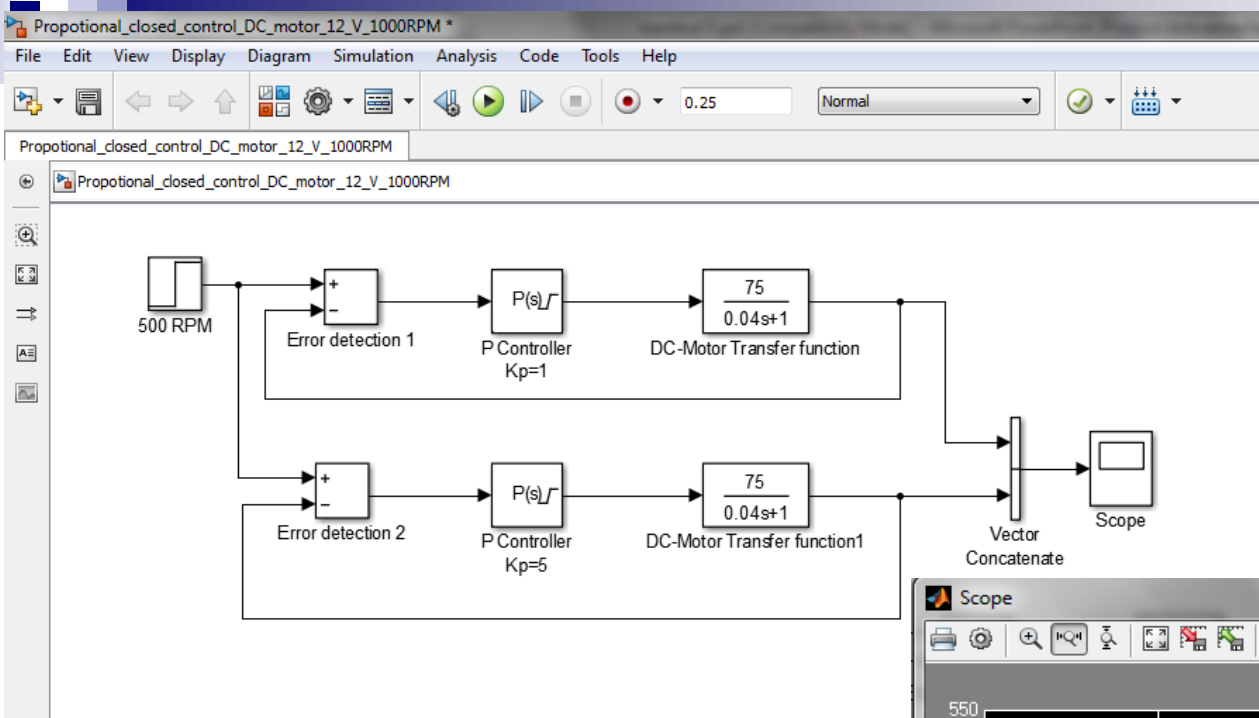


การกำหนดค่า  $K_p$  และช่วงของสัญญาณเอาพุตทำได้โดย double click ที่ Controller ที่เลือกใช้



สามารถเลือกชนิดของ Controller ได้



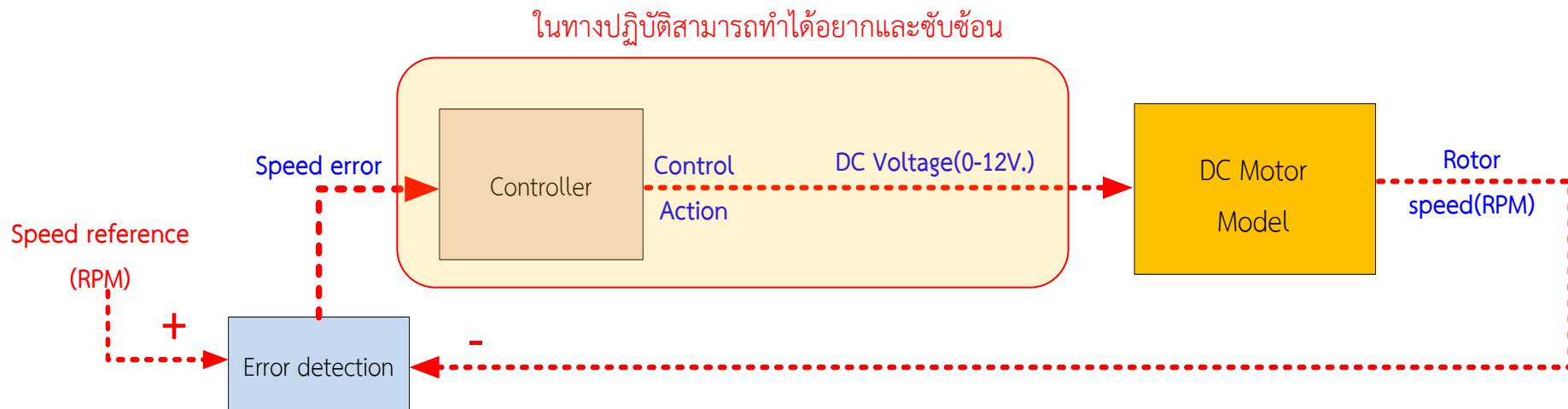


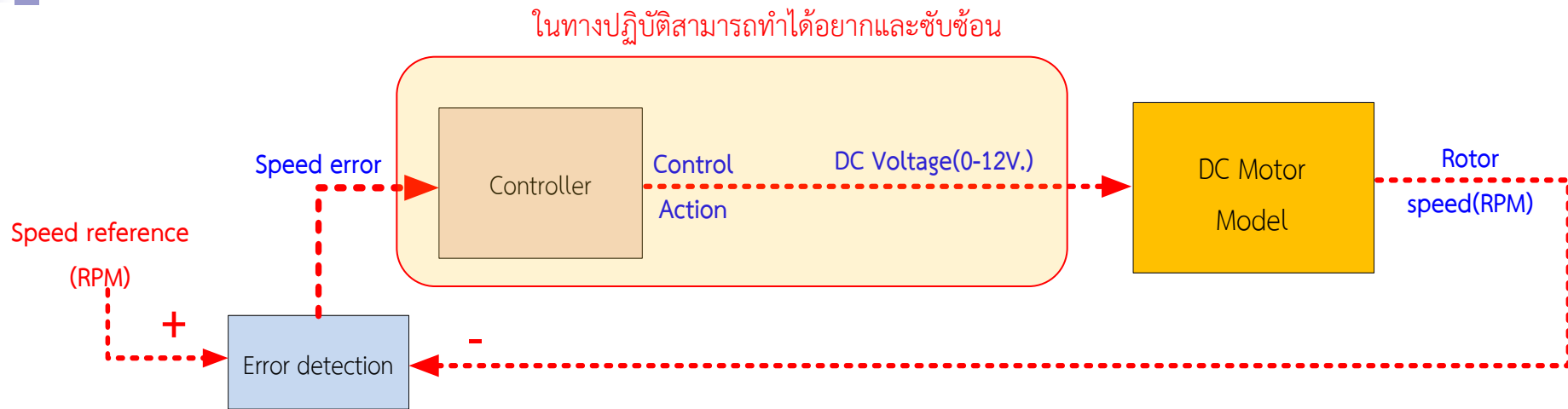
จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองของความเร็รรอบ DC-Motor  
มีผลตอบสนองที่ช้ากว่าแบบไม่จำกัดช่วงของสัญญาณควบคุม



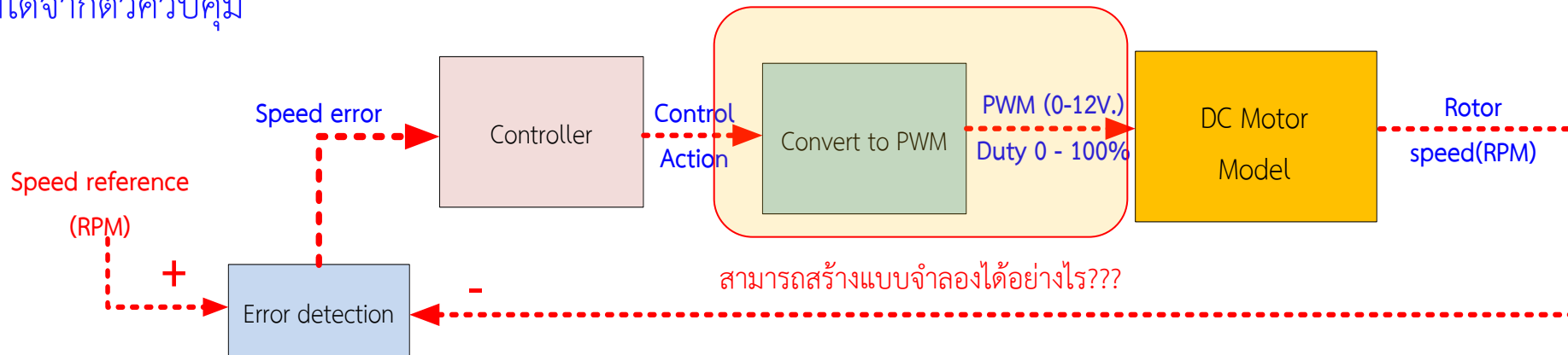
## การสร้างแบบจำลองระบบควบคุมความเร็วของ DC Motor เพื่อใช้งานจริง (ต่อ)

จากแบบจำลองระบบควบคุมความเร็วรอบของ DC-Motor ที่นำเสนอก่อนหน้านี้ หากพิจารณาสัญญาณของตัวควบคุมที่ต้องปรับค่าสัญญาณแรงดันให้อยู่ในช่วง 0 – 12 V. แล้ว ในทางปฏิบัติสามารถทำได้ยากมากเนื่องจากการปรับระดับของแรงดันสามารถทำได้ยากอีก ทั้งหากอุปกรณ์นำมาต่อใช้งานมีการใช้พลังงานที่สูงจะทำให้การใช้งานในทางปฏิบัติเกิดความยุ่งยากและซับซ้อนมาก

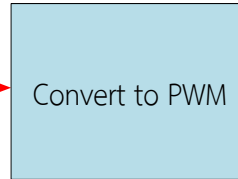




การแก้ไข้ปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้วในทางปฏิบัติจะใช้การควบคุมความเร็วของ DC-Motor โดยใช้สัญญาณ PWM ในการควบคุมในการควบคุมความเร็วจะปรับค่า Duty ของสัญญาณควบคุม โดยในที่นี้จากผลของการหา Model DC-Motor ที่ได้กล่าวมาแล้วได้หาจากการป้อนแรงดันไฟเลี้ยงที่ 12 V. ดังนั้นในที่นี้จะกำหนดให้แรงดันไฟเลี้ยงของสัญญาณ PWM เท่ากับ 12 V. โดยค่าของ Duty จะต้องเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่ได้จากตัวควบคุม

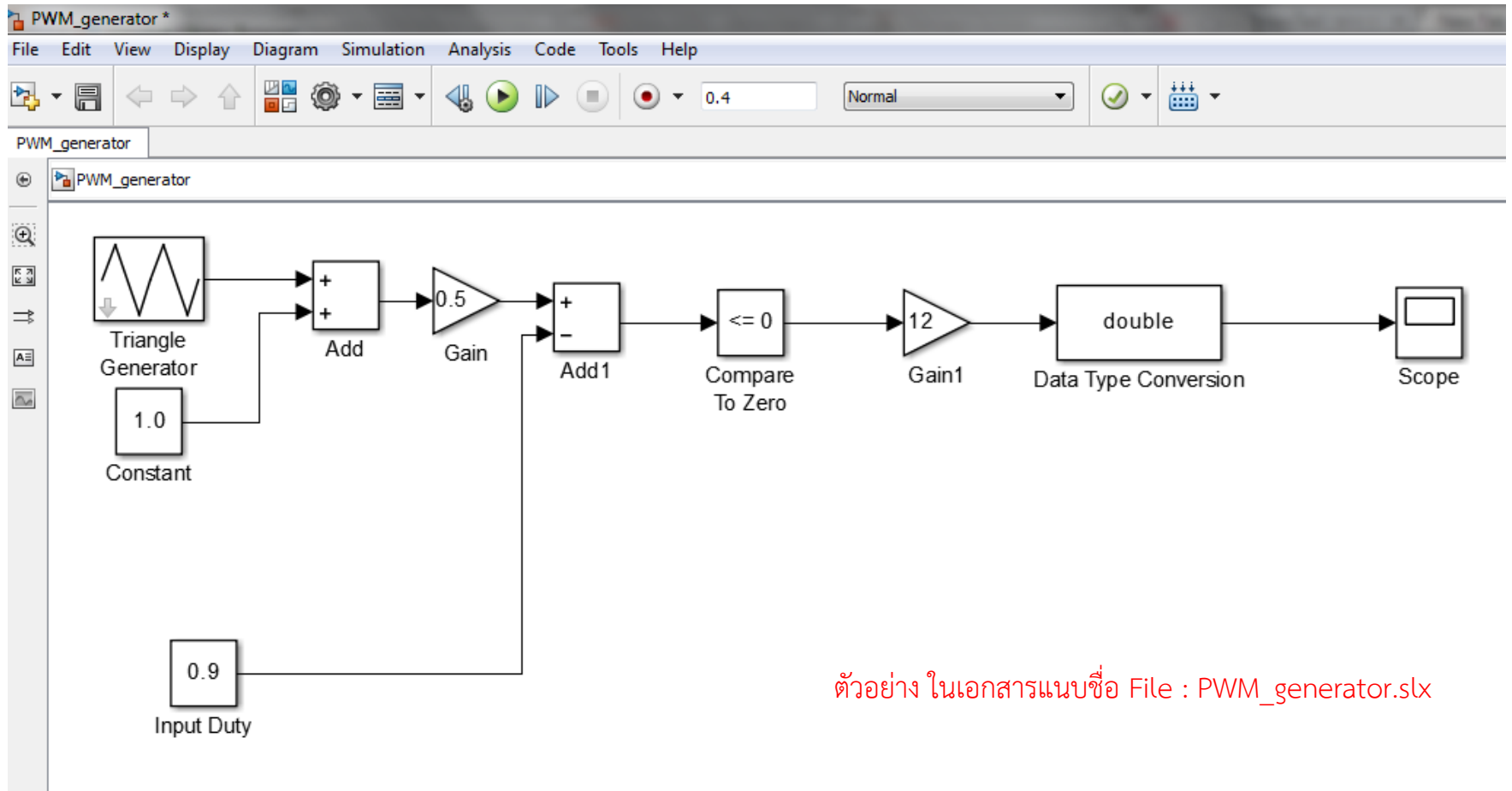


Control Action range 0 - 1



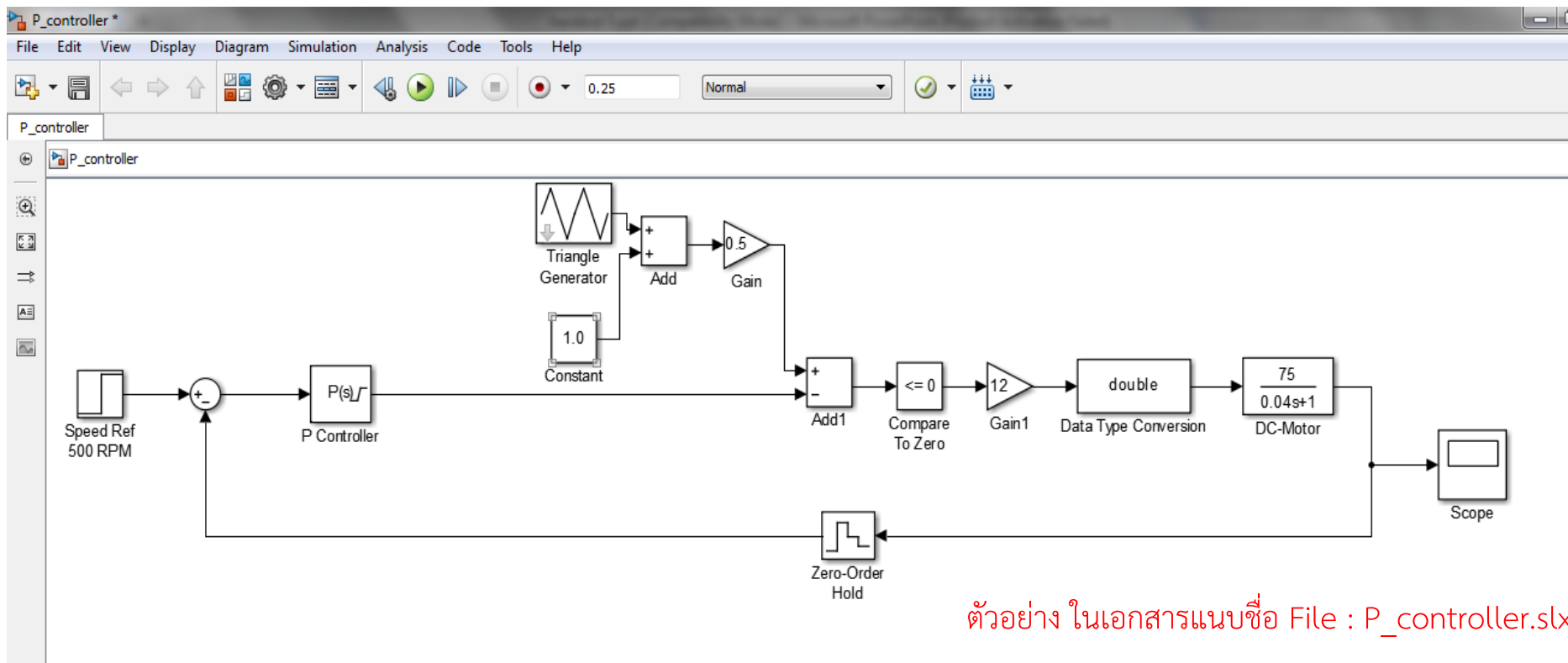
PWM (0-12V.) f = 1kHz

Duty 0 - 100%



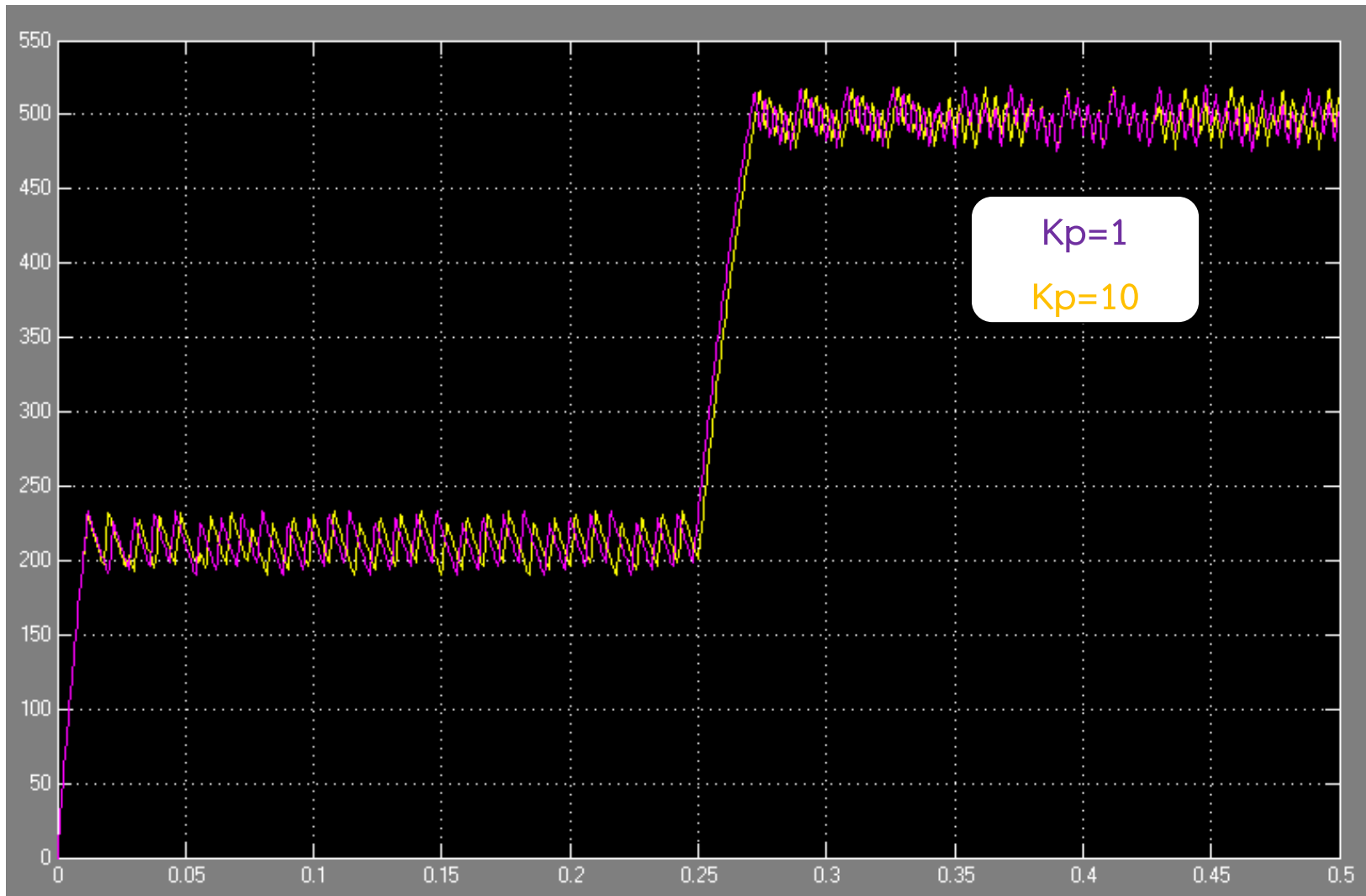
ตัวอย่าง ในเอกสารแนบชื่อ File : PWM\_generator.slx

## การสร้างแบบจำลองระบบควบคุมความเร็วของ DC Motor เพื่อใช้งานจริง (ต่อ)



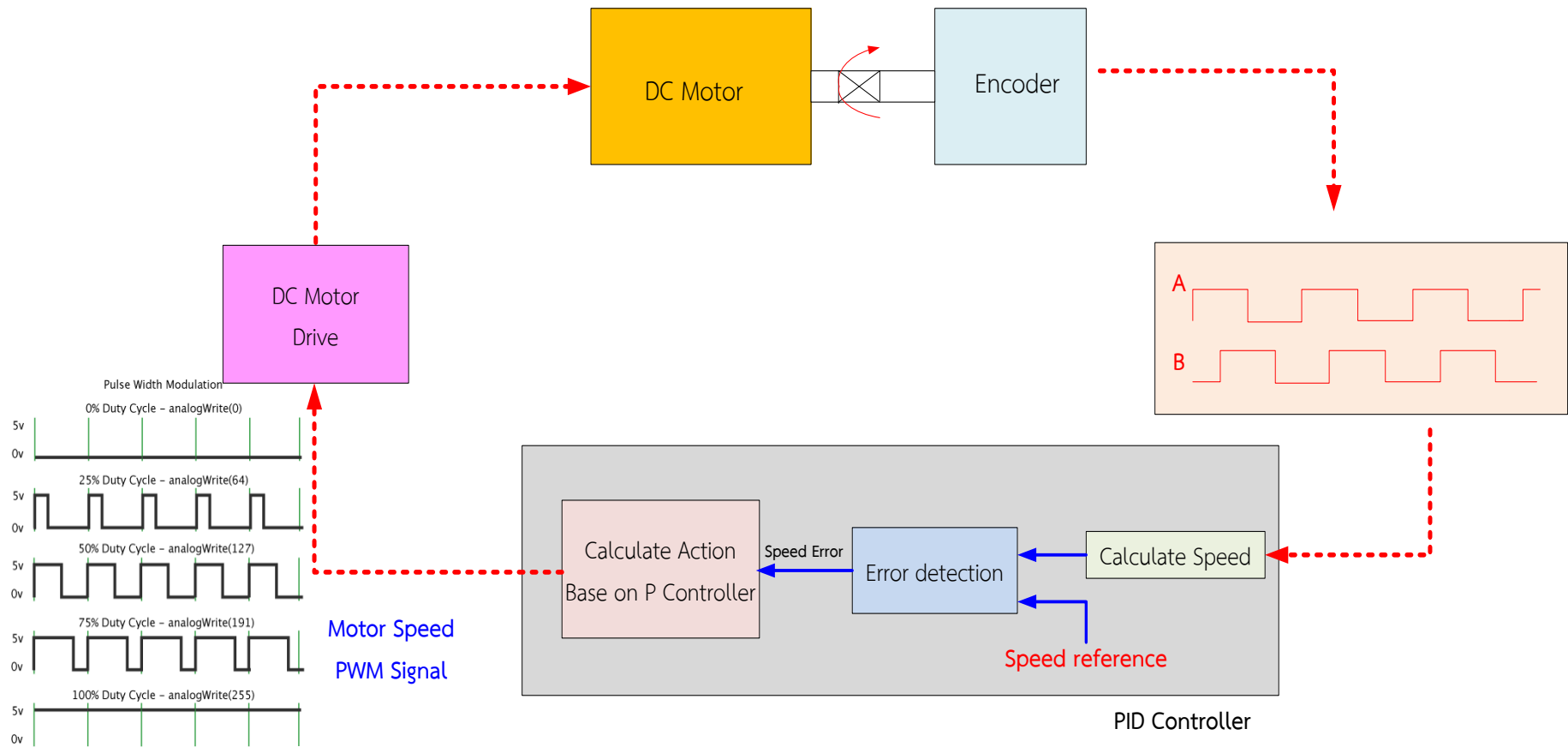
ตัวอย่าง ในเอกสารแนบชื่อ File : P\_controller.slx

ในการสร้างแบบจำลองระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์สามารถสร้างได้ดังรูป โดยกำหนดให้เอาต์พุตของ P-Control มีช่วงของสัญญาณอยู่ในช่วง 0 – 1 เพื่อป้อนให้กับตัวแปลงสัญญาณ PWM เพื่อนำผลที่ได้จากตัวควบคุมป้อนเป็นแรงดันเพื่อควบคุม DC-Motor เพื่อให้ได้ความเร็วตามที่ต้องการ ส่วน Zero-Order Hold คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กำหนดจังหวะในการ update ข้อมูลความเร็วของ DC-Motor

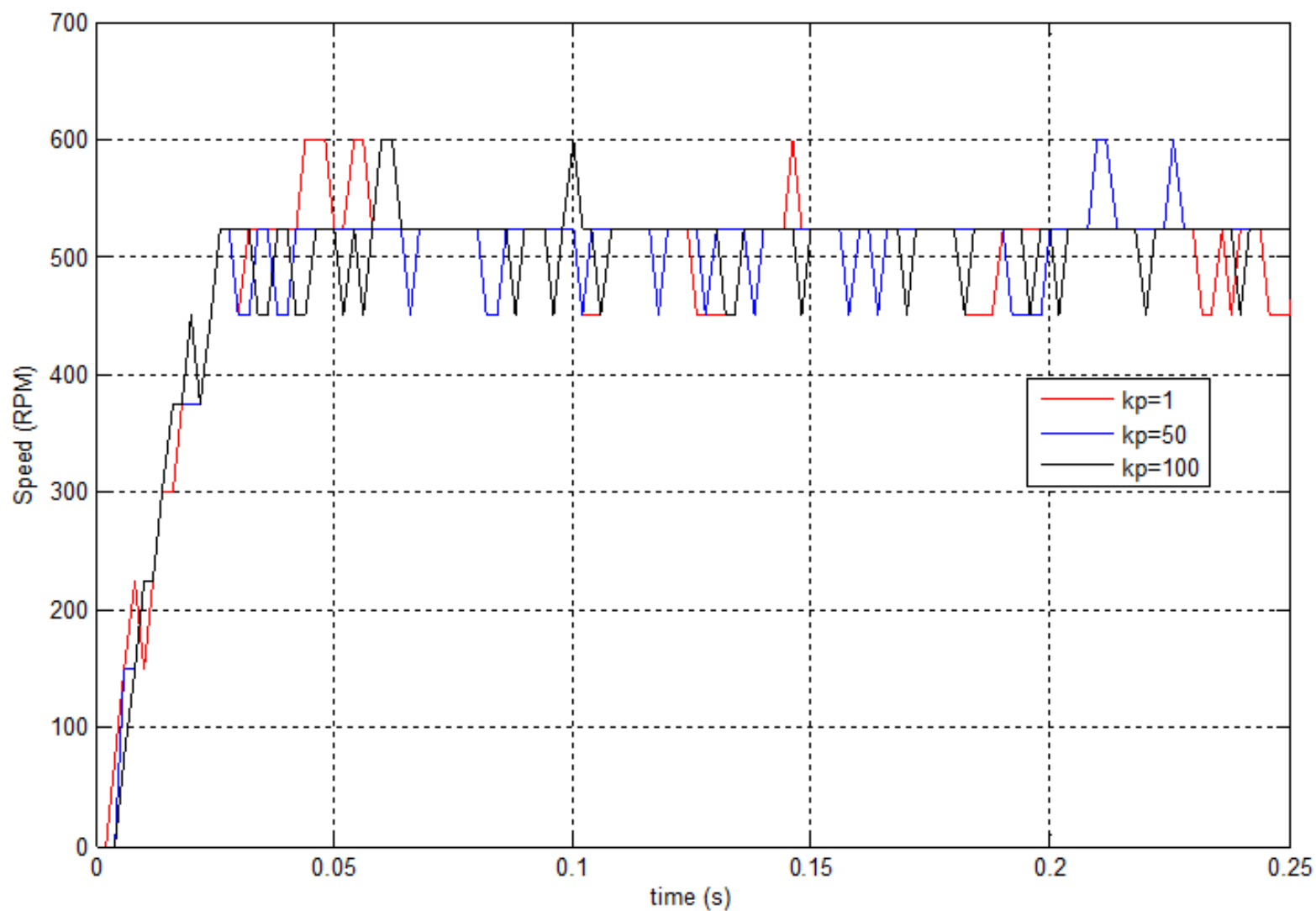


ผลการจำลองการทำงานการควบคุมความเร็ว DC-Motor ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ P ที่กำหนดให้ค่า  $K_p$  ที่แตกต่างกัน

# ภาพรวมของระบบควบคุมความเร็วของ DC Motor ในการประยุกต์ใช้งานจริง



ตัวอย่าง การสังเคราะห์ตัวควบคุมแบบ P ดังเอกสารแนบชื่อ File : P\_Control.ino



ผลทดลองจริงการควบคุมความเร็ว DC-Motor ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ P ที่กำหนดให้ค่า  $K_p$  ที่แตกต่างกัน

## งานที่มอบหมาย

ให้นักศึกษาออกแบบระบบควบคุมแบบ PI เพื่อควบคุมความเร็ว DC-Motor โดยให้นักศึกษาจัดทำเป็นรายงานกลุ่มละ 2 คน โดยควรมีรายละเอียดต่อไปนี้

- การหา Model ของ DC-Motor
- ผลการจำลองการทำงานของระบบที่ได้ออกแบบโดยให้นักศึกษาปรับเปลี่ยนค่า  $K_p$ ,  $K_i$  ที่แตกต่างกัน
- ผลทดลองจริงกับ DC-Motor โดยให้นักศึกษาปรับเปลี่ยนค่า  $K_p$ ,  $K_i$  ที่แตกต่างกัน พร้อมเปรียบเทียบผลกับผลการจำลองการทำงาน
- ผลทดลองจริงกับ DC-Motor โดยให้นักศึกษาปรับเปลี่ยนค่า  $K_p$ ,  $K_i$  ที่แตกต่างกัน พร้อมเปรียบเทียบผลกับผลการจำลองการทำงาน
- ให้นักศึกษาปรับแต่งค่า  $K_p$ ,  $K_i$  ที่ดีที่สุดสำหรับการใส่สัญญาณรบกวนที่แกนมอเตอร์(ใส่ตำแหน่งแฉีกที่แกนมอเตอร์)