บทที่ 2

วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

2.1 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ [13]

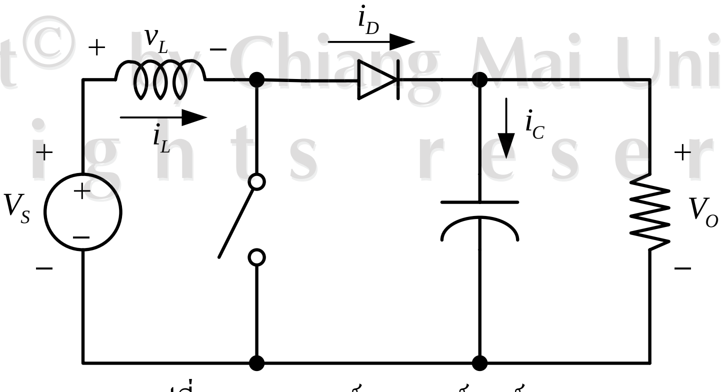
วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ คือ วงจรที่ทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ที่เรียกว่าวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (boost converter) ก็เพราะแรงดันไฟฟ้าด้านออกสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้านั่นเอง

เงื่อนไขการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์แสดงในรูปที่ 2.1 ในช่วงสภาวะอยู่ตัว จะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เช่นเดียวกันกับ วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ดังนี้

1) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบ จะมีค่าเท่ากัน และมีค่าเป็นบวกเสมอ
2) แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์ หมายถึงผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลา ในแต่ละคาบเท่ากับศูนย์
3) ตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าคงที่
4) กำลังไฟฟ้าด้านเข้ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก กรณีนี้ไม่คำนึงถึงการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจร โดยกำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของวงจรเป็นหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



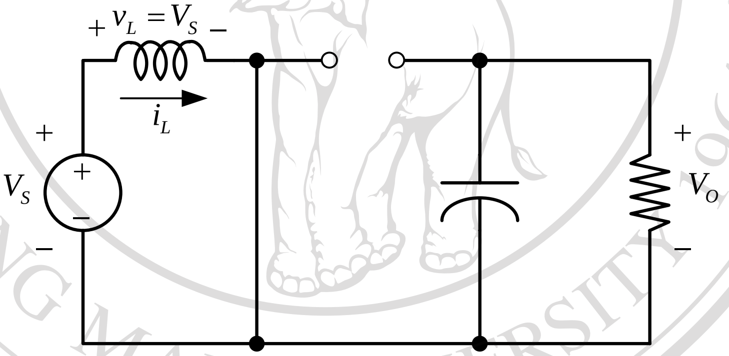
รูปที่ 2.1 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ [13]

2.2 หลักการทำงานของบูสต์คอนเวอร์เตอร์ [13]

เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามต้องการ จะเริ่มต้นจากข้อกำหนดที่ว่า แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาเท่ากับศูนย์ และสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหลด ทั้งนี้การทำงานต้องอยู่ในช่วงสภาวะอยู่ตัวดังนี้

2.2.1 ขณะสวิตช์นำกระแส

จากรูปที่ 2.1 กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ โดยผ่านสวิตช์ ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ดังแสดงในรูปที่ 2.2 จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลย์เมื่อสวิตช์นำกระแส [13]

$$-V_S + v_L = 0 \tag{2.1}$$

$$v_L = V_S = L\frac{di_L}{dt} \tag{2.2}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_S}{L}$$

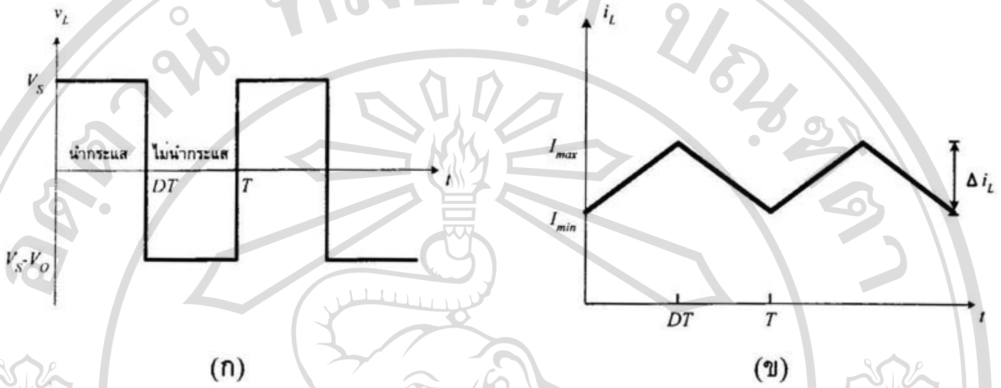
ขณะที่สวิตช์นำกระแส $dt = DT$ เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่ อาจจะถือว่าการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S}{L} \tag{2.3}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

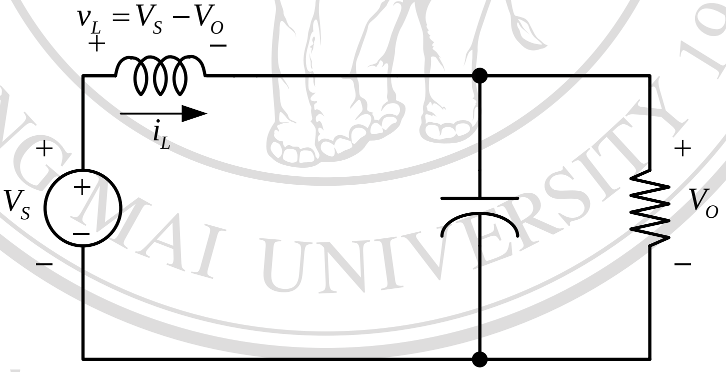
$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_S DT}{L} \tag{2.4}$$

$\Delta i_{L,on}$ หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตซ์นำกระแส



รูปที่ 2.3 (ก) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ [13]

2.2.2 ขณะสวิตซ์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลเมื่อสวิตซ์ไม่นำกระแส [13]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อสวิตซ์ไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ ไดโอดจะถูกไบอัสไปหน้าให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมุติแรงดันไฟฟ้าที่ด้านออกมีค่าคงที่ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$-V_S + v_L + V_O = 0 \tag{2.5}$$

$$v_L = V_S - V_O$$

$$v_L = L\frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_S - V_O}{L} \qquad (2.6)$$

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส $dt = (1-D)T$ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าคงที่ และจะถือว่าการลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้นดังรูปที่ 2.3 (ข) ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta i_{L,off} = \left(\frac{V_S - V_O}{L}\right)(1-D)T \qquad (2.7)$$

ที่สภาวะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์จากสมการที่ (2.4) และสมการที่ (2.7) จะได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \qquad (2.8)$$

$$\left(\frac{V_S}{L}\right)DT + \frac{(V_S - V_O)(1-D)T}{L} = 0 \qquad (2.9)$$

$$V_S D + (V_S - V_O)(1-D) = 0$$

$$V_S D + V_S - V_S D - V_O + V_O D = 0$$

$$V_S - V_O(1-D) = 0$$

$$\frac{V_O}{V_S} = \frac{1}{(1-D)} \qquad (2.10)$$

จากการหาความสัมพันธ์ ของอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านนอกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าที่ เรียกว่า อัตราการขยายแรงดัน สามารถหาได้โดยวิธีง่ายๆ โดยใช้สมการแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบซึ่งจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และได้ผลเช่นเดียวกับสมการที่ (2.10) ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$V_{L,av} = v_{L,on}(t_{on}) + v_{L,off}(t_{off}) \qquad = 0 \qquad (2.11)$$

จากสมการที่ (2.2) $\quad v_{L,on} = V_S$

จากสมการที่ (2.6) $\quad v_{L,off} = V_S - V_O$

$$V_{L,av} = (V_S)(t_{on}) + (V_S - V_O)(t_{off}) \qquad = 0$$

$$\left(V_S\right)DT + (V_S - V_O)(1-D)T \qquad = 0$$

$$V_S D + (V_S - V_O)(1-D) \qquad = 0$$

$$V_S D + V_S - V_S D - V_O + V_O D \qquad = 0$$

$$V_S D + V_O(1-D) \qquad = 0$$

$$\frac{V_O}{V_S} = \frac{1}{(1-D)} \qquad (2.12)$$

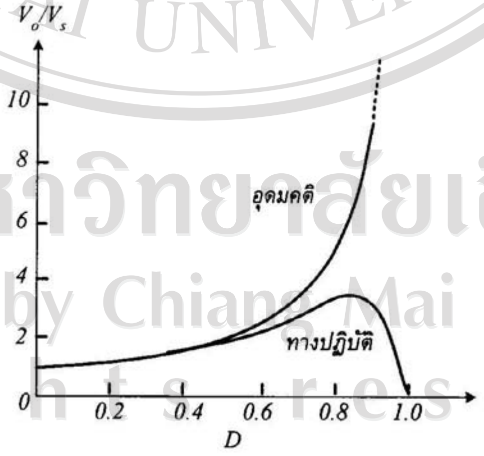
การได้มาซึ่งสมการอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า จากสมการที่ (2.10) หรือ (2.12) แท้จริงแล้วมีหลักการทำงานอันเดียวกัน ทำให้สามารถคำนวณค่าอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าได้จากการปรับค่าของ D ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 อัตราการขยายแรงดันของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่า D

Duty ratio (D)	อัตราการขยายแรงดัน (Voltage gain) (V_O/V_S)
0.0	1.00
0.1	1.10
0.2	1.25
0.3	1.43
0.4	1.67
0.5	2.00
0.6	2.50
0.7	3.33
0.8	5
0.9	10
1.0	Infinity

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.5 เมื่อค่า D เพิ่มขึ้นค่าอัตราการขยายแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น ในทางปฏิบัตินิยมปรับอัตราการขยายแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 4 เท่า ทั้งนี้เพื่อให้วงจรมีความเสถียรภาพ โดยอัตราการขยายแรงดันต่ำสุดคือหนึ่งหรือแรงดันไฟฟ้าด้านออกเท่ากันกับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าในทางทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าเล็กน้อย เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด และตัวอุปกรณ์สวิตช์



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยายแรงดันกับ D [13]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

สมมติการสูญเสียภายในวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ออกจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ เงื่อนไขนี้ จะได้

$$P_S = P_O = \frac{V_O^2}{R} \tag{2.13}$$

$$P_S = V_S I_S = V_S I_L \tag{2.14}$$

$$\frac{V_O^2}{R} = V_S I_L$$

$$V_O = \frac{V_S}{1-D}$$

$$V_S I_L = \frac{\left(\frac{V_S}{1-D}\right)^2}{R}$$

$$I_L = \frac{V_S}{(1-D)^2 R} \tag{2.15}$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดสามารถคำนวณ หาได้จากค่าเฉลี่ยและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแส ดังในสมการที่ (2.4)

$$\Delta I_{L,on} = \frac{V_S DT}{L}$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดคือ

$$I_{L,\max} = i_L + \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$I_{L,\max} = \frac{V_S}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2}\left(\frac{V_S DT}{L}\right) \tag{2.16}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$I_{L,\min} = \frac{V_S}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2}\left(\frac{V_S DT}{L}\right) \qquad (2.17)$$

สมมติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและมีค่าเป็นบวก ดังนั้นจะหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด ที่ทำให้วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ทำงานได้ในขอบเขตระหว่างโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง สามารถคำนวณหาได้จากการกำหนดให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ดังสมการที่ (2.18)

$$I_{L,\min} = \frac{V_S}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2}\left(\frac{V_S DT}{L}\right) = 0 \qquad (2.18)$$

$$\frac{V_S}{(1-D)^2 R} = \frac{1}{2}\left(\frac{V_S DT}{L}\right)$$

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \qquad (2.19)$$

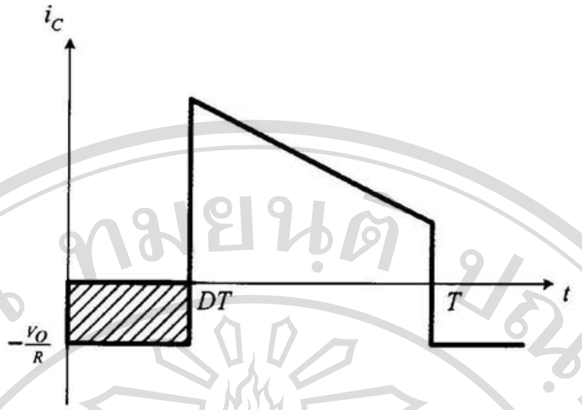
การปรับค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด จากสมการที่ (2.19) สามารถทำได้โดยการปรับที่ค่า D หรือค่าความต้านทานโหลด R หรือค่าความถี่ของการสวิตช์ f

2.4 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก

การที่มีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่จะสามารถรักษาให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกคงที่ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่มากๆ ได้เนื่องจากมีราคาแพงและใช้พื้นที่มาก จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเหมาะสม และค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

การคำนวณหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกจากยอดถึงยอด สามารถหาได้จากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุดังรูปที่ 2.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.6 กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ [13]

$$\left|\Delta Q\right| = C\Delta V_O = I_O \Delta t_{on} \tag{2.20}$$

$$I_O = \frac{V_O}{R}$$

$$\Delta t_{on} = DT$$

$$\Delta V_O = \frac{I_O \Delta t_{on}}{C} = \frac{V_O DT}{RC}$$

$$\frac{\Delta V_O}{V_O} = \frac{DT}{RC} \tag{2.21}$$

$$\frac{\Delta V_O}{V_O} = \frac{D}{RCf} \tag{2.22}$$

เมื่อต้องการจะลดอัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก จะทำได้โดยการลดค่า D ให้เข้าใกล้ศูนย์ หรือการเพิ่มค่าโหลด หรือเพิ่มค่าของตัวเก็บประจุหรือเพิ่มค่าความถี่ในการสวิตซ์ให้สูงขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 ตัวควบคุมอัตโนมัติในงานอุตสาหกรรม

ตัวควบคุมอัตโนมัติในงานอุตสาหกรรม ทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างสัญญาณทางออก (Output) ของระบบกับสัญญาณทางเข้า (Input) หรือค่าที่ต้องการควบคุมหรือค่าอ้างอิง (Reference) ที่มีค่าคงที่ของระบบ ผลของการเปรียบเทียบที่ได้คือค่าเบี่ยงเบนหรือค่าผิดพลาด (Error) หลังจากนั้นตัวควบคุมอัตโนมัติจะนำค่าเบี่ยงเบนไปสร้างเป็นสัญญาณขึ้นมาใหม่เพื่อควบคุมให้ระบบลดการเบี่ยงเบนหรือ ลดค่าผิดพลาดลงให้เป็นศูนย์หรือน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ลักษณะการทำงานของตัวควบคุมอัตโนมัติที่สร้างสัญญาณขึ้นมาควบคุมระบบดังกล่าวนี้ เรียกว่า "การทำงานควบคุม" ซึ่งสามารถแบ่งตัวควบคุมอัตโนมัติออกเป็นแบบต่างๆ ได้ดังนี้

1) ตัวควบคุมแบบ ปิด-เปิด หรือ แบบสองตำแหน่ง
2) ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Controller หรือ P Controller)
3) ตัวควบคุมแบบบูรณาการรวมหน่วย (Integral Controller หรือ I Controller)
4) ตัวควบคุมแบบสัดส่วน ร่วมกับแบบบูรณาการรวมหน่วย (PI Controller)
5) ตัวควบคุมแบบสัดส่วน ร่วมกับแบบอนุพันธ์ (PD Controller)
6) ตัวควบคุมแบบสัดส่วน ร่วมกับแบบบูรณาการรวมหน่วย ร่วมกับแบบอนุพันธ์ (Proportional plus Integral plus Derivative Controller หรือ PID Controller)

ตัวควบคุมอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ จะใช้ในระบบควบคุมความดันของของไหล เช่น น้ำมัน หรือ อากาศ การเลือกใช้ตัวควบคุมอัตโนมัติต้องดูความเหมาะสมของโรงงานและสภาวะการทำงาน อาจรวมไปถึงความปลอดภัย ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ขนาดและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งในที่นี้ขอกล่าวถึงเฉพาะในส่วนของตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบบูรณาการรวมหน่วย (PI Controller) เพียงอย่างเดียว

2.6 การกระทำการควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบบูรณาการรวมหน่วย (Proportional plus Integral Control Action)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การกระทำการควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบบูรณาการรวมหน่วยหรือการควบคุมแบบพีไอ (PI Controller) นี้ค่าของสัญญาณทางออกของตัวควบคุมกำหนดได้ดังสมการที่ (2.23)

$$M(t) = K_P E(t) + \left(\frac{K_P}{T_i}\right)\int_0^t E(t)dt \qquad (2.23)$$

เมื่อ $M(t)$ คือ สัญญาณทางออกของตัวควบคุม

$E(t)$ คือ สัญญาณผิดพลาดที่เกิดขึ้น

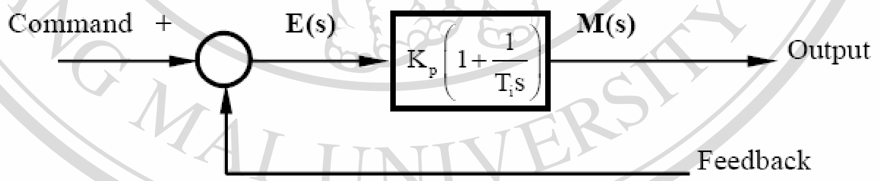
หรือเขียนในรูปของฟังก์ชันโอนย้าย (Transfer Function) ได้คือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_P\left(1+\frac{1}{T_i s}\right) \quad (2.24)$$

เมื่อ K_P คือ ความไวของสัดส่วนหรืออัตราการขยาย

T_i คือ เวลาบูรณาการรวมหน่วย

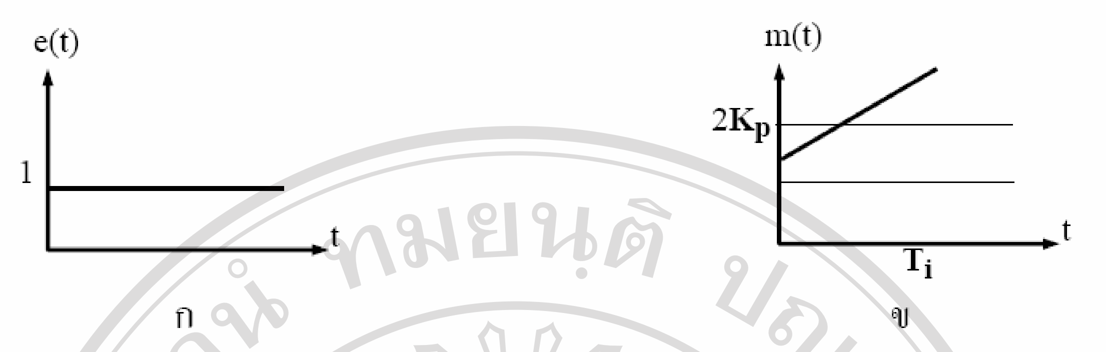
ค่าของ K_P และ T_i สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงค่าได้ ซึ่งการปรับค่าจะมีผลต่อการกระทำ การควบคุมแบบบูรณาการรวมหน่วย แต่ถ้าปรับค่าความไวของสัดส่วน K_P จะส่งผลให้ทั้งการกระทำการควบคุมแบบสัดส่วนและการกระทำแบบบูรณาการรวมหน่วย ส่วนกลับของ T_i เรียกว่า "อัตราส่วนจัดใหม่" เป็นจำนวนครั้งต่อวินาที การควบคุมแบบสัดส่วนเริ่มต้นใหม่ จากสมการที่ (2.24) เขียนเป็นบล็อกไดอะแกรม ได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบบูรณาการรวมหน่วย [13]

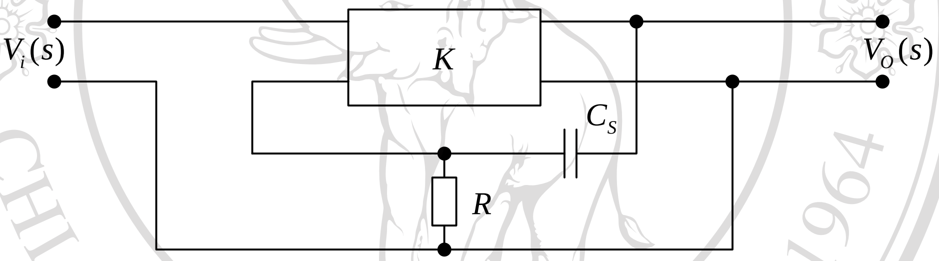
สมมติให้สัญญาณผิดพลาด $E(t)$ เป็นฟังก์ชันยูนิตสเต็ป (unit step) ดังรูปที่ 2.8 (ก)สัญญาณทางขาออกของตัวควบคุม $M(s)$ จะได้ดังรูปที่ 2.8 (ข)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.8 สัญญาณผิดพลาดเป็นยูนิตสเต็ปกับสัญญาณทางออกของตัวควบคุมพีไอ [13]

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบบูรณาการรวมหน่วย แสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบบูรณาการรวมหน่วย [13]

จากรูปที่ 2.9 เขียนฟังก์ชันโอนย้าย (Transfer Function) ได้ดังสมการ (2.25)

$$\frac{V_O(s)}{V_i(s)} = \frac{K}{1+K\left(\frac{R}{R+\left(1+\frac{1}{sC_S}\right)}\right)} \qquad (2.25)$$

กำหนดให้

$$K\left(\frac{R}{R+\left(1+\frac{1}{sC_S}\right)}\right) > 1 \qquad (2.26)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้น $$\frac{V_O(s)}{V_i(s)} = \frac{K}{\frac{KR}{R+\frac{1}{sC_S}}} = \frac{K\left(R+\frac{1}{sC_S}\right)}{KR} \qquad (2.27)$$

$$\frac{V_O(s)}{V_i(s)} = \frac{R+\frac{1}{sC_S}}{R}$$

$$\frac{V_O(s)}{V_i(s)} = 1+\frac{1}{RC_sS}$$

กำหนดให้ $\tau = RC_S$ โดย τ คือ ค่าเวลาคงตัวของการบูรณาการรวมหน่วย

ดังนั้น $$\frac{V_O(s)}{V_i(s)} = 1+\frac{1}{\tau s} \qquad (2.28)$$

การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบบูรณาการรวมหน่วย (PI Control) มีผลต่อระบบคือ

1) ทำให้ระบบมีการตอบสนองเร็วเหมือนการควบคุมแบบสัดส่วน

2) ทำให้ระบบมีความแม่นยำเหมือนการควบคุมแบบบูรณาการรวมหน่วย

ดังนั้นการควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบบูรณาการรวมหน่วย จะมีผลทำให้ระบบมีความผิดพลาด (Error) น้อยที่สุด ที่สภาวะคงตัว (Steady State) และมีผลต่อการตอบสนองที่รวดเร็ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved