บทที่ 6

การสร้างตัวควบคุมและการทดสอบ

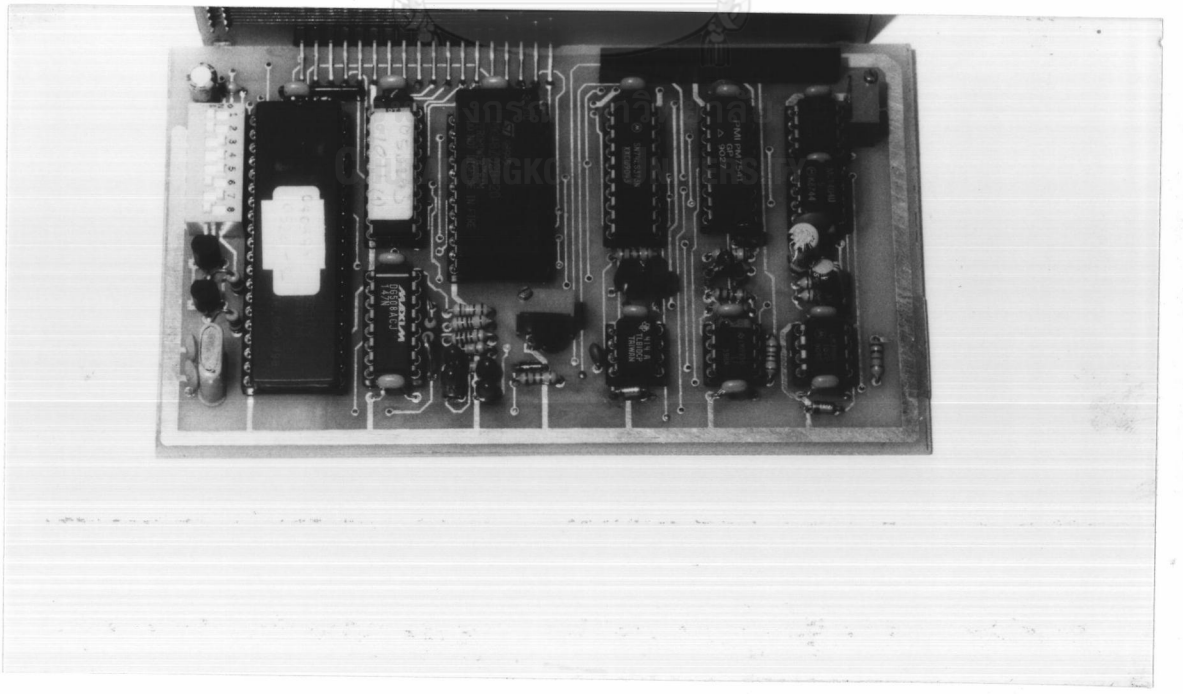
6.1 การสร้างตัวควบคุม

6.1.1 การพัฒนาฮาร์ดแวร์ของตัวควบคุม

ฮาร์ดแวร์ของตัวควบคุม PID เชิงเลข ผู้วิจัยได้แบ่งวงจรออกเป็นส่วนต่างๆ ที่อยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์ 3 แผ่น โดยรายละเอียดของแต่ละแผ่นเป็นดังนี้

6.1.1.1 แผ่นวงจรหลัก (Main board)

ประกอบด้วยวงจรที่เกี่ยวกับการควบคุมการทำงานของระบบการประมวลผลสัญญาณในลักษณะสัญญาณเชิงเลข และวงจรถอดรหัส (Decoder) ฮาร์ดแวร์ภายนอก ดังแสดง ในรูป 6.1

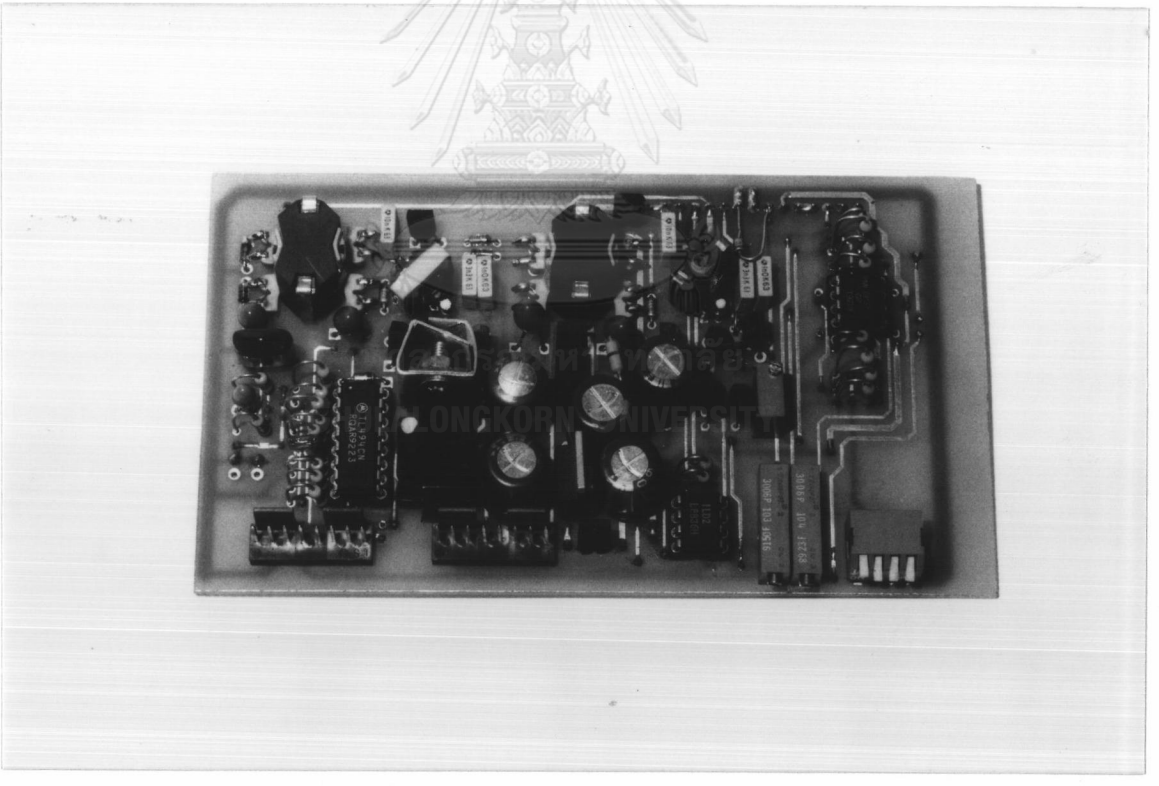


รูปที่ 6.1 แสดงแผ่นวงจรหลัก

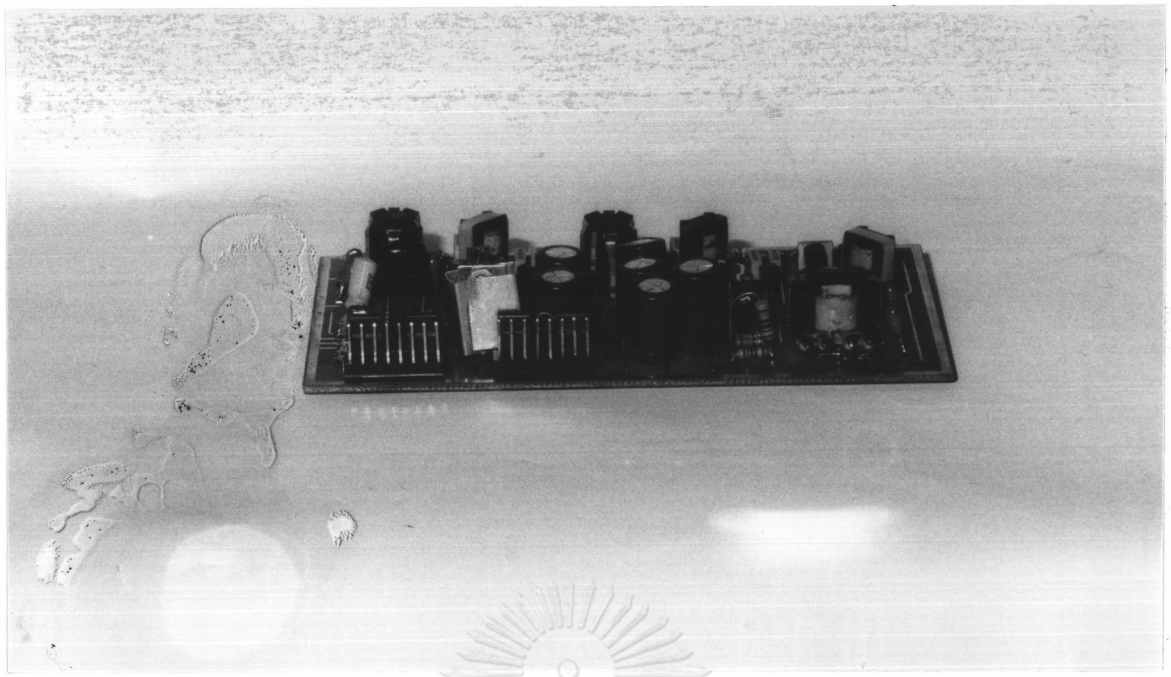
สำหรับวงจรถอดรหัสฮาร์ดแวร์ ผู้วิจัยเลือกใช้ไอซีชนิดโปรแกรมได้ ประเภท GAL (Generic Array Logic) [22] โดยโปรแกรมของไอซีดังกล่าวได้รับการพัฒนาด้วยซอฟต์แวร์ PALASM2 [23] ซึ่งได้แสดงไว้ภาคผนวกท้ายวิทยานิพนธ์

6.1.1.2 แผ่นวงจรรอง (Sub-main board)

ประกอบด้วยวงจรที่เกี่ยวกับการรับและส่งสัญญาณ สำหรับแผ่นวงจรรองนี้จะมี ลักษณะที่แตกต่างกัน ในกรณีที่สัญญาณอินพุตคนละแบบ ลักษณะของแผ่นวงจรรองทั้งสองแสดง ได้ดังรูป 6.2

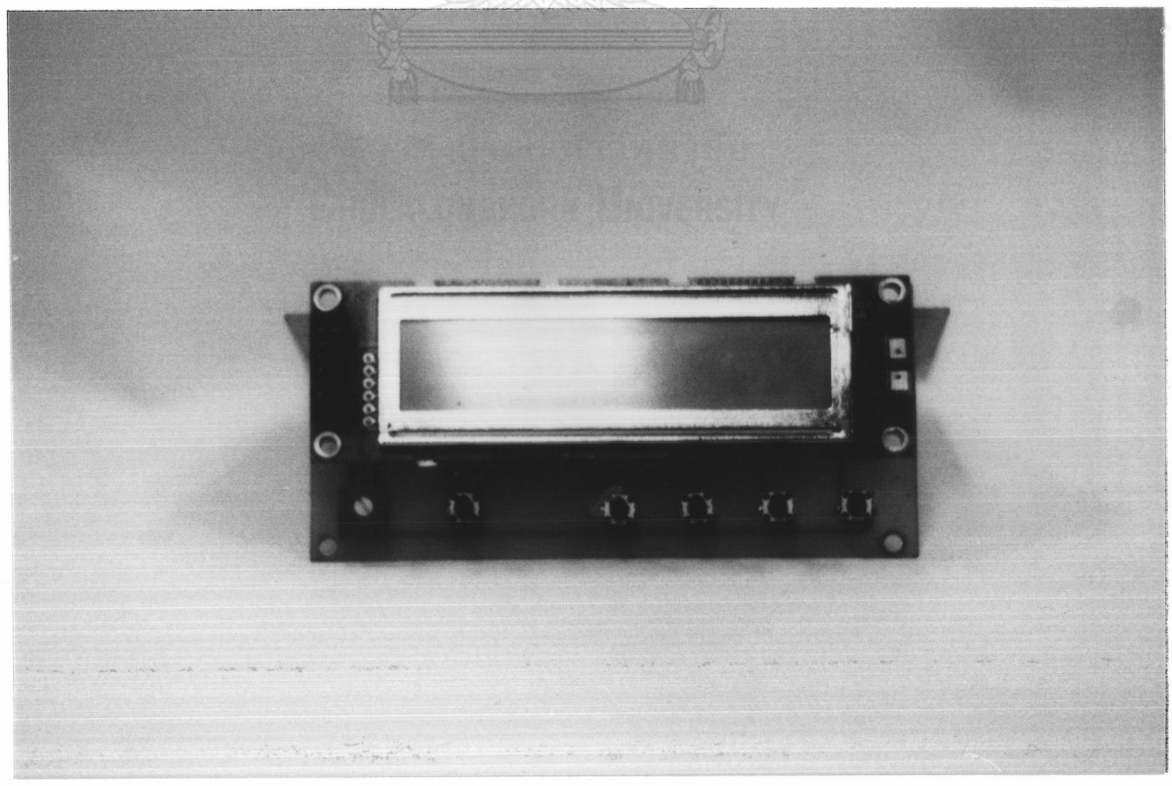


รูป 6.2 ก) แสดงรูปของแผ่นวงจรรองเมื่ออินพุตเป็นเทอร์โมคัปเปิล



รูป 6.2 ข) แสดงรูปของแผ่นวงจรรองเมื่ออินพุตเป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน

6.1.1.3 แผ่นวงจรของแผงหน้าปัด (Control panel board)
ประกอบด้วยส่วนแสดงผลและส่วนรับข้อมูล ดังรูปที่ 6.3



รูป 6.3 แสดงรูปของส่วนแสดงผลและส่วนรับข้อมูล

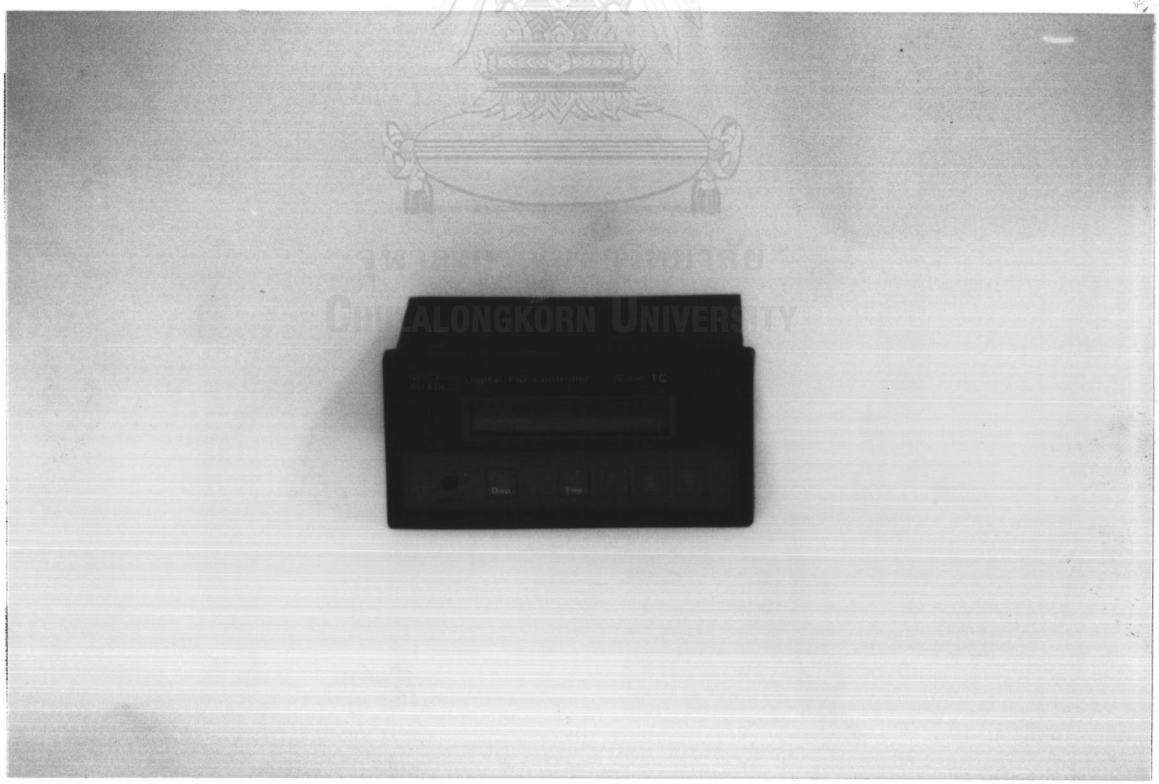
6.1.2 การพัฒนาซอฟต์แวร์ของตัวควบคุม

ผู้วิจัยเลือกใช้การพัฒนาโปรแกรมทั้งหมดของตัวควบคุม PID เชิงเลข ขนาดกระทัดรัด ด้วยภาษาชั้นสูง ได้แก่ ภาษา C สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 [24] โปรแกรมดังกล่าวในขั้นการทดลองจะใช้ ICE (In-Circuit Emulator) [25] แทนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวจริง เมื่อได้โปรแกรมตามที่ต้องการจะนำไปโปรแกรมลงในหน่วยความจำ ROM ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

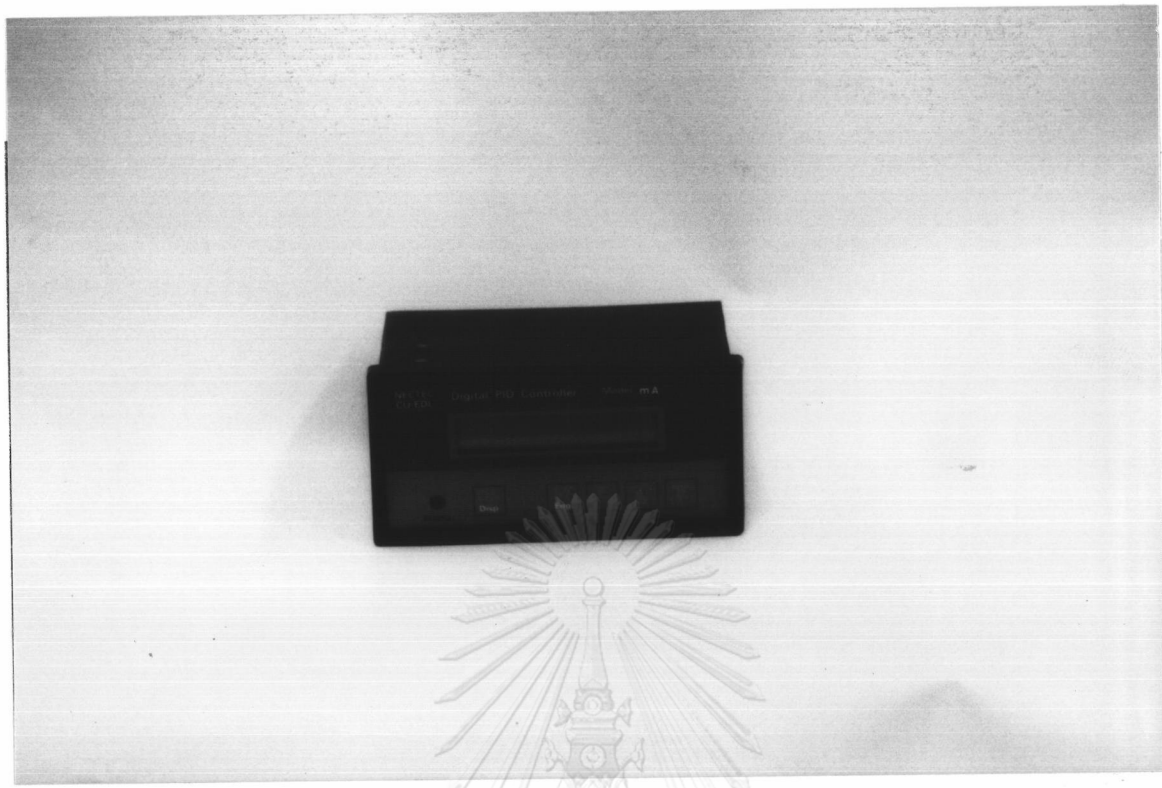
สำหรับรายละเอียดของโปรแกรมได้แสดงในภาคผนวกท้ายวิทยานิพนธ์

6.2 <u>การทดสอบตัวควบคุม</u>

ตัวควบคุม PID เชิงเลขที่พัฒนาได้ มี 2 โมเดลได้แก่ โมเดล TC และ โมเดล mA ซึ่งลักษณะของอินพุตเป็น เทอร์โมคัปเปิลและกระแสมาตรฐานตามลำดับ สำหรับเครื่องต้นแบบ ที่จะนำไปทดสอบได้แสดงดังรูปที่ 6.4



รูป 6.4 ก) แสดงต้นแบบตัวควบคุม PID เชิงเลขโมเดล TC



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูป 6.4 ข) แสดงต้นแบบตัวควบคุม PID เชิงเลขโมเดล mA

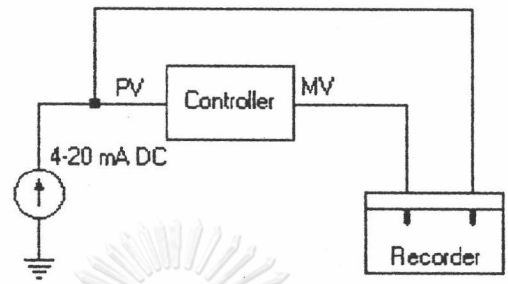
การทดสอบตัวควบคุม ประกอบด้วยการทดสอบอัลกอริธึมของการควบคุมแบบ PID ทดสอบความถูกต้องของพารามิเตอร์ของการควบคุมแบบ PID และทดสอบการแปลงผันสัญญาณของวงจร Signal conditioner โดยโมเดล mA จะใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่าความถูกต้องของพารามิเตอร์ของการควบคุมแบบ PID และทำการทดสอบกับโปรเซสจริงโดยใช้ระบบจำลองทางอุตสาหกรรม (Model plant) ซึ่งเป็นระบบจำลองของการควบคุมระดับน้ำ ส่วนโมเดล TC จะทำการทดสอบเกี่ยวกับการแปลงผัน ของวงจร Signal conditioner ลำดับขั้นตอนของการทดสอบเป็นดังนี้

6.2.1 การทดสอบความถูกต้องของพารามิเตอร์ของการควบคุมแบบ PID

เป็นการทดสอบความถูกต้องของค่าพารามิเตอร์ PB, T_I และ T_D

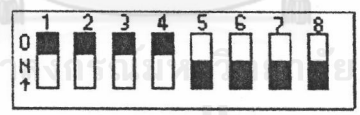
ขั้นตอนการทดสอบ

6.2.1.1 ต่อวงจรดังแสดงในรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 แสดงการต่อตัวควบคุมเพื่อทดสอบพารามิเตอร์

6.2.1.2 ปรับตั้งดิพสวิตช์ในการกำหนดการทำงานของตัวควบคุมดังแสดงในรูปที่ 6.6 (รายละเอียดของวิธีการปรับตั้งค่าและการใช้งานตัวควบคุมดูได้จากคู่มือการใช้งานตัวควบคุมในภาคผนวกท้ายเล่ม)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 6.6 แสดงการปรับตั้งดิพสวิตช์สำหรับการทดสอบค่าพารามิเตอร์

6.2.1.3 ตั้งค่า SV ให้มีค่าเป็น 25 %

6.2.1.4 การทดสอบค่าพารามิเตอร์ PB ตั้งค่า PB, T_I และ T_D ให้มีค่าเป็น 100, 3600 (T_I = Max) และ 0 (T_D = Min) ตามลำดับ

6.2.1.5 เปิดเครื่องและกำหนดการทำงานของเครื่องควบคุมให้ลักษณะการควบคุมเป็นแบบ "Manual"

6.2.1.6 ให้อินพุต PV มีค่าเริ่มต้นเป็น 8 mA (25 %)

6.2.1.7 เปลี่ยนการทำงานของเครื่องควบคุมให้เป็น การควบคุมแบบ "Auto" และให้อินพุต PV เป็นสัญญาณแบบขั้นบันได (Step signal) แล้วบันทึกค่า PV และ MV

6.2.1.8 การทดสอบพารามิเตอร์ T_I, และ T_D เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ PB, T_I และ T_D เป็น 100, 60 และ 0 (T_D = Min) และ 100, 3600 (T_I = Max), 60 ตามลำดับ แล้วทำการทดลองตามข้อ 6.2.1.5 - 6.2.1.7

ผลการทดลอง

ลักษณะของสัญญาณ PV และ MV ที่วัดได้ตามเงื่อนไขของค่า PB, T_I, T_D ในหัวข้อ 6.2.1.3 และ 6.2.1.7 แสดงได้ดังรูปที่ 6.7, 6.8 และ 6.9 ตามลำดับ

จากรูปที่ 6.7 เราสามารถหาค่าพารามิเตอร์ PB ได้ดังนี้

$$PB = 100\frac{DV}{a}$$

$$= 100\frac{25}{26}$$

$$= 96.5\ \%$$

จากรูปที่ 6.8 ค่า T_I สามารถอ่านค่าได้โดยตรง

$$T_I = 60 \text{ sec}$$

จากรูปที่ 6.9 เราสามารถหาค่า T_D และ N ได้จาก

$$N = \frac{b}{a}$$

$$= \frac{68\%}{13\%} = 5.23$$

$$T_D = N t_D$$

$$= 5.23(14) = 73.22 \text{ sec}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.2.1.7 เปลี่ยนการทำงานของเครื่องควบคุมให้เป็น การควบคุมแบบ "Auto" และให้อินพุต PV เป็นสัญญาณแบบขั้นบันได (Step signal) แล้วบันทึกค่า PV และ MV

6.2.1.8 การทดสอบพารามิเตอร์ T_I, และ T_D เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ PB, T_I และ T_D เป็น 100, 60 และ 0 (T_D = Min) และ 100, 3600 (T_I = Max), 60 ตามลำดับ แล้วทำการทดลองตามข้อ 6.2.1.5 - 6.2.1.7

ผลการทดลอง

ลักษณะของสัญญาณ PV และ MV ที่วัดได้ตามเงื่อนไขของค่า PB, T_I, T_D ในหัวข้อ 6.2.1.3 และ 6.2.1.7 แสดงได้ดังรูปที่ 6.7, 6.8 และ 6.9 ตามลำดับ

จากรูปที่ 6.7 เราสามารถหาค่าพารามิเตอร์ PB ได้ดังนี้

$$PB = 100\frac{DV}{a}$$

$$= 100\frac{25}{26}$$

$$= 96.5\ \%$$

จากรูปที่ 6.8 ค่า T_I สามารถอ่านค่าได้โดยตรง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$T_I = 60\ \text{sec}$$

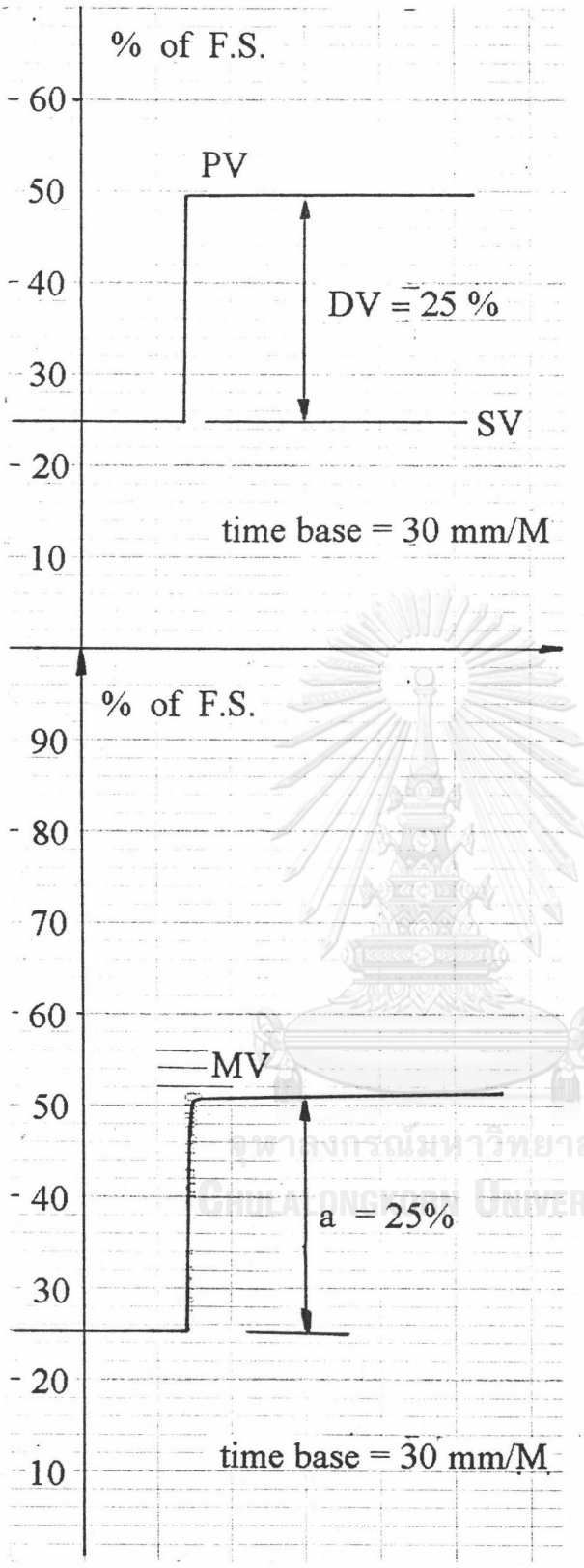
จากรูปที่ 6.9 เราสามารถหาค่า T_D และ N ได้จาก

$$N = \frac{b}{a}$$

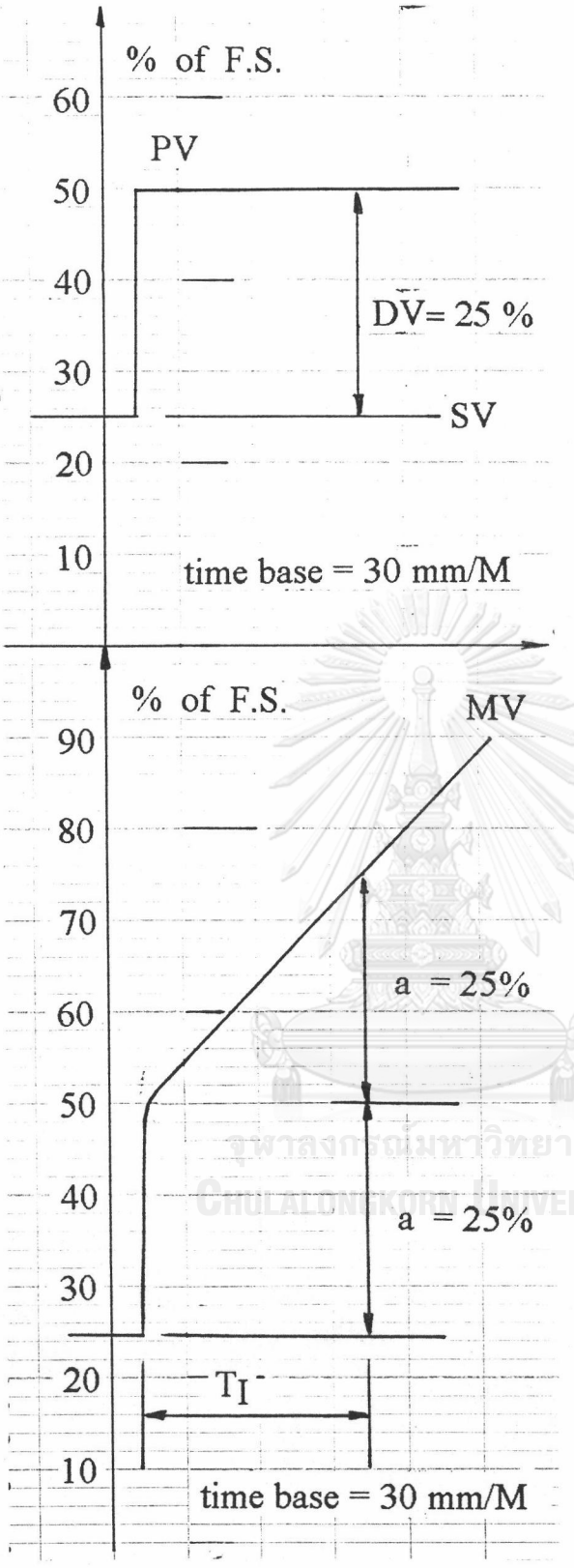
$$= \frac{68\%}{13\%} = 5.23$$

$$T_D = N\,t_D$$

$$= 5.23(12) = 62.76\ \text{sec}$$

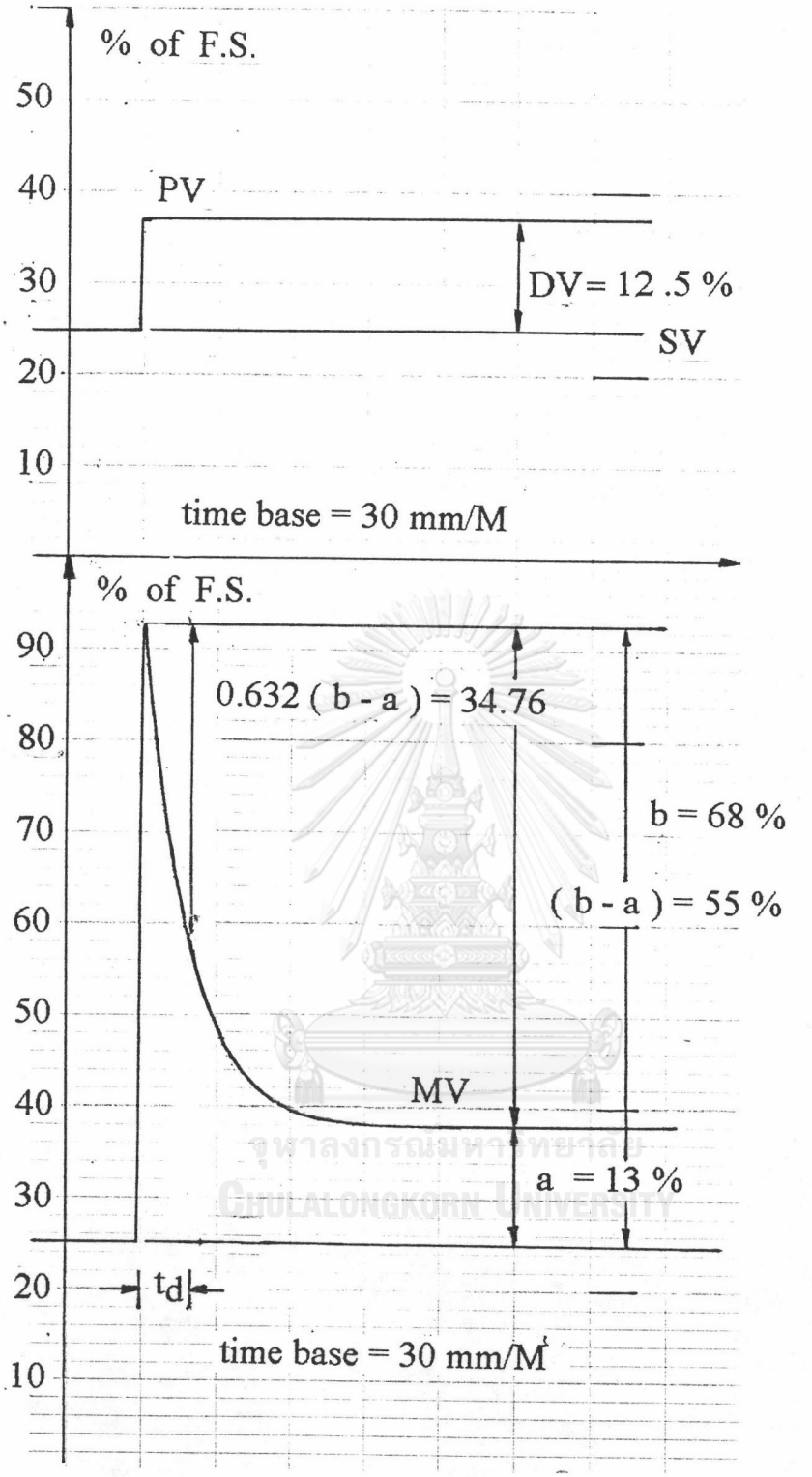


รูปที่ 6.7 แสดงผลการทดลองเมื่อพารามิเตอร์เป็น PB = 100, T_I = 3600, T_D = 0
(P - only action)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 6.8 แสดงผลการทดลองเมื่อพารามิเตอร์เป็น PB = 100, T_I = 60, T_D = 0
(PI - action)

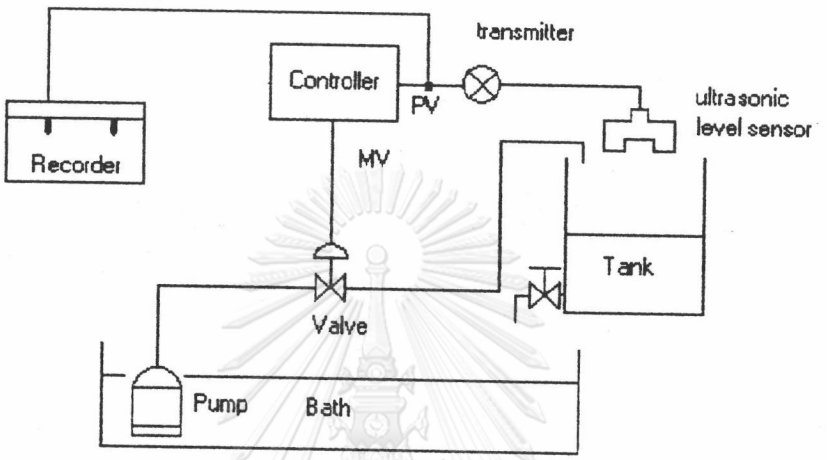


รูปที่ 6.9 แสดงผลการทดลองเมื่อพารามิเตอร์เป็น PB = 100, T_I = 3600, T_D = 60 (PD - action)

จากผลการสอบเทียบพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าที่ตั้งโดยผู้ใช้

6.2.2 การทดสอบกับระบบจำลองของการควบคุมระดับ

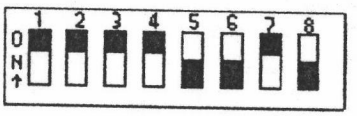
ระบบจำลองดังกล่าวเป็นการควบคุมระดับน้ำในถังดังแสดงในรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.10 แสดงระบบจำลองของการควบคุมระดับน้ำ

ขั้นตอนการทดสอบ

6.2.2.1 ปรับตั้งดิพสวิตช์ในการกำหนดการทำงานของเครื่องควบคุมเป็นดังแสดงในรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 แสดงการปรับตั้งดิพสวิตช์สำหรับการทดสอบการควบคุมระดับน้ำ

6.2.2.2 เปิดเครื่อง และปรับตั้งค่าให้ลักษณะของสัญญาณ MV เป็น "Manual"

6.2.2.3 ตั้งค่า PB, T_I และ T_D เป็น 60%, 42 วินาทีและ 0 วินาที ตามลำดับ

6.2.2.4 เปลี่ยนลักษณะของสัญญาณ MV เป็น "Auto"

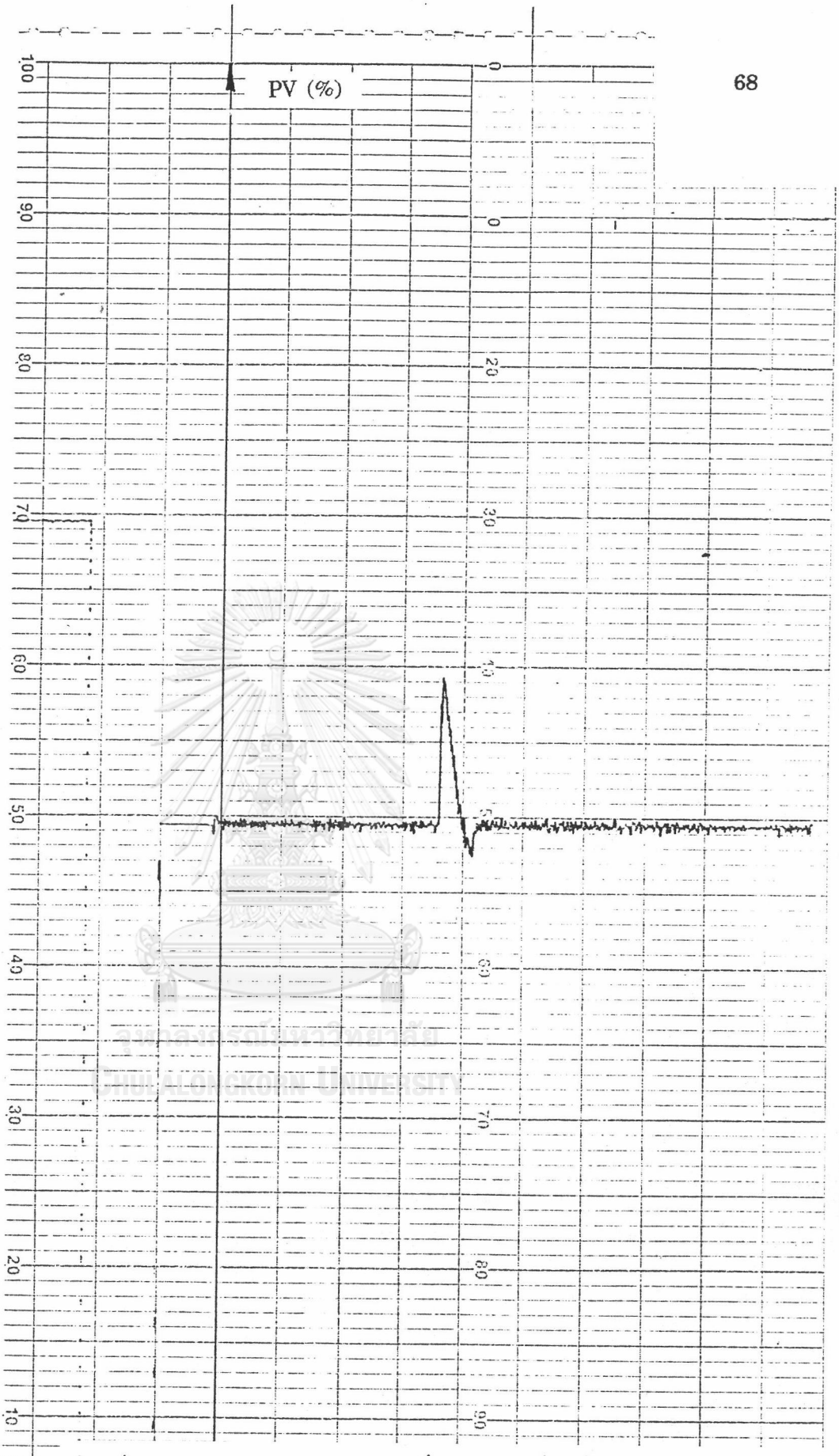
6.2.2.5 ตั้งค่า SV และเปลี่ยนค่า SV เป็นค่าต่างๆ เพื่อตรวจสอบการตอบสนองการทำงานของตัวควบคุม

6.2.2.6 ตั้งค่า SV เป็น 50% จากนั้นทำการทดสอบตัวควบคุมเมื่อมีสิ่งรบกวนระบบเป็น 10 % เปอร์เซนต์ของค่าเต็มสเกล

ผลการทดลอง

ตัวควบคุมเชิงเลขสามารถควบคุมระดับน้ำให้เท่ากับค่าเป้าหมายของระดับน้ำที่ต้องการได้อย่างถูกต้องดังแสดงในรูปที่ 6.12 และ 6.13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

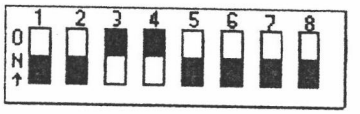


รูปที่ 6.13 แสดงผลการทดสอบเครื่องควบคุมเมื่อมีสิ่งรบกวนระบบ 10%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.2.3 ทดสอบการแปลงผันอุณหภูมิ (โมเดล TC)

6.2.3.1 ปรับดั้งดิพสวิตช์เป็นดังรูปที่ 6.14 เพื่อเลือกการชนิดของ TC เป็นชนิด K



รูปที่ 6.14 แสดงการตั้งดิพสวิตช์สำหรับการทดลองการแปลงผัน

6.2.3.2 ปรับค่าตัวแปร T_MIN, T_MAX ในโหมด ENG ให้เป็น 0 และ 800 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (วิธีการปรับตั้งค่าให้ดูที่คู่มือการใช้งานตัวควบคุมที่ภาคผนวก ท้ายเล่ม)

6.2.3.3 ปรับการแสดงผลเพื่อดูค่า PV

6.2.3.4 ปรับตั้ง signal conditioner (โดยปรับ Zero และ Span) ให้สมนัยกับค่า T_MIN และ T_MAX

6.2.3.5 ทำการทดสอบการแปลงผันอุณหภูมิโดยให้ TC ชนิด K

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการทดสอบ

ตัวควบคุม PID เชิงเลขขนาดกระทัดรัด สามารถแปลงผันค่าอุณหภูมิได้โดยให้ค่าที่สมนัยกับค่าเปอร์เซนต์ของค่าเต็มสเกล