การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมระบบแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์อัตโนมัติ

DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC POWER FACTOR CORRECTOR

นพรัตน์ อมรกุล

NOPARUT AMORNKUN

วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหาร-ลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๒๖

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

แบบฟอร์มการให้คะแนนการสอบวิทยานิพนธ์

สำหรับนักศึกษาปริญญาโท

ชื่อนักศึกษา นายนพรัตน์ อมรกุล

ชื่อหัวข้อเรื่องวิทยานิพนธ์ การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมระบบแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์อัตโนมัติ

ชื่ออาจารย์ผู้สอบสัมภาษณ์	ลายเซ็นอาจารย์ผู้สอบสัมภาษณ์	ผลการสอบ
1. ผศ.สันติ อัศวศรีพงศ์ธร	.....	.....
2. ดร.วินัย พฤกษะวัน	.....	.....
3. ดร.สิทธิชัย โภไคยอุดม	.....	.....
4. ดร.พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ	.....	.....

วันที่สอบ 1 กันยายน 2526 เวลา 13.30 น.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำตั้งแต่ต้นจนจบการศึกษา และขอขอบคุณต่อ คุณพนม เพชร-จตุพร คุณสุพจน์ องปราบปราม ตลอดจนนักศึกษารุ่นน้องอีกหลายคน ซึ่งหากปราศจากบุคคลเหล่านี้แล้ว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงจะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้อย่างรวดเร็วเช่นนี้

นพรัตน์ อมรกุล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งออกเป็น ๓ ส่วน โดยส่วนแรกจะกล่าวถึงที่มาของวิทยานิพนธ์ ตลอดจนความรู้พื้นฐานที่จำเป็นต้องรู้ เพื่อใช้ในการออกแบบวงจร ซึ่งบทที่ ๑ จะกล่าวถึง ประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า และการเรียกเก็บค่ากระแสไฟฟ้าโดยสังเขป ตลอดจนคำศัพท์ที่ควรทราบซึ่งนิยมใช้ในการคิดค่ากระแสไฟฟ้า บทที่ ๒ จะกล่าวถึงลักษณะสมบัติพื้นฐานของขดลวดอินดัคเตอร์และและคาร์ปาร์ซิเตอร์ บทที่ ๓ จะกล่าวถึงส่วนประกอบต่างๆ ในวงจรไฟฟ้าในทางปฏิบัติ และเรื่องของกำลังไฟฟ้า บทที่ ๔ จะอาศัยความรู้จากบทที่ผ่านมาทั้งหมดมาใช้ในการแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ และชี้ให้เห็นถึงผลดีของการแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ ส่วนที่สอง จะกล่าวถึงทฤษฎีที่จำเป็นต้องใช้ในการออกแบบวงจร ตลอดจนการออกแบบอุปกรณ์แก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ บทที่ ๕ กล่าวถึงการออกแบบส่วนต่างๆ ของวงจร และวงจรที่ใช้งานจริงๆ สำหรับส่วนที่สาม จะเป็นการกล่าวถึงผลการทดลอง และผลสรุปทั้งหมดของวิทยานิพนธ์นี้ ดังรายละเอียดในบทที่ ๖

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Abstract

This thesis is divided into three parts;

The first part consists of the philosophy and basic ideas of circuit design. Chapter I reviews types of electrical energy users, tariff rates and methods of calculation. Chapter II reviews the characteristics of capacitors and inductors. Chapter III considers the design of electrical components and apparent power. Chapter IV deals with the philosophy of power factor corrector design.

The second part deals with the theory and design of electronics circuits and switching circuits for the prototype. Chapter V mainly contains the design of the model used with problem solving and circuit alterations.

The third part gives test results and conclusions of the development which are contains in Chapter VI.

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		
บทคัดย่อ		
Abstract		
บทที่ 1	ประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า	1
บทที่ 2		5
2.1	ขดลวดอินดัคเตอร์	5
2.2	พลังงานสะสมในอินดัคเตอร์	6
2.3	คาร์ปาร์ซิเตอร์	7
2.4	พลังงานสะสมในคาร์ปาร์ซิเตอร์	8
บทที่ 3		9
3.1	วงจรไฟฟ้า	9
3.2	กำลังไฟฟ้า	9
3.2.1	กำลังไฟฟ้าเฟสเดียว	10
3.2.2	กำลังไฟฟ้าสามเฟส	13
บทที่ 4	การแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์	16
บทที่ 5	ทฤษฎีและการออกแบบอุปกรณ์แก้เพาเวอร์แฟคเตอร์	24
5.1	วงจรดักจับสัญญาณของศักดาและกระแส	27
5.1.1	ทฤษฎี	27
5.1.2	วงจรดักจับสัญญาณของศักดา	30
5.1.3	วงจรดักจับสัญญาณของกระแส	31
5.1.4	การทดลอง	32
5.2	วงจรเปรียบเทียบผลต่างและเปลี่ยนผลต่างที่ได้ให้เป็นกระแสตรง	33
5.2.1	ทฤษฎี	33
5.2.2	การทดลอง	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

หน้า

5.3 วงจรหาค่าเฉลี่ย 42

5.3.1 ทฤษฎี 42

5.3.2 การทดลอง 43

5.4 วงจรเปรียบเทียบระดับศักดากระแสตรงและวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา 44

5.4.1 ทฤษฎี 44

5.5 วงจรควบคุมการตัดต่อคาร์ปาร์ชิเตอร์ออกจากระบบรวม 47

5.6 วงจรต่อหรือปลดคาร์ปาร์ชิเตอร์ออกจากระบบรวม 58

บทที่ 6 ผลการทดลองและสรุป 67

6.1 ผลการทดลอง 67

6.2 สรุป 68

หนังสืออ้างอิง 69

ภาคผนวกที่ 1 70

ภาคผนวกที่ 2 76

ภาคผนวกที่ 3 85

ภาคผนวกที่ 4 91

ภาคผนวกที่ 5 99

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่ ๑

บทนำ

โดยทั่วๆ ไปแล้วสำหรับประเทศที่กำลังมีการเปลี่ยนแปลงจากประเทศกสิกรรมกลายเป็นประเทศอุตสาหกรรม หรือเรียกกันง่ายๆ ว่าประเทศกำลังพัฒนานั้น การใช้ทรัพยากรตลอดจนเครื่องจักร และเครื่องมือเครื่องใช้ที่มีอยู่ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ถือเป็นหัวใจสำคัญในการพัฒนาประเทศประการหนึ่ง

พลังงานไฟฟ้าถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดสำหรับประเทศอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพราะเครื่องจักรเกือบทั้งหมดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้

จากเหตุผลดังกล่าว ถ้าหากผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าช่วยกันใช้พลังงานไฟฟ้ากันอย่างประหยัดไม่ฟุ่มเฟือย จะช่วยให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดได้ ก่อนที่จะกล่าวถึงวิธีการประหยัดพลังงานไฟฟ้า เราลองมาพิจารณาเกี่ยวกับการเรียกเก็บค่ากระแสไฟฟ้าโดยสังเขปเสียก่อน เพื่อที่จะได้ทราบว่าค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายกันอยู่ทุกๆ เดือนนั้น เราจ่ายอะไรตรงไหนบ้าง จะได้หาวิธีการประหยัดไฟฟ้าได้ตรงจุดที่สุด

ประเภทของผู้ใช้กระแสไฟฟ้า

การไฟฟ้าฯ (หมายถึง การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) ได้แบ่งประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าออกเป็น ๖ ประเภทด้วยกันคือ

๑. ประเภทบ้านอยู่อาศัย

โหลดส่วนใหญ่ของผู้ใช้ไฟประเภทนี้มักเป็นพวกแสงสว่าง และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่ใช้กันอยู่ทั่วๆ ไปภายในบ้าน

๒. ประเภทธุรกิจขนาดเล็ก

โหลดส่วนใหญ่จะเป็นพวกแสงสว่าง และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่ใช้กันภายในอาคารพาณิชย์ โรงงานอุตสาหกรรม ฯลฯ ซึ่งเงื่อนไขในการจัดผู้ใช้ไฟฟ้าให้อยู่ในประเภทนี้ก็คือ

มีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน ๑๕ นาทีสูงสุดต่ำกว่า ๓๐ กิโลวัตต์ สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าทั้ง ๒ ประเภทที่กล่าวมาแล้วนี้จะมีการเรียกเก็บเพียงอย่างเดียวคือ ค่าพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๓. ประเภทธุรกิจขนาดใหญ่

ผู้ใช้ไฟฟ้าที่จัดอยู่ในประเภทนี้ จะมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน ๑๕ นาทีสูงสุด ตั้งแต่ ๓๐ กิโลวัตถ์ขึ้นไป

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทนี้จะมีการเรียกเก็บ ๒ อย่างคือ

๑) ค่าพลังงานไฟฟ้า (kw - hour)

๒) ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (kw - demand)

๔. ประเภทอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทนี้จะมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน ๑๕ นาทีสูงสุด ตั้งแต่ ๓๐-๔๙๙ กิโลวัตถ์

ในการเรียกเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าประเภทนี้จะมีการเรียกเก็บ ๓ อย่างคือ

๑) ค่าพลังงานไฟฟ้า (kw - hour)

๒) ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (kw - demand)

๓) ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (kvar - demand)

๕. ประเภทอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทนี้จะมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด ตั้งแต่ ๕๐๐ กิโลวัตถ์ขึ้นไป

ในการเรียกเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าประเภทนี้จะมีการเรียกเก็บ ๓ อย่างคือ

๑) ค่าพลังงานไฟฟ้า (kw - hour)

๒) ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (kw - demand)

๓) ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (kvar - demand)

๖. ประเภทอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ในระยะเวลา OFF-PEAK

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทนี้จะมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด ตั้งแต่ ๑,๐๐๐ กิโลวัตถ์ขึ้นไป

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทนี้ การไฟฟ้าฯ ตั้งขึ้นมาเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายค่ากระแสไฟฟ้าแก่โรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถลดการใช้กระแสไฟฟ้า ในช่วงเวลา ๑๘.๓๐ - ๒๐.๓๐ นาฬิกาของทุกๆ วัน (ทั้งนี้เพราะในช่วงเวลาดังกล่าวนี้จะมีการใช้ไฟฟ้ากันมากที่สุด เราเรียกช่วงเวลาดังกล่าวนี้ว่า (ON - PEAK)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเรียกเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าประเภทนี้ จะมีการเรียกเก็บ ๓ อย่างเหมือนเดิม แต่จะมีปลีกย่อยในการเรียกเก็บอีกนิดหน่อย ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้คือ

๑) ค่าพลังงานไฟฟ้า

๒) ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า

- ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าระยะ ON - PEAK
- ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าระยะ OFF - PEAK

สำหรับรายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับอัตราค่าไฟฟ้า ของการไฟฟ้านครหลวง ดูได้จากภาคผนวกท้ายเล่ม ส่วนอัตราของการไฟฟ้าภูมิภาค ประเภทบ้านอยู่อาศัยจะเหมือนกับการไฟฟ้านครหลวง แต่สำหรับประเภทธุรกิจขนาดเล็กเป็นต้นไป อัตราจะสูงกว่าของการไฟฟ้านครหลวงเล็กน้อย เมื่อได้ทราบถึงการแบ่งประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า และการเรียกเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าโดยสังเขปแล้ว คราวนี้เราจะมาทำความเข้าใจเกี่ยวกับคำศัพท์ที่ใช้ในการคิดค่ากระแสไฟฟ้า

- กิโลวัตถ์ (kilowatt)

  คือ หน่วยที่ใช้วัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ไป

- กิโลวัตถ์ - ชั่วโมง (kilowatt - hour or unit)

  คือ หน่วยที่ใช้วัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ไปใน ๑ ชั่วโมง ซึ่งค่าไฟฟ้าที่เก็บกันอยู่ในปัจจุบันโดยทั่วๆ ไปก็จะเรียกเก็บตามค่าของจำนวนยูนิตที่ใช้ไปนั่นเอง

- ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน ๑๕ นาทีสูงสุด (maximum 15 minute killowatt demand)

  โดยที่การไฟฟ้าฯ คือหน่วยงานที่คอยควบคุม การจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอ วิธีหนึ่งที่จะทำให้เงื่อนไขดังกล่าวเป็นไปได้ก็คือ การเก็บเงินเพิ่มเติมในส่วนที่ผู้ใช้ไฟฟ้าทำการดึงกระแสไฟฟ้าเต็มที่ใน ๑๕ นาทีสูงสุด ซึ่งในทางปฏิบัติทางการไฟฟ้าฯ จะติดตั้งมิเตอร์เพิ่มขึ้นมาอีก ๑ ตัว เพื่อวัดค่าเฉลี่ยของพลังงานไฟฟ้าทุกๆ ๑๕ นาที ถ้าช่วง ๑๕ นาทีใดในรอบเดือนนั้นมีค่ากิโลวัตถ์สูงสุดแล้ว มาตรวัดจะค้างค่าอยู่ตรงนั้น

  จากเงื่อนไขดังกล่าวจะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเพิ่มความระมัดระวังในการเปิดปิดโหลด เพื่อว่าจะทำให้ค่าเฉลี่ยของพลังงานไฟฟ้าทุกๆ ๑๕ นาทีมีค่าต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยแบบรีแอคทีฟใน ๑๕ นาทีสูงสุด (maximum 15 minute kilovar demand)

โดยทั่วๆ ไปแล้วโหลดของโรงงานอุตสาหกรรมมักจะเป็นพวกอินดัคทีฟโหลด ซึ่งได้แก่ มอร์เตอร์, หม้อแปลง, ขดลวดเหนี่ยวนำ ฯลฯ ซึ่งจากลักษณะสมบัติของโหลดเหล่านี้ จะทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบมีค่าต่ำลง

ดังนั้น โรงงานอุตสาหกรรมใดที่ทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำลงกว่าที่การไฟฟ้าฯ กำหนดไว้ จึงต้องจ่ายเงินเพิ่มเติมส่วนหนึ่งให้กับการไฟฟ้านครหลวงเพื่อชดเชยกับการที่โรงงานนั้นเป็นผู้ทำให้ระบบไฟฟ้าทั้งหมดมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำลง

ซึ่งในการบันทึกค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าแบบรีแอคทีฟนี้ จะทำการวัดค่าเฉลี่ยในทุกๆ ๑๕ นาที เหมือนกับกรณีของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าจากที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด จะสรุปได้ว่า การเรียกเก็บค่าไฟฟ้าจากผู้ใช้ของการไฟฟ้ามีอยู่ ๓ แบบคือ

๑) จากค่าพลังงานไฟฟ้า (kw-hour) ที่ใช้ในแต่ละเดือน

๒) จากค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (kw-demand) ในแต่ละเดือน

๓) จากค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (kvar-demand) ในแต่ละเดือน

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในการประหยัดไฟฟ้า ก็มีอยู่ ๓ ทางใหญ่ๆ เช่นกัน คือ

๑) พยายามลดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือนให้น้อยที่สุด

๒) พยายามลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือน โดยการจัดเวลาใช้โหลดแต่ละชนิดให้เหมาะสม

๓) พยายามทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์อยู่ในช่วงที่การไฟฟ้าฯกำหนด

สำหรับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เนื้อหาทั้งหมดจะกล่าวถึงการประหยัดไฟฟ้า โดยพยายามทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์อยู่ในช่วงที่การไฟฟ้าฯ กำหนดโดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

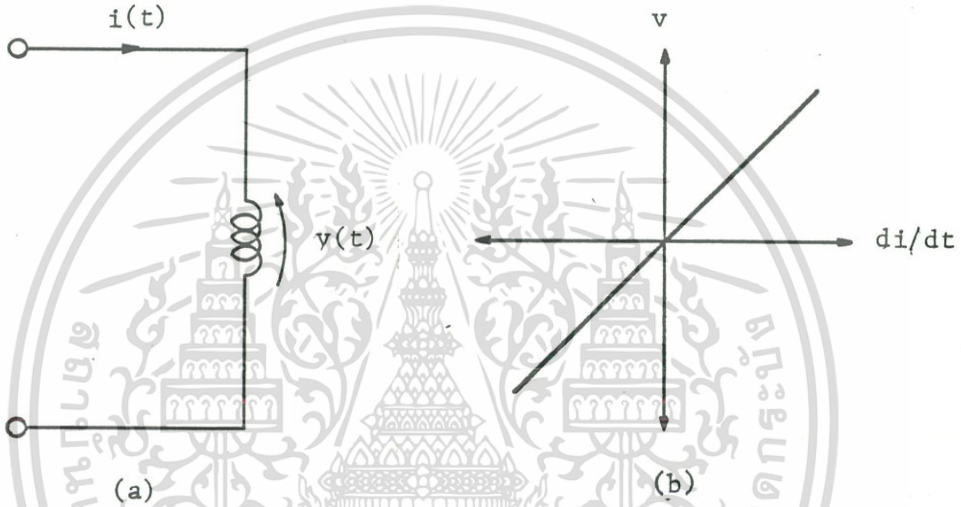
บทที่ ๒

บทนำ

ในบทนี้จะขอกล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่จำเป็นต้องรู้เพื่อประโยชน์ในการแก้ปัญหาต่อไป

๒.๑ ขดลวดอินดัคเตอร์

จากผลการทดลองจะพบว่า ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดอินดัคเตอร์จะแปรโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านขดลวดอินดัคเตอร์ ดังรูปที่ ๒.๑



รูปที่ 2.1

อัตราการเปลี่ยนแปลงในที่นี้หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของกระแสกับเวลา ซึ่งเขียนเป็นสมการทางแคลคูลัสได้ว่า $\frac{di}{dt}$

ดังนั้น เราเขียนความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลผ่าน และศักดาที่ตกคร่อมขดลวดอินดัคเตอร์ได้เป็น

$$v \propto \frac{di}{dt}$$

หรือเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$v = L\frac{di}{dt}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

โดย L คือค่าคงตัว เรียกว่า อินดัคแตนซ์ของขดลวดอินดัคเตอร์

L มีหน่วยเป็นเฮนรี่และนิยมเขียนย่อๆ เป็น H

ขดลวดอินดัคเตอร์หนึ่งๆ จะมีค่า L เฉพาะตัวของมัน

สมมติให้ มีกระแส i แอมแปร์ ไหลผ่านขดลวดซึ่งมีจำนวนรอบเป็น N รอบ ทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กขึ้น Φ เวเบอร์และขดลวดดังกล่าวมีค่าดินดัคแตนซ์เป็น L เฮนรี่

ถ้าที่เวลา t วินาทีกระแสจะเพิ่ม 0 กลายเป็น i

ดังอัตราเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงของกระแสจะมีค่าเป็น $\frac{i}{t}$ แอมแปร์/วินาที

ขดลวดใดๆ ซึ่งมีค่า อินดัคแตนซ์ ๑ เฮนรี่ เมื่อขดลวดดังกล่าวมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสเป็น ๑ แอมแปร์/วินาที จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น ๑ โวลต์

$\therefore$ ค่าเฉลี่ยในการเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า $= L \times \frac{i}{t}$

จากการที่ทราบว่า เมื่อฟลักซ์แม่เหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น โดยแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะแปรโดยตรงกับ อัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ที่ทุกๆ ขดของลวดตัวนำที่ฟลักซ์คล้องอยู่

ดังนั้น ขณะที่กระแสสร้างฟลักซ์ขึ้น Φ เวเบอร์ ในเวลา t วินาที ฟลักซ์จะมีการเปลี่ยนแปลงในทางเพิ่มขึ้นจาก 0 จนถึง Φ

$\therefore$ ค่าเฉลี่ยในการเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า $= N \times \frac{\Phi}{t}$

$$\therefore \frac{N\Phi}{t} = \frac{Li}{t}$$

$$L = \frac{N\Phi}{i}$$

ดังนั้นจะเห็นว่า ค่าอินดัคแตนซ์ของขดลวดจะขึ้นกับ จำนวนรอบของขดลวด ฟลักซ์-แม่เหล็กและกระแส

๒.๒ พลังงานสะสมในอินดัคเตอร์

ในขดลวดอินดัคเตอร์ที่ไม่มีกระแสไหลผ่านจะไม่มีพลังงาน ในขดลวดนั้น แต่หากมีกระแสไหล จะมีพลังงานสะสมอยู่ในขดลวดในรูปของสนามแม่เหล็ก โดย ถ้าขดลวดอินดัคเตอร์มีค่าอินดัคแตนซ์ L และกระแส i ไหลอยู่จะมีพลังงานสะสม W_L ซึ่งหาได้จาก

$$W_L = \frac{1}{2} Li^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยพลังงานดังกล่าวนี้สามารถจะถ่ายเทให้แก่หรือออกจากขดลวดอันดัคเตอร์ได้

- สำหรับวงจรกระแสสลับ

ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดอินดัคเตอร์ = sL

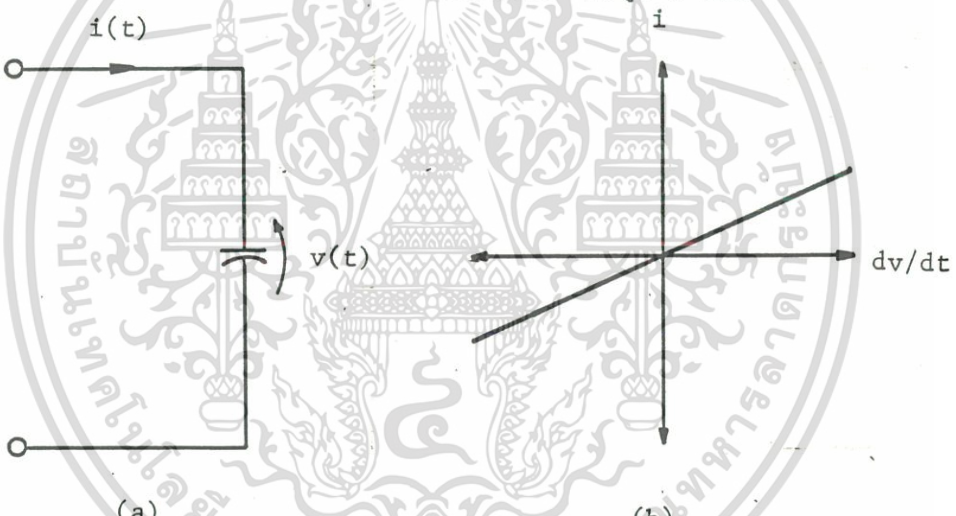
- สำหรับวงจรกระแสตรง

ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดอินดัคเตอร์ = 0

- นอกจากนี้คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของขดลวดอินดัคเตอร์ ก็คือค่าศักดาจะนำกระแสอยู่ ๙๐ องศา

๒.๓ คาร์ปาซิเตอร์

สำหรับในคาร์ปาร์ซิเตอร์นั้น พบว่า กระแสที่ไหลในคาร์ปาร์ซิเตอร์จะแปรโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของศักดาที่ตกคร่อมคาร์ปาร์ซิเตอร์นั้น ดังรูป ที่ ๒.๒



รูปที่ 2.2

จากรูปจะได้ว่า $i \propto \frac{dv}{dt}$

หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$i = C \frac{dv}{dt}$$

โดย C เป็นค่าคงตัว เรียกว่า คาร์ปาร์ซิแตนซ์ของคาร์ปาร์ซิเตอร์นั้นๆ

C มีหน่วยเป็น ฟารัด และนิยมเขียนย่อๆ เป็น F

คาร์ปาร์ซิเตอร์แต่ละตัวจะมีค่าคาร์ปาร์ซิแตนซ์เฉพาะตัวของมัน คาร์ปาร์ซิเตอร์ถึงแม้ว่าจะมีมากมายหลายชนิด แต่คาร์ปาร์ซิเตอร์ทั้งหมดจะมีลักษณะโครงสร้างพื้นฐานเหมือนกัน กล่าวคือจะประกอบไปด้วยตัวนำ ๒ แผ่นวางอยู่ขนานกัน โดยตรงกลางระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองจะมีสารจำพวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดอิเลคตริกวางขั้นอยู่

ความสามารถในการสะสมพลังงานของคาร์ปาร์ซิเตอร์แต่ละตัว เราเรียกว่า คาร์-ปาร์ซิแตนซ์ ซึ่งค่าคาร์ปาร์ซิแตนซ์ดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับ พื้นที่ของแผ่นตัวนำที่ใช้ทำ (a) คุณสมบัติของไดอิเลคตริกที่ใช้ ซึ่งเรานิยมเรียกกันว่า permittivity (ε) และระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (d) ดังสมการ

$$C = \frac{a\varepsilon}{d}$$

๒.๔ พลังงานสะสมในคาร์ปาร์ซิเตอร์

คาร์ปาร์ซิเตอร์สามารถสะสมพลังงานไว้ในรูปของสนามไฟฟ้า โดยถ้าคาร์ปาร์ซิเตอร์ที่มีค่าคาร์ปาร์ซิแตนซ์ C และศักดา V ตกคร่อมอยู่ จะมีพลังงานสะสม W_c ซึ่งหาได้จาก

$$W_c = \frac{1}{2} C V^2$$

โดยพลังงานดังกล่าวนี้สามารถถ่ายเทให้แก่หรือออกจากคาร์ปาร์ซิเตอร์ได้

- สำหรับวงจรกระแสสลับ

ค่าอิมพีแดนซ์ของคาร์ปาร์ซิเตอร์ $= \frac{1}{sC}$

- สำหรับวงจรกระแสตรง

ค่าอิมพีแดนซ์ของคาร์ปาร์ซิเตอร์ $= \infty$

- นอกจากนี้คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของคาร์ปาร์ซิเตอร์ ก็คือ

ค่าศักดาจะตามกระแสอยู่ 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ ๓

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงส่วนประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ในวงจรไฟฟ้าในทางปฏิบัติว่า ประกอบด้วยอะไรบ้าง และมีผลอย่างไรต่อระบบรวม

นอกจากนี้ก็จะกล่าวถึง เรื่องของกำลังไฟฟ้า โดยจะกล่าวถึงทั้งในกรณีของกำลังไฟฟ้าเฟสเดี่ยว และกำลังไฟฟ้า ๓ เฟส

๓.๑ วงจรไฟฟ้า

วงจรไฟฟ้าในทางปฏิบัติจะประกอบด้วย

๑. ส่วนรีซีสทีฟ ซึ่งจะเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า จากตัวจ่ายเป็นพลังงานความร้อนและทำให้มีการสูญเสียพลังงาน

๒. ส่วนรีแอคทีฟ จะเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าจากตัวจ่าย

- เป็นพลังงานที่สะสมไว้ในรูปของสนามแม่เหล็กสำหรับ L
- เป็นพลังงานที่สะสมไว้ในรูปของสนามไฟฟ้าสำหรับ C

และสามารถจ่ายพลังงานที่เก็บสะสมไว้ออกมาคืนได้

- วงจรที่มีเฉพาะรีซีสทีฟ ค่ากำลังชั่วขณะ (instantaneous power) จะเป็นบวกเสมอ แสดงว่ามีการสูญเสียพลังงานตลอดเวลา
- วงจรที่มีเฉพาะรีแอคทีฟ ค่ากำลังชั่วขณะจะเป็นทั้งบวกและลบ กล่าวคือ
  - เป็นบวก เมื่อรีแอคทีฟ เป็นตัวรับพลังงาน
  - เป็นลบ เมื่อรีแอคทีฟ เป็นตัวจ่ายพลังงาน

และผลลัพท์ของพลังงานที่สูญเสียไปในวงจรที่มีเฉพาะ reactive จะมีค่าเป็นศูนย์

แต่ในทางปฏิบัติแล้ววงจรทั่วๆ ไปจะมีทั้งรีซีสทีฟ และรีแอคทีฟ ประกอบอยู่ในวงจร

๓.๒ กำลังไฟฟ้า

ต่อไปจะกล่าวถึง สมการของกำลังไฟฟ้า โดยจะพิจารณาทั้งกรณีของระบบไฟเฟสเดี่ยวและสามเฟส ในการหาสมการดังกล่าวจะพิจารณาในกรณีที่ แหล่งพลังงานเป็นระบบไฟกระแสสลับคลื่นรูปซายน์ทั้งกระแสและศักดา โดยแหล่งพลังงานจะจ่ายพลังงานออกมาที่สภาวะสม่ำเสมอ (steady-state)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๐07441

สำหรับในกรณีของระบบไฟสาม เฟสจะถือว่า

- แหล่งพลังงานที่จ่ายมีความสมมาตร (symmetical) กันทั้งสาม เฟสของศักดา
- อิมพีแดนซ์ในแต่ละ เฟสมีค่า เท่ากัน

๓.๒.๑ กำลังไฟฟ้า เฟส เดี่ยว

พิจารณาระบบไฟ เฟส เดียวซึ่งอยู่ในสภาวะสม่ำเสมอ มีแหล่งพลังงานคลื่นรูปซายน์ซึ่งมีค่าศักดา เป็น v ป้อน เข้าสู่อิมพีแดนซ์ซึ่งประกอบด้วย ค่าความต้านทาน R จะทำให้เกิดกระแส i

ถ้า $v = V_m \sin(wt+\phi)$

และ $i = I_m \sin wt$

จะสามารถหา กำลังชั่วขณะ (instantaneous power) ที่จ่ายให้แก่โหลดได้ดังนี้ คือ

$$P(t) = vi$$

$$= V_m I_m \sin(wt+\phi)\sin wt \qquad \ldots\ldots(1)$$

แต่เนื่องจาก

$$\sin(wt+\phi)\sin wt = \frac{1}{2}\left[\cos\phi - \cos(2wt+\phi)\right]$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$P(t) = VI\left[\cos\phi - \cos(2wt+\phi)\right] \qquad \ldots\ldots(2)$$

โดย $V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$, $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$

จากสมการที่ได้จะเห็นว่า กำลังชั่วขณะจะขึ้นอยู่กับเวลา และสามารถแยกพิจารณาได้เป็น ๒ เทอม คือ

๑. เทอมที่มีค่าคงที่ $VI\cos\phi$

๒. เทอมที่แปรตามเวลาและมีค่าความถี่เป็น ๒ เท่า $VI\cos(2wt+\phi)$

ในทางปฏิบัติ สามารถหาค่า กำลังเฉลี่ย (Average Power) ได้จาก

$$P = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} P(t)\,d(wt) \qquad \ldots\ldots(3)$$

$$= \frac{VI}{2\pi}\left[wt\cos\phi - \frac{1}{2}\sin(2wt+\phi)\right]_0^{2\pi}$$

$\therefore P = VI\cos\phi$ วัตต์ $\ldots\ldots(4)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณ จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของเทอม $VI\cos(2wt+\phi)$ จะมีค่าเป็นศูนย์ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะใน ครึ่งช่วงแรก จะมีการสะสมพลังงานในรูปสนามแม่เหล็ก (สำหรับโหลดL) และสนามไฟฟ้า (สำหรับโหลดC) และในครึ่งช่วงหลังจะเป็นการคายพลังงานคืนสู่ระบบ

สำหรับพลังงานที่มีการสูญเสียไปเนื่องจากโหลดที่เป็นค่าความต้านทาน R จะหาได้จากผลคูณของปริมาณสเกลาของศักดาและกระแสในรูปของ rms และค่า cosine ของมุม ϕ ซึ่งเป็นมุมที่เกิดขึ้นระหว่างเฟเซอร์ของศักดาและกระแส สำหรับค่า $\cos\phi$ เราจะเรียกว่าเป็นค่า power factor

$$\therefore \text{power factor (p.f)} = \cos\phi \qquad \ldots\ldots(5)$$

ในการพิจารณาค่า p.f เราจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น ๒ กรณี คือ

๑. กรณีที่ กระแสนำศักดา เรียกว่า leading

๒. กรณีที่ กระแสตามศักดา เรียกว่า lagging

นอกจากที่กล่าวมาแล้วนี้ ยังสามารถแสดงสมการของกำลังเฉลี่ย P ให้อยู่ในรูปของปริมาณเฟเซอร์ (phasor) ได้อีกด้วย

เมื่อมีศักดา $\overline{V}$ ป้อนสู่ค่าอิมพีแดนซ์ $Z(jw)$ ทำให้เกิดกระแส $\overline{I}$ ไหลในวงจร

ถ้า $\overline{V} = Ve^{j\alpha_1}$

$\overline{I} = Ie^{j\alpha_2}$

ค่ามุม ϕ ระหว่าง $\overline{V}$ และ $\overline{I}$ ก็คือ

$$\phi = \alpha_1-\alpha_2 \qquad \ldots\ldots(6)$$

$$\therefore \text{ค่ากำลังเฉลี่ย } P = VI\cos(\alpha_1-\alpha_2) \qquad \ldots\ldots(7)$$

จากความสัมพันธ์ออยเลอร์ (Euler's Formula) ที่ว่า

$$e^{j\theta} = \cos\theta + j\sin\theta$$

และถ้าเขียนได้ว่า

$$\mathrm{Re}\, e^{j\theta} = \cos\theta$$

$$\mathrm{Im}\, e^{j\theta} = \sin\theta$$

โดยอาศัยความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเขียนสมการที่ ๗ ได้ใหม่เป็น

$$P = VI\,\mathrm{Re}\, e^{j(\alpha_1-\alpha_2)}$$

หรือ

$$P = \mathrm{Re}\left[VI\, e^{j(\alpha_1-\alpha_2)}\right]$$

$$= \mathrm{Re}\left[Ve^{j\alpha_1} I\, e^{-j\alpha_2}\right] \qquad \ldots\ldots(8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เนื่องจาก

$$\bar{V} = \mathrm{Re}\left[Ve^{j\alpha_1}\right] \quad \ldots\ldots(9)$$

$$\bar{I} = \mathrm{Re}\ Ie^{j\alpha_2} \quad \ldots\ldots(10)$$

โดยอาศัยหลักการ complex conjugate จะสามารถเขียนสมการที่ ๑๐ ได้เป็น

$$\bar{I}^* = \mathrm{Re}\ Ie^{-j\alpha_2} \quad \ldots\ldots(11)$$

จากสมการที่ ๙ และสมการที่ ๑๑ จะเขียนสมการที่ ๙ ได้ใหม่เป็น

$$P = \mathrm{Re}\left[\bar{V}\ \bar{I}^*\right] \quad \ldots\ldots(12)$$

ถ้ากำหนดให้ กำลังคอมเพล็กซ์ $\bar{S}$ คือเทอมที่อยู่ภายในวงเล็บของสมการที่ ๑๒

จะได้ว่า

$$\bar{S} = \bar{V}\ \bar{I}^*$$

$$= Ve^{j\alpha_1} Ie^{-j\alpha_2}$$

$$= VI\, e^{j(\alpha_1-\alpha_2)}$$

$$= VI\, e^{j(\phi)}$$

$$\bar{S} = VI\cos\phi + jVI\sin\phi \quad \ldots\ldots(13)$$

สมมติว่า $\bar{S} = P + jQ \quad \ldots\ldots(14)$

เทียบระหว่างสมการที่ ๑๓ และสมการที่ ๑๔ จะได้

$$P = VI\cos\phi \quad \ldots\ldots(15)$$

$$= \mathrm{Re}\left[\bar{S}\right] \quad \ldots\ldots(16)$$

$$Q = VI\sin\phi \quad \ldots\ldots(17)$$

$$= \mathrm{Im}\left[\bar{S}\right] \quad \ldots\ldots(18)$$

จะเห็นว่า

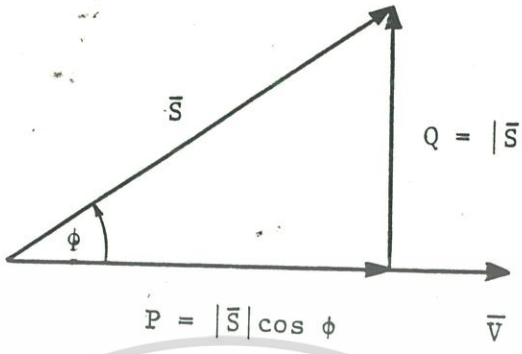
P คือค่ากำลังเฉลี่ย มีหน่วยเป็นวัตถ์

Q คือ ค่ากำลังรีแอคทีฟ และเพื่อให้แตกต่างจากค่าของ P และ $\bar{S}$ เราจะให้ Q มีหน่วยเป็น VAR ซึ่งหน่วยดังกล่าวย่อมาจาก Volt-Amp Reactive

$\bar{S}$ คือ กำลังคอมเพล็กซ์ มีหน่วยเป็น VA

ความสัมพันธ์ระหว่าง P , Q และ $\bar{S}$ เขียนเป็นเฟเซอร์ไดอะแกรมได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1

ค่า P จะมีค่าเป็นบวกเสมอ

Q จะมีค่าเป็นบวกหรือลบขึ้นอยู่กับชนิดของโหลด กล่าวคือ

- โหลดลักษณะอินดัคเตอร์ ศักดาจะนำกระแส $90^\circ \geq \phi \geq 0^\circ$

ดังนั้น Q มีค่าเป็นบวก

- โหลดลักษณะคาร์ปาร์ซิเตอร์ ศักดาจะตามกระแส $0^\circ \geq \phi \geq 90^\circ$

ดังนั้น Q จะมีค่าเป็นลบ

ในทางปฏิบัติ

ในการวัดค่า P เราจะใช้อุปกรณ์ที่เรียก วัตต์มิเตอร์

ในการวัดค่า Q เราจะใช้อุปกรณ์ที่เรียก วาร์มิเตอร์

๓.๒.๒ กำลังไฟฟ้า ๓ เฟส

ค่ากำลังชั่วขณะของไฟฟ้า ๓ เฟส คือ

$$P(t) = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c$$

$$= \begin{bmatrix} v_a & v_b & v_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \qquad \ldots\ldots(19)$$

คิดในกรณีไฟ ๓ เฟสมีความสมดุลย์

สำหรับกำลังชั่วขณะของศักดา

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = V_m \begin{bmatrix} \sin wt \\ \sin (wt-120^\circ) \\ \sin (wt+120^\circ) \end{bmatrix} \qquad \ldots\ldots(20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกำลังชั่วขณะของกระแส

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = I_m \begin{bmatrix} \sin wt \\ \sin (wt-120^\circ) \\ \sin (wt+120^\circ) \end{bmatrix} \quad \text{.....(21)}$$

แทนค่า สมการที่ ๒๑ และสมการที่ ๒๐ ลงในสมการที่ ๑๙

$$\therefore \text{ จะได้ } P(t) = \frac{3}{2} V_m I_m \left[\cos\phi - \left[\cos(2wt+\phi) + \cos(2wt+\phi-240^\circ) + \cos(2wt+\phi+240^\circ) \right] \right]$$

โดยที่ $\cos(2wt+\phi) + \cos(2wt+\phi-240^\circ) + \cos(2wt+\phi+240^\circ) = 0$

$$\therefore \quad P(t) = 3 \frac{V_m}{\sqrt{2}} \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cos\phi$$

$$\therefore \quad P(t) = 3 VI \cos\phi \quad \text{.....(22)}$$

จะเห็นว่าในกรณีของไฟฟ้าระบบสามเฟส กำลังชั่วขณะจะไม่มีเทอมที่เกิดจากค่าความถี่ ๒ เท่า เหมือนกรณีของไฟเฟสเดียว

นอกจากนี้ค่ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะและค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากัน จากสมการที่ ๒๐ และ ๒๑ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของปริมาณเฟเซอร์ได้ดังนี้คือ

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_a \\ \bar{V}_b \\ \bar{V}_c \end{bmatrix} = V \begin{bmatrix} e^{j\phi} \\ e^{j(\phi-120^\circ)} \\ e^{j(\phi+120^\circ)} \end{bmatrix} \quad \text{.....(23)}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \end{bmatrix} = I \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-j120^\circ} \\ e^{j120^\circ} \end{bmatrix} \quad \text{.....(24)}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}^*_a \\ \bar{I}^*_b \\ \bar{I}^*_c \end{bmatrix} = I \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j120^\circ} \\ e^{-j120^\circ} \end{bmatrix} \quad \text{.....(25)}$$

โดยอาศัยวิธีเดียวกันกับในกรณีของไฟเฟสเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ผลรวมของเฟเซอร์ โวลต์-แอมแปร์ มีค่า

$$\bar{S} = \bar{V}_a \bar{I}^*_a + \bar{V}_b \bar{I}^*_b + \bar{V}_c \bar{I}^*_c$$

$$= VI\,(e^{j\phi}+e^{j\phi}+e^{j\phi})$$

$$\bar{S} = 3\,VIe^{j\phi} \quad \text{โวลต์-แอมแปร์} \quad \ldots\ldots(26)$$

ดังนั้น ค่ากำลังเฉลี่ยของระบบไฟสามเฟส

$$P = \text{Re}\,\bar{S} = 3VI\cos\phi \quad \ldots\ldots(27)$$

ค่ากำลังรีแอคทีฟของระบบไฟสามเฟส

$$Q = \text{Im}\,\bar{S} = 3VI\sin\phi \quad \ldots\ldots(28)$$

ซึ่งในการต่อโหลดแบบสตาร์

ศักดาของไลน์ $V_L = \sqrt{3}V$

กระแสของไลน์ $I_L = I$

ดังนั้น

$$\bar{S} = \sqrt{3}\,V_L I_L e^{j\phi}$$

$$= \sqrt{3}\,V_L I_L(\cos\phi+j\sin\phi) \quad \ldots\ldots(29)$$

ในการต่อโหลดแบบเดลต้า

ศักดาของไลน์ $V_L = V$

กระแสของไลน์ $I_L = \sqrt{3}I$

ดังนั้น

$$\bar{S} = \sqrt{3}\,V_L I_L e^{j\phi}$$

$$= \sqrt{3}\,V_L I_L(\cos\phi+j\sin\phi) \quad \ldots\ldots(30)$$

จะเห็นว่าไม่ว่าจะต่อโหลดแบบใดผลลัพท์ที่ได้ก็จะมีค่าเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ ๔

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง วิธีแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ โดยอาศัยความรู้จากบทที่ผ่านมาทั้งหมด นอกจากนี้ยังจะกล่าวถึงผลดีของการแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ พร้อมทั้งยกตัวอย่างประกอบการอธิบายอีกด้วย

การแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์

เมื่อเราต้องการส่งกำลังงานไฟฟ้า $\overline{S}$ จากตัวจ่ายไปยังโหลด โดยใช้กระแส I ไหลผ่านสายส่งที่มีความต้านทาน R ระหว่างแหล่งจ่ายและโหลด

$$\text{ประสิทธิภาพในการส่ง} = \frac{\overline{S}}{\overline{S} + I^2R}$$

โดย I^2R คือ การสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในสายส่ง

จากสมการ $P = VI\cos\phi$

ถ้าเราถือว่าแรงดันที่ตกคร่อมโหลดมีค่าคงที่ ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของโหลดควรจะมีค่าสูง (เข้าใกล้ 1) เพื่อที่จะทำให้กระแสที่โหลดมีค่าต่ำๆ เพื่อลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในสายส่งให้มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งกระแสส่วนที่ต้องการให้มีค่าต่ำ คือกระแสในส่วนของกำลังรีแอคทีฟ ซึ่งเป็นกระแสส่วนที่อยู่ต่างเฟสกับศักดา

ในการลดกระแสในส่วนดังกล่าวให้มีค่าลดลงจะทำได้โดยเพิ่มรีแอคแตนซ์ ที่มีเครื่องหมายตรงข้ามกับรีแอคแตนซ์เดิม ซึ่งการลดกระแสในส่วนนี้จะทำให้กระแสส่วนใหญ่ในระบบเป็นกระแสที่มีเฟสเดียวกันกับศักดา

โดยปกติแล้วโหลดส่วนใหญ่มักเป็นอินดัคทีฟโหลดซึ่งทำให้เกิดเพาเวอร์แฟกเตอร์ชนิดตาม ดังนั้น ในการแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์จึงมักนิยมใส่ คาร์ปาซิทีฟโหลดเข้าไปในระบบรวม ดังตัวอย่าง

ตัวอย่าง

โรงงานแห่งหนึ่งมีอินดัคชั่นมอร์เตอร์ขนาด 1 KW ทำงานที่เพาว์เวอร์แฟคเตอร์ 0.75 ชนิดตามและ 220 โวลต์ อาร์ เอ็ม เอส ที่ 50 HZ เพื่อลดค่าใช้จ่ายลง ทางโรงงานจำเป็นต้องแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์เป็น 0.95 ชนิดตาม

จงแสดงว่าจะต้องทำอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทำ

วิธีที่จะทำได้ก็คือ เพิ่มรีแอคเตอร์เข้ากับดินดัคชั่นมอเตอร์ แต่เนื่องจากเราต้องรักษาระดับแรงดันที่ตกคร่อมอินดัคชั่นมอร์เตอร์ ดังนั้น รีแอคเตอร์ที่ต่อเข้าไปจึงต้องเป็นการต่อแบบขนาน

เนื่องจากค่ากำลังเฉลี่ยที่มอเตอร์ต้องใช้เป็น 1000 วัตถ์ ที่มุมเพาเวอร์แฟคเตอร์ $\cos^{-1}(0.75)$

ให้ $\bar{S}$ เป็นกำลังคอมเพล็กซ์ในมอเตอร์

$$\therefore \quad \bar{S} = \frac{1000 \angle \cos^{-1} 0.75}{0.75}$$

$$= 1333.33 \angle 41.40^{\circ}$$

$$= 1000 + j881.75$$

ถ้าหลังจากแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์แล้ว กำลังคอมเพล็กซ์ทั้งหมดจะเป็น

$$\bar{S} = \frac{1000}{0.95} \angle \cos^{-1} 0.95$$

$$= 1052.63 \angle 18.19^{\circ}$$

$$= 1000 + j328.6$$

ถ้า $\bar{S}$ เป็นกำลังคอมเพล็กซ์ที่รีแอคเตอร์อีกตัว จากการที่ทราบว่า

กำลังคอมเพล็กซ์ทั้งหมด เท่ากับ ผลรวมเวคเตอร์ของกำลังคอมเพล็กซ์ย่อย

$$\therefore \quad \bar{S} = \bar{S}_1 + \bar{S}_2$$

$$\bar{S}_2 = \bar{S} - \bar{S}_1$$

$$= -j553.15$$

หาค่ากระแส $\bar{I}_2$ ที่ไหลในตัวรีแอคเตอร์

$$\bar{I}_2^* = \frac{\bar{S}_2}{\bar{E}}$$

$$= \frac{-j553.15}{220 \angle 0^{\circ}}$$

$$= -j2.51$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore \quad \bar{I}_2 = j2.51$$

$$\therefore \quad \bar{Z}_2 = \frac{\bar{E}}{\bar{I}_2}$$

$$= \frac{220 \angle 0^\circ}{j2.51}$$

$$= -j87.65$$

$\therefore$ $\bar{Z}_2$ จะต้องเป็นคาร์ปาร์ซิเตอร์ โดยมีขนาด

$$C = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 87.65}$$

$$= 36.3 \ \mu F$$

นอกจากที่กล่าวมาแล้วนี้ การติดตั้งคาร์ปาซิเตอร์สำหรับโรงงานที่กำลังอยู่ในช่วงการติดตั้งระบบไฟฟ้าจะมีประโยชน์ คือ

๑. ช่วยให้ KVA ลดลง ซึ่งเป็นผลให้ขนาดของหม้อแปลงที่ใช้ลดลง

๒. ช่วยให้กระแสไฟฟ้าในระบบรวมลดลง ทำให้ขนาดของสายไฟที่ใช้ในระบบลดลงไปได้อีก

จากที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดสามารถแสดงให้เห็นได้ดังตัวอย่าง

ตัวอย่าง โรงงานแห่งหนึ่งมีโหลด ดังนี้

- เครื่องทำความร้อน ๓๐ KW
- อินดัคชั่นมอเตอร์ ทำงานที่เพาเวอร์แฟคเตอร์ตามขนาด ๐.๖ มีขนาด ๑๕๐ KVA

ค่าวัดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบดังกล่าวมีขนาด ๔๐๐๐ V

จงคำนวณ

๑. กระแสไฟฟ้ารวมของระบบ

๒. ค่าเพาว์เวอร์แฟคเตอร์ของระบบรวม

วิธีทำ

จาก $\bar{S} = P + jQ = S \angle \phi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากโจทย์เพื่อความสะดวกในการคำนวณ เราจะสร้างตารางดังที่เห็นอยู่ข้างล่างนี้

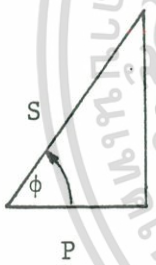
โหลด	$\overline{S}$ (KVA)	ϕ (^{o})	p.f	P (KW)	Q (KVAR)
เครื่องทำความร้อน		0		30	
มอร์เตอร์	150		0.6		

พิจารณา เครื่องทำความร้อน

ถ้าสมมติให้ค่า p.f ของเครื่องทำความร้อนมีค่าเป็น 1 ดังนั้นจะทำให้

$\phi_H = 0$

จากรูป



$$\cos\phi = \frac{P}{S}$$

$$\therefore S_H = \frac{P_H}{\cos\phi}$$

$$= \frac{30}{1} = 30 \text{ KVA}$$

พิจารณามอร์เตอร์

จากโจทย์ $\cos\phi = 0.6$

$$\therefore \phi = \cos^{-1}0.6$$

$$= 53^{o}$$

ทำนองเดียวกันกับกรณีของเครื่องทำความร้อนจะได้ว่า

$$P_m = S_m\cos\phi = 150\cos53^{o} = 90 \text{ KW}$$

$$Q_m = S_m\sin\phi = 150\sin53^{o} = 120 \text{ KVAR}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการรวมค่าต่างๆ ที่หาได้

$$P = P_H + P_M$$

$$= 30 + 90 = 120 \text{ KW}$$

$$Q = Q_H + Q_M$$

$$= 0 + 120 = 120 \text{ KVAR}$$

$\therefore$ จาก $\bar{S} = P + jQ$

$$= 120 + j120 = 170 \angle 45^\circ \text{ KVA}$$

ดังนั้น

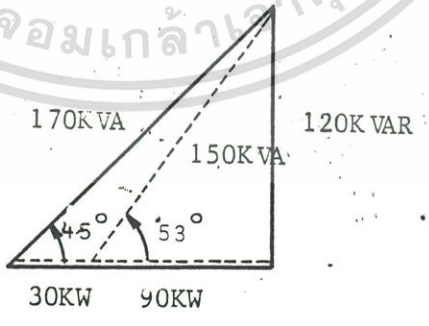
ค่าเพาว์เวอร์แฟคเตอร์ของระบบรวม คือ

$$\cos 45^\circ = 0.71$$

สำหรับกระแสไฟฟ้าของระบบรวมหาได้จาก

$$\frac{\bar{S}}{V} = \frac{170 \text{ KVA}}{4 \text{ KV}} = 42.5 \text{ A}$$

จากค่าต่างๆ ที่ได้สามารถแสดงให้เห็นได้ในรูปของสามเหลี่ยมกำลัง ดังนี้



จากที่กล่าวมาแล้ว ถ้าหากเราต้องการเพิ่มค่า p.f ของระบบรวม ให้เปลี่ยนเป็น p.fตามขนาด 0.9 ซึ่งสามารถทำได้โดยต่อคาร์ปาร์ซิทีฟโหลดขนานเข้าไปในระบบรวม เราจะลองพิจารณาดูว่า เมื่อค่า p.f เกิดการเปลี่ยนแปลงจะมีผลอย่างไรต่อระบบรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นแรกสร้างตารางของสิ่งที่กำหนด

โหลด	$\overline{S}$ (KVA)	ϕ (°)	p.f	P (KW)	Q (KVAR)
เดิม	170	45	0.71	120	120
ต้องการ			0.9	120	

ในการเพิ่มคาร์ปาซิทีฟโหลดเข้าสู่ระบบรวมจะไม่มีผลต่อเทอม P ของระบบรวม

พิจารณาระบบใหม่ที่ต้องการ

$$S = \frac{P}{\cos\phi}$$

$$= \frac{120}{0.9} = 133.3 \text{ KVA}$$

จาก $\cos\phi = 0.9$

$$\phi = \cos^{-1} 0.9 = 25.8^{\circ}$$

จาก $Q = S \sin\phi$

$$= 133.3 \sin 25.8^{\circ}$$

$$= 58 \text{ KVAR}$$

ลองพิจารณาเทอมของ Q ระหว่างระบบเดิมกับระบบใหม่ จะพบว่ามีค่าเปลี่ยนไป

$$= 58 - 120$$

$$= -62 \text{ KVAR}$$

$$P = VI$$

$$= V\left(\frac{V}{R}\right) = \frac{V^2}{R}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

∴ ในทำนองเดียวกัน

$$Q = \frac{V^2}{X_c} = V^2(-wC)$$

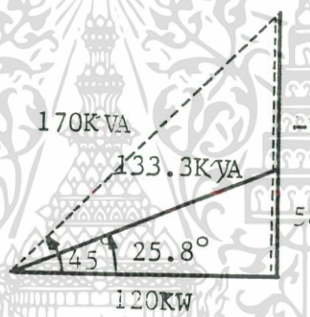
$$C = -Q/wV^2$$

ดังนั้น ค่าของคาร์ปาร์ซิแตนซ์ที่ใช้กับระบบไฟขนาด 4000V และมีความถี่ 60 เฮิทซ์คือ

$$C = \frac{-62\times10^3}{337\times16\times10^6}$$

$$= 10.3 \quad \mu F$$

จากค่าต่างๆ ที่หาได้สามารถแสดงให้เห็นได้ในรูปของสามเหลี่ยมกำลัง ดังนี้



ถ้าเราลองเปรียบเทียบระหว่างระบบเดิม ซึ่งมีค่า p.f 0.71 กับระบบใหม่ ซึ่งมีค่า p.f 0.9 จะพบว่า

1 ค่า KVA ของระบบใหม่ลดลงไปจากระบบเดิม

$$= 170 - 133.3$$

$$= 36.7$$

ซึ่งจะเห็นว่า เราสามารถลดขนาดของแหล่งจ่ายไฟให้แก่ระบบลงได้

2 ค่ากระแสของระบบใหม่จะลดลงไปจากระบบเดิม

ระบบเดิม $I = \frac{S}{V} = \frac{170 \text{ KVA}}{4 \text{ KV}} = 42.5 \text{ A}$

ระบบใหม่ $I = \frac{S}{V} = \frac{133.3 \text{ KVA}}{4 \text{ KV}} = 33.3 \text{ A}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่ากระแสที่ใช้ในระบบรวมมีค่าลดลง

$$= 42.5 - 33.3 \text{ A}$$

$$= 9.2 \text{ A}$$

ซึ่งจะเห็นว่า เราสามารถลดขนาดของสายไฟที่ใช้ลงได้ และสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่ง ก็คือจากการที่เราทราบว่า

การสูญเสียในสายส่ง $= I^2R$

ซึ่งจากสมการจะเห็นว่าหากเราสามารถลดค่า I ลงไปได้ ก็จะสามารถลดการสูญเสียที่เกิดขึ้น ทำให้เป็นการประหยัดพลังงานอีกวิธีหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ ๕

ทฤษฎีและการออกแบบอุปกรณ์แก้เพาเวอร์แฟคเตอร์

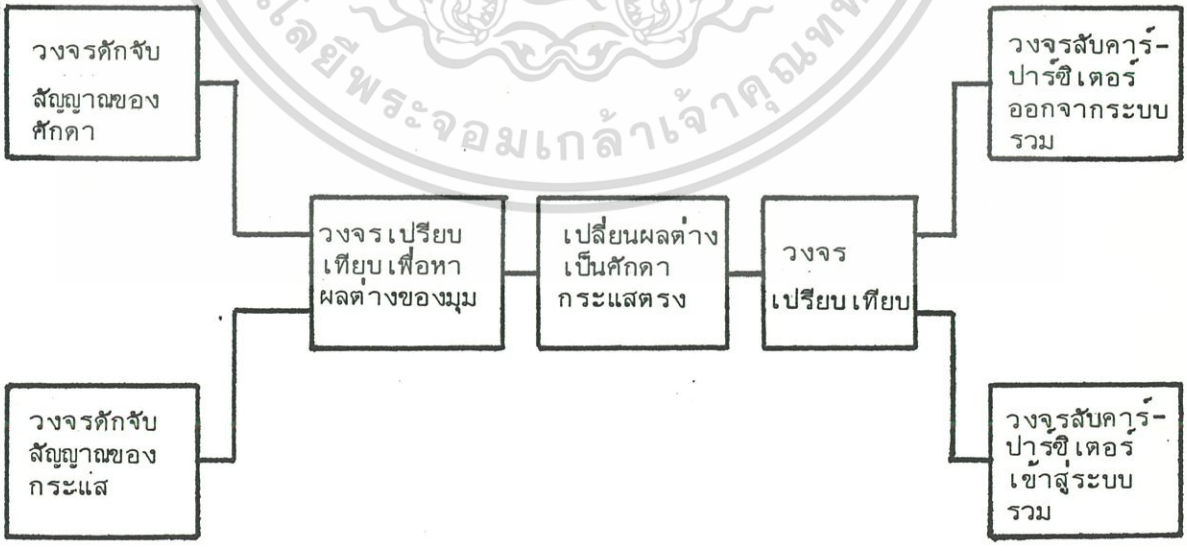
บทนำ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง การออกแบบวงจรที่ใช้ในการควบคุมการสับ Capacitor Bank เข้าสู่ระบบรวม เมื่อค่า power factor ต่ำกว่ากำหนดและทำการปลด Capacitor Bank ออกจากระบบรวม เมื่อค่า power factor สูงกว่าค่าที่ต้องการ

จากการที่ทราบว่า ค่า power factor คือค่า cosine ของมุมที่เกิดขึ้นระหว่างเวคเตอร์รูปคลื่นของศักดา และเวคเตอร์รูปคลื่นของกระแส แต่เนื่องจากโหลดที่ใช้ส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมเป็นโหลดจำพวกอินดัคทีฟโหลด ดังนั้น ผลต่างของมุมที่เกิดขึ้นระหว่าง เวคเตอร์รูปคลื่นของศักดา และเวคเตอร์รูปคลื่นของกระแส จึงเกิดจากการที่ เวคเตอร์รูปคลื่นของกระแส ตามเวคเตอร์รูปคลื่นของศักดา ยิ่งเวคเตอร์รูปคลื่นของกระแสและเวคเตอร์รูปคลื่นของศักดามีผลต่างของมุมมากขึ้นเท่าใด ผลที่ตามมาก็คือยิ่งทำให้ค่า power factor มีค่าลดลง

ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว สามารถทำได้โดยการสับ คาร์ปาร์ซิทีฟโหลด เข้าสู่ระบบรวม

จากที่กล่าวมาแล้วโดยสังเขป จะเห็นว่าส่วนประกอบหลักของวงจรควรจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ซึ่งแสดงให้เห็นอยู่ในรูปของ block diagram ดังรูปที่ 5.1



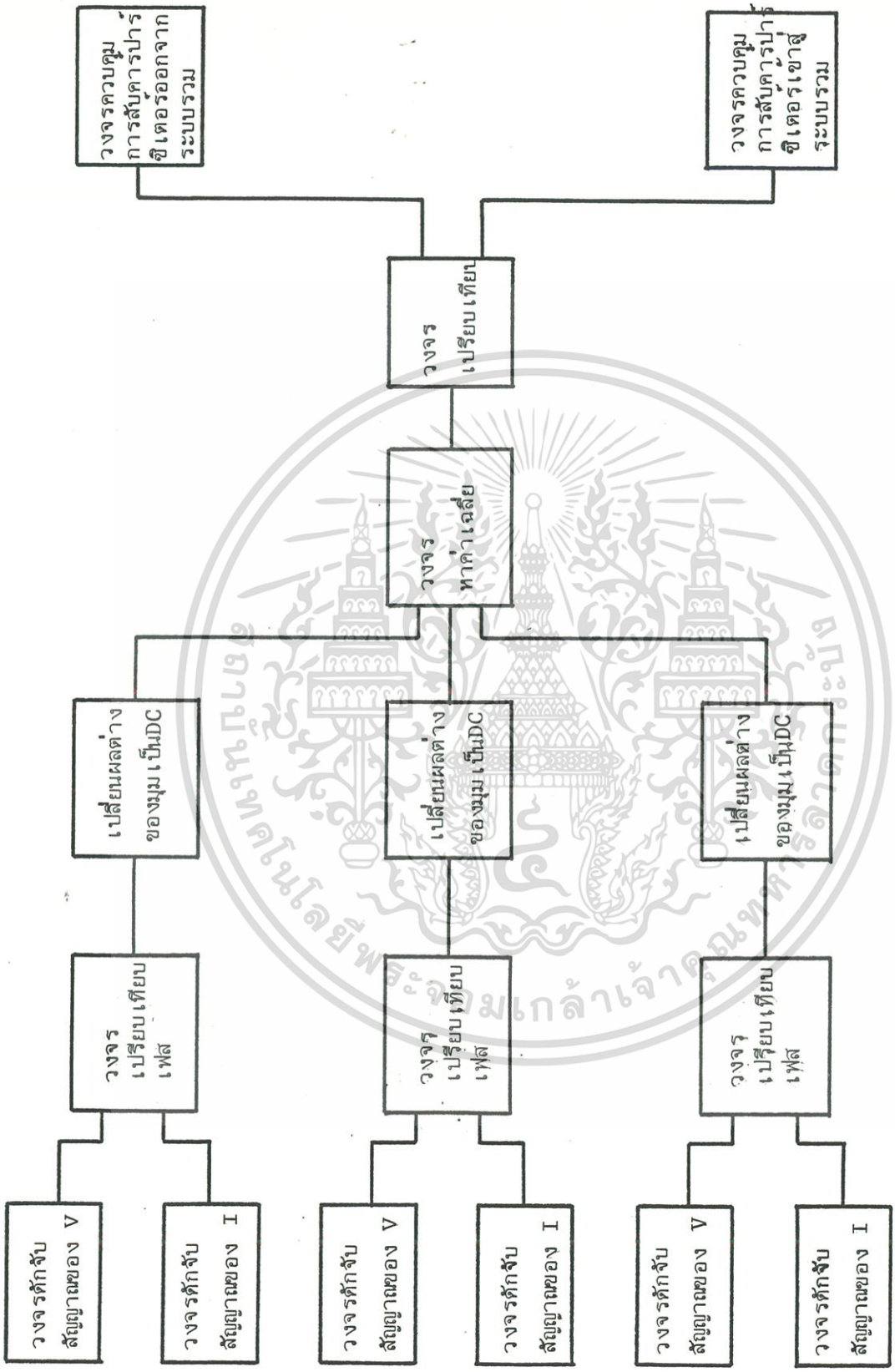
รูปที่ 5.1 block diagram แสดงถึงลักษณะการออกแบบส่วนประกอบที่สำคัญของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากคาร์ปาร์ซิทีฟโหลด ที่สับเข้าสู่ระบบรวมส่วนมากจะเป็นแบบสับเข้าทั้ง ๓ เฟส จากเหตุผลดังกล่าว ในการดักจับสัญญาณของศักดา และสัญญาณของกระแส จึงต้องทำพร้อมกันทั้ง ๓ เฟส ต่อจากนั้น จึงนำผลต่างของมุมที่เกิดขึ้นทั้ง ๓ เฟส มาทำการหาค่าเฉลี่ย แล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้ไปควบคุมการสับเข้าหรือสับออกของ คาร์ปาซิทีฟโหลด ต่อไป

ดังนั้น ส่วนประกอบหลักของวงจรจึงเขียนได้ใหม่ดัง block diagram ในรูปที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 block diagram แสดงถึงส่วนประกอบหลักของวงจรที่ทำการพัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรายละเอียดของวงจรในแต่ละส่วนจะได้กล่าวถึงต่อไปตามลำดับ

๕.๑ วงจรตักจับสัญญาณของศักดาและกระแส

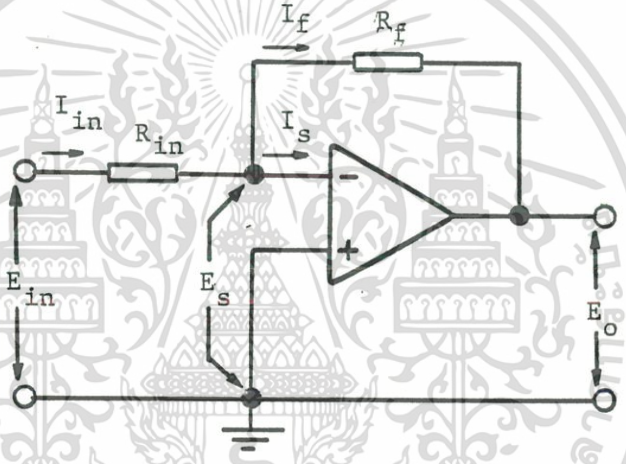
๕.๑.๑ ทฤษฎี

วงจรพื้นฐานของ Op-Amp ที่สำคัญประกอบด้วยวงจร ๒ แบบใหญ่ๆ คือ

๑. วงจรขยายแบบกลับเฟส

๒. วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

๑. วงจรขยายแบบกลับเฟส



รูปที่ 5.3 วงจรขยายแบบกลับเฟส

จากรูปที่ 5.3 จะแสดงให้เห็นถึงวงจรขยายแบบกลับเฟส ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณเข้าขาบวก(+) จะต่อลงดิน ส่วนสัญญาณที่ต้องการป้อนเข้าสู่วงจรจะถูกป้อนเข้าทางสัญญาณขาเข้าขาลบ (-) ของวงจรโดยผ่าน Rin และมีการป้อนกลับจากสัญญาณขาออกกลับสู่สัญญาณขาเข้าขาลบ(-) โดย Rf

จากคุณสมบัติทางอุดมคติของ Op-Amp ที่ว่า

๑ ค่าอัตราการขยายของศักดา มีค่าเป็นอนันต์

$$Avo = \infty$$

๒ ค่าความต้านทานขาเข้า มีค่าเป็นอนันต์

$$Rin = \infty$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๓ ค่าความต้านทานขาออก มีค่าเป็นศูนย์

$$Rout = 0$$

๔ ค่า Bandwidth มีค่าเป็นอนันต์

$$BW = \infty$$

๕ Input offset voltage มีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือ

$$Eo = 0 \quad \text{เมื่อ} \quad Ein = 0$$

จากลักษณะสมบัติในทางอุดมคติที่กล่าวมาทั้งหมด สามารถสรุปคุณสมบัติที่สำคัญของ Op-Amp ได้ ๓ ข้อ คือ

๑ ผลต่างของศักดาของสัญญาณขาเข้ามีค่าเป็นศูนย์

๒ ขาเข้าของ Op-Amp ไม่ว่าจะเป็นขาบวกหรือขาลบ จะไม่มีกระแสไหลผ่านโดย

อาศัยคุณสมบัติในทางอุดมคติของ Op-Amp สามารถวิเคราะห์วงจรดังกล่าวได้ดังนี้คือ

- เนื่องจากอัตราการขยายของ Op-Amp ในทางอุดมคติมีค่าเป็นอนันต์ ดังนั้น เมื่อศักดาขาเข้าของวงจรมีค่าเป็นศูนย์ ศักดาขาออกจะมีค่าเป็น Eo

- เนื่องจากผลต่างของศักดาของสัญญาณขาเข้าจากวงจร ในรูปที่ ๕.๓ มีค่าเป็น E_s

$\therefore$ โดยอาศัยคุณสมบัติทางอุดมคติของ Op-Amp จะได้ว่า $E_s = 0$

โดยที่ $E_s = 0$ จะได้ว่า ศักดาของสัญญาณขาเข้าทั้งหมด (Ein) จะตกคร่อม Rin ทำให้กระแสที่ไหลผ่าน Rin มีค่า

$$Iin = \frac{Ein}{Rin}$$

- เนื่องจากความต้านทานขาเข้ามีค่าเป็นอนันต์ ทำให้ $I_s = 0$

ดังนั้น กระแสของสัญญาณขาเข้า (Iin) จะไหลผ่าน Rf

$$\therefore \quad If = Iin$$

ศักดาของสัญญาณขาออก (Eo) จะตกคร่อม Rf และมีลักษณะกลับเฟสกับสัญญาณขาเข้า

เขียนสมการของ If ให้อยู่ในรูปของ Eo และ Rf จะได้ว่า

$$If = \frac{-Eo}{Rf}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก If = Iin ดังนั้น

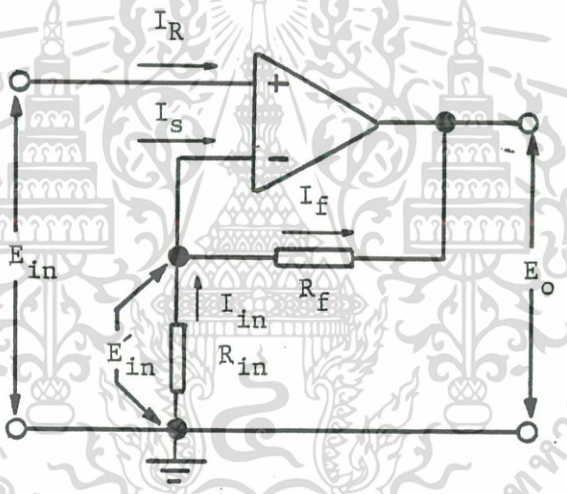
$$\frac{Ein}{Rin} = \frac{-Eo}{Rf}$$

$$\frac{Eo}{Ein} = \frac{-Rf}{Rin}$$

$$gain = \frac{Eo}{Ein} = \frac{-Rf}{Rin}$$

จากสมการเราจะเห็นว่า ค่าอัตราการขยายของวงจรสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้โดยการเปลี่ยนค่าของ Rf หรือ Rin

๒. วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส



รูปที่ 5.4 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

จากรูปที่ 5.4 จะเห็นว่า สัญญาณขาเข้า Ein ถูกป้อนไปยังขาบวก(+) ของ Op-Amp และส่วนหนึ่งของสัญญาณขาออก Eo ถูกป้อนไปยังขาลบ(-) ของ Op-Amp ในรูปของวงจรแบ่งสัญญาณของศักดา ระหว่าง Rf และ Rin โดยอาศัยคุณสมบัติทางอุดมคติของ Op-Amp เมื่อดูวงจรในรูปที่5.4 จะได้ว่า

$$I_S = I_R = 0$$

และ $$E_S = 0$$

โดยที่ $E_S = 0$ จะได้ว่า $E'in = Ein$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore \quad Iin = \frac{Ein}{Rin}$$

$$\text{หรือ} \quad Iin = \frac{E'in}{Rin}$$

$$\text{และเนื่องจาก} \quad If = Iin$$

$$\therefore \quad Eo = If\ (Rin + Rf)$$

$$\text{หรือ} \quad Eo = Iin\ (Rin + Rf)$$

แทนค่า Iin จะได้

$$\therefore \quad Eo = \frac{Ein}{Rin}\ (Rin + Rf)$$

จัดสมการใหม่ให้อยู่ในรูปของอัตราการขยาย

$$\frac{Eo}{Ein} = \frac{Rin + Rf}{Rin}$$

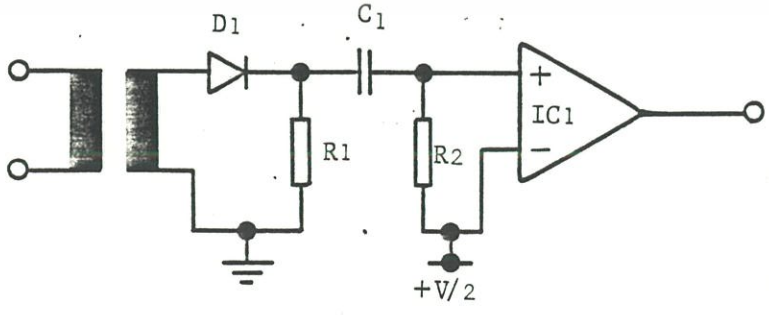
$$= 1 + \frac{Rf}{Rin}$$

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า

๑ อัตราการขยายของวงจรขยายแบบกลับเฟส $= \frac{-Rf}{Rin}$

๒ อัตราการขยายของวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส $= 1 + \frac{Rf}{Rin}$

๕.๑.๒ วงจรตักจับสัญญาณของศักดา

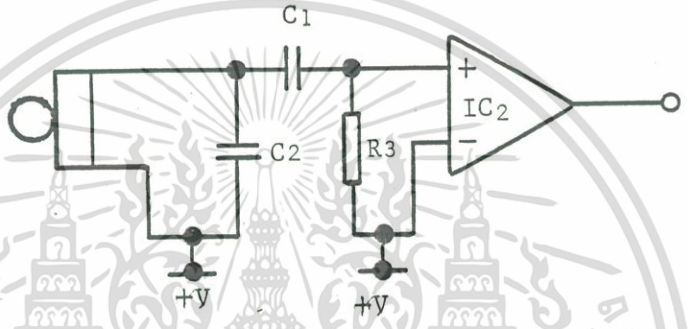


รูปที่ 5.5 วงจรตักจับสัญญาณของศักดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปในการดักจับสัญญาณของศักดา เราจะใช้หม้อแปลงศักดา เป็นตัวดักจับ โดยสัญญาณที่ดักจับได้ จะมีลักษณะ เป็นคลื่นรูปซายน์ และ เพื่อความสะดวกในการ เปรียบเทียบผลต่างของมุมที่เกิดขึ้น จะต้องทำการ เปลี่ยนสัญญาณคลื่นรูปซายน์ให้กลาย เป็นสัญญาณคลื่น รูปสี่ เหลี่ยม เสียก่อน แล้วจึงจะนำไปเปรียบเทียบ เฟส เพื่อหาผลต่างของมุมต่อไป

๕.๑.๓ วงจรดักจับสัญญาณของกระแส



รูปที่ 5.6 วงจรดักจับสัญญาณของกระแส

จากรูปในการดักจับสัญญาณของกระแส เราจะใช้หม้อแปลงกระแส ซึ่งสร้างจากแกนเหล็กที่มีขายอยู่ทั่วไปในท้องตลาด ต่อขนานกับคาร์ปาซิเตอร์ (ตามหลักของวงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน) คร่อมขดลวดทางด้านทุติยภูมิ เพื่อเพิ่มค่าศักดาทางด้านทุติยภูมิแล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ ซึ่งมีลักษณะ เป็นคลื่นรูปซายน์ มา เปลี่ยนให้ เป็นสัญญาณคลื่นรูปสี่ เหลี่ยม เสียก่อน แล้วจึงนำมาใช้งานต่อไป

ในการ เลือกจุดรีโซแนนซ์คำนวณได้จากสมการ

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

การทำงานของวงจร

จากรูป IC_1 และ IC_2 จะ เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับ เฟสชนิดลูฟเปิด มีหน้าที่ เปลี่ยนสัญญาณคลื่นรูปซายน์ ให้กลาย เป็นสัญญาณคลื่นรูปสี่ เหลี่ยมก่อนที่จะนำไป เปรียบเทียบ เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

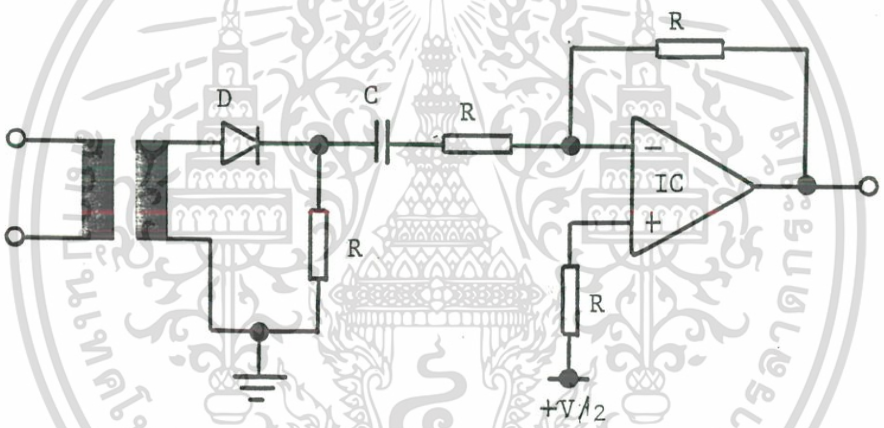
เพื่อหาผลต่างของมุมที่เกิดขึ้นต่อไป

C_2 เป็นคาร์ปาซิเตอร์ที่ทำให้เกิดวงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน

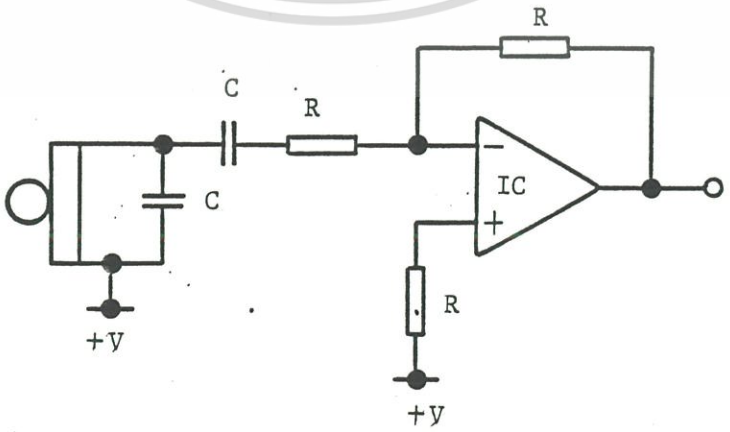
๕.๑.๔ การทดลอง

ในการทดลองโดยอาศัยวงจรในรูปที่ ๕.๕ และรูปที่ ๕.๖ จะพบว่า เนื่องจากวงจรดังกล่าวมีลักษณะเป็นวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส ชนิดลูฟเปิดจึงทำให้วงจรดังกล่าวเกิดการแซททูเลท ได้ง่าย

ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเราทำได้ โดยการลดอัตราการขยายของวงจรลง กล่าวคือเปลี่ยนวงจรเสียใหม่ให้อยู่ในรูปของ วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสชนิดลูฟปิด ซึ่งวงจรใหม่แสดงให้เห็นดังรูปที่ ๕.๗ และรูปที่ ๕.๘ ตามลำดับ



รูปที่ 5.7 วงจรตักจับสัญญาณของศักดาที่แก้ไขใหม่



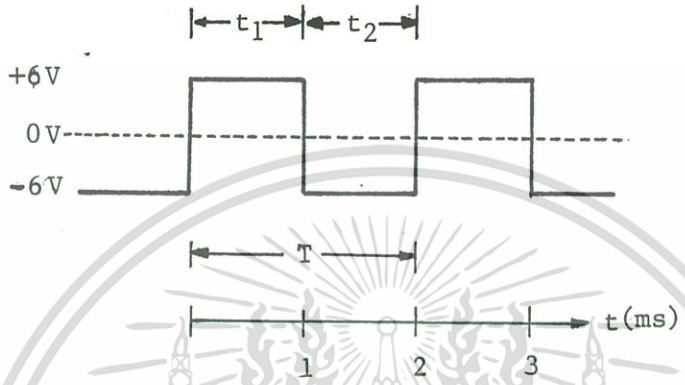
รูปที่ 5.8 วงจรตักจับสัญญาณของกระแสที่แก้ไขใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปในการคำนวณเกี่ยวกับการลดอัตราการขยายช่องวงจร ได้มีการกล่าวถึงไปแล้วในตอนแรกจึงไม่ขอนำมากล่าวซ้ำอีก

๕.๒ วงจรเปรียบเทียบผลต่างและเปลี่ยนผลต่างที่ได้ให้เป็นศักดากระแสตรง

๕.๒.๑ ทฤษฎี



จากรูปถ้า t_1 = ช่วงเวลาที่เกิดพัลซ์

t_2 = ช่วงเวลาที่พัลซ์หายไป

T = อัตราการเกิดพัลซ์ซ้ำ

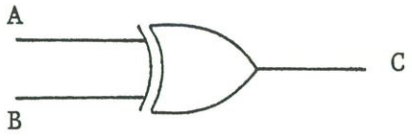
เราจะสามารถหาค่าเฉลี่ยของขนาดของรูปคลื่นใดๆ ไม่ว่าจะเป็นแรงดันหรือกระแสได้จากสมการ

$$\text{ค่าเฉลี่ยของศักดาหรือกระแส} = \frac{(v_+ \times t_1) + (v_- \times t_2)}{T}$$

จากสมการจะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยที่ได้จะขึ้นกับค่า v_+ , v_- , t_1 , t_2 และ T ถ้าหากกำหนดให้ v เป็นค่าคงที่แล้วให้ T , t สามารถเปลี่ยนค่าได้ ซึ่งในกรณีนี้จะตรงกับความต้องการของงานพอดี กล่าวคือ หลังจากได้รูปคลื่นรูปสี่เหลี่ยมของสัญญาณศักดา และกระแสออกมาแล้วนำสัญญาณทั้งสองป้อนเข้า เอกซ์คูซีบออร์เกท จากคุณสมบัติของเอกซ์คูซีบออร์เกท ซึ่งเขียนเป็นตารางความจริง ได้ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



สัญญลักษณ์ของเอกซ์คูซีบออร์เกท

จากตารางความจริง จะเห็นว่าเมื่อใดก็ตามที่สัญญาณขาเข้ามีค่าต่างกัน สัญญาณขาออกจะมีค่าเป็น 1 และเมื่อใดก็ตามที่สัญญาณขาเข้าเหมือนกัน สัญญาณขาออกจะมีค่าเป็น 0 จากหลักการดังกล่าว เราสามารถนำมาใช้ในงานของเราได้ดังนี้ คือ ในภาวะปกติค่าของศักดาและกระแสจะมีเฟสเดียวกัน แต่เมื่อใส่โหลดจำพวกอินดัคทีฟ (ได้แก่ พวกมอร์เตอร์ หลอดฟลูออร์เรสเซนต์,พวกบาลาสท์ ฯลฯ) เข้าไปในระบบจะทำสัญญาณของกระแสตาม สัญญาณของศักดา ซึ่งในกรณีนี้ เมื่อนำสัญญาณทั้งสองมาผ่านเอกซ์คูซีบออร์เกทผลต่างของสัญญาณที่ได้ ก็จะไปปรากฏที่ขาออกของเอกซ์คูซีบออร์เกท ซึ่งผลต่างดังกล่าวนี้ก็คือ มุมที่แตกต่างกันระหว่างศักดา และกระแสนั่นเอง และผลต่างที่เกิดขึ้นจะมีค่ามากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับขนาดของอินดัคทีฟที่ใส่เข้าไปในระบบ กล่าวคือ

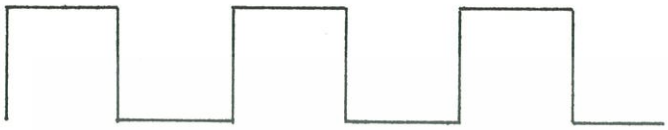
ถ้าอินดัคทีฟมีค่ามาก มุมที่แตกต่างก็จะมีค่ามาก

" " น้อย " " น้อย

ที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงให้เห็นเป็นกราฟ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณของศักดา A



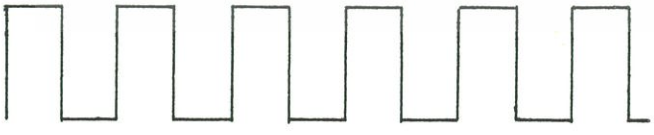
สัญญาณของศักดา B

สัญญาณขาออก C

กรณีสัญญาณของศักดาและกระแสมีเฟสเดียวกัน

สัญญาณของศักดา A

สัญญาณของศักดา B



สัญญาณขาออก C

กรณีสัญญาณของกระแสมาช้ากว่าสัญญาณของศักดา

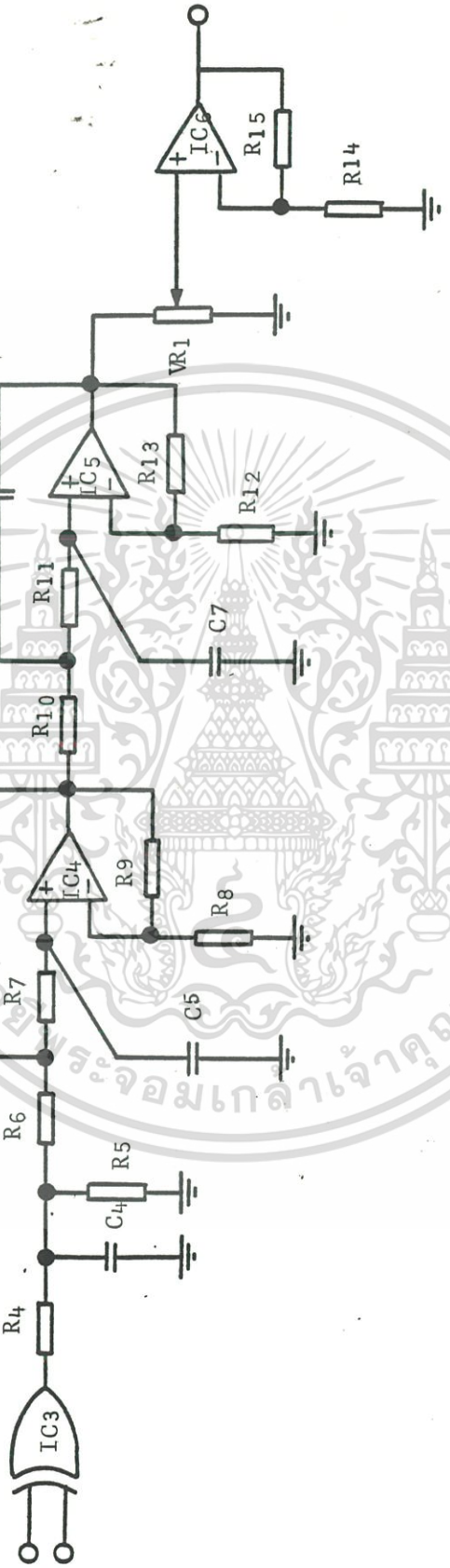
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปกราฟกรณีหลัง จะเห็นว่าค่าที่เปลี่ยนไปคือ t_1, t_2 และ T นั่นเอง ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ผลต่างของมุมจะทำให้ t_1, t_2 และ T เปลี่ยนไปโดยที่ v จะมีค่าคงที่ ดังนั้นค่าเฉลี่ยที่ได้จึงต้องเปลี่ยนไปด้วย

หลังจากได้ผลต่างของมุมออกมาแล้ว ทำการเปลี่ยนสัญญาณดังกล่าวให้เป็นศักดากระแสตรง โดยผ่านวงจรกรองความถี่ชนิดยอมให้ความถี่ต่ำผ่าน (จุดคัทออฟประมาณ 10 Hz) โดยใช้วงจรกรองความถี่ต่ำแบบพาสซีฟ และเพื่อทำให้ศักดากระแสตรงเรียบขึ้น เราจะลดสัญญาณกระแสตรงให้ลดลง โดยใช้วงจรแบ่งสัญญาณของศักดา แล้วนำสัญญาณกระแสตรงที่ได้ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำแบบแอกทีฟ ก็จะทำให้ศักดากระแสตรงที่ได้เรียบยิ่งขึ้น (จุดคัทออฟประมาณ 10 Hz) และนอกจากนี้ยังช่วยป้องกันทรานเซียนที่อาจจะเข้าไปรบกวนการทำงานภายในวงจรอีกด้วย

ต่อจากนั้น นำสัญญาณกระแสตรงที่ได้ไปป้อนให้กับวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส เพื่อขยายสัญญาณให้มีค่าสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 วงจรที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลต่างแล้วเปลี่ยนผลต่างที่ได้ให้เป็นศักดากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจร IC_3 คือ เอกซ์คูซีบออร์เกท ที่ใช้ในการแยกผลต่างของมุมออกมา

R_4, C_4 และ R_5 คือ วงจรกรองความถี่ต่ำแบบพาสซีฟ

IC_4 และ IC_5 คือ วงจรกรองความถี่ต่ำแบบแอคทีฟ

IC_6 คือ วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

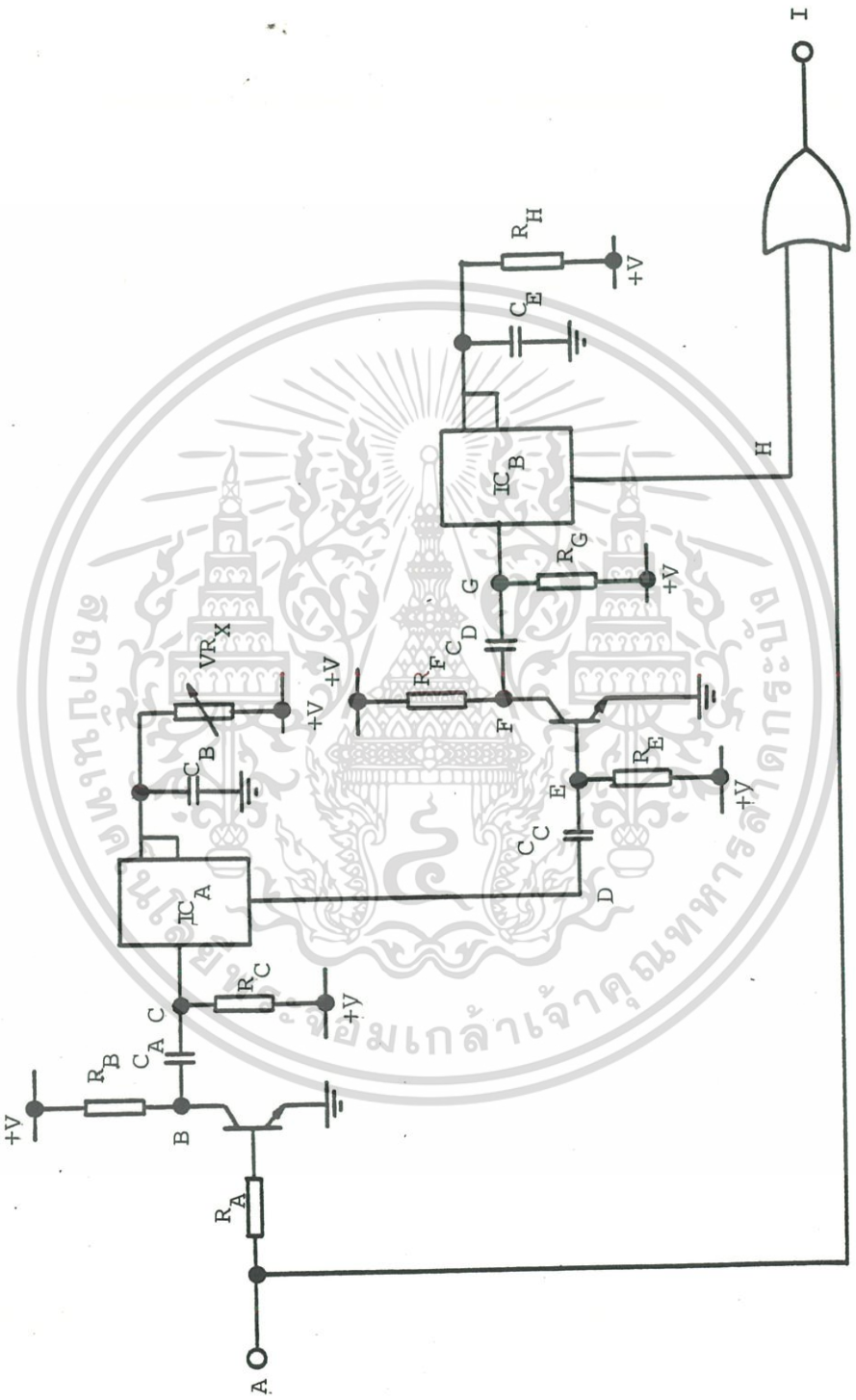
ในการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำแบบแอคทีฟ ค่า R,C ต่างๆ หาได้จากกราฟในหนังสือ MUNUAL OF ACTIVE FILTER DESIGN ของ JOHNSON

๔.๒.๒ การทดลอง

จากที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดในหัวข้อที่ ๔.๒ เพื่อความสะดวกในการทดลอง และเพื่อพิสูจน์ว่าวงจรดังกล่าวสามารถใช้งานจริงได้ในทางปฏิบัติ เราจะสร้างวงจรขยับเฟสขึ้นมา เพื่อชิมเหลดสภาวะของเงื่อนไขต่างๆ ที่ต้องการ

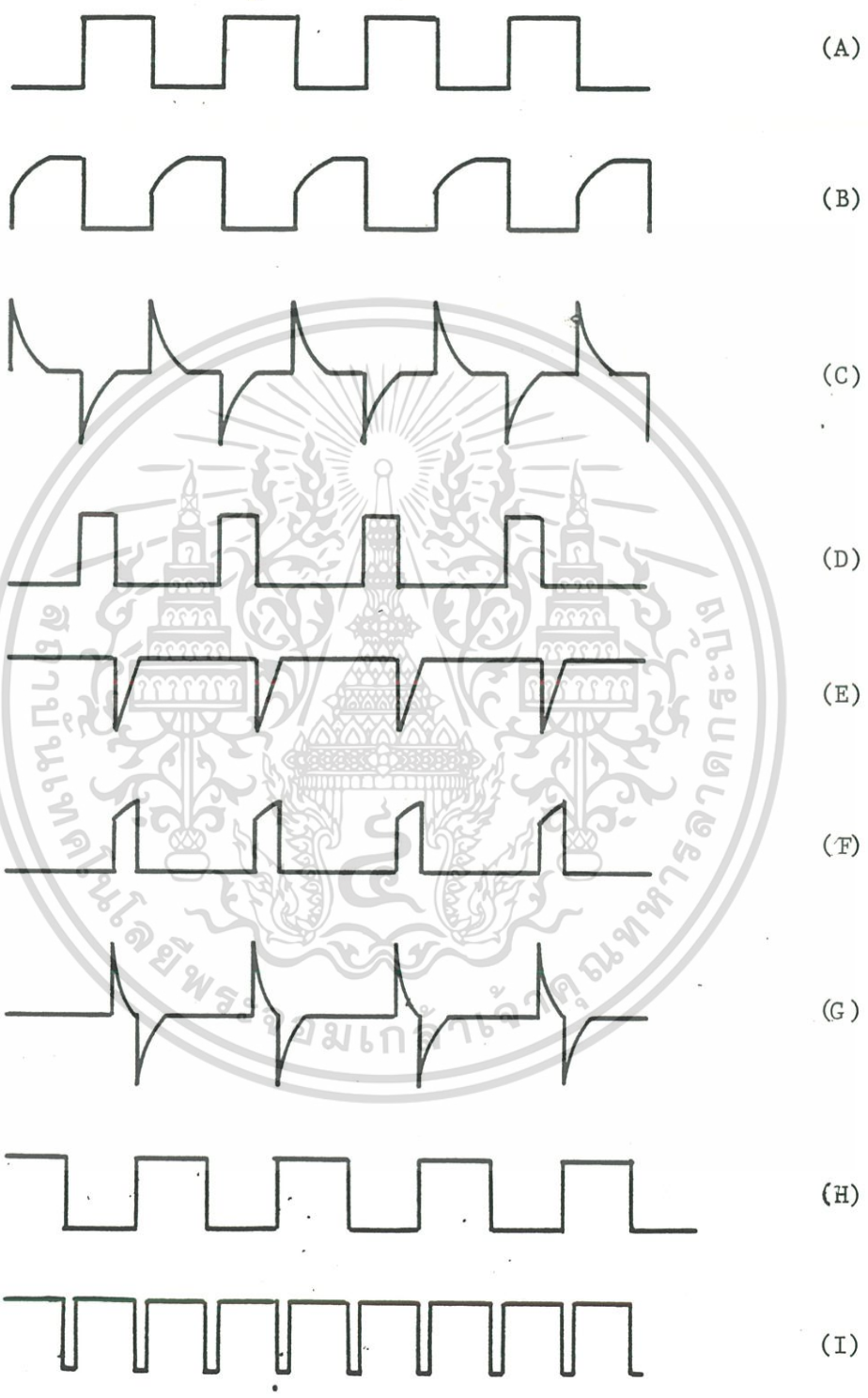
โดยวงจรที่ใช้ทำหน้าที่เป็นวงจรขยับเฟสประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 วงจรขยับเฟสที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 Timing Diagram ของวงจรขยับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป เราสามารถสรุปการทำงานของวงจรได้ดังนี้ คือ

- เมื่อมีสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่จุด A สัญญาณดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณกระตุ้นที่จุด C เพื่อกระตุ้นให้ IC_A ทำงาน
- เมื่อ IC_A ทำงานจะสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมออกมาที่จุด D โดยสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่สร้างขึ้นจะมีความกว้างมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการปรับค่าของ VR_x [กำหนดค่า C ให้คงที่]
- สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่จุด D จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณกระตุ้นที่จุด G เพื่อกระตุ้นให้ IC_B ทำงาน ซึ่งผลลัพธ์ที่ตามมาก็คือ IC_B จะสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมออกมาที่จุด H

สำหรับสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่จุด H ในการทดลองจะต้องทำให้ความกว้างของสัญญาณมีขนาดเท่ากับความกว้างของสัญญาณที่จุด A ซึ่งในการสร้างสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$t = 1.1 R_H C_E$$

จาก Timimg Diagram จะเห็นว่าสิ่งที่ใช้กำหนดความแตกต่างของเฟส ระหว่างสัญญาณที่จุด A และจุด H ก็คือสัญญาณที่จุด D

กล่าวคือ ยิ่งสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่จุด D มีขนาดกว้างขึ้นมากเท่าใด ความแตกต่างของเฟสของสัญญาณที่จุด A และจุด H ก็ยิ่งมีมากขึ้นเท่านั้น

ถ้านำสัญญาณที่จุด A และจุด H ไปผ่านเอกซ์คูซีบออร์เกท และให้สัญญาณขาออกของเอกซ์คูซีบออร์เกทเป็นจุด I

จะพบว่าสัญญาณที่จุด I จะมีลักษณะดังที่เห็นใน Timimg Diagram ซึ่งจากรูปจะเห็นว่า สัญญาณที่จุด I คือผลต่างของสัญญาณที่เกิดขึ้นระหว่างจุด A และจุด H นั่นเอง

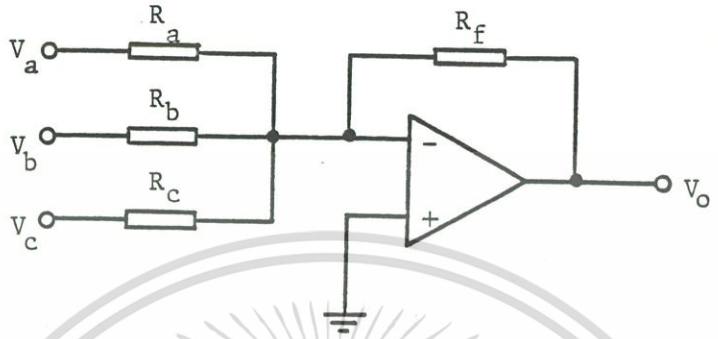
<u>ข้อสังเกต</u>

วงจรขยับเฟสที่ใช้ทดลองไม่สามารถปรับค่า V_x เพื่อให้สัญญาณที่จุด A และจุด H ทับกันได้สนิท แต่ก็ไม่มีผลต่อการนำวงจรนี้ไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๕.๓ วงจรหาค่าเฉลี่ย

๕.๓.๑ ทฤษฎี



รูปที่ 5.12 วงจรหาค่าเฉลี่ย

จากรูปสัญญาณขาออกของวงจรจะหาได้จาก

$$V_o = -\left[\frac{R_f}{R_a} V_a + \frac{R_f}{R_b} V_b + \frac{R_f}{R_c} V_c\right]$$

$$= -R_f\left[\frac{V_a}{R_a} + \frac{V_b}{R_b} + \frac{V_c}{R_c}\right]$$

จากสมการ จะเห็นว่าหากเราเลือกอัตราส่วนของความต้านทานป้อนกลับ R_f และความต้านทานขาเข้าของสัญญาณแต่ละตัว (R_a, R_b และ R_c ตามลำดับ) ให้เหมาะสมแล้ว วงจรดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นวงจรหาค่าเฉลี่ยได้ ยกตัวอย่างเช่น จากรูปจะเห็นว่าวงจรประกอบด้วยสัญญาณขาเข้า ๓ อัน ในการที่จะทำให้วงจรดังกล่าวเป็นวงจรหาค่าเฉลี่ยของ ๓ สัญญาณขาเข้าจะต้องเลือกค่าความต้านทานดังนี้ คือ

ให้ $R = R_a = R_b = R_c$

และ $R_f = R/3$

แทนค่าลงในสมการ

$$V_o = -\frac{R}{3}\left[\frac{V_a}{R} + \frac{V_b}{R} + \frac{V_c}{R}\right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_o \text{ (เฉลี่ย)} = -\frac{[V_a + V_b + V_c]}{3}$$

ดังนั้น หากต้องการหาค่าเฉลี่ยของวงจรที่มีสัญญาณขาเข้า จำนวน n สัญญาณ จะหาได้จากสมการ

$$V_o \text{ (เฉลี่ย)} = -\frac{[V_1 + V_2 + V_3 + \cdots V_n]}{n}$$

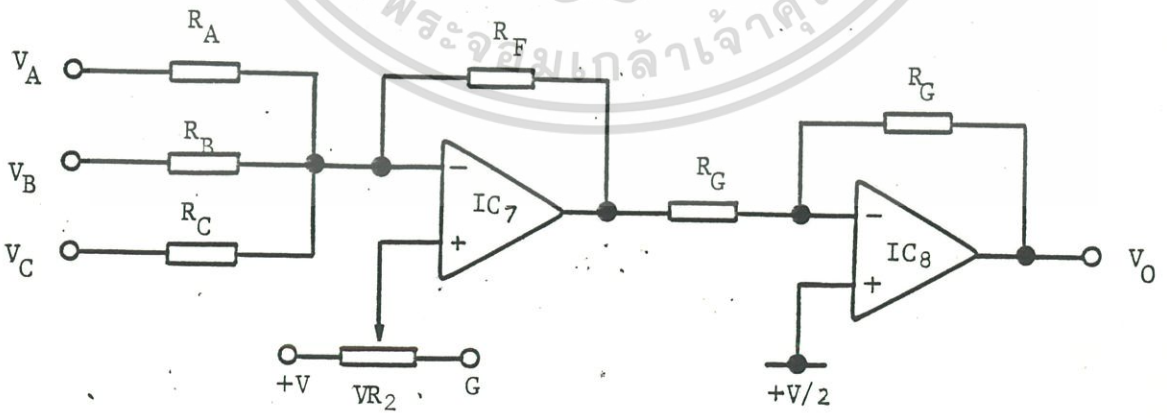
ในวงจรที่ใช้งานจริง การตรวจดูค่าความแตกต่างของมุมระหว่างสัญญาณของศักดาและกระแสนั้น จะต้องทำการตรวจสอบดูทั้ง ๓ เฟสของไฟ แล้วจะต้องมาหาค่าเฉลี่ยเสียก่อน จึงนำค่าเฉลี่ยที่หาได้ไปใช้งานต่อไป

๕.๓.๒ การทดลอง

เนื่องจากวงจรในทางทฤษฎีผลลัพธ์ที่ได้จะกลับกับค่าความเป็นจริง ทั้งนี้ เพราะวงจรที่ใช้เป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส ดังนั้น เพื่อให้ค่าที่ได้ถูกต้องจึงจำเป็นต้องใส่วงจรขยายแบบกลับเฟสต่อเข้าไปอีกวงจรหนึ่ง โดยวงจรดังกล่าว เรากำหนดให้อัตราการขยายเป็น ๑

เนื่องจาก Op-Amp โดยทั่วไปมักจะมีค่าออฟเซท เกิดขึ้นและในกรณีของวงจรหาค่าเฉลี่ยนี้ค่าออฟเซท จะทำให้ค่าเฉลี่ยผิดไปจากความเป็นจริง ดังนั้น เพื่อความแม่นยำของค่าเฉลี่ย เราจึงต้องใส่ค่าความต้านทานที่ปรับค่าได้เพิ่มเข้าไปในวงจรอีกตัวหนึ่ง

วงจรหาค่าเฉลี่ยที่ใช้งานจริงแสดงให้เห็นดังรูป



รูปที่ 5.13 วงจรหาค่าเฉลี่ยที่ใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจร

VR_2 คือ ตัวปรับออฟเซท

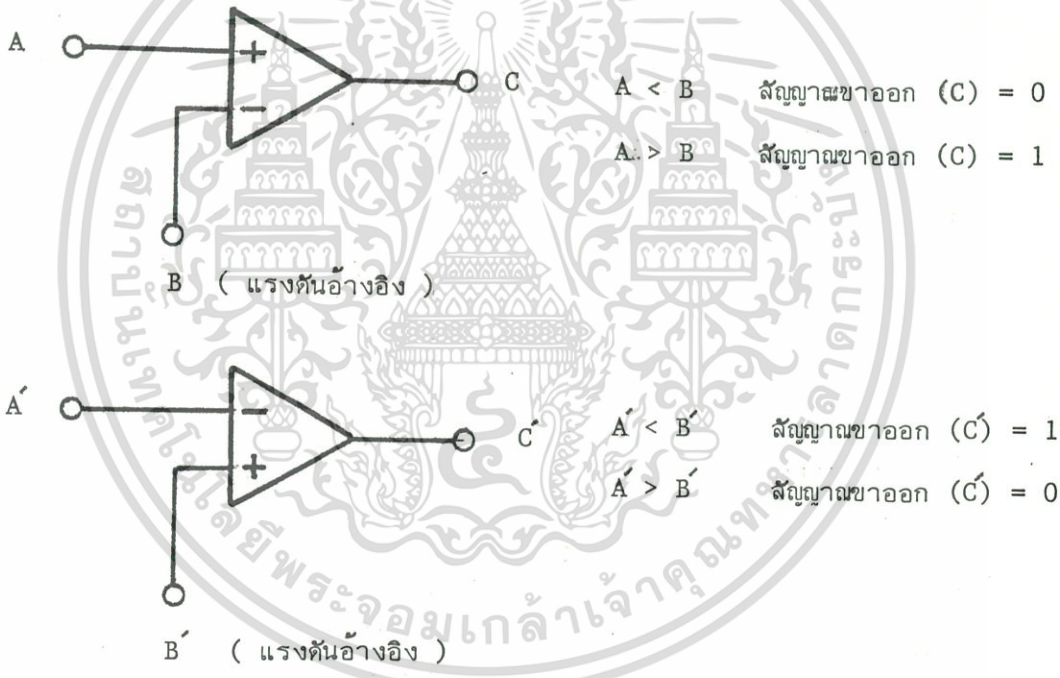
IC_7 คือ วงจรหาค่าเฉลี่ย

IC_8 คือ วงจรทำให้ค่าเฉลี่ยที่หาได้ถูกต้องตามความเป็นจริง

๕.๔ วงจรเปรียบเทียบระดับศักดากระแสตรงและวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

๕.๔.๑ ทฤษฎี

ทฤษฎีง่ายๆ ของวงจรเปรียบเทียบสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ



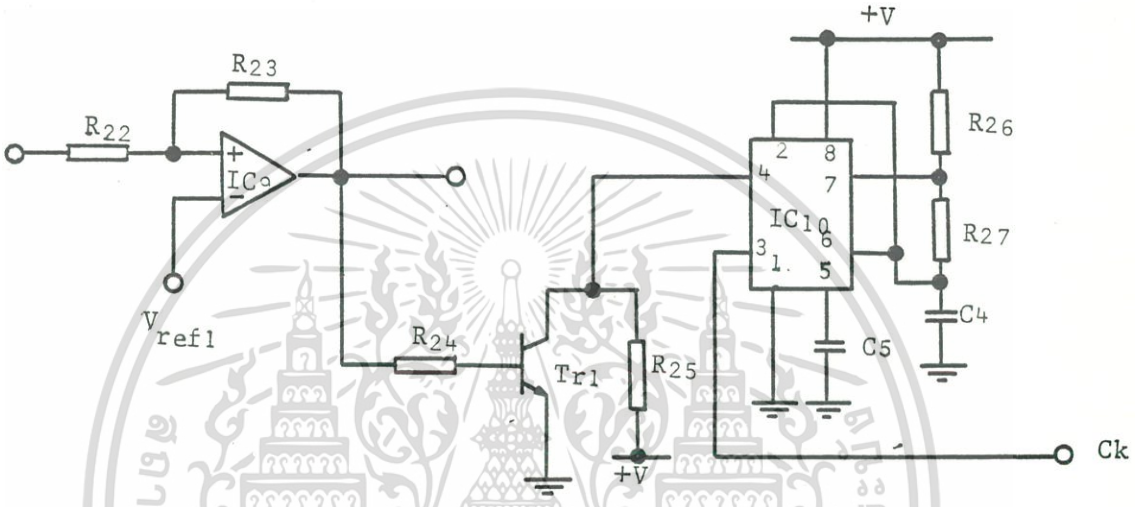
วงจรที่ใช้ในการควบคุมการสับเข้าหรือการถอดคาร์ปาร์ซิเตอร์ ออกจากระบบรวมนั้น จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีสัญญาณเข้าไปควบคุม ๒ สัญญาณ คือ สัญญาณเซทหรือรีเซท และสัญญาณนาฬิกา ดังนั้น วงจรที่ใช้ในการส่งสัญญาณไปควบคุมวงจรที่ใช้สับเข้า หรือการถอดคาร์ปาร์ซิเตอร์ ออกจากระบบจึงต้องส่งสัญญาณออกไปได้ทั้ง ๒ แบบ ดังที่กล่าวมาแล้ว

ในหัวข้อนี้ เราจะแบ่งการอธิบายออกเป็น ๒ ส่วน คือ ในตอนแรกจะกล่าวถึงวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสร้างสัญญาณไปยังวงจรควบคุมการสับคาร์ปาร์ชิเตอร์เข้าสู่ระบบรวม และในตอนหลังจะกล่าวถึงวงจรซึ่งสร้างสัญญาณไปยังวงจรควบคุม การถอดคาร์ปาร์ชิเตอร์ออกจากระบบรวม

๑ วงจรสร้างสัญญาณไปยังวงจรควบคุมการสับคาปาร์ชิเตอร์เข้าสู่ระบบ



รูปที่ 5.4 วงจรสร้างสัญญาณไปยังวงจรควบคุมการสับคาร์ปาร์ชิเตอร์เข้าสู่ระบบ

V_{ref1} เป็นค่าศักดากระแสตรงที่เกิดขึ้นที่จุดสัญญาณขาออกของ IC_8 เมื่อผลต่างของมุมระหว่างกระแสและศักดามีค่าประมาณ 36°

$(\cos 36^{\circ} = 0.8)$

(๑) เมื่อสัญญาณขาเข้าต่ำกว่า V_{ref1} สัญญาณขาออกของ IC_9 จะให้ลอจิกเป็น 0 ส่วนสัญญาณขาออกของทรานซิสเตอร์ T_{r1} จะให้ลอจิกเป็น 1 ทำให้ IC_{10} เริ่มทำงานโดยจะส่งสัญญาณนาฬิกาออกไป

ถ้าให้ t_1 = ช่วงเวลาที่มีสัญญาณนาฬิกาส่งออกไป

t_2 = ช่วงเวลาที่ไม่มีสัญญาณนาฬิกา

จะได้ว่า

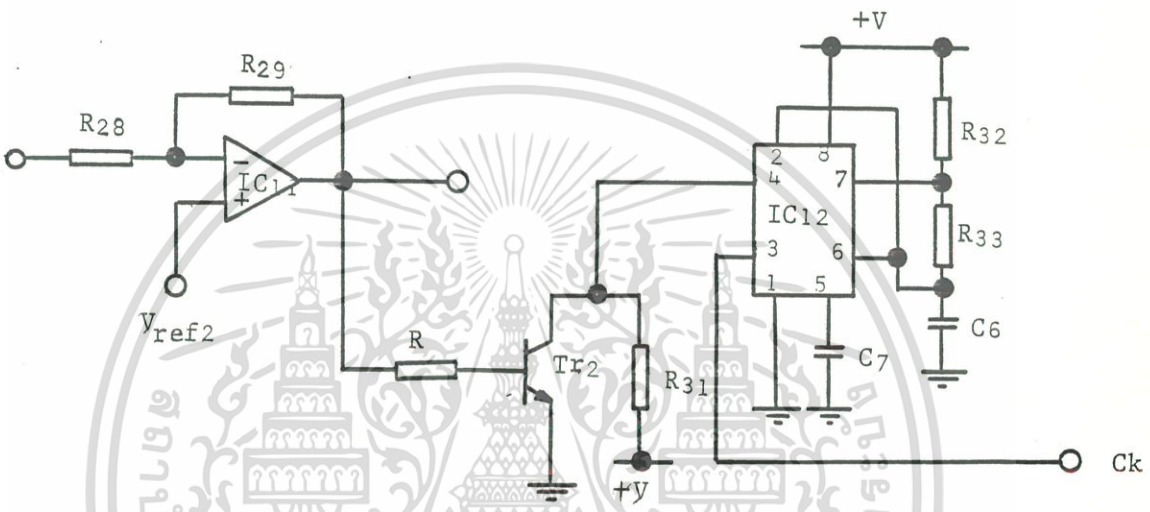
$$t_1 = 0.693\ (R_{26} + R_{27})\ C_4$$

$$t_2 = 0.693\ (R_{27})\ C_4$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(๒) เมื่อสัญญาณขาเข้าสูงกว่า V_{rcf1} สัญญาณขาออกของ IC9 จะให้ลอจิกเป็น 1 ส่วนสัญญาณขาออกของทรานซิสเตอร์ T_{r1} จะให้ลอจิกเป็น 0 ในกรณีนี้ IC_{10} จะไม่ทำงาน ดังนั้น ในกรณีนี้จะไม่มีสัญญาณนาฬิกาส่งออกมา

๒ วงจรสร้างสัญญาณไปยังวงจรควบคุมการสับคาปาร์ซิเตอร์ออกจากระบบ



รูปที่ 5.15 วงจรสร้างสัญญาณไปยังวงจรควบคุมการสับคาร์ปาร์ซิเตอร์ออกจากระบบ

V_{ref2} เป็นค่าศักดากระแสตรงที่เกิดขึ้นที่จุดสัญญาณขาออกของ IC_8 เมื่อผลต่างของมุมระหว่างกระแสและศักดามีค่าประมาณ 18°

($\cos 18^{\circ} = 0.95$)

(๑) เมื่อสัญญาณขาเข้าต่ำกว่า V_{ref2} สัญญาณขาออกของ IC_{11} จะให้ลอจิกเป็น 1 ส่วนสัญญาณขาออกของทรานซิสเตอร์ T_{r2} จะให้ลอจิกเป็น0 ในกรณีนี้ IC_{12} จะไม่ทำงาน ทำให้ไม่มีสัญญาณนาฬิกาส่งออกมา

(๒) เมื่อสัญญาณขาเข้าสูงกว่า V_{ref2} สัญญาณขาออกของ IC_{11} จะให้ลอจิกเป็น 0 ส่วนสัญญาณขาออกของทรานซิสเตอร์ T_{r2} จะให้ลอจิกเป็น 1 ทำให้ IC_{12} เริ่มทำงาน โดยส่งสัญญาณนาฬิกาออกไป

สำหรับการเลือกค่า t_1 และ t_2 เลือกเหมือนกรณี ๑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

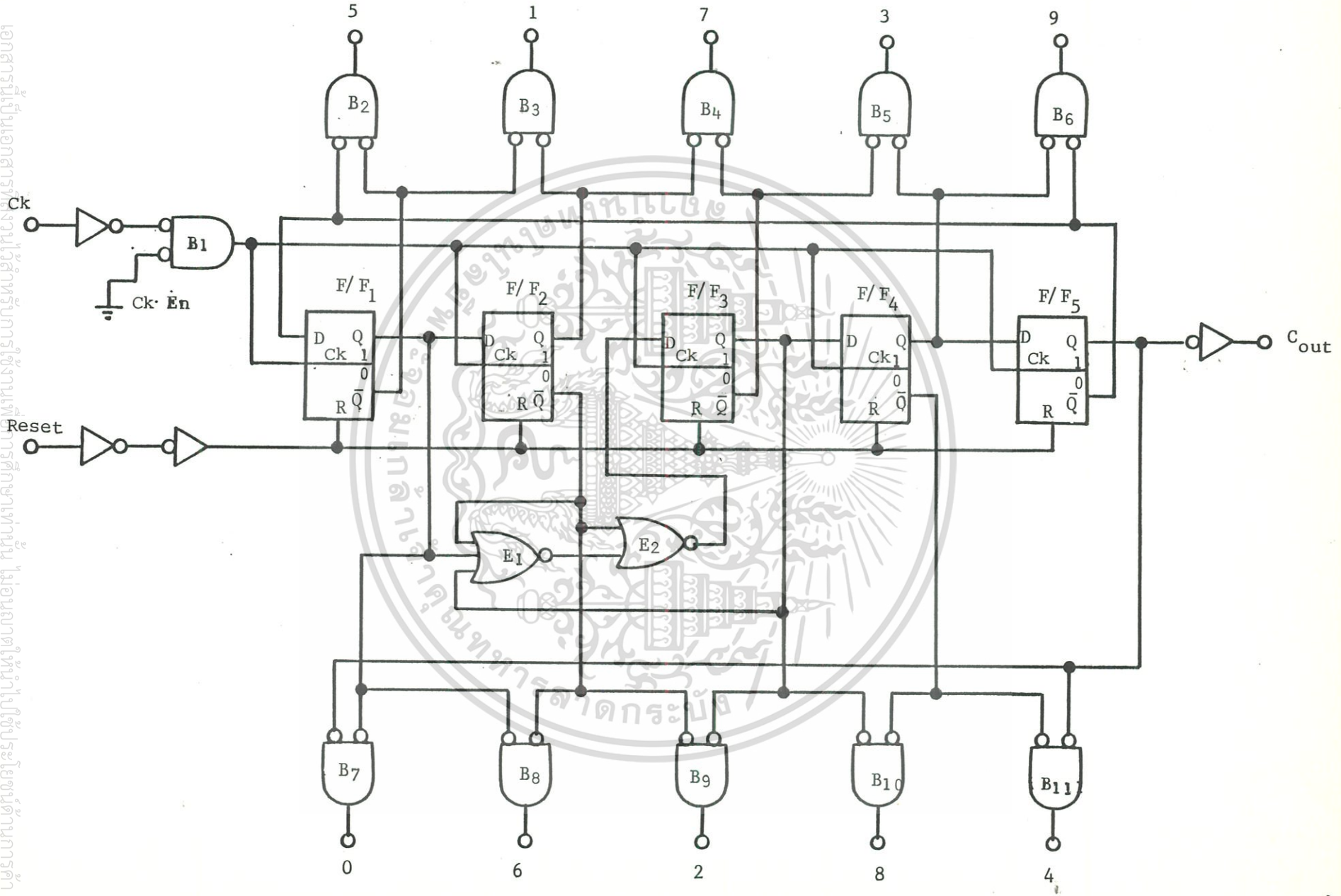
๔.๕ วงจรควบคุมการตัดต่อคาร์ปาร์ซิเตอร์เข้าหรือออกจากระบบรวม

จุดมุ่งหมายในการออกแบบวงจรส่วนนี้ ก็คือ เมื่อสัญญาณของศักดากระแสตรงมีค่าต่ำกว่า V_{ref1} วงจรดังกล่าวนี้ จะทำการสับคาร์ปาร์ซิเตอร์เข้าสู่ระบบรวม โดยอัตโนมัติจนกระทั่งสัญญาณของศักดากระแสตรงนี้จะอยู่ในช่วงระหว่าง V_{ref1} และ V_{ref2} วงจรนี้ก็จะหยุดสับคาร์ปาร์-ซิเตอร์เข้าสู่วงจร

ต่อมาถ้าหากสัญญาณของศักดากระแสตรงมีค่ามากกว่า V_{ref2} วงจรดังกล่าวนี้จะมีหน้าที่ สับ คาร์ปาซิเตอร์ออกจากระบบรวมโดยอัตโนมัติเช่นกัน และจะสับคาร์ปาซิเตอร์ออกจากระ-บบรวมจนกระทั่งค่าสัญญาณของศักดากระแสตรง จะกลับมาอยู่ในช่วงของ V_{ref1} และ V_{ref2} วงจรจึงจะหยุดสับคาร์ปาซิเตอร์ออกจากระบบรวม

วงจรดังกล่าวประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 วงจรควบคุมการสับหรือปลดคาร์ปาร์ซิเตอร์จากระบบ

จากรูปจะเห็นว่าวงจรประกอบด้วย D - ฟลิบฟลอป และ เกทชนิดต่างๆ

ก่อนที่จะอธิบายถึงการทำงานของวงจร เรามาลองพิจารณาถึงลักษณะการทำงานของ D - ฟลิบฟลอป โดยย่อเสียก่อน

การทำงานของ D - ฟลิบฟลอบ จะทำงานที่ขอบสัญญาณขาบวกของสัญญาณนาฬิกา ดังตารางความจริงต่อไปนี้

D	ck	Q $\overline{Q}$
0	⌐↑	0 1
1	⌐↑	1 0
$\overline{Q}$	⌐↑	changes

clock inputs

R	S	Q $\overline{Q}$
0	0	ck operation
0	1	1 0
1	0	0 1
1	1	1 1 (disallowed)

direct inputs

จากตารางความจริงเราสามารถสรุปการทำงานของ D-ฟลิบฟลอป ได้เป็นข้อๆ ดังนี้คือ

๑ เมื่อ R = S = 0 การทำงานของ D-ฟลิบฟลอบ จะขึ้นกับสัญญาณนาฬิกา

๒ เมื่อ D = 1 และมีขอบสัญญาณขาบวกของสัญญาณนาฬิกาเข้ามา จะได้

Q = 1 และ $\overline{Q}$ = 0

๓ เมื่อ D = 0 และมีขอบสัญญาณขาบวกของสัญญาณนาฬิกาเข้ามาจะได้

Q = 0 และ $\overline{Q}$ = 1 เสมอ

๔ เมื่อ S = 1 ฟลิบฟลอบไม่ว่าอยู่ในสภาวะใดจะได้

Q = 1 และ $\overline{Q}$ = 0 เสมอ

๕ เมื่อ R = 1 ฟลิบฟลอบไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะใดจะได้ว่า

Q = 0 และ $\overline{Q}$ = 1 เสมอ

๖ เมื่อ R = S = 1สภาวะดังกล่าวนี้จะเป็นสภาวะที่ควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดขึ้นเพราะ

Q = $\overline{Q}$ = 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากเข้าใจถึงลักษณะการทำงานของ D-ฟลิบฟลอป แล้วต่อไปจะได้กล่าวถึง การทำงานของวงจรควบคุมการตัดต่อคาร์ปาซิเตอร์ต่อไป พิจารณาการทำงานของวงจรในกรณีที่ CK EN มีลอจิกเป็น 0

๑ เมื่อทำการรีเซ็ทวงจร

กล่าวคือ ทำให้ขารีเซ็ทมีลอจิกเป็น ๑

จะทำให้ขา $\overline{Q}$ ของ ฟลิบฟลอบทั้ง ๕ ตัว มีลอจิกเป็น ๑

เป็นผลให้สัญญาณขาเข้าของเกท B_7 ทั้งสองขามีลอจิกเป็น0 ดังนั้น สัญญาณขาออกของเกท B_7 จะให้ลอจิกเป็น ๑

ส่วนเกท B_2 ถึง B_6 และเกท B_8 ถึง B_{11} จะให้ลอจิกของสัญญาณขาออกเป็น 0 หมด ผลจากการที่ขา $\overline{Q}$ ของ F/F 5 มีลอจิกเป็น ๑ จะทำให้ขา D ของ F/F 1 มีลอจิกเป็น ๑ ด้วย

๒ เมื่อมีสัญญาณนาฬิกาลูกที่ ๑ เข้ามา

ฟลิบฟลอบทุกตัวจะถูกกระตุ้น แต่เนื่องจากมีเพียงขา D ของ F/F 1 เพียงตัวเดียวเท่านั้นที่มีลอจิกเป็น ๑ อยู่ ดังนั้น จะได้ว่า

F/F 1 เดิม D = 1 เมื่อมีสัญญาณนาฬิกาเข้ามาจะทำให้

$Q = 1$, $\overline{Q} = 0$

เป็นผลให้ขาที่ 1 ของเกท B_3 มีลอจิกเป็น 0

F/F 2 เดิม D = 0 เมื่อมีสัญญาณ นาฬิกาเข้ามาจะได้

$Q = 0$, $\overline{Q} = 1$ ซึ่งก็เป็นการคงสภาวะเดิมนั่นเอง

ผลจาก F/F 2 จะทำให้ขาที่ 2 ของเกท B_3 มีลอจิกเป็น 0

ดังนั้น จะได้ว่า สัญญาณขาออกของเกท B_3 มีลอจิกเป็น 1

F/F 3 - F/F 5

จะยังคงมีสภาพเดิมกล่าวคือ

$D = 0$, $Q = 0$ และ $\overline{Q} = 1$

ในช่วงเวลานี้ จะสังเกตเห็นว่า เกททุกตัวยกเว้นเกท B_3 จะมีสัญญาณขาออกมีลอจิกเป็น ๐ หมด ทั้งนี้เพราะ ที่สัญญาณขาเข้าของเกทแต่ละตัว มีสัญญาณลอจิก1 ปรากฏอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่เกิดการเปลี่ยนแปลงภายหลังที่สัญญาณนาฬิกาลูกที่ ๑ เข้ามาแล้วก็คือ

เมื่อลอจิกที่ขา Q ของ F/F 1 เป็น 1 จะทำให้ขา D ของ F/F 2 มีลอจิกเป็น 1 ด้วย

๓ เมื่อสัญญาณนาฬิกาลูกที่ ๒ เข้ามา

ในตอนนี้ขา D ของ F/F 1 และ F/F 2 จะมีสัญญาณลอจิก 1

สำหรับขา D ของ F/F 3 เราจะต้องพิจารณาจากเกท E_1 และ E_2

พิจารณาเกท E_1

เนื่องจากสัญญาณขาเข้าขาที่ 1 ของเกท E_1 ต่ออยู่กับขา $\overline{Q}$ ของ F/F 2 ดังนั้นขาที่ 1 ของเกท E_1 จะมีลอจิกเป็น 1

เนื่องจากสัญญาณขาเข้าขาที่ 2 ของเกท E_1 ต่ออยู่กับขา Q ของ F/F 1 ดังนั้นขาที่ 2 ของเกท E_1 จะมีลอจิกเป็น 1

โดยที่สัญญาณขาเข้า ขาที่ 3 ของเกท E_1 ต่ออยู่กับขา Q ของ F/F 3 ดังนั้นขาที่ 3 ของเกท E_1 จะมีลอจิกเป็น 0

เนื่องจากเกท E_1 เป็น NOR GATE ดังนั้น สัญญาณขาออกของเกท E_1 จะได้ลอจิกเป็น 0

คราวนี้ลองมาพิจารณาเกท E_2

เนื่องจากสัญญาณขาเข้าขาที่ 1 ของเกท E_2 ต่ออยู่กับขา $\overline{Q}$ ของ F/F 2 ดังนั้นขาที่ 1 ของเกท E_2 จะมีลอจิกเป็น 1

เนื่องจากสัญญาณขาเข้าขาที่ 2 ของเกท E_2 ต่ออยู่กับสัญญาณขาออกของเกท E_1

ดังนั้นขาที่ 2 ของเกท E_2 จะมีลอจิกเป็น 0

เนื่องจากเกท E_2 มีคุณสมบัติเป็น NOR GATE

ดังนั้นสัญญาณขาออกของเกท E_2 จะมีลอจิกเป็น 0

โดยที่ขา D ของ F/F 3 ต่ออยู่กับสัญญาณขาออกของเกท E_2

ดังนั้นในตอนนี้ ที่ขา D ของ F/F 3 จะมีลอจิกเป็น 0 ด้วย

สำหรับขา D ของ F/F 4 และ F/F 3 จะยังคงมีลอจิกเป็น 0 อยู่ เนื่องจากผลของการรีเซ็ทวงจรในตอนแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีสัญญาณนาฬิกาลูกที่ 2 เข้ามา F/F แต่ละตัวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้ คือ

F/F 1 จะคงสภาวะเดิมเนื่องจากขา D = 1 ทำให้ขา Q = 1 เนื่องจากขา1 และขา 2 ของเกท B_2 ต่ออยู่กับขา D และขา $\overline{Q}$ ของ F/F 1 ตามลำดับ ดังนั้น ในตอนนี้ สัญญาณที่ขาออกของเกทB_2 จะมีลอจิกเป็น 0 โดยที่ขา 1 และขา2 ของเกท B_7 ต่อกับขา Q ของ F/F 5 และขา Qของ F/F 1 ดังนั้น ในตอนนี้สัญญาณที่ขาออกของเกท B_7 จะมีลอจิกเป็น0 โดยที่ขา 1 และขา 2 ของเกท B_8 ต่อกับขา Q ของ F/F 1 และขา $\overline{Q}$ ของ F/F 2 ดังนั้นในขณะนี้สัญญาณที่ขาออกของเกท B_8 จะให้ลอจิกเป็น 0 เช่นกัน

F/F 2 เนื่องจากในขณะที่สัญญาณนาฬิกาลูกที่สองเข้ามาขา D ของ F/F 2 มีลอจิกเป็น 1 อยู่ ดังนั้น จะทำให้ Q = 1 และ $\overline{Q}$ = 0 ผลจากการเปลี่ยนลอจิกของ F/F 2 นี้ จะทำให้ขาที่ 1 ของเกทB_9 มีลอจิกเป็น 0 และสัญญาณขาออกของเกท B_3 และ B_4 ก็จะมีลอจิกเป็น 0 ด้วย

F/F 3 เดิมขา D = 0 เมื่อมีสัญญาณนาฬิกาลูกที่ 2 เข้ามาก็ยังคงได้ว่าขา Q = 0 และขา $\overline{Q}$ = 1 โดยที่ขาที่ 2 ของเกท B_9 ต่ออยู่กับขา Q ของ F/F 3 ดังนั้น จะได้ว่าขาที่ 2 ของเกท B_9 มีลอจิกเป็น 0 เนื่องจากขณะนี้ ขาที่ 1 ของเกท B_9 มีลอจิกเป็น 0 อยู่ ดังนั้น ในตอนนี้ สัญญาณขาออกของเกท B_9 จะมีลอจิกเป็น 1 โดยที่ขา $\overline{Q}$ ของ F/F 3 มีลอจิกเป็น 1 จึงทำให้สัญญาณขาออกของเกท B_5 มีลอจิกเป็น 0 ด้วย

๔ เมื่อสัญญาณนาฬิกาลูกที่ 3 เข้ามา

ผลจากการที่ F/F 2 เกิดการเปลี่ยนสภาวะลอจิกจะทำให้ขาที่ 1 ของเกท E_1 และ E_2เปลี่ยนสภาวะลอจิกไปด้วย กล่าวคือ ในเวลานี้สภาวะลอจิกขาที่ 1 ของเกท E_1 และ E_2จะมีลอจิกเป็น 0

ดังนั้นในตอนนี้

สัญญาณขาออกของเกท E_1 จะมีลอจิกเป็น 0

" " E_2 " " 1

ผลจากการที่สัญญาณขาออกของเกท E_2 มีลอจิกเป็น 1 จะทำให้ขา D ของ F/F 3 มีลอจิกเป็น 1 ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น เมื่อมีสัญญาณนาฬิกาลูกที่ 3 เข้ามาจะทำให้ F/F 3 เพียงตัวเดียวเท่านั้น ที่เกิดการเปลี่ยนสภาวะลอจิก กล่าวคือจะทำให้ขา $Q = 1$ และ $\overline{Q} = 0$

ผลจากการที่ F/F 3 เกิดการเปลี่ยนสภาวะลอจิกจะทำให้

- สัญญาณขาเข้าขาที่ 1 ของเกท B_5 และขาที่ 2 ของเกท B_4 มีลอจิกเป็น 0 เป็นผลให้สัญญาณขาออกของเกท B_5 มีลอจิกเป็น 1
- สัญญาณขาเข้าขาที่ 3 ของเกท E_1 และขาที่ 2 ของเกท B_9 และขาที่ 1 ของเกท B_{10} มีลอจิกเป็น 1

  เป็นผลให้สัญญาณขาออกของเกท B_9 มีลอจิกเป็น 0
- ทำให้ขา D ของ F/F 4 มีลอจิกเป็น 1 ด้วย

๕ เมื่อสัญญาณนาฬิกาลูกที่ 4 เข้ามาจะทำให้ F/F 4 เพียงตัวเดียวเท่านั้น ที่เกิดการเปลี่ยนสภาวะลอจิก กล่าวคือ จะทำให้ขา $Q = 1$ และขา $\overline{Q} = 0$

ผลจากการที่ F/F 4 เกิดการเปลี่ยนสภาวะลอจิกจะทำให้

- สัญญาณขาเข้าที่ขา 2 ของเกท B_5 และขาที่ 1 ของเกท B_6 มีลอจิกเป็น 1 เป็นผลให้สัญญาณขาออกของเกท B_5 มีลอจิกเป็น 0
- สัญญาณเข้าขาที่ 2 ของเกท B_{10} และสัญญาณขาเข้าขาที่ 1 ของเกท B_{11} มีลอจิกเป็น 0

  เป็นผลให้สัญญาณขาออกของเกท B_{11} มีลอจิกเป็น 1
- ทำให้ขา D ของ F/F 5 มีลอจิกเป็น 1 ด้วย

๖ เมื่อสัญญาณนาฬิกาลูกที่ 5 เข้ามาจะทำให้ F/F 5 เพียงตัวเดียวเท่านั้น เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะลอจิก กล่าวคือ จะทำให้ลอจิกที่ขา $Q = 1$ และลอจิกที่ขา $\overline{Q} = 0$

ผลจากการที่ F/F 5 เกิดการเปลี่ยนสภาวะลอจิกจะทำให้

- สัญญาณเข้าที่ขา 1 ของเกท B_7 และสัญญาณขาเข้าขาที่ 2 ของเกท B_{11} จะมีลอจิกเป็น 1 เป็นผลให้สัญญาณขาออกของเกท B_{11} มีลอจิกเป็น 0
- สัญญาณขาเข้าขาที่ 2 ของเกท B_6 และสัญญาณขาเข้าขาที่ 1 ของเกท B_2 จะมีลอจิกเป็น 0

  เป็นผลให้สัญญาณขาออกของเกท B_2 มีลอจิกเป็น 1
- ทำให้ขา D ของ F/F 1 มีลอจิกเป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๗ เมื่อสัญญาณนาฬิกาลูกที่ 6 เข้ามาจะทำให้สภาวะลอจิกของ F/F 1 เพียงตัวเดียวเท่านั้น เกิดการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ จะทำให้ลอจิกที่ขา $Q = 0$ และลอจิกที่ขา $\overline{Q} = 1$

ผลจากการที่ F/F 1 เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะลอจิกจะทำให้

- สัญญาณขาเข้าขาที่ 2 ของเกท E_1 , สัญญาณขาเข้าขาที่ 2 ของเกท B_7 และสัญญาณขาเข้าขาที่ 1 ของเกท B_8 จะมีลอจิกเป็น 0 เป็นผลให้สัญญาณขาออกของเกท B_8 มีลอจิกเป็น 1
- สัญญาณขาเข้าขาที่ 2 ของเกท B_2 และสัญญาณขาเข้าขาที่ 1 ของเกท B_3 จะมีลอจิกเป็น 1 เป็นผลให้สัญญาณขาออกของเกท B_2 มีลอจิกเป็น 0
- ทำให้ขา D ของ F/F 2 เปลี่ยนสภาวะลอจิกจาก 1 เป็น 0

๘ เมื่อสัญญาณนาฬิกาลูกที่ 7 เข้ามาจะทำให้สภาวะลอจิกของ F/F 2 เพียงตัวเดียวเท่านั้น เกิดการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ จะทำให้สภาวะลอจิกที่ขา $Q = 0$ และลอจิกที่ขา $\overline{Q} = 1$

ผลจากการที่ F/F 2 เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะลอจิกจะทำให้

- สัญญาณที่ขาเข้าขา 2 ของเกท B_3 และสัญญาณที่ขาเข้าขาที่ 1 ของเกท B_4 เปลี่ยนสภาวะลอจิกกลายเป็น 0 เป็นผลให้สัญญาณขาออกของเกท B_4 มีลอจิกเป็น 1
- สัญญาณขาเข้าขาที่ 1 ของเกท E_1 , E_2 และสัญญาณขาเข้าขาที่ 2 ของเกท B_8 เปลี่ยนสภาวะลอจิกเป็น1
- ทำให้สัญญาณขาออกของเกท B_8 มีลอจิกเป็น 0
- เป็นผลให้สัญญาณขาออกของเกท E_1 และ E_2 มีสภาวะลอจิกเป็น 0 ทำให้ขา D ของ F/F 3 เปลี่ยนสภาวะลอจิกจาก 1 เป็น 0

๙ เมื่อสัญญาณนาฬิกาลูกที่ 8 เข้ามาจะทำให้สภาวะลอจิกของ F/F 3 เพียงตัวเดียวเท่านั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ จะทำให้สภาวะลอจิกที่ขา $Q = 0$ และลอจิกที่ขา $\overline{Q} = 1$

ผลจากการที่ F/F 3 เกิดการเปลี่ยนสภาวะลอจิกจะทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สัญญาณขาเข้าขาที่ 2 ของเกท B_9 และสัญญาณขาเข้าขาที่ 1 ของเกท B_{10} เปลี่ยนสภาวะลอจิกกลายเป็น 0
  เป็นผลให้สัญญาณขาออกของเกท B_{10} มีลอจิกเป็น 1
- สัญญาณขาเข้าขาที่ 2 ของเกท B_4 มีลอจิกเป็น 1
  เป็นผลให้สัญญาณขาออกของเกท B_4 เปลี่ยนสภาวะลอจิกเป็น 0
- ทำให้ขา D ของ F/F 4 เปลี่ยนสภาวะลอจิกจาก 1 เป็น 0

๑๐ เมื่อสัญญาณนาฬิกาลูกที่ 9 เข้ามาสภาวะลอจิกของ F/F 4 เพียงตัวเดียวเกิดการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ จะทำให้สภาวะลอจิกที่ขา $Q = 0$ และลอจิกที่ขา $\overline{Q} = 1$

ผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะลอจิกของ F/F 4 จะทำให้

- สัญญาณขาเข้าขาที่ 2 ของเกท B_5 และสัญญาณขาเข้าขาที่ 1 ของเกท B_6 เกิดการเปลี่ยนสภาวะลอจิกจาก 1 เป็น 0
  เป็นผลให้สัญญาณขาออกของเกท B_6 มีลอจิกเป็น 1
- สัญญาณขาเข้าขาที่ 2 ของเกท B_{10} และสัญญาณขาเข้าขาที่ 1 ของเกท B_{11} เกิดการเปลี่ยนสภาวะลอจิกจาก 0 เป็น 1
  ทำให้สัญญาณขาออกของเกท B_{10} มีลอจิกเป็น 0
- ทำให้ขา D ของ F/F 5 เปลี่ยนสภาวะลอจิกจาก 1 เป็น 0

๑๑ เมื่อสัญญาณนาฬิกาลูกที่ 10 เข้ามาสภาวะลอจิกของ F/F 5 เพียงตัวเดียวเท่านั้นที่เกิดการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ จะทำให้สภาวะลอจิกที่ขา $Q = 0$ และลอจิกที่ขา $\overline{Q} = 1$

ผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะลอจิกของ F/F 5 จะทำให้

- สัญญาณขาเข้าขาที่ 2 ของเกท B_6 เกิดการเปลี่ยนสภาวะลอจิกจาก 0 กลายเป็น 1 เป็นผลให้สัญญาณขาออกของเกท B_6 มีลอจิกเป็น 0
- ทำให้ขา D ของ F/F 1 เปลี่ยนสภาวะลอจิกจาก 0 กลายเป็น 1
- สัญญาณขาเข้าขาที่ 2 ของเกท B_{11} และสัญญาณขาเข้าขาที่ 1 ของเกท B_7 เปลี่ยนสภาวะลอจิกจาก 1 กลายเป็น 0
  ทำให้สัญญาณขาออกของเกท B_7 เปลี่ยนสภาวะลอจิกจาก 0 กลายเป็น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

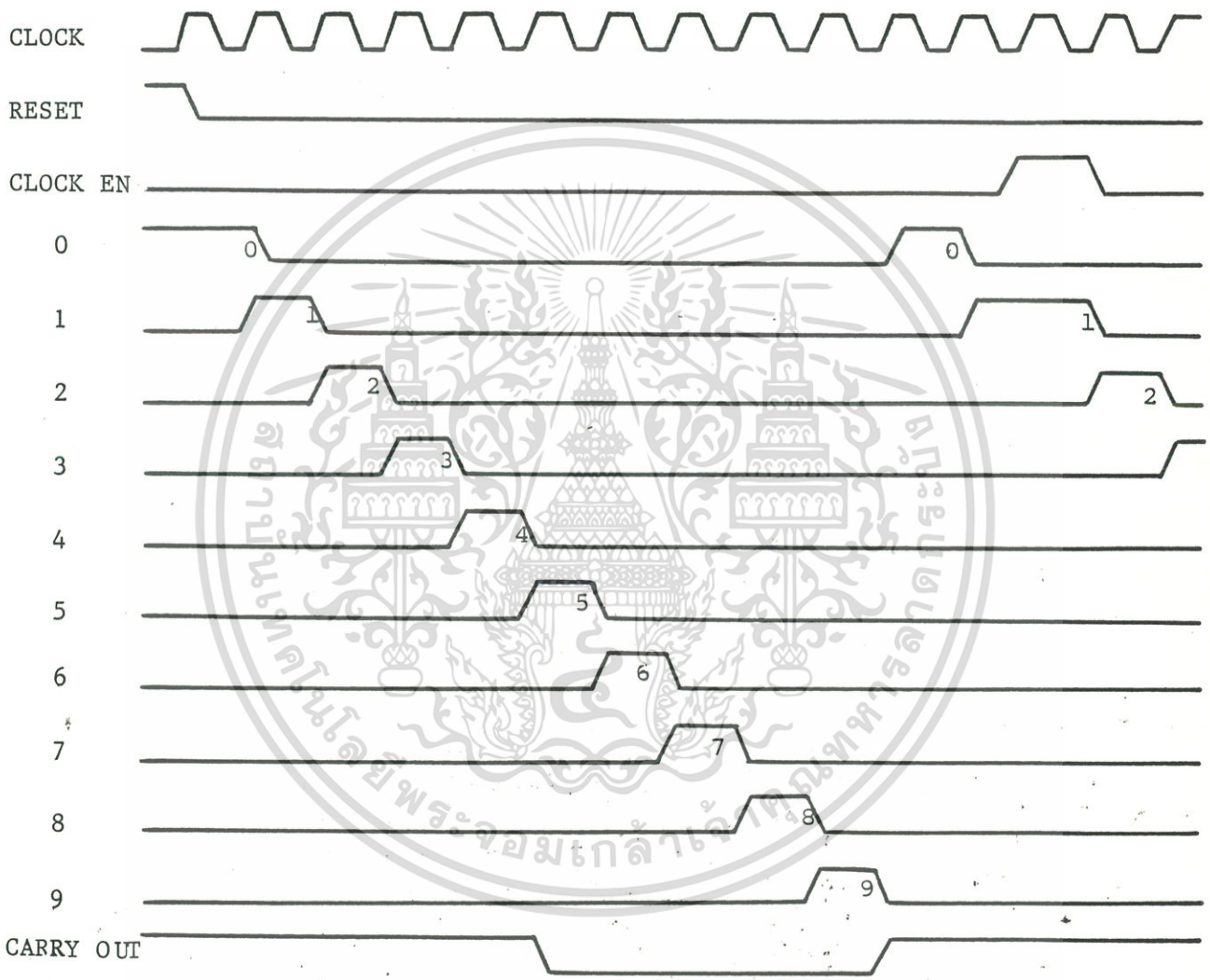
ซึ่งจะเห็นว่า สภาวะลอจิกในข้อ ๑๑ นี้ ก็คือสภาวะรีเซ็ทซึ่งเป็นสภาวะเริ่มต้นทำงานของวงจรใหม่อีกครั้งนั่นเอง

ลองมาพิจารณาสภาวะลอจิกของ Cout ดูจะพบว่า เมื่อใดก็ตามที่ขา Q ของ F/F 5 มีสภาวะลอจิกเป็น 0 จะทำให้ Cout มีสภาวะลอจิกเป็น 1 เสมอ

ในกรณีที่ CK EN มีสภาวะลอจิกเป็น 1 จะไม่ขอกล่าวถึง ทั้งนี้เพราะไม่ได้นำมาใช้งาน

จากที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดเกี่ยวกับการทำงานของวงจร สามารถสรุปให้อยู่ในรูปของ Timing Diagram ได้ดังรูป

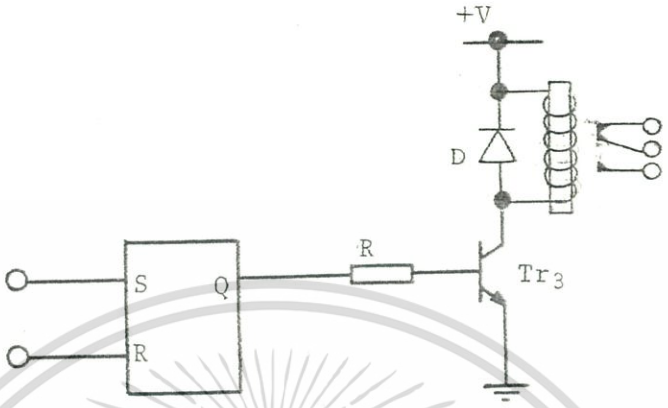
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 Timing diagram ของวงจรรูปที่ 5.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๕.๖ วงจรต่อหรือปลดคาร์ปาร์ซิเตอร์ออกจากระบบรวม



รูปที่ 5.18 วงจรต่อหรือปลดคาร์ปาร์ซิเตอร์ออกจากระบบรวม

จากรูปที่ 5.18 จะเป็นวงจรเพียงส่วนเดียวโดย

ขา S ของฟลอบฟลอบจะรับสัญญาณมาจากขา ถอดระหัสหมายเลข 1 ของวงจรควบคุมการใส่คาร์ปาร์ซิเตอร์

ขา R ของฟลับฟลอบจะรับสัญญาณมาจากขาถอดระหัสหมายเลข 8 ของวงจรควบคุมการสับคาร์ปาร์ซิเตอร์ออกจากระบบรวม

การทำงานของวงจร

เมื่อขา S ของฟลิบฟลอบได้รับสัญญาณลอจิกเป็น 1 แล้วสัญญาณลอจิกกลับเป็น 0 จากวงจรควบคุมการสับคาร์ปาร์ซิเตอร์ เข้าสู่ระบบขา Q ของฟลิบฟลอบจะให้ลอจิก 1 อยู่ตลอดเวลา ทำให้ทรานซิสเตอร์ Tr_3 ทำงานทำให้รีเลย์ปิดหน้าสัมผัสอยู่ตลอดเวลาในช่วงที่ขา Q มีสภาวะลอจิกเป็น1 ผลจากการที่รีเลย์ปิดหน้าสัมผัสจะทำให้ คอนแทกซ์แม่เหล็ก ซึ่งต่อกับรีเลย์ทำงาน แต่โดยที่คอนแทกซ์แม่เหล็กต่ออยู่กับ ไฟลายน์ 3 เฟส ดังนั้นเมื่อ คอนแทกซ์แม่เหล็ก ทำงานจึงเป็นการสับ คาร์ปาร์ซิเตอร์เข้าสู่ระบบรวมนั่นเอง

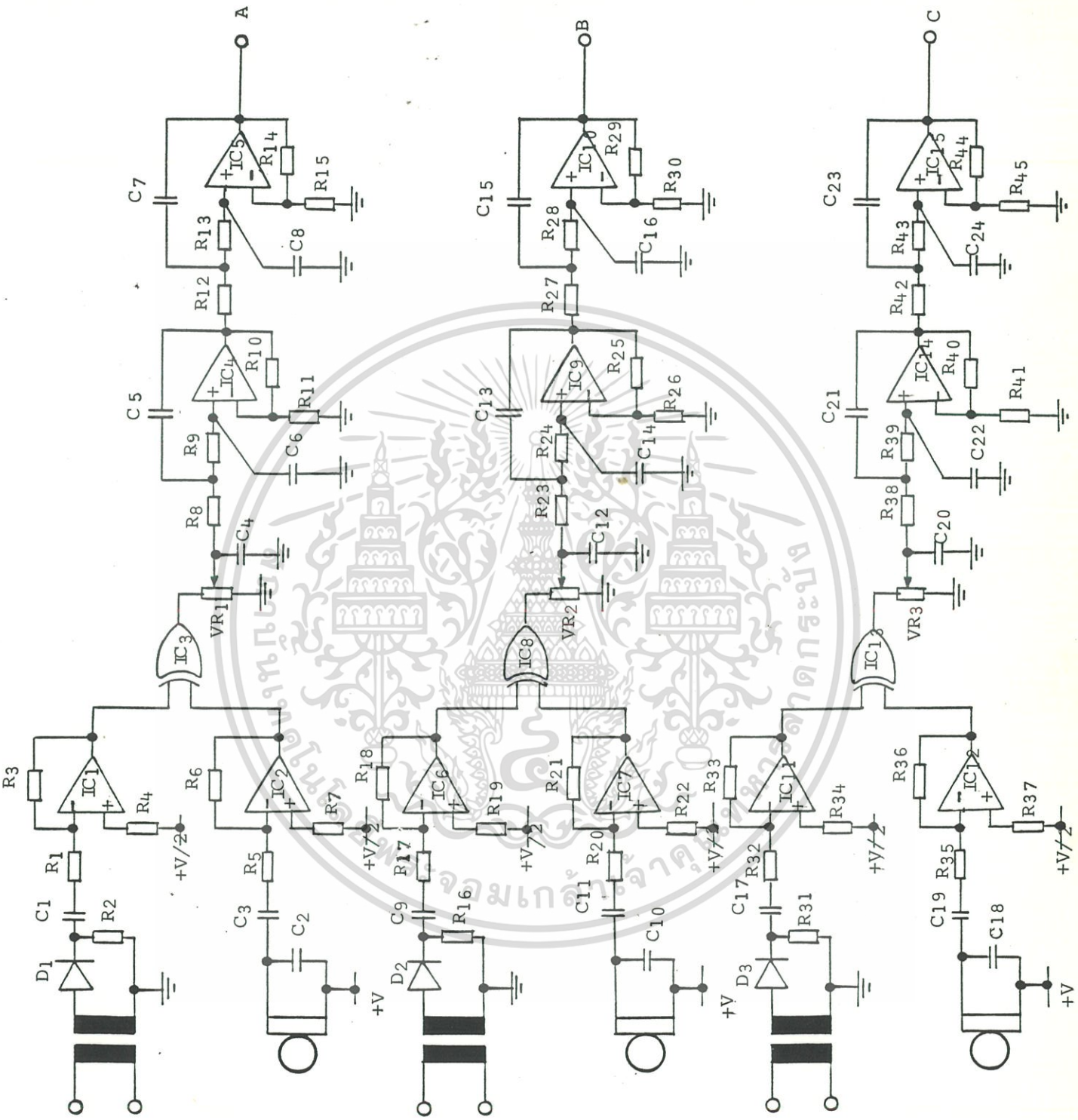
ต่อมาถ้าขา R ของฟลิบฟลอบได้รับสัญญาณลอจิกเป็น 1 แล้วกลับเป็นสัญญาณลอจิกเป็น 0 จากวงจรควบคุมการสับคาร์ปาร์ซิเตอร์ ออกจากวงจรลอจิกที่ขา Q จะกลับเป็น 0 ทันที ทำให้ Tr_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยุดทำงาน เป็นผลให้รีเลย์เปิดหน้าสัมผัส ทำให้คอนแทกซ์แม่เหล็กหยุดทำงาน จึงเป็นการปลด คาร์ปาซิเตอร์ ออกจากระบบรวมนั่นเอง

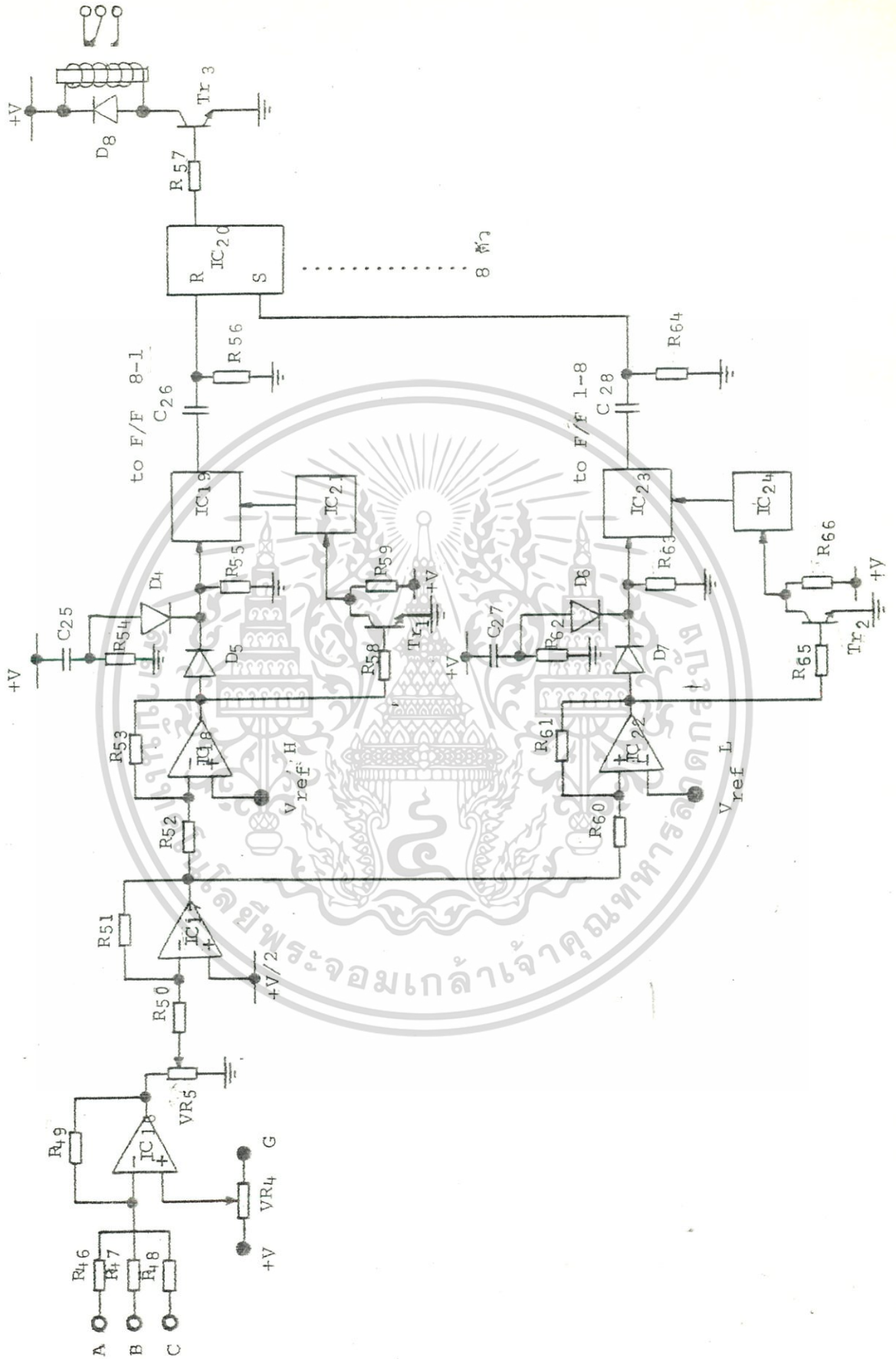
จากแนวทางการออกแบบวงจรที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด สามารถเขียนวงจรสมบูรณ์ได้ดังรูปที่ 5.9(ก)และ รูปที่ 5.9(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



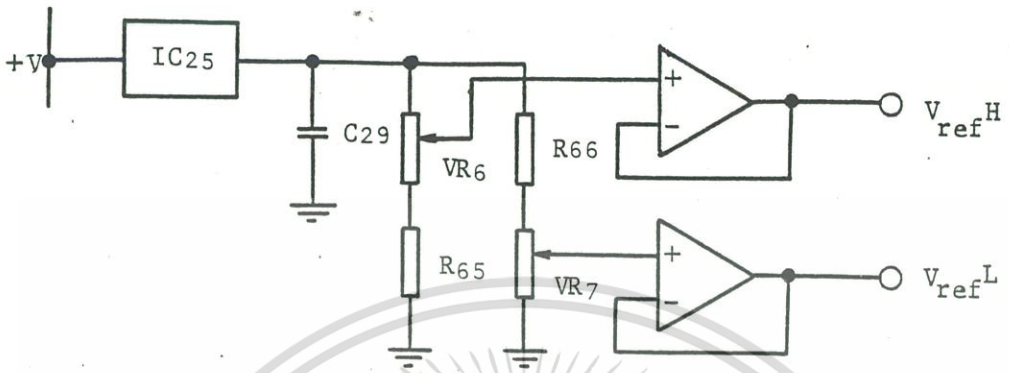
รูปที่ 5.9 (ก) วงจรใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 (ข) วงจรใช้งานจริง (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆในวงจร มีดังนี้

IC1,IC2,IC6,IC7,IC11,IC12	= LM 324
IC4,IC5,IC9,IC10,IC14,IC15	= LM 324
IC3,IC8,IC13	= 74C86
D1,D2,D3	= 2N4002
C1,C3,C9,C11,C17,C19	= 1 uF
C2,C10,C18	= .47 uF
C4,C12,C20	= .1 uF
C5,C6,C7,C8	= 1 uF
C13,C14,C15,C16	= 1 uF
C21,C22,C23,C24	= 1 uF
VR1,VR2,VR3	= 10 KΩ
R1,R2,R4,R5,R7	= 10 KΩ
R16,R17,R19,R20,R22	= 10 KΩ
R31,R32,R34,R35,R37	= 10 KΩ
R3,R6,R18,R21,R33,R35	= 4.7 MΩ
R8,R23,R38	= 20 KΩ
R9,R24,R39	= 12 KΩ
R10,R11,R25,R26,R40,R41	= 68 KΩ
R12,R27,R42	= 8.2 KΩ
R13,R28,R43	= 30 KΩ
R14,R15,R29,R30,R44,R45	= 75 KΩ
IC16,IC17,IC18,IC22	= LM 324
IC19,IC23	= CD 4017
IC21,IC24	= LM 555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IC20	= CD 4027
D4,D5,D6,D7	= 2N4148
D8	= 2N4002
Tr1,Tr2,Tr3	= 2SC458
VR4, VR5	= 10 KΩ
R46,R47,R48	= 30 KΩ
R49,R50,R51	= 10 KΩ
R52,R57,R60	= 10 KΩ
R53,R61	= 4.7 MΩ
R54,R62	= 1 KΩ
R55,R63	= 4.7 KΩ
R58,R65	= 2 KΩ
R59,R66	= 5 KΩ
R56,R64	= 1 KΩ
C25,C26,C27,C28	= 1 uF
IC25	= 7812
IC26,IC27	= LM 324
VR6,VR7	= 10 KΩ
R66	= 10 KΩ
R65	= 3.9 KΩ
C29	= 1 uF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร

๑ จากรูปเมื่อสัญญาณของศักดาถูกดักจับได้โดยหม้อแปลงศักดา (สัญญาณที่ดักจับได้จะมีลักษณะคลื่นรูปซายน์) สัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งไปยัง IC_1 เพื่อเปลี่ยนให้กลายเป็นสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม

๒ เมื่อสัญญาณของกระแสถูกดักจับได้โดยหม้อแปลงกระแส (สัญญาณที่ดักจับได้จะมีลักษณะคลื่นรูปซายน์) สัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งไปยัง IC_2 เพื่อเปลี่ยนให้กลายเป็นสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม

๓ สัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยมจากข้อ ๑ และ ๒ จะถูกนำมาเปรียบเทียบ เพื่อหาความแตกต่างของเฟสด้วย IC_3 ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณศักดากระแสตรงด้วย IC_4 และ IC_5 ดังนั้นที่จุด A จะเป็นสัญญาณศักดากระแสตรงที่ได้จากความแตกต่างเฟส ระหว่างสัญญาณของศักดาและสัญญาณของกระแส

๔ โดยวิธีเดียวกันกับข้อ ๑-๓ เราจะได้สัญญาณศักดากระแสตรงที่ได้จากความแตกต่างเฟสระหว่างสัญญาณของศักดา และสัญญาณของกระแสของไฟเฟสที่ ๒ และเฟสที่ ๓ ที่จุดB และจุด C ตามลำดับ

๕ สัญญาณจากจุด A,B,C จะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยด้วย IC_{16} และ IC_{17} ต่อจากนั้นค่าเฉลี่ยที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับ ค่าของแรงดันอ้างอิง เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปควบคุมการสับเข้าหรือถอดออกของคาร์ปาร์ซิเตอร์ต่อไป

๖ เมื่อค่าเฉลี่ยถูกนำมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงของ IC_{22} แล้วปรากฏว่ามีค่าต่ำกว่า IC_{22} จะส่งสัญญาณไปยัง IC_{23} เพื่อกระตุ้นให้ IC_{23} ทำงานแต่เนื่องจาก IC_{23} จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีสัญญาณนาฬิกา ดังนั้น ขณะเดียวกันที่ IC_{22} ส่งสัญญาณไปยัง IC_{23} มันจะส่งสัญญาณไปยัง Tr_2 ด้วย เมื่อ Tr_2 ได้รับสัญญาณมันจะส่งสัญญาณไปยัง IC_{24} เพื่อกระตุ้นให้ IC_{24} สร้างสัญญาณนาฬิกาส่งไปยัง IC_{23} เมื่อ IC_{23} ได้รับ สัญญาณทั้ง ๒ ชนิด มันจะส่งสัญญาณไปยัง IC_{20} ต่อจากนั้น IC_{20} จะส่งสัญญาณไปยัง Tr_3 เมื่อ Tr_3 ได้รับสัญญาณจะทำให้รีเลย์ปิดหน้าสัมผัส ทำให้คอนแทกซ์แม่เหล็กทำงาน แต่เนื่องจากด้านหนึ่งของคอนแทกซ์แม่เหล็กต่ออยู่กับคาร์ปาร์ซิเตอร์ ดังนั้นเมื่อคอนแทกซ์แม่เหล็กทำงานจึงเป็นการสับคาร์ปาร์ซิเตอร์เข้าสู่ระบบรวมนั่นเอง

ในทางปฏิบัติ IC_{23} จะประกอบด้วยขาถอดระหัสตั้งแต่ขาที่ 0 ถึงขาที่ 9 แต่เวลาใช้งานจริงเราจะเลือกใช้ขาถอดระหัสเพียง 8 ขา คือ เลือกใช้ตั้งแต่ขาที่ 1 ถึงขาที่ 8 เท่านั้น จากวงจรที่แสดงให้ดูเพื่อความสะดวก จึงแสดงให้ดูการต่อขาถอดระหัสเพียงขาเดียวเท่านั้น ทั้งนี้เพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการต่อขาถอดระหัสทั้ง 8 ขา จะเหมือนกัน

เมื่อขาถอดระหัสขาที่ 1 ทำการสับคาร์ปาร์ซิเตอร์เข้าสูระบบรวมแล้ว ค่าเฉลี่ยยังคงมีค่าต่ำกว่าแรงดันอ้างอิงอยู่ ขาถอดระหัสขาที่ 2,3,4...8 ก็จะทำการสับคาร์ปาร์ซิเตอร์เข้าสู่ระบบรวมไปเรื่อยจนกระทั่งเมื่อใดก็ตามที่ค่าเฉลี่ยมีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง IC_{22} ก็จะเลิกส่ง า สัญญาณทำให้ IC_{23} เลิกสับคาร์ปาร์ซิเตอร์เข้าสู่ระบบรวม

๗ เมื่อค่าเฉลี่ยถูกนำมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงของ IC_{18} แล้วปรากฏว่ามีค่าสูงกว่า IC_{18} จะส่งสัญญาณไปยัง IC_{19} เพื่อกระตุ้น IC_{19} ทำงาน แต่เนื่องจาก IC_{19} จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีสัญญาณนาฬิกา ดังนั้น ในขณะเดียวกันที่ IC_{18} ส่งสัญญาณไปยัง IC_{19} มันจะส่งสัญญาณไปยัง Tr_1 เมื่อ Tr_1 ได้รับสัญญาณมันจะส่งสัญญาณไปยัง IC_{21} เพื่อกระตุ้นให้ IC_{21} สร้างสัญญาณนาฬิกาส่งไปยัง IC_{19}

เมื่อ IC_{19} ได้รับสัญญาณทั้ง ๒ ชนิดมันจะส่งสัญญาณไปยังIC_{20}ต่อจากนั้นIC_{20} จะยุติการส่งสัญญาณไปยัง Tr_3 ทำให้รีเลย์เปิดหน้าสัมผัส ทำให้คอนแทกซ์แม่เหล็กหยุดทำงาน ซึ่งก็คือการปลดคาร์ปาร์ซิเตอร์ออกจากระบบรวมนั่นเอง

ในทางปฏิบัติ IC_{19} จะประกอบด้วยขาถอดระหัสเหมือน IC_{23} และในการเลือกขาถอดระหัสก็มีวิธีการเลือกเหมือนกันแต่ต่างกันที่วิธีการต่อ กล่าวคือ

ขาถอดระหัสของ IC_{23} จะเริ่มต่อจากขาถอดระหัสหมายเลข 1 เรื่อยไปจนถึงขาถอดระหัสหมายเลข 8 ส่วนการต่อขาถอดระหัสของ IC_{19} จะเริ่มต่อจากขาถอดระหัสหมายเลข 8 เรื่อยลงมาจนถึงขาถอดระหัสหมายเลข 1

เมื่อขาถอดระหัสหมายเลข 8 ทำการถอดคาร์ปาร์ซิเตอร์ ออกจากระบบรวมแล้ว ค่าเฉลี่ยยังคงมีค่าสูงกว่าแรงดันอ้างอิงอยู่ ขาถอดระหัสหมายเลข 7,6,5...1ก็จะทำการถอดคาร์-ปาร์ซิเตอร์ออกจากระบบรวม จนกระทั่งเมื่อใดก็ตามที่ค่าเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่าค่าแรงดันอ้างอิงของ IC_{18} ก็จะเลิกส่งสัญญาณ ทำให้ IC_{19} เลิกถอดคาร์ปาร์ซิเตอร์ออกจากระบบรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ ๖

ผลการทดลองและสรุป

๖.๑ ผลการทดลอง

ในการทดลองจะแบ่งออกเป็น ๓ ตอน โดย

๖.๑.๑ ทดสอบโดยใช้วงจรขยับเฟสเป็นตัวชิมูเลทสภาพเพาเวอร์แฟคเตอร์

๖.๑.๒ ทดสอบโดยใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดครึ่งแรงม้า

๖.๑.๓ ทดสอบเข้าระบบโดยใช้ตึกปฏิบัติการของภาคไฟฟ้า

๖.๑.๑ ทดสอบโดยใช้วงจรขยับเฟสเป็นตัวชิมูเลทสภาพเพาเวอร์แฟคเตอร์

ในการทดลองโดยใช้วงจรขยับเฟสเป็นตัวชิมูเลทสภาพเพาเวอร์แฟคเตอร์นั้นในการทดลองโดยใช้เครื่องต้นแบบควบคุมให้สวิทช์เริ่มสับคอนแทกซ์แม่เหล็กออก โดยเริ่มสับจากตัวที่ ๓,๒,๑ แล้วหยุด และทำการชิมูเลทสภาพเพาเวอร์แฟคเตอร์ใหม่ แล้วปล่อยให้สวิทช์เริ่มสับคอนแทกซ์แม่เหล็กเข้าโดยเรียงลำดับจากตัวที่ ๑,๒,๓ เรื่อยไปจนถึงตัวที่ ๘ ซึ่งเป็นตัวสุดท้าย ต่อจากนั้นทำการชิมูเลทสภาพเพาเวอร์แฟคเตอร์ใหม่ เพื่อให้เครื่องต้นแบบทำการสับคอนแทกซ์แม่เหล็กออกโดยเริ่มสับจากตัวที่ ๘,๗ เรื่อยไปจนถึงตัวที่ ๑

๖.๑.๒ ทดสอบโดยใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดครึ่งแรงม้า

ในการทดลองนี้ได้ทำการชิมูเลทสภาพเพาเวอร์แฟคเตอร์ โดยการใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดครึ่งแรงม้าจำนวน ๓ ตัว ทำการทดสอบสภาวะ ๓ เฟส โดยแต่ละเฟสมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งจากผลการทดลองปรากฏว่าเป็นไปตามทฤษฎีเช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อที่ ๖.๑.๑

๖.๑.๓ ทดสอบเข้าระบบโดยใช้ตึกปฏิบัติการของภาคไฟฟ้า

ในการติดตั้งเครื่องต้นแบบเข้าสู่ระบบ จะเลือกต้นแบบสาธิตขนาด ๘๐ KVAR เพื่อความเหมาะสม สำหรับขนาดตามความต้องการทางไฟฟ้าของตึกปฏิบัติการ

ในการทดลองต่ออุปกรณ์ควบคุมระบบแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์อัตโนมัติ เข้าสู่ระบบรวมนั้น ในตอนแรกจะเกิดปัญหาขึ้น กล่าวคือ การปลดคาร์ปาร์ซิเตอร์ออกจากระบบรวมจะไม่เป็นไปตามทฤษฎี ซึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นทำได้โดย แยกชุดวงจรจ่ายไฟให้กับรีเลย์ โดยเฉพาะเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นอีก ๑ ชุด แล้วปัญหาดังกล่าวก็หมดไป

ต่อจากนั้น เมื่อเริ่มทำการทดลองใหม่ปรากฏว่าเป็นที่น่าพอใจ และผลการทดลองก็เป็นไปตามทฤษฎี

๖.๒ สรุป

จากอุปกรณ์ต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้น จะสามารถนำไปใช้ในระบบแก้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์รวมของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งจะไม่จำกัดขนาดของค่า KVAR ที่ต้องการแก้ โดยส่วนมากเลือกขนาด KVA ของ capacitor banks ที่ใช้หรือสามารถออกแบบระบบจำนวนช่วงค่าของคาร์ปาซิเตอร์แต่ละตัว ให้เป็นไปตามความต้องการของกฎเกณฑ์ ของกฟภ. หรือ ใช้ลดค่าใช้จ่ายในการเสียค่า power factor change ของกฟน. ของโรงงานอุตสาหกรรมได้ อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถปรับแต่งค่าต่ำสุด และสูงสุดของค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ตามความต้องการในแต่ละกรณีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. John L. Hilburn and David E. Johnson

"Manual of Active Filter Design"

McGraw-Hill Book Company 1976.,p.14-16,p.36-37

3. David F. Stout

"Handbook of Operational Amplifier Circuit Design"

McGraw-Hill Book Company 1976.,p.4-1-4-20

3. Howard M.Berlin

"The 555 Timer Applications Sourcebook, with Experiments"

Howard W. Sams&Co.,Inc 1980

4. D. O'Kelly and S. Simmons

"Introduction to Generalized Electrical Machine Theory"

McGraw-Hill Publishing Company Limited

Maidenhead Berkshire England 1968

5. Walter G. Jung

"IC Op-Amp Cookbook"

Howard W.Sams&Co.,Inc 1977 p. 13-18

6. David A. Bell

"Solid State Pulse Circuits"

Reston Publishing Company,Inc. 1981

7. Ralph J. Smith

"Circuits, Devices And Systems"

John Wiley&Sons, Inc. 1976

8. Joseph A. Edminister

"Electric Circuits SI(metric) edition"

McGraw-Hill Book Company

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ASEA JUMET

"Power factor correction with capacitors"

ASEA JUMET 07,1981

10. ดร.ไพรัช ธัชยพงษ์

"วิเคราะห์วงจรไฟฟ้า ๑"

โครงการตำราไฟฟ้าอิเล็คตรอนิคส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

11. อัตราค่าธรรมเนียมการใช้ไฟฟ้า ของการไฟฟ้านครหลวง

โรงพิมพ์การไฟฟ้านครหลวง, 2524

12. โมะโตะกิ มัทซึโอะ

"เทคนิคการประหยัดพลังงานภาคไฟฟ้า"

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น 2525

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คะแปซิเตอร์

ขอบเขต

ข้อนี้ครอบคลุมถึงการติดตั้งคะแปซิเตอร์ในวงจรไฟฟ้า ส่วนคะแปซิเตอร์ป้องกันแรงดันกระโชกชั่วขณะ หรือคะแปซิเตอร์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเครื่องไฟฟ้า และเป็นไปตามบทกำหนดของเครื่องไฟฟ้านั้นๆ อยู่นอกเขตของข้อนี้

ข้อนี้ครอบคลุมถึงการติดตั้งคะแปซิเตอร์ ในสถานที่อันตรายด้วย เมื่อได้ปรับให้เป็นไปตามข้อ 501 ถึง 503

การล้อมและการกั้น

(1) คะแปซิเตอร์ที่บรรจุด้วยของเหลวติดไฟปริมาณมากกว่า 11.36 ลิตร ต้องติดตั้งในห้องเฉพาะ หรือติดตั้งภายนอกอาคารโดยมีรั้วล้อม และสอดคล้องกับข้อ 102-20

(2) การติดตั้งคะแปซิเตอร์ต้องล้อม หรือติดตั้ง หรือกั้น เพื่อมิให้บุคคลสัมผัสโดยบังเอิญ หรือนำวัตถุตัวนำเข้าไปสัมผัสกับส่วนที่มีไฟฟ้าซึ่งเปิดโล่ง ขั้วสาย หรือบัสที่ประกอบติดอยู่ ยกเว้นไม่ต้องมีการกั้นเพิ่มเติมในกรณีที่ล้อมเข้าได้เฉพาะเจ้าหน้าที่ผู้มีอำนาจและผู้มีคุณสมบัติ

ตอน ก. แรงดันระบุไม่เกิน 600 โวลต์

การคายประจุ ต้องจัดให้มีวิธีการคายประจุของคะแปซิเตอร์

(1) ช่วงเวลาคายประจุ เมื่อปลดคะแปซิเตอร์ออกจากวงจรไฟฟ้า แรงดันตกค้างต้องลดลงเหลือไม่เกิน 50 โวลต์ ภายในเวลา 1 นาที

(2) มาตรการในการคายประจุ วงจรสำหรับใช้ในการคายประจุ ต้องต่ออยู่กับขั้วของคะแปซิเตอร์อย่างถาวร หรือต่อเข้ากับขั้วคะแปซิเตอร์ได้อย่างอัตโนมัติ เมื่อระบบไม่มีแรงดัน ห้ามใช้สวิตช์ หรือวงจรสำหรับคายประจุที่ทำงานต่อวงจรด้วยมือ

การแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์สำหรับวงจรมอเตอร์

(1) พิกัดกิโลวาร์ของคะแปซิเตอร์ พิกัดกิโลวาร์รวมของคะแปซิเตอร์ที่ต่อทางด้านโหลดของเครื่องควบคุมมอเตอร์ ต้องมีปริมาณไม่เกินค่าที่ทำให้วงจรมอเตอร์มีเพาเวอร์แฟคเตอร์เป็น 1 ขณะที่มอเตอร์เดินไร้โหลดยกเว้นมอเตอร์ขนาดไม่เกิน 50แรงม้า อนุญาตให้ติดตั้งคะแปซิเตอร์ขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เกินร้อยละ 50 ของพิกัดกิโลโวลต์แอมแปร์ด้านรับไฟฟ้าของมอเตอร์ ทางด้านโหลดของเครื่องควบคุมมอเตอร์ได้

(2) มอเตอร์ต้องไม่อยู่ในสภาวะการทำงานที่มีการปิดเปิดวงจรบ่อยผิดปกติ อนุญาตให้ต่อคะแปซิเตอร์ได้เฉพาะในวงจรซึ่งเวลาใช้งานมอเตอร์ต้องไม่มีการปิดเปิดวงจรบ่อยผิดปกติ เช่น การเดินตัดบ่อย การหมุนกลับอย่างรวดเร็ว การต่อวงจรหรือการกระทำที่คล้ายคลึงกันซึ่งมีผลให้เกิดแรงดันเกินชั่วขณะ และมอเตอร์แรงผิดเกินชั่วขณะ

ตัวนำ

(1) ขนาดกระแส ขนาดกระแสตัวนำวงจรคะแปซิเตอร์ต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 135 ของพิกัดกระแสของคะแปซิเตอร์ ขนาดกระแสของตัวนำที่ต่อคะแปซิเตอร์เข้ากับขั้วมอเตอร์ หรือตัวนำวงจรมอเตอร์ ต้องไม่ต่ำกว่าเศษหนึ่งส่วนสาม ของขนาดกระแสตัวนำวงจรมอเตอร์ และต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 135 ของพิกัดกระแสคะแปซิเตอร์ด้วย

(2) การป้องกันกระแสเกิน คะแปซิเตอร์แต่ละชุด ต้องจัดให้มีเครื่องป้องกันกระแสเกินที่ตัวนำไม่ต่อลงดินทุกเส้น ยกเว้นกรณีที่ต่อคะแปซิเตอร์ไว้ทางด้านโหลดของเครื่องป้องกันการใช้เกินกำลังของมอเตอร์

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินต้องให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะปฏิบัติได้

(3) เครื่องปลดวงจร คะแปซิเตอร์แต่ละชุด ต้องจัดให้มีเครื่องปลดวงจรที่ตัวนำไม่ต่อลงดินทุกเส้น และต้องปลดวงจรทุกเส้นพร้อมกัน ยกเว้นกรณีที่ต่อคะแปซิเตอร์ไว้ทางด้านโหลดของเครื่องป้องกันการใช้เกินกำลังของมอเตอร์

พิกัดของเครื่องปลดวงจรต้องไม่ต่ำกว่า ร้อยละ 135 ของพิกัดกระแสคะแปซิเตอร์ เครื่องปลดวงจรต้องสามารถปลดคะแปซิเตอร์ออกจากวงจรได้ขณะปฏิบัติการตามปกติ

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันการใช้เกินกำลังของมอเตอร์

กรณีที่ติดตั้งคะแปซิเตอร์อยู่ทางด้านโหลดของเครื่องป้องกันการใช้เกินกำลังมอเตอร์ การกำหนดพิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันการใช้เกินกำลัง และการกำหนดขนาดตัวนำตามข้อ 405 แทนที่จะกำหนดโดยเทียบกับพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ ให้ใช้ผลรวมทางเวคเตอร์ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์กับพิกัดกระแสคะแปซิเตอร์แทน ซึ่งจะเป็นค่าที่ต่ำกว่าพิกัดกระแสคะแปซิเตอร์แทน ซึ่งจะเป็นค่าที่ต่ำกว่าพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อลงดิน

เปลือกโลหะของคะแปซิเตอร์ต้องต่อลงดินตามข้อ 206 ยกเว้นคะแปซิเตอร์ที่ติดตั้งบนโครงสร้าง ซึ่งออกแบบให้ใช้งานที่แรงดันไม่เท่าดิน

การทำเครื่องหมาย

คะแปซิเตอร์แต่ละตัว ต้องจัดให้มีแผ่นป้ายประจำเครื่อง ระบุชื่อผู้ผลิต พิกัดแรงดันความถี่ไฟฟ้า กิโลวาร์ หรือแอมแปร์ จำนวนเฟส และถ้าบรรจุของเหลวติดไฟได้ ต้องระบุปริมาณที่บรรจุ และถ้ามีอุปกรณ์ใช้คายประจุอยู่ภายใน ต้องระบุไว้ด้วย

ตอน ข. แรงดันระบุเกิน 600 โวลต์

การสับสวิตช์

(1) กระแสโหลด ต้องใช้สวิตช์ทำงานเป็นกลุ่มสำหรับสับต่อวงจรคะแปซิเตอร์ และต้องสามารถนำกระแสต่อเนื่องได้ไม่ต่ำกว่า ร้อยละ 135 ของพิกัดกระแสคะแปซิเตอร์ที่ติดตั้ง ต้องสามารถตัดกระแสโหลดต่อเนื่องของคะแปซิเตอร์แต่ละตัว หรือคะแปซิเตอร์ที่ติดตั้งและสับสวิตช์เป็นหน่วยเดียวกัน ต้องทนกระแสไหลบ่าสูงสุดได้ รวมทั้งส่วนที่ไหลมาจากคะแปซิเตอร์ข้างเคียง ทั้งต้องสามารถทนกระแสลัดวงจรทางด้านโหลดของสวิตช์ได้ด้วย

(2) การแยก ต้องมีมาตรการที่จะแยก คะแปซิเตอร์แต่ละตัวแต่ละชุด หรือแต่ละกลุ่ม ออกจากระบบไฟฟ้าได้พร้อมกัน เครื่องแยกวงจรต้องมีช่องว่างในตำแหน่งปลดที่มองเห็นได้ และพอเหมาะกับแรงดันที่ใช้งาน

สวิตช์ปลดวงจร (ไม่มีพิกัดตัดกระแส) ต้องอินเตอร์ล็อคกับอุปกรณ์ตัดกระแสโหลด หรือต้องจัดให้มีเครื่องหมายเตือนภัยอย่างเด่นชัดและถาวร เพื่อป้องกันการปลดสับสวิตช์ขณะมีกระแสโหลด

(3) บทกำหนดเพิ่มเติมสำหรับคะแปซิเตอร์ต่ออันดับ สำหรับคะแปซิเตอร์ต่ออันดับต้องให้เป็นที่แน่ใจได้ว่า มีการปลดสับสวิตช์ตามลำดับ โดยวิธีใดวิธีหนึ่ง ดังนี้

(3.1) ปลดสับสวิตช์ตามลำดับทางกลของสวิตช์ปลดวงจร และสวิตช์ต่อลัด

(3.2) การอินเตอร์ล็อค

(3.3) มีเครื่องหมายแสดงลำดับการปลดสับสวิตช์อย่างเด่นชัด ณ ตำแหน่งที่ปลดสับสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การป้องกันกระแสเกิน

(1) จัดให้มีการตรวจจับและตัดกระแสลัดวงจร ต้องจัดให้มีมาตรการตรวจจับและตัดกระแสลัดวงจร ซึ่งทำให้เกิดความดันที่เป็นอันตรายภายในคะแปซิเตอร์แต่ละตัว

(2) อุปกรณ์เฟสเดียวหรือหลายเฟส อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินจะเป็นชนิดเฟสเดียว หรือหลายเฟสก็ได้

(3) ป้องกันเฉพาะตัวหรือทั้งกลุ่ม คะแปซิเตอร์จะป้องกันเฉพาะตัวหรือทั้งกลุ่มก็ได้

(4) พิกัดหรือการปรับแต่งของอุปกรณ์ป้องกัน อุปกรณ์ป้องกันสำหรับคะแปซิเตอร์และบริภัณฑ์คะแปซิเตอร์ ต้องมีพิกัด หรือขนาดปรับแต่ง เพื่อให้ทำงานอยู่ในเขตปลอดภัยของคะแปซิเตอร์แต่ละตัว

การแสดงเอกลักษณ์

คะแปซิเตอร์แต่ละตัวต้องมีแผ่นป้ายประจำเครื่องอย่างถาวรระบุชื่อผู้ผลิต พิกัดแรงดัน ความถี่ไฟฟ้า กิโลวาร์หรือแอมแปร์ จำนวนเฟส และถ้าบรรจุของเหลวติดไฟได้ต้องระบุปริมาณของของเหลวนั้นด้วย

การต่อลงดิน

สายกลางและเปลือกของคะแปซิเตอร์ที่ติดตั้งบนโครงสร้าง ซึ่งออกแบบให้ใช้งานที่แรงดันไม่เท่ากับดิน

มาตรการในการคายประจุ

(1) มาตรการในการลดแรงดันตกค้าง ต้องจัดให้มีวงจรคายประจุเพื่อลดแรงดันตกค้างในคะแปซิเตอร์ให้เหลือไม่เกิน 50 โวลต์ ในเวลา 5 นาที หลังจากที่ปลดคะแปซิเตอร์ออกออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าแล้ว

(2) การต่อขั้วสาย วงจรคายประจุต้องต่ออย่างถาวรกับขั้วของคะแปซิเตอร์ หรือมีเครื่องอัตโนมัติ ที่จะต่อเข้ากับขั้วของชุดคะแปซิเตอร์ เมื่อปลดคะแปซิเตอร์ออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า ขดลวดของมอเตอร์หรือหม้อแปลง หรือบริภัณฑ์อื่นที่ต่อตรงกับคะแปซิเตอร์ โดยไม่มีสวิตช์หรืออุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินต่อขวางอยู่ ต้องเป็นไปตามที่ระบุใน (1) ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราค่าไฟฟ้าใหม่

ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

ลักษณะการใช้

สำหรับแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในบ้าน ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง วัด และโบสถ์ของศาสนาต่างๆ โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

อัตรารายเดือน

ค่าพลังงานไฟฟ้า :	5 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง)แรก หรือน้อยกว่า	5.00	บาท
	10 หน่วยต่อไป หน่วยละ	0.70	บาท
	10 หน่วยต่อไป หน่วยละ	0.90	บาท
	10 หน่วยต่อไป หน่วยละ	1.17	บาท
	65 หน่วยต่อไป หน่วยละ	1.77	บาท
	50 หน่วยต่อไป หน่วยละ	1.87	บาท
	150 หน่วยต่อไป หน่วยละ	1.95	บาท
	100 หน่วยต่อไป หน่วยละ	2.06	บาท
	เกินกว่า 400 หน่วยต่อไป หน่วยละ	2.13	บาท
ค่าไฟฟ้าต่ำสุด :	เดือนละ 5.00 บาท		

ประเภทที่ 2 ธุรกิจขนาดเล็ก

ลักษณะการใช้

สำหรับแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในอาคารพาณิชย์ อาคารสาธารณะ และอาคารที่เป็นโรงงานสำหรับประกอบอุตสาหกรรม ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตรารายเดือน

ค่าพลังงานไฟฟ้า :	40 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก หรือน้อยกว่า	90.52 บาท
	260 หน่วยต่อไป หน่วยละ	1.83 บาท
	700 หน่วยต่อไป หน่วยละ	1.94 บาท
	2000 หน่วยต่อไป หน่วยละ	2.06 บาท
	เกินกว่า 3,000 หน่วยขึ้นไป หน่วยละ	2.23 บาท
ค่าไฟฟ้าต่ำสุด :	เดือนละ 90.52 บาท	

หมายเหตุ ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 2 นี้ หากในรอบเดือนใดมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาที สูงสุดตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป จะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 3 ประเภทที่4 ประเภทที่ 5 แล้วแต่กรณี และจะจัดกลับมาอยู่ในประเภทที่ 2 อีก ต่อเมื่อความต้องการพลังไฟฟ้าดังกล่าวลดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน

ประเภทที่ 3 ธุรกิจขนาดใหญ่

ลักษณะการใช้

สำหรับแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในอาคารพาณิชย์ และอาคารสาธารณะ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ ขึ้นไป โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

อัตรารายเดือน

ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า : 98.00 บาทต่อหนึ่งกิโลวัตต์ของความต้องการพลังไฟฟ้า

ค่าพลังงานไฟฟ้า : หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ละ 1.54 บาท

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดแต่ละเดือน คือค่าความต้องการพลังไฟฟ้าซึ่งคิดจาก 60% ของความต้องการพลังไฟฟ้าที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนสุดท้าย (นับรวมเดือนที่กำลังออกใบเก็บเงิน)

ความต้องการพลังไฟฟ้า : ความต้องการพลังไฟฟ้าแต่ละเดือน คือความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือนเศษของกิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์แลก (lag) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด (maximum 15 minute kilovar demand) เกินกว่าร้อยละ 63 ของความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์ (maximum 15 minute kilowatt demand) แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตราเควาร์ละ 15.00 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินในรอบเดือนนั้น เศษของเควาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 เควาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 เควาร์ ขึ้นไปคิดเป็น 1 เควาร์

หมายเหตุ 1. สำหรับการใช้ไฟฟ้าจากสายแรงดังต่ำกว่า 12 กิโลโวลท์ใช้อัตราดังกล่าวข้างต้น

2. สำหรับการใช้ไฟฟ้าจากสายแรงดัน 12 หรือ 24 กิโลโวลท์ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าลดลง 3.00 บาท ต่อกิโลวัตต์

3. สำหรับการใช้ไฟฟ้าจากสายแรงดัน 69 หรือ 115 กิโลโวลท์ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าลดลง 5.00 บาทต่อกิโลวัตต์

4. ในกรณีที่หม้อแปลงเบนสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า และการไฟฟ้านครหลวงจำเป็นจะต้องติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านโหลดของหม้อแปลงแล้ว จำนวนหน่วยและกิโลวัตต์ที่อ่านได้จากเครื่องวัดฯ จะต้องเพิ่มขึ้นอีก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสูญเสียภายในหม้อแปลง ซึ่งจะต้องทำการทดสอบหรือประมาณเป็นรายๆ ไป

ประเภทที่ 4 อุตสาหกรรมขนาดเล็ก

ลักษณะการใช้

สำหรับแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในอาคารที่เป็นโรงงานสำหรับประกอบอุตสาหกรรม ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 30-499 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

อัตรารายเดือน

ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า : 98.00 บาทต่อหนึ่งกิโลวัตต์ของความต้องการพลังไฟฟ้า

ค่าพลังงานไฟฟ้า : 50 หน่วยแรกต่อความต้องการพลังไฟฟ้าหนึ่งกิโลวัตต์ คิดหน่วยละ 1.48บา
150 หน่วยต่อไปต่อความต้องการพลังไฟฟ้าหนึ่งกิโลวัตต์ คิดหน่วยละ 1.47บา
200 หน่วยต่อไปต่อความต้องการพลังไฟฟ้าหนึ่งกิโลวัตต์ คิดหน่วยละ 1.46บา
เกินกว่า 400 หน่วยขึ้นไปต่อความต้องการพลังไฟฟ้าหนึ่งกิโลวัตต์ คิดหน่วยละ 1.45บา

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดแต่ละเดือน คือค่าความต้องการพลังไฟฟ้าซึ่งคิดจาก 60%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รวมทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาอย่างใดๆ โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ของความต้องการพลังไฟฟ้าที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนสุดท้าย (นับรวมเดือนที่กำลังออกใบเก็บเงิน)

ความต้องการพลังไฟฟ้า : ความต้องการพลังไฟฟ้าแต่ละเดือน คือความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวัตต์

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์แลก (lag) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด (maximum 15 minute kilovar demand) เกินกว่าร้อยละ 63 ของความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์ (maximum 15 minute kilovar demand) แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตราเควาร์ (kvar) ละ 15.00 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินในรอบเดือนนั้น เศษของเควาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 เควาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 เควาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 เควาร์

หมายเหตุ

1. สำหรับการใช้ไฟฟ้าจากสายแรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลท์ใช้อัตราดังกล่าวข้างต้น
2. สำหรับการใช้ไฟฟ้าจากสายแรงดัน 12 หรือ 24 กิโลโวลท์คิดความต้องการพลังไฟฟ้าลดลง 3.00 บาทต่อกิโลวัตต์
3. สำหรับการใช้ไฟฟ้าจากสายแรงดัน 69 หรือ 115 กิโลโวลท์ คิดความต้องการพลังไฟฟ้าลดลง 5.00 บาทต่อกิโลวัตต์
4. ในกรณีที่หม้อแปลงเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า และการไฟฟ้านครหลวงจำเป็นจะต้องติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านโหลดของหม้อแปลงแล้ว จำนวนหน่วยและกิโลวัตต์ที่อ่านได้จากเครื่องวัดฯ จะต้องเพิ่มขึ้นอีก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสูญเสียภายในหม้อแปลง ซึ่งจะต้องทำการทดสอบหรือประมาณเป็นราย ๆ ไป

ประเภทที่ 5 อุตสาหกรรมขนาดใหญ่

ลักษณะการใช้

สำหรับแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในอาคารที่เป็นโรงงานสำหรับประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรม ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 500 กิโลวัตต์ขึ้นไป โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

อัตรารายเดือน

ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า : 90.00 บาทต่อหนึ่งกิโลวัตต์ของความต้องการพลังไฟฟ้า

ค่าพลังงานไฟฟ้า : 200 หน่วยแรกต่อความต้องการพลังไฟฟ้าหนึ่งกิโลวัตต์ คิดหน่วยละ 1.46บา
280 หน่วยต่อไปต่อความต้องการพลังไฟฟ้าหนึ่งกิโลวัตต์คิดหน่วยละ 1.45บา
เกินกว่า 480 หน่วยขึ้นไปต่อความต้องการพลังไฟฟ้าหนึ่งกิโลวัตต์คิดหน่วยละ 1.43บา

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดแต่ละเดือน คือค่าความต้องการพลังไฟฟ้าซึ่งคิดจาก 60% ของความต้องการพลังไฟฟ้าที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนสุดท้าย (นับรวมเดือนที่กำลังออกใบเก็บเงิน)

ความต้องการพลังไฟฟ้า : ความต้องการพลังไฟฟ้าแต่ละเดือน คือความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวัตต์

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์แลก (lag) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์ (maximum 15 minute kilovar demand) แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตราเควาร์ละ 15.00 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินในรอบเดือนนั้นเศษของเควาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 เควาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 เควาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 เควาร์

หมายเหตุ 1. สำหรับการใช้ไฟฟ้าจากสายแรงดัน 69 หรือ 115 กิโลโวลท์ใช้อัตราดังกล่าวข้างต้น

2. สำหรับการใช้ไฟฟ้าจากสายแรงดัน 12 หรือ 24 กิโลโวลท์ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 5.00 บาทต่อกิโลวัตต์

3. สำหรับการใช้ไฟฟ้าจากสายแรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลท์ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 7.00 บาทต่อกิโลวัตต์

4. ในกรณีที่หม้อแปลงเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า และการไฟฟ้านครหลวงจำเป็นที่จะต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านโหลดของหม้อแปลงแล้ว จำนวนหน่วยและกิโลวัตต์ที่อ่านได้จากเครื่องวัดฯ จะต้องเพิ่มขึ้นอีก ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความสูญเสียภายในหม้อแปลง ซึ่งจะต้องทำการทดสอบหรือประมาณเป็นราย ๆ ไป

ประเภทที่ 6 อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ในระยะเวลา OFF-PEAK

ลักษณะการใช้

สำหรับแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในอาคารที่เป็นโรงงานสำหรับประกอบอุตสาหกรรม ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป และสามารถหยุด หรือลดการใช้ไฟฟ้าได้ในระยะเวลา ON-PEAK ซึ่งในเวลานี้ตกอยู่ในระหว่างเวลา 18.30-20.30 นาฬิกาของทุกๆ วัน ทั้งนี้ต้องต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

อัตรารายเดือน

ระยะเวลา OFF-PEAK

ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า : 65.00 บาทต่อหนึ่งกิโลวัตต์ ของความต้องการพลังไฟฟ้าในระยะเวลา OFF-PEAK

ค่าพลังงานไฟฟ้า : หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ละ 1.42 บาท

ระยะเวลา ON-PEAK

ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า : 115.00 บาทต่อหนึ่งกิโลวัตต์ ของความต้องการพลังไฟฟ้าในระยะเวลา ON-PEAK

ค่าพลังงานไฟฟ้า : หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ละ 1.42 บาท

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดแต่ละเดือน คือค่าความต้องการพลังไฟฟ้าในระยะเวลา OFF-PEAK ซึ่งคิดจาก 100% ของความต้องการพลังไฟฟ้าในระยะเวลา OFF-PEAK ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนสุดท้าย (นับรวมเดือนที่กำลังออกในเก็บเงิน)

ความต้องการพลังไฟฟ้าในระยะเวลา ON-PEAK: ความต้องการพลังไฟฟ้าในระยะเวลา ON-PEAK แต่ละเดือน คือความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดระหว่างเวลา ON-PEAK ในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้องการพลังไฟฟ้าในระยะเวลา ON-PEAK: ความต้องการพลังไฟฟ้าในระยะเวลา ON-PEAK แต่ละเดือน คือความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดระหว่างเวลา ON-PEAK ในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวัตต์

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์แลก (lag) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด(maximum 15 minute kilovar demand) เกินกว่าร้อยละ 63 ของความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์ (maximum 15 minute kilovar demand) แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตราเควาร์ (kvar) ละ 15.00 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินในรอบเดือนนั้น เศษของเควาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 เควาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 เควาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 เควาร์

หมายเหตุ 1. สำหรับการใช้ไฟฟ้าจากสายแรงดัน 12 หรือ 24 กิโลโวลท์ ใช้อัตราดังกล่าวข้างต้น

2. สำหรับการใช้ไฟฟ้าจากสายแรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลท์ ค่าพลังงานไฟฟ้าในระยะเวลา ON-PEAK และOFF-PEAK เพิ่มขึ้น 1 สตางค์ต่อหน่วย

3. สำหรับการใช้ไฟฟ้าจากสายแรงดัน 69 หรือ 115 กิโลโวลท์ ค่าพลังงานไฟฟ้าในระยะเวลา OFF-PEAK และ ON-PEAK ลดลง 1 สตางค์ต่อหน่วย

4. ในกรณีที่หม้อแปลงเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า และการไฟฟ้านครหลวงจำเป็นจะต้องติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านโหลดของหม้อแปลงแล้ว จำนวนหน่วยละกิโลวัตต์ที่อ่านได้จากเครื่องวัดฯ จะต้องเพิ่มขึ้นอีก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสูญเสียภายในหม้อแปลง ซึ่งจะต้องทำการทดสอบหรือประมาณเป็นราย ๆ ไป

5. ผู้ประสงค์จะใช้บริการประเภทที่ 6 ต้องมาติดต่อเพื่อทำสัญญากับการไฟฟ้านครหลวงก่อน

ประเภทที่ 7 ไฟฟ้าสำรอง

ลักษณะการใช้

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทธุรกิจและประเภทอุตสาหกรรม ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ต้องการใช้พลังไฟฟ้าตั้งแต่ 300 เควีเอ ขึ้นไป
2. โดยปกติรับพลังไฟฟ้าจากแหล่งอื่น หรือใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของตนเองในการจ่ายพลังไฟฟ้าให้ภาระของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดหรือบางส่วน
3. ต้องการพลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวงโดยผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว เพื่อใช้สำรองเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของตนเอง หรือพลังไฟฟ้าจากแหล่งอื่นขัดข้องหยุดชั่วคราว หรือในภาวะฉุกเฉิน

<u>อัตรารายเดือน</u>

1. ในกรณีที่ยังไม่ได้มีการใช้ไฟฟ้าสำรองในรอบเดือน คิดเฉพาะค่าความต้องการพลังไฟฟ้า ดังนี้ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า : 30.00 บาทต่อหนึ่งกิโลวัตต์ของความต้องการพลังไฟฟ้าสำรอง
2. ในกรณีที่ได้มีการใช้ไฟฟ้าสำรองในรอบเดือน คิดตามประเภทของอัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้อยู่ตามปกติ หรือตามอัตราของไฟฟ้าสำรอง แล้วแต่จำนวนไหนจะมากกว่ากัน

ความต้องการพลังไฟฟ้าสำรอง : ความต้องการพลังไฟฟ้าสำรองแต่ละเดือน คือความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการให้การไฟฟ้านครหลวงสำรองไว้ให้ใช้ โดยระบุไว้ในสัญญาบริการไฟฟ้าสำรอง หรือความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือนใดเดือนหนึ่งซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าได้ใช้ไปจริง ถ้าเป็นจำนวนที่สูงกว่า และจะใช้จำนวนที่สูงกว่านี้เป็นความต้องการพลังไฟฟ้าสำรองสำหรับเดือนต่อไป จนกว่าจะมีจำนวนที่สูงกว่าอีกจึงจะเปลี่ยนไปใช้จำนวนใหม่จนกว่าจะหมดอายุของสัญญา

<u>หมายเหตุ</u> ผู้ประสงค์จะใช้บริการไฟฟ้าสำรอง ต้องมาติดต่อเพื่อทำสัญญากับการไฟฟ้านครหลวงก่อน

<u>ข้อกำหนดเกี่ยวกับเชื้อเพลิง</u>

หากราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป การไฟฟ้านครหลวงจะเรียกเก็บค่าไฟฟ้าจากผู้ใช้ไฟฟ้าทุกประเภทเพิ่มขึ้นหรือลดลงหน่วยละเท่าๆ กัน โดยจะประกาศให้ทราบเป็นคราว ๆ ไป

อัตราใหม่นี้จะเริ่มใช้ตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม 2524 เป็นต้นไป

การไฟฟ้านครหลวง

10 กรกฎาคม 2524

<u>หมายเหตุ</u> เปลี่ยนแปลงอัตราค่าไฟฟ้าเฉพาะประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

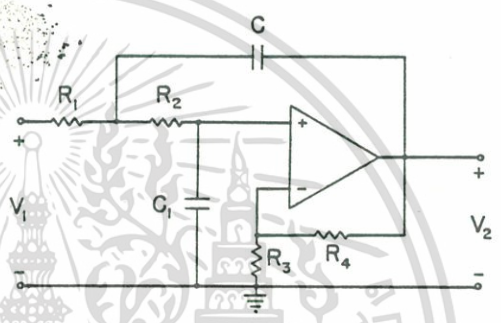
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

with their graphs are presented first, followed by the fourth-order filters and their graphs.

SUMMARY OF LOW-PASS SECOND-ORDER FILTER DESIGN PROCEDURE



General circuit.

Procedure

Given f_c (Hz), gain, and filter type (Butterworth or Chebyshev), perform the following steps:

1. **Select a value of capacitance C, determining a K parameter from Fig. 2.10*a* if f_c is between 1 and $10^2 = 100$, from Fig. 2.10*b* if f_c is between 100 and $10^4 = 10{,}000$, and from Fig. 2.10*c* if f_c is between 10,000 and $10^6 = 1{,}000{,}000$ Hz.**
2. **Using this value of K, find the remaining element values of the circuit from the appropriate one of Figs. 2.11 through 2.15 for the Butterworth filter, and Figs. 2.16 through 2.27 for the Chebyshev filter, depending on the gain and, in the Chebyshev case, the dB ripple desired.**
3. **Select standard element values which are as close as possible to those indicated on the graph and construct the circuit.**

Comments and Suggestions

The curves are designed for 35 standard values of capacitance. Any intermediate values of capacitance may be used by observing that dividing the capacitance values by a constant k multiplies the cutoff frequency f_c by k. The resistances remain unchanged. This procedure of changing the capacitances may be accomplished by interpolation on the frequency versus K parameter graphs.

If the op-amp to be used has a low-input resistance (less than

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

250 kΩ), values of K from 1 to 10 give best results. For higher input resistances (like 1 MΩ), K values up to 25 are acceptable, and for very high input resistances, such as those associated with FET op-amps, values of K up to 100 may be used in most cases.

The values on the graphs for R_3 and R_4 were determined to minimize the dc offset of the op-amp. Other values of R_3 and R_4 may be used as long as the ratio R_4/R_3 is the same as that of the graph values. Standard element values of 5% tolerance normally yield acceptable results, but for best performance higher precision elements with values close to the graph values should be used. This is especially true for the higher gains where the element values are much more critical.

Finally there must be a dc return to ground at the filter input, the open-loop gain of the op-amp should be at least 50 times the gain of the filter at f_c, and the desired peak-to-peak voltage at f_c should not exceed $10^6/\pi f_c$ times the slew rate of the op-amp.

A specific example of a second-order design is given in Sec. 2.3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

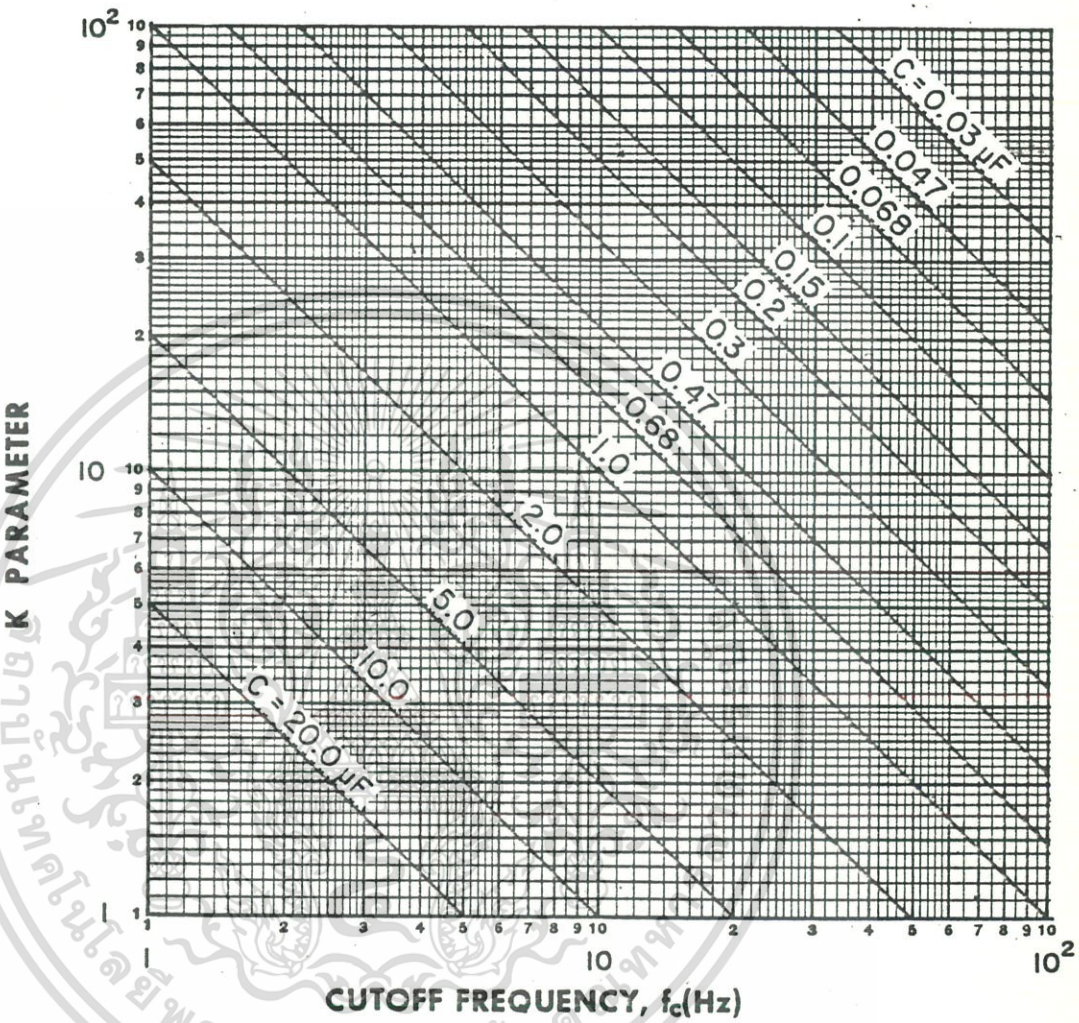
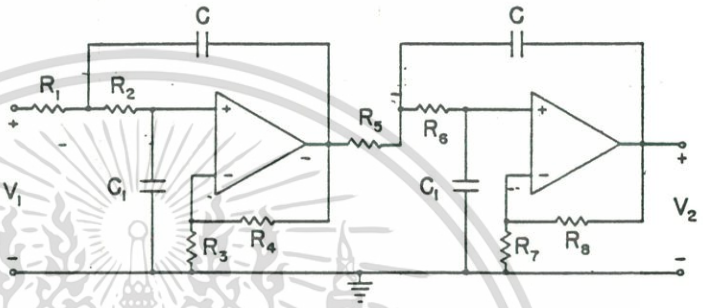


Fig. 2.10. (*a*) *K* parameter versus frequency.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUMMARY OF LOW-PASS FOURTH-ORDER FILTER DESIGN PROCEDURE



General circuit.

Procedure

Given f_c (Hz), gain, and filter type (Butterworth or Chebyshev), perform the following steps:

1. Select a value of capacitance C, determining a K parameter from Fig. 2.10*a*, *b*, or *c*, as described in the second-order low-pass case.
2. Using this value of K find the remaining element values of the circuit from the appropriate one of Figs. 2.28 through 2.30 for the Butterworth filter, and Figs. 2.31 through 2.42 for the Chebyshev filter, depending on the gain and, in the Chebyshev case, the dB ripple desired.
3. Select standard element values which are as close as possible to those indicated on the graph and construct the circuit.

Comments and Suggestions

The suggestions given in the second-order low-pass case apply except that the open-loop gain of the op-amps should be at least 50 times the square root of the filter gain. The remarks in the second-order case for R_3 and R_4 apply also to R_7 and R_8.

A specific example is given in Sec. 2.6.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

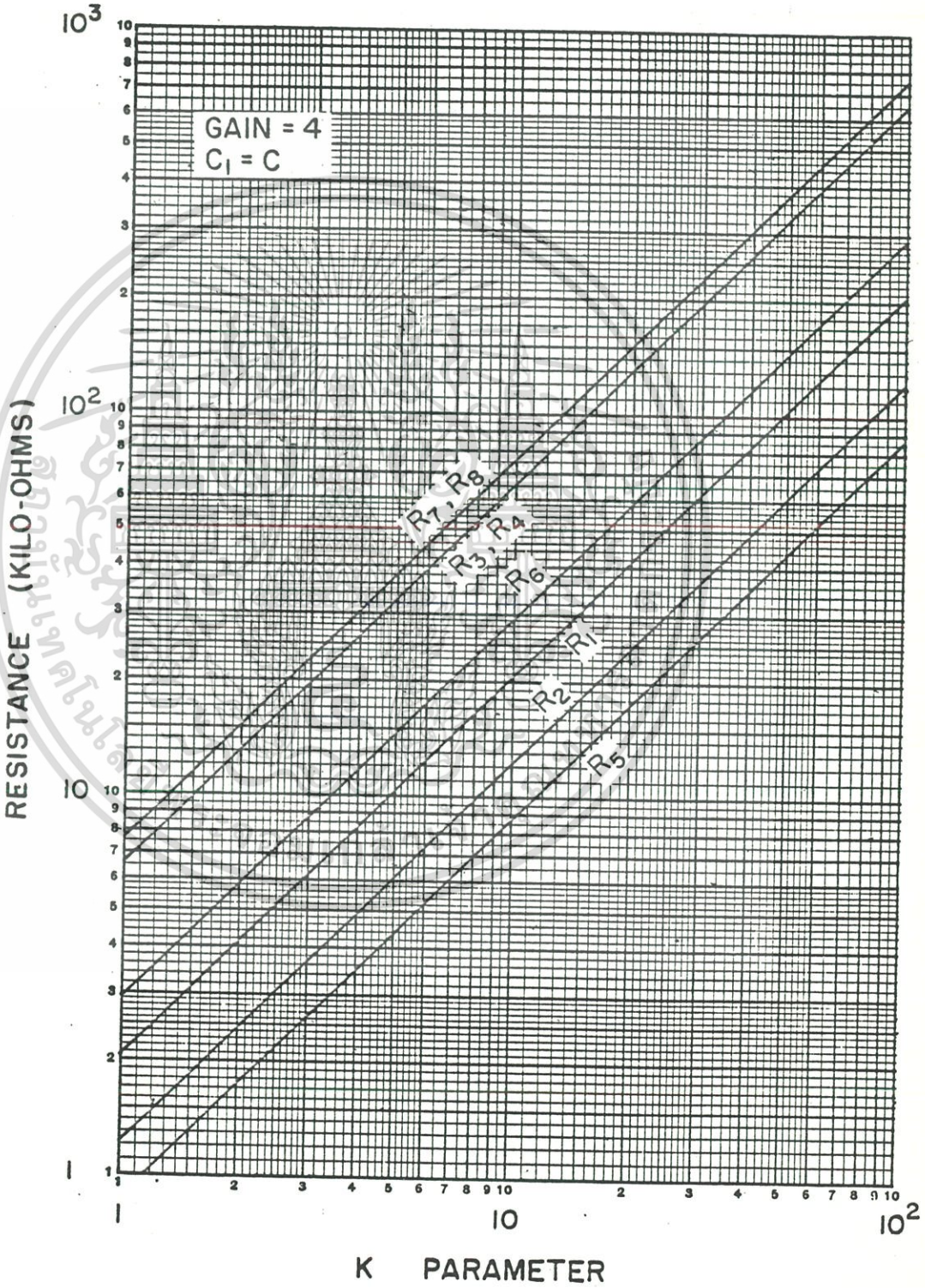


Fig. 2.28. Fourth-order low-pass Butterworth filter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter VI_Power factor correction

1
Purpose.

We shall see that some of the effects of a poor power factor are the following :

- a penalty charge in the electricity bill
- extra losses in the feeder cables
- a significant voltage drop in the cables
- a reduction of the effective capacity of the cables
- a reduction in the power available at the transformer
- a significant voltage drop at the secondary of the transformer
- significant losses in the transformer

We have seen that electrical motors, transformers, welding equipments, induction furnaces, discharge lamps (fluorescent,mercury vapour, etc.) consume inductive reactive power.
This reactive power must be generated somewhere. This is the reason for installing capacitors. Capacitors consume practically no active power and can produce reactive energy locally, thus compensating at site, individually or in groups, the inductive reactive power consumed by the machines mentioned above.For a constant active power, the reactive power transmitted to this group of loads (the inductive load and the capacitor) can thus be reduced; the power factor on the network has been improved or "corrected".

2
Principles.

Let us consider an inductive load drawing a current $\overline{I_1}$, which lags the voltage by an angle φ_1. This current $\overline{I_1}$ is used to calculate the apparent power. We have also seen that this current can be split into one component in phase with the voltage, $\overline{I_W}$, and one component 90° out of phase with the voltage, $\overline{I_R}$.

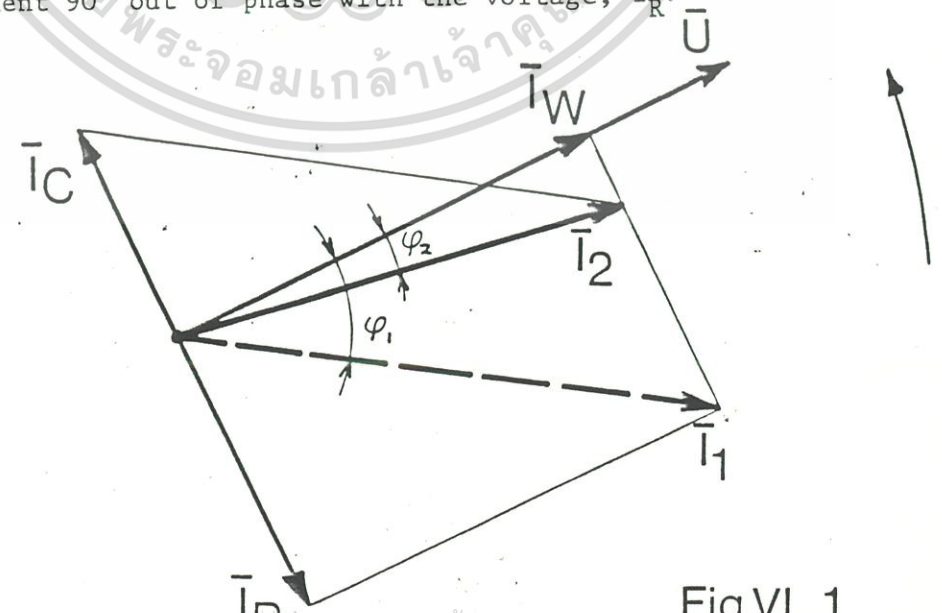


Fig VI_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

We can write this as a vector addition :

$$\overline{I_1} = \overline{I_W} + \overline{I_R}$$

If a capacitor is connected in parallel it will draw a current $\overline{I_C}$. $\overline{I_R}$ and $\overline{I_C}$ are in opposite phase with each other and the resulting current will be $\overline{I_R} - \overline{I_C}$, i.e. the reactive current has been significantly reduced. The main (network) current has also been reduced, as well as the phase angle φ .
The consumption of reactive power has thus been greatly reduced (and if $\overline{Ic} = \overline{I_R}$ the reactive power will be zero)

3.
Determination of the capacitor rating.

This determination can be made with fairly simple calculations and it is also possible to use tables or nomograms.

We have : $P_R = P_W (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$

with : P_R is the rating of the capacitor in kvar

P_W is the load in kW

$\cos \varphi_1$ corresponds to the initial power factor

$\cos \varphi_2$ corresponds to the required power factor

The following double-entry table can be used to calculate the capacitance needed, when the initial power factor and the required power factor are known.
In this table the initial value $\cos \varphi_1$ is listed in the vertical column at the left and the required value, $\cos \varphi_2$, in the top row.
This table gives also the $(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$ value also called K factor.
By multiplying the load in kW by the factor K we obtain the necessary rating of the capacitor in kvar.

cos φ 1	Required power factor cos φ 2												
	0.70	0.75	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.98	1.00
0.20	3.88	4.02	4.15	4.19	4.28	4.33	4.41	4.46	4.51	4.57	4.59	4.69	4.90
0.25	2.85	2.99	3.17	3.12	3.25	3.32	3.38	3.45	3.50	3.54	3.58	3.66	3.87
0.30	2.16	2.30	2.43	2.48	2.56	2.62	2.69	2.75	2.81	2.85	2.88	2.97	3.18
0.35	1.66	1.79	1.93	1.98	2.06	2.12	2.19	2.25	2.31	2.35	2.38	2.47	2.68
0.40	1.27	1.41	1.54	1.59	1.67	1.72	1.80	1.86	1.93	1.96	2.00	2.08	2.29
0.42	1.14	1.28	1.41	1.46	1.54	1.59	1.68	1.74	1.80	1.83	1.87	1.95	2.16
0.44	1.02	1.16	1.29	1.34	1.42	1.47	1.56	1.62	1.67	1.71	1.75	1.83	2.04
0.46	0.91	1.05	1.18	1.23	1.31	1.36	1.45	1.50	1.56	1.60	1.64	1.72	1.93
0.48	0.80	0.95	1.08	1.13	1.20	1.26	1.33	1.40	1.47	1.49	1.54	1.61	1.82
0.50	0.71	0.85	0.98	1.03	1.11	1.18	1.25	1.31	1.37	1.40	1.44	1.52	1.73
0.52	0.62	0.76	0.89	0.94	1.02	1.08	1.16	1.22	1.28	1.31	1.35	1.43	1.64
0.54	0.54	0.68	0.81	0.86	0.94	0.99	1.07	1.13	1.19	1.23	1.20	1,35	1.56
0.56	0.46	0.60	0.73	0.78	0.86	0.91	1.00	1.05	1.12	1.15	1.18	1.27	1.48
0.58	0.38	0.52	0.65	0.70	0.78	0.85	0.92	0.98	1.04	1.07	1.11	1.19	1.40
0.60	0.31	0.45	0.58	0.64	0.71	0.78	0.85	0.91	0.98	1.01	1.05	1.13	1.34
0.62	0.24	0.38	0.52	0.57	0.65	0.70	0.78	0.84	0.90	0.93	0.97	1.06	1 26
0.64	0.18	0.32	0.45	0.50	0.58	0.63	0.72	0.77	0.83	0.87	0.90	0.99	1.20
0.66	0.12	0.26	0.39	0.44	0.52	0.57	0.65	0.71	0.77	0.81	0.85	0.93	1.14
0.68	0.06	0.20	0.33	0.38	0.46	0.51	0.59	0.65	0.71	0.75	0.77	0.87	1.08
0.70		0.14	0.27	0.32	0.40	0.45	0.53	0.59	0.66	0.69	0.73	0.81	1.02
0.72		0.08	0.21	0.27	0.34	0.40	0.48	0.54	0.60	0.63	0.67	0.76	0.96
0.74		0.03	0.16	0.21	0.29	0.35	0.42	0.48	0.55	0.58	0.62	0.70	0.90
0.76			0.10	0.16	0.24	0.29	0.37	0.43	0.49	0.52	0.56	0.65	0.85
0.78			0.05	0.10	0.18	0.24	0.31	0.38	0.44	0.47	0.51	0.59	0.80
0.80				0.05	0.13	0.18	0.26	0.32	0.39	0.42	0.46	0.54	0.75
0.82					0.08	0.13	0.21	0.27	0.33	0.37	0.40	0.49	0.69
0.84					0.03	0.09	0.16	0.22	0.28	0.32	0.35	0.44	0.64
0.86						0.03	0.11	0.17	0.23	0.26	0.30	0.39	0.59
0.88							0.06	0.11	0.18	0.21	0.25	0.33	0.54
0.90								0.06	0.12	0.15	0.19	0.27	0.48
0.92									0.06	0.09	0.13	0.22	0.42
0.94										0.03	0.07	0.16	0.36
0.96												0.09	0.28
0.98													0.21

Table VI_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The following nomogram can also be used to calculate the capacitance needed to obtain a certain power factor improvement.
A straight line is drawn from the initial value, $\cos\varphi_1$, to the aimed value, $\cos\varphi_2$. On the middle scale the factor K is obtained.

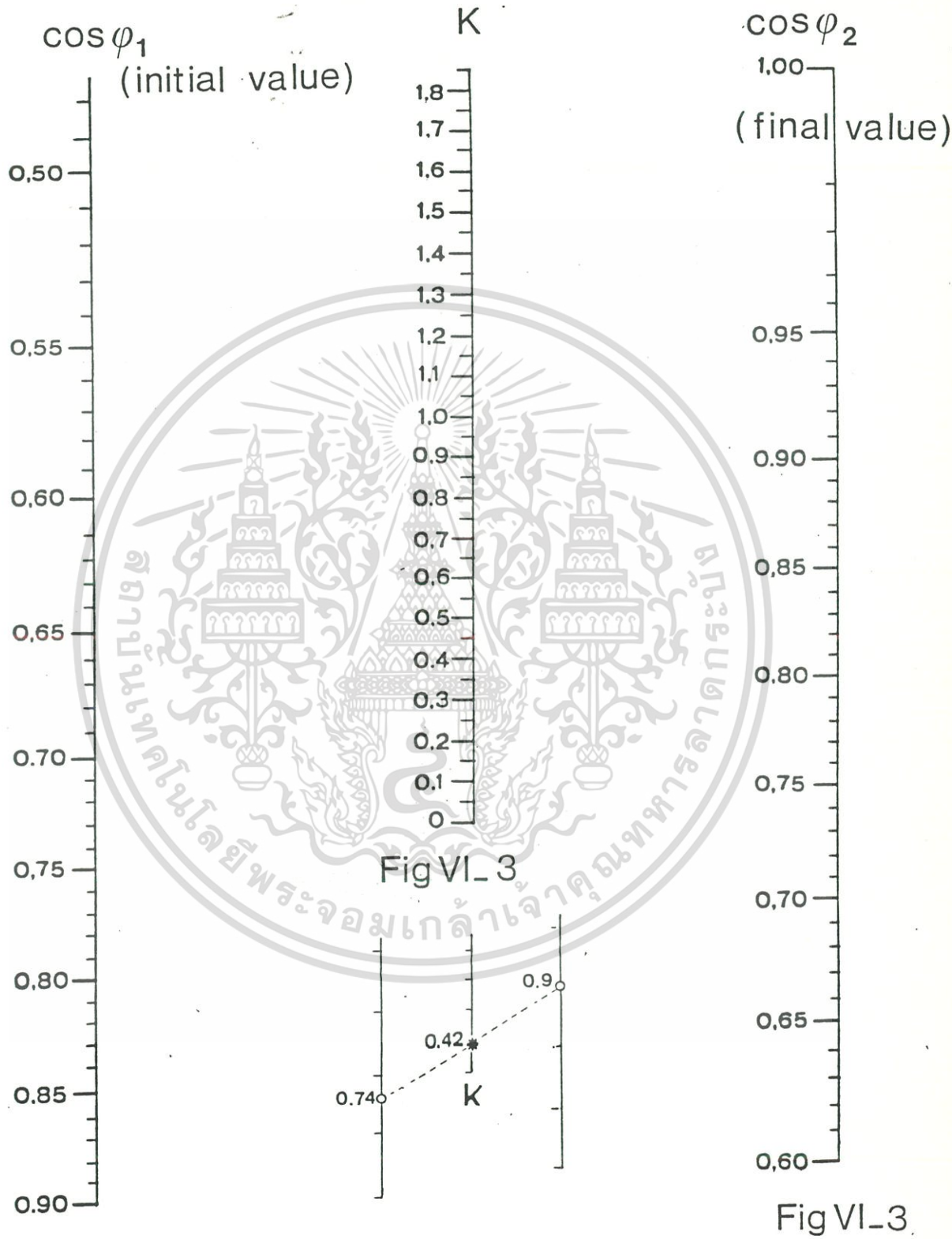


Fig VI_3

Example : In an installation the load is 200 kW with a power factor of 0.74. An improvement of the power factor to 0.9 is desired. In the table we find K = 0.42. The rating of the capacitor necessary to obtain this improvement is therefore 200 x 0.42 = 84 kvar.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางสัมประสิทธิ์เพื่อกำหนดขนาดของตัวเก็บประจุสำหรับใช้แก้เพาเวอร์แฟกเตอร์

(กรณีที่โหลดมีหน่วยเป็น kVA)

เพาเวอร์แฟกเตอร์ในตอนแรก (%)	เพาเวอร์แฟกเตอร์หลังการแก้ไขแล้ว (%)			
	100	95	90	85
30	0.95	0.86	0.81	0.77
32	0.95	0.84	0.97	0.75
34	0.94	0.83	0.78	0.73
36	0.93	0.82	0.76	0.71
38	0.92	0.80	0.74	0.69
40	0.92	0.79	0.72	0.67
42	0.91	0.77	0.71	0.65
44	0.90	0.75	0.69	0.63
46	0.89	0.74	0.67	0.60
48	0.88	0.72	0.65	0.58
50	0.87	0.70	0.62	0.56
52	0.85	0.68	0.60	0.53
54	0.84	0.66	0.58	0.51
56	0.83	0.64	0.56	0.48
58	0.82	0.62	0.53	0.46
60	0.80	0.60	0.51	0.43
62	0.79	0.58	0.49	0.40
64	0.77	0.56	0.46	0.37
66	0.75	0.54	0.43	0.34
68	0.73	0.51	0.40	0.31
70	0.71	0.49	0.38	0.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพาเวอร์แฟกเตอร์ในตอนแรก (%)	เพาเวอร์แฟกเตอร์หลังการแก้ไขแล้ว (%)			
	100	95	90	85
72	0.69	0.46	0.33	0.25
74	0.68	0.43	0.32	0.22
76	0.65	0.40	0.28	0.18
78	0.63	0.37	0.25	0.14
80	0.60	0.34	0.21	0.10
82	0.57	0.30	0.18	0.07
84	0.54	0.27	0.14	0.03
86	0.51	0.23	0.10	-
88	0.48	0.19	0.05	-
90	0.44	0.14	-	-
92	0.39	0.09	-	-
94	0.34	0.03	-	-
96	0.28	-	-	-
98	0.20	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางค่าประสิทธิ์เพื่อกำหนดขนาดของตัวเก็บประจุสำหรับใช้แก้เพาเวอร์แฟกเตอร์

(กรณีที่โหลดมีหน่วยเป็น kW)

เพาเวอร์แฟกเตอร์ในตอนแรก (%)	เพาเวอร์แฟกเตอร์หลังการแก้ไขแล้ว (%)			
	100	95	90	85
30	3.18	2.85	2.69	2.56
32	2.96	2.63	2.48	2.34
34	2.77	2.44	2.28	2.15
36	2.59	2.25	2.11	1.97
38	2.43	2.14	1.95	1.81
40	2.29	1.96	1.81	1.67
42	2.16	1.83	1.68	1.54
44	2.04	1.71	1.56	1.42
46	1.93	1.60	1.44	1.31
48	1.83	1.50	1.34	1.21
50	1.73	1.40	1.25	1.11
52	1.64	1.31	1.16	1.02
54	1.56	1.23	1.07	1.94
56	1.48	0.15	0.99	0.86
58	1.40	1.08	0.92	0.78
60	1.33	1.00	0.85	0.71
62	1.27	0.94	0.78	0.65
64	1.20	0.87	0.72	0.52
66	1.14	0.81	0.65	0.52
68	1.08	0.75	0.59	0.46
70	1.02	0.69	0.54	0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพาเวอร์แฟกเตอร์ในตอนแรก (%)	เพาเวอร์แฟกเตอร์หลังการแก้ไขแล้ว (%)			
	100	95	90	85
72	0.96	0.64	0.48	0.34
74	0.91	0.58	0.42	0.29
76	0.86	0.53	0.37	0.24
78	0.80	0.47	0.32	0.18
80	0.75	0.42	0.27	0.13
82	0.70	0.37	0.21	0.08
84	0.65	0.32	0.16	0.03
86	0.59	0.27	0.11	-
88	0.54	0.21	0.06	
90	0.48	0.16	-	
92	0.43	0.10	-	-
94	0.36	0.03	-	-
96	0.29	-	-	-
98	0.20	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศัพท์ภาษาอังกฤษที่แปลและใช้เป็นภาษาไทยในวิทยานิพนธ์ มีดังต่อไปนี้

ampere	แอมแปร์
capacitance	คาร์ปาร์ซิแแตนซ์
capacitive load	คาร์ปาร์ซิทีฟโหลด
capacitor	คาร์ปาร์ซิเตอร์
clock	สัญญาณนาฬิกา
collector	คอลเลคเตอร์
current	กระแส
current transformer	หม้อแปลงกระแส
dielectric	ไดอีเลคตริก
electric field	สนามไฟฟ้า
eletromotive force	แรงเคลื่อนไฟฟ้า
exclusive or gate	เอกซ์คูซีบออร์เกท
farad	ฟารัด
flux	ฟลักซ์
gain	อัตราการขยาย
henry	เฮนรี่
inductance	อินดัคแตนซ์
inductive load	อินดัคทีฟโหลด
inductor	อินดัคเตอร์
input resistance	ความต้านทานขาเข้า
input voltage	สัญญาณขาเข้า
inverting amplifier	วงจรขยายแบบกลับเฟส
impedance	อิมพีแดนซ์
magnetic field	สนามแม่เหล็ก
noninverting amplifier	วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

output resistance	ความต้านทานขาออก
output voltage	สัญญาณขาออก
parallel resonance	วงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน
passive	พาสซีฟ
phase shifter	วงจรขยับเฟส
positive edge	ขอบสัญญาณขาขึ้น
saturate	แซททูเลท
simulate	ซิมูเลท
sine wave	สัญญาณคลื่นรูปซายน์
square wave	สัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม
transistor	ทรานซิสเตอร์
truth table	ตารางความจริง
vector	เวคเตอร์
voltage	ศักดา
voltage divider	วงจรแบ่งสัญญาณของศักดา
voltage transformer	หม้อแปลงศักดา
weber	เวเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับแต่งวงจร

VR_1, VR_2, VR_3 ใช้ปรับขนาดของสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบเฟส เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมตามความต้องการ

VR_4 ใช้ปรับค่าผิดพลาดของ วงจรหาค่าเฉลี่ย ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากลักษณะสมบัติของ ออฟแอมป์ ให้ถูกต้อง

VR_5 ใช้ปรับขนาดของ ศักดากระแสตรง ให้ได้ค่าที่เหมาะสม

VR_6 ใช้ปรับขนาดของ แรงดันอ้างอิง(Vref H) ให้ได้ค่าที่เหมาะสมตามความต้องการ

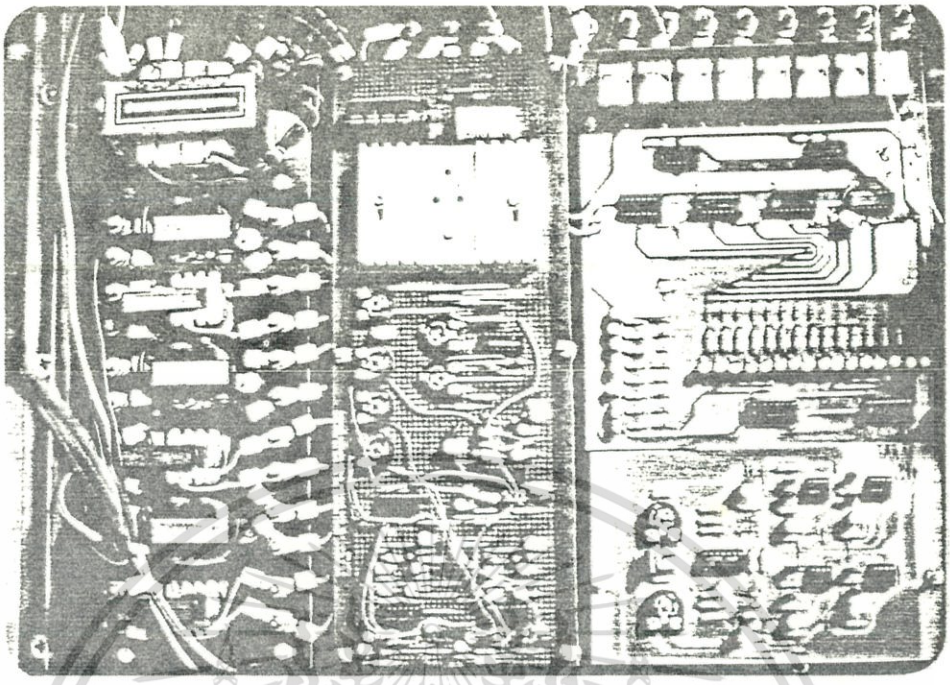
VR_7 ใช้ปรับขนาดของ แรงดันอ้างอิง(Vref L) ให้ได้ค่าที่เหมาะสมตามความต้องการ

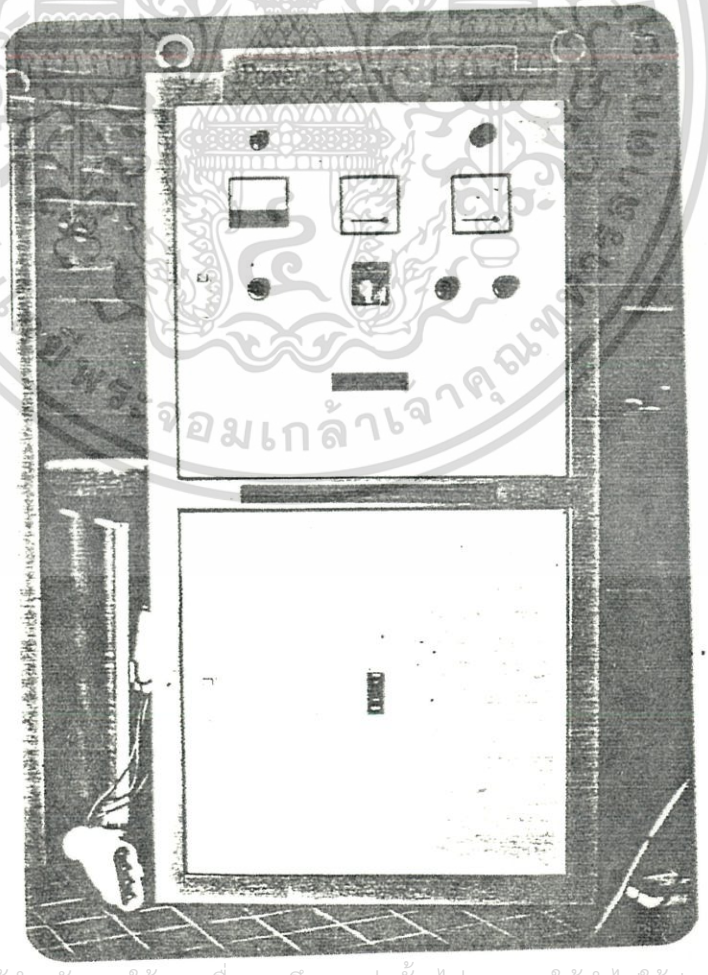
๑ เลือกไฟเพียงเฟสใดเฟสหนึ่งเพื่อป้อนเป็นสัญญาณขาเข้าของ หม้อแปลงศักดา และ หม้อแปลงกระแส ทั้ง 6 ตัว ทำการปรับ VR_1, VR_2, VR_3 จนกระทั่ง สัญญาณขาออกที่ จุดA จุดB และ จุดC มีค่าเท่ากัน ต่อจากนั้นทำการปรับ VR_4 จนกระทั่ง สัญญาณขาออกของ IC_{16} มีค่าเท่ากับผลลัพธ์ซึ่งเกิดขึ้นจาก ผลต่างระหว่างขนาดของ แหล่งจ่ายไฟตรง และขนาดของสัญญาณที่ จุด A หรือ จุด B หรือ จุด C

๒ ป้อนไฟ ๓ เฟส เป็นสัญญาณขาเข้าของ หม้อแปลงศักดา และ หม้อแปลงกระแส โดยแยกออกเป็นเฟสละชุด

- วัดสัญญาณขาออกของ IC_{17} เมื่อเพาเวอร์แฟคเตอร์มีค่า ๐.๙๐ ว่ามีขนาดเท่าใด แล้วทำการปรับ VR_5 เพื่อให้ขนาดของ สัญญาณขาออก ของ IC_{17} มีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่ายไฟตรง
- วัดสัญญาณขาออกของ IC_{17} เมื่อเพาเวอร์แฟคเตอร์มีค่า ๐.๘๕ ว่ามีขนาดเท่าใด จากนั้น ทำการปรับ VR_7 จนกระทั่ง แรงดันอ้างอิง(Vref L) มีขนาดเท่ากับขนาดของสัญญาณขาออกของ IC_{17} เมื่อเพาเวอร์แฟคเตอร์มีค่า ๐.๘๕
- วัดสัญญาณขาออกของ IC_{17} เมื่อค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มีค่า ๐.๙๕ ว่ามีขนาดเท่าใด จากนั้นทำการปรับ VR_6 จนกระทั่ง แรงดันอ้างอิง(Vref H) มีขนาดเท่ากับ ขนาดของสัญญาณขาออกของ IC_{17} เมื่อเพาเวอร์มีค่า ๐.๙๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้