



ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2540

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดควบคุมการขนานและการแบ่งการจ่ายโหลดแบบอัตโนมัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
กระแสสลับ

ผู้จัดทำ

1. นายยุทธนา ชรรณลัจจกุล
2. นายสมชาย ภักดีเพ็ญจันทร์
3. นายสุรัช มณีรัตน์

วัน เดือน ปี.....	-5.ต.ค.2541
เลขทะเบียน.....	038572
เลขเขียนหนังสือ.....	T.40039-๒๖๕๕

สุภรณ์ โสภพวงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

สารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(อ. สุภรณ์ โสภพวงศ์)

038572

ชุดควบคุมการขนานและการแบ่งการจ่ายโหลดแบบอัตโนมัติของเครื่อง
กำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

นาย ยุทธนา ธรรมสังกุล
นาย สมชาย ภัคดีเพ็ญจันทร์
นาย สุรัช มณีรัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษา
อ. สุวงษ์ ไสมพงษ์

ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบชุดควบคุมการขนานและการแบ่งการจ่าย
โหลดแบบอัตโนมัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งมีการควบคุมแรงดันที่ขั้วและ
ความถี่ของแรงดันที่ขั้วโดยอัตโนมัติ และมีชุดควบคุมการชิ่งโครโมสิงโดยใช้วงจรเฟส
ลือคูลูป ซึ่งสามารถทำการขนานเครื่องกำเนิดเข้ากับระบบได้โดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATICS SYNCHRONIZATIONS AND SHARING LOAD

Yuthana Tammasakjakoon

Somchai Pakdepenjan

Surat Maneerat

Suwong Somepong Advisor

ABSTRACT

This thesis to be design the automatic synchronization and sharing load for synchronous generator with controlled the terminal voltage and frequency of terminal voltage by automatics and controlled synchronization by phase lock loop circuit with could be paralled AC. Generator with on power system by automatics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	IV
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ระบบควบคุมกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตารีโดยอัตโนมัติ	3
2.2 การออกแบบเครื่องควบคุมการเชิงโรตารีในซิงโครไนซ์แบบอัตโนมัติ	6
2.3 ส่วนควบคุมความถี่โดยอัตโนมัติ	14
2.4 ส่วนควบคุมระดับแรงดันขั้วโดยอัตโนมัติ	15
2.5 วงจรทรานซิสเตอร์	16
2.6 เอสซีอาร์	19
2.7 ออปแอมป์	33
2.8 OFFSET NULL	34
2.9 INVERTING AMPLIFIER	35
2.10 NONINVERTING AMPLIFIER	36
2.11 VOLTAGE FOLLOWER AMPLIFIER	37
2.12 SUMMING INVERTING AMPLIFIER	37
2.13 DIFFERENCE AMPLIFIER	38
2.14 COMPARATOR	39
2.15 OP-AMP DIFFERENTIATOR	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 OP-AMP INTEGRATOR	41
2.17 ระบบควบคุมอัตโนมัติชนิด P-I CONTROLLER	42
บทที่3 การดำเนินงาน	47
3.1 การทดสอบหาค่าคงที่ของมอเตอร์	50
3.2 การทดสอบหาค่าคงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรต	52
3.3 การออกแบบชุดควบคุมความถี่อัตโนมัติ	56
3.4 การออกแบบชุดควบคุมแรงดันอัตโนมัติ	60
3.5 การออกแบบชุดตรวจสอบถ่วงเฟส	61
3.6 การออกแบบวงจรเช็คความแตกต่างของแรงดัน	62
3.7 การออกแบบวงจรเช็คความแตกต่างของความถี่	63
3.8 การออกแบบวงจรตรวจสอบมุมต่างเฟส	64
3.9 การออกแบบวงจรรวมเงื่อนไขต่างๆ	65
บทที่4 ผลการทดสอบ	66
4.1 การทดสอบให้เครื่องกำเนิดจ่ายโหลดโดยไม่มี การควบคุม	66
4.2 การทดสอบให้เครื่องกำเนิดจ่ายโหลดมีการควบคุมโดยอัตโนมัติ	67
4.3 การทดสอบชุดขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบแบบอัตโนมัติ	68
4.4 การแบ่งการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดที่ขนานกับระบบ	70
4.5 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันและความถี่คงที่เมื่อโหลดต่างๆ	72
บทที่5 สรุปและข้อเสนอแนะ	74
5.1 สรุป	74
5.2 ปัญหาของโครงการ	74
5.3 ข้อเสนอแนะ	75
5.4 ข้อจำกัดของโครงการ	75

ภาคผนวก

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 เฟสเซอร์ไคอะแกรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบทรงกระบอกเมื่อพิจารณาผลของอาร์เมเจอร์รีซีสแตนซ์	4
รูปที่ 2.2 คุณลักษณะของกำลัง-มุมกำลังหรือแรงบิด-มุมแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบทรงกระบอก	6
รูปที่ 2.3 ระบบผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส	7
รูปที่ 2.4 ระบบควบคุมการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ	8
รูปที่ 2.5 a) ภาพแวกเตอร์เมื่อ $E_1 > E_2$	10
b) ภาพแวกเตอร์เมื่อ $E_2 > E_1$	10
รูปที่ 2.6 a) ภาพแวกเตอร์เมื่อมุมของ $E_1 = E_2$	11
b) ภาพแวกเตอร์เมื่อมุมของ E_1 นำหน้า E_2	11
c) ภาพแวกเตอร์เมื่อมุมของ E_1 ถ่าหลัง E_2	11
รูปที่ 2.7 ภาพของมุมต่างเฟสของแรงดันระหว่าง E_1 กับ E_2	13
รูปที่ 2.8 รายละเอียดของชุดควบคุมความถี่โดยอัตโนมัติ (ALFC)	15
รูปที่ 2.9 รายละเอียดของชุดควบคุมแรงดันที่ขั้วอัตโนมัติ	16
รูปที่ 2.10 วงจรกำเนิดสัญญาณทริกเกอร์	17
รูปที่ 2.12 วงจรอะเสคเบิ้ลโดยใช้ IC 555	18
รูปที่ 2.13 รูปคลื่นเอาต์พุตจากขา 3 ของ IC 555	19
รูปที่ 2.14 ภาคกลับปัดสัญญาณ โดยพัลส์ทรานฟอร์เมอร์	19
รูปที่ 2.15 โครงสร้างของเอสซีอาร์	21
รูปที่ 2.16 แสดงวงจรนำกระแสของเอสซีอาร์	22
รูปที่ 2.17 คุณสมบัติของเอสซีอาร์ในสภาวะ Steady-state	23
รูปที่ 2.18 แสดงเวลาน้อยที่สุดที่จะต้องรักษาสัญญาณทริกเกอร์	25
รูปที่ 2.19 แสดง turn-off time ของเอสซีอาร์	27
รูปที่ 2.20 แผนผังแสดงวงจรใช้งานเอสซีอาร์	28
รูปที่ 2.21 การใช้ออสซิลเลเตอร์ควบคุมกำลังไฟที่ป้อนให้โหลด	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.22 การควบคุมกำลัง ไฟสลับ	33
รูปที่ 2.24 ออปแอมป์(ก)สัญลักษณ์(ข)equivalent circuit (ค)คุณสมบัติอินพุท-เอาต์พุท	34
รูปที่ 2.25 inverting amplifier	36
รูปที่ 2.26 noninverting amplifier	36
รูปที่ 2.27 Voltage follower amplifier	37
รูปที่ 2.28 Summing inverting amplifier	38
รูปที่ 2.29 difference amplifier	38
รูปที่ 2.30 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ	39
รูปที่ 2.31 วงจร differentiator	40
รูปที่ 2.32 วงจร integrator	41
รูปที่ 2.33 integrator	42
รูปที่ 2.34 ระบบควบคุมอัตโนมัติชนิดที่มีการป้อนกลับ	43
รูปที่ 2.35 โค้ดแกรมบล็อกของ P-I Controller	44
รูปที่ 2.36 การตอบสนองของ P-I Controller ต่อ unit step actuating error	45
รูปที่ 2.37 การตอบสนองของ P-I Controller ต่อ ramp actuating error	46
รูปที่ 3.1 วงจรภายในของ DC motor	50
รูปที่ 3.2 วงจรการทดลองการหา R_a	50
รูปที่ 3.3 วงจรการทดลองหาค่า R_a	51
รูปที่ 3.4 วงจรภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจริงโครนัส	52
รูปที่ 3.5 วงจรการทดลองหาค่า R_a	52
รูปที่ 3.6 วงจรการทดลองหาค่า R_a	53
รูปที่ 3.7 วงจรการทดลองสถานะ ไม่มีโหลด	54
รูปที่ 3.8 วงจรการทดสอบสถานะ ถัดวงจร	55
รูปที่ 3.9 ชุดควบคุมความถี่อัตโนมัติ	56
รูปที่ 3.10 วงจรแอมพลิฟายขนาด 3 เท่า	56
รูปที่ 3.11 วงจร PI Controlled (ความถี่)	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่3.12 วงจรทรานซิสเตอร์เอสซีอาร์	57
รูปที่3.13 วงจรปริคซ์คอนเวอร์เตอร์	59
รูปที่3.14 ชุดควบคุมแรงดันอัตโนมัติ	60
รูปที่3.16 ชุดตรวจสอบกำลังไฟ	61
รูปที่3.17 วงจร Lamp test	61
รูปที่3.18 วงจรเปรียบเทียบแรงดันทางเครื่องกำเนิดกับด้านระบบ	62
รูปที่3.19 วงจรเช็คแรงดันต่ำและสูงกว่ากำหนด	62
รูปที่3.20 วงจรเช็คความแตกต่างของแรงดัน	62
รูปที่3.21 ชุดวงจรเช็คความแตกต่างของแรงดัน	63
รูปที่3.22 วงจรเช็คความแตกต่างของความถี่	63
รูปที่3.23 การต่อวงจรตรวจสอบมุมต่างเฟส	64
รูปที่3.24 ชุดวงจรตรวจสอบมุมต่างเฟส	64
รูปที่3.25 วงจรควบคุมการชิงโครไนซ์	65
รูปที่4.1 วงจรทดสอบเครื่องกำเนิดจ่ายโหลดโดยไม่มี การควบคุม	66
รูปที่4.2 วงจรทดสอบให้เครื่องกำเนิดจ่ายโหลดโดยมี การควบคุมโดยอัตโนมัติ	67
รูปที่4.3 การรวมเงื่อนไขทั้งหมด	68
รูปที่4.4 สัญญาณในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	69
รูปที่4.5 การทดสอบการแบ่งการจ่าย โหลด(กรณียังไม่ขนานเข้าระบบ)	70
รูปที่4.6 การทดสอบขนานเครื่องกำเนิดเพื่อจ่าย โหลด	71
รูปที่4.7 การทดสอบ Voltage Regulation โดยควบคุมให้ ความถี่คงที่	72
รูปที่4.8 การทดสอบ Speed Regulations	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่3.1 บันทึกผลการทดลองหาค่า R_f	50
ตารางที่3.2 บันทึกผลการทดลองหาค่า R_u	51
ตารางที่3.3 ผลการทดลองหาค่า R_{fc}	52
ตารางที่3.4 ผลการทดลองหาค่า R_u	53
ตารางที่3.5 ผลการทดลองสถานะ ไม่มีโหลด	54
ตารางที่3.6 ผลการทดลองสถานะลัดวงจร	55
ตารางที่3.8 แสดงผลของสัญญาณควบคุมของ ΔF	63
ตารางที่3.9 แสดงผลของสัญญาณควบคุม Φ	64
ตารางที่4.1 ตารางเปรียบเทียบผลของ I_L กับ U, f_n, I_r (ไม่มีการควบคุม)	66
ตารางที่4.2 ตารางการเปรียบเทียบผลของ I_L กับ U, f_n, I_r (ควบคุมอัตโนมัติ)	67
ตารางที่4.3 ตารางแสดงค่า I_u และ I_r ในขนาดโหลดต่างๆ (กรณียังไม่ขนานเข้าระบบ)	70
ตารางที่4.4 ตารางแสดงค่า I_u และ I_r เมื่อเครื่องกำเนิดแบ่งการจ่ายโหลด	71
ตารางที่4.5 ตารางแสดงค่าต่างๆ ที่วัดได้จากรูป 4.7	72
ตารางที่4.6 ตารางแสดงค่าต่างๆที่วัดได้จากรูป 4.8	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในภาวะปัจจุบัน ปริมาณความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้า มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ และในบางช่วงมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น อย่างรวดเร็ว ทำให้พลังงานไฟฟ้า ไม่พอกับความต้องการของผู้ใช้ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องสร้าง แหล่งพลังงาน ใหม่ ๆ มาช่วยในการส่งจ่ายพลังงาน และเสริมสร้างให้ระบบเกิดเสถียรภาพที่สุด ซึ่งหน่วยงานรับผิดชอบ จะต้องสามารถขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง เข้ากับระบบให้ได้อย่างรวดเร็ว เพื่อช่วยจ่ายโหลด ซึ่งโดยหลักการแล้ว สามารถควบคุมโดยบุคคลกร แต่อาจทำให้เกิดปัญหาความผิดพลาดของบุคคลกร (Human error) ได้ จากการขนานระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับระบบควมมีเงื่อนไขดังนี้

1. ระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรเท่ากับ ระดับแรงดันของระบบ หรือแตกต่างกันมากที่สุดไม่ควรเกิน 10% ของพิกัด
2. มุมต่างเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ควรเท่ากับ มุมต่างเฟส ของระบบหรือแตกต่างกันมากที่สุดไม่เกิน 15 องศา
3. ความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ควรเท่ากับ ความถี่ของระบบ หรือแตกต่างกันมากที่สุด ไม่ควรเกิน 0.4 - 0.7 % ของพิกัด

จากปัญหาที่เกิดขึ้น จึงมีแนวความคิดจะทดลองสร้าง ชุดขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอัตโนมัติ โดยแบ่งการควบคุมออกเป็นสามส่วนคือ ส่วนแรกจะเป็นชุด ควบคุมแรงดัน ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะควบคุม ที่ชุดกระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็ก (Separateiy Excited) ส่วนที่สองจะเป็น ส่วนควบคุมความเร็วของตัวเดินกำลัง (Primover) เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่จะขนานเข้ากับระบบมีความถี่เท่ากับ ความถี่ของระบบ หรืออยู่ในย่านที่ยอมรับได้ ส่วนที่สามเป็น ส่วนตรวจสอบระบบเฟส ซึ่งส่วนต่าง ๆ จะใช้หลักการควบคุมแบบอัตโนมัติ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อทดลองสร้าง ชุดควบคุมการขนาน และการแบ่งการจ่ายโหลดแบบอัตโนมัติ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Automatic Synchronization and Sharing Load) ให้ใช้งานได้ ใ้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุที่เปลี่ยนแปลง และต้องใช้อุปกรณ์อย่างสมบูรณ์

2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตโครงการ

1. ควบคุมความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อัตโนมัติ
2. ควบคุมระดับแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อัตโนมัติ
3. ตรวจสอบระดับเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้
4. ควบคุมเงื่อนไขต่าง ๆ มาใช้ในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบได้อย่างอัตโนมัติ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทำการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เข้ากับระบบได้อย่างอัตโนมัติ
2. ใช้สำหรับการศึกษาในห้องทดลองได้
3. นำไปประยุกต์ใช้กับงานอุตสาหกรรม
4. เป็นแนวทางในการพัฒนา เพื่อนำไปใช้กับระบบการควบคุมการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

การควบคุมกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์

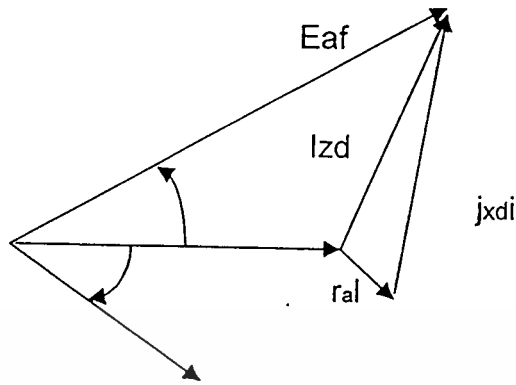
การผลิตกำลังไฟฟ้า เพื่อสนองความต้องการของผู้บริโภค เป็นหน้าที่หนึ่งของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยส่วนประกอบภายในระบบที่มีหน้าที่ รับผิดชอบโดยตรงได้แก่ ระบบผลิต ระบบผลิตมีหน้าที่ผลิตกำลังไฟฟ้า ส่งให้แก่ระบบจำหน่าย โดยผ่านระบบส่งเพื่อจำหน่ายให้ผู้บริโภค ส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของระบบผลิตคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์ เนื่องจากการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์ มีผลต่อสภาพการทำงาน ของระบบไฟฟ้ากำลัง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมให้การทำงานอย่างเหมาะสม ทั้งนี้เพื่อต้องการให้ระบบ มีความน่าเชื่อถือสูง ซึ่งการควบคุมการทำงาน ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ก็คือ การควบคุมกำลังผลิตนั่นเอง

การควบคุมกำลังผลิตหมายถึง การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power : P) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง และตัวแปรที่ทำการควบคุมสามารถแสดงได้ดังนี้ พิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทรงกระบอก ถูกขับให้หมุนด้วยความเร็วเชิงโรตอร์ โดยที่

$$\begin{aligned} V &= \text{แรงดันขั้ว} \\ E_r &= \text{แรงดันผลิต} \\ Z_d &= r_s + jX_d \end{aligned} \quad (2.1)$$

กำลังไฟฟ้าผลิตต่อเฟส ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$S = P + jQ = VI^* \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.1 เฟสเซอร์ไดอะแกรม ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส แบบทรงกระบอกเมื่อพิจารณาผลของอาร์เมเจอร์รีซิสเตอร์

จากภาพที่ 2-1

$$V = V + j0 \quad (2.3)$$

$$E_{af} = E_{af} \cdot \cos \delta - V + j E_{af} \cdot \sin \delta \quad (2.4)$$

$$I = \frac{E_{af} - V}{Z_d} = \frac{E_{af} \cdot \cos \delta - V + j E_{af} \cdot \sin \delta}{Z_d} \quad (2.5)$$

ดังนั้น

$$I = \frac{E_{af} \cdot \cos \delta - V + j E_{af} \cdot \sin \delta}{Z_d} \quad (2.6)$$

โดยที่

$$Z_d = r_a - j X_d \quad (2.7)$$

นำ Z_d คูณทั้งเศษและส่วน

$$I = \frac{Z_d (E_{af} \cdot \cos \delta - V - j E_{af} \cdot \sin \delta)}{Z_d^2} \quad (2.8)$$

$$= \frac{r_a (E_{af} \cdot \cos \delta - V) + X_d (E_{af} \cdot \sin \delta)}{Z_d^2} + j \frac{[X_d (E_{af} \cdot \cos \delta - V) + r_a (E_{af} \cdot \sin \delta)]}{Z_d^2} \quad (2.9)$$

จาก (2.2) และ (2.9)

เอกลักษณ์ $S = \frac{r_a (V E_{af} \cos \delta - V^2) + X_d (V E_{af} \sin \delta)}{Z_d^2} + j \frac{[X_d (V E_{af} \cos \delta - V^2) + r_a (V E_{af} \sin \delta)]}{Z_d^2}$ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น Z_d^2 ถูกทั้งห้ามมเหตุตแบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึง Z_d^2 ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(2.10)$$

ดังนั้น

$$P = \frac{r_a (VE_{af} \cdot \cos \delta \cdot V^2) + X_d (VE_{af} \cdot \sin \delta)}{Z_d^2} \quad (2.11)$$

$$P = \frac{X_d (VE_{af} \cdot \cos \delta \cdot V^2) + r_a (VE_{af} \cdot \sin \delta)}{Z_d^2} \quad (2.12)$$

โดยทางปฏิบัติแล้ว $r_a \ll X_d$ สามารถละเลยได้ จึงทำให้ $Z_d \approx X_d$ ดังนั้น

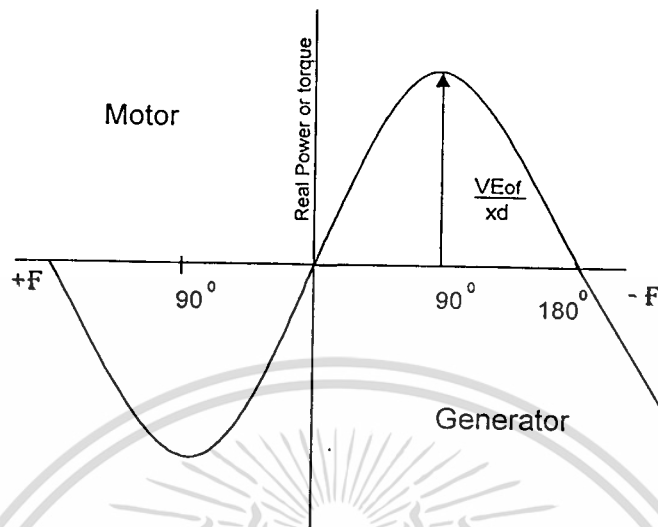
$$P \approx \frac{VE_{af} \cdot \sin \delta}{X_d} \quad (2.13)$$

$$Q \approx \frac{VE_{af} \cdot \cos \delta \cdot V^2}{X_d} \quad (2.14)$$

จากสมการ (2.12), (2.13) พบว่ากำลังไฟฟ้าจริงมีค่ามากที่สุดเมื่อ $\sin \delta = 1$ นั่นคือ δ เท่ากับ $\pi/2$ ดังนั้น

$$P_{\max} \approx \frac{VE_{af}}{X_d} \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากภาพที่ 2-2 คุณลักษณะของกำลัง - มุมกำลังหรือแรงบิด - มุมแรงบิด
ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบทรงกระบอก

จากภาพที่ 2 แสดงคุณลักษณะของกำลัง - มุมกำลังหรือแรงบิด-มุมแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส ในทางปฏิบัติค่ามุมกำลัง (Power Angle: δ) มีค่าน้อยกว่า 90° โดยมีค่าประมาณ 30°

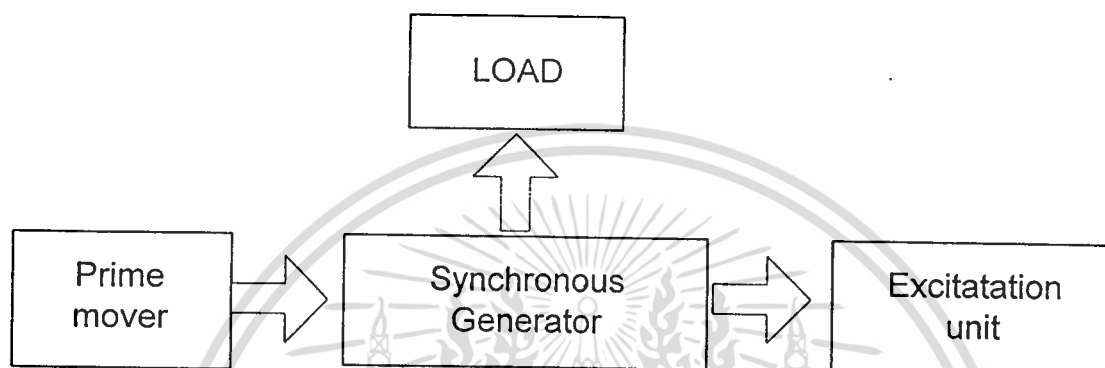
จากสมการ (2.13) จะพบว่าในการควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงนั้นสามารถทำการควบคุมที่ตัวแปร 2 ตัว คือ การควบคุมแรงดันผลิต (Generated Voltage : E_f) หรือควบคุมมุมกำลัง (Power angle : δ) ซึ่งในการควบคุมตัวแปรทั้งหมดนี้จะมีเงื่อนไขที่ต้องคำนึง คือ ในการควบคุมต้องทำให้แรงดันที่ขั้ว (Terminal Voltage : V) และความถี่ของ แรงดันที่ผลิตคงที่ สำหรับการควบคุมขนาดของแรงดันที่ขั้ว ทำได้โดยการควบคุมการ กระตุ้น (Excitation) หรือขนาดของแรงดันผลิต ส่วนการควบคุมความถี่จะทำการควบคุม ที่เครื่องกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.1 ระบบควบคุมกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสโดยอัตโนมัติ

การควบคุมกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละหน่วย ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญ และมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากคั้งที่ได้กล่าวมาแล้วในขั้นต้นว่า การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละหน่วย มีผลต่อเสถียรภาพของระบบ และยังเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกด้วย

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อยู่ในรูปของ กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน (Complex Power : S) ประกอบด้วยส่วนกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power : P) และส่วนกำลังไฟฟ้าแอ

คิตีฟ (Reactive Power : Q) ซึ่งการควบคุมกำลังผลิตนั้น หมายถึงเฉพาะ การควบคุมส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น และตัวแปรที่ต้องควบคุมได้แก่ แรงดันที่ขั้ว (Terminal Voltage : V) และความถี่ (Frequency : f)

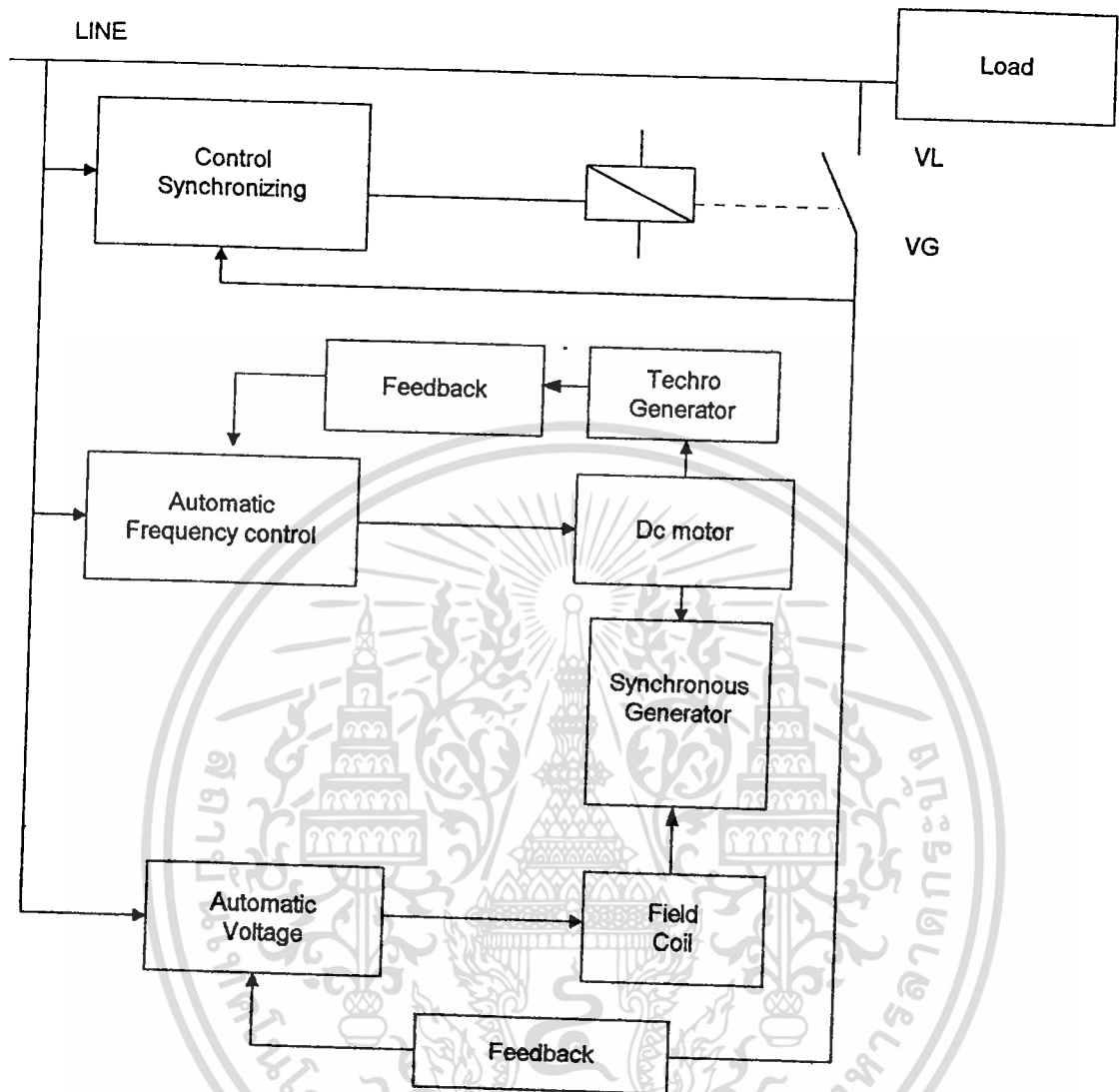


ภาพที่ 2-3 ระบบผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

ระบบการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 3 คือ ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสตัวต้นกำลัง (Prime mover) และ ระบบการกระตุ้น (Excitation Unit)

ระบบผลิตในภาพที่ 3 เป็นระบบผลิตแบบแยก (Isolated System) คือ ภายในระบบมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียงหน่วยเดียว ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกขับให้หมุนด้วยความเร็วคงที่ขณะที่เพิ่มกระแสสนามแม่เหล็ก (Field Current) จะทำให้แรงดันขั้ว มีขนาดเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกัน ถ้าเอาต์พุตของตัวต้นกำลังเพิ่มขึ้นโดยกระแสสนาม แม่เหล็กคงที่ก็จะทำให้ กำลังไฟฟ้าจริงเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เมื่อภาระของระบบมีการเปลี่ยนแปลง ขณะที่กระแสสนามแม่เหล็ก และเอาต์พุตของตัวต้นกำลังคงที่ แรงดันและความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-4 ระบบควบคุมการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ.

เนื่องจากในทางปฏิบัติไม่สามารถที่จะควบคุมภาระได้ ดังนั้น จึงต้องควบคุมที่ระบบการกระตุ้น และตัวคั่นกำลังแทน ในการควบคุมขนาดของ แรงดันขั้ว และความถี่ให้คงที่นั้น สามารถทำได้โดย ใช้วิธีการป้อนกลับ (Feed back) สัญญาณแรงดันขั้วเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง (Reference signal) กรณีที่ขนาดของ แรงดันขั้วและความถี่แตกต่างกันไป จากค่าที่กำหนด จะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างสัญญาณป้อนกลับ และสัญญาณ อ้างอิงขึ้นเรียกว่า สัญญาณคลาดเคลื่อน (Error signal) สัญญาณคลาดเคลื่อนนี้ จะถูกส่ง ไปยังหน่วยควบคุม (Control unit) หน่วยควบคุมก็จะทำ การสั่งการเช่นสั่งเพิ่มหรือลด กระแส สนาม เพิ่มหรือลดเอาต์พุตของตัวคั่นกำลังจนกว่าแรงดันขั้ว และความประกอบที่สำคัญคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส ต่างมีขีดจำกัดในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเมื่อมีภาระมากขึ้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียงเครื่องเดียว ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้เพียงพอ จึงต้องมีการต่อไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยมีเงื่อนไขในการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าด้วยกัน การต่อนี้เรียกว่า การซิงโครไนส์ (Synchronizing)

การออกแบบเครื่องควบคุม การซิงโครไนส์แบบอัตโนมัติ ใช้หลักการตรวจสอบเงื่อนไขของการซิงโครไนส์ ที่จะกล่าวในหัวข้อต่อไป ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใหม่ที่จะต่อเข้าระบบ กับสายเมนของการไฟฟ้าที่เรียกว่า อินฟินิตบัส (Infinite bus) นั่นคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่กำลังทำงานในระบบอยู่ก่อนแล้ว

ในระบบไฟฟ้ากำลัง มักจะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครไนส์ หลาย ๆ ตัว ซิงโครไนส์กันอยู่กับระบบนั้น ๆ ข้อดีของการซิงโครไนส์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครไนส์เข้ากับระบบก็คือ

1. ถ้าเครื่องกำเนิดเครื่องใดเครื่องหนึ่งต้องหยุดการทำงาน เนื่องจากการบำรุงรักษา หรือเหตุใดก็ตามเครื่องกำเนิดที่เหลือก็ยังสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง
2. เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูง และการพิจารณาทางด้านเศรษฐกิจเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงเราอาจเพิ่มหรือตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบได้
3. เพื่อการขยายในอนาคต เรามักจะมีการสำรองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อการเพิ่มเติมโดยการซิงโครไนส์เพื่อเข้าไปในระบบ

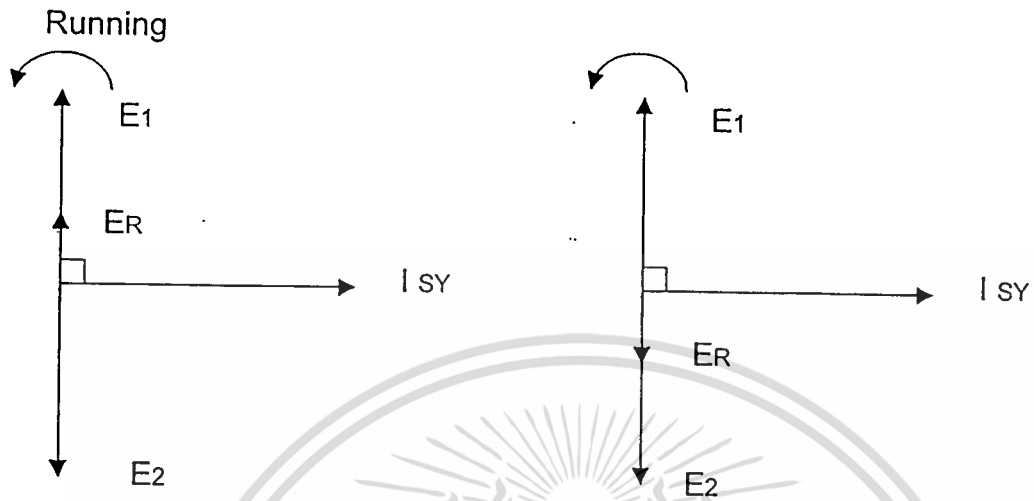
2.2.1 เงื่อนไขของการซิงโครไนส์

1. แรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรเท่ากับ ระดับแรงดันของระบบหรือแตกต่างกันมากที่สุดไม่เกิน 10% พิกัด
2. มุมต่างเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรเท่ากับ มุมต่างเฟสของระบบ หรือแตกต่างกันมากที่สุดไม่เกิน 15 องศา
3. ความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรเท่ากับ ความถี่ของระบบหรือแตกต่างกันมากที่สุดไม่เกิน 0.4 - 0.7 %
4. ในระบบไฟ 3 เฟส เครื่องกำเนิดและระบบจะต้องมีลำดับเฟสเหมือนกัน

2.2.2 ผลที่เกิดขึ้นถ้าเงื่อนไขของการ Synchronize ไม่ได้

1. เมื่อระดับ Voltage ของ Incoming ไม่เท่ากับระดับ Voltage ของ Running

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-5 a) ภาพเวกเตอร์เมื่อ $E_1 > E_2$
 b) ภาพเวกเตอร์เมื่อ $E_2 > E_1$

ถ้าหากว่าระดับ Voltage ของทั้งสองมีความแตกต่างกันเกิดขึ้นจะทำให้เกิดผลลัพธ์ของ Voltage จากผลต่างของ Voltage ทั้งสองขึ้น

ให้ E_1 = Incoming Voltage
 E_2 = Running Voltage

สมมุติ $E_1 > E_2$ (รูป a)

ทำให้เกิด $E_R = E_1 - E_2$
 E_R = Resultant Voltage

และเกิด $I_{SY} = \frac{E_R}{Z_S}$

เมื่อ I_{SY} = Synchronizing Current
 Z_S = Machine Synchronous Impedance

สำหรับ Power ที่เกิดขึ้น คือ

$P_S = I_{SY} \cdot E_R$ (Per Phase)

P_S = Synchronizing Power

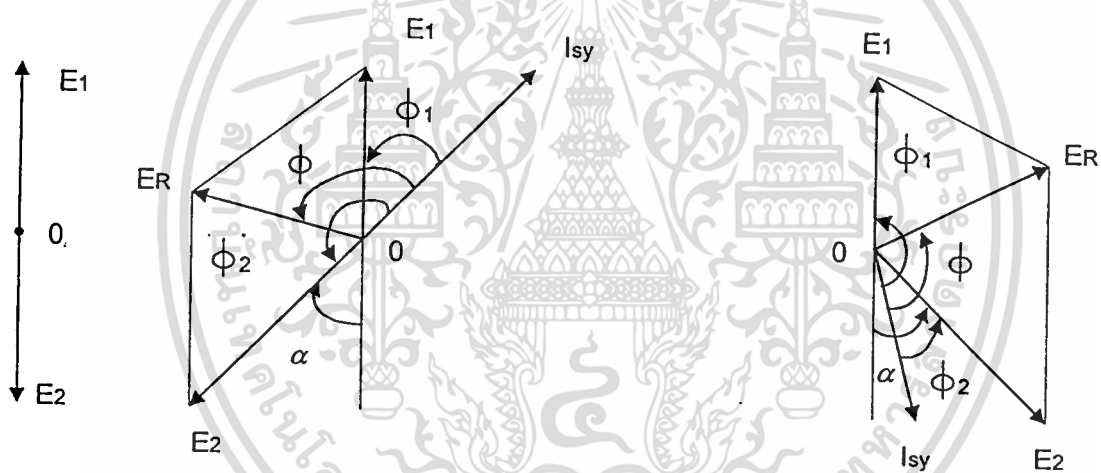
Total $P_S = 3I_{SY} \cdot E_R$

กรณีนี้ Incoming Voltage > Running Voltage ทำให้เกิด I_{SY} ที่เป็น Lagging Current โดยที่ถ้าหลัง E_R หรือ E_2 อยู่ประมาณ 90 องศา I_{SY} นี้จ่ายจาก Incoming Machine ทำให้เกิด Demagnetizing Effect ที่ Incoming Machine (E_1) ทำให้ลดน้อยลง

ในกรณี Running Voltage > Incoming Voltage ($E_2 > E_1$) ในรูป b จะทำให้เกิด I_{SY} เป็น Leading Current จะนำหน้า E_R หรือ E_2 อยู่ประมาณ 90 องศา เช่นกัน และ I_{SY} นี้จ่ายจาก System (Running E_2) เข้าสู่ Incoming Machine (E_1) ทำให้เกิด Magnetizing Effect กับ Incoming Magnetizing Effect กับ Incoming Machine (E_1) ทำให้ E_1 เพิ่มขึ้น

ถ้าทั้งสองกรณีนี้ความแตกต่างของ Voltage (E_R) ไม่มากนัก Magnetizing Effect หรือ Demagnetizing Effect จะช่วยปรับ Voltage ของ Incoming machine (E_1) ให้เท่ากับ Running หรือ System (E_2) ทำให้ภาวะการ Synchronize ยัง Stable อยู่ได้

2. เมื่อ Voltage Phase Angle ของ Incoming ต่างกับ Running (แต่ Voltage เท่ากัน)



ภาพที่ 2-6 a) ภาพเวกเตอร์เมื่อมุมของ $E_1 = E_2$
 b) ภาพเวกเตอร์เมื่อมุมของ E_1 นำหน้า E_2
 c) ภาพเวกเตอร์เมื่อมุมของ E_1 ถ้าหลัง E_2

ถ้าหากว่า Phase Angle ของแรงดันทั้งสองเท่ากัน (ดังรูป a) จะไม่มีผลต่างของแรงดัน (E_R) เกิดขึ้นและไม่เกิด Synchronizing Current (I_{SY}) เกิดขึ้น

ถ้า Voltage Phase Angle ของ Incoming (E_1) เกิดนำหน้า Voltage Phase Angle ของ Running (E_2) อยู่เป็นมุม α (Electrical Radian) ดังรูป b จะทำให้เกิดผลลัพท์ของแรงดัน E_R และมี Synchronizing Current I_{SY} เกิดขึ้น

เมื่อ $E_1 = E_2$ ให้ $E = E_1 = E_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $E_R \cong \alpha E$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E = Terminal Voltage (หรือ System Voltage)

α = Small Phase Angel Diff (Elec. Rading)

$$I_{SY} = \frac{E_R}{Z_S} = \frac{aE}{Z_S}$$

I_{SY} = จะล่าหลัง E_R อยู่เป็นมุม ϕ

โดยที่ $\tan \phi = \frac{X_S}{R_A}$

X_S = Machine Synchronous Reactance

R_A = Machine Armature Resistance

แต่ $R_A \ll X_S$

ดังนั้น $\phi \approx 90^\circ$

สำหรับ Synchronizing Power หาได้จาก

$$P_{SY} = a.E.I_{SY} \quad (\text{Per Phase})$$

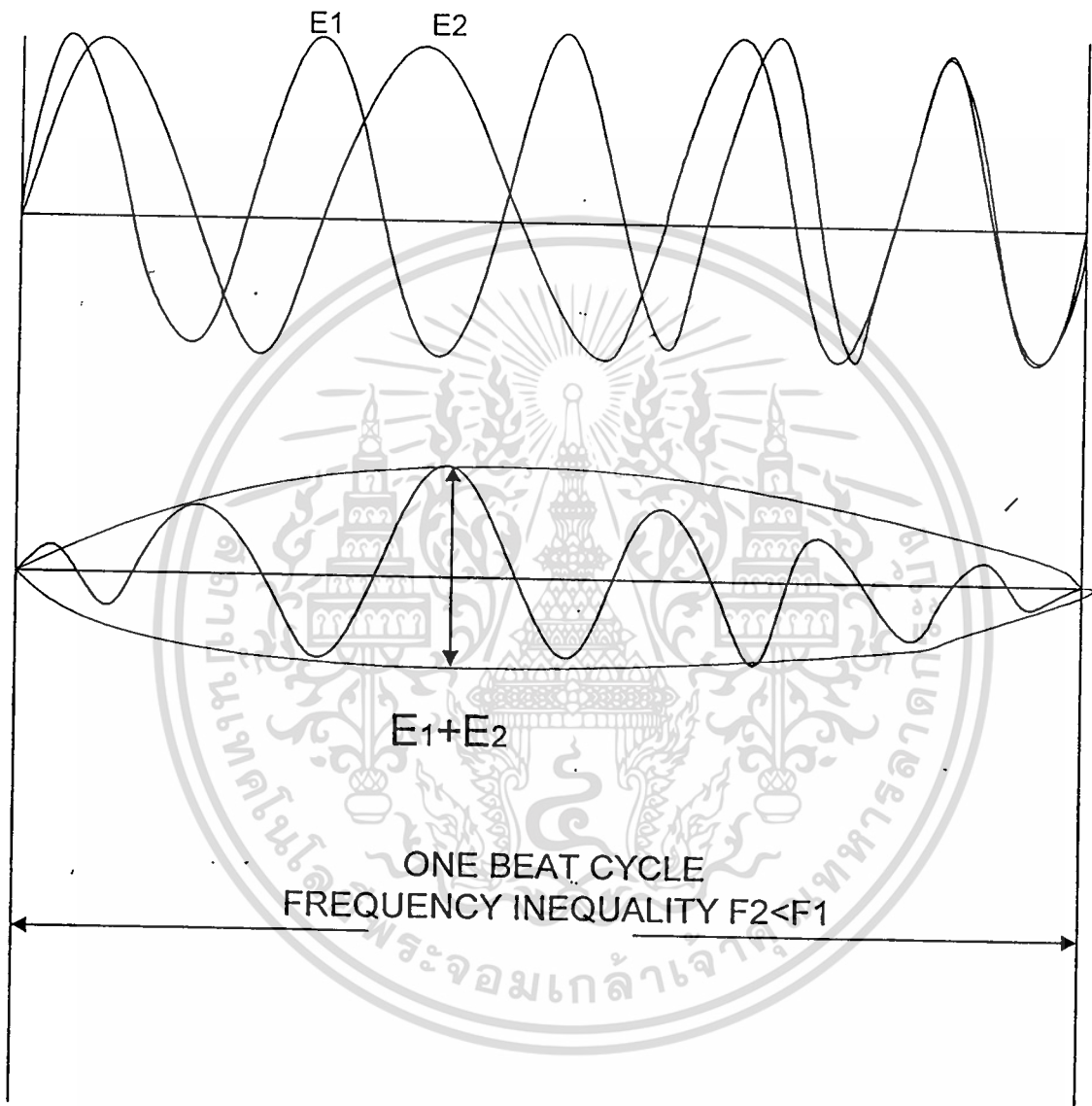
จาก การที่ I_{SY} lag $E_R \approx 90$ องศา และเกือบ Inphase กับ E_1 จะพบว่า Incoming Machine (E_1) จ่าย I_{SY} เข้าสู่ System (กระแสไหลในทิศทางเดียวกับ EMF. Machine จะเป็น Generator ถ้ากระแสไหลในทิศทางตรงกันข้ามกับ EMF. Machine จะเป็น Generator ถ้ากระแสไหลในทิศทางตรงกันข้ามกับ EMF. Machine จะเป็น Motor) กระแสจำนวนนี้จะทำให้เกิด Synchronizing Torque ด้านกับ Incoming Machine (Demagnetizing Effect) จะทำให้ความเร็วของ Voltage Phase Angle ของ E_1 ช้าลง มีผลให้มุม α เล็กลง ๆ

ในทางตรงกันข้ามถ้า Voltage Phase Angle ของ Incoming (E_1) เกิดล่าหลัง Voltage Phase Angle ของ Running (E_2) ดังรูป C อยู่เป็นมุม α จะทำให้เกิดผลลัพธ์ของแรงดัน E_R เช่นกัน และมี Synchronizing Current I_{SY} เกิดขึ้นโดยไหลจาก System เข้าสู่ Incoming Machine เป็น Magnetizing Current ให้กับ Incoming Machine ช่วยให้ความเร็วของ Voltage Phase Angle ของ E_1 เร็วขึ้น มีผลให้มุม α เล็กลง ๆ เหมือนกัน ทำนองเดียวกันกับข้อ 1 ถ้าหากมุม α ไม่โตมากนัก ผลของ I_{SY} จะทำให้ขนาดของมุม α ที่เกิดขึ้นเล็กลง และเกิดการ Synchronize กันได้ในที่สุด

3. เมื่อ Frequency ของ Incoming ต่างกับ Frequency ของ Running หาก Voltage ของ Incoming และ Running มีความถี่ต่างกัน เมื่อเกิด Superimpose กันขึ้น จะทำให้เกิด Pulsating Wave มีขนาดที่เวลาใด ๆ เท่ากับผลรวมทางพีชคณิตของ Component ทั้งสองดังภาพที่ 7 ซึ่งแทนเงื่อนไขในช่วงสั้น ๆ หลังการ Synchronize ที่ความถี่ต่างกันเล็กน้อย ($F_2 > F_1$)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแต่ละช่วงของ Pulsating Wave จะมี Synchronizing Current เกิดขึ้นซึ่งเกือบจะ Incoming กับ Voltage ที่มีค่าสูงกว่า (E_1) ผลอันนี้ทำให้เกิด Synchronizing Power ขึ้น



ภาพที่ 2-7 ภาพของมมต่างเฟสของแรงดันระหว่าง E_1 กับ E_2

กรณีที่ติแล้ว Synchronizing ของ Incoming Machine ควรจะเกิดขึ้นขณะเมื่อผลรวมระหว่าง Voltage ทั้งสองผ่านเข้าสู่จุด Zero ฉะนั้นก่อนที่จะ Synchronize ควรจะทำให้ Beat Frequency เกิดขึ้นช้า ๆ เพื่อว่าเมื่อ Synchronize พลาดจากจุด Zero และจะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของค่าระดับแรงดันซึ่งอาจจะขึ้นไปถึงค่าสูงสุด ($E_1 + E_2$) ได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการที่กล่าวมาในทางปฏิบัติแล้วควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดความแตกต่างในข้อ 1, 2 และ 3 มาก เพราะจะทำให้เกิดการส่งถ่ายพลังงานจำนวนมากระหว่าง Machine กับ System ซึ่งจะมีผลกระทบต่อทั้ง Machine และ System โดยเฉพาะ Generator มาตรฐาน ไม่ได้กำหนดให้ออกแบบไว้เพื่อทนกระแสและแรงทางกล (Mechanical Force) อันเกิดจากความไม่ถูกต้องของการ Synchronize ในข้อ 3 ซึ่งถือว่าเป็นกรณีที่อันตรายที่สุด เพราะว่าอาจจะทำให้ระดับแรงดันเพิ่มขึ้นเป็น 2E ได้ สำหรับกรณีข้อ 2 เปรียบเสมือน Generator เกิด Partial Short Circuit การส่งถ่ายกำลังจะเป็น Function ของมุม α กรณีนี้ความรุนแรงจะรองลงมาจากข้อ 3 ส่วนข้อ 1 นี้เป็นความรุนแรงน้อยกว่าข้ออื่น ๆ และโอกาสที่จะเกิดความแตกต่างของแรงดันทั้งสองมาก ๆ มีไม่บ่อยนัก

2.2.3 การ Synchronize ระหว่าง Generator กับ System ควรได้เงื่อนไขดังนี้

1. ระดับ Voltage ของ Generator ควรเท่ากับระดับ Voltage ของ System หรือ แตกต่างกันมากที่สุด ไม่ควรเกิน 10% ของ Rated Voltage
2. Voltage Phase Angle ของ Generator ควรเท่ากับ Voltage Phase Angle ของ System หรือแตกต่างกันมากที่สุดไม่เกิน 15 องศา
3. Frequency ของ Generator ควรมากกว่า Frequency ของ System เล็กน้อย ประมาณ 0.4 - 0.75 % ของ Rated Frequency เพื่อให้ Generator รับ Load ทันทีหลังจาก Synchronize (ทั่ว ๆ ไป ประมาณ 2 - 10 % ของ Rated Full Load)
4. Phase Sequence ของทั้งสองต้องเหมือนกัน หรือได้ลำดับกันเช่น ABC กับ ACB
5. Speed Droop Characteristics ของ Machines ใน System และ Incoming ควรใกล้เคียงกันหรือไม่แตกต่างกันมาก

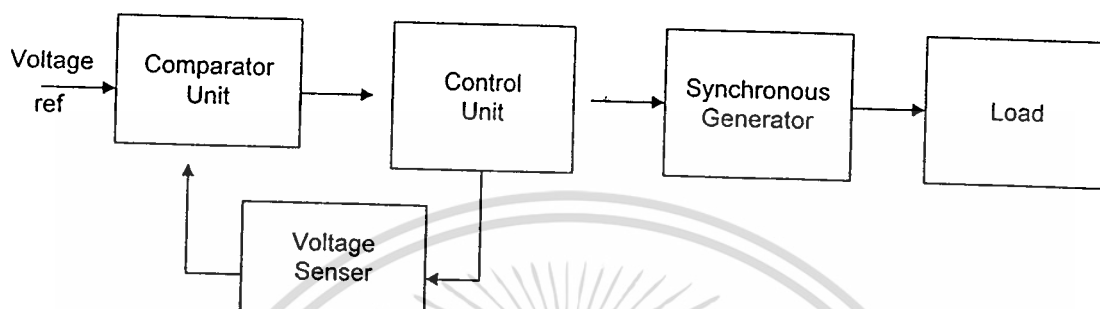
2.2.4 Synchronize ระหว่าง System กับ System (Bus กับ Bus)

1. ระดับ Voltage ของทั้งสอง System ควรเท่ากัน หรือแตกต่างกันไม่เกิน 10 - 20 % ของ Rated System Voltage
2. Voltage Phase Angle ของทั้งสอง System ควรเท่ากัน หรือแตกต่างกันมากที่สุดไม่ควรเกิน 20 องศา
3. Frequency ของทั้งสอง System ควรเท่ากันหรือ แตกต่างกันมากที่สุดไม่เกิน 0.2% ของ Rated Frequency

2.3 ส่วนควบคุมความถี่โดยอัตโนมัติ

ระบบไฟฟ้าโดยทั่วไป เป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นความถี่สัญญาณแรงดันที่ผลิต จึงต้องควบคุมให้มีขนาดคงที่ เนื่องจากถ้ามีการเปลี่ยนแปลงความถี่เกินขอบเขตที่กำหนดไว้ จะทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ไฟฟ้า และยังทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหล่านั้นไม่สามารถเชื่อมโยงเข้ากับระบบ

ได้ต่อไป ทำให้เสถียรภาพของระบบเสียไปดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมความถี่ของสัญญาณแรงดันที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีขนาดคงที่ตามที่กำหนด หรือเปลี่ยนแปลงอยู่ในขอบเขตที่สามารถยอมรับได้ การควบคุมความถี่สามารถทำการควบคุมได้ โดยใช้ชุดควบคุมความถี่อัตโนมัติดังภาพที่ 2-8



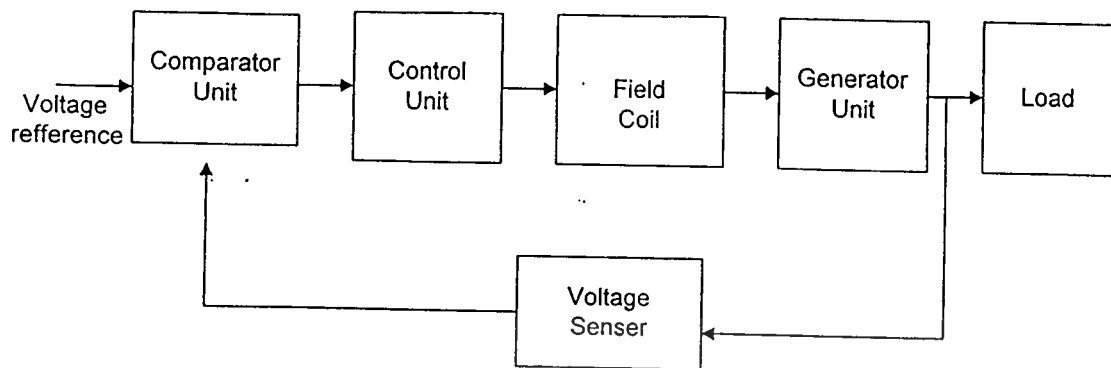
ภาพที่ 2-8 รายละเอียดของชุดควบคุมความถี่โดยอัตโนมัติ (ALFC)

การควบคุมความถี่ของแรงดันที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำได้โดย การควบคุมเอาต์พุตของตัวต้นกำลัง ตัวต้นกำลังที่ใช้ในการรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอาจได้แก่กังหันน้ำ ซึ่งการควบคุมเอาต์พุตของกังหันน้ำก็คือ การควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลผ่านตัวกังหันน้ำ หรือในกรณีใช้เครื่องชนิดดีเซล เป็นตัวต้นกำลัง การควบคุมก็จะเป็นการควบคุม ปริมาณน้ำมันที่ฉีดเข้ากระบอกสูบในขณะที่เครื่องยนต์เกิดการสันดาปนี้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานเป็นตัวต้นกำลัง ซึ่งถ้าสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ให้คงที่ได้ย่อมทำให้ความถี่ของแรงดันคงที่ด้วย ดังนั้นการออกแบบชุดควบคุมความถี่อัตโนมัติสำหรับโครงการนี้จึงเป็นการออกแบบ ชุดควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นด้วยตัวเองนั่นเอง

2.4 ส่วนควบคุมระดับแรงดันขั้วโดยอัตโนมัติ

วัตถุประสงค์ในการควบคุมระดับแรงดันขั้ว ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น จะเหมือนกับวัตถุประสงค์ ในการควบคุมความถี่ สัญญาณแรงดัน ให้มีขนาดคงที่ คือ เป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดแก่อุปกรณ์ไฟฟ้า และช่วยรักษาเสถียรภาพของระบบผลิต คือป้องกันการหลุดจากการซิงโครไนซ์ (loss synchronizer) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

พิจารณาภาพที่ 2-9 ซึ่งแสดงบล็อกไดอะแกรม ของชุดควบคุมแรงดันขั้วโดยอัตโนมัติ



ภาพที่ 2-9 รายละเอียดชุดควบคุมแรงดันขั้วอัตโนมัติ

การควบคุมระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้ระดับแรงดันมีค่าคงที่อยู่ตลอด หรือเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

การควบคุมระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส สามารถทำได้สองวิธีด้วยกันคือ โดยการควบคุมการกระตุ้น (Excitation) ที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Winding) และการปรับความเร็วรอบของตัวหมุน (Speed of rotor) แต่การปรับความเร็วรอบของตัวหมุนนั้น จะทำให้ความถี่ไฟฟ้า ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส ผลิตออกมาเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้น จึงทำการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า โดยการควบคุมการกระตุ้นที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก

2.5 วงจรทรigger (TRIGGER CIRCUIT)

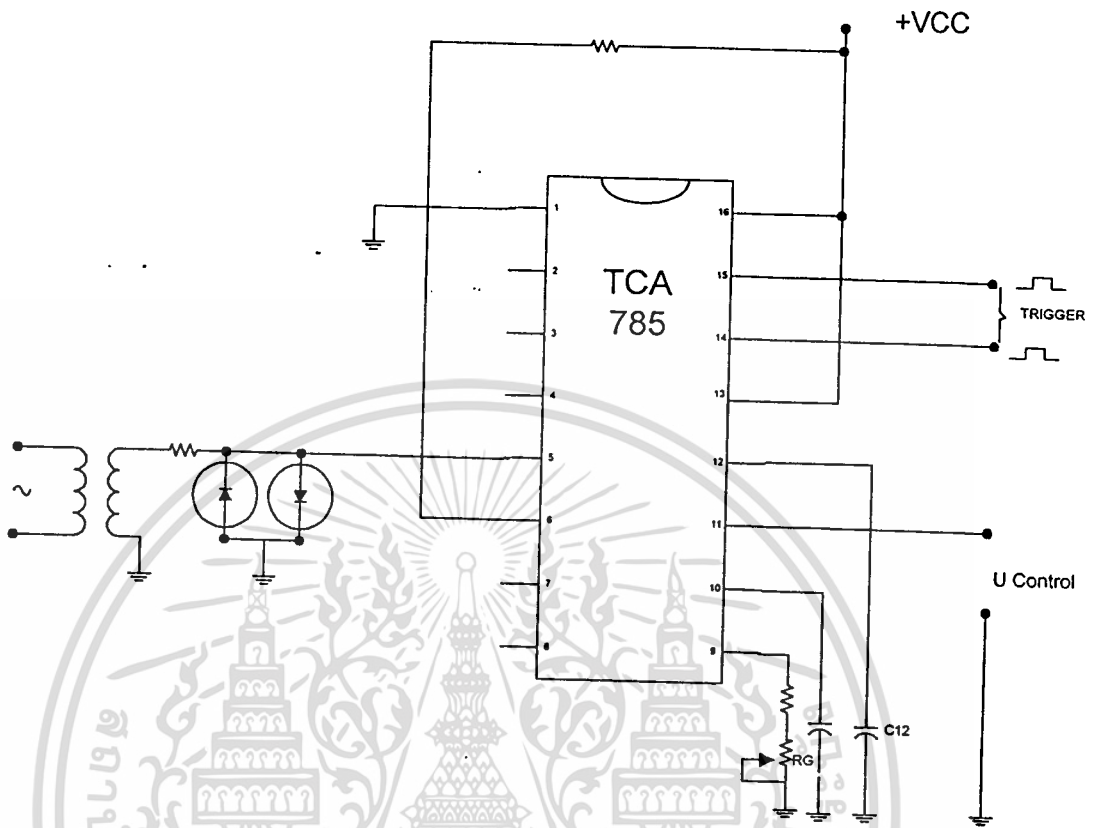
การสร้างวงจรรtriggerให้กับ เอส ซี อาร์ นั้นมีหลายรูปแบบ หลายวิธี ส่วนการที่จะใช้แบบไหนดีนั้นขึ้นอยู่กับความสะดวก และความเหมาะสม ในที่นี้ก็เป็นรูปแบบหนึ่งที่ใช้สร้างสัญญาณทรiggerให้กับ เอส ซี อาร์ ที่มีอุปกรณ์ค่อนข้างน้อยใช้ได้สะดวก

วงจรสร้างสัญญาณทรigger แบ่งได้เป็น 2 ภาค คือ

1. วงจรกำเนิดสัญญาณทรiggerวงจรนี้เราให้ IC เบอร์ TCA785 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณโดยอาศัยสัญญาณซิงค์ ที่ detect ออกมาจาก line ซึ่งจะนำเอามาเปรียบเทียบกับสัญญาณ ramp ก็จะได้สัญญาณ trig เป็นลักษณะ pulse ออกมาทาง O/P ของ IC TCA 785 ส่วนในการปรับมุม trig สามารถปรับได้ และตำแหน่งที่เกิดสัญญาณพัลส์นี้ก็สามารถเปลี่ยน หรือเลื่อนไปได้ตามมุมต่าง ๆ เมื่อเทียบกับสัญญาณซิงค์ โดยการปรับความชัน (slop) ของสัญญาณเรมป์ หรือปรับแรงดันคอนโทรลก็ได้ก็จะทำให้มุมทรiggerเปลี่ยนไป

ภาคควบคุมให้สัญญาณทรigger ซึ่งภาคนี้จะได้รับสัญญาณมาจากคำสั่งให้มีการหยุดเมื่อมีคำสั่งหยุดภาคนี้ จะทำให้สัญญาณทรiggerเป็นศูนย์ (โดยให้ขา 6 ของ IC TCA 785 เป็นศูนย์) และในสภาวะปกติภาคควบคุมนี้จะให้ลอจิก “ 1 “ กับขา 6 สัญญาณทรiggerก็จะมีปรากฏออกมาตามปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

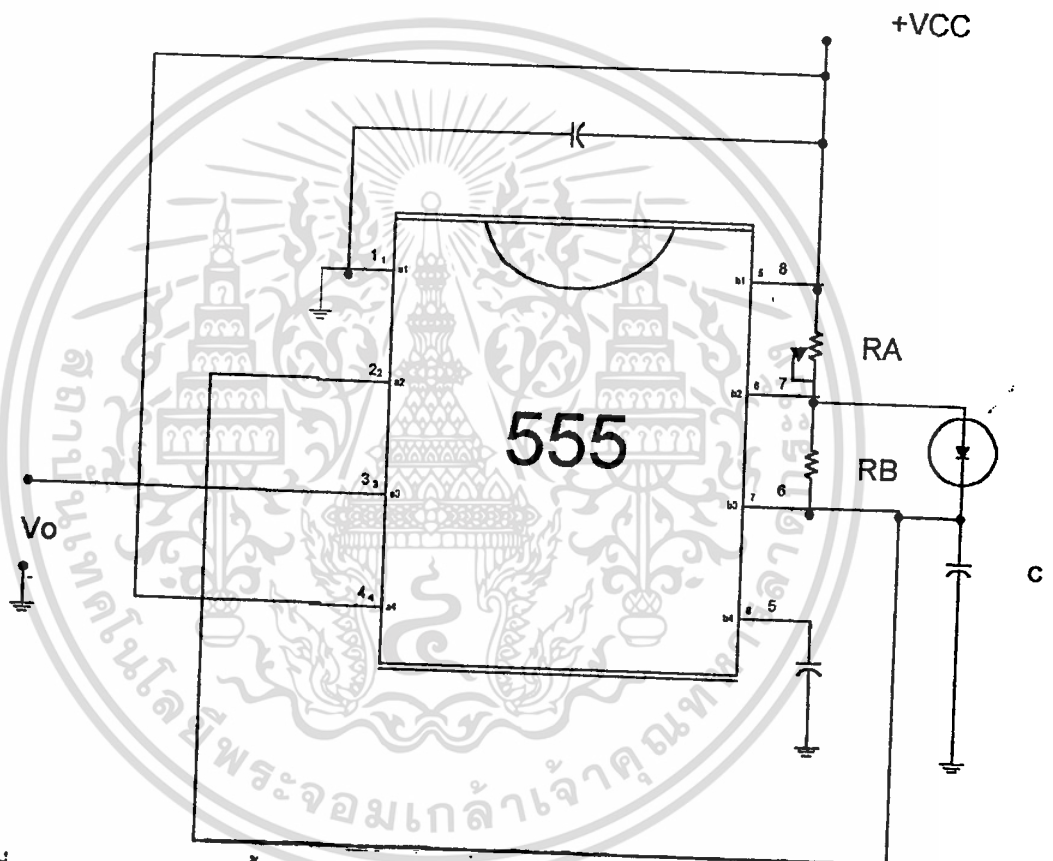


ภาพที่ 2-10 วงจรกำเนิดสัญญาณทริกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคมอดูเลทความถี่สูง เนื่องจากเราต้องการทริก เอสซีอาร์ด้วยความถี่สูง แต่สัญญาณที่ได้มาจากชุดทริกนั้นเป็นสัญญาณความถี่ต่ำ ดังนั้นเราจึงต้องนำมอดูเลทกับความถี่สูงเสียก่อน เพื่อจะได้สัญญาณความถี่สูง แล้วจึงนำสัญญาณไปขับทรานซิสเตอร์ เพื่อเป็นตัวช่วยในการจ่ายกระแสให้เอสซีอาร์

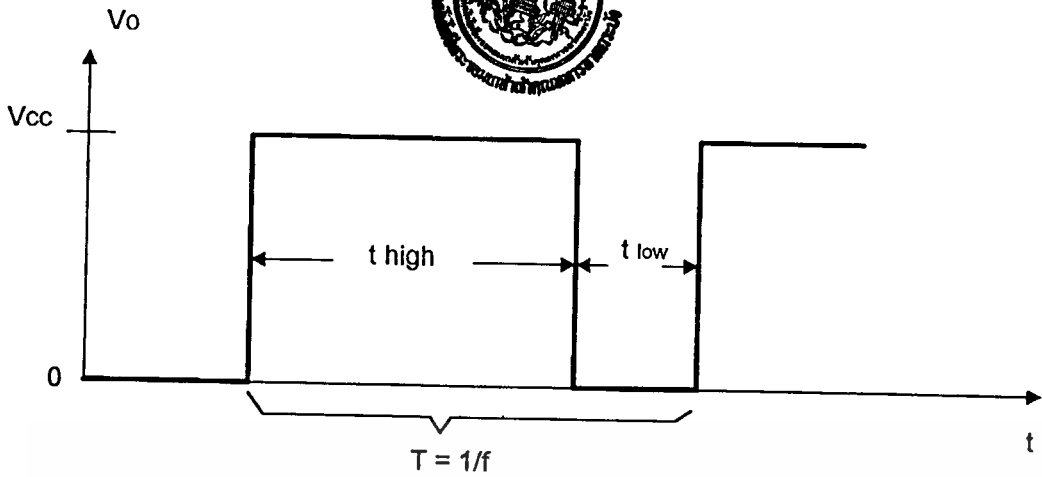
ภาคกำเนิดสัญญาณความถี่สูง ซึ่งใช้เป็นสัญญาณที่นำไปมอดูเลทกับความถี่สูง โดยใช้วงจระอสเคเบิล (IC 555) เป็นตัวกำเนิดสัญญาณ



ภาพที่ 2-12 วงจระอสเคเบิล โดยใช้ IC 555

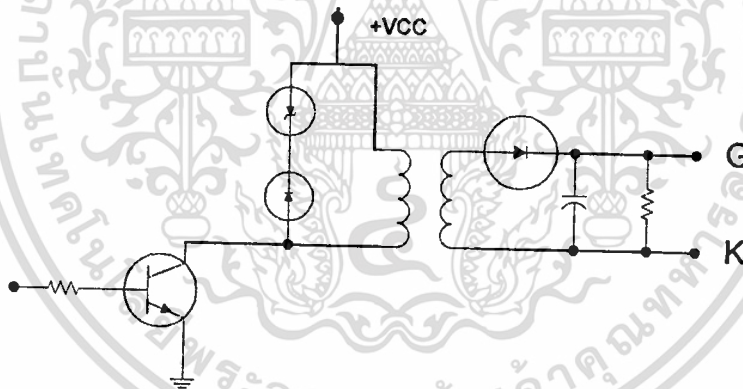
$$\begin{aligned}
 t_{\text{high}} &= 0.695 (R_A + R_B) C \\
 t_{\text{low}} &= 0.695 R_B C \\
 T &= t_{\text{high}} + t_{\text{low}} = 0.695 (R_A + 2R_B) C
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-13 รูปคลื่นเข้าพุท จากขา 3 ของ TC 555

ภาคขับปลั้่งสัญญาณ จะใช้พัลส์ทรานส์ฟอร์มเมอร์ เป็นตัวขับปลั้่ง สัญญาณความถี่สูง และเป็นตัวแยกกราวด์ ระหว่างวงจรกำลังกับ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วย

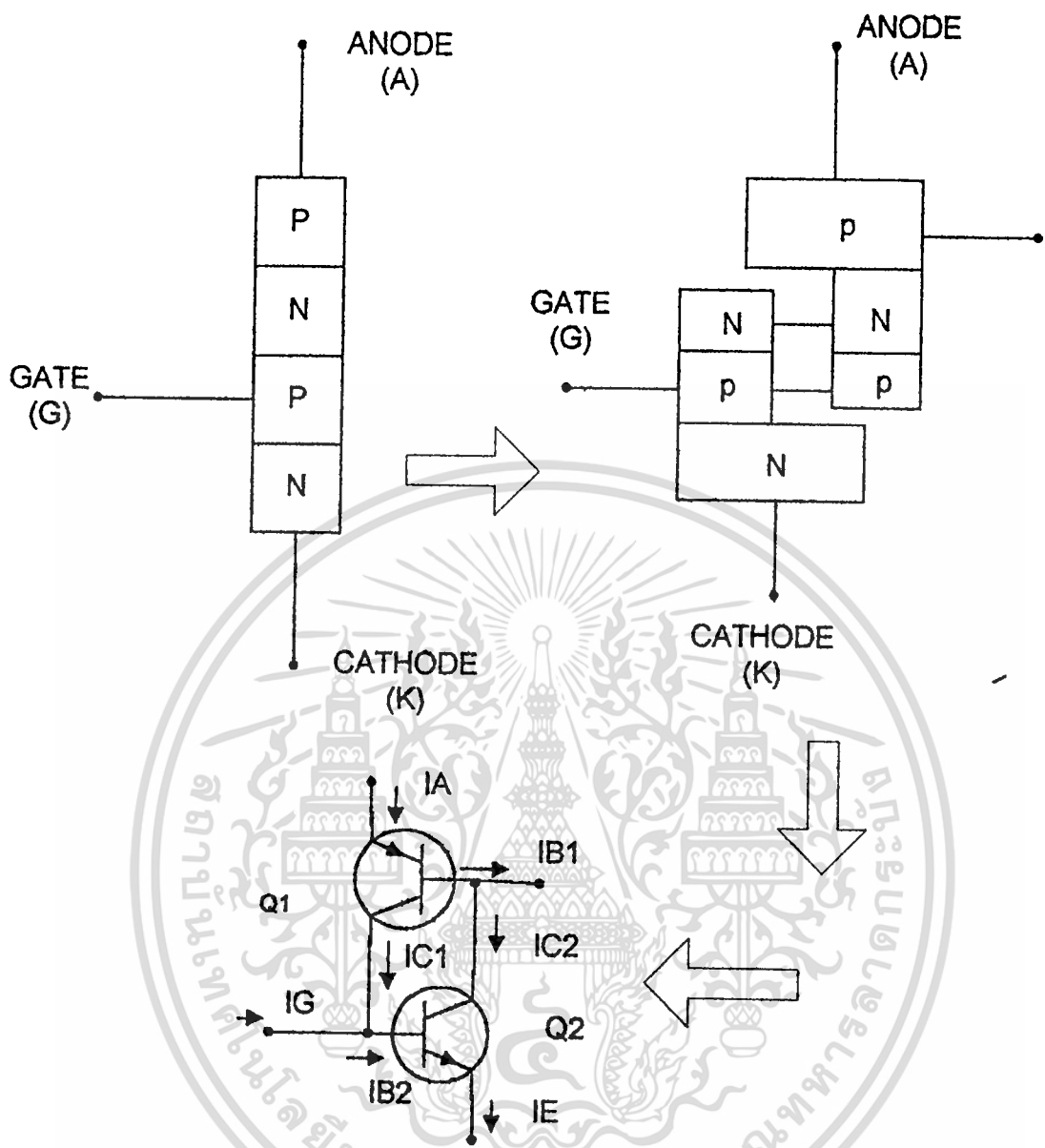


ภาพที่ 2-14 ภาคขับปลั้่งสัญญาณ โดยพัลส์ทรานส์ฟอร์มเมอร์

2.6 เอสซีอาร์

ข้อดีประการหนึ่งของทรานซิสเตอร์ ก็คือ สามารถควบคุมการทำงานได้ง่าย เพราะ ทรานซิสเตอร์จะทำงานขึ้นอยู่กับกระแสเบสออก ทรานซิสเตอร์ที่ใช้งานทั่ว ๆ ไปมักจะมีขนาดที่ทน กระแสและแรงดันได้ต่ำ และนอกจากนี้ยังทนต่อสัคคาแรงดันชั่วขณะได้ไม่ดี ดังนั้นเราจึงต้องแสวงหา อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดใช้ได้ในงานที่ต้องการกำลังงานและกระแสสูง ๆ

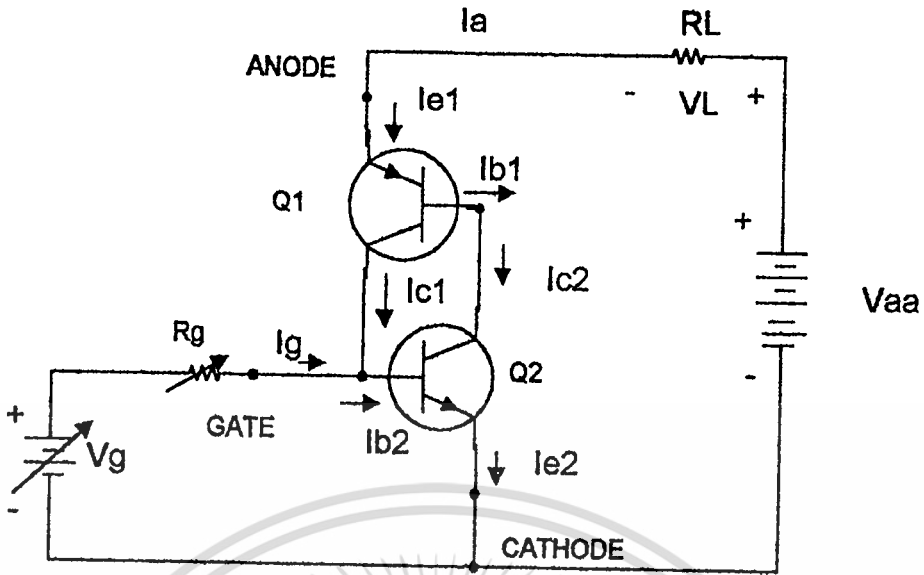
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-15 โครงสร้างของเฮตซีอาร์

การทำงานของเฮตซีอาร์ คือ ขณะที่ยังไม่มีกระแสไหลเข้าเกตส์คาโทดแรงดันที่แอโนดเมื่อเทียบกับคาโทดจะเป็นบวกหรือลบก็ตาม เฮตซีอาร์จะไม่นำกระแส และขณะที่มีกระแสไหลเข้าเกตส์คาโทดแรงดันที่แอโนด เทียบกับคาโทดเป็นลบเฮตซีอาร์ก็จะไม่นำกระแส แต่เมื่อแรงดันที่แอโนดเทียบกับคาโทดเป็นบวก และมีกระแสไหลเข้าเกตส์คาโทดตามที่ได้อั้ววงจรใน ภาพที่ 2-16 เฮตซีอาร์จะนำกระแส การจ่ายกระแสไหลเข้าเกตส์คาโทดเพื่อให้เฮตซีอาร์นำกระแสเรียกกันว่า ทำการทริกเฮตซีอาร์ให้นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2 - 16 แสดงวงจรนำกระแสของเอสซีอาร์

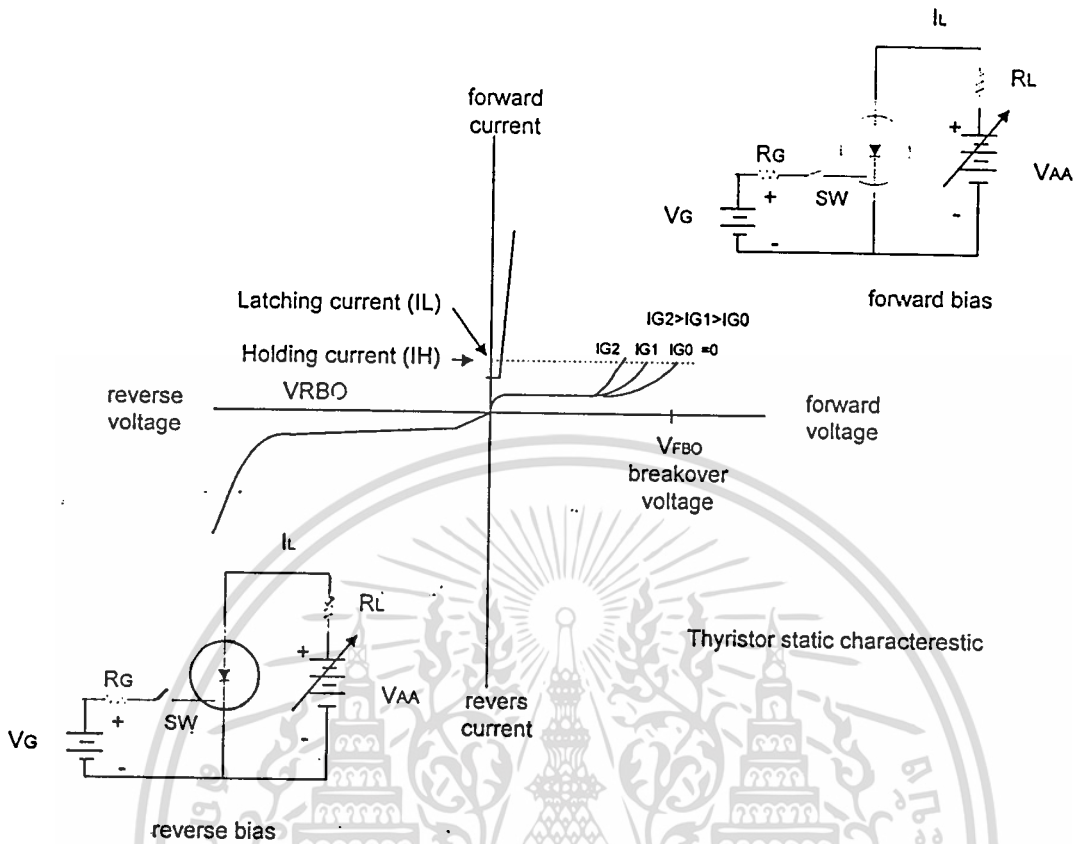
พิจารณาคำวงจรที่แสดงในรูปที่ 2 - 16 เมื่อมีกระแส I_x ไหลเข้าสู่เบสตัวอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q2 (NPN) หรือมีกระแสไหลเข้าสู่เกตคาโทดของเอสซีอาร์จะมีกระแสไหลเข้าคอนดักเตอร์ (I_{c2}) ของทรานซิสเตอร์ Q2 (NPN) เท่ากับ β_2 เท่าของ I_x (ค่า $\beta_2 = i_{c2} / i_{b2}$ กระแส i_{c2}

จะเท่ากับ i_{b2} ซึ่งจะทำให้มีกระแสไหลจากขั้วบวกของ V_{aa} ผ่าน R_1 เข้าอิมิตเตอร์เบสของทรานซิสเตอร์ Q1 และผ่านคอนดักเตอร์ตัวอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q2 (NPN) ครบวงจรที่ขั้วลบของ V_{aa} และกระแสเบส (i_{b1}) จะทำให้มีกระแส i_{c1} ไหลจากอิมิตเตอร์เข้าสู่คอนดักเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q1 เท่ากับ 1 เท่ากับของ i_{b1} กระแส i_{c2} จะเท่ากับ i_{c1} รวมกับ i_x จนในที่สุดทรานซิสเตอร์ทั้งสองนำกระแส หรือเรียกกันว่า เอสซีอาร์นำกระแสคือ ความต้านทานระหว่างขั้วแอโนดและคาโทดของเอสซีอาร์ มีค่าต่ำมาก แรงดันไฟฟ้าเกือบทั้งหมดจะไปตกคร่อมโหลด R_L โดยมีแรงดันไฟฟ้าคร่อมเอสซีอาร์น้อยมากจะเห็นว่าสามารถใช้กระแสจ่ายเข้าเกตเพียงเล็กน้อย ก็สามารถจะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้ และเมื่อจ่ายกระแสเข้าเกตเพียงชั่วครู่แล้วหยุดจ่ายกระแสเข้าเกต กระแส I_{b2} จะเท่ากับ i_{c1} เอสซีอาร์ก็จะยังนำกระแสอยู่กล่าวสรุปได้ว่าเมื่อทำการทริกให้เอสซีอาร์นำกระแสแล้ว เอสซีอาร์จะยังคงนำกระแสต่อไป แม้จะนำกระแสทริกออกแล้ว

คุณสมบัติของเอสซีอาร์

ในรูปที่ 2 - 17 แสดงคุณสมบัติของเอสซีอาร์ในสภาวะ steady-state ระหว่างแรงดันคร่อมตัวเอสซีอาร์และกระแสที่ผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2 - 17 คุณสมบัติของเอสซีอาร์ในสภาวะ steady-state

1. แรงดันไบอัสตรงจุดชนวน หรือแรงดันพังขณะไบอัสตรง (forward breakdown voltage) คือแรงดันที่ป้อนชั่วคราวให้กับแอโนดและลบให้กับคาโทดแล้ว เอสซีอาร์จะนำกระแสได้และถ้าไม่มีตัวจำกัดกระแสภายนอกเอสซีอาร์ก็จะพังทันทีที่การนำกระแสของเอสซีอาร์นี้ไม่ต้องมีการทรigger สัญลัษณ์ที่ใช้แทนแรงดันพังนี้ใช้ B_v หรือ V_{bo} ในการใช้งานเอสซีอาร์ เรามักจะไม่ให้เอสซีอาร์นำกระแสด้วยการป้อนแรงดันนี้ เพราะจะเป็นการเสี่ยงต่อการเสียหายของเอสซีอาร์อยู่มาก ดังนั้นเมื่อใช้งานที่แหล่งจ่ายไฟสูงสุด 400 โวลท์ เราจะต้องให้แรงดันค่านี้นี้มีค่ามากกว่า 400 โวลท์

2. แรงดันบล็อกกิ้งขณะไบอัสตรง (forward blocking voltage) แรงดันบล็อกกิ้งขณะไบอัสตรงนี้คือ ค่าแรงดันสูงสุดที่คร่อมเอสซีอาร์ที่ทำให้มันนำกระแส ผู้ผลิตบางบริษัทก็ใช้ค่าแรงดันไบอัสตรงจุดชนวนเพราะความหมายใกล้เคียงกันมาก เอสซีอาร์ที่มีแรงดันบล็อกกิ้งขณะไบอัสตรง 400 โวลท์ จะใช้กับแรงดันไฟสูงสุด 400 โวลท์ไม่ได้ สัญลัษณ์ที่ใช้จะชื่อว่า V_{odm} $V_{f(om)}$ V_{fx}

3. กระแสไบอัสตรงสูงสุด (maximum forward current) กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ขณะที่มันนำกระแสจะแปรตามอุณหภูมิที่ขั้วต่อของเอสซีอาร์ โดยปกติกระแสจะเป็นกระแสที่ทำให้รอยต่อเกิดไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนจนมันพังได้ ดังนั้นในขณะที่ใช้งานจึงต้องเลือกค่ากระแสไบอัสตรงสูงสุดให้พอเหมาะ จากข้อเสนอแนะของผู้ผลิตได้กล่าวไว้ว่า ถ้าให้กระแสใช้งานมีค่าเฉลี่ย 1 แอมป์ จะต้องเลือกเอสซีอาร์ ที่มีกระแสไบอัสตรงสูงสุดอย่างน้อย 1.57 แอมป์ และจะต้องมีแผ่นระบายความร้อนด้วย ค่ากระแสนี้ใช้สัญลักษณ์ว่า I_{Tmax}

4. กระแสจุดชนวนเกต (gate trigger current) เป็นกระแสที่ใช้ในการทริกหรือจุดชนวนให้เอสซีอาร์ทำงาน โดยทั่วไปผู้ผลิตมักจะบอกค่ากระแสนี้เป็นค่ากระแสต่ำสุดที่ต้องการเพื่อนำไปจุดชนวนให้เอสซีอาร์ทำงาน โดยใช้สัญลักษณ์ย่อว่า $I_{xt(min)}$

5. แรงดันจุดชนวนเกต (gate trigger voltage) เป็นค่าแรงดันที่ใส่เข้าทางเกตเมื่อเทียบกับคาโทด แรงดันที่ให้ที่เกตนี้อาจมีค่าเท่ากับแรงดันจุดชนวนแล้วจะทำให้เอสซีอาร์นำกระแส ค่าแรงดันนี้ใช้สัญลักษณ์ V_{xt}

6. กระแสโฮลดิ้ง (holding current) เป็นค่ากระแสที่ไหลระหว่างแอนโอดคาโทดที่ต่ำที่สุดที่ยังทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้ หลังจากที่ทำการจุดชนวนเกตกระแสโฮลดิ้ง จะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนคือ I_h

7. แรงดันไบอัสกลับสูงสุด (peak reverse voltage) โดยปกติถ้าทำการไบอัสกลับระหว่างแอนโอดกับคาโทดจะทำให้เอสซีอาร์มีลักษณะเหมือนกับไดโอดตัวหนึ่ง ดังนั้นถ้าหากให้แรงดันไบอัสกลับสูงมากจนเกินไปแล้ว เอสซีอาร์ก็จะพังเสียหายได้ เอสซีอาร์ทั่วไปจะให้แรงดันไบอัสกลับ ในขณะที่เกิดขึ้นกันบ่อย ๆ หรือถี่มากตามลูกคลื่นที่ใช้ได้ต่ำกว่าแรงดันไบอัสกลับที่มีพัลซ์ของแรงดันชั่วขณะ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนแรงดันไบอัสกลับสูงสุดคือ V_r

a. แรงดันไบอัสกลับสูงสุดที่เกต (peak reverse gate voltage) ในสภาวะที่เอสซีอาร์ได้รับการไบอัสกลับจะทำให้มันไม่นำกระแสการที่มันไม่นำกระแสนั้นก็หมายความว่าเรายังไม่มีทรริกที่เกตของเอสซีอาร์ แต่ถ้าเราให้เกตกับคาโทดมีแรงดันไบอัสกลับมันจะมีค่าแรงดันสูงสุดค่าหนึ่งที่ทำให้รอยต่อเกตพัง ค่าแรงดันนี้เรียกว่าแรงดันไบอัสกลับสูงสุดที่เกต (peak reverse gate voltage) ใช้สัญลักษณ์ว่า V_{rsm}

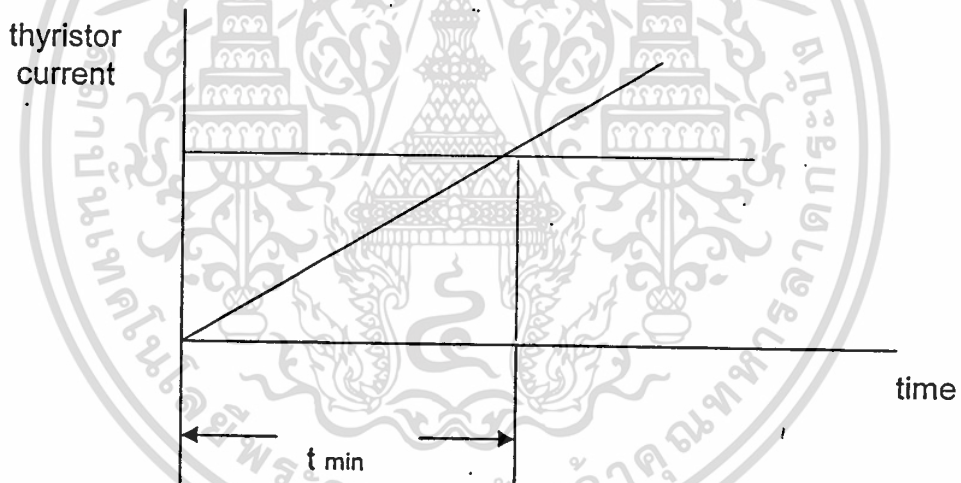
9. กระแสเกตสูงสุด (maximum gate current) ในการทริกให้เอสซีอาร์นำกระแสนั้นเราทำได้โดยการให้กระแสกับเกตมัน ค่ากระแสนี้จะมีขอบเขตจำกัดทางด้านค่าสูงสุดนั่นคือ ค่ากระแสสูงสุดที่ทำให้ตัวเอสซีอาร์พังได้ ดังนั้นในการทริกเอสซีอาร์ให้นำกระแสจะต้องให้ค่ากระแสนี้มีค่ากระแสเกตสูงสุดสัญลักษณ์ที่ใช้คือ V_{xmax}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาของสัญญาณทริกเกอร์

ในการทำให้เอสซีอาร์นำกระแสโดยสัญญาณทริกเกอร์นั้นสัญญาณทริกเกอร์จะต้องมีระยะเวลาที่นานจนกระทั่งกระแสผ่านเอสซีอาร์มากกว่ากระแสค้าง (latching current) ดังรูปที่ 2 - 19 ถ้าสัญญาณทริกเกอร์สิ้นสุดก่อนที่กระแสผ่านเอสซีอาร์มากกว่ากระแสค้าง จะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสเมื่อสัญญาณทริกเกอร์สิ้นสุดลง ฉะนั้นสัญญาณทริกเกอร์จะต้องมีระยะเวลาที่นานจนกระทั่งกระแสผ่านเอสซีอาร์มากกว่ากระแสค้างจึงจะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสต่อไป โดยสามารถนำสัญญาณทริกเกอร์ออกเอสซีอาร์ก็จะยังคงนำกระแสต่อไปในรูปที่ 2 - 18 แสดงเวลาน้อยที่สุด (t_{min}) ที่จะต้องรักษาสัญญาณทริกเกอร์ไว้

ในกรณีที่โหลดเป็นอินดักทีฟกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์สู่อินดักทีฟโหลดจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ฉะนั้นระยะเวลาของสัญญาณทริกเกอร์จะต้องนานจนกระทั่งกระแสไหลมากกว่ากระแสค้างเอสซีอาร์ จึงจะนำกระแสต่อไปได้



Trigger pulse width must exceed t_{min}

ภาพที่ 2 - 18 แสดงเวลาน้อยที่สุด ที่จะต้องรักษาสัญญาณทริกเกอร์

วิธีการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส

ทรานซิสเตอร์สามารถทำให้หยุดนำกระแสโดยการหยุดจ่ายกระแสเข้าเบสแต่สำหรับเอสซีอาร์จะไม่หยุดนำกระแสโดยหยุดจ่ายกระแสเข้าเกตเอสซีอาร์ เอสซีอาร์จะหยุดนำกระแส เมื่อลดกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ลดต่ำกว่ากระแสยึด (holding current) เป็นเวลานานกว่า turn-off-time (t_o) ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของเอสซีอาร์นี้ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทำให้กระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ต่ำกว่ากระแสขีด สามารถทำได้โดยการลดแรงคร่อมเอสซีอาร์ลงสู่ศูนย์ หรือจ่ายแรงดันรีเวอร์คไบอัสให้เอสซีอาร์ วิธีการพื้นฐานของการทำให้ เอสซีอาร์หยุดนำกระแสสามารถจัดแบ่งได้ 3 วิธีคือ

1. การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสโดยแหล่งจ่ายไฟเป็นกระแสสลับซึ่งเรียกกันว่า line commutation หรือ natural commutation คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันไฟฟ้าจะตกลงสู่ศูนย์ และมีแรงดันไฟฟ้ากลับทิศทาง ซึ่งจะเป็นการจ่ายรีเวอร์คไบอัสแก่เอสซีอาร์ในทุกไซเคิล และกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์จะตกลงสู่ศูนย์ ซึ่งถ้าเป็นเวลานานกว่า turn-off-time (t_r หรือ T_{off}) ก่อนที่จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าฟอร์เวิร์ดอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเป็นวิธีการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสในการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (converters) และการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยการควบคุมเฟส

2. การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสโดยการจัดโหลดให้เหมาะสม (load commutation) ใช้ในวงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยวิธีการชอปเปอร์ (choppers) และวงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (inverters) คือเมื่อเอสซีอาร์นำกระแสเป็นการสวิตช์ไฟเข้าโหลด ซึ่งประกอบด้วยตัวความต้านทาน, อินดักเตอร์, คาปาซิเตอร์ที่มีค่าเหมาะสมโดยอยู่ในสภาวะ under-damped กระแสที่ไหลผ่านโหลดจะตกลงสู่ศูนย์โดยธรรมชาติ เมื่อกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ต่ำกว่ากระแสขีดเป็นเวลานานกว่า turn-off-time จะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสได้

3. การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสโดยวิธีการบังคับ (force commutation) เป็นการทำให้กระแสไหลลดลงสู่ศูนย์ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้กระแสเนื่องจากการคายประจุของคาปาซิเตอร์ หรือจ่ายรีเวอร์คไบอัสซึ่งประจุในคาปาซิเตอร์ให้แก่เอสซีอาร์

TURN - OFF TIME ของเอสซีอาร์

turn-off time (t_r หรือ t_{off}) ของเอสซีอาร์เป็นระยะเวลาตั้งแต่การทำให้การแสไหลผ่านเอสซีอาร์ไหลย้อนกลับ แล้วกลับสู่ศูนย์ (ช่วงเวลาเอสซีอาร์กลับคืนสภาวะใหม่ที่เรียกว่า reverse recovery time - t_r จนถึงเวลาที่สามารถจ่ายแรงดันฟอร์เวิร์คไบอัสอีกครั้ง โดยไม่ทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้

turn-off time เป็นค่าที่บอกไว้ใน data sheet โดยมีข้อกำหนดของอุณหภูมิที่ junction, I_r

และ ดังเช่นที่แสดงในหัวข้อ switching states ของ data sheet ซึ่งหมายความว่าช่วงเวลา ก่อนที่เอสซีอาร์จะหยุดนำกระแส (turn-off) กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ในทางฟอร์เวิร์ค (I_r) จะต้องไม่เกิน 150 A อุณหภูมิ junction T; ไม่เกิน 125 C และอัตราการลดลงของกระแสฟอร์เวิร์คต้องไม่น้อยกว่า 50 A/sec แล้วเอสซีอาร์ยังคงรักษาสภาวะหยุดนำกระแสเป็นเวลานานอีก 60 sec จึงเริ่มจ่ายแรงดันฟอร์เวิร์คใหม่อีกครั้งด้วยอัตราการเพิ่มที่ไม่เกิน 20 v/sec โดยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (linear) สู่แรงดัน 0.8

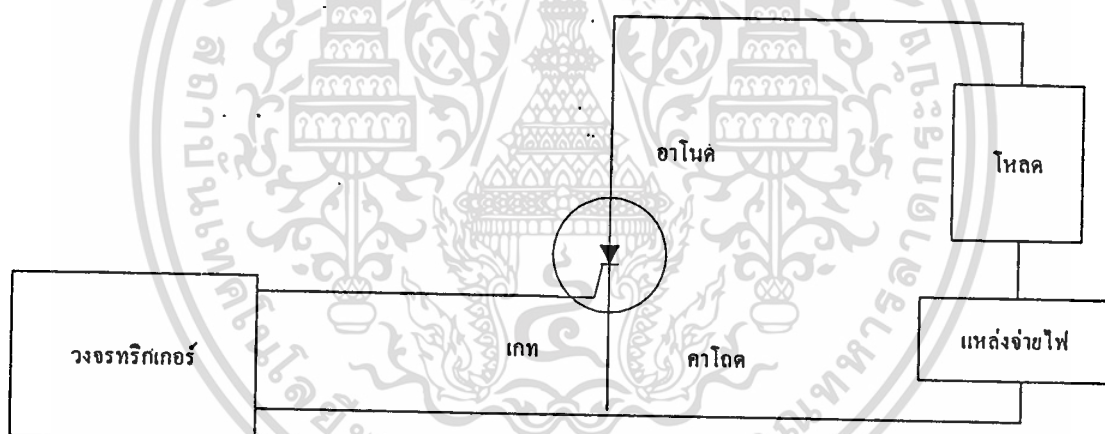
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

inverter SCR'S ซึ่งมี turn-off time ระหว่าง 5 - 50 sec ซึ่งใช้ในวงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยวิธีการชอปเปอร์ (chopper) และวงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (inverters)

สำหรับเอสซีอาร์ที่มี turn-off time = 60 sec สามารถใช้ในวงจร phase control ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับที่ความถี่สูงสุด (F_{max}) = $= 8333 \text{ Hz}$

หลักการทั่วไปเกี่ยวกับการใช้งานเอสซีอาร์

เอสซีอาร์เป็นอุปกรณ์ที่ออกนอกหน้านอกตา ในกลุ่มของทรานซิสเตอร์เพราะประยุกต์ใช้งานได้ อย่างกว้างขวางมาก โดยปกติแล้วเรามักใช้เอสซีอาร์เป็นสวิตช์ปิดเปิดกำลังไฟฟ้า เพื่อจ่ายไปยังโหลด วงจรทรานซิสเตอร์คู่ออกจะเป็นเรื่องที่ยุ่งยากมากที่สุด เพราะในบางครั้งเราอาจจะต้องการจังหวะของการทรานซิสต์ที่เหมาะสม หรืออาจจะต้องมีการทรานซิสต์ในทุกรอบของการเปลี่ยนแปลงแรงดันและเวลาของการทรานซิสต์ที่สามารถควบคุมได้อีกด้วย



ภาพที่ 2 - 20 แผนผังแสดงวงจรใช้งานเอสซีอาร์

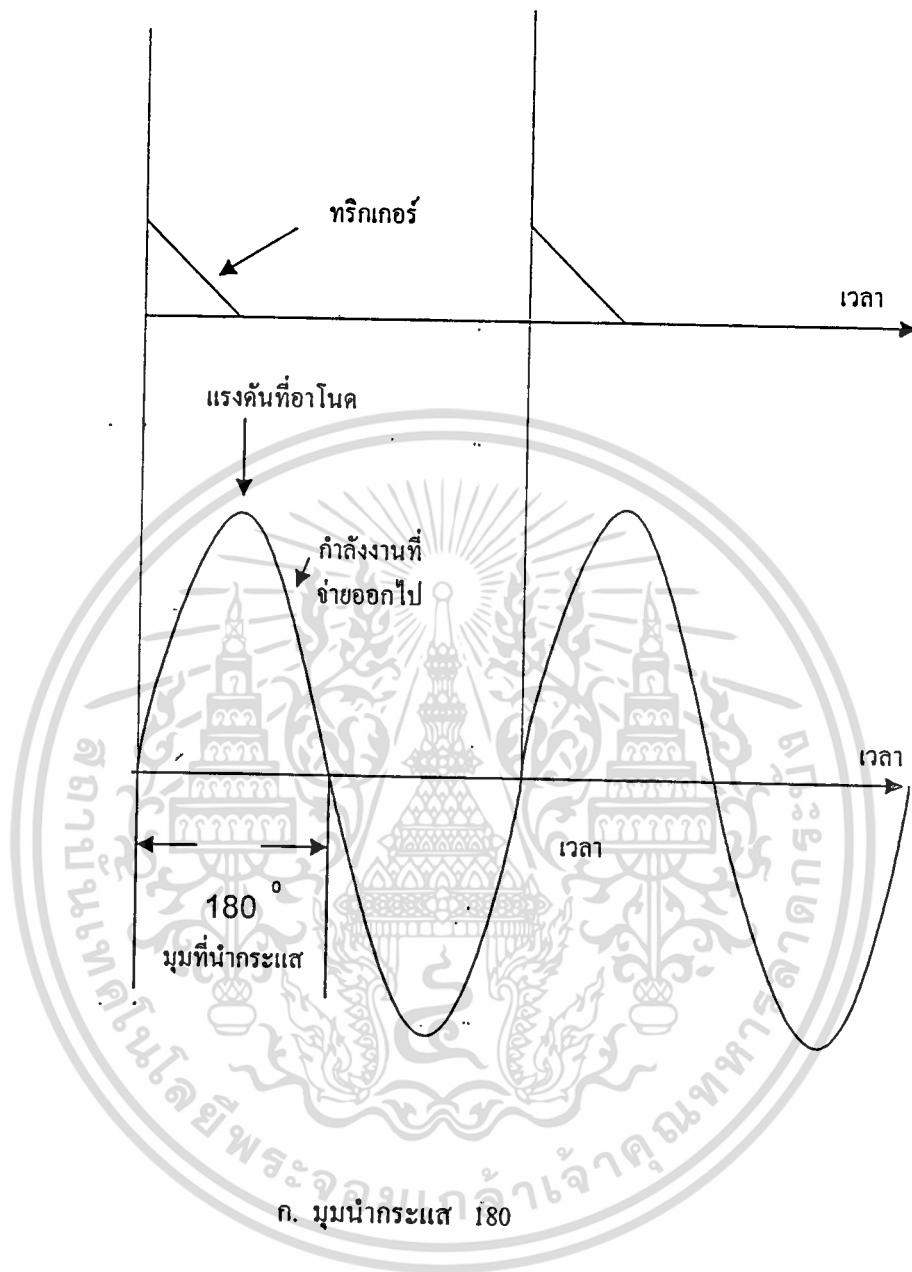
ในการใช้งานเอสซีอาร์ในวงจรต้องรู้ถึงความสัมพันธ์และขีดจำกัดต่าง ๆ ของแหล่งจ่ายไฟโหลด และวงจรทรานซิสเตอร์ โดยทั่วไปเรามักจะคำนึงถึงขีดจำกัดการใช้งานเอสซีอาร์ เป็นหลักเพื่อให้มันสามารถทำงานได้โดยปลอดภัย รายละเอียดเหล่านี้ผู้ผลิตจะรวบรวมแสดงไว้ในเอกสารแสดงรายละเอียดของเอสซีอาร์ดังนั้น ผู้ใช้งานควรพิจารณาข้อมูลเหล่านี้ โดยละเอียดก่อนการนำมันไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การใช้งานเอสซีอาร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

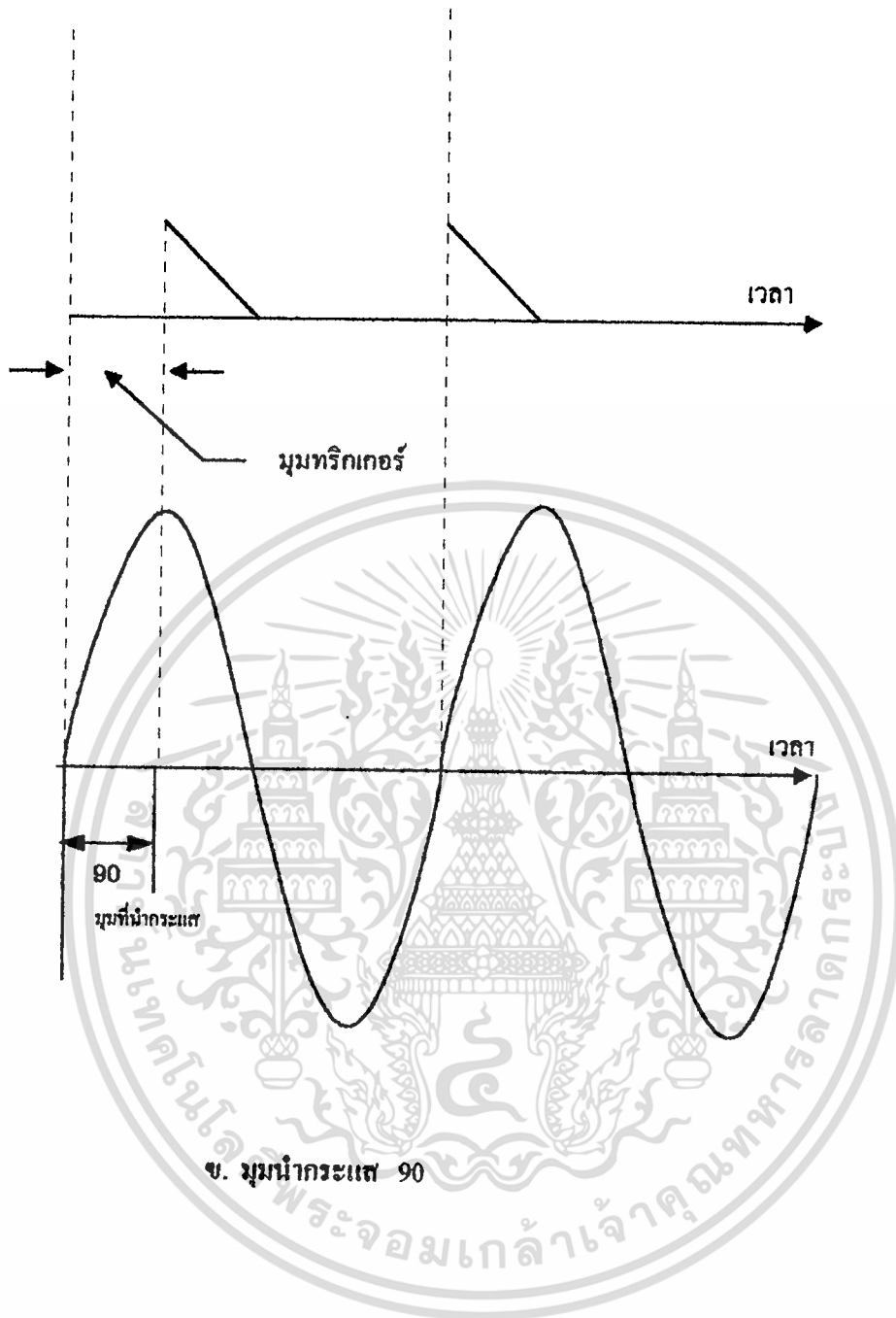
การใช้งานของเอสซีอาร์ส่วนใหญ่แล้ว เราใช้เป็นสวิตช์สำหรับให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านหรือตัดไฟไปให้ผ่านไปยังวงจรโหลดแต่เอสซีอาร์มีลักษณะพิเศษ คือสามารถนำกระแสได้เพียงทางเดียวเท่านั้น ดังนั้นเราจึงใช้เอสซีอาร์ ทำหน้าที่เป็นวงจรเรกติไฟเออร์ได้ และถ้าหากเราสามารถควบคุมช่วงการนำกระแสของเอสซีอาร์ในแต่ละรอบของไฟสลับให้นำกระแสได้นานขึ้น หรือสั้นลงได้แล้ว เราก็จะได้กระแสเฉลี่ยที่จ่ายไปยังโหลดแปรค่าได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการควบคุมกำลังไฟฟ้า (ไฟตรง) หรือควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้ดี การใช้อเอสซีอาร์เป็นสวิตช์ก็ เพราะสามารถเปิดปิดวงจรได้ในอัตราความเร็วสูงมาก และต้องการกำลังไฟฟ้าในการควบคุมการทรริกเพียงเล็กน้อย เอสซีอาร์บางตัวใช้กระแสทรริกในหน่วยของมิลลิแอมป์เท่านั้น เมื่อเอสซีอาร์นำกระแสแล้วมันจะนำกระแสค้างอยู่สภาวะนั้น ตราบที่ยังมี กระแสไหลผ่านตัวมันอยู่

ในการใช้งานเอสซีอาร์นั้นมีได้หลายวิธี วิธีใช้งานที่พบทั่วไปและเป็นแบบที่ง่ายคือให้เอสซีอาร์เป็นตัวสวิตช์นำไฟตรงไปจ่ายแก่อุปกรณ์หรือโหลด ซึ่งอาจควบคุมการสวิตช์ได้ในลักษณะป้อนกลับ ดังเช่นในการควบคุมแรงดันก็มีวงจรตรวจจับแรงดัน เมื่อแรงดันมากหรือน้อยกว่าที่กำหนดจะมีสัญญาณไปจุดชนวนเอสซีอาร์ให้นำกระแส ซึ่งจะไปทำให้ระดับแรงดันถูกควบคุมจ่ายให้โหลดนอกจากนี้ยังอาจใช้เป็นตัวตรวจจับเมื่อมีอะไรมาสัมผัสกับตัวรับความรู้สึกจะทำให้เอสซีอาร์ นำกระแสทำให้กระดิ่งไฟฟ้าดังได้ ในระบบควบคุมอุณหภูมิ เมื่อความร้อนสูงหรือต่ำไป ก็มีตัวคักอุณหภูมิส่งสัญญาณไปจุดชนวนเอสซีอาร์ให้เปิดหรือปิดควาล์วควบคุมหรือหยุดจ่ายไฟหรือจ่ายไฟให้กับลวดความร้อน การใช้งานของเอสซีอาร์มีอยู่มากมายขึ้นอยู่กับความคิดในการประยุกต์ใช้งานของวิศวกรผู้ออกแบบ

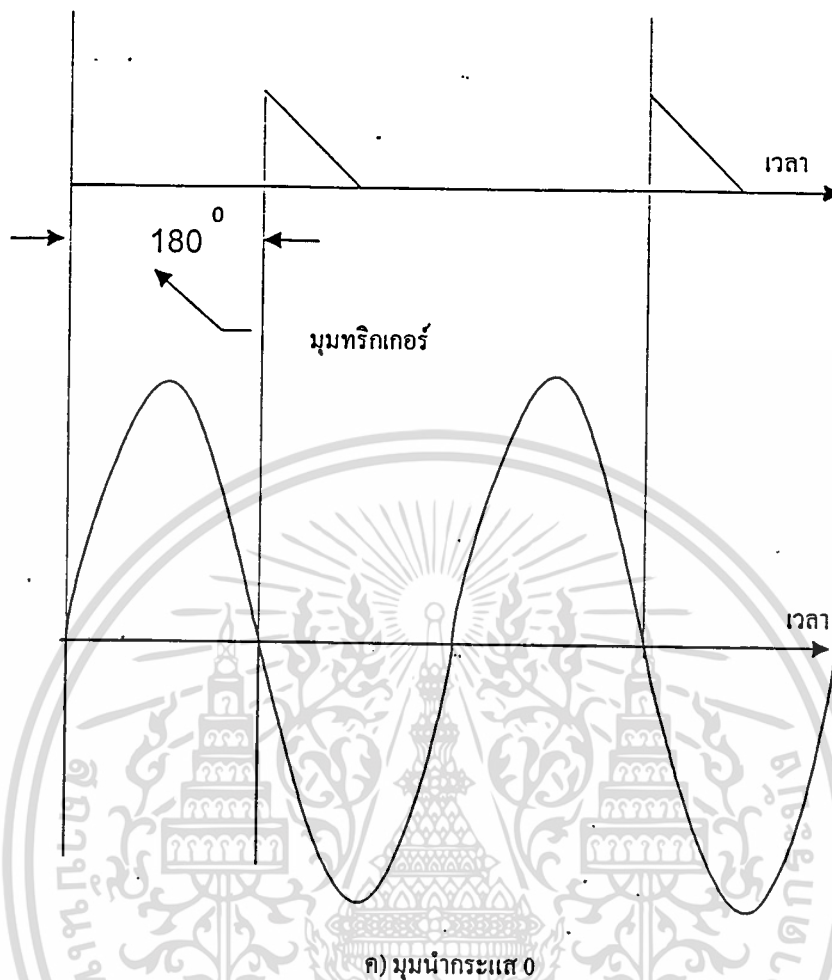
เอสซีอาร์มีที่ใช้งานในวงจรเรกติไฟเออร์อย่างกว้างขวาง ซึ่งชื่อของเอสซีอาร์ก็หมายถึงการใช้งานในด้านนี้เป็นอย่างดีว่า เป็นตัวเรกติไฟเออร์ที่สามารถควบคุมได้ สามารถเรกติไฟเออร์ให้แรงดันบวกหรือลบ ออกมาทางเอาต์พุตได้ โดยการกำหนดเวลาที่จะให้เอสซีอาร์เริ่มนำกระแสตรงช่วงเวลาใดของรูปคลื่นนั้น โดยวิธีนี้จะได้รูปคลื่นไฟฟ้าตั้งแต่ครึ่งลูกคลื่นจนถึงไม่มีไฟออกเลยดังภาพที่ 2-21 ถ้าเต็มวงจรกรองแรงดันหรือฟิลเตอร์ที่เหมาะสมเข้าไป จะได้รับคลื่นที่เรียบขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



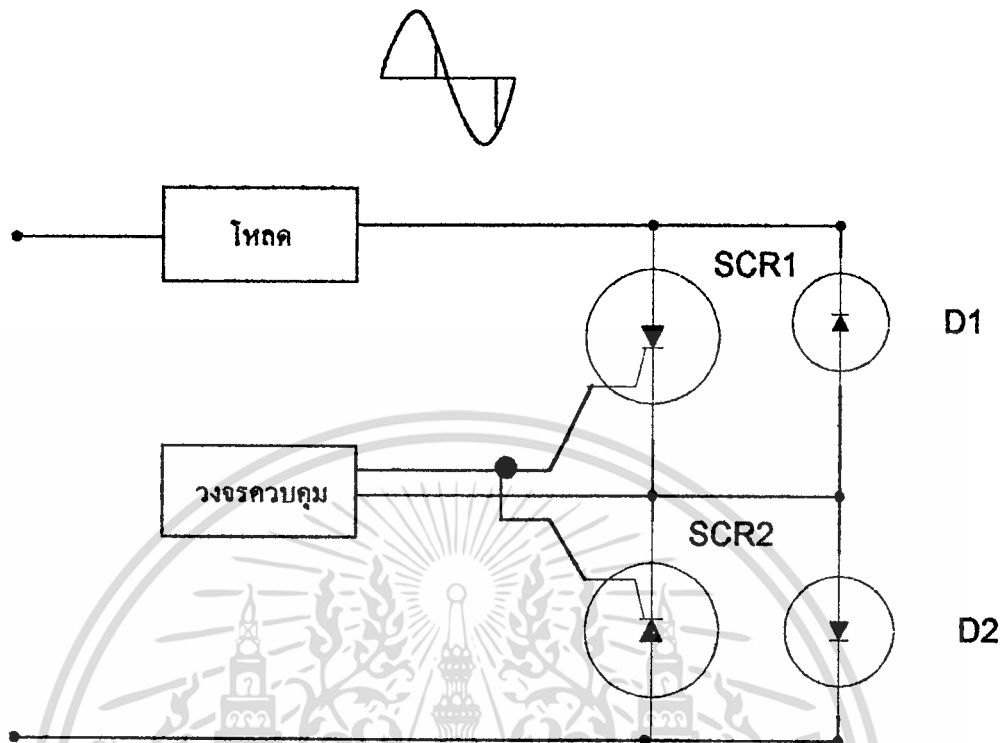
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-21 การใช้เอสซีอาร์ควบคุมกำลังไฟที่ป้อนให้โหลด

ในกรณีที่ใช้เอสซีอาร์กับไฟสลับการหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์จะเป็นไปเองโดยอัตโนมัติเพราะกระแสและแรงดันจะตกลงสู่ศูนย์ทุก ๆ ครั้งลูกคลื่น การเรคตีไฟเออร์แบบเต็มลูกคลื่นที่ใช้เอสซีอาร์ 2 ตัว ก็ทำได้โดยการให้เอสซีอาร์ตัวหนึ่งนำกระแสในช่วงไฟบวก อีกตัวหนึ่งนำกระแสในช่วงไฟลบ ด้วยวิธีสามารถควบคุมไฟได้ตลอดคลื่นรูปซายน์ ในงานทางด้านกำลังไฟสูง ๆ ที่ต้องเปิดวงจรม่อย ๆ จะใช้เอสซีอาร์ หรือแทนสวิตช์หรือรีเลย์ได้ดี เพราะมันไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหวในอันที่จะสึกหรอได้เมื่อเปิดปิดบ่อยครั้งสำหรับการใช้งานกับไดตรงจะใช้แสงความร้อน ความดันแรงดัน กระแส ความเร็ว ความถี่ มาจุดชนวนเอสซีอาร์ได้ สำหรับการจุดชนวนกับไฟสลับจะใช้กับเอสซีอาร์ 2 ตัวสามารถจุดชนวนได้ทั้งไฟบวก และไฟลบ และจะให้จุดชนวนเอสซีอาร์ควบคุมกำลังที่โหลดให้มากที่สุดก็ได้ โดยการเลือกทริกให้เอสซีอาร์นำกระแสที่จุด ๆ หนึ่งบนรูปซายน์ซึ่งสามารถควบคุมได้ตลอดช่วงรูปคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



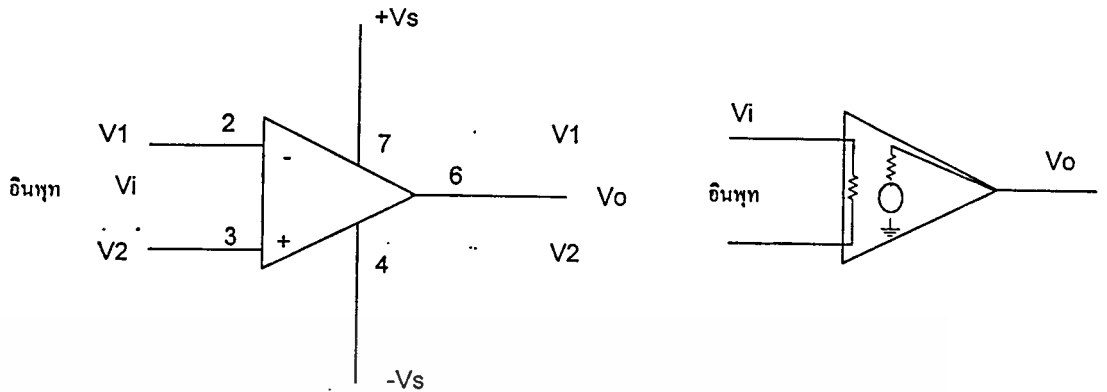
ภาพที่ 2-22 การควบคุมกำลังไฟสลับ

2.7 ออปแอมป์

ในระบบควบคุมทั่วไปนิยมเรียกสั้น ๆ ว่า ออปแอมป์ (op-amp) เป็น integrated circuit ทำหน้าที่เป็น dc. ซึ่งจะมี 2 อินพุตและ 1 เอาท์พุต สามารถขยายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงหรือสัญญาณที่มีความถี่ต่ำ

ออปแอมป์เป็น differential amplifier ที่มี 2 อินพุต โดยมีอินพุตหนึ่งเป็น inverting (-) และอินพุตแบบ noninverting (+) และมี 1 เอาท์พุต ออปแอมป์มี 2 ขั้ว สำหรับต่อเข้าแหล่งจ่ายบวกและลบจะอยู่ในช่วง ± 5 โวลต์ หรือ ± 15 โวลต์ บางวงจรอาจไม่เขียนขั้วต่อเข้าแหล่งจ่ายไฟไว้ แต่ให้เข้าใจว่าจะต้องต่อเข้าขั้วบวก และขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-24 ออปแอมป์ (ก) สัญลักษณ์ (ข) equivalent circuit (ค) คุณสมบัติอินพุท-เอาต์พุท

ออปแอมป์บางเบอร์จะมีขั้วสำหรับต่ออุปกรณ์ภายนอก เพื่อปรับปรุงค่านเอาต์พุทให้เป็นศูนย์เมื่อต่ออินพุททั้งสองลงกราวด์ และอาจมีขั้วต่ออุปกรณ์สำหรับชดเชยความถี่เพื่อขยายสัญญาณที่มีช่วงความถี่กว้างขึ้น บางเบอร์จะถูกออกแบบให้มีการป้องกันอินพุทเมื่อได้รับสัญญาณอินพุทเกินขีดจำกัด หรือโหลดที่ต่อเข้าเอาต์พุทลัดวงจร

ออปแอมป์ขณะที่ไม่มีการป้อนกลับเป็นลักษณะ open-loop มีคุณสมบัติในอุดมคติดังนี้

- (1) อัตราขยายในสถานะ open-loop เป็นอนันต์
- (2) ความต้านทานขาเข้าเป็นอนันต์
- (3) ความต้านทานขาออกเป็นศูนย์
- (4) ช่วงกว้างของการตอบสนองความถี่ (bandwidth) เป็นอนันต์
- (5) แรงดันเอาต์พุทเป็นศูนย์ เมื่อแรงดันอินพุททั้งสองเป็นศูนย์

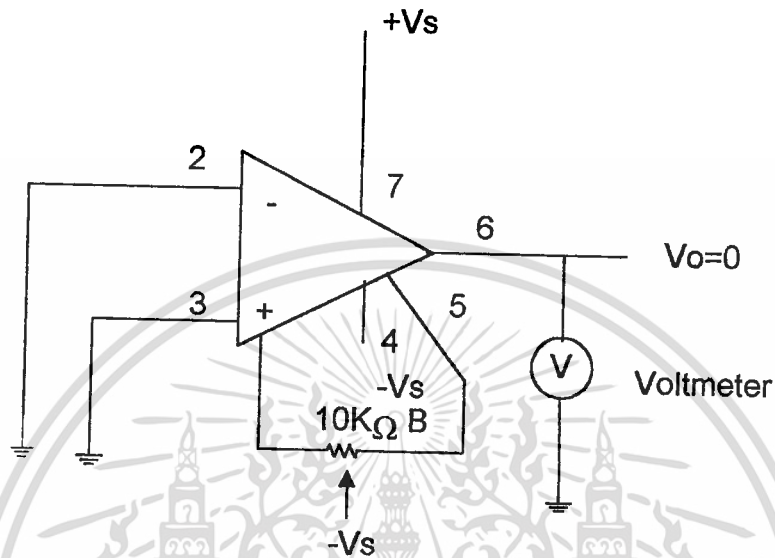
ในทางปฏิบัติจะไม่มีออปแอมป์ที่มีคุณสมบัติในอุดมคติที่กล่าวทั้ง 5 ข้อดังกล่าวอย่างเปรียบเทียบคุณสมบัติของออปแอมป์ดังนี้

2.8 OFFSET NULL

ออปแอมป์ในอุดมคติเมื่อแรงดันอินพุททั้งสองต่อลงกราวด์คือ แรงดันอินพุททั้งสองต้องเป็นศูนย์โวลต์ แรงดันเอาต์พุทจะเป็นศูนย์ ในทางปฏิบัติผู้ผลิตไม่สามารถทำได้ดังนั้นจะมีแรงดันเอาต์พุทไม่ได้ศูนย์ เช่น ไอซีเบอร์ 741 ขั้ว 1 และ 5 สำหรับต่อเข้าวงจร offset null คือใช้ความต้านทานเก็อกมีขนาด 10 K ชนิด B (linear) ดังรูปภาพที่ 2-24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับ offset ทำได้โดยต่อขั้ว 2,3 ของไอซีลจกราวน์ นำมิเตอร์มาวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงที่ขั้ว 6 เทียบกับกราวน์ ปรับความต้านทานเกือกรมา 10 K จนได้แรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตคือ ที่ขั้ว 6 เทียบกับกราวน์เป็นศูนย์



ภาพที่ 2 - 24 การค่อวงจร offset

2.9 INVERTING AMPLIFIER

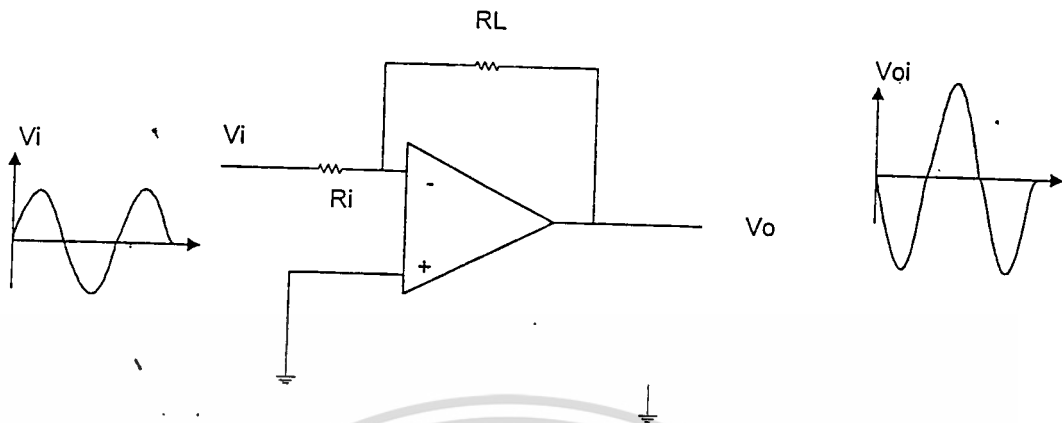
การค่อวงจรภายนอกให้ออปแอมป์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณแรงดันไฟกระแสตรงหรือ กระแสสลับ โดยได้สัญญาณเอาต์พุตตรงข้ามกับสัญญาณอินพุตคัง ภาพที่ 2 - 25 แรงคันเอาต์พุตจะ ได้ตามสมการ

สมการ

$$V_o = (-R_2 / R_1) \cdot V_i$$

เครื่องหมายลบในสมการแสดงว่า เมื่อแรงคันอินพุตเป็นบวกจะทำให้แรงคันเอาต์พุตเป็นลบ หรือแรงคันอินพุตเป็นลบจะให้แรงคันเอาต์พุตเป็นบวก คังนั้นสัญญาณเอาต์พุตจะตรงข้ามกับสัญญาณ อินพุต คือ out of phase กับสัญญาณอินพุต 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



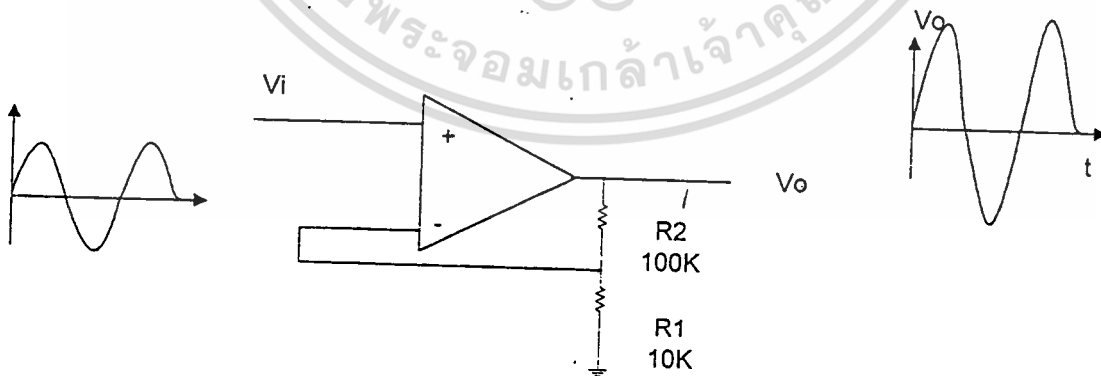
ภาพที่ 2-25 inverting amplifier

2.10 NONINVERTING AMPLIFIER

การต่อวงจรภายนอกให้ออปแอมป์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณแรงดันไฟกระแสตรงหรือกระแสสลับ โดยได้สัญญาณเอาต์พุตเหมือนกับสัญญาณอินพุตดังแสดงในภาพที่ 2-26 แรงดันเอาต์พุตจะได้ตามสมการ

สมการ

$$V_o = [1 + (R_2/R_1)] V_i = A_{cl} V_i$$



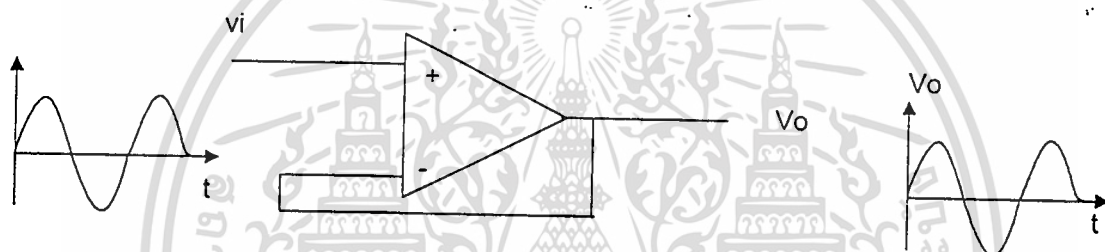
ภาพที่ 2-26 noninverting amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสัญญาณอินพุตซึ่งจ่ายให้กับขั้ว noninverting สัญญาณแรงดันเอาต์พุตจะ inphase กับสัญญาณแรงดันอินพุตคือ เมื่อแรงดันอินพุตเป็นบวก แรงดันเอาต์พุตจะเป็นบวกโดยแรงดันอินพุต $(1 + (R_2/R_1))$

2.11 VOLTAGE FOLLOWER AMPLIFIER

voltage follower amplifier หรือเรียกกันว่า source follower แสดงในภาพที่ 2-27 เป็นการต่อวงจรภายนอกให้ออปแอมป์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณแบบ noninverting โดยมีอัตราการขยาย (A_v) เป็นหนึ่งคือ สัญญาณของแรงดันเอาต์พุตจะ inphase และเท่ากับสัญญาณแรงดันอินพุต $(1 + (R_2/R_1))$



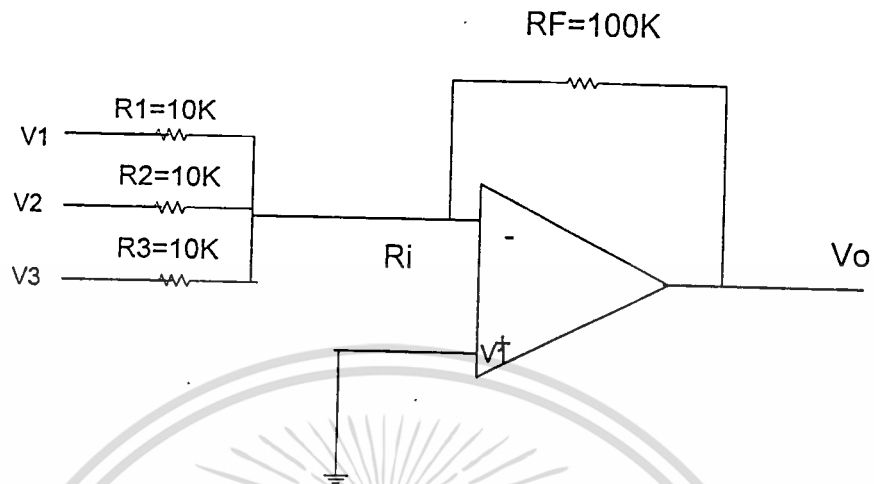
ภาพที่ 2 - 27 voltage follower amplifier

2.12 SUMMING INVERTING AMPLIFIER

ในการต่อวงจรภายนอกให้ออปแอมป์ เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณรวมโดยที่สัญญาณแรงดันอินพุตที่แยกจากกันถูกนำมารวมกัน แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ

$$V_o = -[(R_f/R_1)V_1 + (R_f/R_2)V_2 + (R_f/R_3)V_3]$$

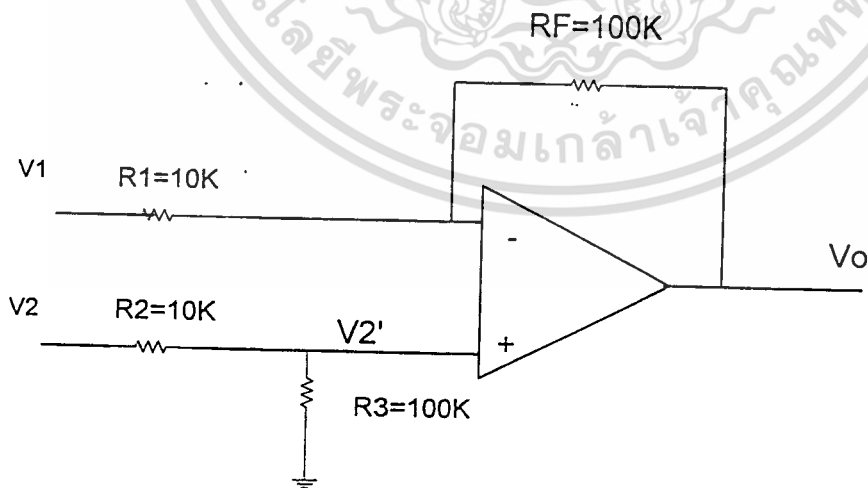
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2 - 28 summing inverting amplifier

2.13 DIFFERENCE AMPLIFIER

วงจรขยายความแตกต่างของสัญญาณที่เรียกว่า difference amplifier มีอินพุตต่อเข้าทั้ง inverting และ noninverting ของออปแอมป์ ดังแสดงใน ภาพที่ 2 - 29



ภาพที่ 2 - 29 difference amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ใช้หลักการของ superposition ก็คือคิดว่า v_s ลัดวงจรลงกราวด์ ดังนั้นแรงดันเอาต์พุต ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ที่ปรากฏไว้

$$V_{o1} = -(R_f/R_1)V_1$$

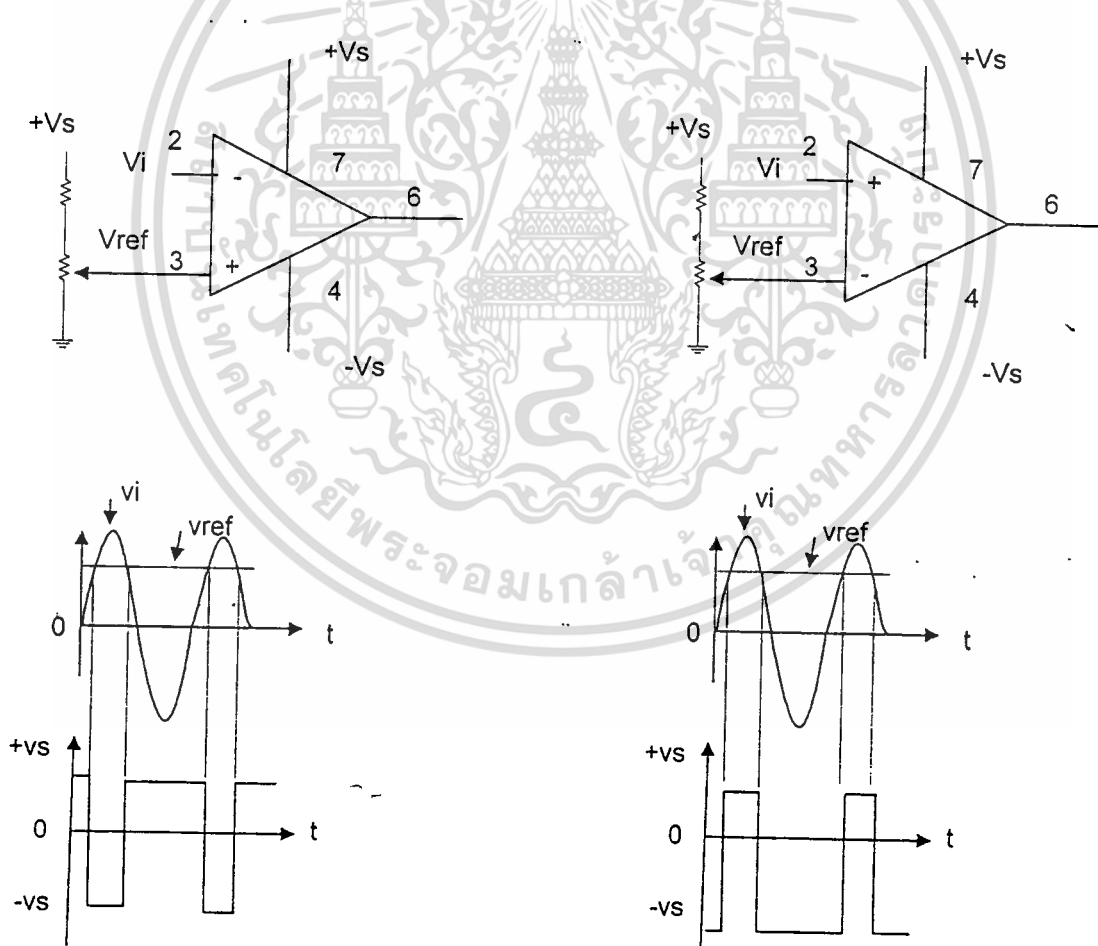
และถ้า V_1 ลัดวงจรลงกราวน์ จะได้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ

$$V_{o2} = -(1/(R_2/R_1)) V_2$$

ดังนั้น $V_0 = V_{o1} + V_{o2}$

2.14 COMPARATOR

ในกรณีที่จะให้ออปแอมป์ทำหน้าที่เป็น วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ หรือเรียกกันว่า compare ดังแสดงในภาพที่ 2-30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งภาพที่ 2-30 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ เป็นลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

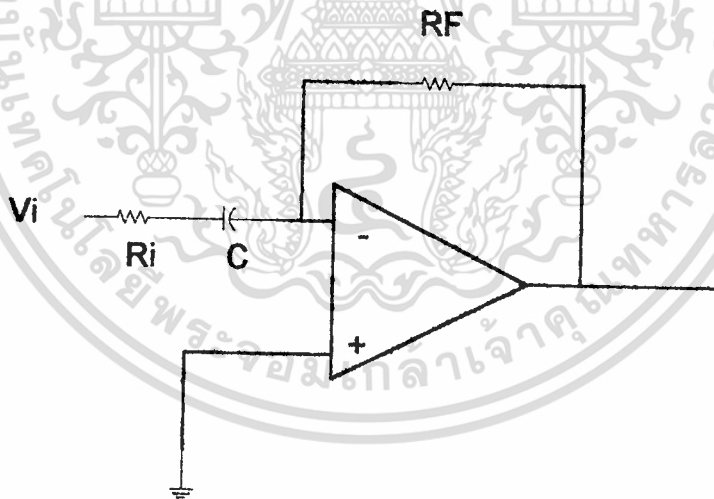
ในภาพที่ 2 - 30 (ก) มี V_{ref} ที่ขั้ว noninverting (+) และมีสัญญาณอินพุต (V_i) ที่ขั้ว inverting (-) แรงดันเอาต์พุต (V_o) จะเป็น $+V_s$ เมื่อ $V_i > V_{ref}$ และแรงดันเอาต์พุต (V_o) จะเป็น V_s เมื่อ $V_i < V_{ref}$

ในภาพที่ 2 - 30 (ข) มี V_{ref} ที่ขั้ว inverting (-) และมีสัญญาณอินพุต (V_i) ที่ขั้ว noninverting (+) แรงดันเอาต์พุต (V_o) จะเป็น $+V_s$ เมื่อ $V_i > V_{ref}$ และแรงดันเอาต์พุต (V_o) จะเป็น $-V_s$ เมื่อ $V_i < V_{ref}$

2.15 OP-AM DIFFERENTIATOR

วงจรพื้นฐานของออปแอมป์ differentiator ดังแสดงใน ภาพที่ 2 - 31 จะให้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ

โดยที่ dv_i/dt เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันของอินพุต



ภาพที่ 2 - 31 differentiator

ค่ารีแอกแตนซ์ของคาปาซิเตอร์ ($X_c = 1/2 \pi fc$) แปรผกผันกับความถี่ ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นตามความถี่ ในทางปฏิบัติจึงมีค่า R_f ต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์ ดังแสดงใน ภาพที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน ภาพที่ 2 - 31 เพื่อจะลดอัตราขยายของแรงดันเท่ากับ R_f/R_s เมื่ออินพุตมีความถี่สูงขึ้นวงจรจะทำหน้าที่เป็น differentiator เมื่ออินพุตมีความถี่น้อยกว่า f_c

$$f_c = 1/2 \pi R_s C$$

ถ้าอินพุตมีความถี่มากกว่า f_c วงจรจะทำหน้าที่เหมือนกับ inverting amplifier ด้วย มีอัตราขยายเท่ากับ

$$V_o/V_i = -R_f/R_s$$

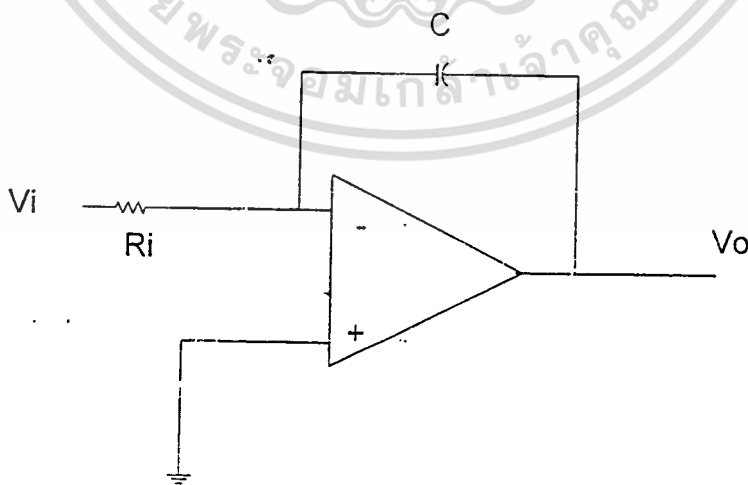
ผลคูณของ $R_s C$ ในสมการ เรียกว่า time constant ควรจะเท่ากับช่วงเวลาของสัญญาณอินพุต 1 ไซเคิล

2.16 OP-AMP INTEGRATOR

op-amp integrator ดังแสดงใน ภาพที่ 2 - 32 โดยมีแรงดันเอาพุตเป็นไปตามสมการ
สูตร

$$V_p = \left[\frac{1}{RC} \right] \int V_i dt$$

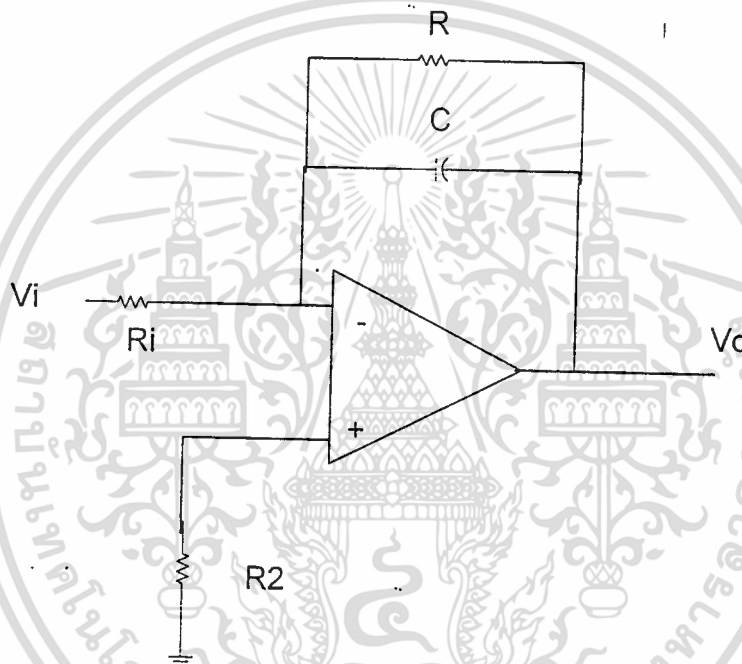
ในทางปฏิบัติจะมีความต้านทาน R_s ต่อขนานกับคาปาซิเตอร์ เพื่อจำกัดอัตราขยายสัญญาณอินพุตมีความถี่ต่ำ ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแก้ dc offset voltage เนื่องจาก input bias current ทำได้โดยการต่อ R_2 เข้าในวงจร ดังแสดงใน ภาพที่ 2 - 33

$$\text{สูตร } \frac{R_1 R_s}{R_1 + R_s}$$



ภาพที่ 2 - 33 integrator

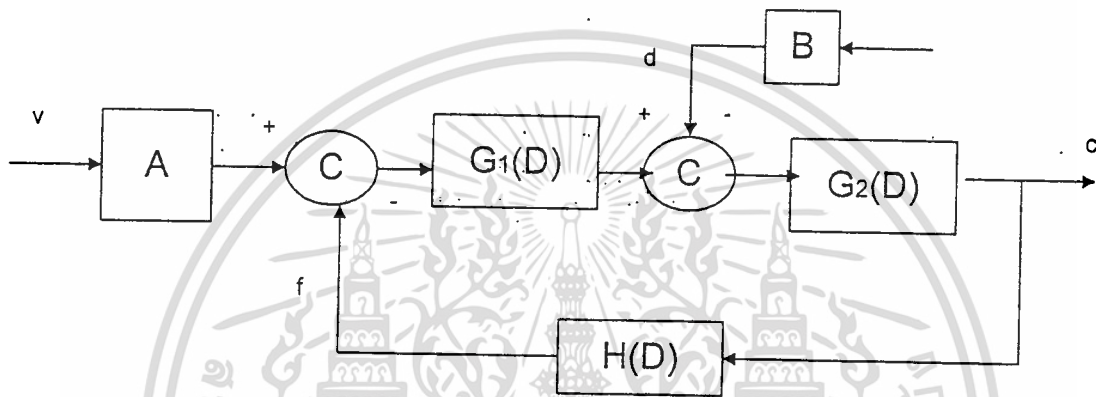
และวงจรจะทำหน้าที่เป็น integrator เมื่อสัญญาณอินพุตมีความถี่มากกว่า F_c ถ้าอินพุตมีความถี่น้อยกว่า F_c จะทำหน้าที่เหมือนกับ inverting amplifier ด้วยอัตราขยายเท่ากับ $V_o/V_i = R_s/R_1$

โดยทั่วไป R_s เท่ากับ i_0 เท่ากับ R_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
2.17 ระบบควบคุมอัตโนมัติชนิด P-I CONTROLLER

ข้อมูลที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากแก่การวิเคราะห์ วิจัยระบบควบคุมอัตโนมัติ ได้แก่ชนิดของการควบคุม และแบบของระบบควบคุม เพราะเป็นข้อมูลที่ทำให้ทราบถึงลักษณะการทำงานของระบบโดยทั่วไปทำให้สามารถทำนายได้ถึงคุณสมบัติและการตอบสนองของระบบอย่างประมาณได้

ในระบบควบคุมอัตโนมัติ ชนิดที่มีการป้อนกลับ (feedback or close loop control system) ดังแสดงในภาพที่ 2 - 34



ภาพที่ 2 - 34 ระบบควบคุมอัตโนมัติชนิดที่มีการป้อนกลับ

ซึ่งเป็นสัญญาณที่ได้มาจากการนำเอาสัญญาณ feedback ไปเปรียบเทียบกับ reference input variable เป็นสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่ส่วนที่เป็น controlling element $G_1(D)$ เพื่อให้ controlling element ตอบสนองให้ manipulating variable แก่ส่วนที่เป็นต้นกำลัง (plant) เพื่อแก้ไขให้ output หรือ controlled variable C มีลักษณะเป็นไปในทางที่สอดคล้องกับ ref. Input variable มากยิ่งขึ้น จะเห็นว่าหัวใจของระบบควบคุมคือส่วนที่เป็น controlling element $G_1(D)$ เพราะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แก้ไขความคลาดเคลื่อนระหว่าง output C กับ input ของทั้งระบบ กล่าวคือการรับเอาความคลาดเคลื่อน actuating error e เข้ามาสู่ตัวมัน แล้วสั่งให้ส่วนที่เป็นตัวกำลังทำงาน (โดย manipulation variable m)

การควบคุมแบบสัดส่วนผสมแบบรวม หรือ proportional-plus intergral control ความสัมพันธ์ของ manipulating variable m กับ actuating error e ของ การควบคุมแบบผสมชนิดนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอแจ้งให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

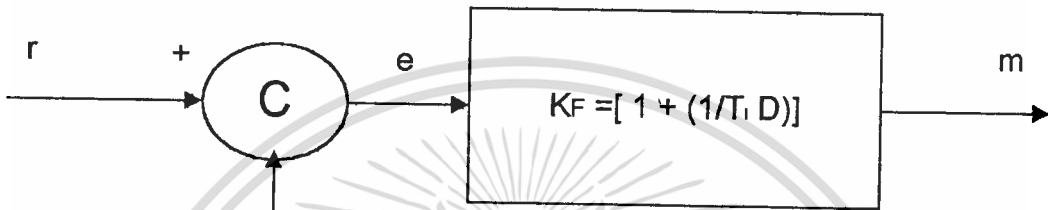
$$m = k_p [1 + 1/T_i] e_{000}$$

K_i = gain ของ integral controller

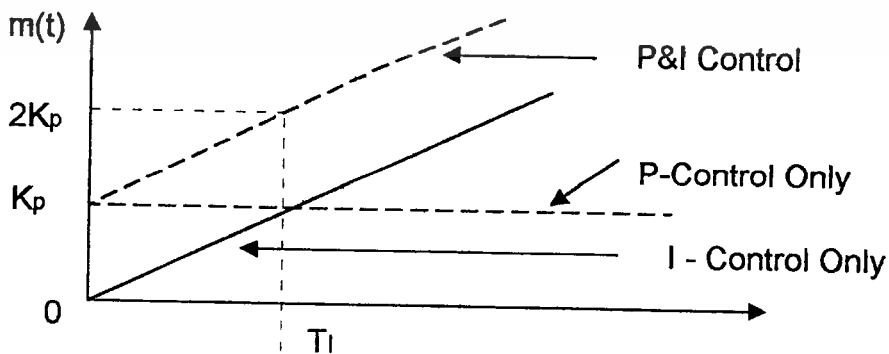
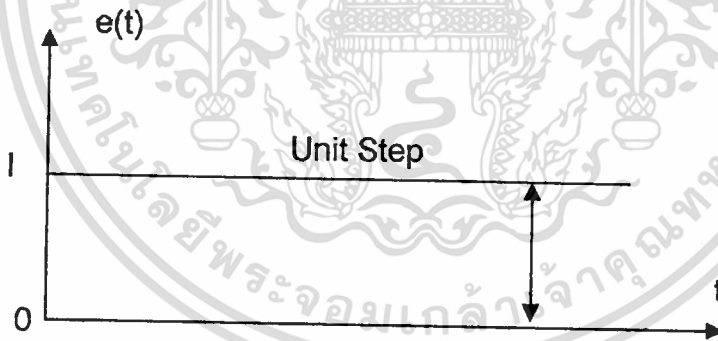
T_i = integral action time = K_p/K_i

= ระยะเวลาที่ integral controller ให้การตอบสนองเท่ากับการตอบสนองของ proportional controller (ส่วนกลับของ T_i คือ reset rate)

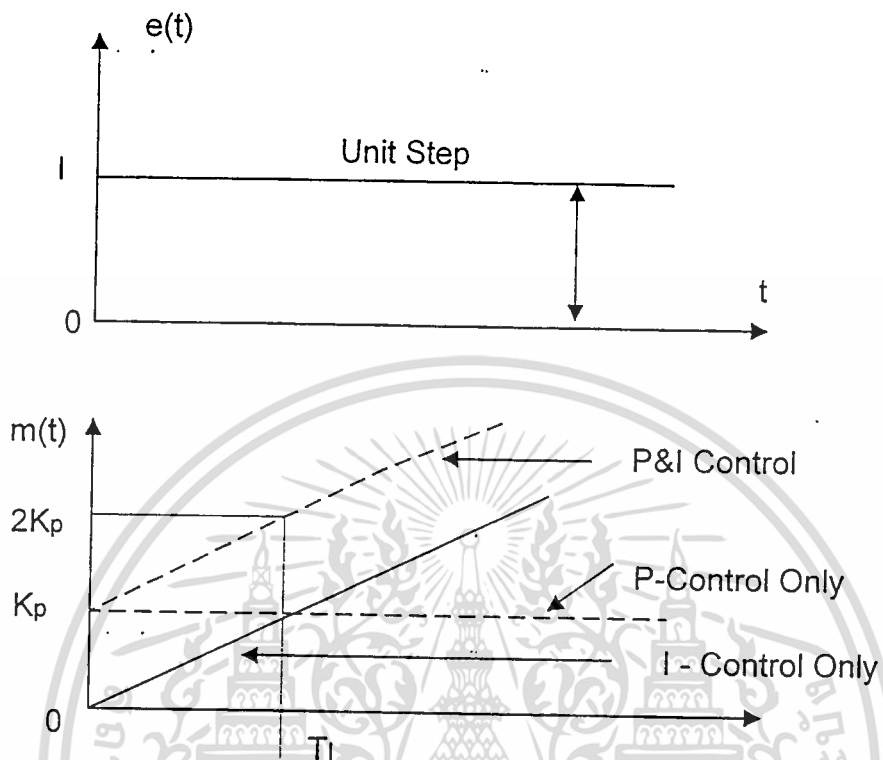
ซึ่งอาจแทนได้ด้วยไดอะแกรมบล็อกดังแสดงในภาพที่ 2-35 และการตอบสนองของ manipulating variable m ที่มีต่อ actuating error e ในกรณีที่ actuating error เป็น step function และ ramp function อาจแสดงได้ดังภาพที่ 2-36 และ ภาพที่ 2-37 ตามลำดับ



ภาพที่ 2-35 ไดอะแกรมบล็อกของ P - I controller

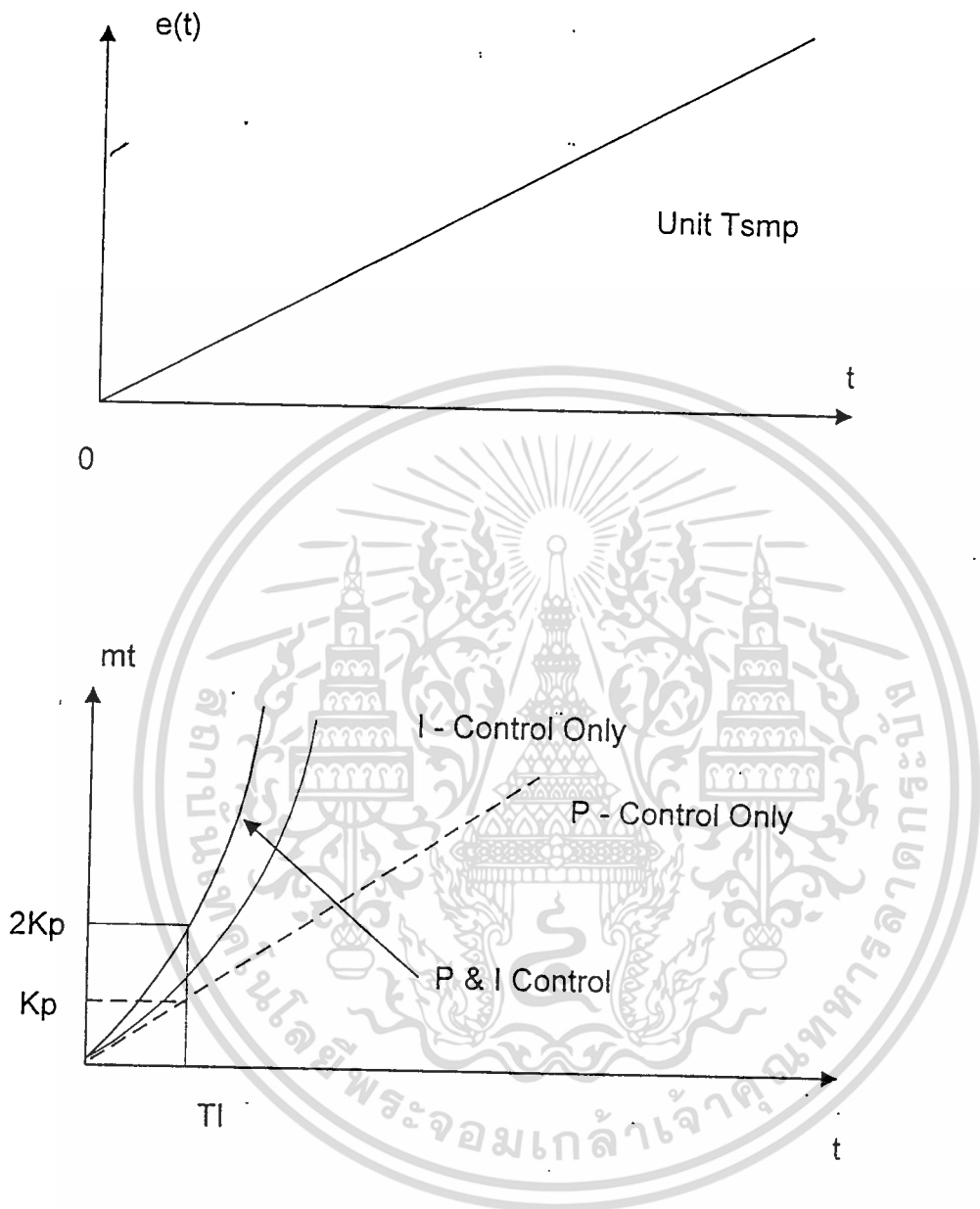


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-36 การตอบสนองของ P-I controller ต่อ unit step actuating error

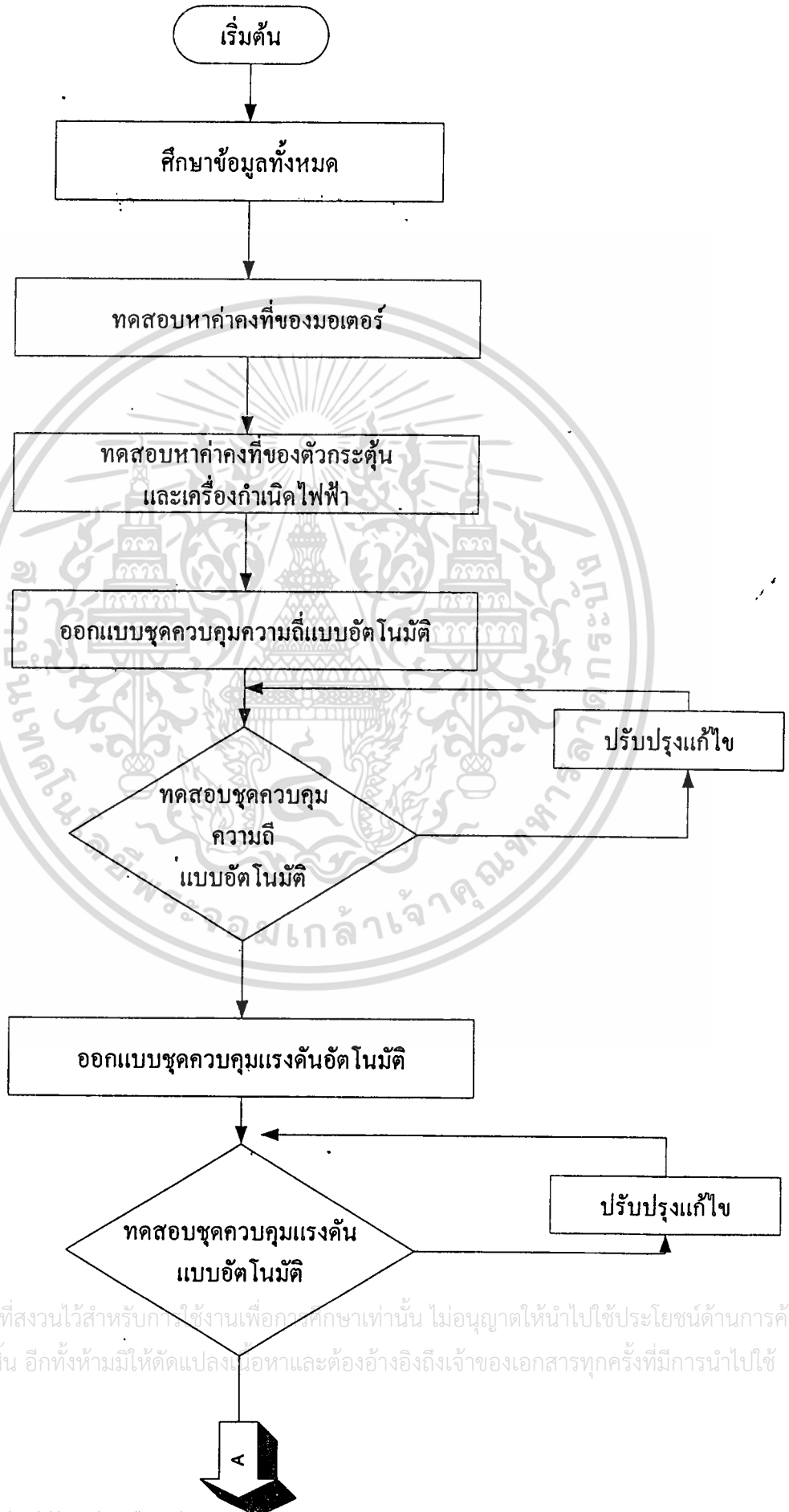
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



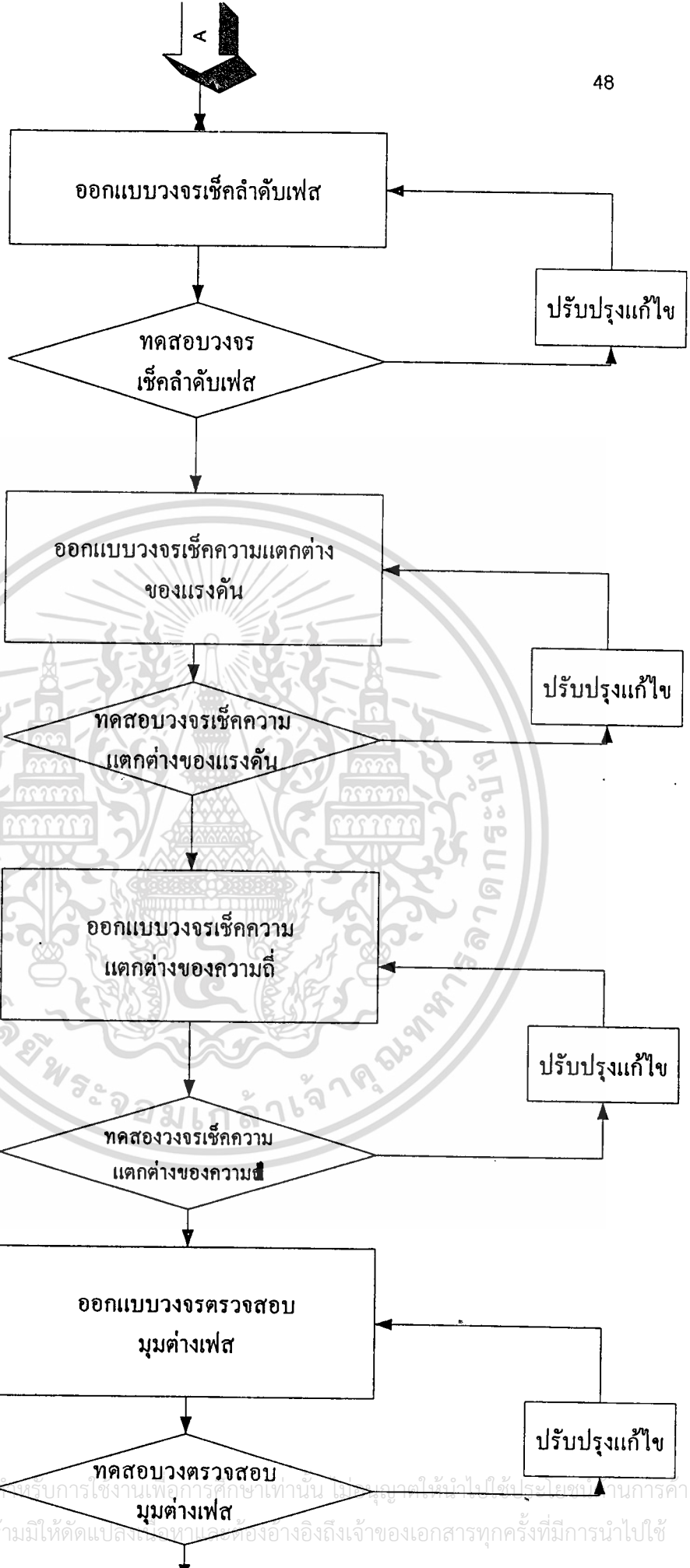
ภาพที่ 2-37 การตอบสนองของ P-I controller ต่อ unit ramp actuation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

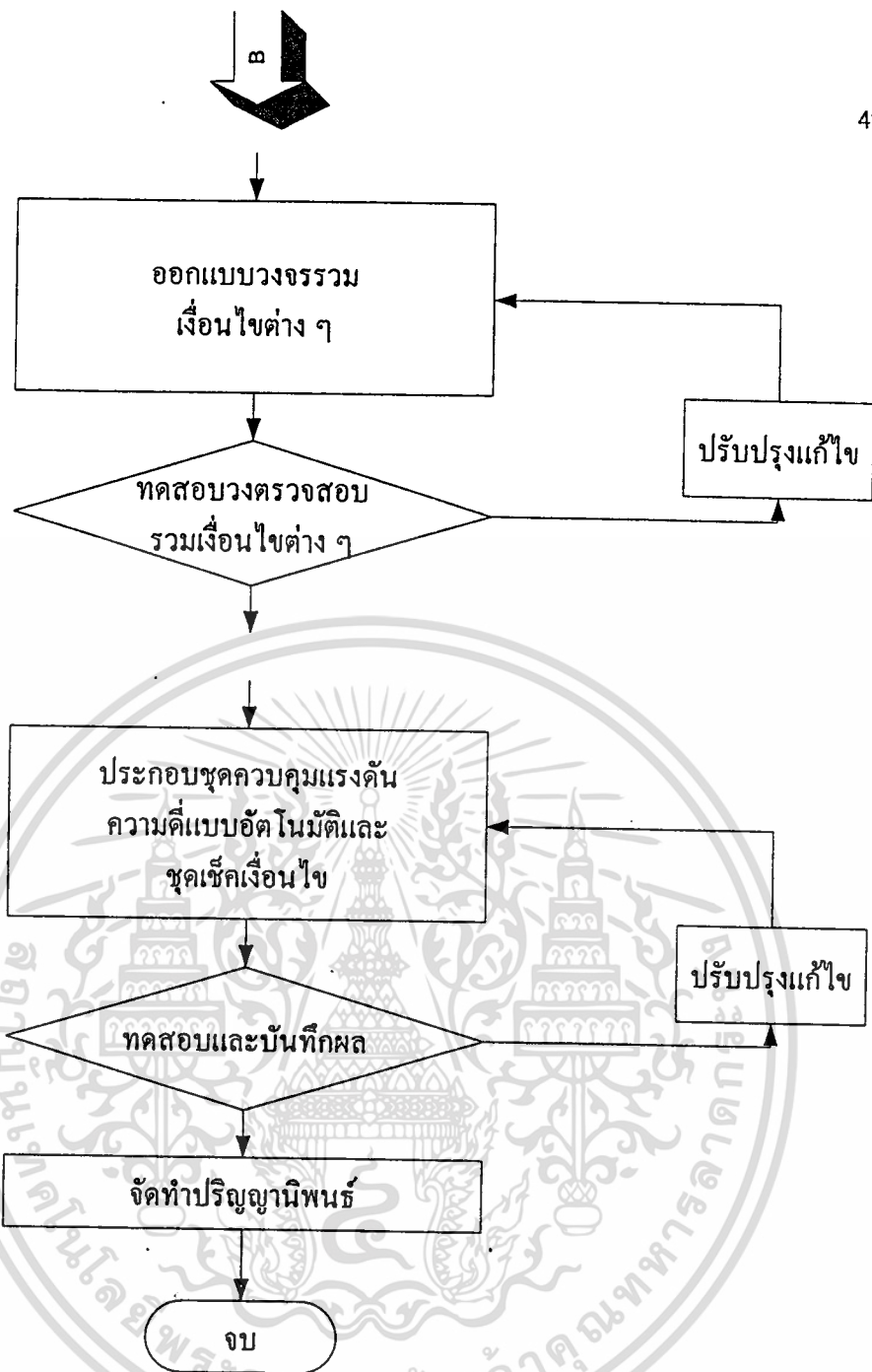
บทที่ 3 การดำเนินงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

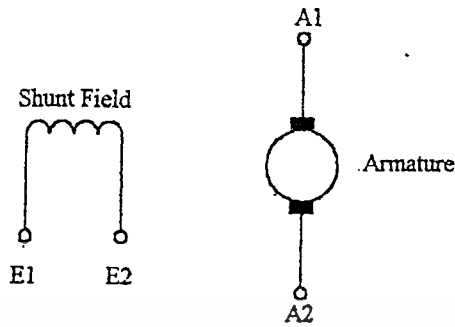


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

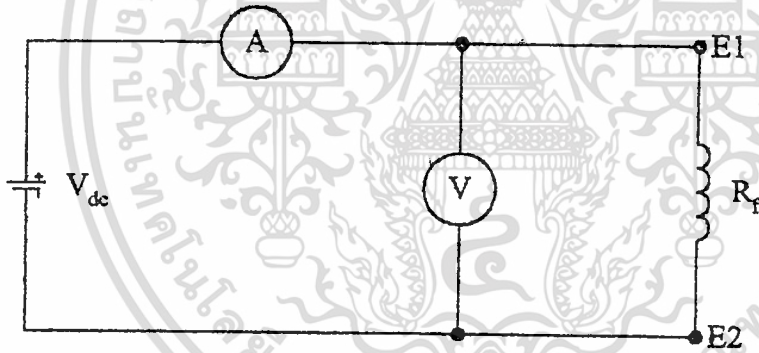
3.1 การทดสอบหาค่าคงที่ของมอเตอร์



รูปที่3-1 วงจรภายในของ DC. motor

3.1.1 ที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Shunt Field, E₁-E₂)

- การหาค่าความต้านทาน (R_f)



รูปที่3-2 วงจรการทดลองหา R_f

ตารางที่3.1 บันทึกผลทดลองหาค่า (R_f)

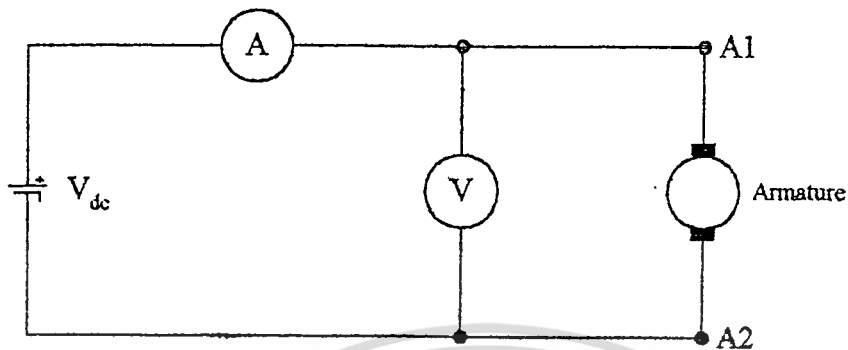
V _{DC}	30	60	90	120	150	180	210	220	Volt
I	0.05	0.11	0.17	0.23	0.28	0.33	0.38	0.4	Amp
R _f	600	545	529	521	536	545	553	550	Ohm

$$R_f = \frac{\Sigma R_f}{n} = 551.125 \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature coil, A₁-A₂)

- หาค่าความต้านทาน (R_a)



รูปที่3-3 วงจรการทดลองหาค่า R_a

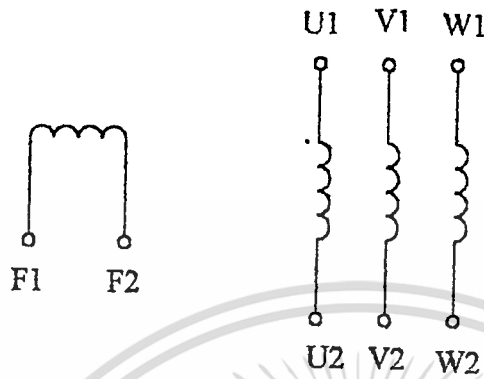
ตารางที่3.2 บันทึกผลการทดลองหาค่า R_a

V _{DC}	2.5	4.8	7.5	10	12.5	Volt
I	0.5	1	1.5	2	2.5	Amp
R _a	5	4.8	5.0	5	5	Ohm

$$R_a = \frac{\Sigma R_a}{n} = 4.96 \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

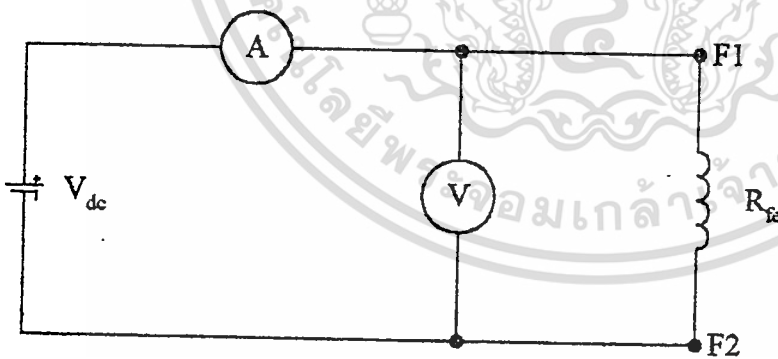
3.2 การทดสอบหาค่าแรงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส



รูปที่3-4 วงจรภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

3.2.1 ที่ขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น (Field coil, F₁-F₂)

- การหาค่าความต้านทาน (R_{fc})



รูปที่3-5 วงจรการทดลองหาค่า R_{fc}

ตารางที่3.3 ผลการทดลองหาค่า R_{fc}

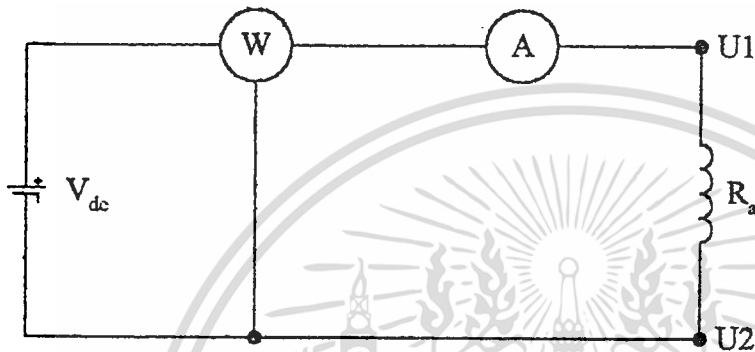
V _{DC}	30	60	90	120	150	180	220	Volt
I	0.04	0.08	0.13	0.18	0.23	0.28	0.30	Amp
R _{fc}	750	750	692.3	666.67	652.2	642.8	666.67	Ohm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแบบสงวนเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่ใช้

$$R_{fe} = \frac{\Sigma R_{fe}}{n} = 688.62 \Omega$$

3.2.2 ที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature coil, U_1-U_2)

- การหาความต้านทาน R_a



รูปที่ 3-6 วงจรการทดลองหาค่า R_a

ตารางที่ 3.4 ผลการทดลองหาค่า R_a

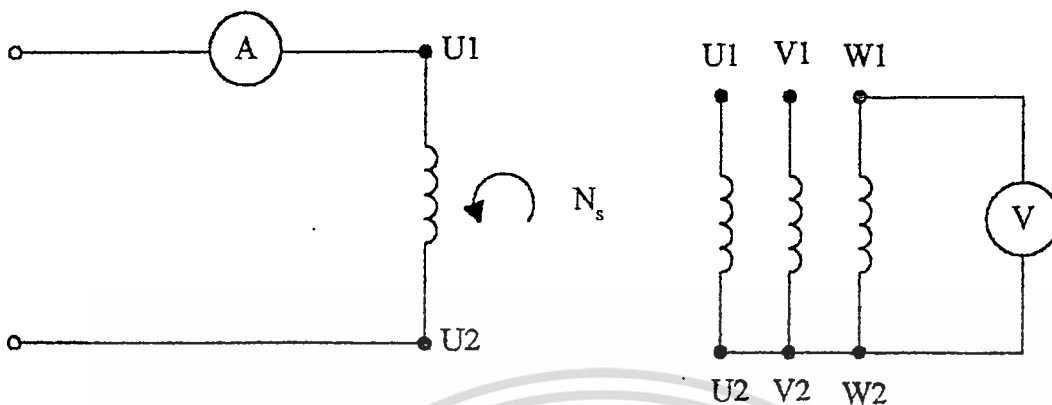
P	4.5	9	15	22	Watt
I	0.2	0.4	0.6	0.8	Amp
R_a	22.5	22.5	25	27.5	Ohm

$$R_a = \frac{\Sigma R_a}{n} = 25.625 \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การหาค่าซิงโครนัสอิมพีแดนซ์ (Z_s)

ทดสอบภาวะไม่มีโหลด (no-load test)



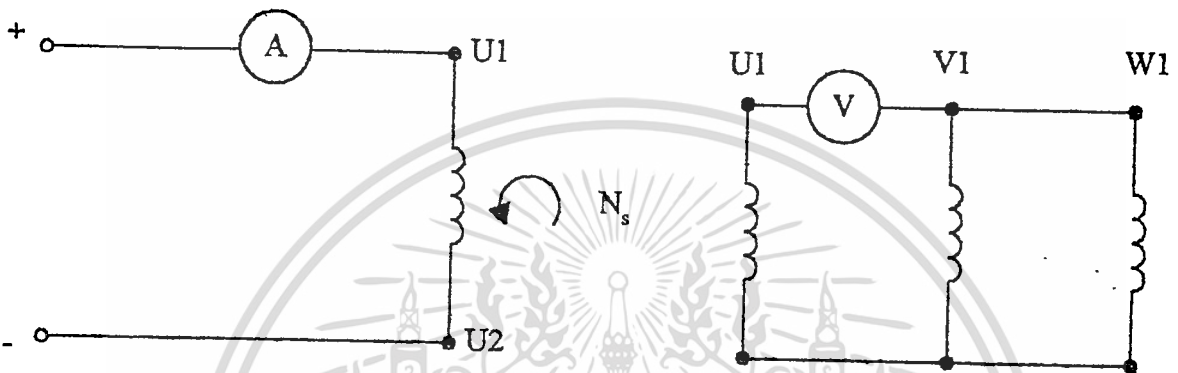
รูปที่ 3-7 วงจรการทดลองสถานะไม่มีโหลด

ตารางที่ 3.5 ผลการทดลองสถานะไม่มีโหลด

V	210	230	230	230	230	230	230	Volt
A	0.10	0.15	0.20	0.25	0.26	0.27	0.28	Amp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบสถานะลัดวงจร(short-circuit test)



รูปที่ 3.8 วงจรการทดสอบสถานะลัดวงจร

ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบสถานะลัดวงจร

A(กระแส สลัป)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
A(กระแสตรง)	0.02	0.05	0.08	0.14	0.23	0.25

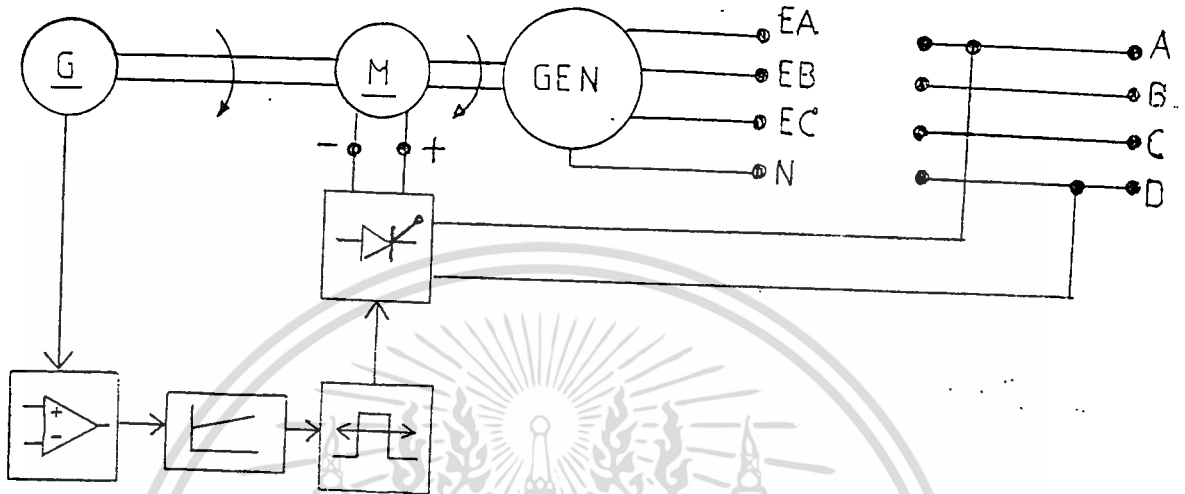
เพราะฉะนั้น $Z_s = V / A$ (ที่ A ขนาดเดียวกัน)

$$= 230/1.2$$

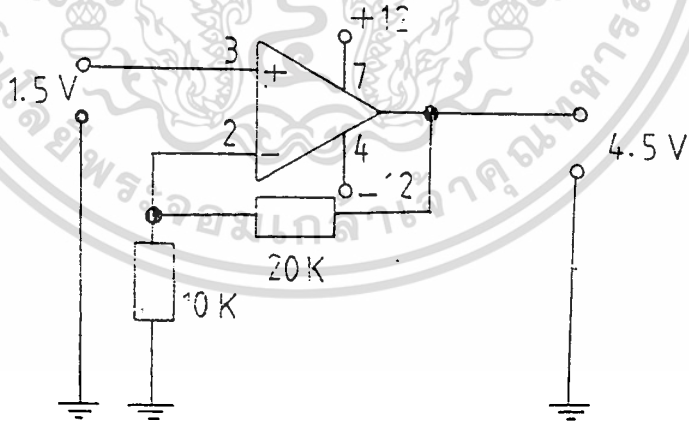
$$= 191.67 \text{ โอห์ม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบชุดควบคุมความถี่อัตโนมัติ

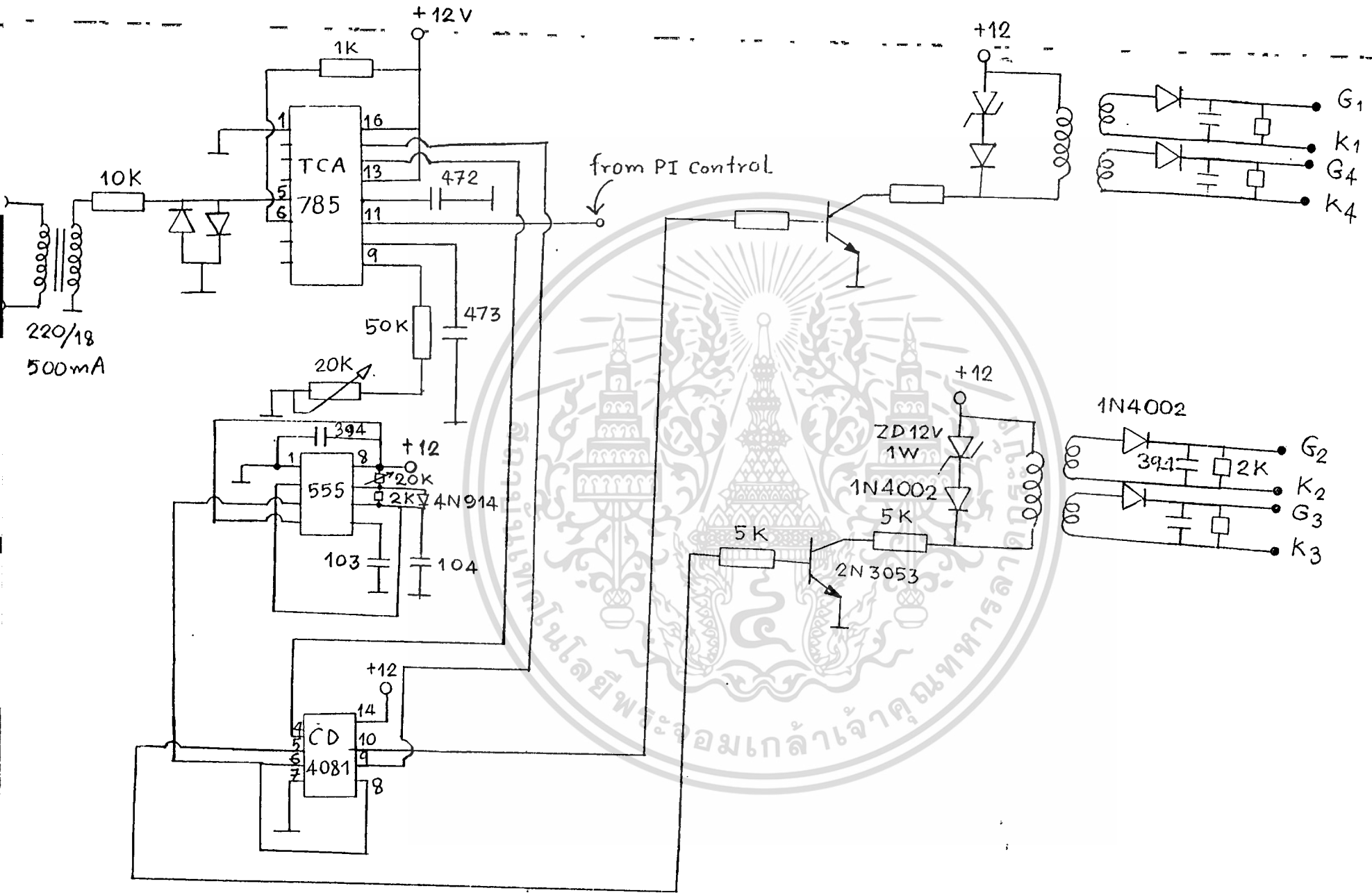


รูปที่ 3.9 ชุดควบคุมความถี่อัตโนมัติ

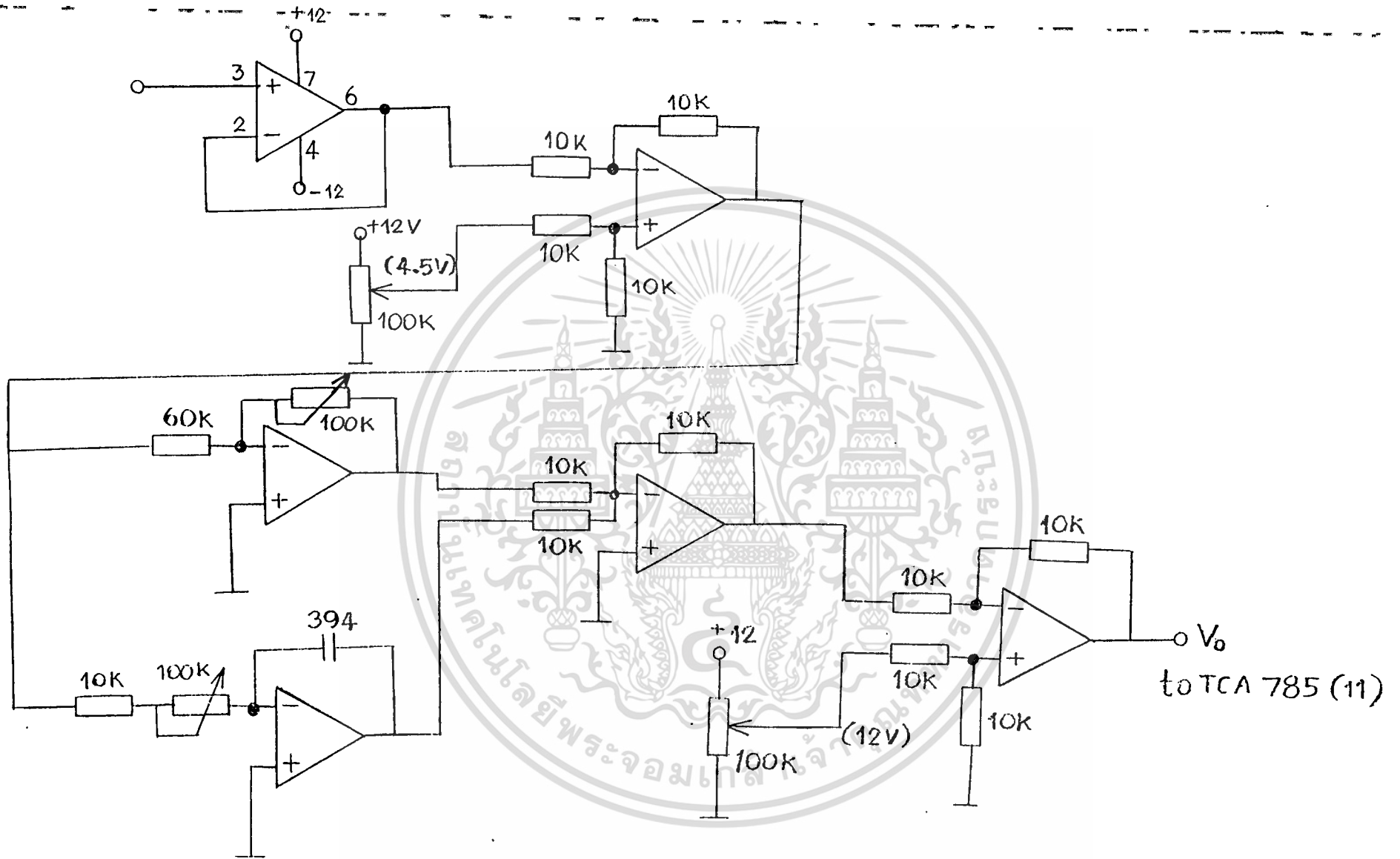


$$\begin{aligned}
 V_o &= (1 + 20k/10k) V_i \\
 &= (1 + 20k/10k) 1.5 \\
 &= 4.5 \text{ โวลต์}
 \end{aligned}$$

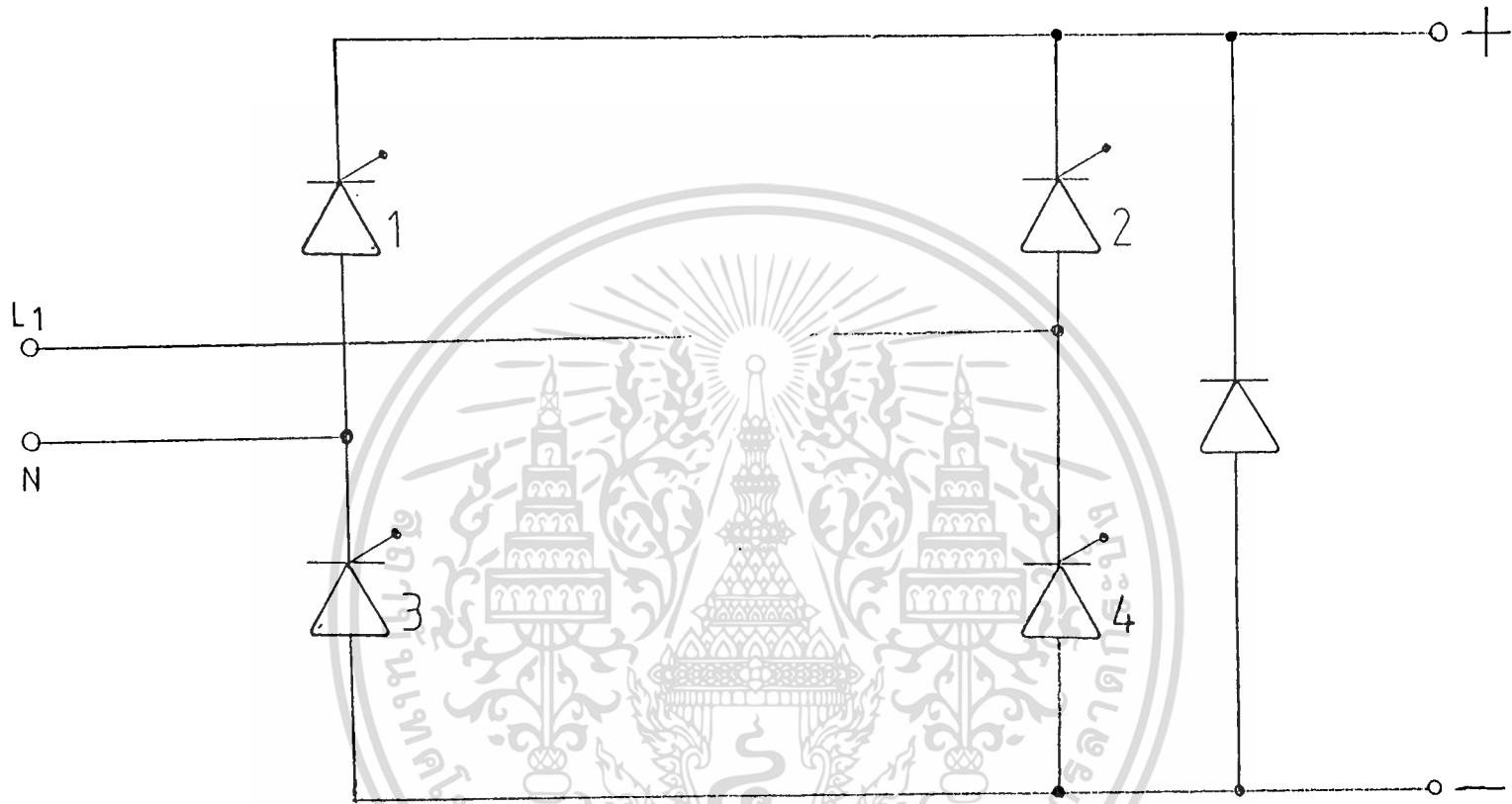
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับผู้ใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.10 วงจรแอมป์ลิฟาย์ขนาด 3 เทา
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 วงจรทรานซิสเตอร์มอเตอร์

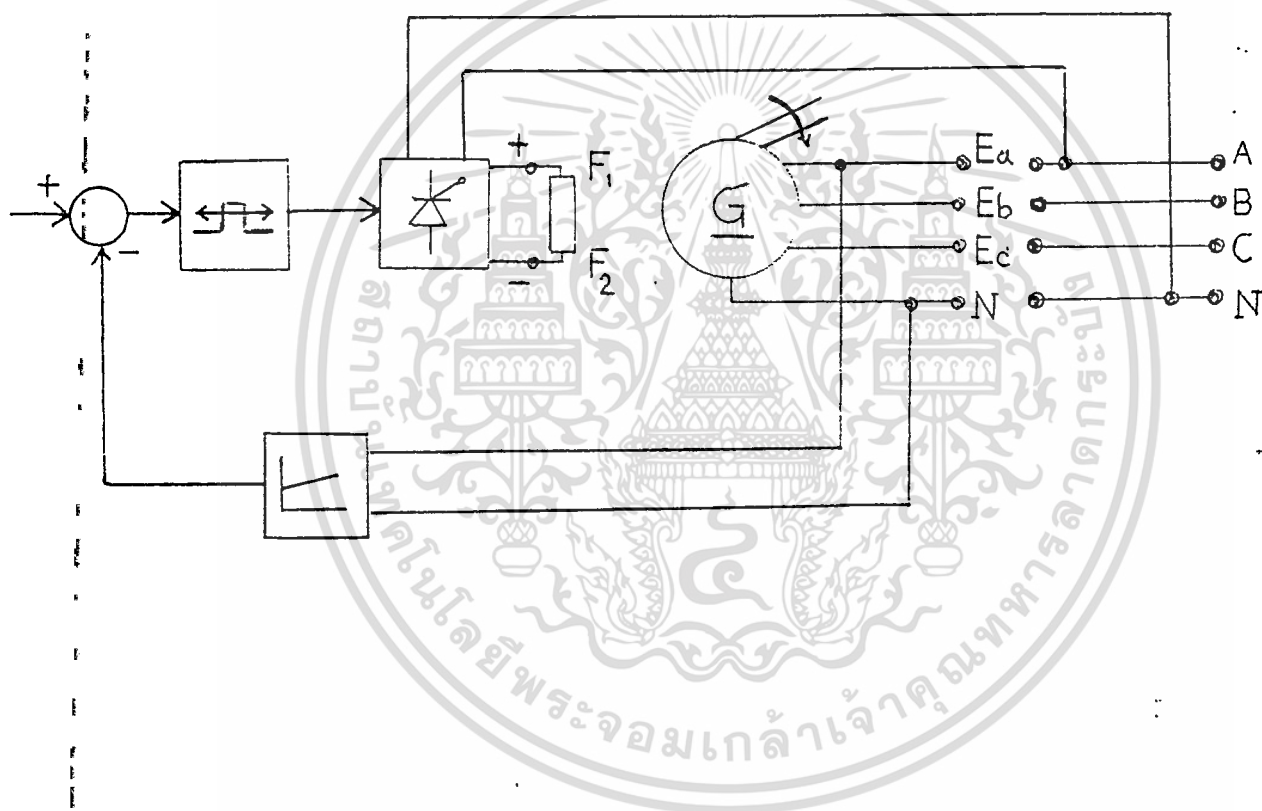


รูปที่ 3.11 วงจร PI controlled



รูปที่ 3.13 วงจรบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

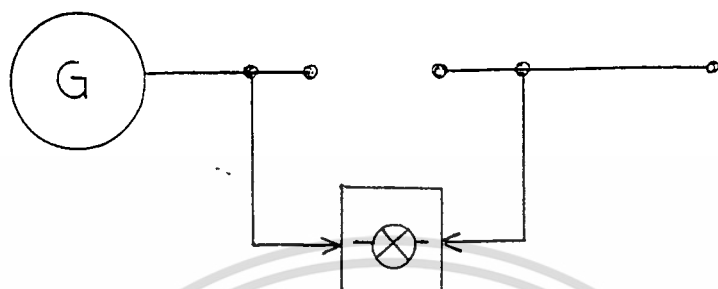
3.4 การออกแบบชุดควบคุมแรงดันอัตโนมัติ



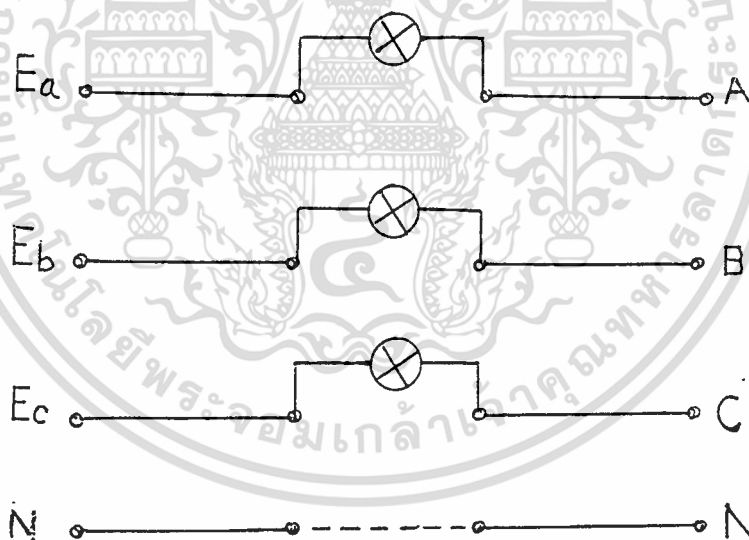
รูปที่ 3.14 ชุดควบคุมแรงดันอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบชุดตรวจสอบลำดับเฟส



รูปที่ 3.16 ชุดตรวจสอบลำดับเฟส



รูปที่ 3.17 วงจร Lamp test

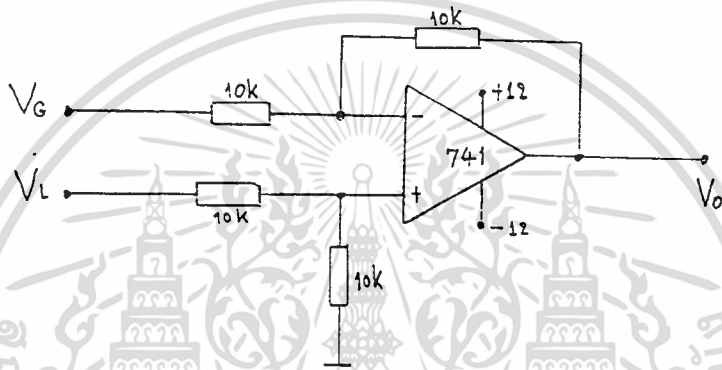
ชุดตรวจสอบลำดับเฟสแบบ Lamp test นี้จะให้ตรวจสอบลำดับเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับระบบที่จะทำการซิงโครไนซ์ ก่อนที่จะทำการขนานเรียบร้อยแล้ว โดยหลักการที่ว่าถ้าลำดับเฟสตรงกันหลอดไฟจะดับและสว่างพร้อมๆกันทั้ง 3 หลอด และถ้าชุดแรงดันและความถี่อัตโนมัติทำให้แรงดันและความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้เงื่อนไขเดียวกับระบบแล้ว หลอดไฟก็จะดับพร้อมกันหมด ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถทำการขนานได้

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การออกแบบวงจรเช็คความแตกต่างของแรงดัน

เป็นส่วนตรวจสอบเงื่อนไขหนึ่งของการซิงโครไนซ์ ซึ่งจะตรวจสอบความแตกต่างของแรงดันทางด้านเครื่องกำเนิดเทียบกับทางด้านระบบ ถ้าแรงดันต่ำกว่าหรือสูงกว่าที่กำหนดการซิงโครไนซ์จะไม่เกิดขึ้น

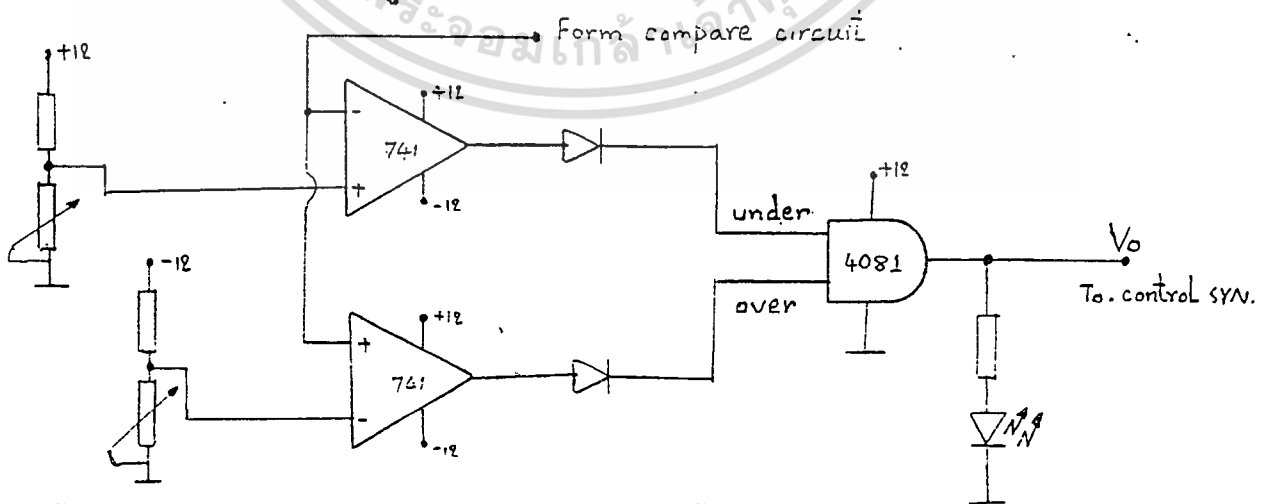
3.6.1 วงจรเปรียบเทียบแรงดันทางเครื่องกำเนิดกับด้านระบบ



รูปที่ 3.18 วงจรเปรียบเทียบแรงดันทางเครื่องกำเนิดกับด้านระบบ

วงจรนี้มีหลักการทำงานที่วัดใช้แรงดันจากระบบเป็นอ้างอิง และเมื่อเครื่องกำเนิดเริ่มผลิตแรงดันที่ขั้วขึ้นมา จะทำให้ส่วนต่างของแรงดันที่ด้านเอาท์พุทลดลง ซึ่งจะใช้ส่วนต่างของแรงดันนี้ ไปเช็คแรงดันสูงหรือต่ำกว่ากำหนดต่อไป

3.6.2 วงจรเช็คแรงดันต่ำและสูงกว่ากำหนด

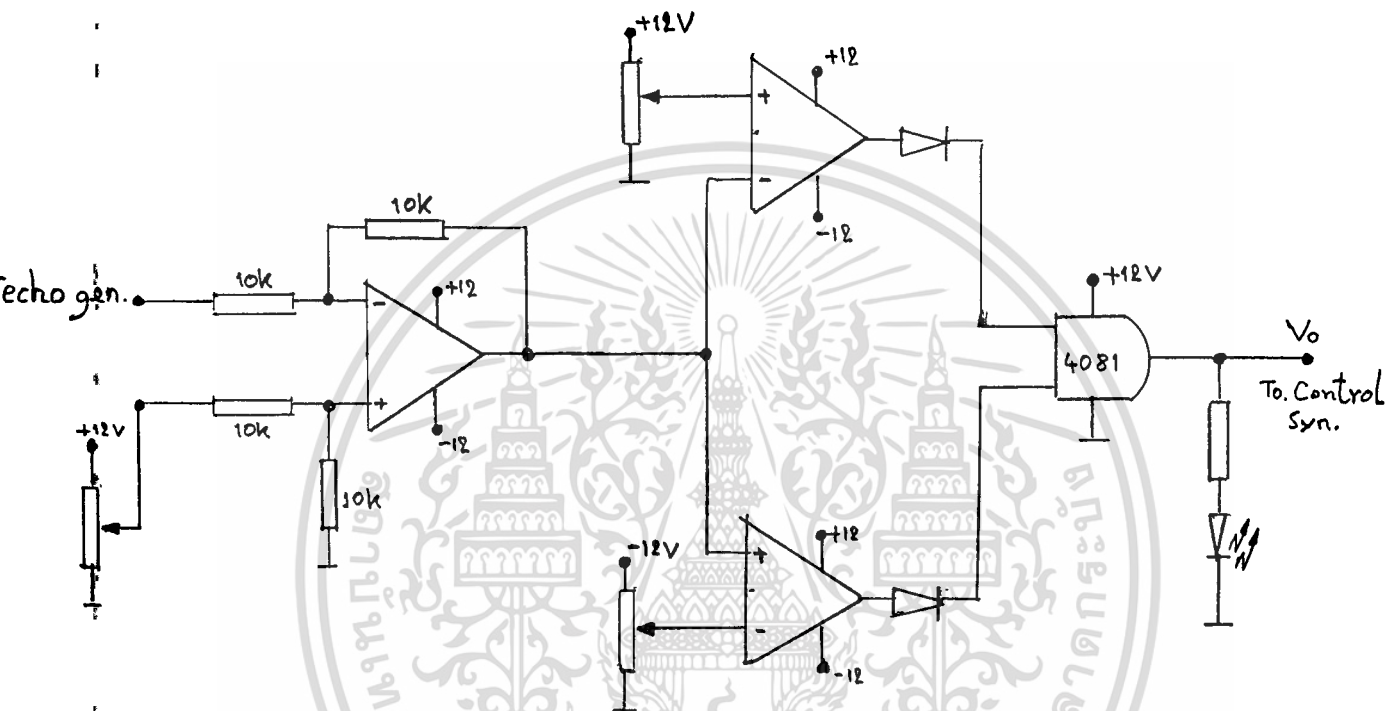


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.19 วงจรเช็คแรงดันต่ำและสูงกว่ากำหนด

3.7 การออกแบบวงจรเช็คความแตกต่างของควมถี่

เป็นการตรวจสอบเงื่อนไขหนึ่งของการซิงโครไนซ์เพื่อให้ความถี่ของแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าใกล้กับของระบบ ถ้าความถี่ต่ำหรือสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด การซิงโครไนซ์จะไม่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับการตรวจสอบความแตกต่างของแรงดัน



รูปที่ 3.22 วงจรเช็คความแตกต่างของควมถี่

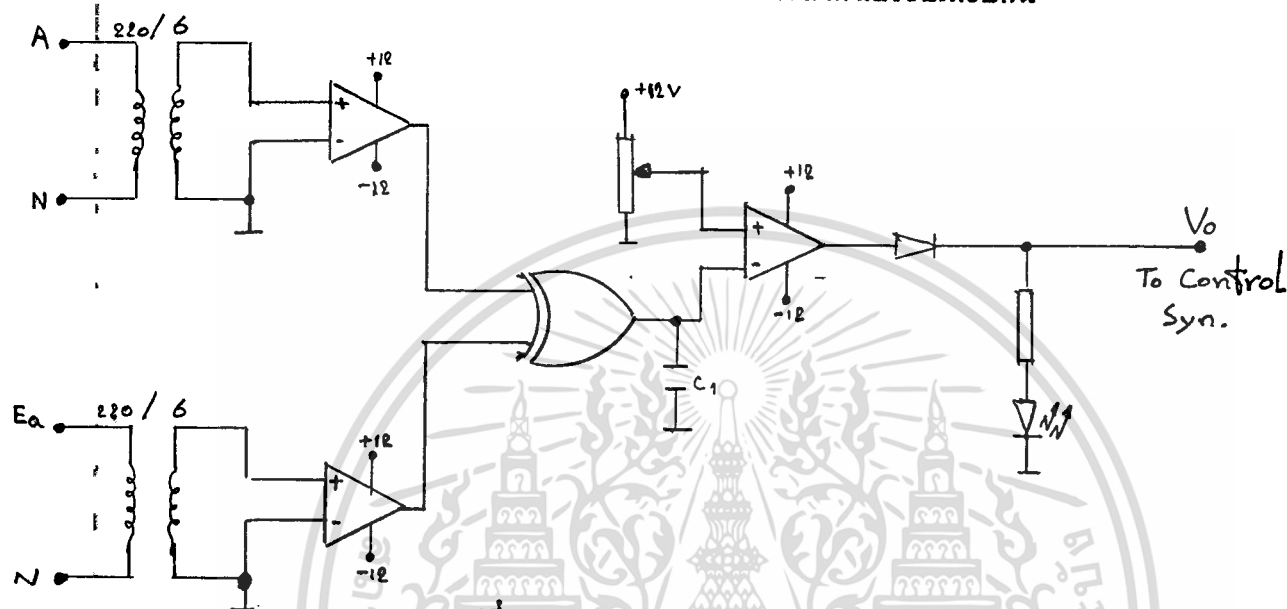
ตารางที่ 3.8 แสดงผลสัญญาณควบคุมความแตกต่างของควมถี่

ความแตกต่างของควมถี่	ผล
0	ควมถี่ไม่เท่ากัน
1	ควมถี่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การออกแบบวงจรตรวจสอบมุมต่างเฟส

หน้าที่ของส่วนนี้คือ ตรวจสอบเงื่อนไขหนึ่งของการซิงโครไนซ์ โดยจะทำการตรวจสอบเฟสไคเฟสหนึ่งทั้งทางด้านสายเมนและเครื่องกำเนิดแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน



รูปที่ 3.23 การต่อวงจรตรวจสอบมุมต่างเฟส

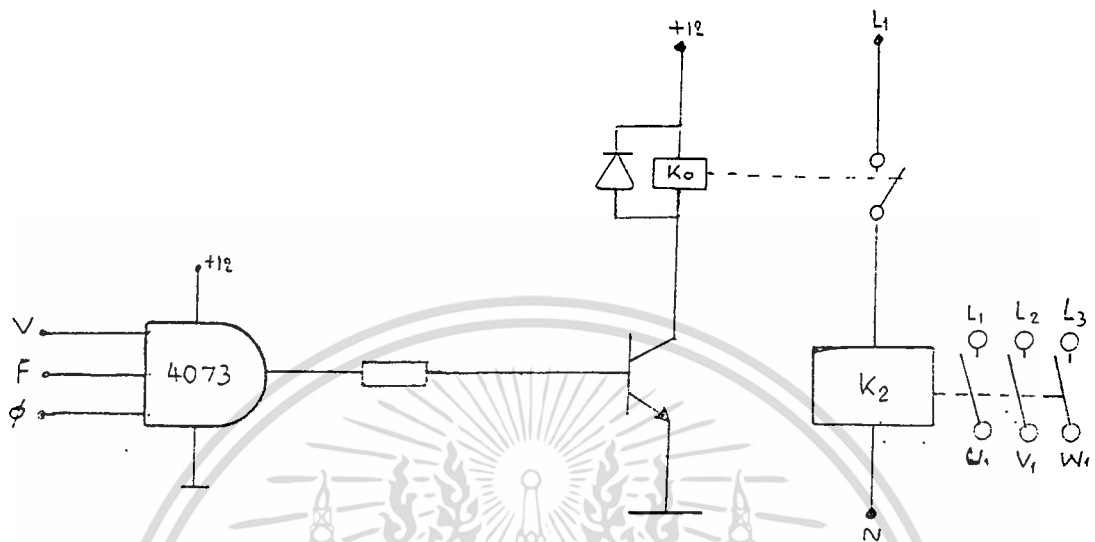
ตารางที่ 3.9 แสดงผลของสัญญาณควบคุมเฟส (ϕ)

เฟส(ϕ)	ผล
0	มุมไม่เท่ากัน
1	มุมเท่ากัน

เริ่มต้นโดยใช้คุณสมบัติของเฟสล็อกคูล เมื่อ f_a และ f_{Ea} คือแรงดันไฟสลับที่เปลี่ยนเป็นสัญญาณพัลส์ เมื่อมุมแตกต่างกันน้อยแรงดันเอาต์พุตของเฟสล็อกคูล จะได้แรงดันออกมาสูงแล้วนำมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงที่กำหนด ถ้าแรงดันต่ำกว่าแรงดันอ้างอิงที่กำหนดจะทำให้ LED สว่าง และเกิดเอาต์พุตออกเป็นสัญญาณควบคุมที่ใช้ในการซิงโครไนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การออกแบบวงจรรวมเงื่อนไขต่างๆ



รูปที่ 3.25 วงจรควบคุมการชิงโครโนซ์

วงจรนี้เป็นการรวมเอาเงื่อนไขต่างๆ คือสัญญาณ ความแตกต่างแรงดัน และ ความแตกต่างกระแส และฟลักเป็นหนึ่ง (+12) รีเลย์ชิงโครโนซ์ (K_2) จะทำงาน

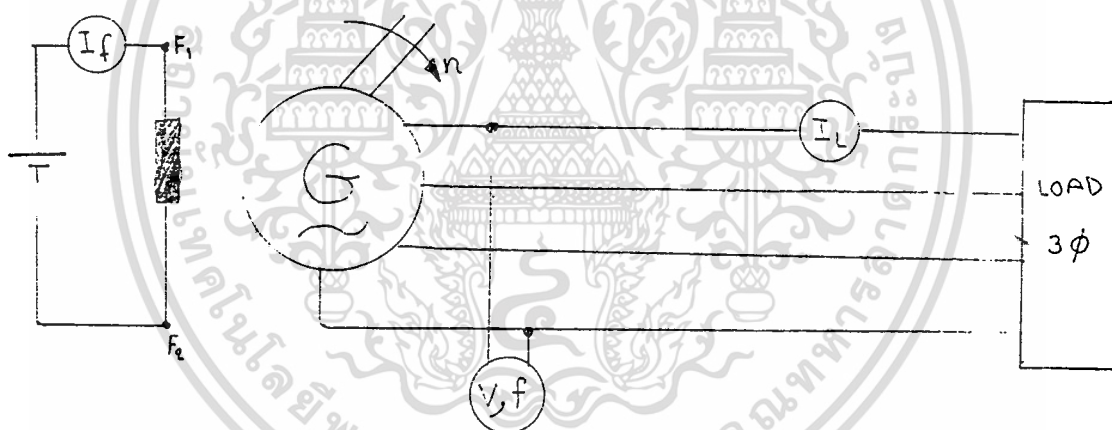
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการทดลองชุดขนานเครื่องกำเนิดแบบอัดโนมัตินั้น จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจะทดสอบให้เครื่องกำเนิดจ่ายโหลดไปเรื่อยๆจนถึงพิกัด โดยไม่มีการควบคุมใดๆทั้งสิ้น และส่วนที่ 2 จะใช้ให้เครื่องควบคุมตัวเองโดยอัดโนมัติ ซึ่งทั้ง 2 ส่วนจะวัดความเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันที่ขั้ว การเปลี่ยนแปลงของจำนวนรอบมอเตอร์และการเปลี่ยนแปลงของกระแสฟลักซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อเทียบกับกระแสโหลด

4.1 การทดสอบให้เครื่องกำเนิดจ่ายโหลดโดยไม่มีการควบคุม

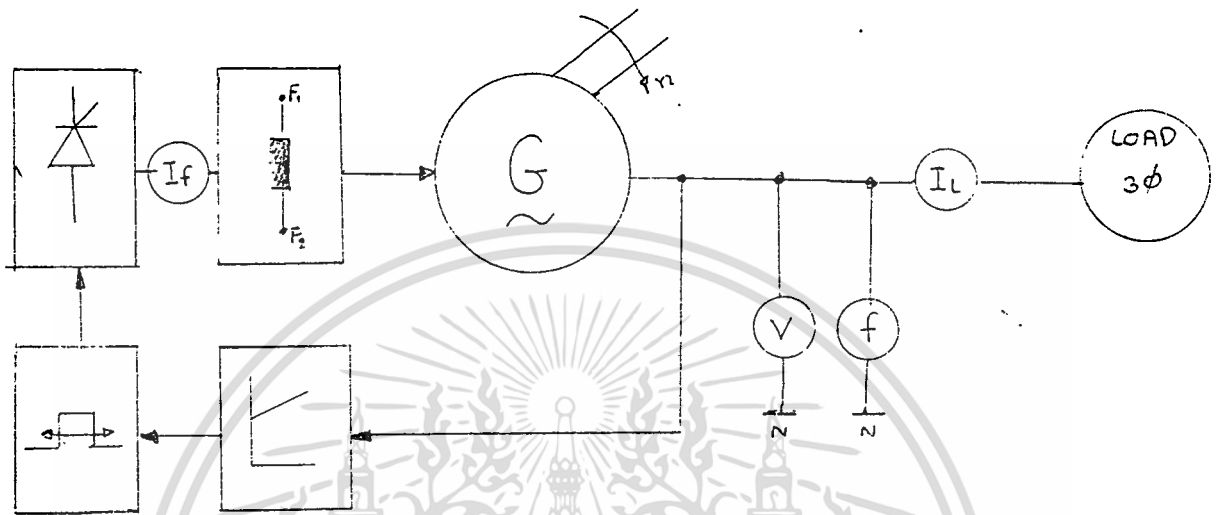


รูปที่ 4.1 วงจรทดสอบเครื่องกำเนิดจ่ายโหลดโดยไม่มีการควบคุม

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบผลของ I_L กับ V , f , n และ I_f (ไม่มีการควบคุม)

I_L (A)	0	0.45	0.90
V (v)	220	210	201
f (Hz)	50	49.3	48.33
n (r.p.m)	1500	1478	1450
I_f (mA)	68	68	68

4.2 การทดสอบให้เครื่องกำเนิดจ่ายโหลดโดยมีการควบคุมโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 4.2 วงจรทดสอบให้เครื่องกำเนิดจ่ายโหลดโดยมีการควบคุมโดยอัตโนมัติ

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบผลของ I_L และ V , f , n และ I_f

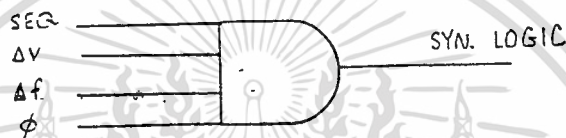
I_L (A)	0	0.45	0.90
V(v)	220	220	220
f(Hz)	50	50	50
n(r.p.m)	1500	1500	1500
I_f (mA)	68	69	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

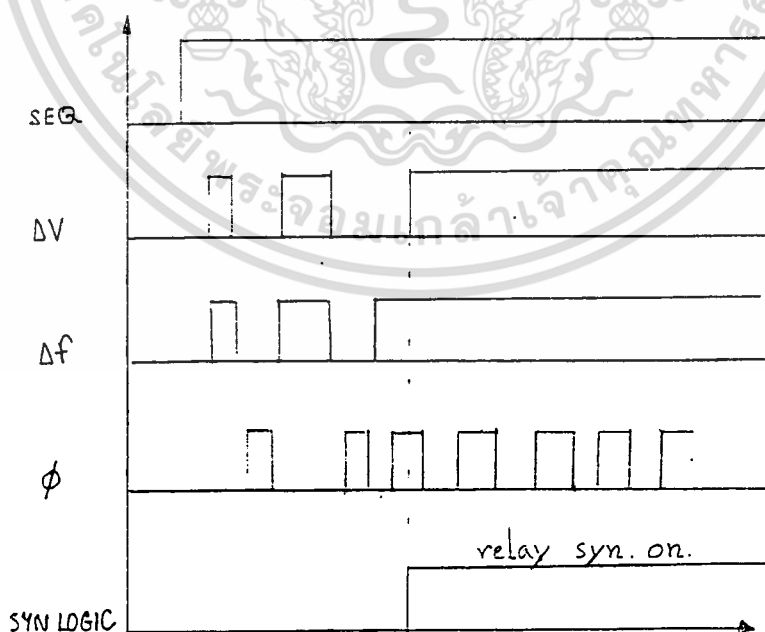
4.3 การทดสอบชุดขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบอัตโนมัติ

ในการทดสอบการขนานเครื่องกำเนิดมีเสื่อนไขต่างๆ และค่าที่ขอมรับ ได้ทั้งความถี่และแรงดันซึ่งจะมีการทดสอบข้อกำหนดต่างๆดังต่อไปนี้

4.3.1 สัญญาณในการขนานเครื่องกำเนิด



รูปที่ 4.3 การรวมเงื่อนไขทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.4 สัญญาณในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบเงื่อนไขต่างๆ ของการขนานเครื่องกำเนิดเป็นการนำคุณสมบัติของแอนต์-เกตมาใช้ คือเงื่อนไขต่างๆ ในการขนานทั้งหมดต้องมีคำสั่งหนึ่งทุกเงื่อนไข ถึงจะทำให้รีเลย์ที่ควบคุมในการขนานเครื่องกำเนิดทำงาน ถ้าเงื่อนไขเงื่อนไขใดหนึ่งผิดพลาด (0) รีเลย์ควบคุมการทำงาน ดังภาพในสัญญาณในการขนานเครื่องกำเนิด

4.3.2 การทดสอบค่าที่ยอมรับได้ของความถี่

ตามมาตรฐานของการไฟฟ้า ได้กำหนดค่าความถี่ที่ยอมรับได้ของความถี่ไว้ประมาณ 0.4 -0.75 % หรือ ประมาณ 1 Hz และจากการทดสอบได้ค่าดังนี้
ความถี่ที่ทดสอบได้ประมาณ 50 Hz
ความเร็วที่ทดสอบได้ 1502 r.p.m

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบจะเห็นว่าความถี่และความเร็วที่ทดสอบได้จะอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้าที่ตั้งไว้ ค่าที่ยอมรับได้ในโครงการนี้สามารถปรับแต่งได้ว่าจะให้อยู่ในย่านที่ต้องการได้

4.3.3 การทดสอบค่าที่ยอมรับได้ของแรงดันที่ขั้ว

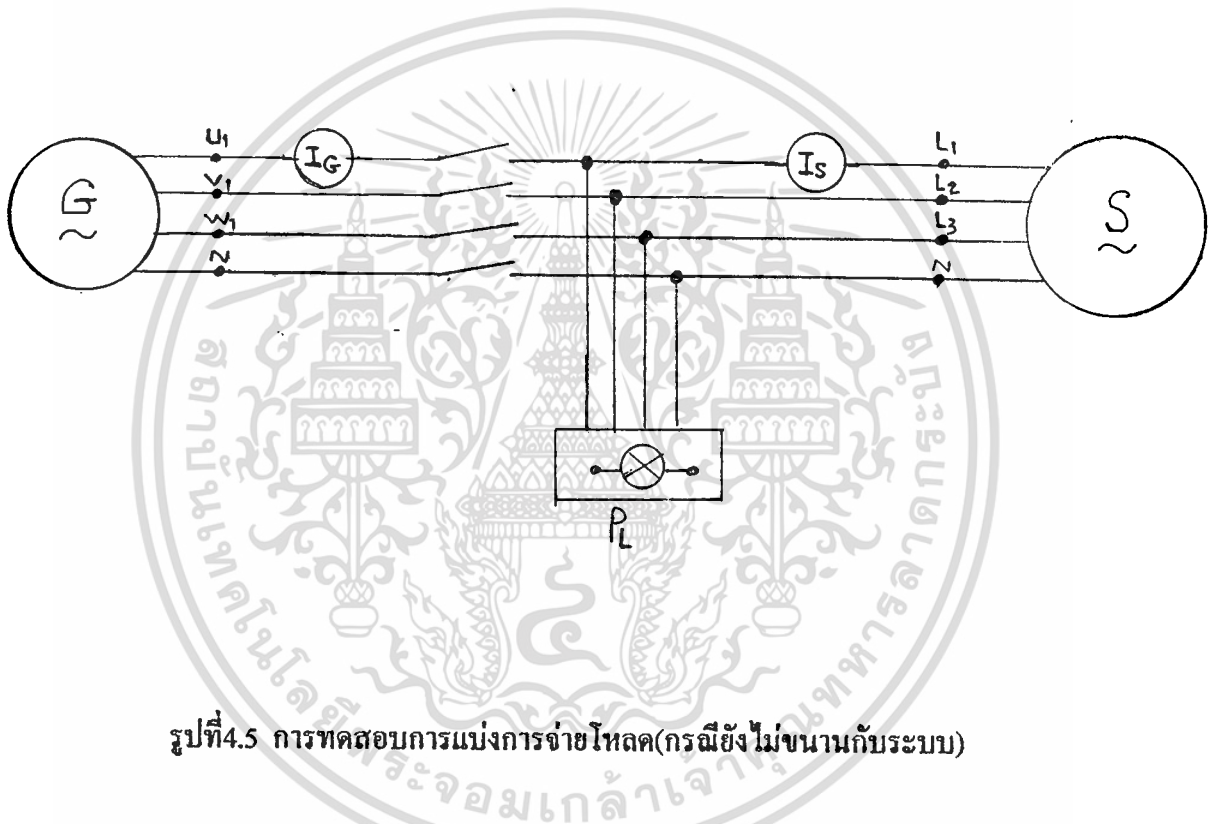
ตามมาตรฐานของการไฟฟ้า ได้กำหนดค่าที่ยอมรับได้ของแรงดันที่ขั้วไว้ประมาณ $\pm 10\%$ หรือประมาณ $\pm 22\%$ Volt/Phase การทดสอบได้ค่าดังนี้
แรงดันที่ขั้วทดสอบได้เท่ากับ 225 Volt/Phase หรือ แรงดันที่ขั้วทดสอบได้เท่ากับ 388 Volt/Line

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบจะเห็นว่า แรงดันที่ขั้วทดสอบได้อยู่ในค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งค่าที่ยอมรับได้สามารถตั้งค่าได้ตามต้องการ แต่ค่าที่ยอมรับได้ของแรงดันที่ขั้วควรตั้งค่าไว้ทางค่านวค($\% \pm$) เพราะการขนานเครื่องกำเนิดเข้ากับระบบนั้น จุดประสงค์ก็เพื่อต้องการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีดิวท์ค่าไม่มาก เพื่อแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์ให้กับระบบ

4.4 การทดสอบการแบ่งการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดที่ขนานเข้ากับระบบ

4.4.1 กรณียังไม่ขนานเครื่องกำเนิดเข้ากับระบบ



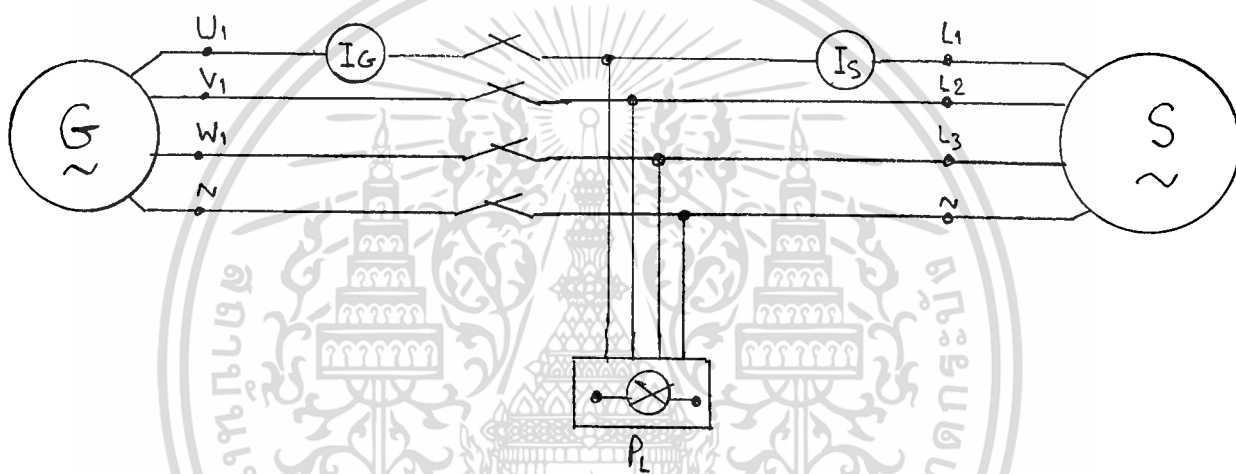
รูปที่ 4.5 การทดสอบการแบ่งการจ่ายโหลด(กรณียังไม่ขนานกับระบบ)

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าของ I_G และ I_S ในขนาดโหลดต่างๆ (กรณียังไม่ขนานกับระบบ)

PL (w)	0	25	50	75
I_G (A)	0	0	0	0
I_S (A)	0	0.2	0.4	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2กรณีขานานเครื่องเข้าระบบ



รูปที่4.6 การทดสอบขานานเครื่องกำหนดเพื่อแบ่งการจ่ายโหลด

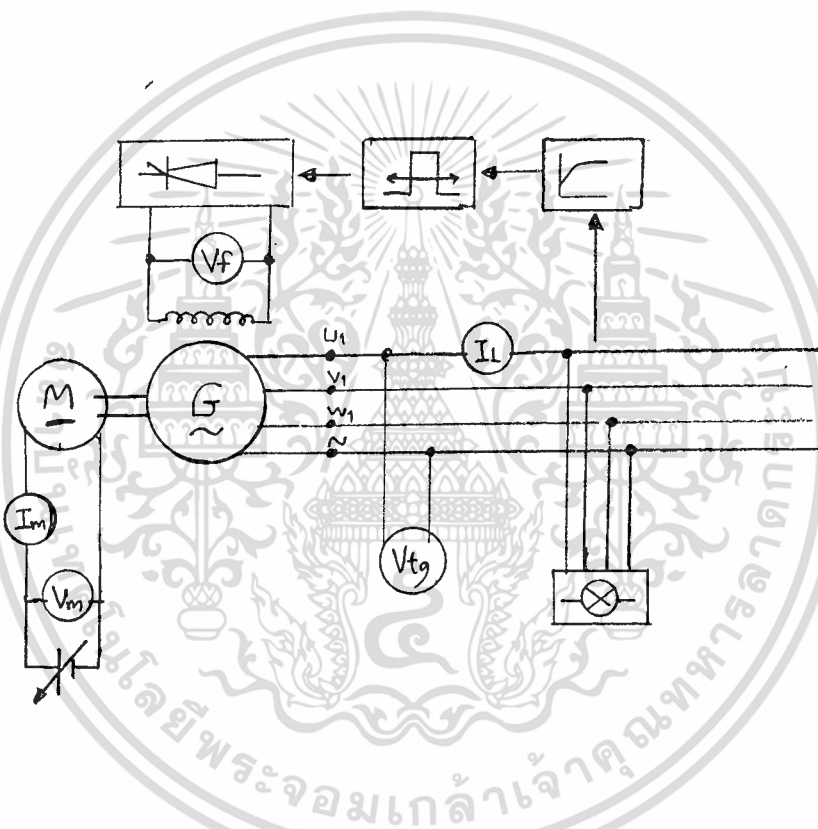
ตารางที่4.4 ตารางแสดงค่าของ I_G และ I_S เมื่อเครื่องกำหนดแบ่งการจ่ายโหลด

PL (w)	0	25	50	75
I_G (A)	0.2	0.2	0.3	0.4
I_S (A)	0.2	0.2	0.3	0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันและความถี่ที่เมื่อโหลดค่าต่างๆ

4.5.1 Voltage Regulation



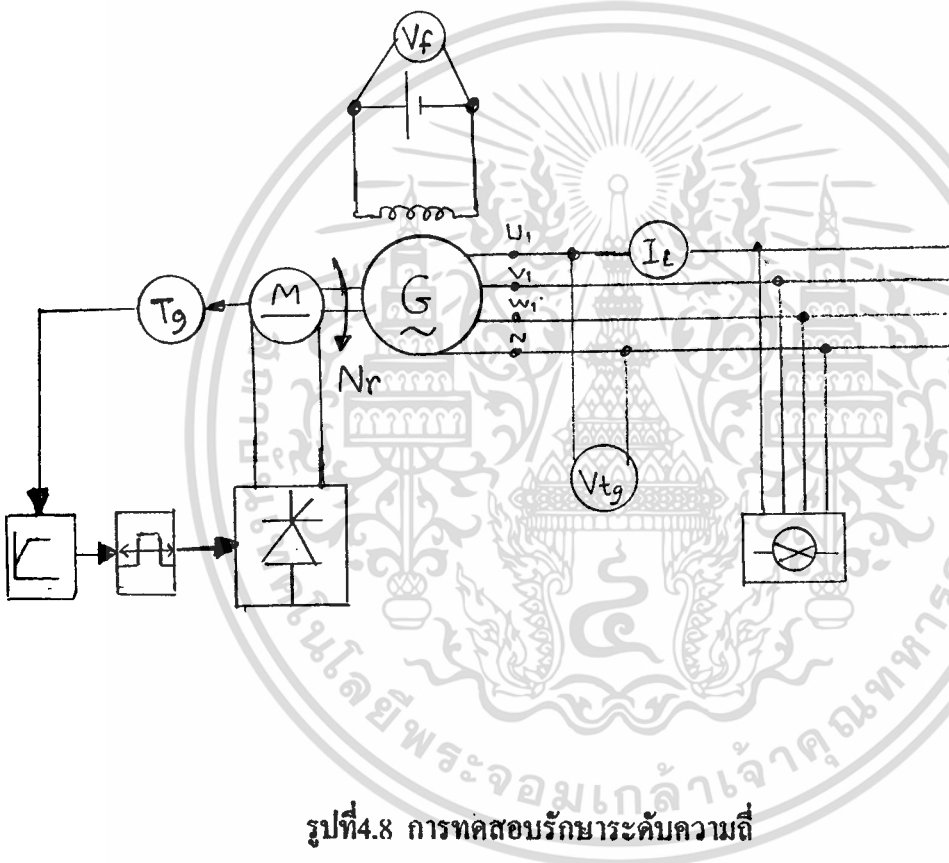
รูปที่ 4.7 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันโดยควบคุมความถี่

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าต่างๆที่วัดได้จากรูปที่ 4.7

Load (w)	IL (A)	Vtg (v)	Vf (v)	If (A)	f (HZ)	Vtm (v)	Iam (A)
0	0	219	110	0.1	50.5	95	.63
25	0.1	220	151	0.13	50.5	105	1.52
50	0.2	219	155	0.13	50.5	110	2.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 Speed Regulation



รูปที่ 4.8 การทดสอบรักษาระดับความเร็ว

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าต่างๆที่วัดได้จากรูปที่ 4.8

Load (w)	IL (A)	Vf(v)	Vtg (v)	Nr (rpm.)	f(Hz)	VTg (v)
0	0	110	220	1494	50	1.49
5	0.02	110	215	1494	50.25	1.45
10	0.04	110	211	1495	50.25	1.45
25	0.1	110	210	1494	50.25	1.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการขังในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 รูปและข้อเสนอแนะ

5.1 รูป

ในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งโครนัสแบบอัตโนมัตินั้นสามารถทำได้โดยควบคุมความถี่ แรงดันที่ขั้ว ให้เท่ากับระบบและต้องต่อลำดับเฟส ได้เหมือนกัน และมุมต่างเฟสต้องต่างกัน ในส่วนแรกจะเป็นการควบคุมความเร็ว ส่วนที่สองจะเป็นการควบคุมแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิด และในส่วนที่สามจะเป็นการตรวจสอบลำดับเฟส ตรวจสอบมุมต่างเฟสและตรวจสอบเงื่อนไขต่างๆในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในส่วนแรกเป็นชุดบริดจ์เรกติไฟฟ้ายที่สามารถควบคุมได้โดยใช้เอสซีอาร์เพื่อควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ โดยควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ซึ่งลักษณะการทำงานคือการควบคุมมุมทริกของเอสซีอาร์ โดยการเลื่อนมุมทริกจะเป็นไปโดยอัตโนมัติโดยชุดควบคุมแบบป้อนกลับที่รับค่าความเร็วเปรียบเทียบกับที่ถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันโดยเทคโคเจนเนอเรเตอร์ ซึ่งความเร็วของมอเตอร์ก็จะถูกควบคุมให้คงที่ตลอดทุกสภาวะการทำงานที่ 1500 รอบ/นาที

ในส่วนที่สองเป็นชุดควบคุมแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยมีหลักการควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นของเครื่องกำเนิด โดยชุดควบคุมแบบป้อนกลับจะรับค่าแรงดันเปรียบเทียบกับจากขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งแรงดันที่ขั้วจะถูกควบคุมให้คงที่ตลอดทุกสภาวะการทำงานที่ 380 Volt/Line

และในส่วนที่สาม การตรวจสอบลำดับเฟสจะใช้หลักการของหลอดไฟโดยจะใช้เงื่อนไขแบบดับทั้ง 3 ดวงถึงจะสามารถซิงค์ระบบได้ โดยการตรวจสอบลำดับเฟสก็จะต้องทำก่อนที่จะทำการซิงค์ระบบจริง

ส่วนชุดตรวจสอบมุมต่างเฟสก็จะใช้คุณสมบัติของวงจรเฟสล็อกคูล์โดยใช้อุปกรณ์ Exclusive or gate มาประกอบเป็นวงจรนี้ขึ้นมา

และชุดตรวจสอบเงื่อนไขต่างๆคือ การตรวจสอบความแตกต่างของความถี่ แรงดันและมุมต่างเฟสระหว่างระบบกับเครื่องกำเนิดให้อยู่ในย่านที่ยอมรับได้ และผลในการตรวจสอบในโครงการนี้สามารถขนานแบบอัตโนมัติได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

5.2 ปัญหาของโครงการ

จากการดำเนินงานและการทดสอบที่ผ่านมา พบว่าโครงการนี้มีปัญหาที่จะต้องแก้ไขดังเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. มอเตอร์ที่ใช้เป็นตัวคั่นกำลังนั้น ถ้าใช้มอเตอร์ตัวใหญ่จะทำให้ชุดกำลังที่ควบคุมความเร็วมอเตอร์ต้องใช้ขนาดของเอสซีอาร์ที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งต้องมีค่าใช้จ่ายที่แพงขึ้นอย่างมาก
2. ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ไม่สามารถควบคุมความเร็วตั้งแต่เริ่มสตาร์ทได้ เนื่องจากเงื่อนไขในการปรับแต่งชุด Feedback control จึงทำให้กระแสสตาร์ทช่วงแรกจะสูง

5.3 ข้อแนะนำ

1. ในวงจรทรานซิสเตอร์ ควรเปลี่ยนทรานซิสเตอร์(2N 3053)เป็น MOSFET(N CHANNEL) เพราะกระแสที่ทรานซิสเตอร์สวิทช์ซึ่งในรูปของฟิล์มทรานซิสเตอร์ ถ้ามีความถี่สูงทรานซิสเตอร์อาจร้อนหรือพังได้ง่าย
2. การปรับแต่งสัญญาณทรานซิสเตอร์ ให้เหมาะสมกับโหลดจะทำให้โดยปรับที่ความต้านทานปรับค่าได้ที่วงจรถ้าเนค Clock
3. ชุดกำลังที่จ่ายให้กับมอเตอร์และฟิลต์คอยล์ควรมีการต่อ back diode เสมอวงจรจึงสามารถทำงานได้ เนื่องจากโหลดที่ใช้(มอเตอร์และฟิลต์คอยล์)มีค่าอินดักแตนซ์สูงมาก

5.4 ข้อจำกัดของโครงการ

ไม่สามารถนำไปใช้กับชุดกำเนิดไฟฟ้าที่มีตัวคั่นกำลังเป็นเครื่องชนิดดีเซลหรือพวกกังหันก๊าซได้ เพราะชุดควบคุมตัวคั่นกำลังของโครงการนี้ถูกออกแบบให้ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น

เอกสารอ้างอิง

1. รศ. ดร. วิริยะ พิเศษฐจำเริญ,เอกสารประกอบการสอนวิชา Power Electronic,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,พศ. 2539
2. ผศ. สุภกิจ จูตะวิริยะ,เอกสารประกอบการสอนวิชา Electronic1,2 ,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,พศ. 2539
3. รศ. อุคมศักดิ์ ชัยยีน,Power Electronic,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตธนบุรี,พศ. 2530
4. อ. มงคล ทองสงคราม,Power Electronic,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตพระนครเหนือ,พศ. 2536
5. อ. ชูเกียรติ พงษ์พานิช,เอกสารประกอบการสอนวิชา Electrical Machine4,มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์,พศ. 2536
6. อ. ณรงค์ ขอนคะวัน,เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตธนบุรี,พศ. 2530
7. อ. ประสิทธิ์ สุขเสริม,เครื่องกลไฟฟ้า3,มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์,พศ. 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rectifier Converter Using Thyristors and the TCA 785 Integrated Phase Control

Part 1; Basic circuits

Reprint from "Siemens Components" 23 (1985) · Issue 4 · Pages 158 to 163 · Issue 5 · Pages 193 to 201 · Author: Werner Schott

Phase control by thyristors is common practice when converting single- and three-phase ac into dc and providing power control at the same time.

To control high-power thyristors in power electronics requires special devices. The TCA 785 monolithic integrated phase control has been developed for this purpose.

By the selection and configuration of switching points with external access it allows a large variety of functions to be performed which would otherwise involve high costs using discrete semiconductors in conventional circuitry.

The first part of this article describes the TCA 785 and thyristor control. In a second part to follow, line-commutated rectifier converter circuits and ac current controllers will be dealt with.

The TCA 785 integrated phase control suits very well to a large number of drive circuits such as

- line-commutated current converter circuits, e.g. half and fully controlled single-phase and three-phase bridge circuits as well as star and double star circuits.

- non-commutating current converter circuits, e.g. single- or three-phase current controllers and switches.

These applications require different control devices, i.e. 2-, 3-, 4- or

6-pulse control sets.

Further requirements of integrated circuits to control power elements are:

- ICs for power electronics must be capable of triggering two thyristors connected either in series or back-to-back.

- three-phase operation requires paralleling of ICs to allow the delay angle to be adjusted in the three phases R, S, T with only *one* potentiometer.

- Trigger pulse shifting should be possible continuously between 0 and 180° in the delay angle.

- Depending on the load or circuit design different pulses (long, short, continuous pulses) should be generated to trigger the thyristor.

Other TCA 785 applications are as zero crossing switch in full-wave control with a triac and a voltage pulse width converter with optional fixed frequency ($f = 10$ to 500 Hz).

Special features of the TCA 785 include the following: wide application range because of external accessibility, supply voltage 8 to 18 V,

extended temperature range -25 to +85 °C,

current consumption only 4.5 to 10 mA,

LSL compatible, i.e. controllable by slow-speed, interference-free logic with 15-V signal level,

two outputs for 250 mA trigger current each,

two additional outputs with inverted signals,

inhibit function: trigger pulse inhibit, arc suppression,

trigger pulse extension by external capacitor,

reliable zero crossing recognition, protective circuitry against intermittent

triggering, three circuits only necessary for six pulse operation, use as zero

crossing switch and voltage pulse width converter possible.

Functions of the TCA 785

The block and pulse diagrams Figs. 1 and 2 show the main functions of this integrated circuit. The major part of the IC is supplied by an internally controlled voltage $U_{ref} \approx 3.1$ V. Thus the main parameters are independent of the dc supply voltage U_s and a wide supply voltage range $U_s = 8$ to 18 V is permitted.

The positive pole is connected to Pin 16 and negative pole to pin 1 (reference potential ground). Current consumption (without load) is up to 10 mA.

Output of the controlled voltage $U_{ref} \approx 3.1$ V is provided at pin 8 via an internal decoupling resistor.

To enhance noise-immunity a holding capacitor C8 can be connected to ground here (reference potential).

In current converter circuits requiring several TCA 785 devices (typical of three-phase current circuits) these

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้มีการเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัท

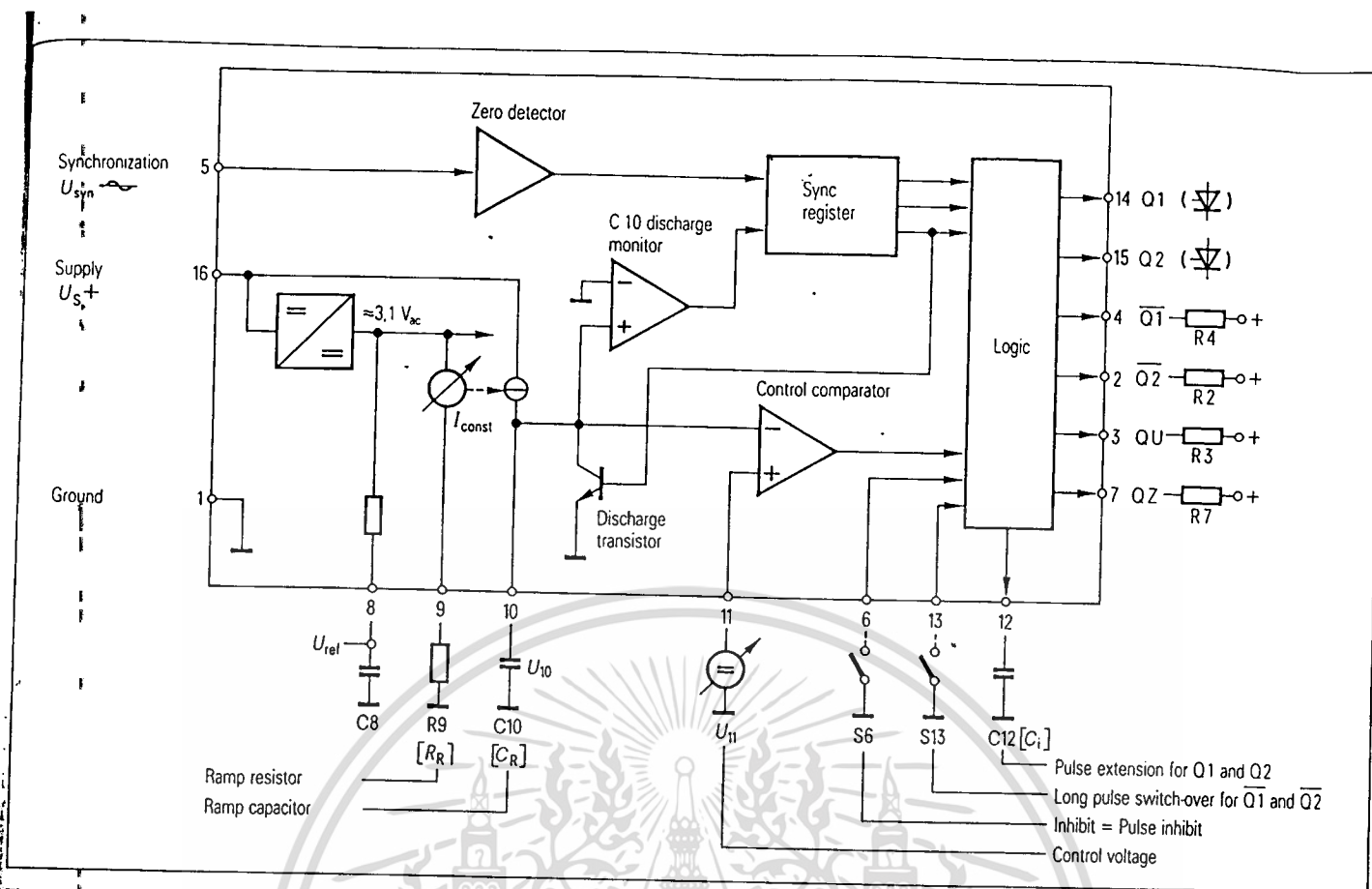


Fig. 1 Block diagram of the TCA 785 integrated phase control

points have to be paralleled to provide uniform control conditions in all phases and in controlled current converter branches as well.

The synchronization signal U_{syn} is derived from the line voltage via a high-value resistor. U_{syn} has to be connected to pin 5 and ground to pin 1.

A highly sensitive zero-crossing detector provides synchronization. The detector is followed by a synchronization register which controls a ramp generator (sawtooth).

The latter mainly consists of a constant current source I_{const} which charges external capacitor C10 or C_R linearly with time via pin 10. The ramp capacitance of C10 should be between 500 pF and 1 μ F always bearing in mind that sawtooth flyback times may increase in proportion to the C10 value (see Fig. 3) and that maximum and minimum values of I_{10} will not be exceeded.

Current I_{const} is adjustable by external resistor R_9 or $R_R = 3$ to 300 k Ω via pin 9.

The RC network R9, C10 thus defines the rise of off-state ramp voltage U_{10} . Each ramp commences with a zero crossing of the sync voltage and ends with the following by discharging ramp capacitor C10 via an internal discharge transistor.

The logic circuitry of the sync register releases the information at the zero detector output to the following circuit only after the discharge monitor indicates complete discharge of C10.

This is of major importance when using the TCA 785 as a zero crossing switch and pulse width converter.

Leakage voltage at C10 does not affect the controllability of the TCA 785 and the way in which the control voltage is supplied.

In this case trouble-free adaptation of op-amps to the IC is possible. At the instant when the control voltage reaches the leakage voltage value maximum phase control of 180° is obtained (Fig. 4) and will be maintained (full wave) even with control voltages which

may be below the leakage voltages and approaching 0 V.

Dc control voltage U_{11} has to be connected to pin 11 (with ground to pin 1). The control comparator compares control dc voltage and ramp voltage U_{10} . If the latter exceeds control voltage U_{11} , appropriate output pulses start at control angle α . The subsequent logic determines the kind and width of the different output pulses (positive to ground) by means of several links (see waveform in Fig. 2).

Main outputs Q1 (pin 14) and Q2 (pin 15) are given by an emitter follower capable of handling a maximum 250 mA.

They are allocated to half-waves of the same polarity.

Q1 delivers pulses only in the negative half-wave and Q2 in the positive one of the sync voltage.

Pulse duration is about $\beta = 30 \mu$ s (short pulse without connection to pin 12). It is freely extendible by external capacitor C12 or C_i (see Table 1 for pulse extension values).

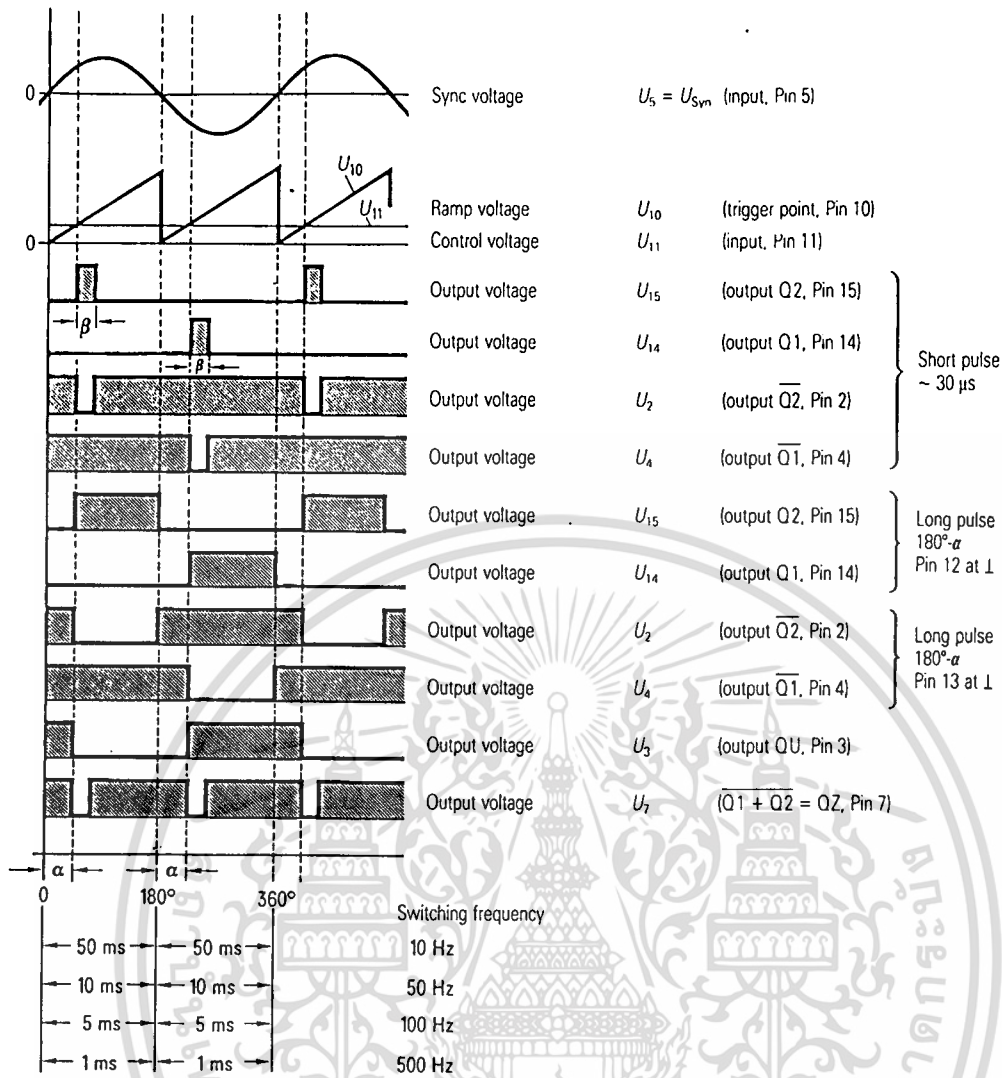


Fig. 2 TCA785 waveforms

If the trigger input at pin 12 is short-circuited to ground, pulse widths of $\beta = 180^\circ - \alpha$ (long pulse) result.

Auxiliary outputs Q1 (pin 4) and Q2 (pin 2) are open collectors capable of handling 10 mA at maximum.

A signal can only be switched at either output when collector resistors R4 and R2 ($\approx 15 \text{ k}\Omega$) are externally connected between output and positive pole. The signal delivered corresponds to the inverted signal of Q1 and Q2. Pulse duration (output towards positive pole) is about $\beta = 30 \mu\text{s}$.

If trigger point at pin 13 is connected to ground, pulse widths (output to positive pole) of $180^\circ - \alpha$ (long pulse switching) occur here as well. Both auxiliary outputs QU (pin 3), QZ (pin 7) are

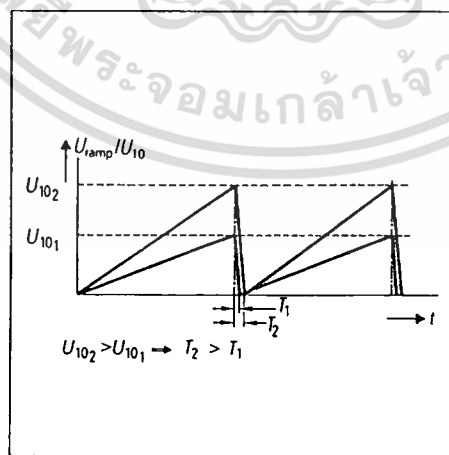


Fig. 3 Sawtooth flyback time. The sawtooth flyback time depends also on the value of the ramp resistor R9 which, together with the ramp capacitor C10 determines the ramp voltage. Thus with large ramp voltages, flyback times are always long because more energy has to be discharged

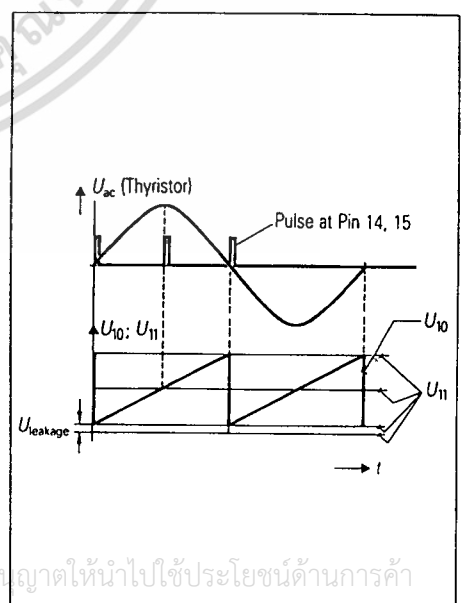


Fig. 4 Leakage voltage at capacitor C10

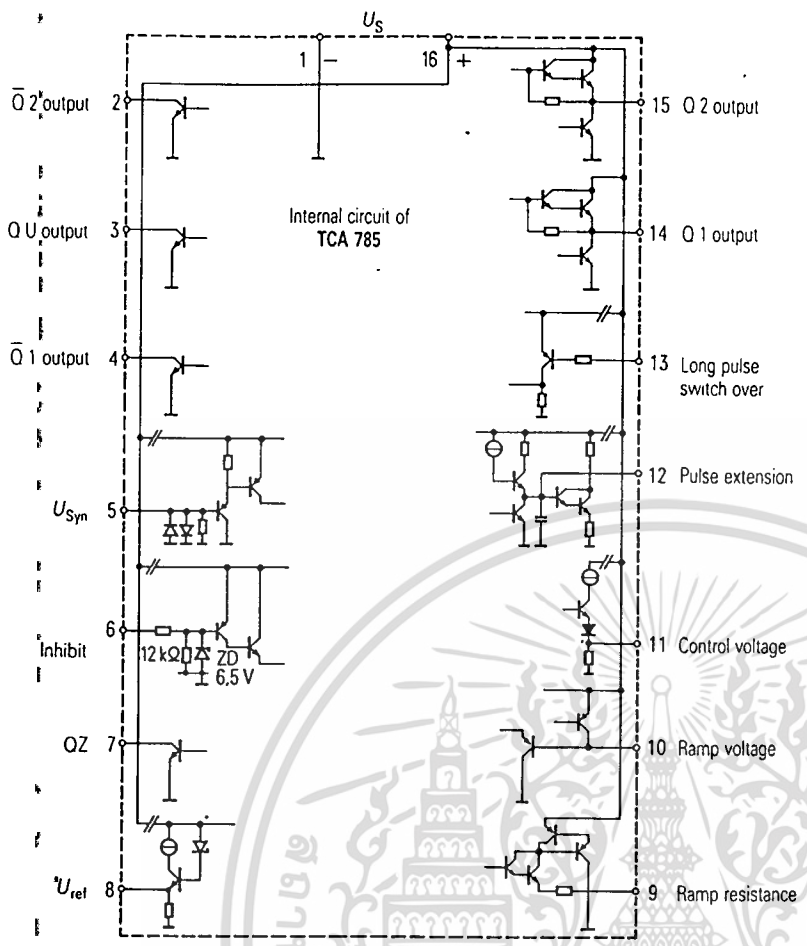


Fig. 5 Internal circuit of the TCA 785 output stage

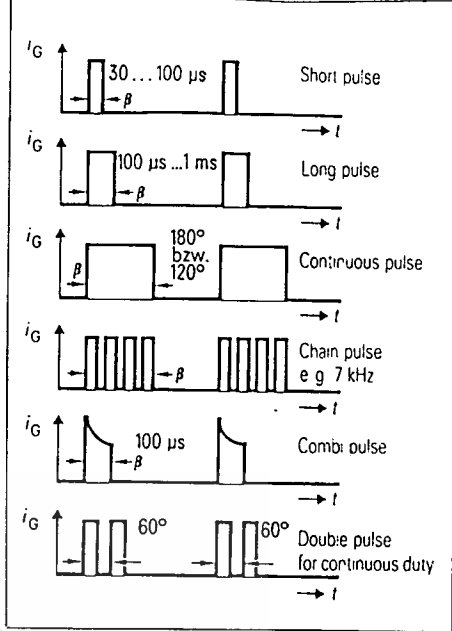


Fig. 6 Pulse waveforms for thyristor triggering. Short pulse $\beta = 30$ to $100 \mu s$, for resistive loads in the rated current range. Long pulse $\beta = 100 \mu s$ to $1 ms$, for slightly inductive loads or small resistive loads and partial load range. Continuous pulse $\beta = 180^\circ - \alpha$, for highly inductive loads, no trigger pulse transformer with large voltage-time range is required. Pulse train with 5 to 7 kHz clock frequency, to allow operation with small trigger pulse transformer, i. e. small voltage time range (mVs). Combined pulse for high rates of trigger current: $di_G/dt = 1$ to $3 A/\mu s$ to trigger series connected thyristors. Double pulse to control fully controlled three-phase bridges

provided as open collectors and serve for particular applications (e. g. control of external logic). To obtain a signal collector resistors R3 and R4 are necessary, as above, between output and positive pole. The signal of output QU is similar to that of Q1 but with a width $\beta = 180^\circ = \text{constant}$. The signal at output Q2 corresponds to the NOR-link of Q1 and Q2, i. e. $\bar{Q}1 + \bar{Q}2$. In the following application auxiliary outputs are neglected. To enhance noise-immunity here it is a good idea to connect output QZ (pin 7) to ground. Pulse inhibit (pin 6) can suppress pulses simultaneously at all outputs (Q1, Q2, $\bar{Q}1$, $\bar{Q}2$, QU). Trigger point at

pin 6 has to be connected to ground by a switch, a relay contact or a npn-transistor. Fig. 5 shows the internal circuit of the TCA 785 IC output stages. **Thyristor trigger module** Control of thyristors in line-commutated or non-commutating current converters requires particular trigger modules. A thyristor is triggered by a positive current pulse between gate and cathode. The control pulse is maintained until reaching the latching current. The thyristor is switched off by reducing the main current flowing between anode and cathode to below the holding current.

Depending on load and circuit design various pulses of different durations are applied to trigger the thyristor. These pulses are shown and annotated in Fig. 6. All trigger pulses, except the chain pulse, can be generated by the TCA 785. A CMOS device is required for the chain pulse. **Directly controlling low power thyristor with line voltage** Fig. 7 shows a phase control using the TCA 785 for directly controlling a BStC1040 low-power thyristor. Phase angle is adjustable between 0 and 180° and power at the load between 0 and 400 W.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μA741

FREQUENCY-COMPENSATED OPERATIONAL AMPLIFIER

FAIRCHILD LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

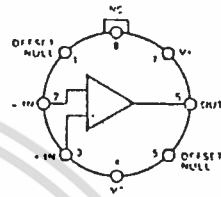
GENERAL DESCRIPTION — The μA741 is a high performance monolithic Operational Amplifier constructed using the Fairchild Planar* epitaxial process. It is intended for a wide range of analog applications. High common mode voltage range and absence of latch-up tendencies make the μA741 ideal for use as a voltage follower. The high gain and wide range of operation voltage provides superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications. Electrical characteristics of the μA741A and E are identical to MIL-M-38510/10101.

- NO FREQUENCY COMPENSATION REQUIRED
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OFFSET VOLTAGE NULL CAPABILITY
- LARGE COMMON MODE AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGES
- LOW POWER CONSUMPTION
- NO LATCH-UP

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage	
μA741A, μA741, μA741E	±27 V
μA741C	±18 V
Internal Power Dissipation (Note 1)	
Metal Can	500 mW
Molded and Hermetic DIP	670 mW
Mini DIP	310 mW
Flatpak	570 mW
Differential Input Voltage	
Input Voltage (Note 2)	±30 V
Storage Temperature Range	
Metal Can, Hermetic DIP, and Flatpak	-65°C to +150°C
Mini DIP, Molded DIP *	-55°C to +125°C
Operating Temperature Range	
Military (μA741A, μA741)	-55°C to +125°C
Commercial (μA741E, μA741C)	0°C to +70°C
Lead Temperature (Soldering)	
Metal Can, Hermetic DIPs, and Flatpak (60 s)	300°C
Molded DIPs (10 s)	260°C
Output Short Circuit Duration (Note 3)	
	Indefinite

CONNECTION DIAGRAMS
8-LEAD METAL CAN (TOP VIEW)
PACKAGE OUTLINE 50

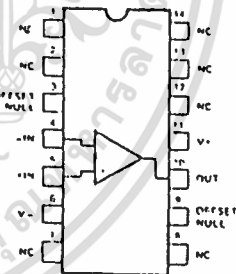


Note: Pin 8 connected to case

ORDER INFORMATION

TYPE	PART NO.
μA741A	μA741AHM
μA741	μA741HM
μA741E	μA741EHM
μA741C	μA741HC

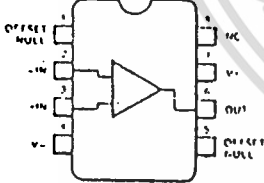
14-LEAD DIP (TOP VIEW)
PACKAGE OUTLINE 6A, 97A



ORDER INFORMATION

TYPE	PART NO.
μA741A	μA741ADM
μA741	μA741DM
μA741E	μA741EDC
μA741C	μA741DC
μA741C	μA741PC

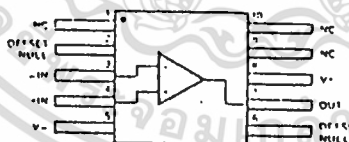
8-LEAD MINIDIP (TOP VIEW)
PACKAGE OUTLINES 6T 8T
PACKAGE CODES T R



ORDER INFORMATION

TYPE	PART NO.
μA741C	μA741TC
μA741C	μA741RC

10-LEAD FLATPAK (TOP VIEW)
PACKAGE OUTLINE 3F



ORDER INFORMATION

TYPE	PART NO.
μA741A	μA741AF-M
μA741	μA741FM

Notes on following pages.

*Planar is a patented Fairchild process.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



FAIRCHILD LINEAR INTEGRATED CIRCUITS • $\mu A741$

$\mu A741A$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_S = \pm 15V$, $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise specified)

PARAMETERS (see definitions)		CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Offset Voltage		$R_S < 50\Omega$				
Average Input Offset Voltage Drift				0.8	3.0	mV
Input Offset Current					15	μA
Average Input Offset Current Drift				3.0	20	nA
Input Bias Current					4.5	nA/ $^{\circ}C$
Power Supply Rejection Ratio		$V_S = +10, -20; V_S = +20, -10V, R_S = 50\Omega$		30	80	nA
Output Short Circuit Current				15	50	$\mu A/V$
Power Dissipation		$V_S = \pm 20V$	10	25	35	nA
Input Impedance		$V_S = \pm 20V$		100	150	M Ω
Large Signal Voltage Gain		$V_S = \pm 20V, R_L = 2k\Omega, V_{OUT} = \pm 15V$	1.0	0.0		MV
Transient Response (Unity Gain)	Rise Time		50			V/ μs
	Overshoot			0.25	0.8	μs
Bandwidth (see 4)				0.0	20	μs
Slew Rate (Unity Gain)		$V_{IN} = \pm 10V$	4.7	1.5		MV/ μs
The following specifications apply for $-55^\circ C < T_A < +125^\circ C$						
Input Offset Voltage						
Input Offset Current					4.0	nA
Input Bias Current					70	nA
Common Mode Rejection Ratio		$V_S = \pm 20V, V_{IN} = \pm 15V, R_S = 50\Omega$			210	nA
Adjustment For Input Offset Voltage		$V_S = \pm 20V$	10	55		μs
Output Short Circuit Current			10			nV
Power Dissipation		$V_S = \pm 20V$				nA
		$-55^\circ C$				165
		$+125^\circ C$				nW
Input Impedance		$V_S = \pm 20V$		0.5	155	M Ω
Output Voltage Swing		$V_S = \pm 20V, R_L = 10k\Omega$		0.16		V
		$R_L = 2k\Omega$		0.15		V
Large Signal Voltage Gain		$V_S = \pm 20V, R_L = 2k\Omega, V_{OUT} = \pm 15V$		32		V
		$V_S = \pm 15V, R_L = 2k\Omega, V_{OUT} = \pm 2V$		10		V/mV

NOTES

- Rating applies to ambient temperatures up to $70^\circ C$. Above $70^\circ C$ ambient, derate linearly at $6.3mW/^\circ C$ for the metal can, $8.3mW/^\circ C$ for the DIP and $7.1mW/^\circ C$ for the Flatpak.
- For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
- Short circuit may be to ground or either supply. Rating applies to $+25^\circ C$ case temperature or $75^\circ C$ ambient temperature.
- Calculated value from: $BW(MHz) = \frac{0.25}{Rise\ Time\ (\mu s)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้