

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมแบบเดทบีท ของไซน์เวฟอินเวอร์เตอร์ โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์  
สำหรับแหล่งจ่ายไฟต่อเนื่อง

MICROPROCESSOR DEADBEAT CONTROL OF SINEWAVE INVERTER  
FOR UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2538

ISBN 974-621-410-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหม.....

เลขทะเบียน..... 23863

วัน, เดือน, ปี 19 ก.ย. 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกึ่งใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MICROPROCESSOR DEADBEAT CONTROL OF SINEWAVE INVERTER  
FOR UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
GRADUATE SCHOOL  
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**1995**

**ISBN 974-621-410-1**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การควบคุมแบบเดบิตทิง ของ ไซน์เวฟอินเวอร์เตอร์  
โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับแหล่งจ่ายไฟต่อเนื่อง  
MICROPROCESSOR DEADBEAT CONTROL OF  
SINEWAVE INVERTER FOR UNINTERRUPTIBLE  
POWER SUPPLY

นักศึกษา

นายประทีป กมลวิทนกุล

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์

ระดับการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา

วิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า

คุณทหารลาดกระบัง

2538

พ.ศ.

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ เสนอผลการศึกษาทฤษฎีการควบคุมแบบเดบิตทิง เพื่อนำไปใช้กับอินเวอร์เตอร์ที่มีการ โมดูลเลชันแบบความกว้างพัลส์ ซึ่งมีจุดมุ่งหมายต้องการพัฒนาแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง ที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับรูปไซน์ โดยใช้ตัวแปร 2 สถานะ คือแรงดัน และกระแส ซึ่งจะถูกป้อนกลับในรูปแบบดิจิตอล และถูกวัดในแต่ละช่วงของการแซมปลิง เป็นจำนวน 30 ครั้ง ต่อ 1 คาบเวลา จากนั้นนำข้อมูลนี้มาคำนวณความกว้างพัลส์ในเวลาจริง เพื่อควบคุมแรงดันไซน์ที่เอาต์พุต ให้เท่ากับแรงดันไซน์อ้างอิงในแต่ละช่วงของการแซมปลิง ซึ่งเรียกรูปแบบนี้ว่า ไมโครโปรเซสเซอร์เดบิตทิงคอนโทรล ดังนั้นการควบคุมแบบเดบิตทิง จะใช้ทั้งรูปแบบพัลส์เดียว และพัลส์คู่ตามอัลกอริทึมควบคุมการแก้ปัญหาทำงานร่วมกัน จากการออกแบบสร้างแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง ขนาด 400 VA 1 เฟส จากแบตเตอรี่ 12 VDC ได้แรงดันที่เอาต์พุตรูปคลื่นไซน์ ขนาด 220VAC กระแสโหลด 2A ความถี่ 50Hz แหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่องจะทำงาน เมื่อระบบแรงดันไฟฟ้าหลักขาดหาย แรงดันไฟฟ้าเกินหรือแรงดันไฟฟ้าตก จากผลการทดลองของ UPS แบบเดบิตทิงคอนโทรลสามารถจ่ายแรงดันรูปคลื่นไซน์ที่เอาต์พุตให้แอมพลิจูดสูงกว่าแบบ SPWM ในขณะที่จ่ายให้โหลดขนาดเดียวกันด้วยความถี่ที่ 50Hz และมีฮาร์โมนิกส์น้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญภาพ.....	VI
คำอธิบายสัญลักษณ์/คำย่อ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 โครงสร้างของระบบแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 ลักษณะการทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง.....	3
2.3 สาเหตุความผิดปกติของแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลัก.....	10
บทที่ 3 ทฤษฎีการควบคุมแบบเคทบีท.....	13
3.1 บทนำ.....	13
3.2 ฟิสิกส์ของอินเวอร์เตอร์.....	13
3.3 รูปแบบเคทบีท.....	17
3.4 พิสูจน์สมการสเตทของรูปแบบพัลส์เดียว และพัลส์คู่.....	19
บทที่ 4 การออกแบบสร้างแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง.....	24
4.1 บทนำ.....	24
4.2 การออกแบบระบบ.....	24
4.3 บล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง และวงจรควบคุม.....	42
4.4 วงจรป้องกัน และแสดงผลเมื่อเกิดความผิดปกติ.....	56
4.5 รูปภาพฮาร์ดแวร์ของวิทยานิพนธ์.....	69
4.6 ผลการทดลอง.....	73
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	92
เอกสารอ้างอิง.....	94
ภาคผนวก.....	96
ประวัติผู้เขียน.....	119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.โยธิน เปรมปราณีรัชต์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกต่าง ๆ มาโดยตลอด และเพื่อนนักศึกษาปริญญาโท ทุกท่านทุกภาควิชาที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านเอกสารและข้อมูลต่างๆ รวมทั้งเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทดลอง ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ที่ให้ใช้เครื่องมือและสถานที่ห้องทดลองในการทำวิจัย ค้นคว้า จนข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท

นายประทีป กมลวิทนกุล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงการทำงานของวงจรตรวจจับแรงดันในรูปที่ 4.19.....	56
4.2 แสดงผลการทดสอบแอมพลิจูดของแรงดัน ไซน์ที่เอาท์พุท ของ UPS แบบ Deadbeat Control.....	87
4.3 แสดงผลการทดสอบแอมพลิจูดของแรงดัน ไซน์ที่เอาท์พุท ของ UPS แบบ SPWM.....	87
4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันเร็กกูเลชัน ที่โหลดค่าต่าง ๆ ของวิธี Deadbeat Control กับ วิธี SPWM.....	89



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ระบบที่ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลัง.....	4
2.2 ระบบที่ใช้อิเล็กทรอนิกส์.....	5
2.3 พื้นฐานของระบบ UPS ที่มี Bypass Switch.....	6
2.4 แสดงระบบ UPS แบบต่อเนื่อง.....	7
2.5 แสดงระบบโอนย้ายเดินหน้า และโอนย้ายกลับทาง.....	8
2.6 แสดงระบบต่อขนาน (Parallel Redundant System).....	9
2.7 แสดงรูปคลื่นไฟฟ้าตกชั่วขณะ.....	10
2.8 แสดงรูปคลื่นไฟฟ้าเกินชั่วขณะ.....	10
2.9 แสดงรูปคลื่นสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า.....	11
2.10 แสดงรูปคลื่นชั่วขณะไฟฟ้ากระพริบ หรือไฟฟ้าดับ.....	11
2.11 แสดงรูปคลื่นไฟฟ้าตก และไฟฟ้าเกินอย่างต่อเนื่อง.....	12
3.1 บล็อกไดอะแกรม การควบคุมแบบเดบิต.....	13
3.2 วงจร PWM อินเวอร์เตอร์ กับ ฟิลเตอร์.....	14
3.3 วงจรฟิลเตอร์ และ โหลด.....	14
3.4 รูปแบบพัลส์เดี่ยวของ PWM.....	18
3.5 รูปแบบพัลส์คู่ของ PWM.....	18
4.1 สัญญาณ ไซน์อ้างอิง.....	24
4.2 วงจรฟิลเตอร์ของอินเวอร์เตอร์.....	25
4.3 แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรรองความถี่ต่ำ.....	28
4.4 แสดงทางเดินรากบน Z Plan ที่ $L=50\text{mH}$ , $C=50\mu\text{F}$ .....	29
4.5 แสดงตำแหน่งการเปลี่ยนรูปแบบพัลส์ตามคุณสมบัติของอัลกอริทึม.....	33
4.6 แรงดัน ไซน์ที่เอาท์พุทอินเวอร์เตอร์ กับสัญญาณ PWM ที่ได้จากการซิมูเลตจากกฎการควบคุมแบบเดบิต.....	38
4.7 โปรแกรมหลักของไมโครโปรเซสเซอร์.....	39
4.8 โปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์ 0 เมื่อระบบแรงดันไฟฟ้าปกติ.....	40
4.9 โปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์ 1 เมื่อระบบแรงดันไฟฟ้าเกิน หรือแรงดันไฟฟ้าตก.....	40
4.10 โปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์ ไทม์เมอร์ 0 .....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11	บล็อกไดอะแกรม ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง.....	44
4.12	วงจรอินเวอร์เตอร์.....	45
4.13	วงจรสับเบอร์ดแบบขนาน.....	43
4.14	รูปคลื่นของกระแสที่มีความเร็วในการสวิตซ์ดีที่สุด.....	48
4.15	วงจรขั้วเบส.....	50
4.16	วงจรตรวจจับแรงดัน.....	51
4.17	วงจรตรวจจับกระแส.....	52
4.18	วงจรตรวจจับแรงดัน ไฟฟ้าเกิน และ ไฟฟ้าตกจากระบบไฟฟ้าหลัก.....	54
4.19	วงจรส่งสัญญาณอินเทอร์รัพท์ให้ไมโครโปรเซสเซอร์ทำงาน.....	55
4.20	วงจรโซลิตสเตทรีเลย์.....	57
4.21	วงจรป้องกันการลัดวงจร (Time Lockout).....	59
4.22	วงจรป้องกันแรงดัน และกระแสสูงเกิน.....	60
4.23	วงจรป้องกันกระแสสูงเกินในวงจรพหุผล.....	61
4.24	วงจรแสดงผลเมื่อเกิดความผิดปกติ.....	63
4.25	วงจรไมโครโปรเซสเซอร์ 8031 ที่ใช้ควบคุม.....	64
4.26	วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	65
4.27	วงจรพหุผลคอนเวอร์เตอร์.....	66
4.28	วงจรสวิตซ์ซึ่งซับซ้อน.....	67
4.29	วงจรซาร์จประจุแบตเตอรี่.....	68
4.30	แสดงอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองของวิทยานิพนธ์.....	69
4.31	แสดงชุดวงจรอินเวอร์เตอร์ สับเบอร์ด ฟิวเตอร์ และวงจรตรวจจับกระแส.....	69
4.32	แสดงวงจรขั้วเบส และวงจร TIME LOCKOUT.....	70
4.33	แสดงวงจรควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ 8031.....	70
4.34	แสดงวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	71
4.35	แสดงชุดวงจร ดีซี/ดีซี คอนเวอร์เตอร์.....	71
4.36	แสดงชุดวงจรตรวจจับแรงดัน ไฟฟ้าเกิน ไฟฟ้าตก และวงจรส่งสัญญาณอินเทอร์รัพท์ให้ไมโครโปรเซสเซอร์ 8031.....	72
4.37	แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟตรง.....	72
4.38	แสดงไดอะแกรมการทดสอบ UPS แบบเดบปีทคอนโทรล.....	73
4.39	แรงดัน 3 ระดับ ที่จุด AB 100Vp/div 2mS.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.40 แสดงแรงดัน ไซน์ที่เอาต์พุตของ UPS ที่จุด DB ขณะไม่มีโหลด กับสัญญาณ PWM แบบเดบิทีทที่เอาต์พุตพอร์ท 100Vp/div 2V/div 2mS (สตอร์เรจสโคป).....	74
4.41 แสดงแรงดัน ไซน์ที่เอาต์พุตครั้งคาบเวลาของรูปที่ 4.40.....	74
4.42 แสดงสัญญาณ PWM แบบเดบิทีทคอนโทรลที่เอาต์พุตพอร์ท สำหรับขั้วนำเบส ขณะไม่มีโหลด 2V/div 2mS.....	75
4.43 แสดงแรงดัน ไซน์ที่เอาต์พุตของ UPS ที่จุด DB ขณะมีโหลด 25% กับสัญญาณ PWM แบบเดบิทีทที่เอาต์พุตพอร์ท 100Vp/div 2V/div 2mS (สตอร์เรจสโคป).....	75
4.44 แสดงสัญญาณ PWM แบบเดบิทีทคอนโทรลที่เอาต์พุตพอร์ท สำหรับขั้วนำเบส ขณะมีโหลด 25% 2V/div 2mS.....	76
4.45 แสดงกระแสไลน์ ที่จุด C ขณะมีโหลด 25% 1Ap/div 2mS.....	76
4.46 แสดงแรงดัน ไซน์ที่เอาต์พุตของ UPS ที่จุดDE ขณะมีโหลด 50% กับสัญญาณ PWM แบบเดบิทีทที่เอาต์พุตพอร์ท 100Vp/div 2V/div 2mS (สตอร์เรจสโคป).....	77
4.47 แสดงสัญญาณ PWM แบบเดบิทีทคอนโทรลที่เอาต์พุตพอร์ท สำหรับขั้วเบส ขณะมีโหลด 50% 2V/div 2mS.....	77
4.48 แสดงกระแสไลน์ ที่จุด C ขณะมีโหลด 50% 1Ap/div 2mS.....	78
4.49 แสดงแรงดัน ไซน์ที่เอาต์พุตของ UPS ที่จุดDE ขณะมีโหลด 75% กับสัญญาณ PWM แบบเดบิทีทที่เอาต์พุตพอร์ท 100Vp/div 2V/div 2mS (สตอร์เรจสโคป).....	78
4.50 แสดงสัญญาณ PWM แบบเดบิทีทคอนโทรลที่เอาต์พุตพอร์ท สำหรับขั้วนำเบสขณะมีโหลด 75% 2V/div 2mS.....	79
4.51 แสดงกระแสไลน์ ที่จุด C ขณะมีโหลด 75% 1Ap/div 2mS.....	79
4.52 แสดงแรงดัน ไซน์ที่เอาต์พุตของ UPS ที่จุดDE ขณะมีโหลด 100% กับสัญญาณ PWM แบบเดบิทีทที่เอาต์พุตพอร์ท 100Vp/div 2V/div 2mS (สตอร์เรจสโคป).....	80
4.53 แสดงแรงดัน ไซน์ที่เอาต์พุตครั้งคาบเวลาของรูปที่ 4.52.....	80
4.54 แสดงสัญญาณ PWM แบบเดบิทีทคอนโทรลที่เอาต์พุตพอร์ท สำหรับขั้วนำเบสขณะมีโหลด 100% 2V/div 2mS.....	81
4.55 แสดงกระแสไลน์ ที่จุด C ขณะมีโหลด 100% 1Ap/div 2mS.....	81
4.56 แสดงไดอะแกรมการทดสอบ UPS แบบ SPWM.....	82
4.57 แสดงแรงดัน ไซน์ที่เอาต์พุตของ UPS ที่จุดDE ขณะไม่มีโหลด.....	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.58 แสดงแรงดันไซน์ที่เอาต์พุตของ UPS ที่จุดDE ขณะมีโหลด 25%	
100Vp/div 2mS (สตอร์เรจสโคป).....	83
4.59 แสดงกระแสไลน์ ที่จุด C ขณะมีโหลด 25%	1Ap/div 2mS.....83
4.60 แสดงแรงดันไซน์ที่เอาต์พุตของ UPS ที่จุดDE ขณะมีโหลด 50%	
100Vp/div 2mS (สตอร์เรจสโคป).....	84
4.61 แสดงกระแสไลน์ ที่จุด C ขณะมีโหลด 50%	1Ap/div 2mS.....84
4.62 แสดงแรงดันไซน์ที่เอาต์พุตของ UPS ที่จุดDE ขณะมีโหลด 75%	
100Vp/div 2mS (สตอร์เรจสโคป).....	85
4.63 แสดงกระแสไลน์ ที่จุด C ขณะมีโหลด 75%	1Ap/div 2mS.....85
4.64 แสดงแรงดันไซน์ที่เอาต์พุตของ UPS ที่จุดDE ขณะมีโหลด 100%	
100Vp/div 2mS (สตอร์เรจสโคป).....	86
4.65 แสดงกระแสไลน์ ที่จุด C ขณะมีโหลด 100%	1Ap/div 2mS.....86
4.66 แสดงการเปรียบเทียบทดสอบโหลดของวิธี Deadbeat Control	
กับ SPWM ที่แรงดัน $V_{peak}$ .....	88
4.67 แสดงการเปรียบเทียบทดสอบโหลดของวิธี Deadbeat Control	
กับ SPWM ที่แรงดัน $V_{rms}$ .....	88
4.68 แสดงการเปรียบเทียบ % Voltage Regulation ของวิธี Deadbeat Control	
กับวิธี SPWM ที่โหลดต่าง ๆ.....	89
4.69 แสดงสเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่ 50Hz ของ UPS แบบเดทบีทคอนโทรล.....	90
4.70 ก) และ ข) แสดงสเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของ UPS แบบ SPWM ที่ขายตามท้องตลาด.....	91

## คำอธิบายสัญลักษณ์/คำย่อ

$A$  = เมตริกซ์  $A$

$A^2$  = เมตริกซ์  $A$  ยกกำลังสอง

$A^3$  = เมตริกซ์  $A$  ยกกำลังสาม

$b$  = เมตริกซ์  $b$

$C$  = ค่าตัวเก็บประจุ

$D_1$  = อัตราส่วนของคิวตี้ไซเคิลของรูปแบบพัลส์เดี่ยว

$D_2$  = อัตราส่วนของคิวตี้ไซเคิลของรูปแบบพัลส์คู่

$E$  = แรงดันกระแสตรงที่จ่ายให้กับอินพุตของอินเวอร์เตอร์

BMI = สัญญาณรบกวนโดยการเหนี่ยวนำ

$l$  = แอคโปเนนเชียล

$f$  = ความถี่

$f_c$  = ความถี่คัตออฟ

$f_{(n)}$  = ความถี่ที่ฮาร์โมนิกอันดับที่  $n$

$s_1$  = ส่วนประกอบหนึ่งของ  $l^{\frac{AT}{2}} bE$

Hz = หน่วยความถี่เป็นเฮิร์ต เป็นรอบต่อวินาที

$I(z)$  = กระแสในรูปของการแปลงแบบ  $Z$

$i$  = กระแสของตัวเก็บประจุ

$i(k)$  = กระแสที่อ่านได้จากการแซมปลิง

$k$  = ช่วงของการแซมปลิง

$L$  = ค่าความเหนี่ยวนำ

LED = ไดโอดเปล่งแสง (light emitting diode)

mH = หน่วยของความเหนี่ยวนำ เป็นมิลลิเฮนรี่

$N$  = จำนวนครั้งในการแซมปลิง ต่อ 1 คาบเวลา

OCP = Over Current PIN

PWM = การมอดูเลชันความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation)

PSPICE = โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์

$R$  = ความต้านทาน

RFI = สัญญาณรบกวนโดยการเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SPWM = Sinusoidal Pulse Width Modulation

$T$  = คาบเวลาของการแฉมป์ลิ่ง

$t$  = คาบเวลาของการแฉมป์ลิ่งที่  $kT$

$t_f$  = เวลากระแสตกน้อยที่สุดของทรานซิสเตอร์

$T_L$  = ค่าเวลาป้องกันการลัดวงจร

$T_p$  = ค่าเวลาประมวลผลของไมโครโปรเซสเซอร์

$T_d$  = ค่าหน่วงเวลารวมทั้งหมด

$\Delta T$  = ความกว้างพัลส์ของเดทบีทคอนโทรล

$\Delta T_{\max}$  = ความกว้างพัลส์สูงสุดของเดทบีทคอนโทรล

UPS = แหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง (Uninterruptible power supply)

$u$  = สเตลาร์อินพุต

$V$  = แรงดันในตัวแปรสแตท

$\dot{V}$  = อนุพันธ์อันดับหนึ่งของแรงดันในตัวแปรสแตท

$\ddot{V}$  = อนุพันธ์อันดับสองของแรงดันในตัวแปรสแตท

$V_{in}$  = แรงดันอินพุต

$V_{ref}$  = แรงดันรูปคลื่นไซน์อ้างอิง

$V_m$  = แอมพลิจูดของแรงดันรูปคลื่นไซน์อ้างอิง

$V_{out}$  = แรงดันเอาต์พุตของวงจรกรองความถี่ต่ำ

$V_{out(n)}$  = แรงดันเอาต์พุตของวงจรกรองความถี่ต่ำที่ฮาร์โมนิคส์อันดับที่  $n$

$V_{in(n)}$  = แรงดันอินพุตของวงจรกรองความถี่ต่ำที่ฮาร์โมนิคส์อันดับที่  $n$

$V_{rms}$  = แรงดัน (root mean square)

$V(z)$  = แรงดันในรูปของการแปลงแบบ  $Z$

$v(k)$  = แรงดันที่อ่านได้จากการแฉมป์ลิ่ง

VDC = หน่วยของแรงดันกระแสตรง

VAC = หน่วยของแรงดันกระแสสลับ

$W$  = หน่วยกำลังไฟฟ้า

$x$  = เวกเตอร์สแตท

$\dot{x}$  = อนุพันธ์อันดับหนึ่งของเวกเตอร์สแตท

$Y_2$  = แอคมิเตนซ์ของตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Y_{2(n)}$  = แอคมิแดนซ์ของตัวเก็บประจุที่ฮาร์โมนิกส์อันดับที่  $n$

$Z_1$  = อิมพีแดนซ์ของความเหนี่ยวนำ

$Z_2$  = อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ

$\phi_{ij}$  = ส่วนประกอบหนึ่งของ  $\ell^{AT}$

$\phi_{11}$  = ส่วนประกอบหนึ่งของ  $\ell^{AT}$  แถว 1 สดมภ์ 1

$\phi_{12}$  = ส่วนประกอบหนึ่งของ  $\ell^{AT}$  แถว 1 สดมภ์ 2

$\mu F$  = หน่วยของตัวเก็บประจุ เป็นไมโครฟารัด

$\mu S$  = หน่วยของเวลาเป็นไมโครวินาที

$\Omega$  = หน่วยของความต้านทาน เป็นโอห์ม

$\leq$  = น้อยกว่าเท่ากับ

$\%$  = เปอร์เซนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

ระบบแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง UPS (Uninterruptible Power Supply) จะใช้เมื่อเกิดการขัดข้องของระบบจ่ายไฟฟ้าหลัก ในยามฉุกเฉิน โดยการแปลงแรงดันกระแสตรง (DC) จากแบตเตอรี่ 12V เป็นกระแสสลับ 220VAC ซึ่งจะผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์กับ LC ฟิลเตอร์ ได้เป็นแรงดันเอาต์พุตรูปคลื่นไซน์ ในปัจจุบันนี้การใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยี ะดับสูง เช่น การสื่อสารโทรคมนาคม คอมพิวเตอร์ เครื่องบิน และโรงพยาบาล ต้องการความถูกต้อง แม่นยำในการทำงานของอุปกรณ์ ดังนั้นคุณภาพของแรงดันไซน์ที่เอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่องที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับ จึงเป็นสิ่งสำคัญเมื่อเกิดการขัดข้องของระบบไฟฟ้าหลัก เพื่อให้ UPS สามารถจ่ายแรงดันรูปคลื่นไซน์ที่เอาต์พุตให้แอมพลิจูดสูงกว่าแบบ SPWM ในขณะที่จ่ายให้โหลดขนาดเดียวกันด้วยความถี่ที่ 50Hz และมีฮาร์โมนิกส์น้อยกว่า โดยทั่วไปแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่องจะสร้าง SPWM (Sinusoidal PWM) จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยไอซี ซึ่งเป็นเทคนิคแบบเดิมที่นำไปใช้กับอินเวอร์เตอร์ โดยการนำสัญญาณพาห์สามเหลี่ยมมาเปรียบเทียบกับสัญญาณมอดูเลทรูปไซน์ จุดตัดกันของรูปคลื่นไซน์กับสามเหลี่ยม จะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นพัลส์ที่มีความกว้างต่างๆ กันได้ วิธีการ SPWM จะให้ความถี่ไซด์แบนด์ (side band frequency) ออกมาด้วย นอกจากนี้ยังให้แรงดันองค์ประกอบมูลฐานได้เพียง 69 % ของค่าแรงดันกระแสตรงเชื่อมโยง(DC link voltage)เท่านั้น จะพบว่าแรงดันที่เอาต์พุตมีแอมพลิจูดของรูปคลื่นไซน์ลดลง และผลรวมของการรบกวนทางฮาร์โมนิกส์ทั้งหมดมีค่าสูง [1],[3]

การสร้างสัญญาณเพื่อนำไปขับอินเวอร์เตอร์แต่เดิมใช้วงจรรอนาลอก ซึ่งใช้อุปกรณ์จำนวนมากนอกจากนี้การพัฒนาปรับปรุงวงจรทำได้ยาก ต่อมาไมโครโปรเซสเซอร์ได้พัฒนาให้มีความเร็วในการประมวลผลที่สูงขึ้น มีฟังก์ชันการทำงานเพิ่มขึ้น ใช้อุปกรณ์น้อยชิ้นและมีความเชื่อถือได้สูง ดังนั้นจึงได้นำเอา ไมโครโปรเซสเซอร์ ขนาด 8 บิต เบอร์ 8031 มาประยุกต์ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เดบิตคอนโทรล กับแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง และสามารถใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ มาควบคุมระบบได้อีก ส่วนการออกแบบสร้างอุปกรณ์ ที่ใช้ร่วมกับแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง จะเป็นแบบสวิทซ์ซึ่งทำให้ให้มีขนาดเล็กลงได้ ไมโครโปรเซสเซอร์เดบิตคอนโทรล (microprocessor deadbeat control) เป็นวิธีที่แก้ข้อเสียของ SPWM ในกรณีที่ให้แรงดันองค์ประกอบมูลฐานต่ำ การควบคุมแบบเดบิต จะนำไปใช้กับอินเวอร์เตอร์ที่มีการมอดูเลชันแบบความกว้างพัลส์ PWM เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะใช้ตัวแปร 2 สถานะ คือ โวลต์เตจ และ กระแส จะถูกวัดในแต่ละช่วงของการแฉมปลีง ซึ่งเป็น การป้อนกลับแบบดิจิตอลเป็นจำนวน  $N=30$  ครั้งต่อ 1 คาบเวลา จากนั้นนำข้อมูลนี้มาคำนวณความ กว้างของพัลส์ เพื่อควบคุมแรงดันรูปคลื่นไซน์ที่เอาท์พุท ให้เท่ากับแรงดันอ้างอิงรูปคลื่นไซน์ ในแต่ละช่วงของการแฉมปลีง ดังนั้นการควบคุมแบบเดทบีท จะใช้ทั้งรูปแบบพัลส์เดี่ยว และพัลส์ คู่ ตามอัลกอริธึมควบคุมการแก้ปัญหาทำงานร่วมกัน ซึ่งเรียกรูปแบบการควบคุมแบบนี้ว่า ไมโคร โพรเซสเซอร์เดทบีทคอนโทรล (microprocessor deadbeat control)

จากการทดลองออกแบบสร้างแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง ขนาด 400 VA 1 เฟส จากแบตเตอรี่ 12VDC ได้แรงดันที่เอาท์พุทรูปคลื่นไซน์ ขนาด 220VAC กระแสที่โหลด 2A ความถี่ 50Hz แหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง จะทำงานเมื่อระบบแรงดันไฟฟ้าขาดหาย แรงดันไฟฟ้าเกิน และแรงดัน ไฟฟ้าตก ระดับแรงดันไฟฟ้าเกิน หรือแรงดันไฟฟ้าตก ได้ปรับตั้งค่าไว้  $\pm 10\%$  ของ 220VAC

วัตถุประสงค์ในการทำวิจัย เพื่อศึกษาทฤษฎีการควบคุมแบบเดทบีท และการออกแบบ สร้างแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง เพื่อให้คุณภาพของแรงดัน ไซน์ที่เอาท์พุทมีค่าแอมพลิจูด และ ความถี่คงที่ 50Hz ให้กับโหลด พร้อมเปรียบเทียบกับ UPS แบบ SPWM ที่ขายตามท้องตลาด

## บทที่ 2

### โครงสร้างของระบบแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง

#### 2.1 บทนำ

ในปัจจุบัน ได้มีการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เทคโนโลยีระดับสูง เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องมือสื่อสาร เครื่องควบคุมขบวนการผลิต และอื่น ๆ เพิ่มขึ้นอย่างมากมาย เครื่องมือเหล่านี้ล้วน ต้องการแหล่งจ่ายไฟที่มีคุณภาพดี และมีความต่อเนื่อง ดังนั้นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของ UPS คือความสามารถในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง เมื่อระบบไฟฟ้าหลักเกิดผิดปกติ การที่ UPS จะมีคุณสมบัติดังกล่าวได้นั้น UPS จะต้องมีแหล่งเก็บสะสมพลังงาน และจะต้องมีอุปกรณ์ในการเปลี่ยนพลังงานที่สะสมไว้ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งเป็นแบบที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล หรือมอเตอร์กระแสตรง ไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบนี้จะเรียกว่า ไดนามิก (Dynamic UPS) และแบบที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งแบบนี้จะเรียกว่า สเตติกอินเวอร์เตอร์ (Static Inverter) ส่วนใหญ่จะนิยมใช้แบบนี้ เนื่องจากต้องการบำรุงรักษาเล็กน้อย และที่สำคัญคือมีการตอบสนองรวดเร็วกว่าแบบแรก

เพื่อการใช้งาน UPS ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพเราควรจะต้องทราบถึงคุณสมบัติโครงสร้างลักษณะการทำงาน และองค์ประกอบหลักของระบบ UPS รวมทั้งยังจำแนกระบบ UPS ออกตามลักษณะการทำงานได้ตามที่จะได้กล่าวในรายละเอียดหัวข้อต่อไป

#### 2.2 ลักษณะการทำงานของระบบ UPS

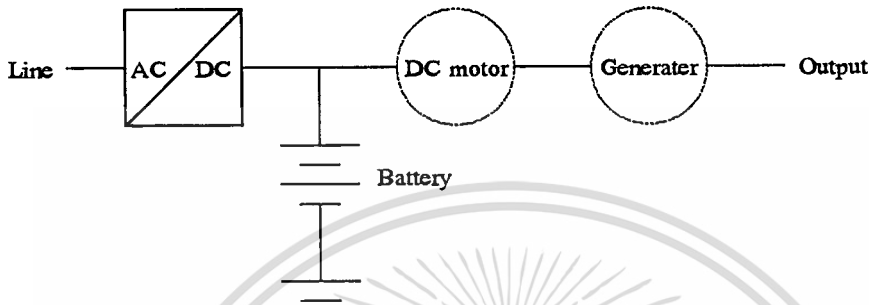
##### 2.2.1 ชนิดของ UPS

มีหน้าที่เหมือนแหล่งจ่ายไฟสำรอง แต่จะแตกต่างกันที่แหล่งกำเนิด และระบบ คือ จะเริ่มจ่ายไฟเมื่อเกิดระบบไฟฟ้าหลักมีปัญหา แบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

ก) แหล่งกำเนิดกำลังหมุน (Dynamic UPS) ซึ่งเป็นระบบที่เริ่มแรกในการสร้างขึ้น โดยจะใช้ต้นกำลังคู่ร่วมกับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งต้นกำลังก็มักจะเป็น เครื่องยนต์ คือ มอเตอร์กระแสตรง ในการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Rotary Uninterrupt Power Supply RUPS) ขึ้นอยู่กับการออกแบบ ซึ่งระบบนี้จะทำงานเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ หรือ ใช้จ่ายโหลด ในกรณีที่ระบบไฟฟ้าเกิดการผิดปกติมาก เช่น การเกิดไฟตกกว่าโหลดจะยอมรับได้ โดย UPS แบบนี้จะจ่ายให้กับ โหลดที่มีความสำคัญมากเท่านั้น เช่น ระบบจ่ายไฟให้กับห้องผ่าตัด หรือลิฟท์ ซึ่งอาจเรียกว่า พวกลoadวิกฤต (Critical load) ที่การศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบที่จ่ายออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) นั้นมีความเป็นไซน์มากกว่า และมีความเชื่อถือได้ดี จะเหมาะสำหรับระบบที่ต้องการ Back up time นานๆ ในกรณีที่ไฟฟ้าดับอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน แสดงในรูป 2.1



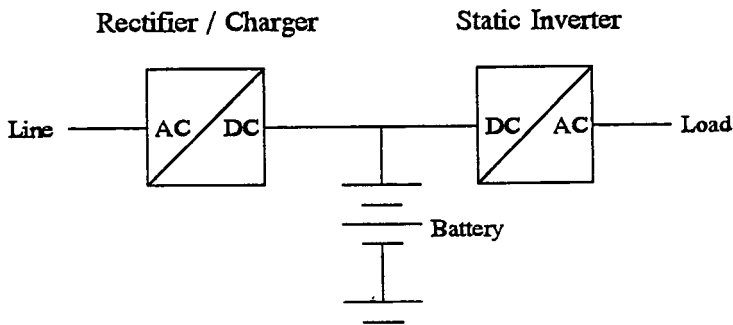
รูปที่ 2.1 ระบบที่ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลัง

๗) ระบบสแตติก (Static UPS) จะมีลักษณะต่างจากแบบแรก คือ แทนที่จะใช้พวกเครื่องจักรกลไฟฟ้า เป็นตัวก่อกำเนิดไฟฟ้าจ่ายให้กับโหลดในกรณีที่ระบบไฟฟ้าหลักเกิดมีปัญหา ก็จะใช้พวก อิเล็กทรอนิกส์คอนเวอร์เตอร์ เข้ามาเป็นอุปกรณ์ประกอบหลักร่วมกับแบตเตอรี่ โดยจะไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่จะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ามาเป็นตัวกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นระบบนี้จะไม่มีส่วนใดที่ต้องหมุนเคลื่อนที่เลย และจัดว่าเป็นระบบที่มีความเร็วและความเชื่อถือสูงจึงเป็นที่นิยมกันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งกลายเป็น UPS แบบใหม่ (Modern UPS) เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง ต้องการบำรุงรักษาเล็กน้อย และที่สำคัญคือมีการตอบสนองรวดเร็วกว่าแบบที่ใช้เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าสลับ ซึ่งระบบหลักๆ นั้น อินเวอร์เตอร์ จะจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ถูกปรับทั้งความถี่และ แรงดันให้คงที่ ออกไปให้โหลดโดยจะไม่มีผลของสัญญาณรบกวนไปหาโหลดเลย และไฟตรงที่จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์นั้น จะต้องผ่านวงจรเรียงกระแสจากกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงซึ่งส่วนหนึ่งจะต้องนำไปอัดไฟให้แบตเตอรี่ และอีกส่วนจ่ายให้อินเวอร์เตอร์ เพื่อเปลี่ยนแรงดันกระแสตรงเป็นแรงดันกระแสสลับ เพื่อจ่ายให้กับโหลดต่อไป

ภายใต้สภาวะที่เกิดไฟดับ (Failure) ของระบบไฟฟ้าหลักแบตเตอรี่ จะเป็นตัวจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ อินเวอร์เตอร์ อย่างอัตโนมัติ ซึ่งโหลดที่ใช้ยุ่นั้นจะเป็นตัวกำหนดขนาดของแบตเตอรี่ โดยทั่วไปจะถูกออกแบบให้จ่ายได้นาน ประมาณ 10-30 นาที ที่พิกัดกำลังคือยิ่งพิกัดกำลังมีค่ามากขึ้นเท่าไร ขนาดของแบตเตอรี่ก็จะต้องใหญ่มากขึ้นเท่านั้นแต่ราคาของแบตเตอรี่จะแพงขึ้น แสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ระบบที่ใช้อิเล็กทรอนิกส์

### 2.2.2 องค์ประกอบหลักของแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง

องค์ประกอบหลักในการทำงานของระบบสแตติก UPS มี 4 ส่วนใหญ่ๆ คือ

- ก) ภาคเรกติไฟเออร์ (Rectifier unit) และภาควงจรอัดประจุแบตเตอรี่ (Battery unit)
- ข) แบตเตอรี่ (Battery bank)
- ค) ภาคอินเวอร์เตอร์ (Inverter unit)
- ง) สแตติกส์ทรานส์เฟอร์สวิตช์ (Static Transfer switch)

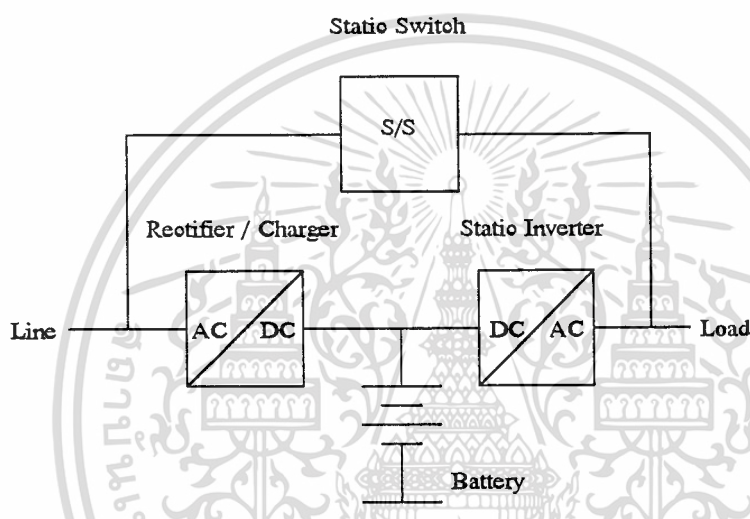
ในภาวะปกติ Rectifier/Charger ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าสลับจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลัก (main input) ให้เป็นกระแสไฟฟ้าตรง ส่วนแรกจะถูกป้อนเข้าวงจรอัดประจุกระแสตรงให้กับภาคแบตเตอรี่ (Charger) ส่วนที่สองจะป้อนโดยตรงให้กับภาคอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าตรงส่วนนี้ให้กลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับอีกครั้งหนึ่ง เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ผ่านระบบสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ (Static Transfer switch) หรือบายพาสต์สวิตช์ (Bypass switch) ลักษณะการทำงานที่กล่าวมานี้ เป็นลักษณะการทำงานขั้นพื้นฐานของระบบ UPS ทั่วไป

ในกรณีที่เกิดการขาดหายไป ของระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลัก (power line failure) แรงดันไฟฟ้าเกิน หรือแรงดันไฟฟ้าตก จะเป็นผลให้ภาค Rectifier หยุดการจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงด้วยเช่นกันในสภาวะวิกฤตนี้แบตเตอรี่จะทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าตรง ที่ถูกประจุเตรียมพร้อมไว้ ทดแทนการขาดหายไปของไฟฟ้ากระแสตรง และขนาดแบตเตอรี่จะเป็นตัวกำหนดเวลาที่ใช้จ่ายพลังงาน (Back up time) คือซึ่งภาคเรกติไฟเออร์ควรจะต้องจ่ายให้กับภาคอินเวอร์เตอร์ เป็นผลให้ภาคอินเวอร์เตอร์ยังคงสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับให้กับโหลดได้ โดยไม่ขาดตอนจนกว่าแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าหลักจะถูกแก้ไขให้เป็นปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนภาค Static Transfer Switch ซึ่งเป็นภาคที่ทำหน้าที่ตัดต่อแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับที่ถูกสร้างจากภาคอินเวอร์เตอร์ให้กับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เมื่อเกิดกรณีแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักเกิดผิดปกติ และเมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักเป็นปกติ Static Transfer Switch จะสวิตซ์มาที่ตำแหน่งของแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักจ่ายให้กับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งภาคนี้เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเน้นความหมายของการเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ไม่มีการขาดตอน หรือต่อเนื่อง (Uninterruptible Power Supply) แสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 พื้นฐานของระบบ UPS ที่มี Static Switch

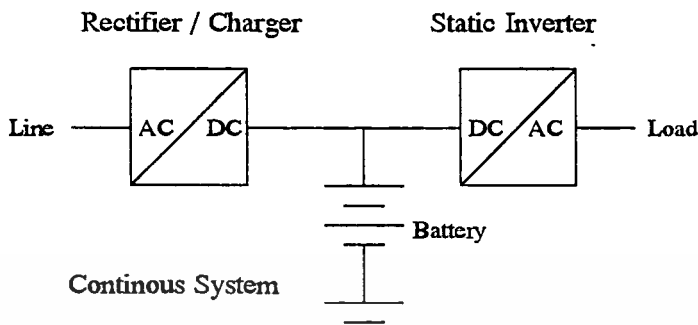
### 2.2.3 จำแนกระบบ UPS ออกตามลักษณะการทำงาน

การจำแนกระบบ UPS ออกตามลักษณะการทำงานแบ่งออกได้เป็น 4 ระบบ

ก) ระบบต่อเนื่อง (Continuous System) จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนด้วยกันคือ ภาคเรกติไฟเออร์/ภาคอัดประจุ (Rectifier/Charger Battery) และ ภาคสแตติกอินเวอร์เตอร์ (Static Inverter) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ในภาวะปกติ Rectifier/Charger จะเปลี่ยนพลังงานจากไฟฟ้าหลักเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อใช้ในการประจุแบตเตอรี่ และในขณะเดียวกันก็จะจ่ายพลังงานให้กับ Static Inverter ซึ่งภาคนี้จะจ่ายพลังงานให้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อเกิดไฟฟ้าขาดช่วง ภาค Rectifier/Charger จะไม่ทำงาน Static Inverter จะยังคงจ่ายพลังงานให้กับโหลดได้อย่างต่อเนื่อง โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ เนื่องจากระบบต่อเนื่องนี้ Static Inverter จะทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้กับโหลดไฟฟ้าสลับตลอดเวลา ดังนั้นจะมีความต่อเนื่องของแรงดันในตอนที่เกิดไฟดับ ข้อเสียของระบบนี้ก็คือ ภาค Static Inverter เกิดขัดข้อง โหลดของ UPS จะทำงานต่อ

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ได้ ระบบนี้จึงมีความเชื่อถือที่ไม่สูงและนิยมใช้กับระบบเล็ก ๆ เพราะราคาถูก



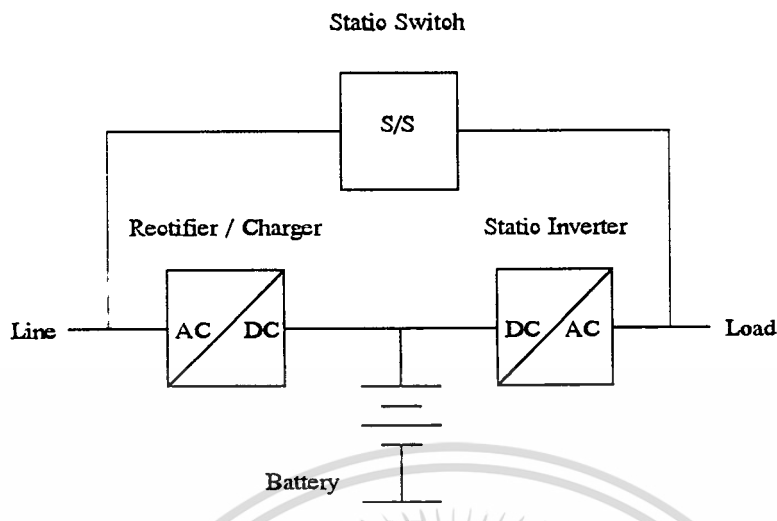
รูปที่ 2.4 แสดงระบบ UPS แบบต่อเนื่อง

#### ข) ระบบโอนย้ายเดินหน้า (Forward Transfer System)

UPS ระบบโอนย้ายเดินหน้าจะประกอบด้วย Rectifier/Charger Battery, Static Inverter และ Static Switch ต่อกันอยู่ แสดงในรูปที่ 2.5 ในภาวะปกติโพลของ UPS จะได้พลังงานจากระบบไฟฟ้าหลัก โดยผ่านทาง Static Switch ส่วน Rectifier/Charger จะทำหน้าที่ประจุแบตเตอรี่ UPS ระบบนี้จะมีลักษณะของ Stand-By Power Source ซึ่งเราสามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิดคือ ระบบฮอตสแตนด์บายด์ (Hot Stand-by System) และระบบโคลด์สแตนด์บายด์ (Cold Stand-By System) นั้น Static Inverter จะต่ออยู่กับแหล่งจ่ายกระแสตรง (DC Source) ตลอดเวลาและอาจจะซิงโครไนท์ (Synchronize) กับแหล่งจ่ายกระแสสลับของระบบไฟฟ้าหลัก (AC line) ด้วย เพื่อความรวดเร็วในการโอนย้ายจากโพลจากแหล่งหนึ่งไปสู่อีกแหล่งหนึ่ง Cold Stand-By System จะมีโครงสร้างและการทำงานคล้ายคลึงกับ Hot Stand-By System โดยมีข้อแตกต่างเล็กน้อยคือ ในภาวะปกติ Static Inverter จะไม่ทำงาน แต่เมื่อระบบไฟฟ้าหลักเกิดผิดปกติ (AC line failure) Static Inverter จึงจะถูกต่อเข้ากับ DC Source และโพล เนื่องจาก Static Inverter จะต้องใช้เวลาในการเริ่มเดินเครื่องประมาณ 5 ถึง 10 คาบต่อเวลา ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของ Static Inverter ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวจะไม่มีไฟไปเลี้ยงโพล ดังนั้นโพลหายไปได้ระหว่างการเดินเครื่องของ Static Inverter, Cold Stand-By System นี้ไม่มีความจำเป็นต้องใช้ Static Bypass Switch และไม่มี ความจำเป็นต้อง Synchronize กับ AC line เนื่องจากช่วงเวลาโอนย้ายโพลจะใช้เวลา น้อยกว่าเวลาเริ่มเดินเครื่องของ Static Inverter ถึงแม้ระบบนี้จะมีข้อเสียในส่วนที่เกี่ยวกับคลื่นรบกวน และการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน แต่ระบบนี้มีความเชื่อถือได้สูงกว่าระบบต่อเนื่อง เพราะมีแหล่งจ่ายพลังงาน 2 แหล่งที่สับเปลี่ยนกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงระบบโอนย้ายเดินหน้า และโอนย้ายกลับทาง

### ค) ระบบโอนย้ายกลับทาง (Reverse Transfer System)

UPS ระบบการโอนย้ายกลับทางจะมีลักษณะโครงสร้างเช่นเดียวกันกับระบบ โอนย้ายเดินหน้า แต่ภาวะปกติ Rectifier/Charger จะประจุแบตเตอรี่ และขณะเดียวกันก็จะจ่ายพลังงานให้กับ Static Inverter ซึ่งทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้กับโหลดของ UPS โดยมีการซิงโครไนท์ กับ เอชีไลน์ ตลอดเวลา ในกรณีที่เอชีไลน์เกิดขัดข้องสแตติกส์อินเวอร์เตอร์จะยังคงจ่ายพลังงานให้กับโหลดอย่างต่อเนื่อง โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ และทำงานที่ความถี่และแรงดันมาตรฐานของระบบ เมื่อเอชีไลน์กลับเข้าสู่ภาวะปกติ Rectifier/Charger จะประจุแบตเตอรี่และจ่ายพลังงานให้กับสแตติกส์อินเวอร์เตอร์ และจะค่อย ๆ ซิงโครไนท์เข้ากับเอชีไลน์ เพื่อเตรียมพร้อมในการโอนย้ายโหลดต่อไป การโอนย้ายโหลดจากสแตติกส์อินเวอร์เตอร์ไปสู่อเอชีไลน์ จะกระทำต่อเมื่อสแตติกส์อินเวอร์เตอร์เกิดขัดข้อง หรือเมื่อโหลดเกิดลัดวงจร กระแสไหลเกินพิกัด เพื่อที่จะแก้ความผิดปกติของโหลด และเมื่อทุกอย่างเข้าสู่ภาวะปกติโหลดจะถูกโอนย้ายกลับมาจากสแตติกส์อินเวอร์เตอร์ โดยทั่วไปคุณภาพของไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดจะดีกว่าระบบโอนย้ายเดินหน้า เนื่องจากโหลดได้รับพลังงานจากสแตติกส์อินเวอร์เตอร์ ที่ทำงานแบบฟรีรันนิ่ง (Free running) เพื่อทำการโอนย้ายได้อย่างต่อเนื่องจากสแตติกส์อินเวอร์เตอร์ ไปยังเอชีไลน์ แต่อย่างไรก็ตามความเชื่อถือได้ของระบบโอนย้ายกลับทางจะสูงกว่าระบบต่อเนื่องคือมีความเชื่อถือได้พอ ๆ กับระบบโอนย้ายเดินหน้า เนื่องจากมีแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ 2 แหล่ง ซึ่งสามารถสลับเปลี่ยนกันได้เช่นเดียวกัน ในปัจจุบันนี้ระบบโอนย้ายกลับทางนับเป็นระบบที่ได้รับความนิยมสูงสุด ระบบสามารถใช้ได้กับโหลดหลายชนิด ยกเว้นความถี่ของโหลดกับความถี่ของเอชีไลน์ไม่เท่ากันเท่านั้น

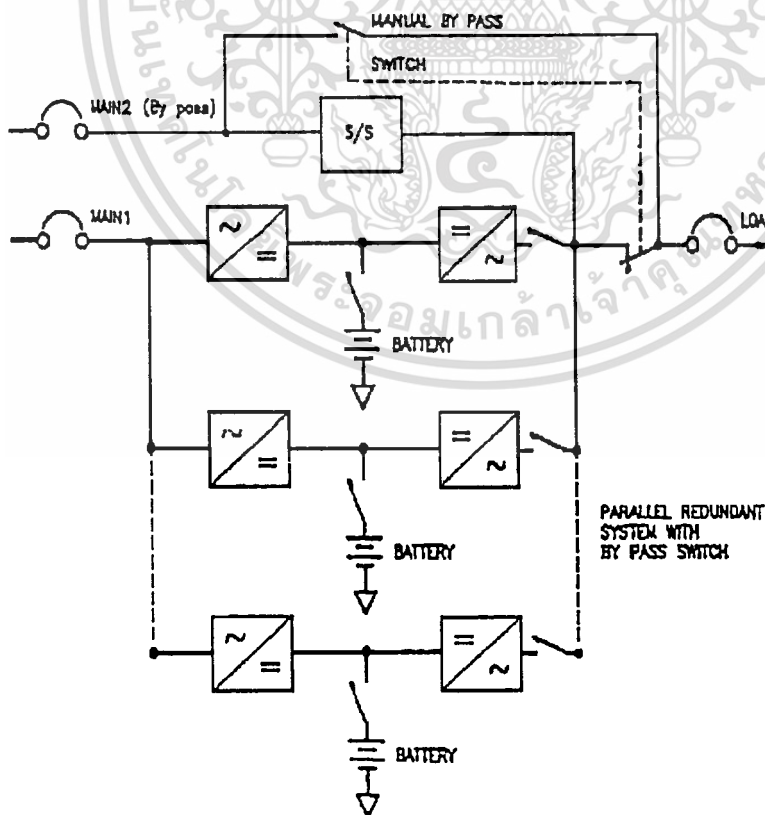
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ง) ระบบต่อขนาน (Parallel Transfer System)

ระบบต่อขนาน หมายถึงระบบ UPS มากกว่า 1 ตัวจ่ายโหลดร่วมกันโดยที่ UPS แต่ละตัวจะจ่ายโหลดเท่า ๆ กัน และเมื่อ UPS ตัวใดตัวหนึ่งเสีย UPS ที่เหลือจะยังคงสามารถจ่ายโหลดสูงสุดได้ โดยมีการแบ่งจ่ายโหลดในระหว่าง UPS ที่เหลือ เหตุผลที่ใช้ระบบนี้มี 2 ประการ

1. เกิดจากความต้องการให้ระบบมีความเชื่อถือได้สูงกว่าระบบที่ใช้ UPS เพียงตัวเดียว
2. เกิดจากการที่โหลดมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของ UPS

ระบบสแตติกส์อินเวอร์เตอร์ แต่ละตัวจะมี Rectifier/Charger และแบตเตอรี่แยกกัน ซึ่งระบบนี้จะมีความเชื่อถือได้สูง ดังแสดงในรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าระบบนี้จะเหมือนกับระบบโอนย้ายกลับทาง (Reverse Transfer System) แต่จะมี UPS หลายชุดที่ใช้ Static Switch ร่วมกันในภาวะปกติ และเมื่อเอซีไลน์เกิดผิดปกติสแตติกส์อินเวอร์เตอร์ จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดแต่เกิดการลัดวงจรของโหลดหรือกระแสโหลดเกินพิกัดของ สแตติกส์อินเวอร์เตอร์ รวมโหลดจะถูกโอนย้ายไปทางด้านเอซีไลน์ เพื่อกำจัดส่วนที่เกิดลัดวงจร หรือกระแสเกินพิกัด และเมื่อโหลดเข้าสู่ภาวะปกติ โหลดจะถูกย้ายมาทางด้านสแตติกส์อินเวอร์เตอร์ ปัญหาที่สำคัญของระบบต่อขนาน คือ การแบ่งโหลดระหว่างสแตติกส์อินเวอร์เตอร์ ที่จ่ายโหลดร่วมกัน

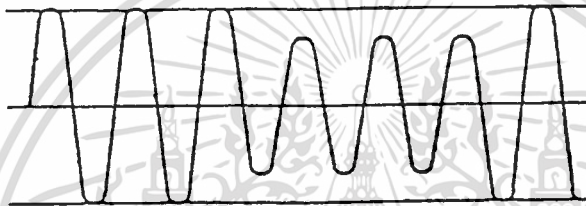


เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2.6 แสดงระบบต่อขนาน (Parallel Redundant System) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 สาเหตุความผิดปกติของแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลัก

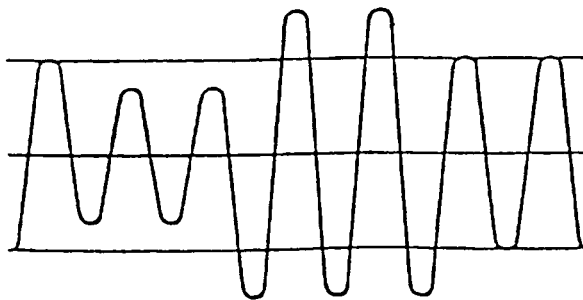
ปัจจุบันปัญหาทางไฟฟ้าเป็นปัญหาใหญ่ ความเสียหายของอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ประมวลผลร้อยละ 80 เกิดจากปัญหาทางไฟฟ้าหลัก เช่น

2.3.1 ไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Sag Voltage) หรือ Voltage Drop จะเกิดขึ้นเพียงชั่วขณะไม่กี่ไมโครวินาที มักจะเกิดจากการใช้กำลังไฟฟ้ามากเกินไปบนสายหลัก(main) หรือหม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายไฟเกินกำลัง เช่น การเดินเครื่องจักรใหญ่ ๆ ช่วงการเปิดเครื่องปรับอากาศ หรือเดินเครื่องมอเตอร์ขนาดใหญ่จะทำให้ไฟตกลงชั่วขณะได้



รูปที่ 2.7 แสดงรูปคลื่นไฟฟ้าตกชั่วขณะ

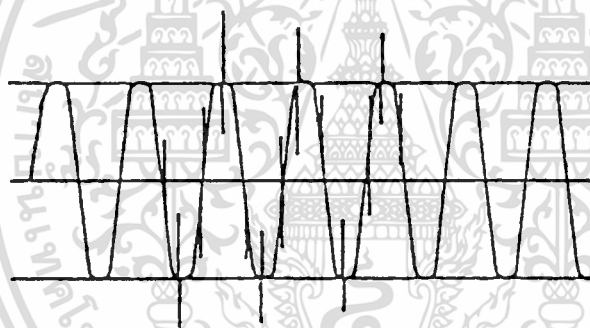
2.3.2 ไฟฟ้าเกินชั่วขณะ (Surge Voltage) มักจะเกิดจากการปิดสวิตช์ของโหลดขนาดใหญ่ หรือเกิดจากการเหนี่ยวนำไฟฟ้า เนื่องจากฟ้าผ่าลงสายส่งไฟฟ้าจะทำให้เกิดไฟฟ้าสูงชั่วขณะ และเป็นปัญหาใหญ่พอสมควร พอที่จะทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์เสียหายได้ ถึงแม้จะมีฟิวส์ (Fuse) หรือ Circuit breaker ป้องกันระบบอยู่ แต่ก็มีช่วงเวลาการ Trip ของระบบป้องกันที่อาจจะทำให้ระบบขัดข้องได้ก่อนตัดวงจรปัญหาก็คือเครื่องเสียและอายุการใช้งานของเครื่องสั้นลง



รูปที่ 2.8 แสดงรูปคลื่นไฟฟ้าเกินชั่วขณะ

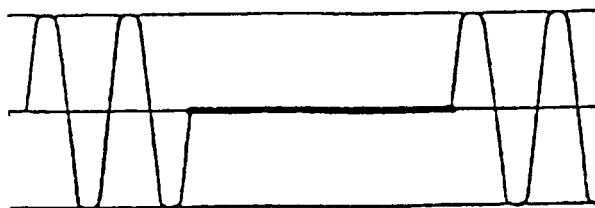
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 สัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า (Noise and Transient) คลื่นรบกวนในระบบไฟฟ้าที่เรามักพบเห็นเสมอๆ ได้แก่พวก Noise และ Transient voltage Noise คือสัญญาณรบกวนมีส่วนประกอบของความถี่สูงที่ผสมมากับความถี่ไฟบ้าน ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องหรืออาจเกิดขึ้นเป็นระยะ ๆ เข้ามาสู่ระบบไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำที่เรียกว่า EMI ,RFI แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ Transverse mode หรือ Differential mode Noise เป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นระหว่าง Line กับ Neutral ส่วนอีกชนิดหนึ่งคือ Common-mode เป็นสัญญาณรบกวนระหว่างพื้นดิน (Earth) กับ Line หรือระหว่างพื้นดินกับที่แรงดันไฟฟ้าศูนย์ Neutral Transient คือแรงดันที่มียอดแหลม และมีค่าสูงมากในช่วงเวลาสั้นๆไม่กี่  $\mu\text{s}$  ซึ่งหมายถึงพวก Surge voltage, Spike voltage และ Transient voltage อาจเกิดขึ้นจากฟ้าผ่า หรือการตัดต่อโหลดบางชนิดเช่น การเปิดปิดสวิตช์ของเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องเชื่อมไฟฟ้า มอเตอร์ สถานีวิทยุ และอุปกรณ์อื่นๆ Transient นี้ถูกจำกัดได้ด้วยอุปกรณ์ที่มีชื่อว่าวารีสเตอร์



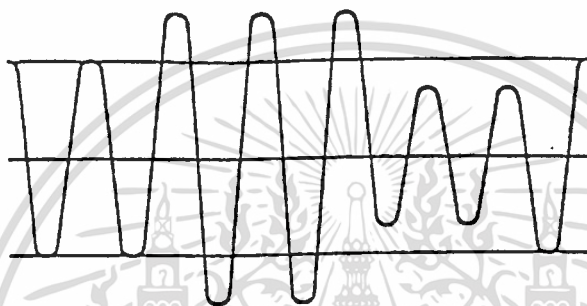
รูปที่ 2.9 แสดงรูปคลื่นสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า

2.3.4 ไฟฟ้ากระพริบ หรือไฟฟาดับ (Interruption) ลักษณะของไฟฟาดับ (Power-Failure) มีลักษณะคือ ไฟกระพริบทำให้เกิดการขาดหายไปของไฟฟาระยะสั้นๆ เช่นการ Trip ของระบบ Relay ของสถานีจ่ายไฟฟ้า ซึ่งจะเกิดเพียงระยะสั้นมาก อาจเพียงครึ่งไซเคิลถึงหนึ่งไซเคิล



รูปที่ 2.10 แสดงรูปคลื่นช่วงขณะไฟฟ้ากระพริบ หรือไฟฟาดับ

2.3.5 ไฟฟ้าตก และไฟฟ้าเกินอย่างต่อเนื่อง (Under and Over Voltage) คือเกิดจากการใช้ไฟฟ้าไม่เหมาะสมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสายส่งเดียวกัน ถ้าไฟฟ้าตกมักจะเกิดจากที่มีการใช้พลังงานมาก และแหล่งจ่ายพลังงานจำต้องลดแรงดันลง หรือที่เรียกว่า **Brown out** ซึ่งมีโวลตจมากเกินไป หรือสายไฟฟ้าเล็กไป โดยไฟฟ้าจะตกลงประมาณ 15% ส่วนไฟฟ้าเกินมักจะก่อให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ไฟฟ้า สาเหตุมาจากแหล่งจ่ายไฟผิดปกติ หรือโวลตจมีน้อยเกินไป



รูปที่ 2.11 แสดงรูปคลื่นไฟฟ้าตก และไฟฟ้าเกินอย่างต่อเนื่อง

## บทที่ 3

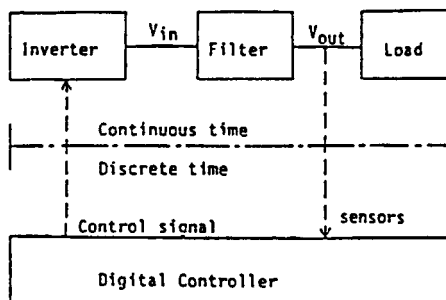
### ทฤษฎีการควบคุมแบบเดทบีท

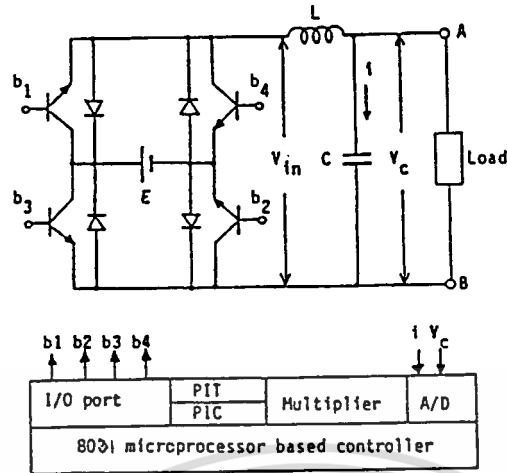
#### 3.1 บทนำ

ในบทนี้จะมีการพิสูจน์ทฤษฎีการควบคุมแบบเดทบีท จากวงจรอินเวอร์เตอร์กับ LC ฟิลเตอร์ และ โหลดความต้านทาน จะอยู่ในรูปแบบของการแฉมปลิ่ง และป้อนกลับแบบดิจิตอล ซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่เป็นเชิงเส้น แต่สามารถทำให้เป็นเชิงเส้นได้ โดยวงจรจะอยู่ในอันดับที่ 2 ในเวลาต่อเนื่อง ดังนั้นสามารถเขียนในรูปตัวแปรสแตท  $V$  และ  $\dot{V}$  ได้ เพื่อหาค่าความกว้างพัลส์  $\Delta T$  ซึ่งการควบคุมแบบนี้เรียกว่า ไมโครโปรเซสเซอร์เดทบีทคอนโทรล (microprocessor deadbeat control) [2] ค่าความกว้างพัลส์  $\Delta T$  ในการควบคุมแบบเดทบีทจะใช้ทั้งรูปแบบพัลส์เดียว และพัลส์คู่ ทำงานร่วมกัน เพื่อขยายความกว้างพัลส์ให้เท่ากับช่วงเวลาในการแฉมปลิ่ง ทำให้แอมพลิจูดของแรงดันเอาต์พุตเพิ่มขึ้น สำหรับพัลส์เดียว ความกว้างของพัลส์ถูกจำกัดด้วยเวลาที่ไมโครโปรเซสเซอร์ใช้ในการคำนวณ ซึ่งความกว้างพัลส์ที่มากที่สุดจะน้อยกว่า 1 ช่วงของการแฉมปลิ่งและข้อจำกัดนี้ทำให้แอมพลิจูดของแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลงน้อยกว่าไฟตรงที่จ่ายให้ กับอินพุตของอินเวอร์เตอร์สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการใช้ รูปแบบพัลส์คู่ ตามที่อัลกอริทึมควบคุมการแก้ปัญหา ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

#### 3.2 ฟิลเตอร์ของอินเวอร์เตอร์

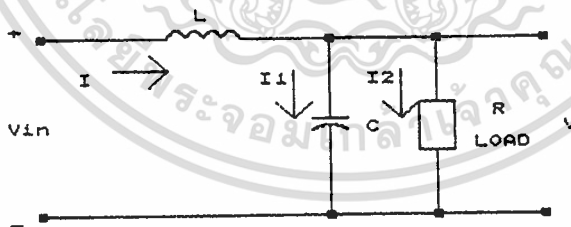
บล็อกไดอะแกรมของ การควบคุมแบบเดทบีทในรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย บริดจ์อินเวอร์เตอร์, LC ฟิลเตอร์, และโหลดความต้านทาน ซึ่งเป็นระบบการป้อนกลับแบบดิจิตอล โดยใช้ ไมโครโปรเซสเซอร์ ควบคุมการสวิตช์ที่อินเวอร์เตอร์ ให้แรงดันเอาต์พุตไซน์ เท่ากับแรงดันไซน์ อ้างอิง





รูปที่ 3.2 วงจร PWM อินเวอร์เตอร์ กับ ฟิลเตอร์

ในรูปที่ 3.2 วงจร PWM อินเวอร์เตอร์ในรูปวงจรกำลัง ประกอบด้วย LC ฟิลเตอร์ และ โหลดความต้านทาน B เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงที่จ่ายให้ กับอินพุตของอินเวอร์เตอร์ และ  $V_{in}$  เป็น สัญญาณพีคดับลิวเอ็ม 3 ระดับ เพราะฉะนั้นวงจรนี้จะอยู่ในรูปที่ไม่เป็นเชิงเส้น แต่สามารถทำให้ เป็นเชิงเส้นได้ โดยวงจรฟิลเตอร์จะอยู่ในอันดับที่ 2 ในเวลาต่อเนื่อง ส่วนกระแส และแรงดันจะ ตรวจจับมาในรูปตัวแปรสแตก ดังนั้นสามารถเขียนสมการในรูปตัวแปรสแตก  $V$  และ  $\dot{V}$  ได้จาก วงจรรูปที่ 3.3 ดังนี้



รูปที่ 3.3 วงจรฟิลเตอร์ และโหลด

$$V_{in} = LC \ddot{V} + \frac{L}{R} \dot{V} + V \quad (3.1)$$

$$\ddot{V} = -\frac{V}{LC} - \frac{1}{RC} \dot{V} + \frac{1}{LC} V_{in} \quad (3.2)$$

จะได้ตัวแปรสแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} \dot{v} \\ \ddot{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{LC} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \dot{v} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{LC} \end{bmatrix} v_{in} \quad (3.3)$$

จะต้องใช้คาบเวลาของการแซมปลิ่งให้น้อยกว่าความถี่รีโซแนนท์  $T \ll 2\pi\sqrt{LC}$  และสามารถกำหนดสเปคต โดยการเปลี่ยนสมการ (3.3) เป็น (3.4) ส่วน  $\Delta T$  คือความกว้างพัลส์ ตามรูปแบบพัลส์เดียว และรูปแบบพัลส์คู่ที่จะกล่าวถึงในภายหลัง

$$\begin{bmatrix} v(k+1) \\ \dot{v}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} \\ \phi_{21} & \phi_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v(k) \\ \dot{v}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \end{bmatrix} \Delta T \quad (3.4)$$

โดยที่  $\phi_{ij}$  คือส่วนประกอบหนึ่งของ  $e^{AT}$

$$\phi_{ij} = e^{AT} = 1 + AT + \frac{1}{2!} A^2 T^2 + \frac{1}{3!} A^3 T^3 + \dots \quad (3.5)$$

$g_1$  คือส่วนประกอบหนึ่งของ  $e^{\frac{AT}{2}} bE$

$v(k), \dot{v}(k)$  และ  $\Delta T(k)$  คือเป็นค่าเวลาการแซมปลิ่งที่  $t=kT$

$V_{ref}(k+1)$  คือ สัญญาณอ้างอิงรูปคลื่นไซน์  $V_{ref}(k+1) = V_m \sin(2\pi k/N)$

$N$  = จำนวนครั้งในการแซมปลิ่ง ต่อ 1 คาบเวลา

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{LC} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{LC} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

จากสมการที่ (3.4) หาค่าแรงดันที่เอาต์พุต  $v(k+1)$  เป็น  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v(k+1) = \phi_{11}v(k) + \phi_{12}\dot{v}(k) + g_1\Delta T(k) \quad (3.7)$$

ถ้าให้ แรงดันเอาต์พุต  $v(k+1)$  มีค่าเท่ากับ แรงดันอ้างอิง  $V_{ref}(k)$  ที่  $(k+1)$  ช่วงการ แชนเปลี่ยง จะได้ค่า  $T$  ดังนี้

$$\Delta T(k) = -\frac{\phi_{11}}{g_1}v(k) - \frac{\phi_{12}}{g_1}\dot{v}(k) + \frac{V_{ref}(k+1)}{g_1} \quad (3.8)$$

สมการที่ (3.8) คือกฎการควบคุมเดทิมิท และกำหนดให้  $\Delta T(k)$  คือความกว้างของพัลส์ที่ทำให้ ได้รูปคลื่นไซน์

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

$$\dot{v}(k) = \frac{i(k)}{C} \quad (3.9)$$

นำสมการ (3.9) แทนใน (3.8) จะได้

$$\Delta T(k) = -\frac{\phi_{11}}{g_1}v(k) - \frac{\phi_{12}}{Cg_1}i(k) + \frac{V_{ref}(k+1)}{g_1} \quad (3.10)$$

เขียนสมการ  $T(k)$  ใหม่ในรูปค่าคงที่ จะได้

$$\Delta T(k) = -h_1v(k) - h_2i(k) + h_3V_{ref}(k+1) \quad (3.11)$$

ใช้ Z transform หาค่า  $V(z)$  ในรูป  $I(z)$ , ส่วน  $V_{ref}(z)$  นำสมการ (3.9) แทนใน (3.7)

$$v(k+1) = \phi_{11}v(k) + \frac{\phi_{12}}{C}i(k) + g_1\Delta T(k) \quad (3.12)$$

ทำการแปลง Z (Z transform)  $v(k+1)$  กับ  $\Delta T(k)$  ในสมการที่ (3.12)และ(3.11) สมการใหม่จะได้

$$Z|v(k+1)|$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$ZV(z) = \phi_{11}V(z) + \frac{\phi_{12}}{C}I(z) + g_1\Delta T(z) \quad (3.13)$$

$$\text{การแปลง Z สมการ (3.11)} \quad Z|\Delta T(k)| \quad (3.14)$$

นำ (3.14) แทนใน (3.13) จะได้สมการใหม่เป็น

$$ZV(z) = \phi_{11}V(z) + \frac{\phi_{12}}{C}I(z) + g_1(-h_1V(z) - h_2I(z) + Zh_3V_{ref}(z))$$

$$ZV(z) - \phi_{11}V(z) + g_1h_1V(z) = \left(\frac{\phi_{12}}{C} - g_1h_2\right)I(z) + g_1Zh_3V_{ref}(z)$$

$$(Z + g_1h_1 - \phi_{11})V(z) = \left(\frac{\phi_{12}}{C} - g_1h_2\right)I(z) + g_1Zh_3V_{ref}(z)$$

$$V(z) = \frac{\frac{\phi_{12}}{C} - g_1h_2}{z - (\phi_{11} - g_1h_1)}I(z) + \frac{g_1h_3z}{z - (\phi_{11} - g_1h_1)}V_{ref}(z) \quad (3.15)$$

เมื่อแทน  $h_1 = \phi_{11}/g_1$ ,  $h_2 = \phi_{12}/Cg_1$  และ  $h_3 = 1/g_1$  ใน (3.11) มีค่าเท่ากับสัมประสิทธิ์ของ  $v(k)$ ,  $i(k)$  และ  $V_{ref}(k+1)$  ใน(3.10) ดังนั้น(3.15) จะได้สมการที่ (3.16)

$$V(z) = V_{ref}(z) \quad (3.16)$$

สมการที่ (3.15) แสดงการแปลงฟังก์ชันจาก  $I(z)$  ไปยัง  $V(z)$  และจาก  $V_{ref}(z)$  ไปยัง  $V(z)$  ซึ่งมีโพลที่จุดเดียวกันคือที่  $\phi_{11} - g_1h_1$  หรือ  $h_1 = \phi_{11}/g_1$

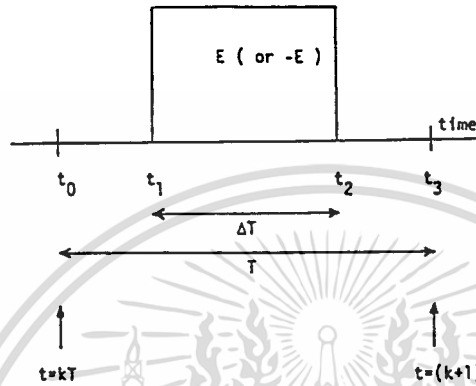
### 3.3 รูปแบบเดทบีท

#### 3.3.1 รูปแบบพัลส์เดียว ของ PWM

จากรูปแบบพัลส์เดียว สามารถกำหนดรูปคลื่นของ  $V_{in}$  ได้ในรูปแบบเวลาไม่ต่อเนื่อง (discreat time model) และ  $\Delta T(k)$  คือความกว้างของพัลส์ ที่คำนวณได้จากกฎการควบคุมแบบเดทบีท ซึ่งมีแอมพลิจูด เป็น  $+B$ ,  $0$  และ  $-B$  ส่วน  $T$  คือคาบเวลาการแซมปลิง (sampling-interval) โดยใน 1 รอบความถี่  $50 \text{ Hz}$  ของแรงดันรูปคลื่นไซน์จะถูกแบ่งเป็น  $N$  ส่วน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

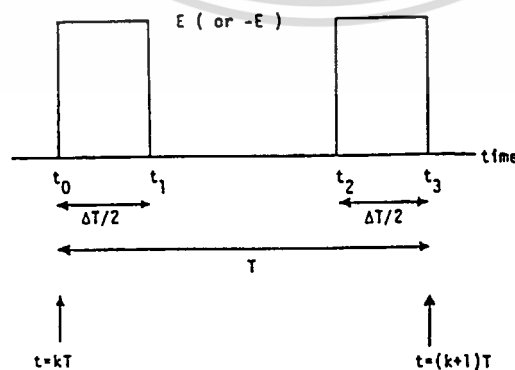
สมมติตัวอย่างเช่น  $N=30$  ดังนั้น  $k = 0\sim 29$  จะได้  $T = 1/(N)(f) = 1/30(50 \text{ Hz}) = 666 \mu\text{S}$   
ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในบทต่อไปในหัวข้อการออกแบบระบบ



รูปที่ 3.4 รูปแบบพัลส์เดี่ยวของ PWM

### 3.3.2 รูปแบบพัลส์คู่ของ PWM

สำหรับพัลส์เดี่ยว ความกว้างของพัลส์ถูกจำกัดด้วยเวลาที่ไมโครโปรเซสเซอร์ ใช้ในการคำนวณ ซึ่งความกว้างของพัลส์ที่มากที่สุดจะน้อยกว่า 1 ช่วงของการแฉมปลีง และข้อจำกัดนี้ทำให้แอมพลิจูดของแรงดันเอาต์พุต มีค่าลดลงน้อยกว่าไฟตรงที่จ่ายให้ กับอินพุตของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งรูปแบบพัลส์คู่ สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการใช้อัลกอริทึมควบคุมการแก้ปัญหา



รูปที่ 3.5 รูปแบบพัลส์คู่ของ PWM

### 3.4 พิสูจน์สมการสเตทของรูปแบบพัลส์เดียว และพัลส์คู่

แสดงการพิสูจน์ รูปแบบพัลส์คู่ในรูปที่ 3.5 แต่ละลูกจะมีความกว้าง  $\Delta T/2$  ซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของรูปแบบพัลส์เดียว ดังนั้นรูปแบบพัลส์คู่จึงมีสมการสมการสเตทที่มีช่วงของการแซมปลิง (discret time state equation) เหมือนกันกับรูปแบบพัลส์เดียว โดยทั่วไปโดเมนของเวลาต่อเนื่องจะมีสมการสเตท

$$\dot{x} = Ax + bu \quad (3.11)$$

เมื่อ  $x$  เป็นเวกเตอร์สเตท

$u$  เป็นสเกลาร์อินพุท

$A$  เป็นนอนซิงกูลาร์เมตริก

สำหรับ  $0 \leq t \leq T$  จะเป็น

$$x(t) = e^{At} x_0 + \int_0^t e^{A(t-\tau)} bu(\tau) d\tau \quad (3.12)$$

เมื่อ  $x_0$  เป็นสภาวะเริ่มต้น ที่  $t=0$

ถ้า อินพุท  $u$  เป็นค่าคงที่สำหรับ  $0 \leq t \leq T$  ดังนั้น สมการที่(3.12) ที่  $t=T$  จะได้สมการนี้

$$x(T) = e^{AT} x_0 + A^{-1}(e^{AT} - 1)bu \quad (3.13)$$

ใช้สมการที่ (3.13), สมการสเตทกับอินพุทในรูปแบบพัลส์เดียว

พิจารณารูปที่ 3.4 รูปแบบพัลส์เดียวจากช่วง  $0 \leq t \leq t_1$   $u=0$  ที่  $t=t_1$

$$x(t_1) = e^{At_1} x_0 + \int_0^{t_1} e^{A(t_1-\tau)} bu(\tau) d\tau$$

$$\text{เมื่อ } B=0 \quad = e^{At_1} x_0 - A^{-1}|e^{A(t_1-\tau)}|bE$$

ในช่วง  $t_1 \leq t \leq t_2$  เมื่อ  $u=B$  ที่  $t=t_2$

$$\begin{aligned} x(t_2) &= e^{A(t_2-t_1)} x(t_1) + \int_{t_1}^{t_2} e^{A(t-\tau)} b u(\tau) d\tau \\ &= e^{A(t_2-t_1)} e^{A t_1} x_0 - A^{-1} [e^{A(t_2-t_1)} - 1] b E \\ &= e^{A t_2} x_0 - A^{-1} (e^{A(t_2-t_1)} - e^{A(t_2-t_1)}) b E \\ &= e^{A t_2} x_0 - A^{-1} (1 - e^{A \Delta T}) b E \end{aligned}$$

$$x(t_2) = e^{A t_2} x_0 + A^{-1} (e^{A \Delta T} - 1) b E$$

ในช่วง  $t_2 \leq t \leq T$  เมื่อ  $u=0$  ที่  $t=t_3$

$$\begin{aligned} x(t_3) &= e^{A(t_3-t_2)} x(t_2) \\ &= e^{A(t_3-t_2)} (x_0 e^{A t_2} + A^{-1} (e^{A \Delta T} - 1) b E) \\ &\dots \\ x(t_3) &= e^{A T} x_0 + e^{\frac{A(T-\Delta T)}{2}} A^{-1} (e^{A \Delta T} - 1) b E \end{aligned}$$

$$\text{ถ้า } e^{\frac{A \Delta T}{2}} = 1 + \frac{A \Delta T}{2} + \frac{A^2 (\Delta T / 2)^2}{2} + \dots$$

$$\begin{aligned} x(t_3) &= e^{A T} x_0 + e^{\frac{A T}{2} - \frac{A \Delta T}{2}} A^{-1} (e^{A \Delta T} - 1) b E \\ &= e^{A T} x_0 + A^{-1} (e^{\frac{A T}{2} - \frac{A \Delta T}{2} + A \Delta T} - e^{\frac{A T}{2} - \frac{A \Delta T}{2}}) b E \\ &= e^{A T} x_0 + A^{-1} (e^{\frac{A T}{2} + \frac{A \Delta T}{2}} - e^{\frac{A T}{2} - \frac{A \Delta T}{2}}) b E \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูในวงที่  $e^{\frac{A T}{2}} (e^{\frac{A \Delta T}{2}} - e^{-\frac{A \Delta T}{2}})$  อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= e^{AT} x_0 + A^{-1} \left( e^{\frac{AT}{2}} A \Delta T \right) bE$$

$$x(t_3) = e^{AT} x_0 + e^{\frac{AT}{2}} \Delta T bE$$

เมื่อ  $(k+1)T=t_3$  และ  $kT=t_0$  จะได้สมการดังนี้

$$x((k+1)T) = e^{AT} x(kT) + e^{\frac{AT}{2}} bE \Delta T \quad (3.14)$$

จะเห็นว่าเป็นรูปแบบของสมการสเตท สมการที่(3.4) [2]

ส่วนรูปแบบพัลส์คู่ จะมีรูปแบบสมการสเตทดังนี้

พิจารณารูปที่ 3 รูปแบบพัลส์คู่จากช่วง  $0 \leq t \leq t_1$   $u=E$  ที่  $t=t_1$

$$\begin{aligned} x(t_1) &= e^{At_1} x_0 + \int_0^{t_1} e^{A(t_1-\tau)} b u(\tau) d\tau \\ &= e^{At_1} x_0 - A^{-1} \left[ e^{A(t_1-\tau)} \right] bE \\ &= e^{At_1} x_0 - A^{-1} (e^{A(t_1-t_1)} - e^{A(t_1-0)}) bE \\ &= e^{At_1} x_0 + A^{-1} (e^{At_1} - 1) bE \end{aligned}$$

เมื่อ  $t_1=t_0$  แต่  $t_0=0$

$$x(t_1) = e^{At_1} x_0 + A^{-1} (e^{\frac{A\Delta T}{2}} - 1) bE$$

ในช่วง  $t_1 \leq t \leq t_2$  เมื่อ  $u=0$  ที่  $t=t_2$

$$x(t_2) = e^{A(t_2-t_1)} x(t_1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น  $t_2 - t_1 = T - \left(\frac{\Delta T}{2} + \frac{\Delta T}{2}\right) = T - \Delta T$

$$x(t_2) = e^{At_2} x_0 + e^{A(T-\Delta T)} A^{-1} \left( e^{\frac{A\Delta T}{2}} - 1 \right) bE$$

ในช่วง  $t_2 \leq t \leq T$  เมื่อ  $u=E$  ที่  $t=t_3$

$$\begin{aligned} x(t_3) &= e^{A(t_3-t_2)} x(t_2) + \int_{t_2}^{t_3} e^{A(t-\tau)} b u(\tau) d\tau \\ &= e^{A(t_3-t_2)} \left( e^{At_2} x_0 + e^{A(T-\Delta T)} A^{-1} \left( e^{\frac{A\Delta T}{2}} - 1 \right) bE - A^{-1} \left| e^{A(t-\tau)} \right| bE \right) \\ &= e^{AT} x_0 + e^{\frac{A\Delta T}{2}} e^{A(T-\Delta T)} A^{-1} \left( e^{\frac{A\Delta T}{2}} - 1 \right) bE \\ &\quad + A^{-1} \left( e^{\frac{A\Delta T}{2}} - 1 \right) bE - A^{-1} \left( e^{A(t_3-t_2)} \right) bE - e^{A(t_3-t_2)} bE \\ &= e^{AT} x_0 + e^{\frac{A\Delta T}{2}} e^{A(T-\Delta T)} A^{-1} \left( e^{\frac{A\Delta T}{2}} - 1 \right) bE + A^{-1} \left( e^{A\Delta T} - 1 \right) bE \\ &= e^{AT} x_0 + e^{\frac{A\Delta T}{2} + \Delta T - A\Delta T} A^{-1} \left( e^{\frac{A\Delta T}{2}} - 1 \right) bE + A^{-1} \left( e^{\frac{A\Delta T}{2}} - 1 \right) bE \\ &= e^{AT} x_0 + e^{AT - \frac{A\Delta T}{2}} A^{-1} \left( e^{\frac{A\Delta T}{2}} - 1 \right) bE + A^{-1} \left( e^{\frac{A\Delta T}{2}} - 1 \right) bE \\ &= e^{AT} x_0 + A^{-1} \left( e^{\frac{A\Delta T}{2}} - 1 \right) bE \left( 1 + e^{AT - \frac{A\Delta T}{2}} \right) \end{aligned}$$

$$x(t_3) = e^{AT} x_0 + A^{-1} \left( e^{\frac{A\Delta T}{2}} - 1 \right) \left( e^{\Delta T - \frac{A\Delta T}{2}} + 1 \right) bE \quad (3.15)$$

แปลงสมการ (3.15) จะได้

$$x((k+1)T) = e^{AT} x(kT) + e^{\frac{AT}{2}} bE\Delta T \quad (3.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (3.14) และ(3.16) แสดงรูปแบบของสมการสเตท ของวงจร PWM อินเวอร์เตอร์ กับฟิลเตอร์ รูปที่ 3.2 และของรูปแบบพัลส์เดียว กับรูปแบบพัลส์คู่ เหมือนกัน ดังนั้นสมการของรูปแบบพัลส์ทั้งสอง สามารถใช้สมการสเตท (state equation) เดียวกันได้ [2]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การออกแบบสร้างแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง

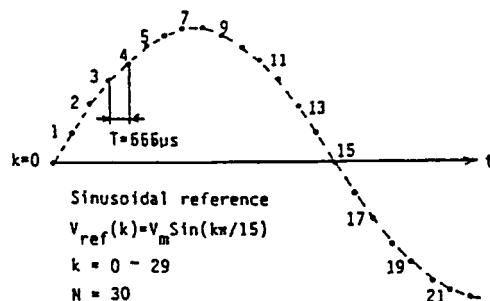
#### 4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสร้างแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่องเริ่มจากการออกแบบระบบในการกำหนดค่าต่าง ๆ เช่นจำนวนการแซมปลิงใน 1 คาบเวลา ของสัญญาณไซน์อ้างอิง และการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำให้มีความถี่คัตออฟ(cut off) ที่ฮาร์โมนิกส์ที่ 100Hz ขึ้นไป ดังนั้นต้องเลือกค่า L และ C ที่เหมาะสมไม่ให้เกิดฮาร์โมนิกส์ เพื่อให้ทำงานมีความเสถียรภาพต่อโหลด โดยที่เอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ยังมีรูปคลื่นไซน์ มีค่าแรงดันเร็กกูเลชันที่ดี ในการสร้างสัญญาณพัลส์ โดยคำนวณความกว้างพัลส์  $\Delta T$  และขั้นตอนการเลือกใช้รูปแบบพัลส์เดี่ยว หรือพัลส์คู่ รวมถึงแสดงการจำลองระบบของเดบิท และแสดงโพลีชาร์ตการทำงานของระบบควบคุมอินเวอร์เตอร์ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ ส่วนในหัวข้อท้ายบทนี้เราจะกล่าวถึงรายละเอียดของวงจรต่างๆที่ใช้ควบคุมและวงจรป้องกัน พร้อมกับอธิบายการทำงานของแต่ละวงจร รวมถึงชิ้นงานวิทยานิพนธ์ และเปรียบเทียบผลการทดลองของทั้ง 2 แบบ

#### 4.2 การออกแบบระบบ

##### 4.2.1 สัญญาณไซน์อ้างอิง

จากรูปที่ 4.1 สัญญาณไซน์อ้างอิง (Sinusoidal reference) ใน 1 รอบความถี่ 50Hz เราต้องการจำนวนครั้งการแซมปลิง  $N=30$  ครั้งต่อ 1 คาบเวลา ของสัญญาณไซน์อ้างอิง ดังนั้นสัญญาณไซน์อ้างอิงจะถูกแบ่งเป็น  $N$  ส่วน การกำหนดจำนวนครั้งของการแซมปลิง  $N$  ครั้งสูง ๆ จะแก้ผลรวมของสัญญาณรบกวนทางฮาร์โมนิกส์ได้ดี แต่จะเกิดความสูญเสียจากการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์มากขึ้น เพราะฉะนั้นจึงออกแบบให้จำนวนการแซมปลิงเท่ากับ 30 ครั้ง



$$\text{สมการสัญญาณไซน์อ้างอิง } V_{mf(k)} = V_m \sin\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \quad (4.1)$$

ส่วนค่า  $V_m$  แรงดันกระแสตรง ที่จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์

$T$  คือคาบเวลาของการแซมปลิง

$N$  คือจำนวนครั้งของการแซมปลิง

$f$  คือความถี่ 50Hz

$$\text{ดังนั้นจะได้ช่วง } k = 0 \sim 29 \quad \text{และ } T = \frac{1}{Nf}$$

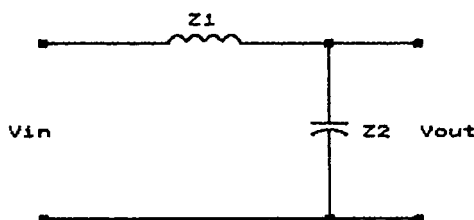
$$T = \frac{1}{(30)(50\text{Hz})}$$

$$T = 666 \mu\text{S}$$

เราต้องการแรงดันไซน์ที่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ให้มีแรงดันกระแสลับ 220VAC ที่จ่ายให้กับโหลดเพราะฉะนั้นจะต้องจ่ายแรงดันกระแสตรงให้กับอินเวอร์เตอร์  $\frac{220V_{rms}}{\sqrt{2}} = 310\text{VDC}$

#### 4.2.2 การออกแบบฟิลเตอร์ของอินเวอร์เตอร์

ฟิลเตอร์ของอินเวอร์เตอร์ ในรูปที่ 3.2 ในบทที่ 3 ที่ใช้กฎการควบคุมแบบเคบิทจะเป็นฟิลเตอร์แบบอันดับที่ 2 (second order filter) ฟิลเตอร์นี้จะทำหน้าที่กรองความถี่ต่ำและปรับปรุงรูปคลื่นของเอาต์พุต ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (square wave) ให้เป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ฟิลเตอร์แบบอันดับที่ 2 นี้จะมีฮาร์โมนิกส์ประมาณ 5% ที่โหลดได้ [10] รูปวงจรฟิลเตอร์ของอินเวอร์เตอร์ จะประกอบไปด้วย  $Z_1$  ซึ่งเป็นอิมพีแดนซ์อนุกรม ส่วน  $Z_2$  จะเป็นอิมพีแดนซ์ขนาน โดยที่ อิมพีแดนซ์อนุกรม  $Z_1$  จะช่วยลดฮาร์โมนิกส์ทางโวลต์เตจ ขณะที่อิมพีแดนซ์อนุกรม  $Z_2$  จะช่วยลดฮาร์โมนิกส์ทางกระแส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.2 วงจรฟิลเตอร์ของอินเวอร์เตอร์  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามค่า  $L$  และ  $C$  ของวงจรกรองความถี่ต่ำ มีผลต่อสัญญาณไซน์ของระบบอินเวอร์เตอร์ โดยที่ค่า  $L$  มากและ ค่า  $C$  น้อย จะทำให้โวลต์เดจเร็กกูเลชั่น (voltage regulation) สัญญาณไซน์ของระบบอินเวอร์เตอร์ไม่ดี แต่เป็นการลดโวลต์ของอินเวอร์เตอร์ ขณะที่ใช้ค่า  $L$  น้อยๆ ค่า  $C$  มากๆ จะทำให้โวลต์เดจเร็กกูเลชั่นดี แต่เป็นการเพิ่มภาระโวลต์ให้กับอินเวอร์เตอร์ จากวงจรกรองความถี่ต่ำที่แสดงในรูปที่ 4.2 ค่าอิมพีแดนซ์ของ  $L$  และ  $C$  หาได้จากสมการดังนี้

$$Z_1 = j L \quad (4.2)$$

$$Z_2 = \frac{1}{j\omega C} \quad (4.3)$$

โดยที่  $V_{IN}$  เป็นแรงดันอินพุตซึ่งประกอบด้วย แรงดันพื้นฐาน (fundamental voltage) และองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ต่างๆ ส่วน  $V_{out}$  เป็นเอาต์พุตของวงจรกรองความถี่ ซึ่งจากรูปวงจรกรองความถี่ต่ำจะทำหน้าที่เสมือน voltage divider ที่ลดฮาร์โมนิกส์ที่  $n$  ตามสมการ

$$f_{(n)} = \frac{V_{out(n)}}{V_{in(n)}} = \frac{Z_{2(n)}}{Z_{1(n)} + Z_{2(n)}}$$

จะได้ 
$$f_{(n)} = \frac{1}{1 + Z_{1(n)} Y_{2(n)}} \quad (4.4)$$

จากสมการของ  $f_{(n)}$  จะเห็นว่าวงจรกรองความถี่ต่ำที่ดี หรือออกแบบได้เหมาะสมแล้วจะทำให้แรงดันเร็กกูเลชั่นที่ดี หรือลดแรงดันพื้นฐานเพียงเล็กน้อย กล่าวได้ว่า

$$f_1 = 1$$

หรือที่ แรงดันพื้นฐาน (Voltage Fundamental)

$$Z_{1(n)} Y_{2(n)} = 0$$

ขณะที่สามารถลดอันดับฮาร์โมนิกส์ที่  $n$  ได้มาก ๆ หรือ  $f_{(n)} \ll 1$  ทำให้เข้าใกล้ศูนย์  
เมื่อ  $n > 1$

$$Z_{1(n)} Y_{2(n)} = \infty$$

การคำนวณหาค่า  $L$  และ  $C$  ในวงจรกรองความถี่ต่ำต้องอาศัยสมการ (4.2), (4.3) และ (4.4) เพื่อให้ได้ค่า  $L$  และ  $C$  ที่เหมาะสม โดยที่อินเวอร์เตอร์ยังมีรูปคลื่นเอาต์พุตและค่าแรงดันเร็กกูเลชันที่ดี โดยให้วงจรกรองความถี่ต่ำมีความถี่ cutoff ที่ฮาร์โมนิกส์ที่ 100Hz ขึ้นไป

จาก

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

กำหนดให้  $C = 50\mu\text{F}$  และ  $f_c = 100 \text{ Hz}$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C}$$

$$= \frac{1}{4\pi^2 (100)^2 (50 \times 10^{-6})}$$

$$= 50 \text{ mH}$$

(4.5)

แทนค่า  $L$  และ  $C$  ในสมการที่ (4.3)

$$f_1 = \frac{1}{1 + \omega L \omega C}$$

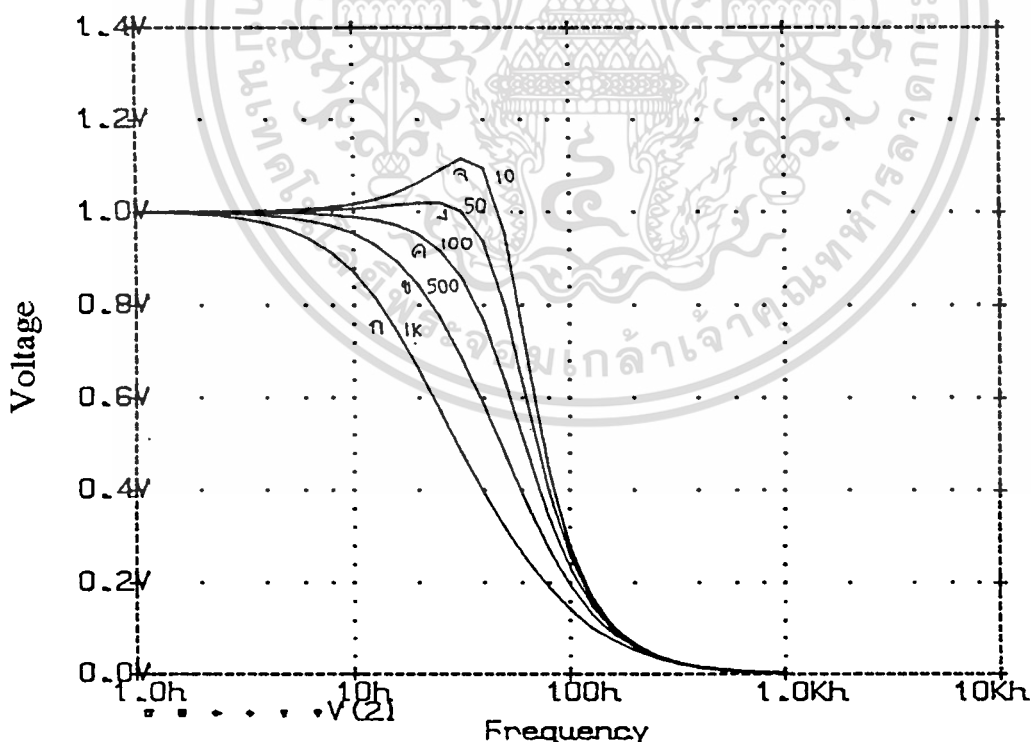
$$= \frac{1}{[1 + (2\pi 50 \times 50 \times 10^{-3})(2\pi 50 \times 50 \times 10^{-6})]}$$

$$= 0.8$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{และ } f_n &= \frac{1}{[1+(n\omega L)(n\omega C)]} \\
 &= \frac{1}{[1+(100 \times 2\pi \times 50 \times 50 \times 10^{-3})(100 \times 2\pi \times 50 \times 50 \times 10^{-6})]} \\
 &= 0.0004
 \end{aligned}$$

จากการคำนวณ ค่า  $f_1, f_n$  โดยใช้ค่า  $L = 50 \text{ mH}$  และ  $C = 50 \text{ uF}$  จะได้ค่า  $f_1$  เข้าใกล้ 1 และ  $f_n$  เข้าใกล้ 0 ซึ่งหมายความว่าวงจรกรองความถี่ต่ำจะได้ผลตามทฤษฎี และคาบเวลาการชาร์จก็น้อยกว่าความถี่รีโชนนัท  $T \ll 2\pi\sqrt{LC}$  เพื่อให้โพลมีเสถียรภาพในการทำงาน และกำจัดฮาร์โมนิกที่ไม่ต้องการออกไป ดังนั้นจึงได้ใช้โปรแกรม PSPICE ทำการสังเคราะห์ความถี่ เพื่อดูผลตอบสนองของความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำ ซึ่งได้ผลตอบสนองของความถี่ออกมาจะสามารถกำจัดฮาร์โมนิกที่ไม่ต้องการออกไปจากวงจรกรองความถี่ต่ำได้

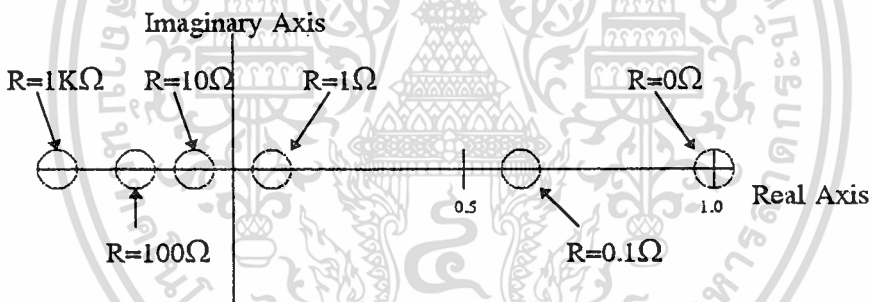


รูปที่ 4.3 แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 แสดงผลตอบสนองของความถี่ (Response Frequency) ของวงจรกรองความถี่ต่ำ ที่  $L=50\text{mH}$ ,  $C=50\mu\text{F}$  กับ โหลดความต้านทาน  $R$  ค่าต่างๆ ที่ความถี่ใช้งาน  $50\text{Hz}$  จะเห็นว่าผลตอบสนองของความถี่เส้น ก และ ข ซึ่งรูปกราฟแสดงเป็น โหลดความต้านทานในช่วง  $1\text{K}\Omega$  ถึง  $500\Omega$  จะทำให้ระบบไม่เสถียรภาพ (Unstable) แต่การกรองความถี่ค่อนข้างที่จะไม่ตรงตามที่ต้องการ ส่วนในเส้นกราฟรูป ค เป็นรูปที่ออกแบบวงจรกรองความถี่กับ โหลดที่มีความต้านทาน  $100\Omega$  แต่ไม่เกิน  $500\Omega$  ระบบจะเสถียรภาพดีที่สุด และกรองความถี่ได้ตามที่ออกแบบ ส่วนผลการตอบสนองของความถี่เส้น ง กับ จ โหลดจะมีความต้านทานเป็น  $50\Omega$  และ  $10\Omega$  ตามลำดับ ผลคือระบบจะเกิด โอเวอร์ชูด (Over Shoot) มาก นั่นคือระบบจะเริ่มไม่เสถียรภาพเกิดขึ้น และให้ผลการกรองความถี่ไม่ตรงตามการออกแบบด้วยเช่นกัน

ในบทที่ 3 ได้มีการพิสูจน์ที่มาของกฎการควบคุมแบบเดทปีทและได้ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันจาก  $I(z)$  ไปยัง  $V(z)$  และจาก  $V_{\text{ref}}(z)$  ไปยัง  $V(z)$  ซึ่งมีโพลที่จุดเดียวกันคือที่  $\phi_{11} - g_1 h_1$  หรือ  $h_1 = \frac{\phi_{11}}{g_1}$



รูปที่ 4.4 แสดงทางเดินรากบน Z plan ที่  $L=50\text{mH}$ ,  $C=50\mu\text{F}$

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าระบบนี้ไม่ว่าต่อการเปลี่ยนแปลงโหลด  $R$  ระบบจะมีเสถียรภาพตลอดค่า  $R$  แต่จะไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของ  $L$ ,  $C$  ดังนั้นการออกแบบตัวฟิลเตอร์จะต้องให้ค่า  $L$ ,  $C$  ที่ระบบไม่มีผลต่อโหลด  $R$  และมีเสถียรภาพที่ค่า  $L$ ,  $C$

#### 4.2.3 การเลือกรูปแบบพัลส์

ในทางปฏิบัติกฎการควบคุมในสมการที่ (3.10) ตามความเป็นจริงอุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์ เราต้องการคำนวณขอบเขตของเวลา  $T_s$  เริ่มต้นจากที่  $kT$  ที่ทำการแซมปลิงทั้งแรงดัน  $v(k)$ , และกระแส  $i(k)$  ดังนั้นค่าที่แซมปลิงได้จะเป็นอนาลอกจะต้องแปลงเป็นดิจิตอล เพื่อนำไปคูณในสมการกฎการควบคุมแบบเดทปีทในสมการที่ (3.10) เพื่อคำนวณหาค่าความกว้างพัลส์  $\Delta T$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้  $T_d$  เป็นค่าหน่วงเวลาที่จะต้องคำนวณระหว่างการประมวลผลของไมโครโปรเซสเซอร์ เวลาที่ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส และเวลาที่ใช้ป้องกันการลัดวงจรของ ทรานซิสเตอร์ในวงจรอินเวอร์เตอร์ (Time lockout)

$$T_d = T_L + T_p$$

เมื่อ  $T_d$  เป็นค่าหน่วงเวลารวมทั้งหมด

$T_p$  เป็นค่าเวลาประมวลผล ของไมโครโปรเซสเซอร์ 59 ไมโครวินาที

$T_L$  เป็นค่าเวลาที่ใช้ป้องกันการลัดวงจร 5.4 ไมโครวินาที

เพราะฉะนั้น

$$T_d \approx 64 \mu\text{s}$$

และคาบเวลาของการแฉมปลิง  $T = 666 \mu\text{s}$

$$T_d \approx 10\%T$$

ความกว้างพัลส์สูงสุดในรูปแบบพัลส์เดี่ยว รูปที่ 3.4 จะได้

$$\Delta T_{\max} \leq T - 2T_d \quad (4.6)$$

เมื่อ  $D_1$  เป็นอัตราส่วนของคิวตี้ (Duty ratio) ของรูปแบบพัลส์เดี่ยว

$$0 \leq D_1 \leq \frac{T - 2T_d}{T} \quad (4.7)$$

$$0 \leq D_1 \leq 0.8$$

ดังนั้น การใช้รูปแบบพัลส์ สมการที่ (4.7) จะเป็นตัวกำหนดขีดจำกัดของแอมพลิจูดสูงสุดที่เอาท์พุท [2] และจะให้กำเนิดแอมพลิจูดสูงสุดของเอาท์พุทได้เต็มที่ ความกว้างพัลส์จะใหญ่เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับ  $T$  ในรูปแบบพัลส์คู่แสดงในรูปที่ 3.5 ความกว้างพัลส์สูงสุด  $\Delta T_{\max}$  จะไม่เปลี่ยนแปลง แต่จะต่ำสุดเป็น  $2T_d$  ดังนั้นอัตราส่วนของคิวตี้  $D_2$  ของรูปแบบพัลส์คู่รูปที่ 3.5 คือ  $D_2 = \frac{\Delta T_{\max}}{T}$

$$\frac{2T_d}{T} \leq D_2 \leq \quad (4.8)$$

ใช้ความสัมพันธ์ของสมการที่ (4.7) และ(4.8) ความแตกต่างของรูปแบบพัลส์ทั้งสองที่แสดงในรูปแบบพัลส์เดี่ยว และรูปแบบพัลส์คู่ ตามคุณสมบัติของอัลกอริทึมนำไปใช้กับขั้นตอนการควบคุมแก้ปัญหา เพื่อให้แอมพลิฟายเออร์ประกอบมูลฐานสูงขึ้น

ขั้นตอนการควบคุมแก้ปัญหา เมื่อ  $T_d$  มีค่า 10% ของ  $T$

$$0 \leq D_1 \leq 0.8, \quad 0.2 \leq D_2 \leq 1$$

1. ถ้า  $0 \leq \frac{V_{ref}}{E} \leq 0.8$  ใช้รูปแบบพัลส์เดี่ยว กับ  $E$
2. ถ้า  $0.8 \leq \frac{V_{ref}}{E}$  ใช้รูปแบบพัลส์คู่ กับ  $E$
3. ถ้า  $-0.8 \leq \frac{V_{ref}}{E} \leq 0$  ใช้รูปแบบพัลส์เดี่ยว กับ  $-E$
4. ถ้า  $\frac{V_{ref}}{E} \leq -0.8$  ใช้รูปแบบพัลส์คู่ กับ  $-E$

เมื่อ  $E$  คือ แรงดันกระแสตรง ที่จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์,  $V_{ref}$  คือแรงดันไซน์อ้างอิง

ในการหาค่าแรงดันไซน์อ้างอิง (voltage reference) ได้ในสมการที่ (3.1) และช่วงของการแซมปลิง เพื่อที่จะกำหนดว่าช่วงใดใช้รูปแบบพัลส์เดี่ยว หรือรูปแบบพัลส์คู่ โดยใช้โปรแกรมภาษาปาสคาล ช่วยในการคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ค่าแรงดันโหนดอ้างอิง ในแต่ละช่วงของการเขมปดิ่ง**

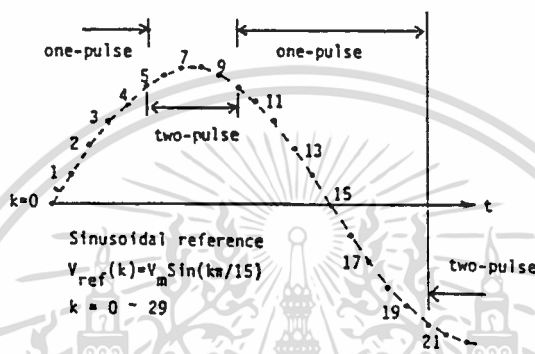
k	แรงดันอ้างอิง	k	แรงดันอ้างอิง	k	แรงดันอ้างอิง
1	64.453	11	230.375	21	-294.828
2	126.088	12	182.213	22	-308.302
3	182.213	13	126.088	23	-308.302
4	230.375	14	64.453	24	-294.828
5	268.468	15	0.000	25	-268.468
6	294.828	16	-64.453	26	-230.375
7	308.302	17	-126.088	27	-182.213
8	308.302	18	-182.213	28	-126.088
9	294.828	19	-230.375	29	-64.453
10	268.468	20	-268.468	30	0.000

**ค่าสำหรับเลือกรูปแบบพัลส์เดียว และพัลส์คู่**

k	Vref/E	k	Vref/E	k	Vref/E
1	0.208	11	0.743	21	-0.951
2	0.407	12	0.588	22	-0.995
3	0.588	13	0.407	23	-0.995
4	0.743	14	0.208	24	-0.951
5	0.886	15	0.000	25	-0.866
6	0.951	16	-0.208	26	-0.743
7	0.995	17	-0.407	27	-0.588
8	0.995	18	-0.588	28	-0.407
9	0.951	19	-0.743	29	-0.208
10	0.866	20	-0.866	30	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ใช้เลือกรูปแบบพัลส์เดี่ยว หรือรูปแบบพัลส์คู่ที่คำนวณมาจะเป็นขั้นตอนการควบคุม แก้ปัญหา โดยที่ค่า  $V_{ref}/E$  น้อยกว่าเท่ากับ 0.8 แต่มากกว่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งเป็นซีกบวกของแรงดัน ไซน์ที่เอาต์พุตกับค่า  $V_{ref}/E$  น้อยกว่าเท่ากับศูนย์ แต่มากกว่าเท่ากับ -0.8 ซึ่งเป็นซีกลบของแรงดัน ไซน์ที่เอาต์พุตจะใช้รูปแบบพัลส์เดี่ยว ถ้าค่า  $V_{ref}/E$  มากกว่าเท่ากับ 0.8 ซึ่งเป็นซีกบวกของแรงดัน ไซน์ที่เอาต์พุต และ  $V_{ref}/E$  น้อยกว่าเท่ากับ -0.8 ซึ่งเป็นซีกลบของแรงดัน ไซน์ที่เอาต์พุตจะใช้รูปแบบพัลส์คู่



รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งการเปลี่ยนรูปแบบพัลส์ตามคุณสมบัติของอัลกอริทึม

#### 4.2.4 การคำนวณค่าความกว้างพัลส์ จากกฎการควบคุมแบบเดทมีท

เราได้ทำการพิสูจน์สมการกฎการควบคุมแบบเดทมีท ในบทที่ 3 ได้สมการที่ (3.10) เพื่อที่จะมาคำนวณหาความกว้าง  $\Delta T$  โดยจะนำสัญญาณความกว้างพัลส์ไปป้อนให้กับวงจรขับเบสนำไปขับชุดวงจรอินเวอร์เตอร์

$$\Delta T(k) = -\frac{\phi_{11}}{g_1} v(k) - \frac{\phi_{12}}{Cg_1} i(k) + \frac{V_{ref}(k+1)}{g_1}$$

$$\phi_y = e^{AT} = 1 + \frac{1}{2}! A^2 T^2 + \frac{1}{3}! A^3 T^3 + \dots$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{-1}{LC} & \frac{-1}{RC} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{LC} \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A^2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{-1}{LC} & \frac{-1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{-1}{LC} & \frac{-1}{RC} \end{bmatrix}$$

$$A^2 = \begin{bmatrix} \frac{-1}{LC} & \frac{-1}{RC} \\ \frac{1}{RLC^2} & \frac{-1}{LC} + \frac{1}{R^2C^2} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{-1}{LC} & \frac{-1}{RC} \end{bmatrix}$$

$$A^2 = \begin{bmatrix} \frac{-1}{LC} & \frac{-1}{RC} \\ \frac{1}{RLC^2} & \frac{-1}{LC} + \frac{1}{R^2C^2} \end{bmatrix}$$

$$A^3 = \begin{bmatrix} \frac{1}{RLC^2} & \frac{-1}{LC} + \frac{1}{R^2C^2} \\ \frac{1}{L^2C^2} - \frac{1}{R^2LC^2} & \frac{1}{RLC^2} + \frac{1}{RL^2C} + \frac{-1}{R^3C^3} \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{-1}{LC} & \frac{-1}{RC} \end{bmatrix} T$$

$$+ \frac{1}{2}! \begin{bmatrix} \frac{-1}{LC} & \frac{-1}{RC} \\ \frac{1}{RLC^2} & \frac{-1}{LC} + \frac{1}{R^2C^2} \end{bmatrix} T^2$$

$$+ \frac{1}{3}! \begin{bmatrix} \frac{1}{RLC^2} & \frac{-1}{LC} + \frac{1}{R^2C^2} \\ \frac{1}{L^2C^2} - \frac{-1}{R^2LC^2} & \frac{1}{RLC^2} + \frac{1}{RL^2C} - \frac{1}{R^3C^3} \end{bmatrix} T^3$$

และ  $g_1 = e^{\frac{AT}{2}} bE$  จะหาได้โดยวิธีเดียวกันจะได้

$$e^{\frac{AT}{2}} = e^{At} = 1 + At + \frac{1}{2}! A^2 t^2 + \frac{1}{3}! A^3 t^3 + \dots \quad \left(t = \frac{T}{2}\right)$$

แทนค่า  $L = 50 \text{ mH}$  ,  $C = 50 \text{ uF}$  ,  $R = 100 \text{ ohm}$  ,  $E = 310 \text{ VDC}$  แต่ในที่นี้ได้เขียนโปรแกรมให้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณค่าจะได้ดังนี้

$$\phi_{11} = 0.91591062 \quad \phi_{12} = 0.00060929 \quad g_1 = 39808.83$$

เพราะฉะนั้น จากทฤษฎีสมการกฎการควบคุมแบบเดทบีท เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การดูแลของสถาบัน ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta T = \frac{-\phi_{11}}{g_1} v(k) - \frac{\phi_{12}}{C g_1} i(k) + \frac{V_{ref}(k+1)}{g_1}$$

$$\frac{\phi_{11}}{g_1} = 22.41 \times 10^{-6}, \quad \frac{\phi_{12}}{C g_1} = 313.2 \times 10^{-6}, \quad \frac{1}{g_1} = 24.54 \times 10^{-6}$$

$$\Delta T = 25 V_{ref}(k) - 22 v(k) - 313 i(k) \quad \text{หน่วย ไมโครวินาที}$$

แปลงให้เป็นเลขฐานสิบหก

$$\Delta T = 19 H V_{ref}(k) - 16 H v(k) - 139 H i(k) \quad (4.9)$$

$v(k)$ ,  $i(k)$  เป็นค่าที่อ่านได้จาก ADC0809 ซึ่งค่าที่อ่านได้จะเป็นเลขฐาน 16 ดังนั้นเราจึงต้องกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆเป็นเลขฐาน 16 ด้วย ค่าที่อ่านมาจะเป็นจำนวนครั้งการแซมปลิง 30 ครั้งต่อ 1 คาบเวลา ในแต่ละครั้งของการแซมปลิงจะมาทำการคำนวณในสมการ กฎการควบคุมแบบเดทพืท ได้ค่าความกว้างพัลส์  $\Delta T$  และพิจารณาช่วงของการแซมปลิงว่าช่วงใดใช้รูปแบบพัลส์เดี่ยว หรือใช้รูปแบบพัลส์คู่

#### 4.2.5 การจำลองระบบของเดทพืท

หลังจากการออกแบบระบบ และคำนวณค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีเช่นค่า  $\phi_{11}$ ,  $\phi_{12}$ ,  $g_1$ ,  $V_{ref}(k)$ , และค่า  $\Delta T(k)$  หลังจากนั้นมาทำการซิมูเลตกฎการควบคุมแบบเดทพืทในสมการที่ (3.10) ด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาปาสคาล เพราะฉะนั้นความกว้างพัลส์  $\Delta T$  นี้จะมาสังเคราะห์เป็นแรงดันไซน์ที่เอาที่พุตของอินเวอร์เตอร์ด้วยโปรแกรมรายละเอียดต่าง ๆ จะอยู่ในภาคผนวก ข ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรกำลังอินเวอร์เตอร์มีค่าดังต่อไปนี้

จำนวนการแซมปลิงต่อ 1 คาบเวลา  $N=30$

ช่วงของการแซมปลิง (Sampling interval)  $T=666 \mu S$

ความถี่เรโซแนนท์(Resonant frequency) = 252 Hz

ตัวเก็บประจุ  $C=50 \mu F$

ขดลวดเหนี่ยวนำ  $L=50mH$

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 310 VDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าต่าง ๆ ที่คอมพิวเตอร์คำนวณได้ และพิมพ์ออกมาแสดงให้ดูดังต่อไปนี้

PROGRAM DEADBEAT CONTROLLER

Enter times of trigs per cycle : 30

Get value of filter circuit elements RLC

Enter Resistance value : 100 ohm

Enter Inductance value : 50mH

Enter Capacitance value : 50  $\mu$ F

Fi matrix and  $g_1$

$$\text{Fi matrix} = \begin{bmatrix} 0.91591062 & 0.00060929 \\ -242027818930 & 0.79510782 \end{bmatrix} \quad g_1 = 39808.83$$

$$-\phi_{11}/g_1 = 22.41 \times 10^{-6}, \quad -\phi_{12}/Cg_1 = 313.2 \times 10^{-6}, \quad 1/g_1 = 24.54 \times 10^{-6}$$

$$\text{Delta}[k] = -\phi_{11}/g_1 * v(k) - \phi_{12}/C * g_1 * i(k) + V_{ref}(k)/g_1$$

$$\text{Delta}[k] = 25V_{ref}(k) - 22 v(k) - 313 i(k) \quad \mu S$$

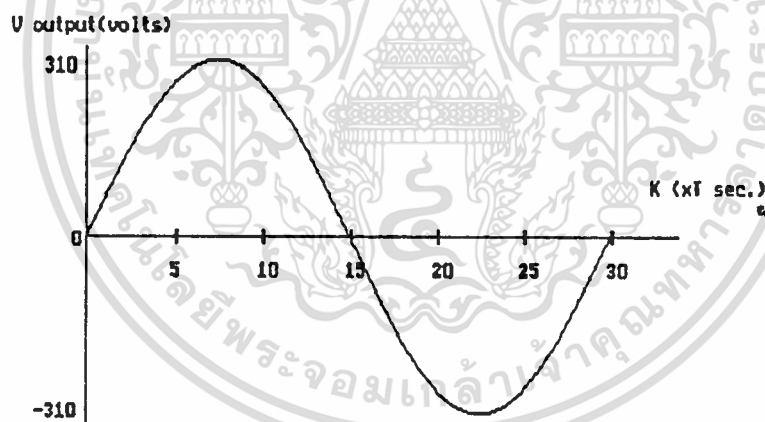
k	Delta(k)	$V_{ref}(k)$	k	Delta(k)	$V_{ref}(k)$
1	0.00016761	64.453	16	0.00009069	-64.453
2	0.00019415	126.088	17	0.00019425	-126.088
3	0.00028913	182.213	18	0.00028913	-182.213
4	0.00037147	230.375	19	0.00037147	-230.375
5	0.00043758	268.468	20	0.00043758	-268.468
6	0.00048456	294.828	21	0.00048456	-294.828
7	0.00051037	308.302	22	0.00051037	-308.302
8	0.00051387	308.302	23	0.00051387	-308.302
9	0.00049491	294.828	24	0.00049491	-294.828
10	0.00045432	268.468	25	0.00045432	-268.468
11	0.00039387	230.375	26	0.00039387	-230.375
12	0.00031621	182.213	27	0.00031621	-182.213
13	0.00022474	126.088	28	0.00022474	-126.088
14	0.00012343	64.453	29	0.00012343	-64.453
15	0.00001674	0.000	30	0.00001674	0.000

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 30 ศึกษาและปฏิบัติให้นำไปใช้โดยขึ้นด้านการค้า

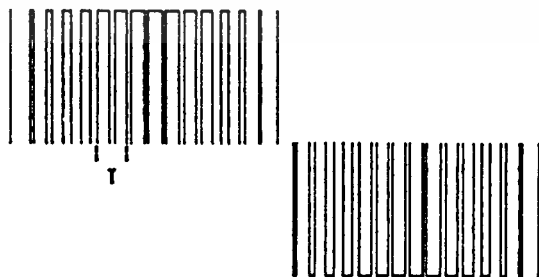
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Change of PWM Pulse Patterns

1	0.208	2	0.407	3	0.588
4	0.743	5	0.866	6	0.951
7	0.995	8	0.995	9	0.951
10	0.866	11	0.743	12	0.588
13	0.407	14	0.208	15	0.000
16	-0.208	17	-0.407	18	-0.588
19	-0.743	20	-0.866	21	-0.951
22	-0.995	23	-0.995	24	-0.951
25	-0.866	26	-0.743	27	-0.588
28	-0.407	29	-0.208	30	0.000



U input (volts)



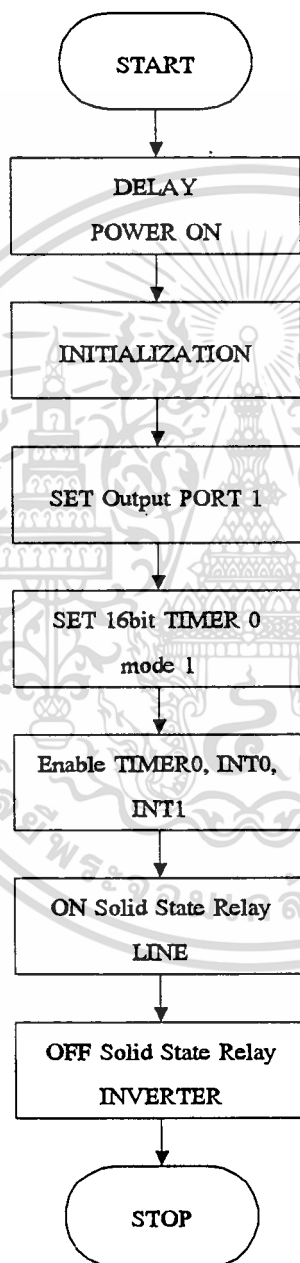
รูปที่ 4.6 แรงดันไซน์ที่เอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ กับ สัญญาณ PWM

ที่ได้จากการจำลองจากกฎการควบคุมแบบเดบิต

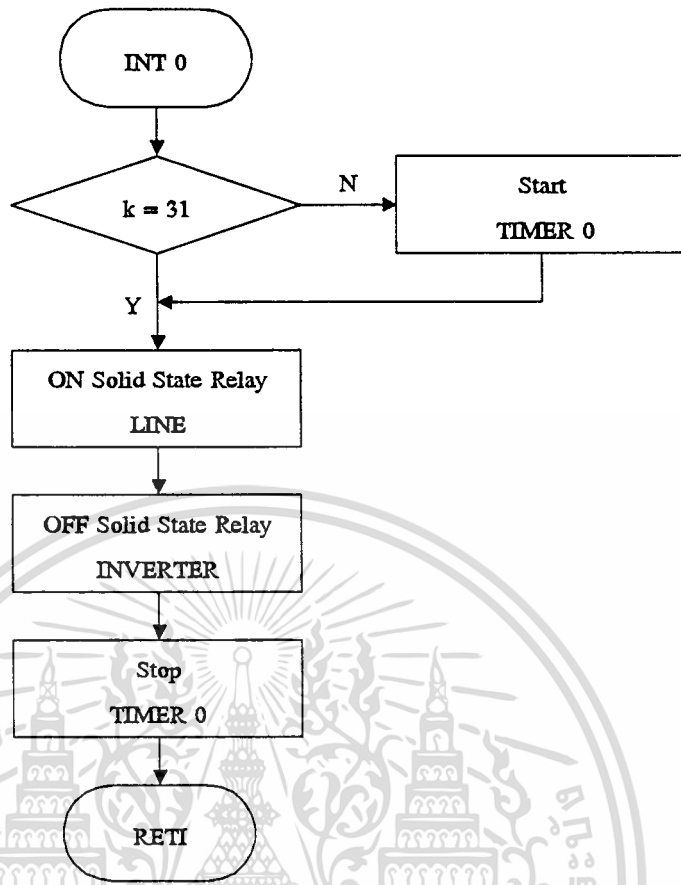
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.6 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์

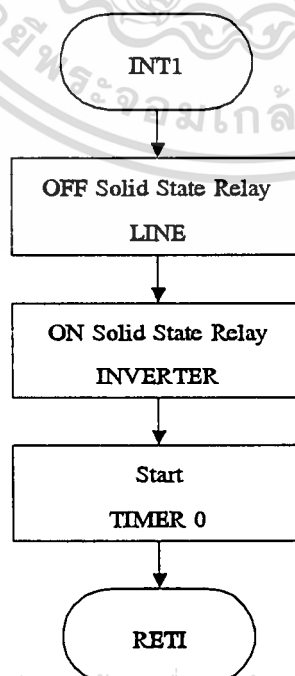
การทำงานของระบบควบคุมอินเวอร์เตอร์กับแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่องด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ ในวิทยานิพนธ์นี้สามารถเขียนเป็นโฟลว์ชาร์ตได้ดังรูปที่ 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.7 โปรแกรมหลักของไมโครโปรเซสเซอร์



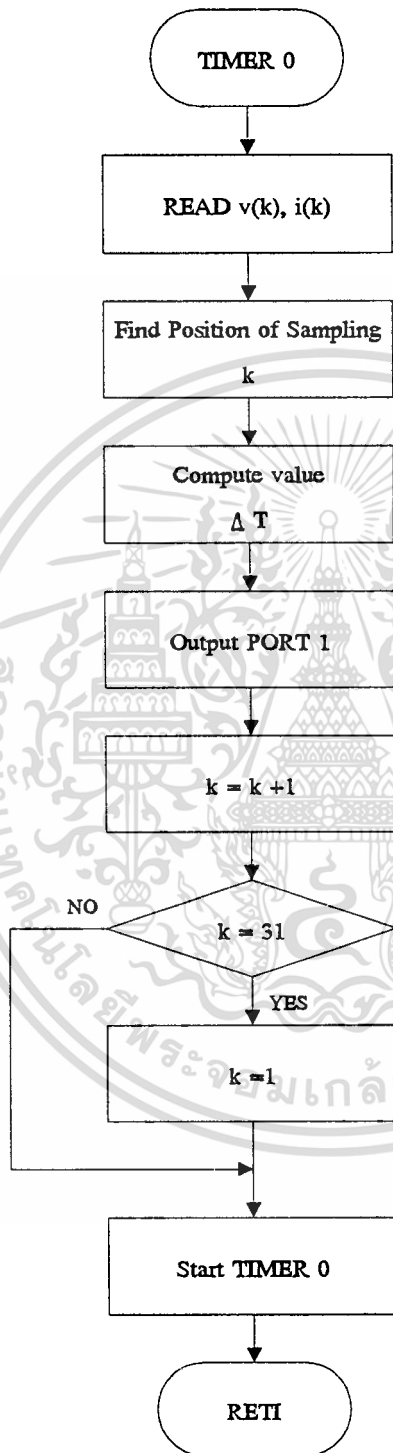
รูปที่ 4.8 โปรแกรมบริการอินเทอร์รัพท์ 0  
เมื่อระบบแรงดันไฟฟ้าปกติ



รูปที่ 4.9 โปรแกรมบริการอินเทอร์รัพท์ 1  
เมื่อระบบแรงดันไฟฟ้าเกิน หรือแรงดันไฟฟ้าตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 โปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์ ไทม์เมอร์ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบ และวงจรควบคุม

### 4.3.1 การทำงานของบล็อกไดอะแกรม

ในรูปที่ 4.11 แสดงการทำงานของบล็อกไดอะแกรมจากระบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าหลัก 220VAC จะผ่านการกรองสัญญาณรบกวนก่อน เพื่อให้ระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง มีความเสถียรภาพในการทำงานจากนั้นนำแรงดันไฟฟ้าหลักไปประจุแบตเตอรี่ โดยทำการลดแรงดันจาก 220VAC ไปเป็น 18VAC และกรองแรงดันเป็นกระแสตรง 20VDC ไปเข้าวงจรประจุแบตเตอรี่ ส่วนแบตเตอรี่ได้ใช้แบบ RECHARGEABLE SEALED LEAD-ACID BATTERY โดยไม่ต้องบำรุงรักษา (MAINTENANCE-FREE) ขนาด 12VDC 2Ah จำนวน 2 ก้อน ก้อนแรกจ่ายให้กับวงจร พูช-พูล คอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Converter) เพื่อแปลงจาก 12VAC,0,12VAC ไปเป็น 220VAC จากนั้น จะกรองเป็นแรงดันกระแสตรง 310VDC 2A สำหรับจ่ายให้กับชุดวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยในวงจร พูช-พูล คอนเวอร์เตอร์ ได้ใช้ไอซีเบอร์ TL494 เป็นตัวสร้างสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม (PWM) ที่ความถี่ 20KHz ไปขับวงจร พูช-พูล คอนเวอร์เตอร์ ส่วนก้อนที่สองใช้วิธีการเดียวกันไปขับ วงจร พูช-พูล คอนเวอร์เตอร์ เพื่อแปลงจาก 12VAC,0,12VAC ไปเป็น 6VAC,0,6VAC จำนวน 4 ชุด ชุดละ 2A และ 18VAC,0,18VAC อีก 1 ชุดๆละ 2A เพื่อจ่ายให้กับสวิทซ์ซึ่งเรียกยูเลเตอร์ +5V,0,-5V จำนวน 4 ชุด นี้ต้องการจ่ายให้กับชุดขับนำเบส และ +12V, 0,-12V จ่ายให้กับชุดตรวจจับแรงดันไฟฟ้าหลักปกติ ไฟฟ้าเกิน และไฟฟ้าตก เพื่อที่จะส่งสัญญาณไปให้ ไมโครโปรเซสเซอร์ 8031 จะทำการอินเตอร์รัพท์

เมื่อเกิดระบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าหลัก 220VAC ขาดหายไป หรือแรงดันไฟฟ้าเกิน แรงดันไฟฟ้าตก ไมโครโปรเซสเซอร์ 8031 จะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็ม ตามโฟลว์ชาร์ตรูปที่ 4.7 ออกที่พอร์ต P1 ให้กับวงจรป้องกันการลัดวงจร (Time lockout) และส่งสัญญาณไปให้กับชุดวงจรขับนำเบส เพื่อให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ พร้อมกับทริกซ์ให้ชุดโซลิดสเตตลิเลย์ ซึ่งเป็นสวิทซ์ย้ายโอนระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าหลัก กับแรงดันในอินเวอร์เตอร์มาทำการจ่ายแรงดันไปให้กับโหลด

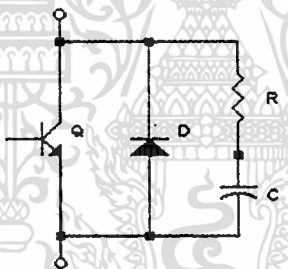
ในแต่ละช่วงที่ทำการจ่ายแรงดัน ที่โหลดของอินเวอร์เตอร์จะมีการตรวจจับแรงดัน และกระแสในแต่ละช่วงของการแฉมปลั๊ก โดยค่าที่อ่านได้จะทำการแปลงสัญญาณ จากอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิตอลมาให้ไมโครโปรเซสเซอร์ทำการคำนวณความกว้างพัลส์ และเลือกรูปแบบพัลส์ซึ่งลักษณะการทำงานเป็นลูปปิด(closed loop) แต่ขณะที่ทำงานอยู่ก็จะมีวงจรส่วนหนึ่งคอยป้องกันการแรงดันเกิน และกระแสเกินที่โหลดของอินเวอร์เตอร์ ไม่ให้เกิดความเสียหายแก่วงจรอินเวอร์เตอร์ โดยจะทำการส่งสัญญาณออกไปที่วงจรป้องกันการลัดวงจร(Time lockout) ให้ทำการหยุดส่งสัญญาณพัลส์ไปให้กับชุดวงจรขับนำเบส แต่ในกรณีนี้ถ้าเราไม่ใช้โหลดและกระแสเกิน ก็กดก็ยังไม่เกิดปัญหานี้ขึ้นได้

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2 วงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรสับเบอ์ และวงจรขับนำเบส

วงจรอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน ตามรูปที่ 4.12 เป็นสิ่งที่สำคัญมากที่จะทำให้ อุปกรณ์การสวิตช์มีความเร็วในการทำงาน หรือหยุดทำงานได้เร็วที่สุด ซึ่งจะลดความสูญเสียจากการสวิตช์ลง นอกจากนี้ยังช่วยให้การทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์มีความเที่ยงตรงสูงขึ้นด้วย [12] ความเร็วในการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์กำลังจะขึ้นอยู่กับชุดวงจรขับนำเบส ส่วนทรานซิสเตอร์กำลังได้ใช้เบอ์ BUX48 ซึ่งทนแรงดันได้ 450 V และทนกระแสได้ 15A

วงจรสับเบอ์ เป็นวงจรส่วนที่มีความสำคัญส่วนหนึ่งในการสวิตช์ซึ่งความถี่สูงเนื่องจากการสวิตช์ที่ความถี่สูงในช่วงแรงดันสูงจะเกิดสไปค์โวลต์เตจ (spike voltage) หรือกระแสสไปค์ (spike current) ทำให้อัตราการเพิ่มของแรงดันต่อเวลา  $dv/dt$  และอัตราการเพิ่มของกระแสต่อเวลา  $di/dt$  เพิ่มขึ้นสูงอย่างมาก ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรานซิสเตอร์กำลังในวงจรได้ จึงได้มีการนำเอาวงจรสับเบอ์มาต่อเพื่อที่จะลดค่าของ  $dv/dt$  และ  $di/dt$  ให้มีค่าน้อยลง พอที่วงจรจะทำงานได้ โดยทรานซิสเตอร์กำลังจะไม่เกิดความเสียหายขึ้น [9]

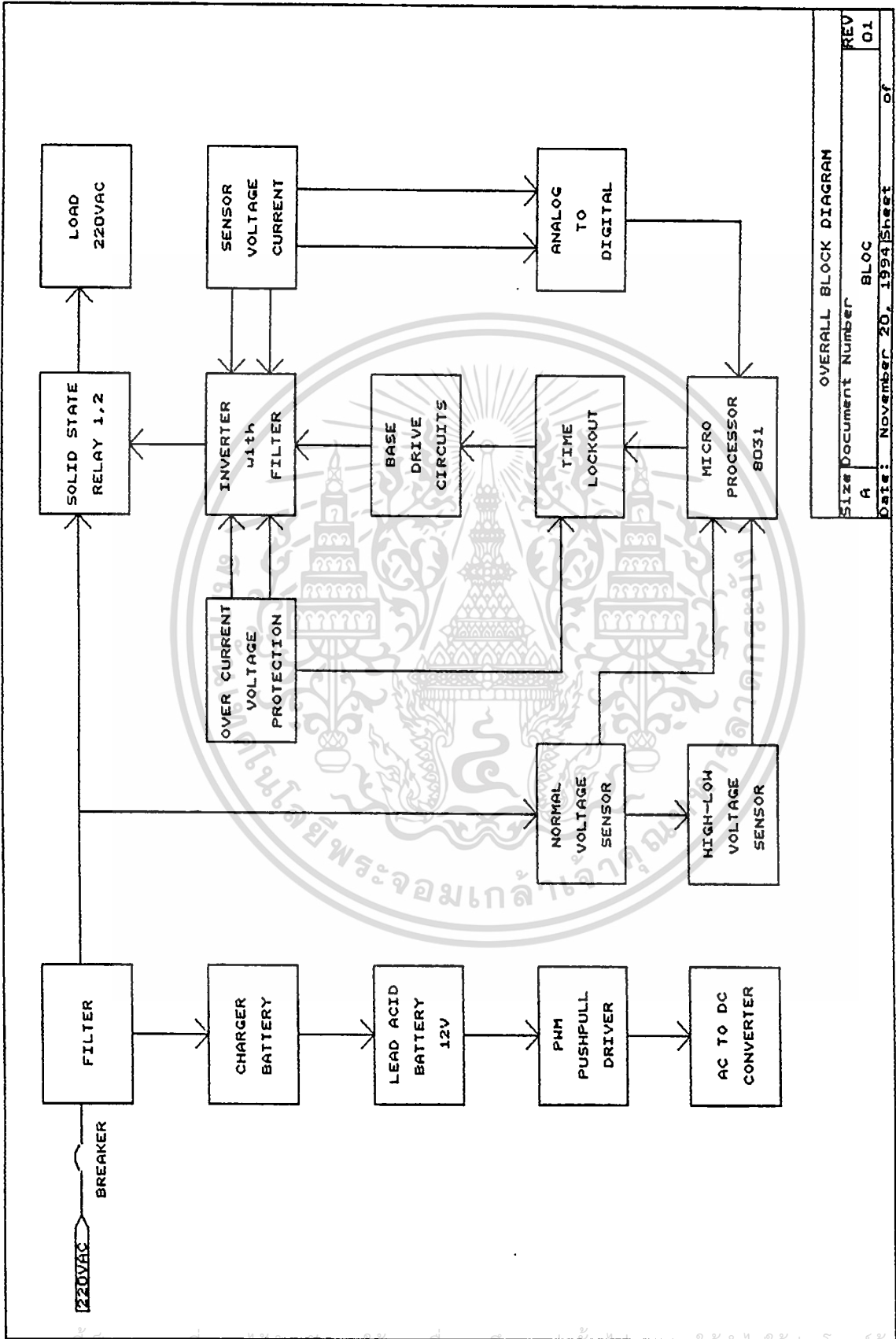


รูปที่ 4.13 วงจรสับเบอ์แบบขนาน

ในรูปที่ 4.13 วงจรสับเบอ์ที่ต่อใช้งานจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นสับเบอ์แบบขนาน สำหรับป้องกันพีคของแรงดันไม่ให้เกินขีดจำกัด  $dv/dt$  และส่วนที่เป็นสับเบอ์แบบอนุกรมสำหรับป้องกันพีคของกระแส ไม่ให้เกินขีดจำกัด  $di/dt$  ของทรานซิสเตอร์ตัวนั้นๆ

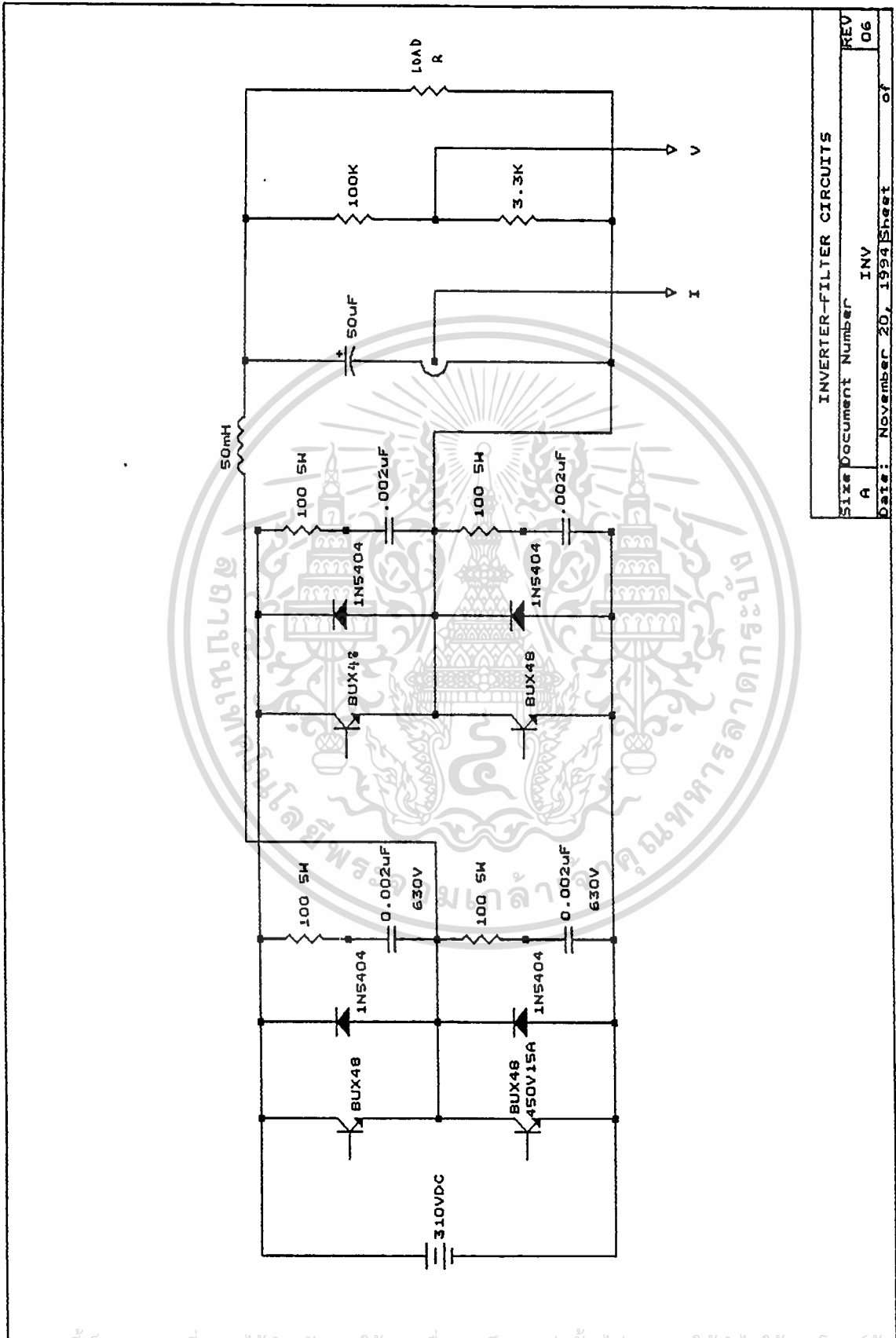
การทำงานของวงจรสับเบอ์แบบขนาน ขณะหยุดนำกระแส สมมติให้ช่วงเวลากระแสตก  $t_f$  ลดลงอย่างเป็นเชิงเส้น แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมคาปาซิเตอร์ C ที่เวลาใดๆจะหาได้จาก [9]

$$V_c = \frac{1}{C} \int t_f i_c(t) dt \quad (4.10)$$



OVERALL BLOCK DIAGRAM	
Size Document Number	REV
A BLOC	01
Date: November 20, 1994	Sheet of

รูปที่ 4.11 บล็อกไดอะแกรม ของแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง



INVERTER-FILTER CIRCUITS	
Size Document Number	REV
A	06
Date: November 20, 1994	Sheet of

รูปที่ 4.12 วงจรอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนุญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น เลือกค่า  $C$  เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวมันเท่ากับ  $V_c$  (ประมาณ  $1/2$  ของ  $E$ ) ที่เวลา  $t = t_f$  จาก

$$C > \frac{I_1 t_f}{2V_c} \quad (4.11)$$

ช่วงเวลาหลังจาก  $t_f$  คาปาซิเตอร์ยังคงถูกชาร์จประจุจนค่าแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมตัวมันเพิ่มสูงขึ้นจนเริ่มสูงกว่า  $E$  เนื่องจากผลของอินดักแตนซ์ในวงจร และกลับมามีค่าเท่ากับ  $E$  พลังที่สะสมใน  $C$  หาได้จาก

$$E_c = \frac{1}{2} C E^2 \quad (4.12)$$

ซึ่งพลังงานส่วนนี้จะถูกสลายในความต้านทาน  $R$  เป็นความสูญเสียใน  $R$  เมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแสอีกครั้ง ถ้า  $f$  เป็นความถี่ของการสวิตซ์ซึ่ง กำลังสูญเสียใน  $R$  หาได้จาก

$$P_R = \frac{1}{2} C E f \quad (4.13)$$

ดังนั้นค่า  $C$  เพิ่มขึ้น พลังงานสูญเสียในทรานซิสเตอร์จะลดลง แต่ความสูญเสียในความต้านทานจะเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันค่า  $R$  ควรทำหน้าที่จำกัดกระแสการประจุที่จะไหลผ่านทรานซิสเตอร์ เพื่อไม่ให้เกิดค่าสูงสุดที่ทรานซิสเตอร์จะทนได้ ถ้า  $I_m$  เป็นกระแสที่มากที่สุดที่ทรานซิสเตอร์จะทนได้ ส่วน  $I_L$  เป็นกระแสไหลคืนในขณะที่น่ากระแส ดังนั้น หาค่า  $R$  ได้จาก

$$R > \frac{E}{(I_m - I_L)} \quad (4.14)$$

ซึ่งค่า  $R$  ในสมการจะเป็นค่า  $R$  ที่น้อยที่สุด ส่วนค่ามากที่สุดของ  $R$  หาได้จากระยะเวลาที่น่ากระแสที่น้อยที่สุด อย่างน้อยควรจะเป็น 3 เท่าของไทม์คอนสแตนต์  $RC$

$$t_{ON(MIN)} > 3RC \quad (4.15)$$

หรือ

$$R > \frac{t_{ON(MIN)}}{3C} \quad (4.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นค่า R จะต้องมีค่าน้อยพอที่จะทำให้การคายประจุของ C หมดในช่วงการนำกระแส ซึ่งจากสมการ

$$\frac{E}{(I_m - I_L)} < R < \frac{t_{ON(MIN)}}{3C} \quad (4.17)$$

การคำนวณหาค่า C และ R ในวงจรสับเบอร์ โดยกำหนดเงื่อนไขในวงจร และคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์เบอร์ BUX48 มีดังนี้

E คือแรงดันกระแสตรง ที่จ่ายให้กับวงจรอินเวอร์ = 310VDC

$V_c$  คือแรงดันที่ตกคร่อมคาปาซิเตอร์ ประมาณ 1/2 ของ E = 155V

$I_m$  คือกระแสที่มากที่สุด ที่ทรานซิสเตอร์จะทนได้ = 15A

$I_L$  คือกระแสโหลดในขณะที่นำกระแส = 2A

$t_{ON(MIN)}$  คือระยะเวลานำกระแสน้อยที่สุด ( $t_r$ ) ของทรานซิสเตอร์ = 0.7  $\mu$ S

$t_{OFF(MIN)}$  คือระยะเวลากระแสตกน้อยที่สุด ( $t_f$ ) ของทรานซิสเตอร์ = 0.4  $\mu$ S

f คือความถี่ = 50kHz

แทนค่าในสมการที่ (4.11)

$$C \geq \frac{I_L t_f}{2V_c}$$

$$\geq \frac{2(0.4 \times 10^{-6})}{2(155)}$$

$$\geq 0.002 \mu F$$

เพราะฉะนั้น จึงเลือกค่า C = 0.002  $\mu$ F 630 V

หาค่า R โดยการแทนค่าในสมการ (4.17)

$$\frac{E}{(I_m - I_L)} < R < \frac{t_{ON(MIN)}}{3C}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (15) เพื่อการใช้งานเฉพาะที่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$23.846 < R < 116$$

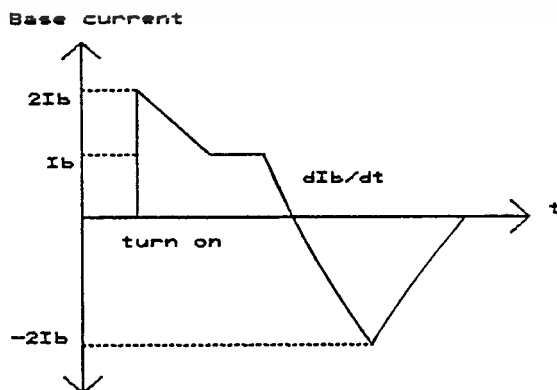
หาพลังงานที่สูญเสียใน R เนื่องจากการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์ที่ความถี่ 50kHz แทนค่าในสมการที่ (4.13)

$$\begin{aligned} P_R &= \frac{1}{2} CEf \\ &= 0.5(0.002 \times 10^{-6})(310^2)(50 \times 10^3) \\ &= 15.5 \text{ mW} \end{aligned}$$

จากผลการคำนวณหาค่า R และกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้น จึงเลือกใช้ R = 100 โอห์ม 1 วัตต์

ทรานซิสเตอร์กำลังจะมีค่า สตอร์เรจไทม์ (storage time) และเวลาไต่ลง (fall time) จะมีค่าต่ำที่สุด ถ้าหากว่ามีกระแสเบสย้อนกลับในระหว่างหยุดนำกระแส และมีค่าประมาณสองเท่าของกระแสเบสฟอร์เวิร์ด [11] ขณะหยุดนำกระแส กระแสเบสไม่ควรเปลี่ยนแปลงเป็นค่าลบทันทีทันใด แต่ควรจะเปลี่ยนแปลงไปพร้อมกับการควบคุม และมีความเร็วในการสวิตช์พอประมาณ ความเหนียวนำต่างๆ ซึ่งจะเป็นความเหนียวนำสเตรย์ในวงจรไบแอสย้อนกลับใช้ควบคุมการเปลี่ยนแปลงกระแสได้

ควรทำให้กระแสขณะทำงานมีค่าน้อยที่สุดขณะนำกระแส และกระแสขับนำเบสควรจะมีขอบขึ้นอย่างรวดเร็วมาก ต้องมีค่ามากกว่ากระแสเบสในภาวะสงบหนึ่งประมาณสองเท่า กระแสเหนียวนี้เป็นฟังก์ชันการอัดประจุให้ความจุสเตรย์ของทรานซิสเตอร์กำลัง รูปที่ 4.14 แสดงรูปร่างของกระแสขับนำเบสที่มีความเร็วสวิตช์ดีที่สุดตามที่ต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.14 รูปคลื่นของกระแสที่มีความเร็วในการสวิตช์ดีที่สุด นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาวะกระแสเกิน มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดึงเอากระแสขับนำเบส ออกจากทรานซิสต์กำลังทุกตัวด้วย ดังนั้นวงจรขับนำเบสที่ติดตั้งต่อไปนี้ [12]

1. เมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแส กระแสเบสควรมีค่ามากพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์กำลัง อิ่มตัวการอิ่มตัวเกินควรของทรานซิสเตอร์กำลัง จะมีผลให้สต่อเรจโทรมมากขึ้นไป ยิ่งผลให้เกิด ความสูญเสียจากการสวิตช์สูง วงจรขับนำเบสสำหรับทรานซิสเตอร์จะต้องสามารถปรับตนเองได้ โดยขึ้นอยู่กับกระแสคอลเล็กเตอร์เพื่อให้การทำงานของทรานซิสเตอร์อยู่ในภาวะกึ่งอิ่มตัวอยู่เสมอ

2. ขณะหยุดนำกระแส ควรจะป้อนแรงดันย้อนกลับให้กับ ขั้วเบส-อีมิเตอร์ เพื่อลดเวลา ไต่ลงของกระแสด้วยแรงดันย้อนกลับนี้ทรานซิสเตอร์จะมีการรั่วไหล (leakage current) ต่ำและ มีความสามารถทนแรงดันสูง ( $< V_{CEX}$ )

3. เมื่อนำไปใช้กับงานที่มีกระแสลบมีแอมพลิจูดสูง ขณะหยุดนำกระแส อาจจะทำให้เกิด ปรากฏการณ์กระแสเบสล่าช้า (base current tail effect) เป็นผลให้อุปกรณ์เสียหายได้ ดังนั้น ควรจะให้ไบอัสย้อนกลับเฉพาะหลังจากที่ทรานซิสเตอร์ไม่อยู่ในภาวะอิ่มตัวแล้ว

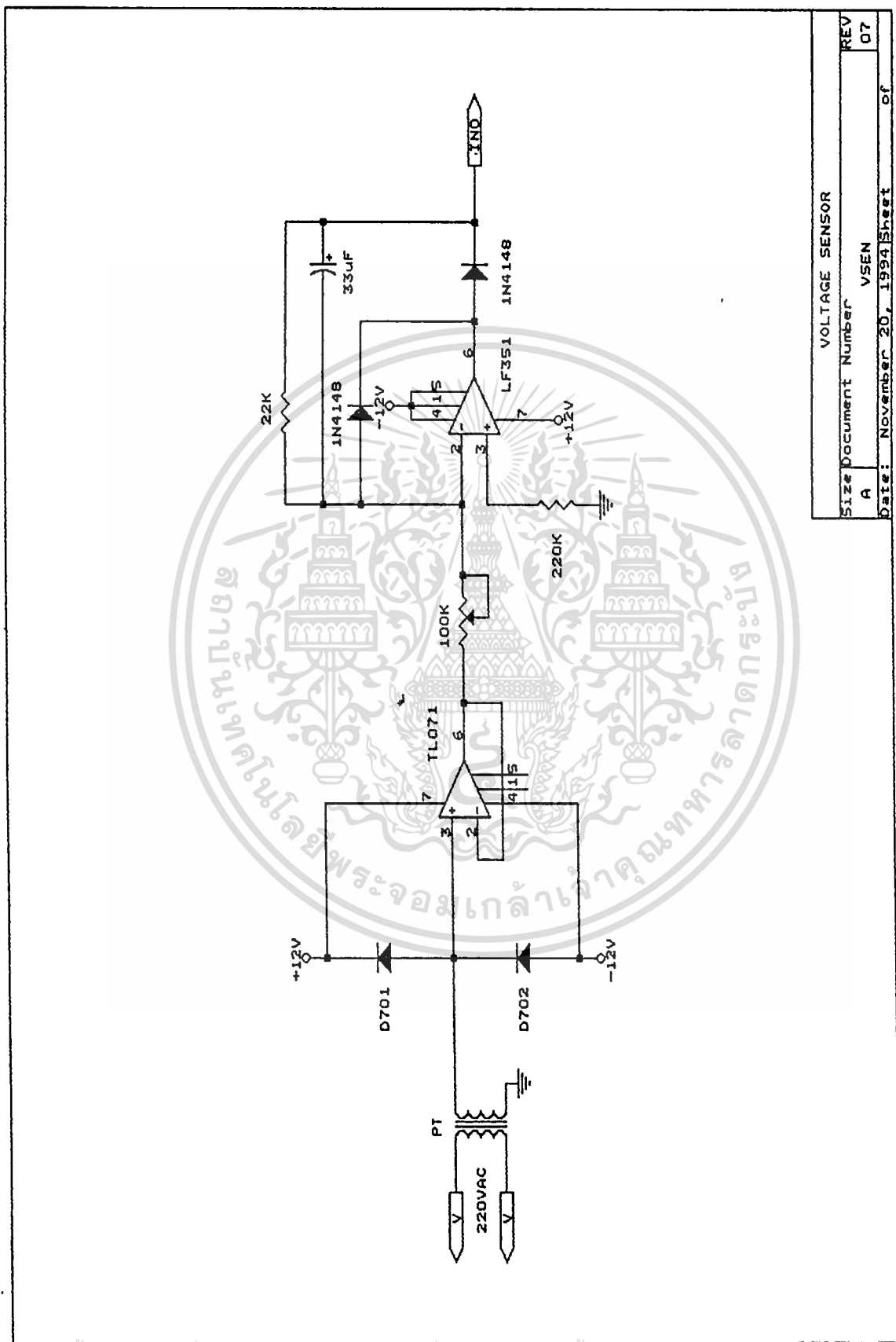
4. ถ้าหากว่าแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์ ในระหว่างนำกระแสมีค่าสูงเกินขีดจำกัดที่ตั้งไว้ แล้ววงจรขับนำเบสควรจะต้องตัดออกจากทรานซิสเตอร์โดยอัตโนมัติ

ชุดวงจรขับนำเบสที่ใช้กับอินเวอร์เตอร์ ในวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นแบบเร็กกูเลทอัตโนมัติ (autoregulated) และป้องกันอัตโนมัติ (auto protected) วงจรได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.15 ไดโอด  $D_{505}$  ทำหน้าที่เป็นไดโอดป้องกันการอิ่มตัวเกินควร ซึ่งจะเร็กกูเลทกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ เพื่อรักษาให้อยู่ในภาวะกึ่งอิ่มตัวในระหว่างการนำกระแส  $D_{505}$  ใช้สำหรับเป็นตัวป้องกันอัตโนมัติ เมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแส ถ้าหากว่าแรงดันตกคร่อมคอลเล็กเตอร์  $Q_{503}$  จะสูงกว่าแรงดันที่เบส ส่งผลให้มันหยุดทำงาน ความต้านทาน  $R_{513}$ ,  $R_{514}$  ใช้เป็นตัวกำหนดขีดจำกัด  $V_{CB}$  ซึ่งในวงจร ที่ทดลองปรับไว้ที่ 2.6 V ที่กระแสคอลเล็กเตอร์  $I_C = 5A$

#### 4.3.3 การตรวจจับแรงดัน และกระแส ที่เอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์

วงจรตรวจจับแรงดัน ตามรูปที่ 4.16 ใช้หม้อแปลงแบบแรงดัน ทำการลดแรงดันให้ต่ำลง ให้กับ ไดโอด  $D_{701}$ ,  $D_{702}$  ช่วยจำกัดแรงดันที่อินพุทของ ไอซีเบอร์ TL071 ไม่ให้สูงเกินไป ซึ่ง ไอซีเบอร์นี้จะเป็นบัฟเฟอร์มีอัตราขยายเป็น 1 มีอิมพีแดนซ์ทางเอาท์พุทต่ำ ต่อจากนั้นจะส่ง สัญญาณให้ไอซีเบอร์ LF351 จะทำการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นชนิดเที่ยงตรง (Precision full-wave rectifier) ที่เอาท์พุทของวงจรตรวจจับแรงดัน ได้ปรับตั้งค่าไว้ที่ 2.5V เพื่อส่งสัญญาณไป ให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ให้กับไอซีเบอร์ ADC0809 ที่ขา IN0

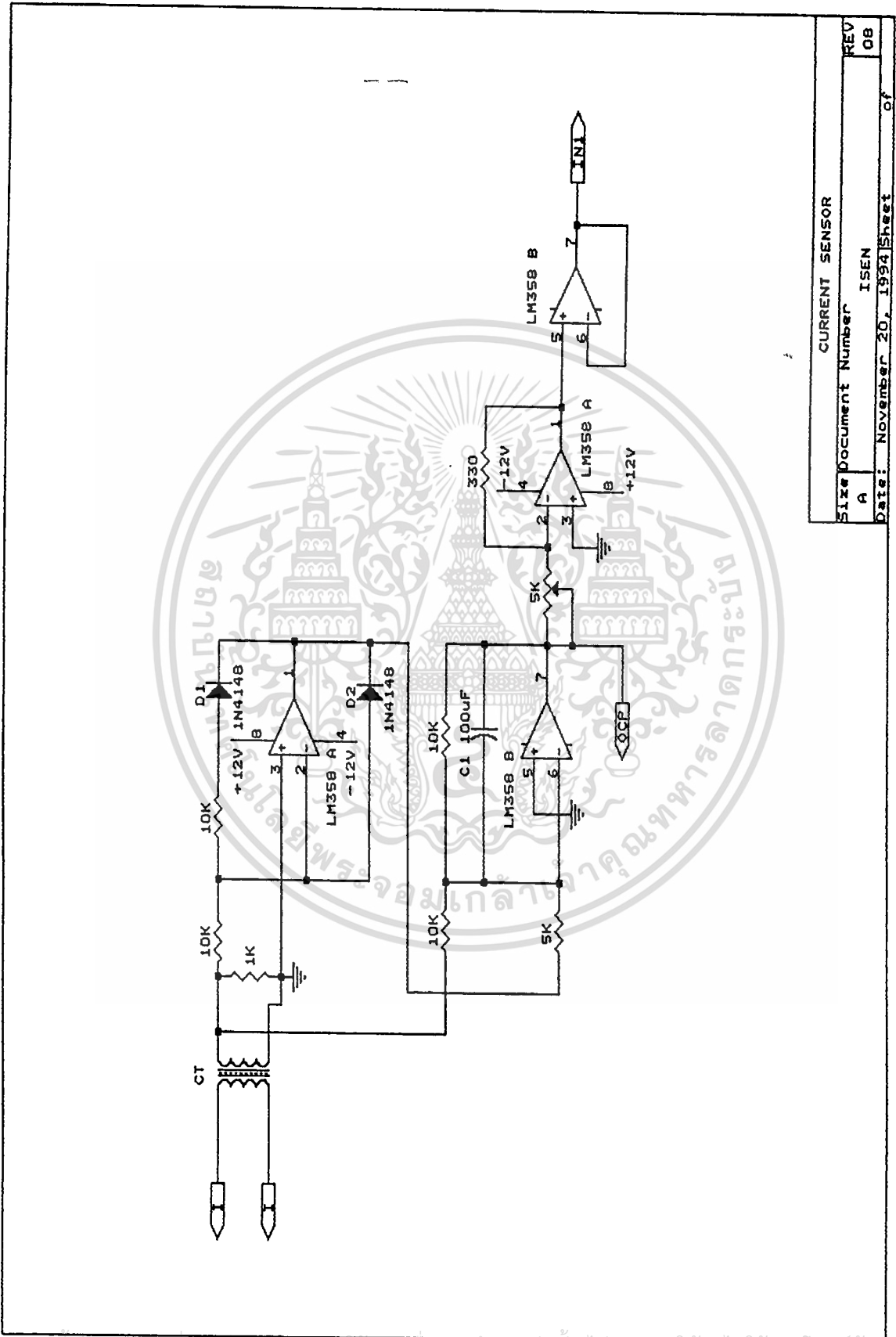
วงจรตรวจจับกระแส ตามรูปที่ 4.17 ใช้หม้อแปลงแบบกระแส (C.T.) จะทำหน้าที่แปลง แยกสารเป็นอนุภาคที่ส่งวนวนสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กระจายให้เป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ ส่วนไอซี LF358 จะทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแสความละเอียดสูงวงจร แมวกริมโดยทางสน อักทิงทามมิเหตุดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



VOLTAGE SENSOR	
Size Document Number	VSEN
A	07
Date:	November 20, 1994 Sheet of

รูปที่ 4.16 วงจรตรวจจับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CURRENT SENSOR	
Size Document Number	ISEN
A	08
Date:	November 20, 1994
Sheet	of

รูปที่ 4.17 วงจรตรวจกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวนวิศวกรรมการช่างานเพื่อการศกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตเห็นาเบไซบระเยชนดานการค้ำ  
ไม่ว่ากรณีใดตทั้งสิ้น อักทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิลเตอร์ และทำการขยายสัญญาณปรับตั้งค่าไว้ที่ 2.5V ให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ด้วยไอซีเบอร์ ADC0809 ที่ขา IN1 ส่วนเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสความละเอียดสูง ที่ขา OCP จะส่งสัญญาณไปให้กับวงจรป้องกันกระแสสูงเกิน ทำงานต่อไปเมื่อเกิดกระแสไหลเกินผิดปกติ

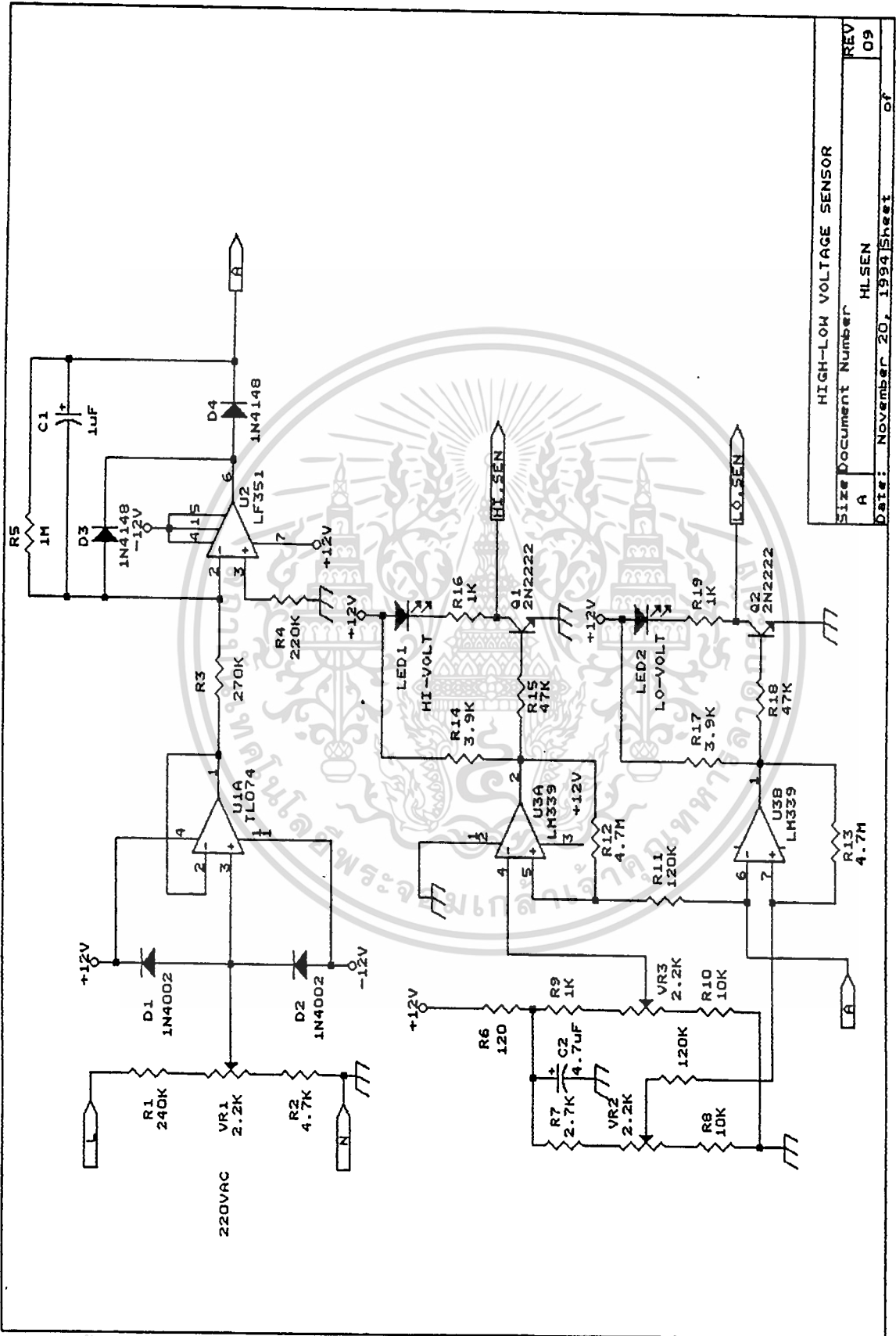
#### 4.3.4 การตรวจจับแรงดันไฟฟ้าสูงเกิน และไฟฟ้าตก จากระบบไฟฟ้าหลัก

วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าสูงเกิน และไฟฟ้าตก ในรูปที่ 4.18 การทำงานแบ่งออกเป็น 5 ส่วนคือ วงจรลดแรงดัน วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นชนิดเที่ยงตรงความละเอียดสูง (Precision fullwave rectifier) ตรวจจับแรงดันสูงเกิน-แรงดันต่ำเกิน-แรงดันปกติ ส่วนในรูปที่ 4.19 วงจรส่งสัญญาณเสียงเตือน และส่งสัญญาณอินเทอร์รัพท์ไปให้กับไมโครโปรเซสเซอร์ทำงาน เมื่อเกิดกรณีแรงดันไฟฟ้าสูงเกิน หรือต่ำเกิน

วงจรลดแรงดัน และวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ชนิดเที่ยงตรงสูง เนื่องจากแรงดันที่ตรวจจับเป็นแรงดันระบบไฟฟ้าหลัก 220 VAC จึงต้องลดขนาดแรงดันลงให้เหลือไม่กี่โวลต์ด้วยความต้านทานแบ่งแรงดันให้กับ ไอซีเบอร์ TL071 ซึ่งเป็นบัฟเฟอร์มีอัตราขยายเป็น 1 และอิมพีแดนซ์ทางเอาต์พุตมีค่าต่ำมากพอที่จะป้อนให้วงจรอื่นๆ โดยมีไดโอด 2 ตัวช่วยจำกัดแรงดันที่อินพุตของไอซีไว้ไม่สูงเกินไปไม่เช่นนั้นวงจรส่วนต่างๆอาจเสียหายได้ ต่อจากนั้นจะส่งสัญญาณไปให้กับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นชนิดเที่ยงตรงสูง ด้วยไอซีเบอร์ LF351 วงจรเรียงกระแสชนิดนี้จะให้ค่าแรงดันเฉลี่ยไฟตรง ให้กับวงจรตรวจจับแรงดัน ซึ่งจะทำหน้าที่เปรียบเทียบกับแรงดัน วงจรแบบนี้เรียกว่า window comparator จะทำงานร่วมกับ  $R_{11}$  ถึง  $R_{14}$  และ  $R_{17}$  คือเมื่อสัญญาณแรงดันอยู่ในกรอบที่ตั้งค่าไว้เอาต์พุตของไอซีเบอร์ LM339 จะไม่เปลี่ยนแปลง คือเป็นลอจิก "0" ตลอดเวลา ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดในการเปรียบเทียบนี้จะถูกตั้งไว้ด้วย  $VR_2$  และ  $VR_3$  โดยมี  $R_7$  ถึง  $R_{10}$  เป็นตัวกำหนดช่วงแรงดันในการเปรียบเทียบ ถ้าแรงดันจาก  $D_4$  มีค่าสูงกว่าแรงดันที่ตั้งไว้โดย  $VR_3$  จะทำให้เอาต์พุตของไอซี LM339 U3A เปลี่ยนจากลอจิก "0" เป็นลอจิก "1" ในทำนองเดียวกันถ้าสัญญาณแรงดันจาก  $D_4$  มีค่าต่ำกว่าแรงดันที่ตั้งไว้โดย  $VR_2$  จะทำให้เอาต์พุตของไอซี LM339 U3B เปลี่ยนจากลอจิก "0" เป็นลอจิก "1" เช่นกัน

เมื่อเอาต์พุตของไอซี LM339 ตัวใดตัวหนึ่งเป็นลอจิก "1" ตัวทรานซิสเตอร์  $Q_1$  หรือ  $Q_2$  จะได้รับไบแอสถึงกระแสผ่าน  $LED_1$  หรือ  $LED_2$  จะติดสว่างแสดงผลถึงแรงดันไฟฟ้าสูงเกิน หรือแรงดันไฟฟ้าตก และที่ขาคอลเล็กเตอร์ ของทรานซิสเตอร์จุดนี้ จะส่งสัญญาณสภาวะของแรงดันที่ตรวจจับได้ให้กับแนนด์เกต เพื่อไปให้กับออฟโอด (opto isolated) ทำการแยกระบบดิน (ground) ระหว่าง กราวด์ของแรงดันไฟฟ้า 220VAC กับ กราวด์ของแรงดัน +5V ต่อจากนั้นจะส่งสัญญาณอินเทอร์รัพท์ให้ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งจะสรุปการทำงานได้ตามตารางนี้

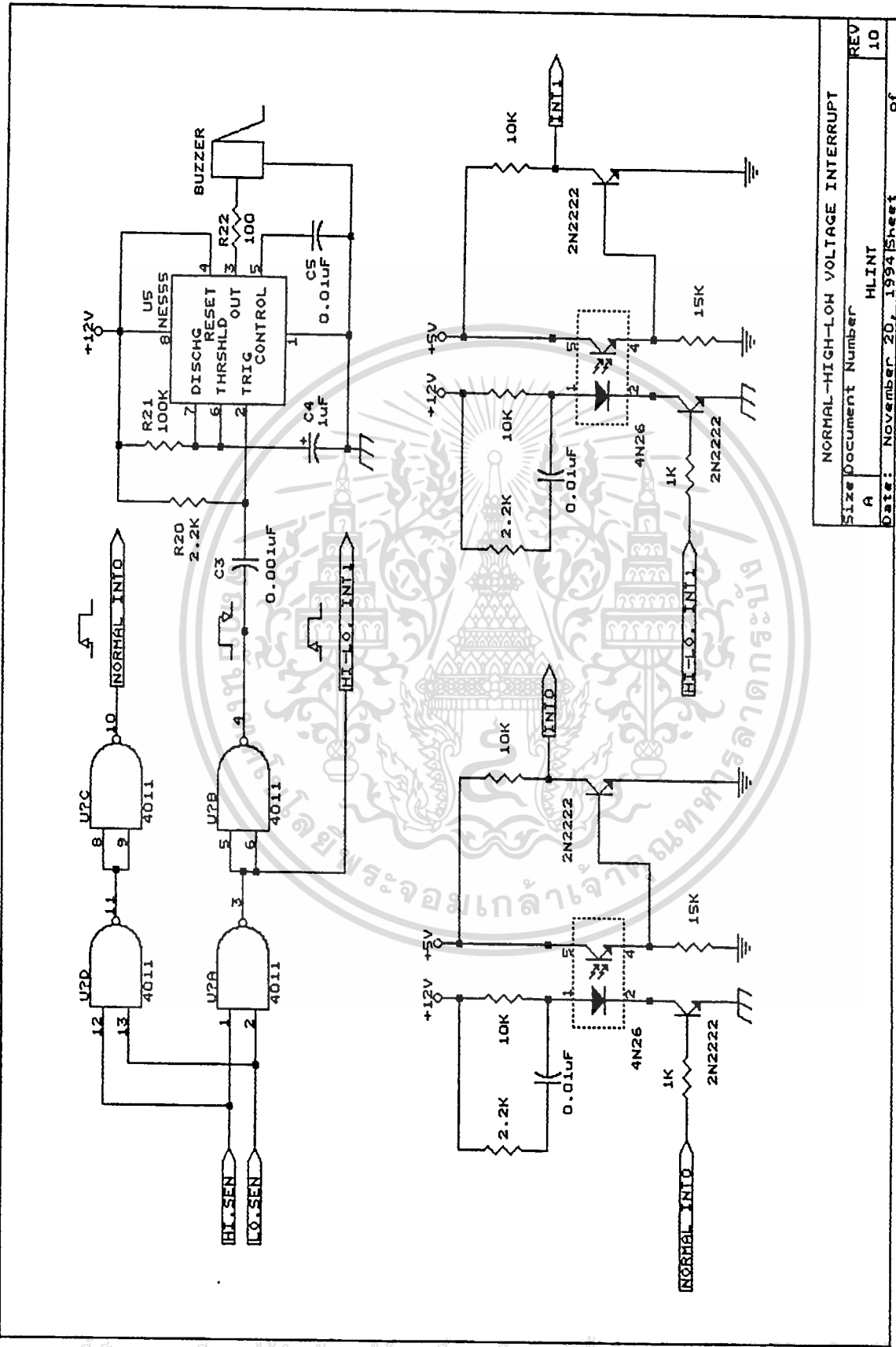
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



HIGH-LOW VOLTAGE SENSOR	
Size Document Number	HLSEN
REV	09
Date:	November 20, 1994
Sheet	of

รูปที่ 4.18 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าเกิน และไฟฟ้าตก จากระบบไฟฟ้าหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



NORMAL-HIGH-LOW VOLTAGE INTERRUPT	
Size Document Number	REV
A	10
Date: November 20, 1993	Sheet of

รูปที่ 4.19 วงจรส่งสัญญาณอินเทอร์รัพท์ให้ไมโครโปรเซสเซอร์ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะของแรงดัน	NAND GATE	Monostable	NOT GATE
แรงดันไฟฟ้าปกติ 1 1	0		1 (INT0)
แรงดันไฟฟ้าสูงเกิน 1 0	1 (INT1)	0 (BUZZER)	
แรงดันไฟฟ้าต่ำเกิน 0 1	1 (INT1)	0 (BUZZER)	

ตารางที่ 4.1 แสดงตารางการทำงานของวงจรตรวจจับแรงดัน ในรูปที่ 4.19

### 4.3.5 การทำงานโซลิตสเททรีเลย์

วงจรโซลิตสเททรีเลย์ ในรูปที่ 4.20 วงจรควบคุมการทำงานมีวงจรด้านแรงดันต่ำใช้ควบคุมการเปิดปิดของโซลิตสเททรีเลย์ โดยใช้ตัวเชื่อมโยงทางแสง (opto coupler) แบบ LED เบอร์ MOC3041 กับไทรแอก เบอร์ Q4010L4 เมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวเชื่อมโยงทางแสงประมาณ 3-40 มิลลิแอมป์ LED จะทำให้โฟโตไทรแอกภายในนำกระแส ก็จะไปทริกขาเกตขาเกตของไทรแอกทำให้ไทรแอกนำกระแสให้โหลดทำงานได้ ส่วน C 0.1  $\mu$ F 50V เป็นตัวป้องกันการทำงานผิดพลาดจากสัญญาณรบกวนจากภายนอก R และ C เป็นตัวป้องกันทรานเซียนต์ จากการเพิ่มแรงดันของโหลดอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ไทรแอกเสียได้ นอกจากนี้ C ยังเป็นตัวลดสัญญาณรบกวน และแรงดันไฟฟ้ากระชากด้วย R เป็นตัวจำกัดกระแสที่ไหลผ่าน C

การทำงานของโซลิตสเททรีเลย์ ทำหน้าที่เหมือนกับสวิตช์ย้ายโอน (transfer switch) เมื่อวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าได้ปกติ ไมโครโปรเซสเซอร์จะทำการทริกให้โซลิตสเททรีเลย์ชุดที่ 1 ทำงาน โดยจากแหล่งจ่ายระบบไฟฟ้าหลักให้กับโหลด แต่ถ้าวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าได้เกินหรือแรงดันไฟฟ้าต่ำ ไมโครโปรเซสเซอร์จะส่ง PWM ให้กับชุดอินเวอร์เตอร์ และทริกให้โซลิตสเททรีเลย์ชุดที่ 2 ทำงาน โดยจ่ายแรงดันโชน์จากเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ให้กับโหลด แต่ต่อมาถ้าแรงดันระบบไฟฟ้าหลักเกิดปกติ ไมโครโปรเซสเซอร์จะหยุดส่ง PWM และให้โซลิตสเททรีเลย์ชุดที่ 1 สวิตช์มาที่ตำแหน่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าหลักต่อไป ซึ่งจะเห็นว่าการใช้โซลิตสเททรีเลย์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ย้ายโอนและควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์จะใช้เวลาเร็วในการสวิตช์เพียงไม่กี่  $\mu$ S เท่านั้น

## 4.4 วงจรป้องกัน และแสดงผลเมื่อเกิดความผิดปกติ

### 4.4.1 วงจรป้องกันการลัดวงจร

สัญญาณ PWM ที่ส่งมาจากไมโครโปรเซสเซอร์ ก่อนที่จะส่งไปยังวงจรชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ จะต้องนำไปผ่านวงจรป้องกันการลัดวงจรก่อน

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เพราะป้องกันไม่ให้ทรานซิสเตอร์กำลังตัวที่อยู่ด้านบน และด้านล่าง หรือถึงเดียวกันทำงานพร้อมกัน โดยวงจรป้องกันการลัดวงจรจะหน่วงเวลาทำงานของทรานซิสเตอร์ออกไปเป็นเวลา  $t_L$  ดังนี้

$$t_L = t_f + t_k \quad (4.18)$$

เมื่อ  $t_L$  ป้องกันการลัดวงจร โดยจะหน่วงเวลาทำงานของทรานซิสเตอร์

$t_f$  เป็นเวลาที่ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส 0.4 ไมโครวินาที

$t_k$  เป็นเวลาหน่วงที่ตั้งค่าในวงจรโมโนสเตเบิล 5 ไมโครวินาที

วงจรป้องกันการลัดวงจรจะประกอบด้วยแนนด์เกต (NAND gate) ทำงานร่วมกับวงจรโมโนสเตเบิล (monostable) แสดงในรูปที่ 4.21 มีจำนวน 4 ชุดด้วยกัน

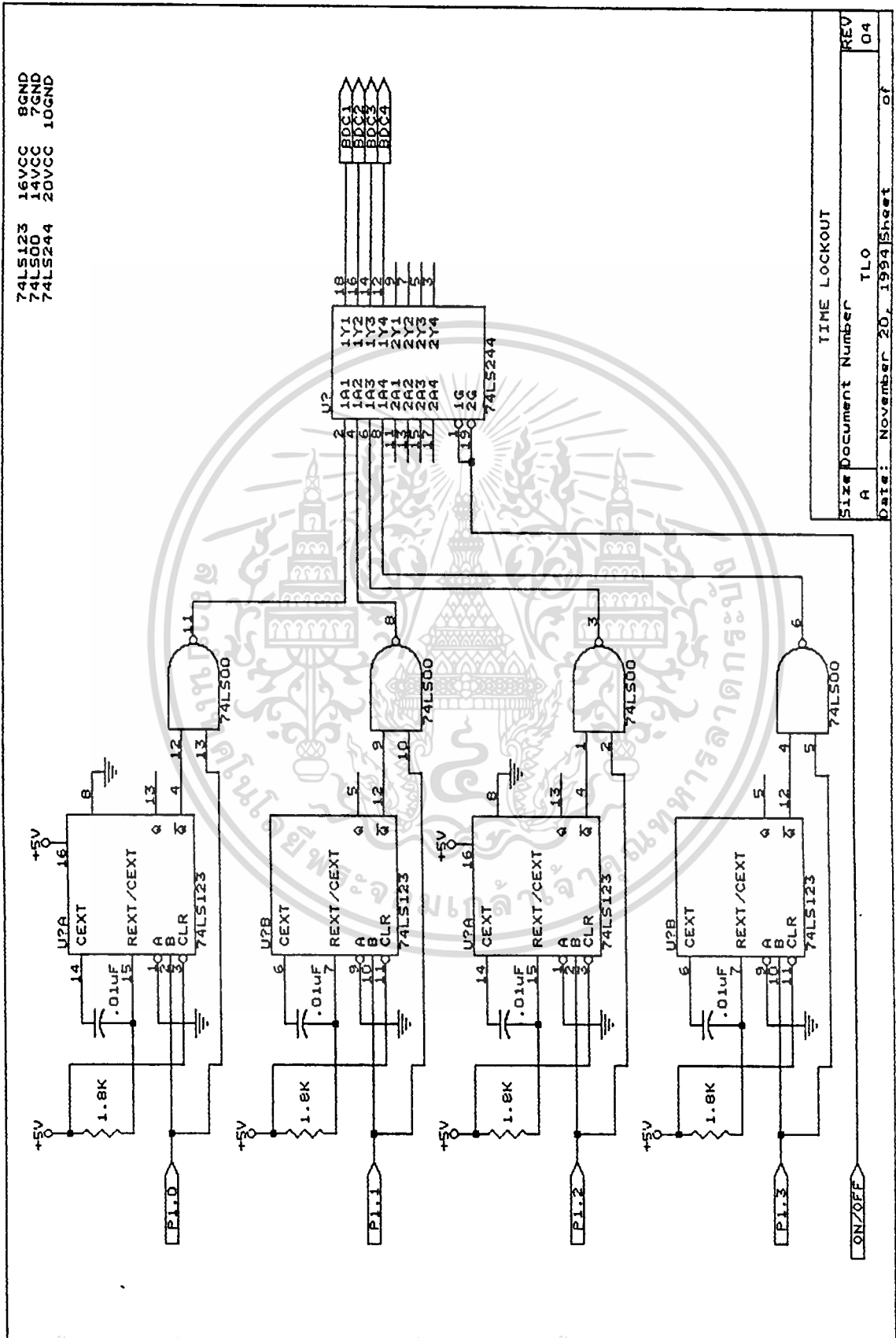
#### 4.4.2 วงจรป้องกันแรงดันสูงเกิน

วงจรป้องกันแรงดันสูงเกิน ในรูปที่ 4.22 คือป้องกันแรงดัน 310VDC มีค่าสูงเกินผิดปกติเกิดขึ้น เนื่องจากการทำงานผิดพลาดของ วงจร ดีซี/ดีซี คอนเวอร์เตอร์ จะทำให้มีแรงดันมากกว่า 310VDC แรงดันที่สูงเกินนี้จะมีผลทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังในวงจรอินเวอร์เตอร์เสียหายได้

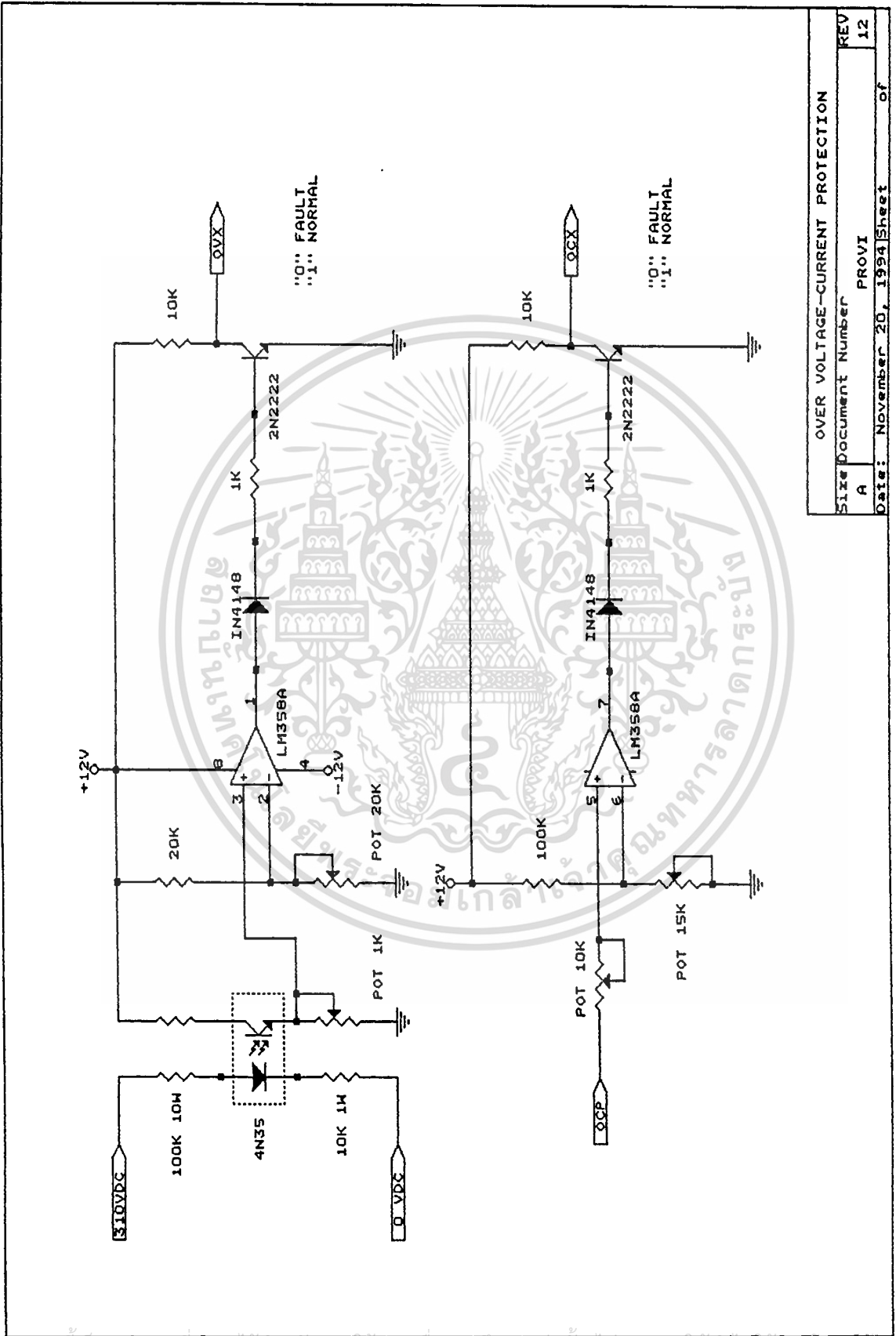
การทำงานของวงจรป้องกันแรงดันสูงเกิน จะตรวจสอบแรงดันที่ ดีซีบัส 310VDC โดยตัวเชื่อมโยงทางแสงเป็นตัวแยกกราวด์ของแรงดันสูงออกจากแรงดันต่ำ ซึ่งมีออปแอมป์ LM358 เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันสูงเกิน จะส่งสัญญาณไปให้กับวงจรแสดงผลเมื่อเกิดความผิดปกติ และทำการควบคุม โดยจะทำการหยุดส่งพัลส์ PWM ไปให้กับชุดขับนำเบส

#### 4.4.3 วงจรป้องกันกระแสสูงเกิน

วงจรป้องกันกระแสสูงเกินข้างล่างในรูปที่ 4.23 นี้มีไว้เพื่อป้องกันกระแสไหลเกินผิดปกติที่วงจรอินเวอร์เตอร์จ่ายให้กับโหลด กระแสที่สูงเกินนี้จะมีผลทำให้ทรานซิสเตอร์กำลัง ในวงจรอินเวอร์เตอร์จะเกิดความเสียหายได้ การทำงานของวงจรนี้จะได้รับสัญญาณมาจากวงจรตรวจจับกระแส ที่ขา OCP ซึ่งได้แปลงจากกระแสมาเป็นแรงดันแล้ว มาให้กับออปแอมป์ LM358 เป็นตัวเปรียบเทียบกระแสสูงเกิน จะส่งสัญญาณไปให้กับวงจรแสดงผลเมื่อเกิดความผิดปกติ ทำการควบคุม โดยจะทำการหยุดส่งพัลส์ PWM ไปให้กับชุดขับนำเบส



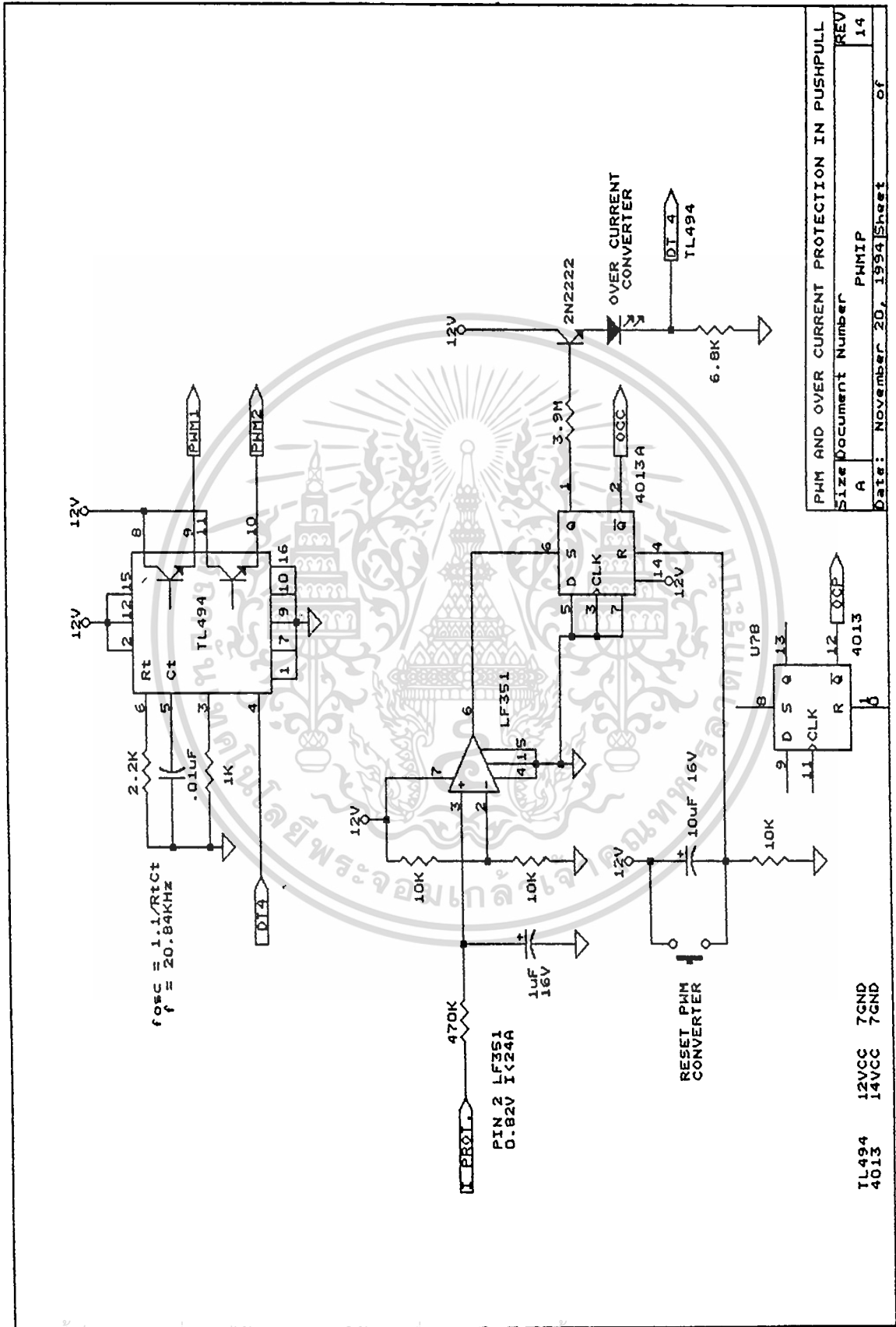
รูปที่ 4.21 วงจรป้องกันการลัดวงจร (Time Lockout)



OVER VOLTAGE-CURRENT PROTECTION		
Size Document Number	PROVI	REV
A		12
Date:	November 20, 1994	Sheet of

รูปที่ 4.22 วงจรป้องกันแรงดัน และกระแสเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PMM AND OVER CURRENT PROTECTION IN PUSH PULL	
Size Document Number	PMMIP
REV	14
Date:	November 20, 1994
Sheet	of

รูปที่ 4.23 วงจรป้องกันกระแสเกินในวงจรพุด

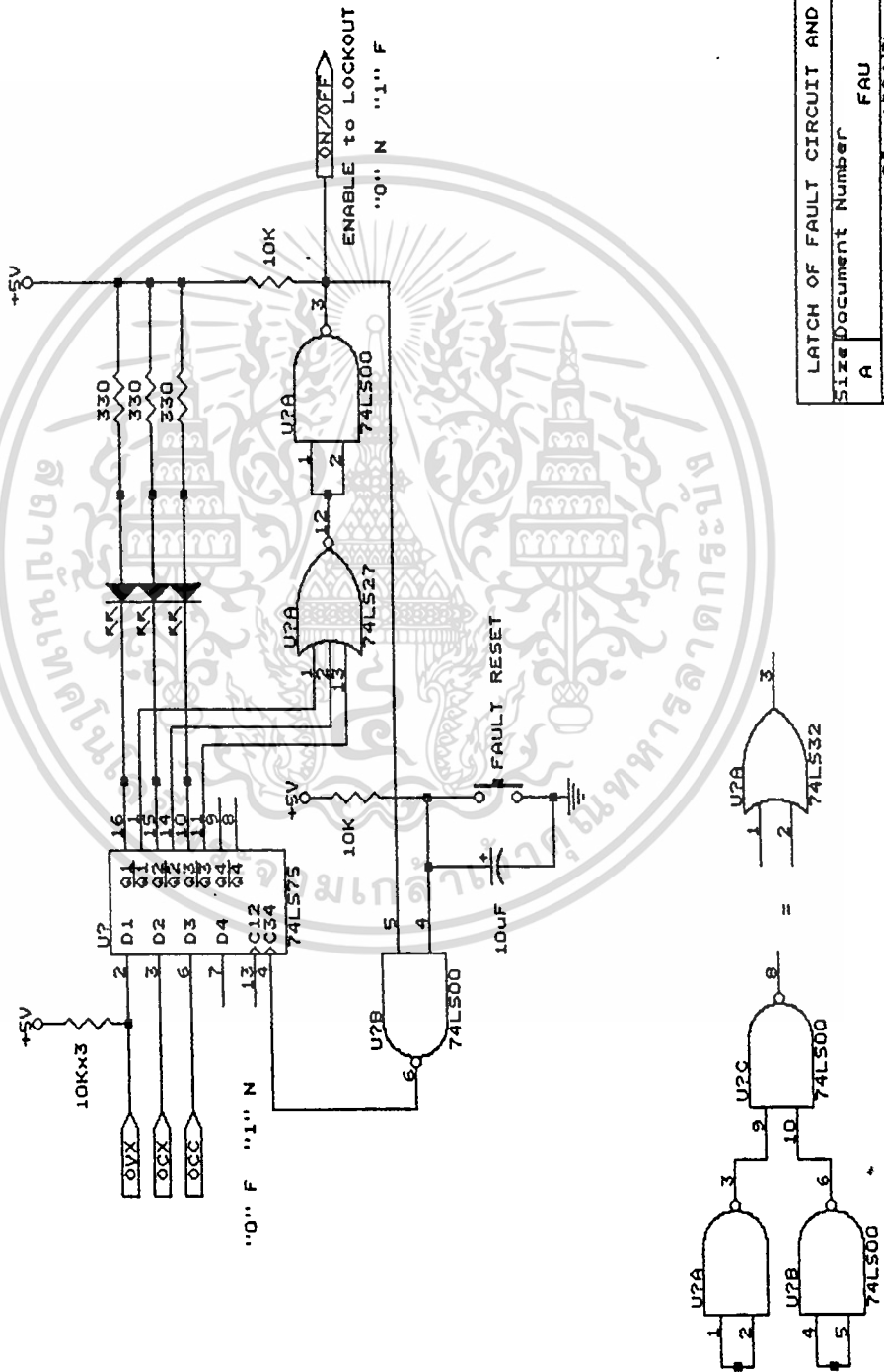
เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวจนวสาหรบการเซางานเพอการศกษาเทานัน เม่อนุญาตเหเนาเปเซบระเยชนดานการค้  
 ไม่วากรณีใดทงห้สน อกทงห้ามมิให้คดเปลงเน้อหา และตอแงองถงเจ้าของเอกสารทุกคร้งทม่การนำป้

#### 4.4.4 วงจรป้องกันกระแสสูงเกินในวงจรพืซพูล

วงจรป้องกันกระแสสูงเกินในวงจรพืซพูล ในรูปที่ 4.23 ได้ตรวจจับกระแสมาจากคู่ของทรานซิสเตอร์กำลัง ในวงจรพืซพูล คอนเวอร์เตอร์ ที่มีกระแสไหลเกินผิดปกติโดยมีความต้านทาน 0.34 โอห์ม 30W จะมีแรงดันตกคร่อมเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับออฟแอมป์ เมื่อเกิดความผิดปกติจะเป็นลอจิก"1" และปกติจะเป็นลอจิก "0" ถ้าผิดปกติจะทำการทริกทรานซิสเตอร์และส่งสัญญาณไปให้กับไอซี TL494 ให้หยุดส่งสัญญาณ PWM

#### 4.4.5 วงจรแสดงผลเมื่อเกิดความผิดปกติ

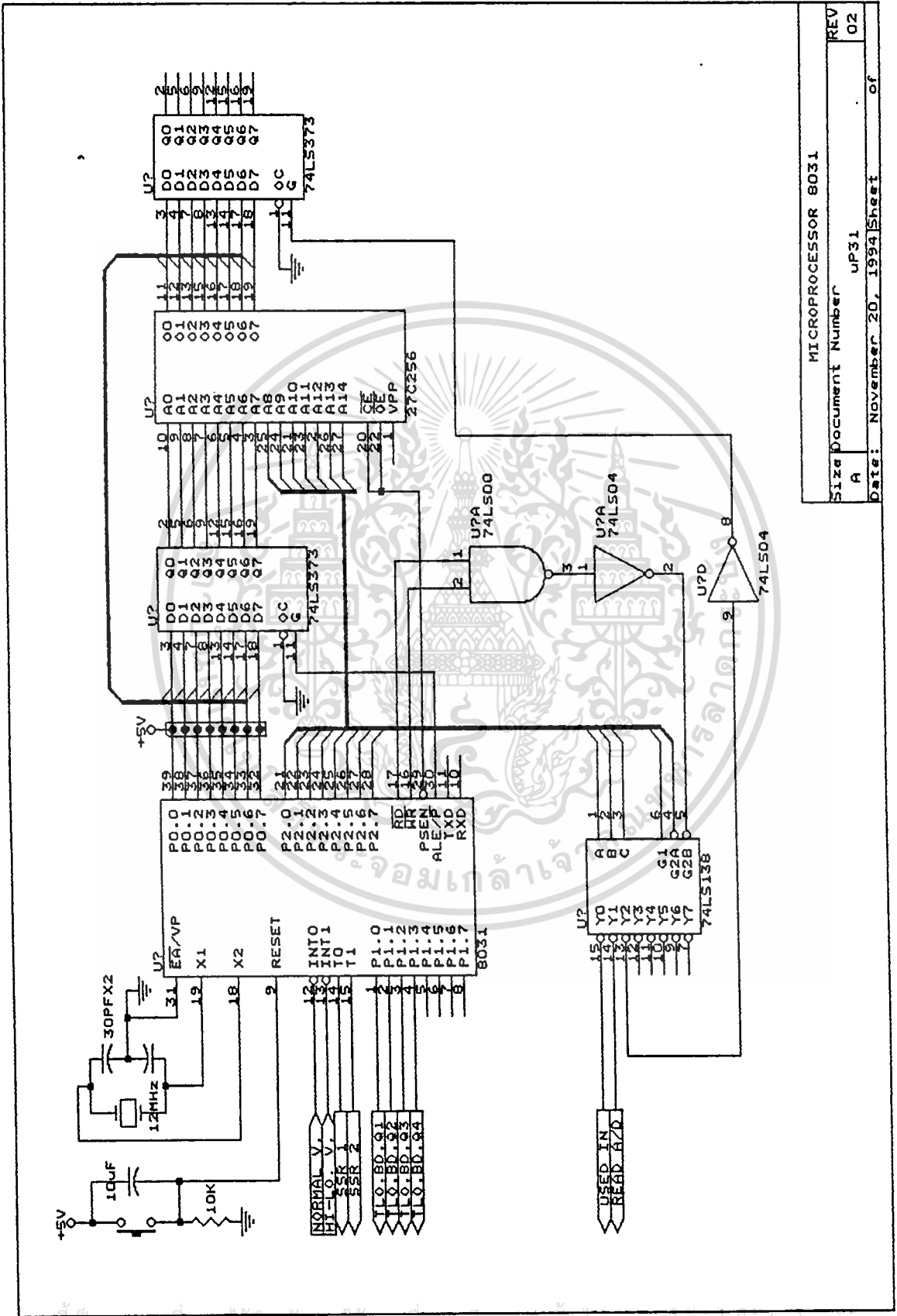
วงจรแสดงผลเมื่อเกิดความผิดปกติ ในรูปที่ 4.24 เมื่อได้รับสัญญาณไม่ว่าจะเป็นของวงจรป้องกันแรงดันสูงเกิน วงจรป้องกันกระแสสูงเกิน และวงจรป้องกันกระแสสูงเกินในวงจรพืซพูล คอนเวอร์เตอร์ คือสัญญาณที่ได้รับมานี้ ถ้าเกิดความผิดปกติจะเป็นลอจิก"0" และปกติจะเป็นลอจิก "1" มาทำการแสดงผลที่ LED ค้างไว้ เพื่อให้ทราบว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้น จนกว่าจะได้รับการแก้ไขสาเหตุของความผิดปกตินั้น และกดปุ่มสวิตช์ FAULT RESET ให้ทำงานต่อไป ในขณะที่เกิดความผิดปกติไม่ว่ากรณีใด ๆ วงจรชุดนี้จะส่งสัญญาณลอจิก "1" ไปให้ไอซีเบอร์ 74LS244 ทำการหยุดส่งพัลส์ PWM ไปให้กับวงจรชุดขับนำเบลส



LATCH OF FAULT CIRCUIT AND FAULT DISPLAY	
Size	REV
Document Number	A
FAU	13
Date: November 20, 1994	Sheet of

รูปที่ 4.24 วงจรแสดงผลเมื่อเกิดความผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



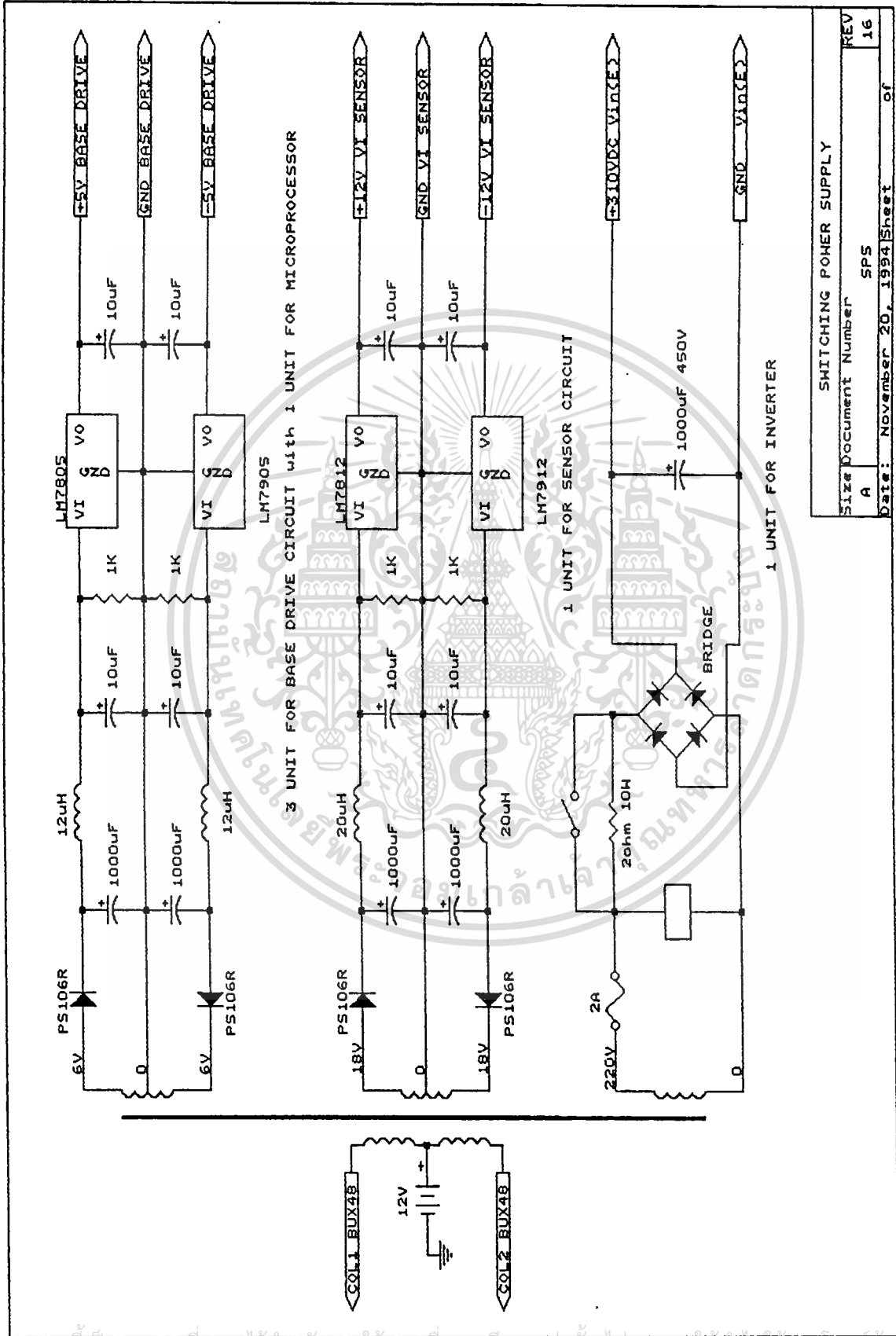
MICROPROCESSOR 8031	
Size Document Number	UP31
A	02
Date: November 20, 1994	Sheet of

รูปที่ 4.25 วงจรไมโครโปรเซสเซอร์ 8031 ที่ใช้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







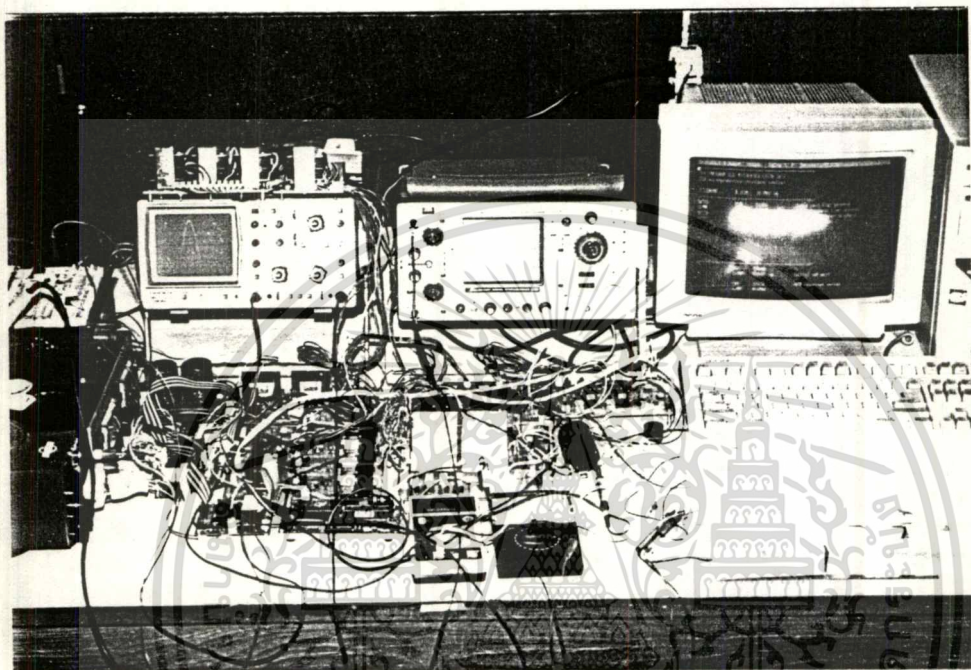
รูปที่ 4.28 วงจรสวิตซ์ิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการละเมิดในเพื่อการค้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตในการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

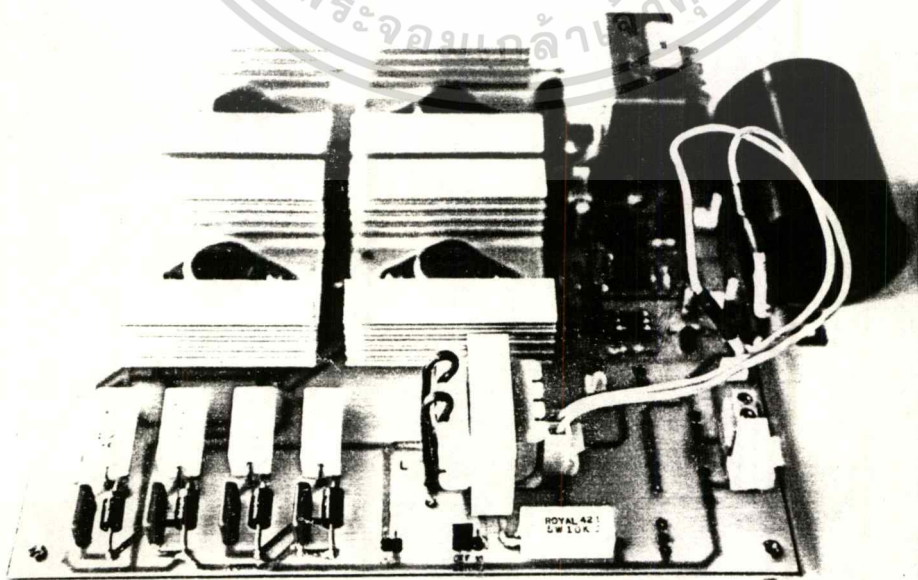


#### 4.5 รูปภาพฮาร์ดแวร์ของวิทยานิพนธ์

การทดลองของวิทยานิพนธ์นี้ ได้แสดงอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองของวิทยานิพนธ์เช่น วงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรชุดขับนำเบส วงจรควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ 8031 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล และวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าเกิน-ตก



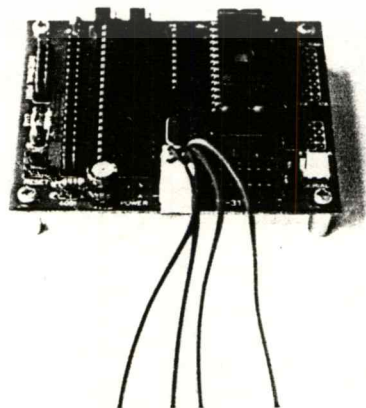
รูปที่ 4.30 แสดงอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองของวิทยานิพนธ์



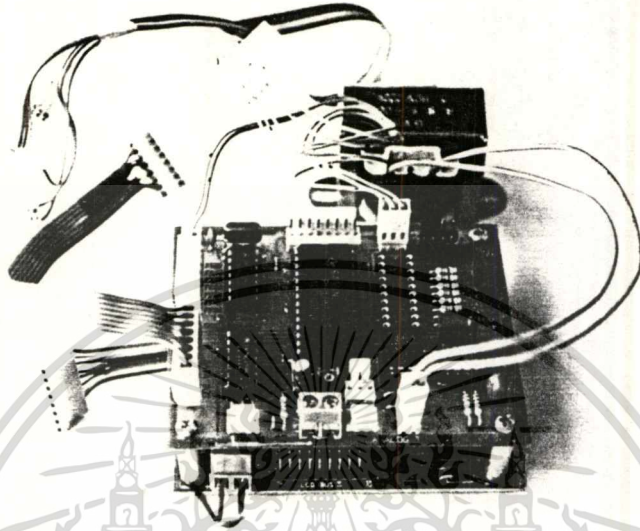
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.31 แสดงชุดวงจรอินเวอร์เตอร์ สับเบส ฟิลเตอร์ และวงจรตรวจจับกระแส



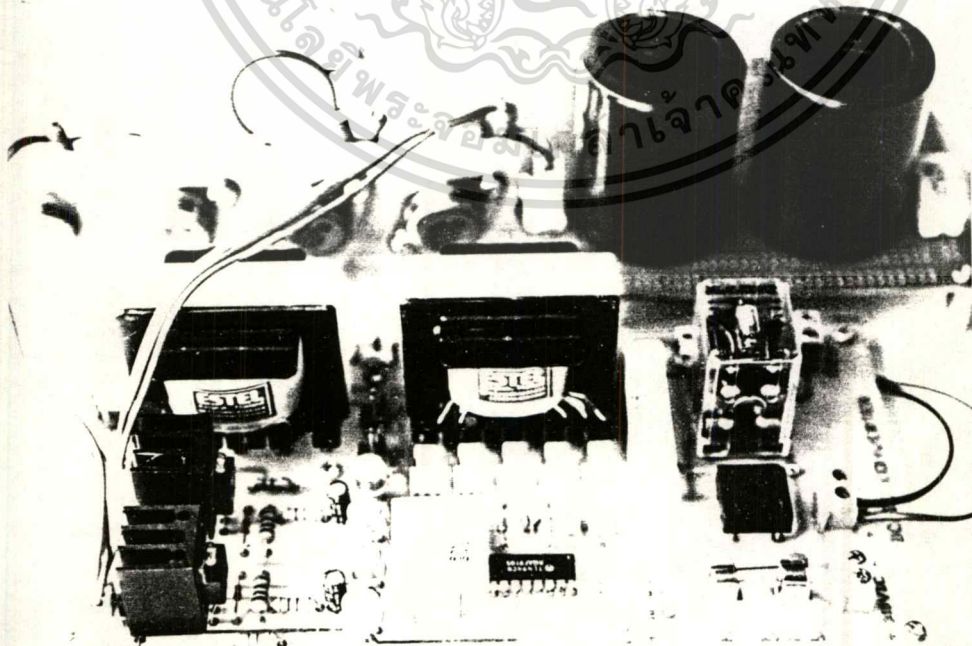
รูปที่ 4.32 แสดงวงจรชุดขับนำเบส และวงจร TIME LOCKOUT



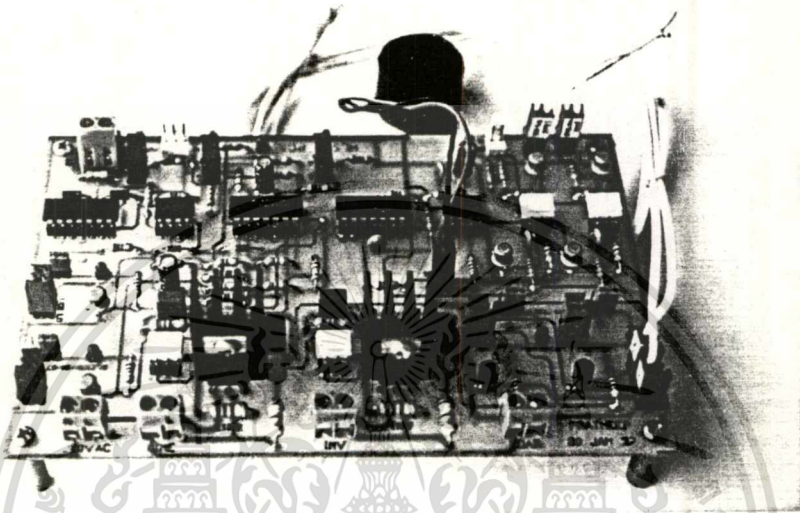
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



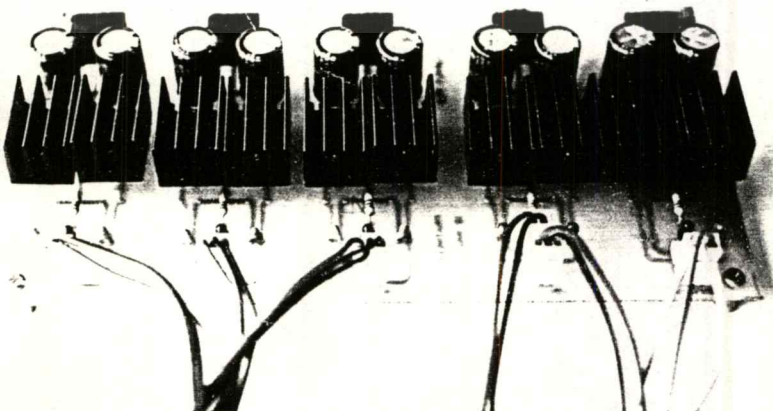
รูปที่ 4.34 แสดงวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.35 แสดงชุดวงจร ดิจิ/ดิจิ คอนเวอร์เตอร์  
 ไม่ว่าจะผิดใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



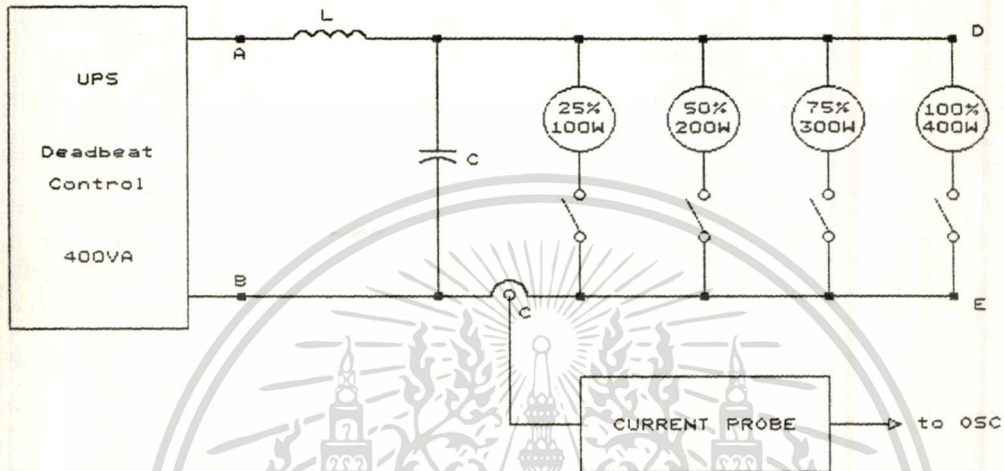
รูปที่ 4.36 แสดงชุดวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าเกิน-ตก  
และวงจรส่งสัญญาณ อินเทอร์เน็ตทำให้ไมโครโปรเซสเซอร์ 8031



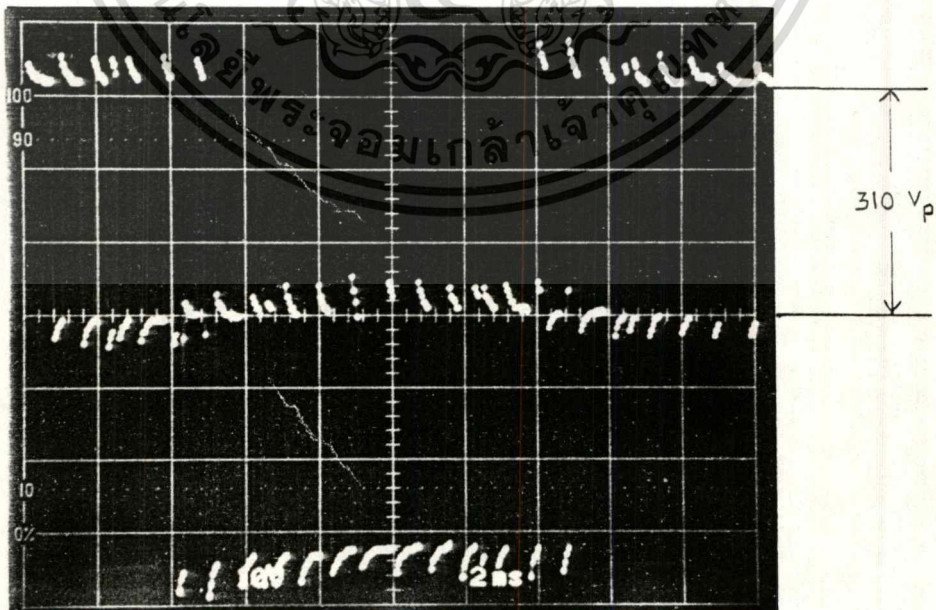
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.6 ผลการทดลอง

## 4.6.1 แบบเดทบีทคอนโทรล (Deadbeat Control)

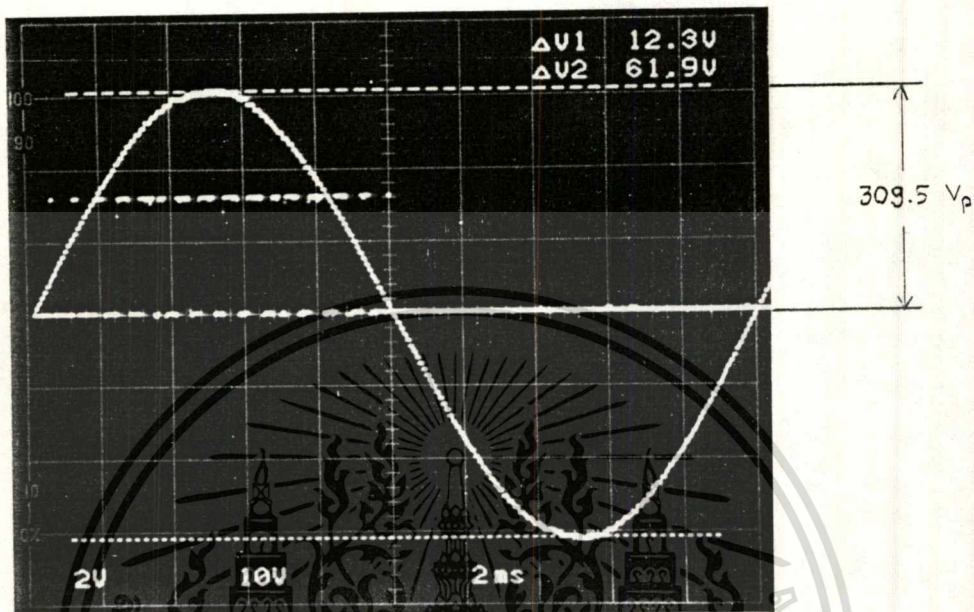


รูปที่ 4.38 แสดงไดอะแกรมการทดสอบ UPS แบบเดทบีทคอนโทรล

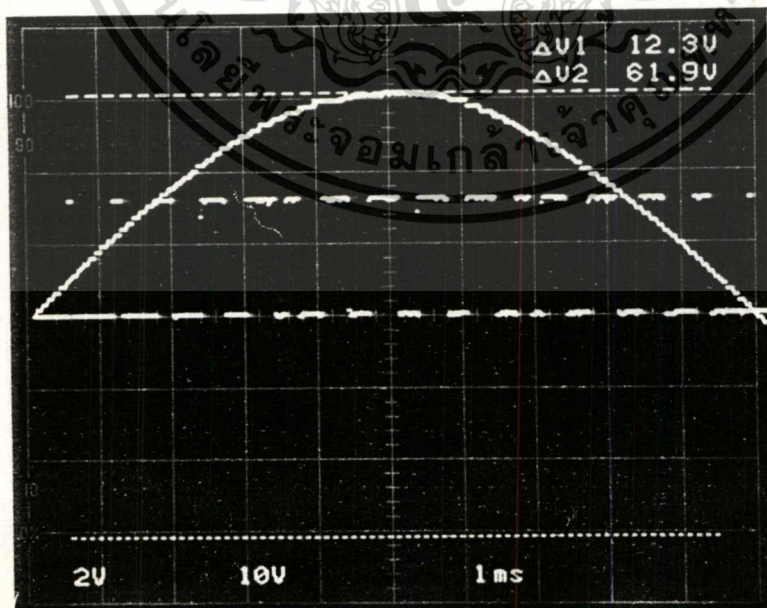


รูปที่ 4.39 แรงดัน 3 ระดับ ที่จุด AB 100Vp/div 2ms

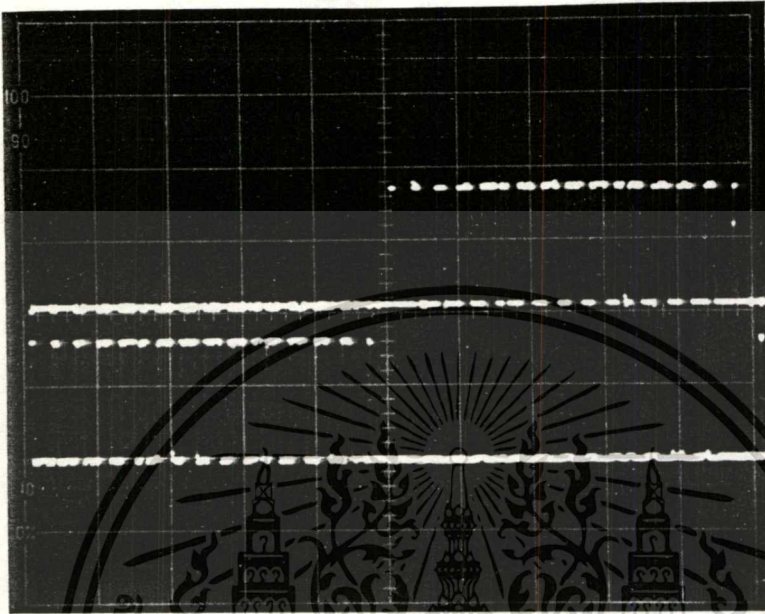
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



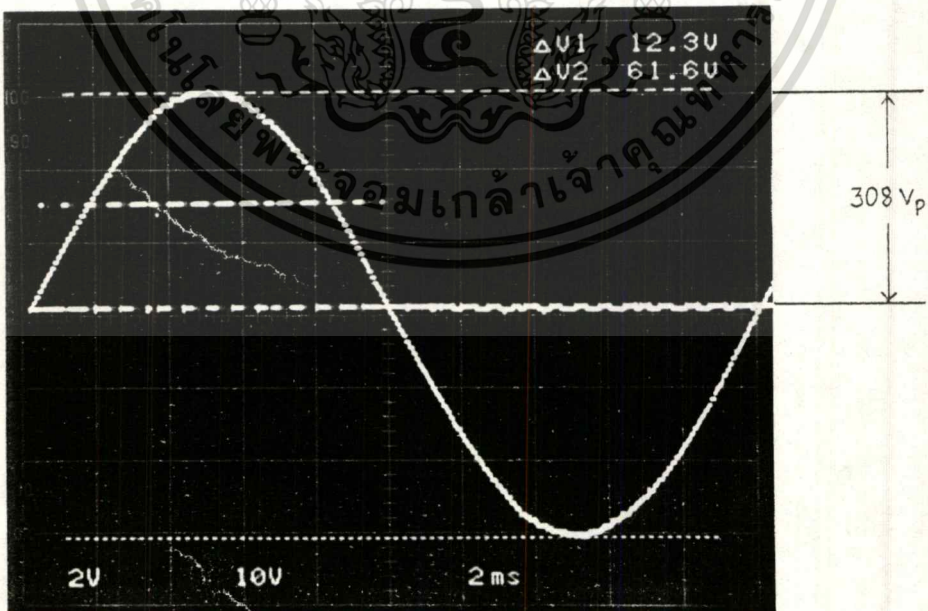
รูปที่ 4.40 แสดงแรงดันไซน์ที่เอาต์พุตของ UPS ที่จุด DE ขณะไม่มีโหลด  
กับสัญญาณ PWM แบบเดบิที่เอาต์พุตเพอร์ท 100Vp/div 2V/div 2ms (สตอร์เรจสโกป)



รูปที่ 4.41 แสดงแรงดันไซน์ที่เอาต์พุตครึ่งคาบเวลาของรูปที่ 4.40  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

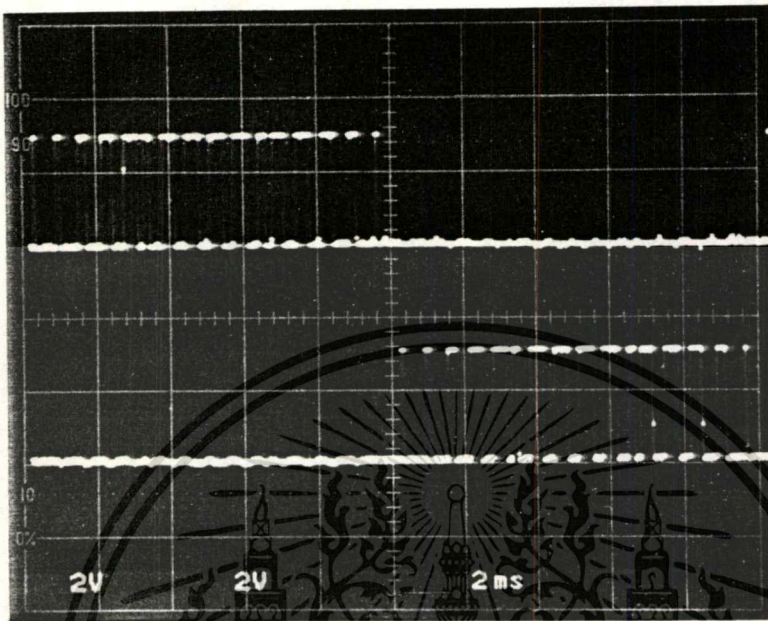


รูปที่ 4.42 แสดงสัญญาณ PWM แบบเดบิตที่คอนโทรลที่เอาต์พุตพอร์ทัล  
สำหรับขั้วนำเบส ขณะไม่มีโหลด 2V/div 2ms



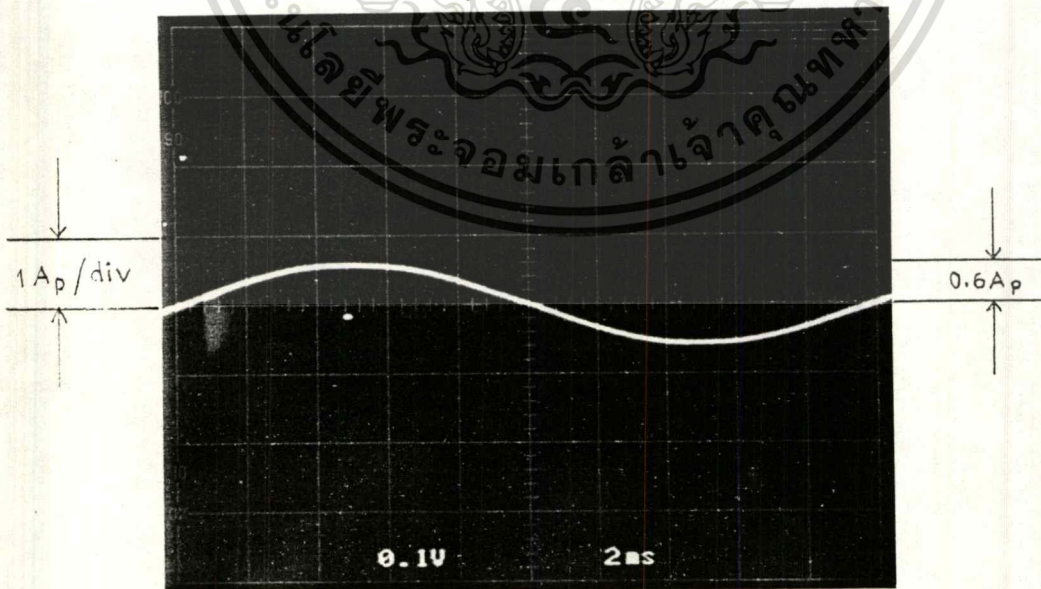
รูปที่ 4.43 แสดงแรงดัน ไซน์ที่เอาต์พุตของ UPS ที่จุด DE ขณะมีโหลด 25%

กับสัญญาณ PWM แบบเดบิตที่เอาต์พุตพอร์ทัล 100Vp/div 2V/div 2ms (สตอร์เรจสโคป)  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



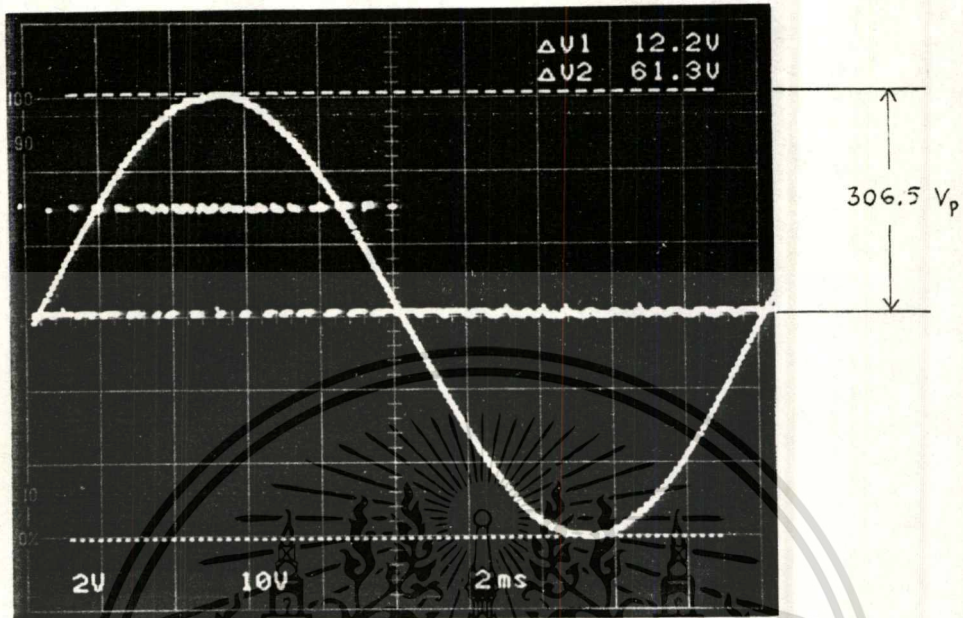
รูปที่ 4.44 แสดงสัญญาณ PWM แบบเดมที่คอนโทรลที่เอาต์พุตพอร์ทัล สำหรับขับนำเบส ขณะมีโหลด 25% 2V/div 2mS

1 ช่องเล็ก = 0.2 A

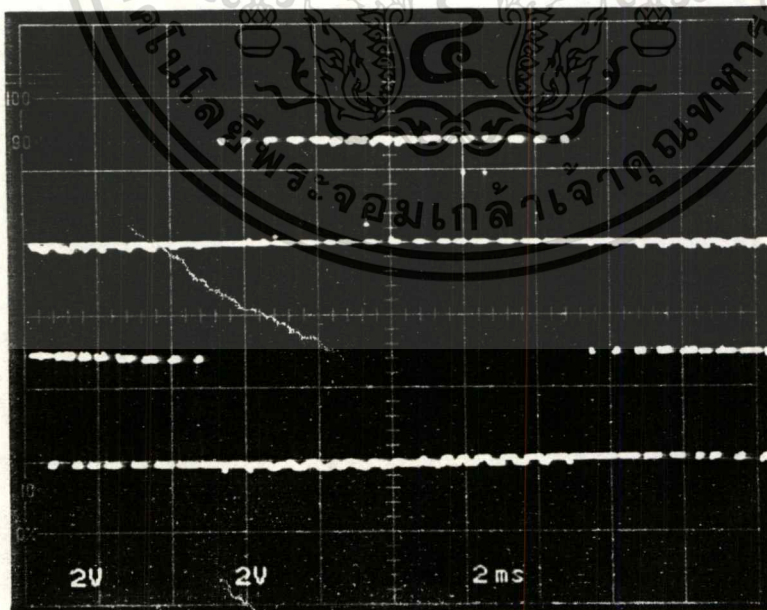


รูปที่ 4.45 แสดงกระแสไลน์ ที่จุด C ขณะมีโหลด 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 1Ap/div 2mS เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



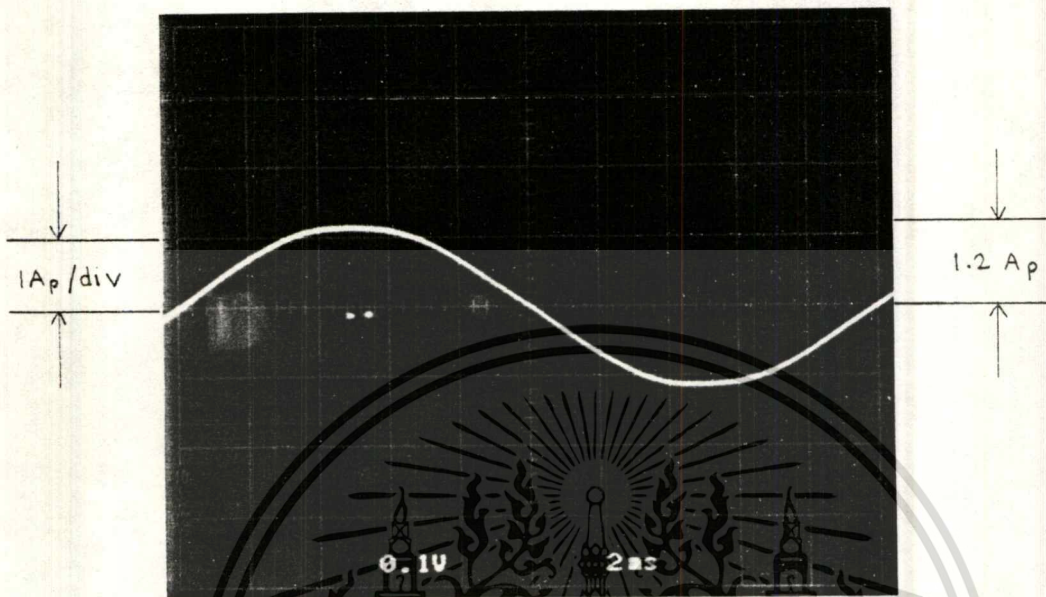
รูปที่ 4.46 แสดงแรงดัน ไซน์ที่เอาท์พุทของ UPS ที่จุด DE ขณะมีโหลด 50%  
กับสัญญาณ PWM แบบเดทบีทที่เอาท์พุทพอร์ท 100Vp/div 2V/div 2ms (สตอร์เรจสโกลป)



รูปที่ 4.47 แสดงสัญญาณ PWM แบบเดทบีทคอนโทรลที่เอาท์พุทพอร์ท

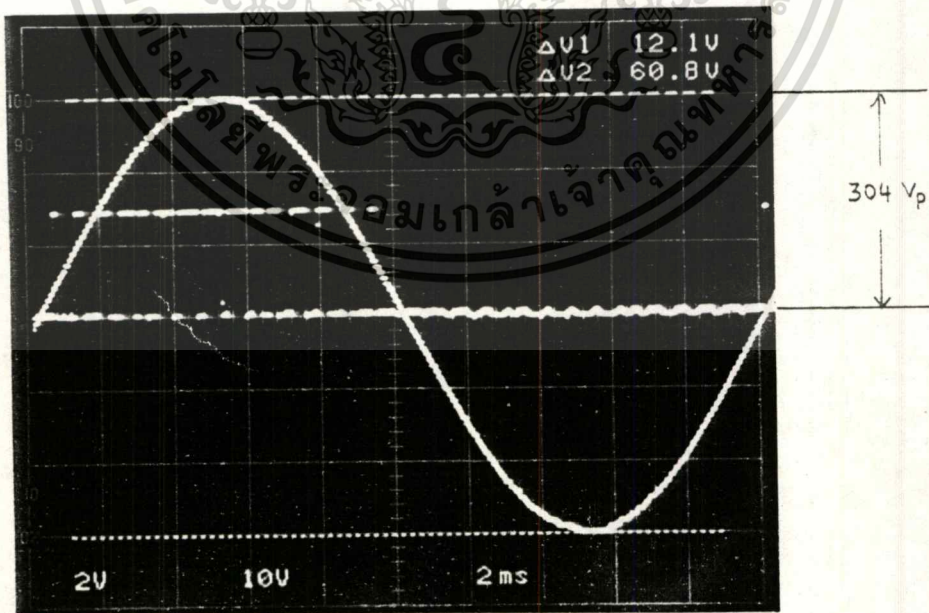
สำหรับขับเบส ขณะมีโหลด 50% 2V/div 2ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.48 แสดงกระแสไลน์ ที่จุด C ขณะมีโหลด 50%

$1 A_p / \text{div} \quad 2 \text{ ms}$

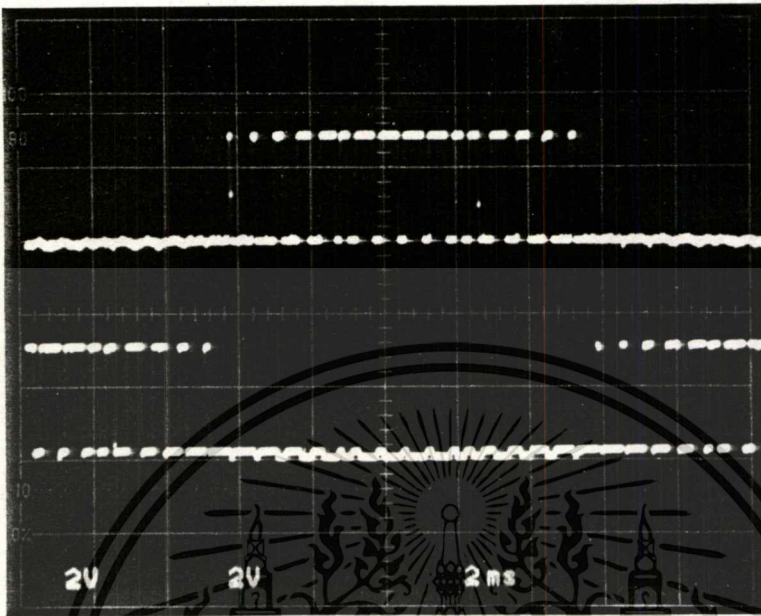


รูปที่ 4.49 แสดงแรงดันไซน์ที่เอาท์พุทของ UPS ที่จุด DE ขณะมีโหลด 75%

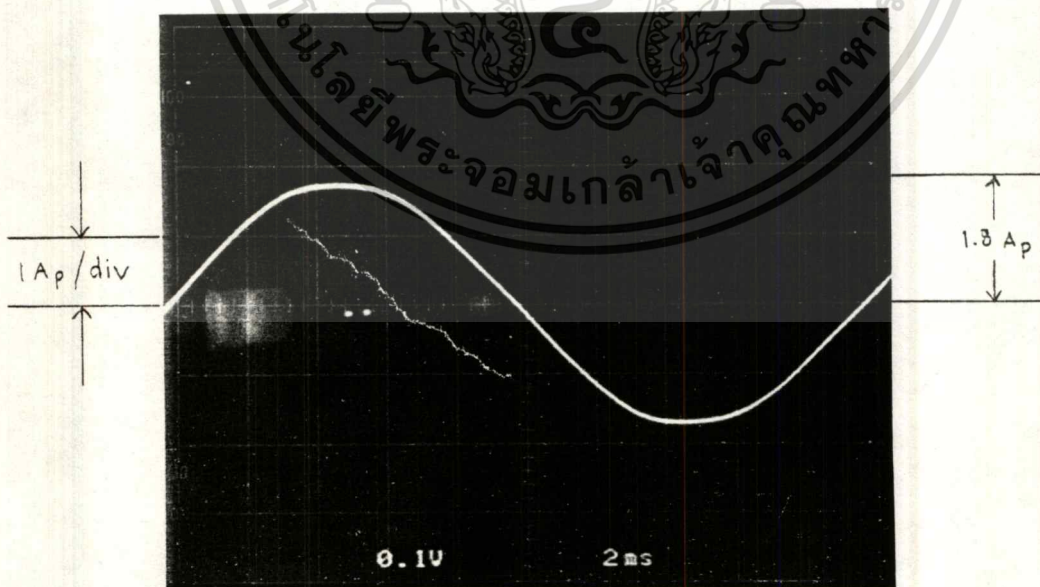
กับสัญญาณ PWM แบบเดบิตที่เอาท์พุทพอร์ต  $100 \text{ Vp} / \text{div} \quad 2 \text{ V} / \text{div} \quad 2 \text{ ms}$  (สตอร์เรจสโคป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



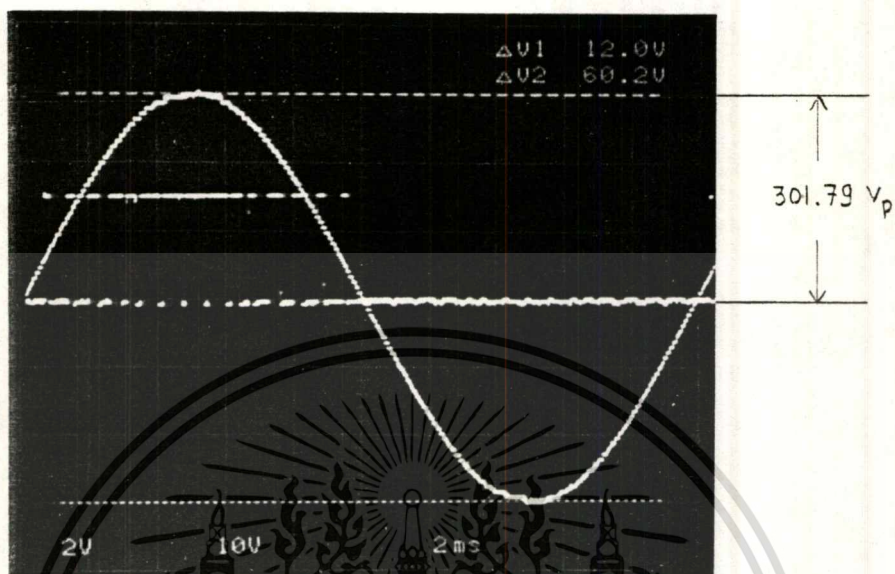
รูปที่ 4.50 แสดงสัญญาณ PWM แบบเดบิตที่คอนโทรลที่เอาต์พุตพอร์ท สำหรับขับนำเบสขณะมีโหลด 75% 2V/div 2ms



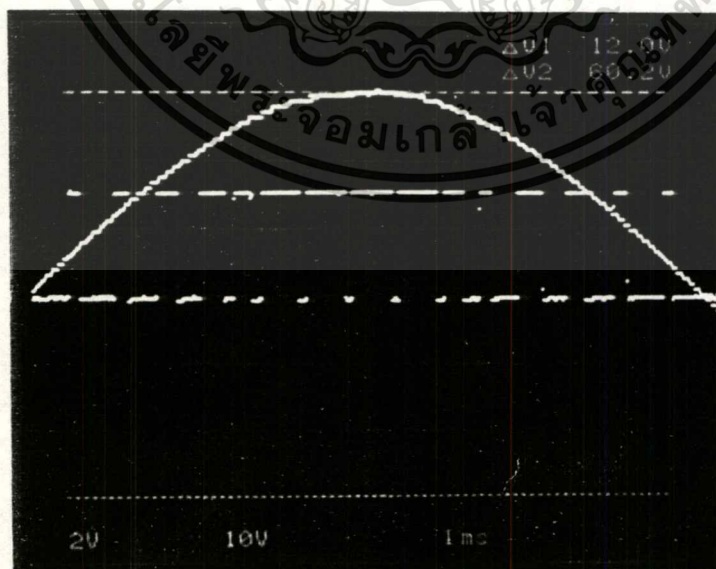
รูปที่ 4.51 แสดงกระแสไลน์ ที่จุด C ขณะมีโหลด 75%

1Ap/div 2ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

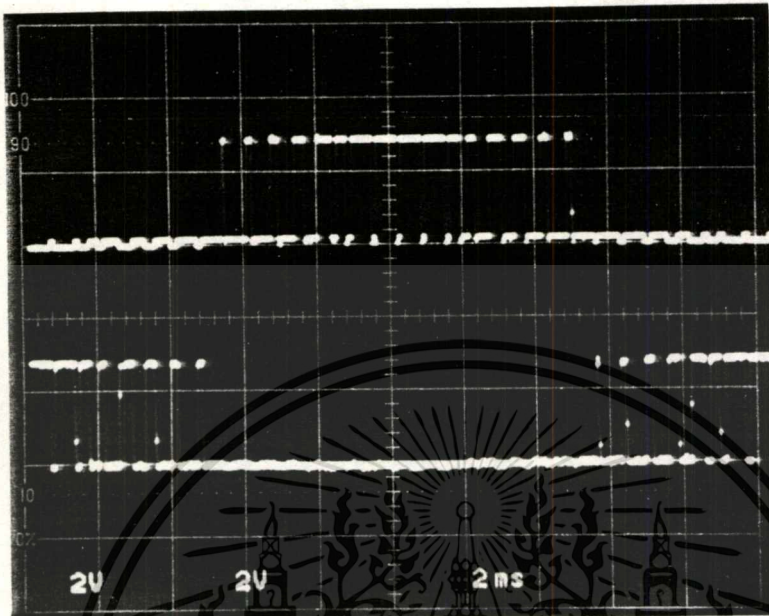


รูปที่ 4.52 แสดงแรงดันไซน์ที่เอาต์พุตของ UPS ที่จุด DE ขณะมีโหลด 100%  
กับสัญญาณ PWM แบบเดบิทีที่เอาต์พุตพอร์ต 100Vp/div 2V/div 2ms (สตอร์เรจสโคป)

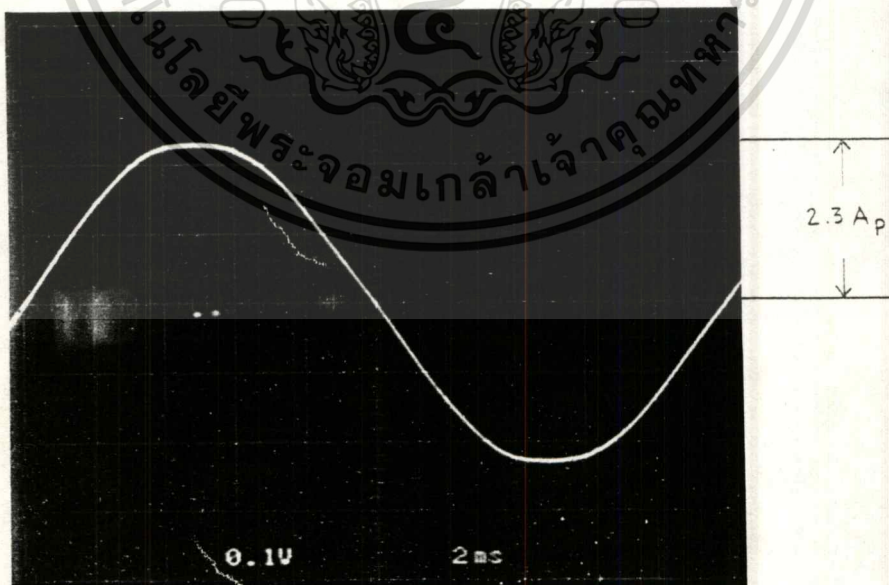


รูปที่ 4.53 แสดงแรงดันไซน์ที่เอาต์พุตครึ่งคาบเวลาของรูปที่ 4.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.54 แสดงสัญญาณ PWM แบบเดบิทีทคอนโทรลที่เอาท์พุทพอร์ทัล สำหรับขับนำเบสขณะมีโหลด 100% 2V/div 2ms

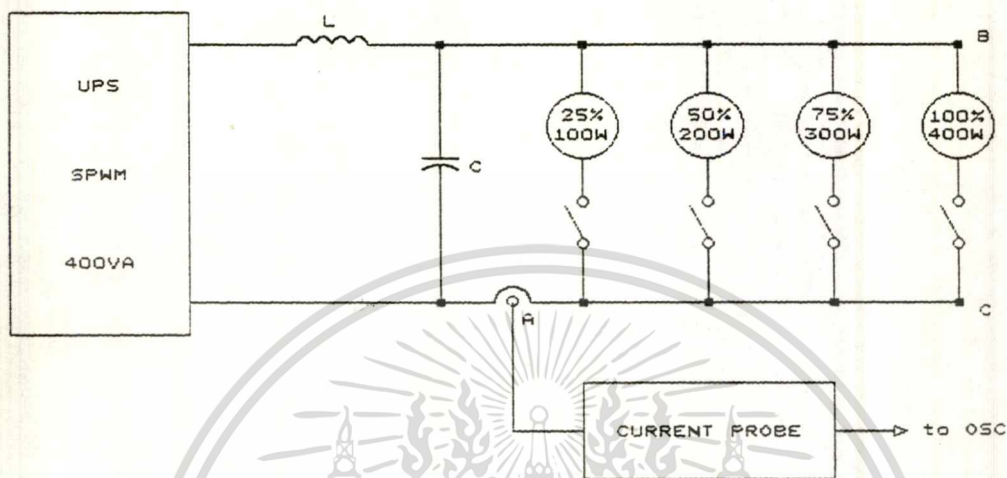


รูปที่ 4.55 แสดงกระแสไลน์ ที่จุด C ขณะมีโหลด 100%

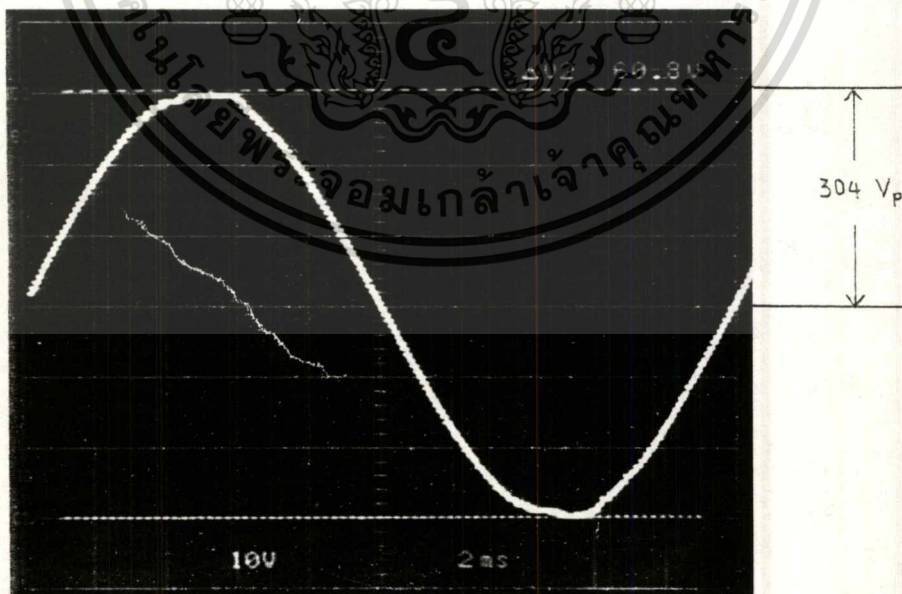
1Ap/div 2ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 แบบ SPWM



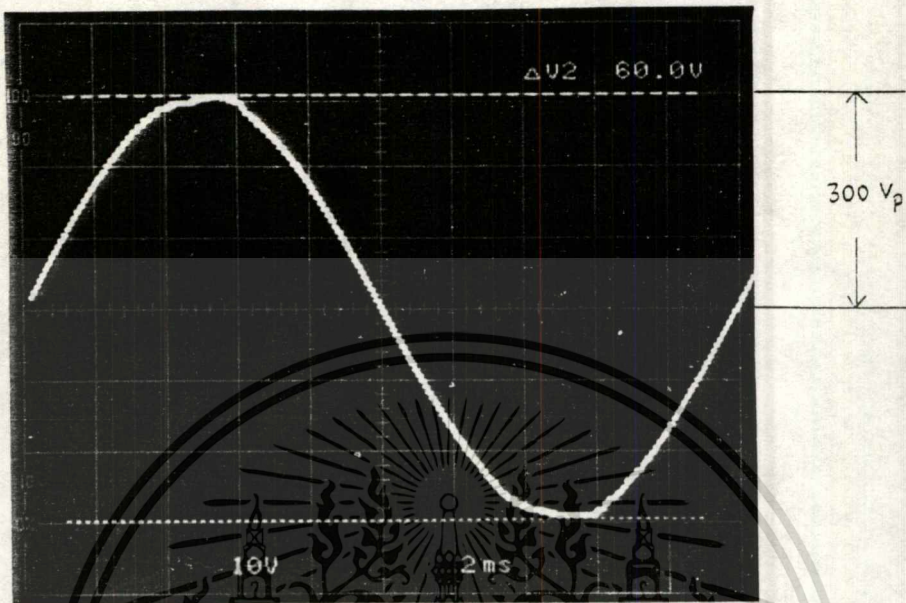
รูปที่ 4.56 แสดงไดอะแกรมการทดสอบ UPS แบบ SPWM



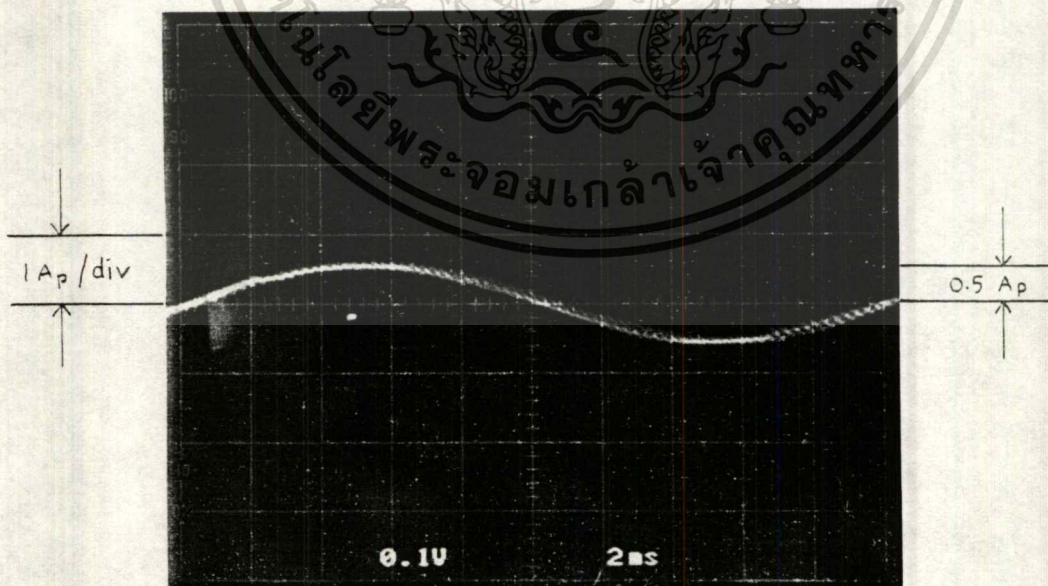
รูปที่ 4.57 แสดงแรงดัน ไซน์ที่เอาท์พุทของ UPS ที่จุดDE ขณะไม่มีโหลด

100V/div 2mS (สตอร์เรจสโคป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



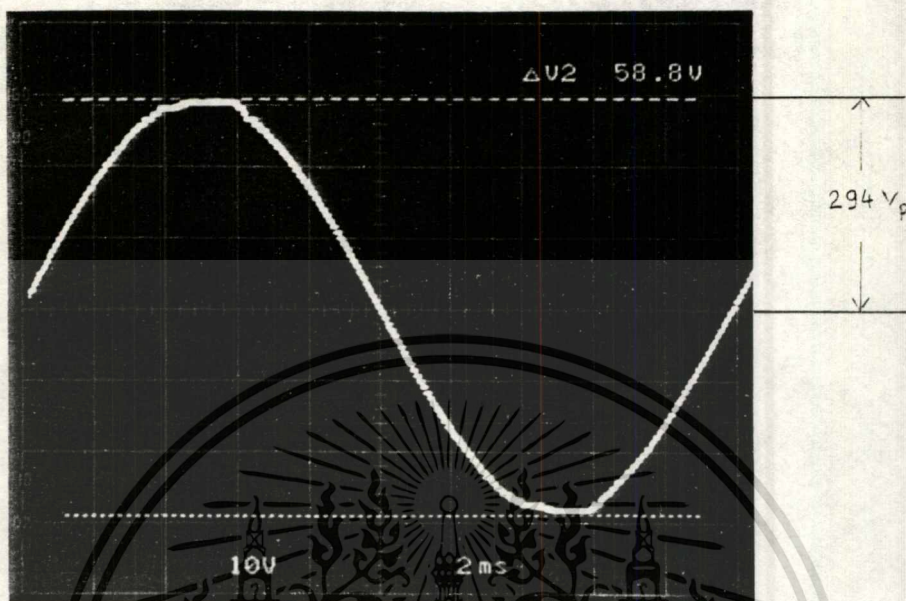
รูปที่ 4.58 แสดงแรงดันไซน์ที่เอาต์พุตของ UPS ที่จุด DE ขณะมีโหลด 25%  
100Vp/div 2ms (สตอร์เรจโคป)



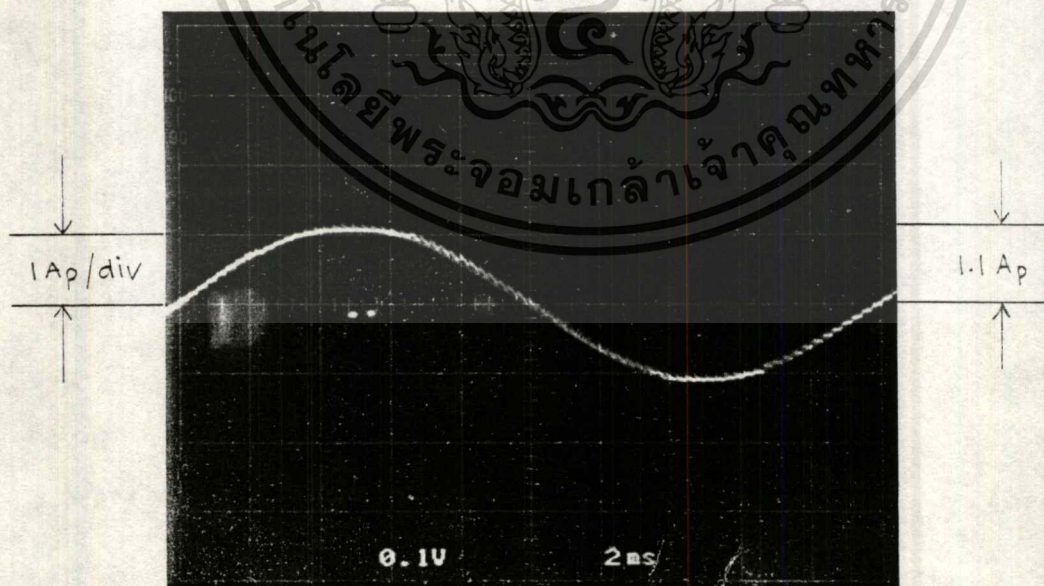
รูปที่ 4.59 แสดงกระแสไซน์ ที่จุด C ขณะมีโหลด 25%

1A<sub>p</sub>/div 2ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



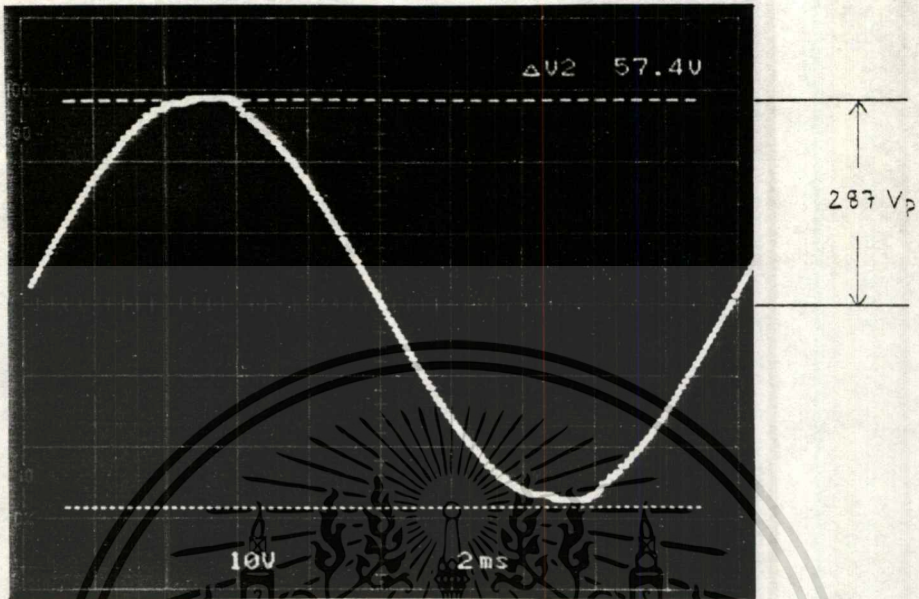
รูปที่ 4.60 แสดงแรงดันไซน์ที่เอาท์พุทของ UPS ที่จุด DE ขณะมีโหลด 50%  
100Vp/div 2mS (สตอร์เรจสโคป)



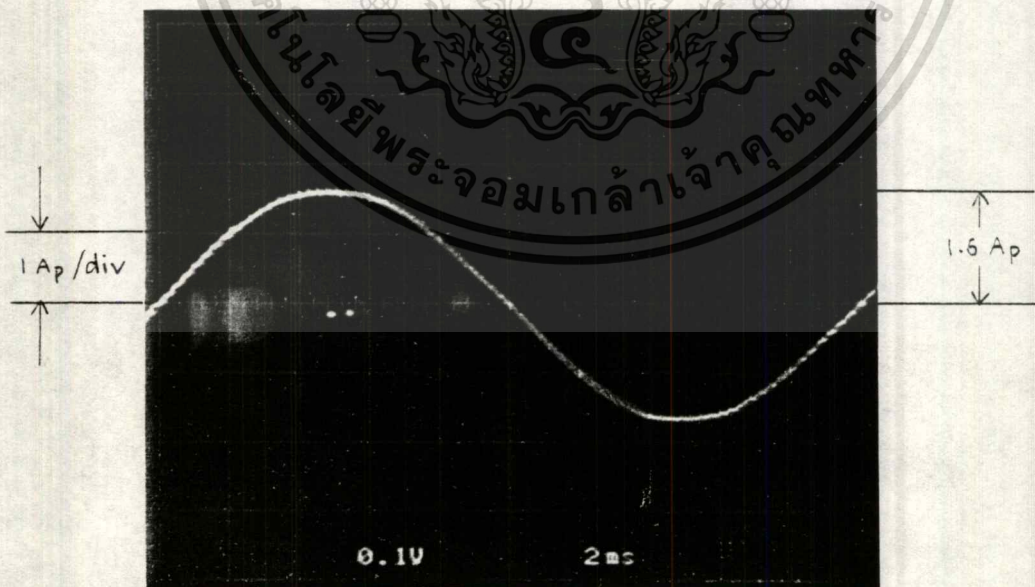
รูปที่ 4.61 แสดงกระแสไลน์ ที่จุด C ขณะมีโหลด 50%

1Ap/div 2mS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



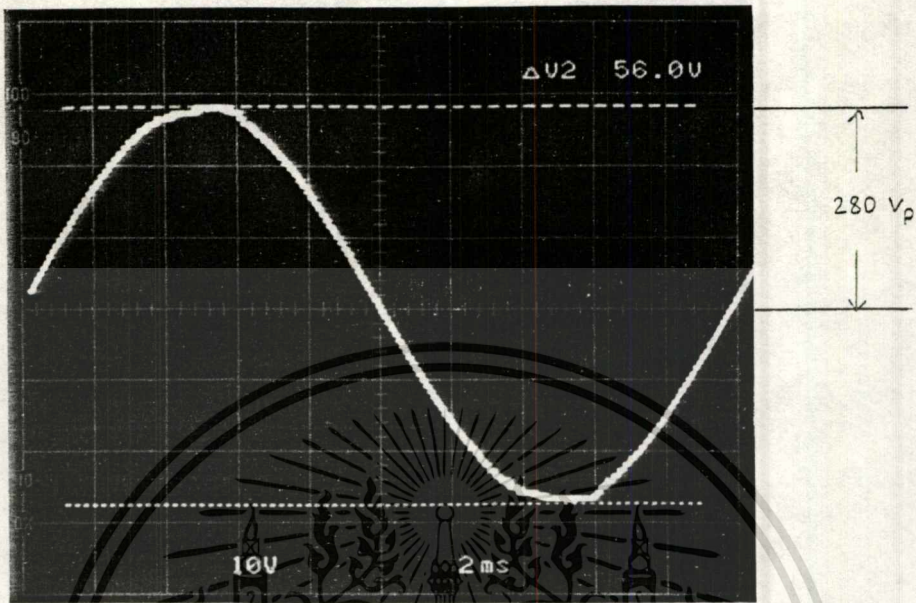
รูปที่ 4.62 แสดงแรงดันไซน์ที่เอาท์พุทของ UPS ที่จุด DE ขณะมีโหลด 75%  
100Vp/div 2mS (สตอร์เรจสโคป)



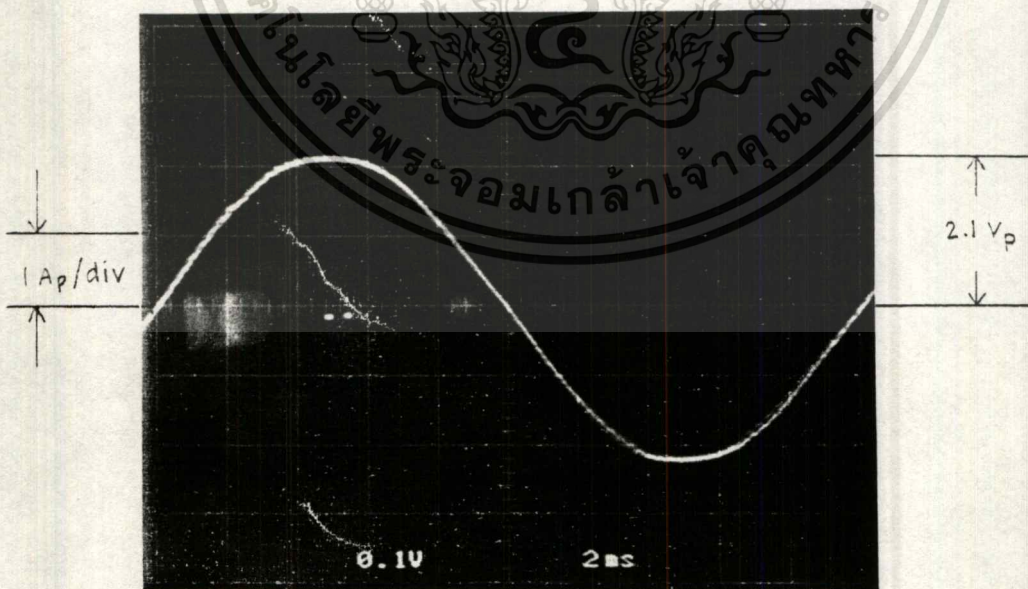
รูปที่ 4.63 แสดงกระแสไลน์ ที่จุด C ขณะมีโหลด 75%

1A<sub>p</sub>/div 2mS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.64 แสดงแรงดันไซน์ที่เอาท์พุทของ UPS ที่จุด DE ขณะมีโหลด 100%  
100Vp/div 2mS (สตอร์เรจสโกป)



รูปที่ 4.65 แสดงกระแสไลน์ ที่จุด C ขณะมีโหลด 100%

1A<sub>p</sub>/div 2mS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกร้นำไปใช้

#### 4.6.3 การเปรียบเทียบแรงดันที่เอาต์พุตของวิธี Deadbeat Control กับวิธี SPWM

การเปรียบเทียบทดสอบ โดยการวัดแอมพลิจูดของแรงดันไซน์ที่เอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่องของทั้ง 2 แบบ คือแบบ Deadbeat Control และแบบ SPWM ทั้ง 2 วิธีนี้ ขณะไม่มีโหลด และขณะที่มีโหลดต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบแอมพลิจูด โดยอ่านค่าที่สเกลบนออสซิลอสโคปที่โหลดต่างๆ ทหารด้วย 2 แล้วคูณ 10 จะได้แอมพลิจูดของแรงดันไซน์เป็น แรงดันพีก (Peak Voltage) ถ้าหารด้วย  $\sqrt{2}$  จะได้  $V_{rms}$  ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 กับตารางที่ 4.3 และแสดงการเปรียบเทียบของทั้ง 2 วิธี ตามรูปที่ 4.66 และรูปที่ 4.67

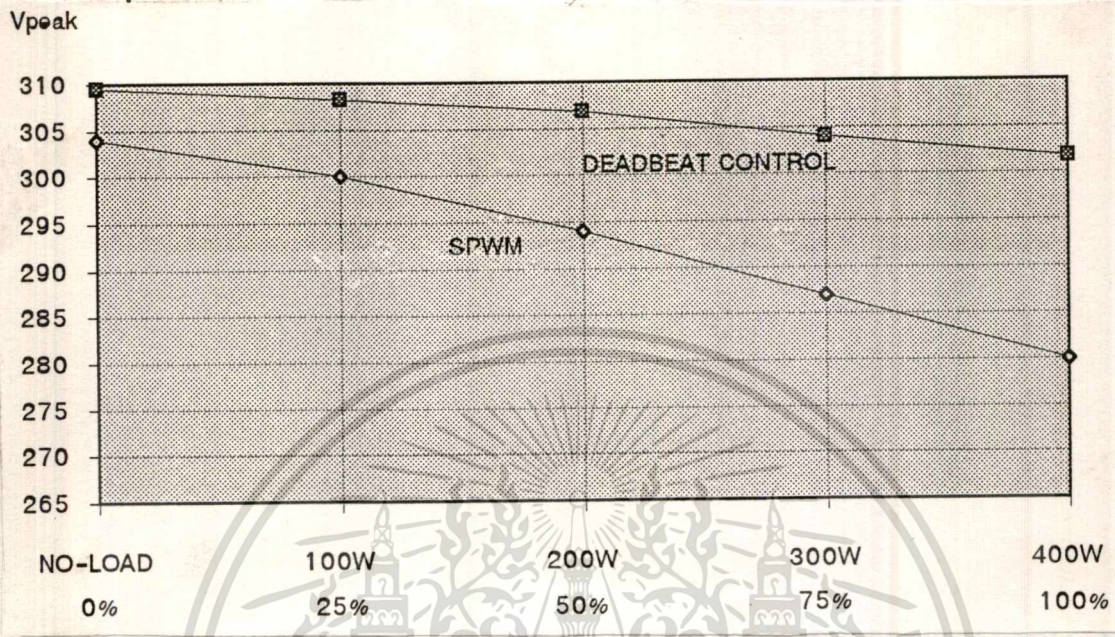
โหลด	% โหลด	สเกลที่อ่านได้	$V_{peak}$	$V_{rms}$
ไม่มีโหลด	0%	61.9	309.50	219
100W	25%	61.6	308.29	218
200W	50%	61.3	306.84	217
300W	75%	60.8	304.00	215
400W	100%	60.2	301.79	213

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบแอมพลิจูดของแรงดันไซน์ที่เอาต์พุตของ UPS แบบ Deadbeat Control

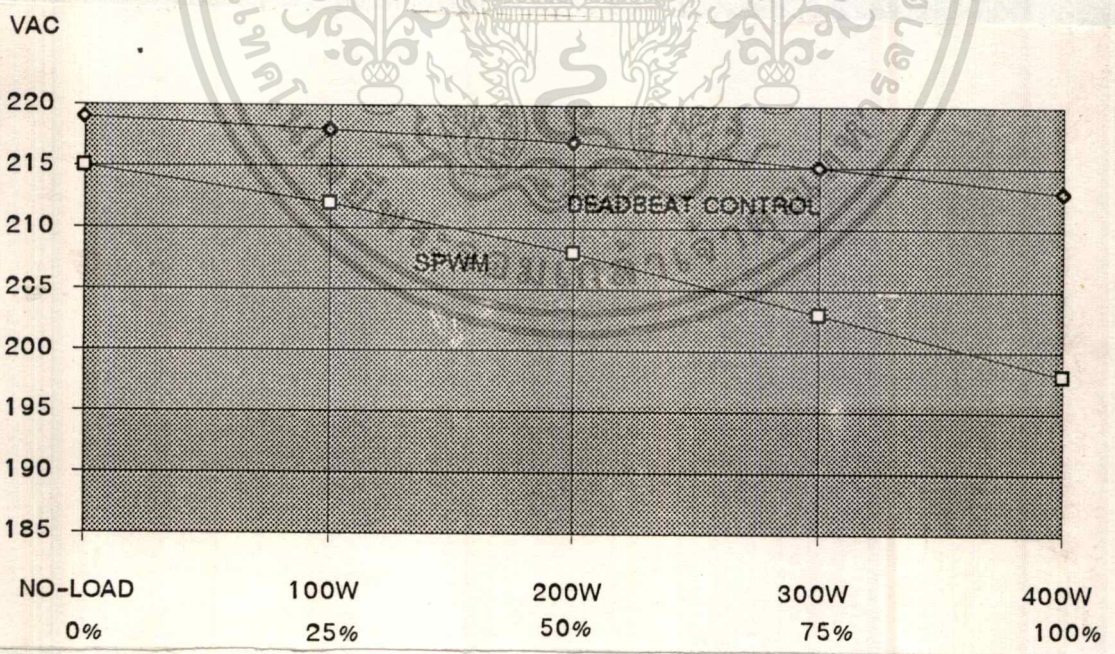
โหลด	% โหลด	สเกลที่อ่านได้	$V_{peak}$	$V_{rms}$
ไม่มีโหลด	0%	60.8	304	215
100W	25%	60.0	300	212
200W	50%	58.8	294	208
300W	75%	57.4	287	203
400W	100%	56.0	280	198

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบแอมพลิจูดของแรงดันไซน์ที่เอาต์พุตของ UPS แบบ SPWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.66 แสดงการเปรียบเทียบทดสอบโหลดของวิธี Deadbeat Control กับ SPWM ที่แรงดัน V<sub>peak</sub>



รูปที่ 4.67 แสดงการเปรียบเทียบทดสอบโหลดของวิธี Deadbeat Control

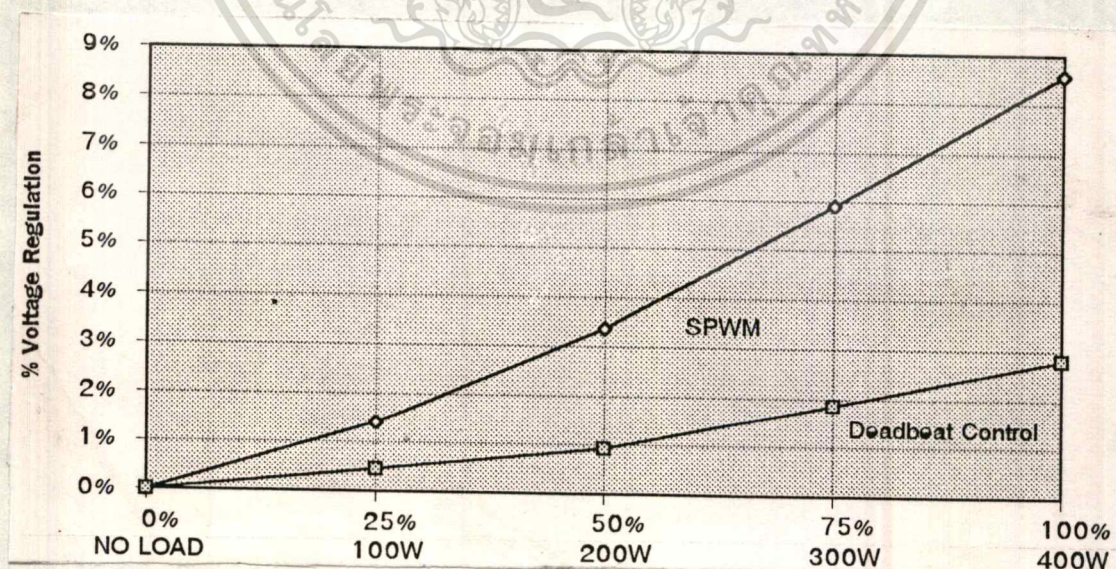
กับ SPWM ที่แรงดัน V<sub>rms</sub> นั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6.4 การเปรียบเทียบแรงดันรีกกูเลชั่น

แรงดันรีกกูเลชั่น(Voltage Regulation) คือการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เอาท์พุท เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดที่เอาท์พุทเป็นเปอร์เซ็นต์ การเปรียบเทียบแรงดันรีกกูเลชั่นที่เอาท์พุทของแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่องของทั้ง 2 วิธี คือแบบ Deadbeat Control กับแบบ SPWM โดยการเปรียบเทียบแรงดันเอาท์พุทขณะไม่มีโหลด กับแรงดันเอาท์พุทที่โหลดต่าง ๆ ของทั้ง 2 วิธี ดังนั้นค่าแรงดันรีกกูเลชั่นมีค่าน้อย ๆ จึงจะดี เพื่อประสิทธิภาพในการจ่ายแรงดันให้กับโหลดค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้แสดงในตารางที่ 4.4 พร้อมกับแสดงการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.68

โหลด	% โหลด	Deadbeat Control	SPWM
ไม่มีโหลด	0%	0%	0%
100W	25%	0.45%	1.41%
200W	50%	0.92%	3.36%
300W	75%	1.86%	5.91%
400W	100%	2.81%	8.58%

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันรีกกูเลชั่น ที่โหลดค่าต่าง ๆ ของวิธี Deadbeat Control กับวิธี SPWM



รูปที่ 4.68 แสดงการเปรียบเทียบ % Voltage Regulation ของวิธี Deadbeat Control กับวิธี SPWM ที่โหลดต่าง ๆ

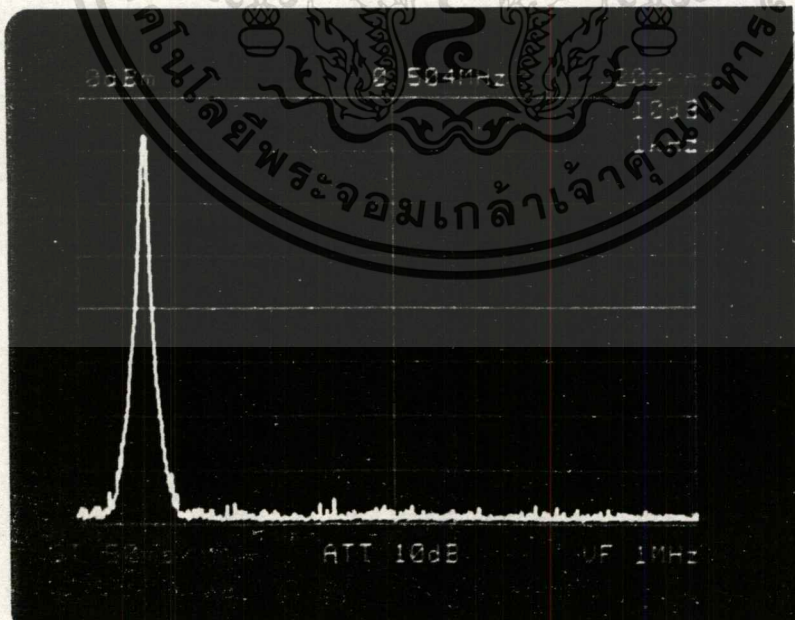
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6.5 ผลของฮาร์โมนิกส์

โดยในทางท้าวๆไปนั้น ฮาร์โมนิกส์จะเกี่ยวข้องกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐาน หรือความถี่ต้น (Fundamental Frequency) เช่นความถี่ของสัญญาณไซน์ ซึ่งมีความถี่แตกต่างกันเป็นจำนวนเท่าคือ 50,100,150,200, และ 250 Hz ความถี่ 50 Hz เรียกว่าความถี่ต้น และความถี่ถัดออกมาเป็นความถี่ของฮาร์โมนิกส์ โดยความถี่ 100Hz จะเรียกว่าเป็นฮาร์โมนิกส์ที่ 2, ความถี่ 150Hz จะเป็นฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

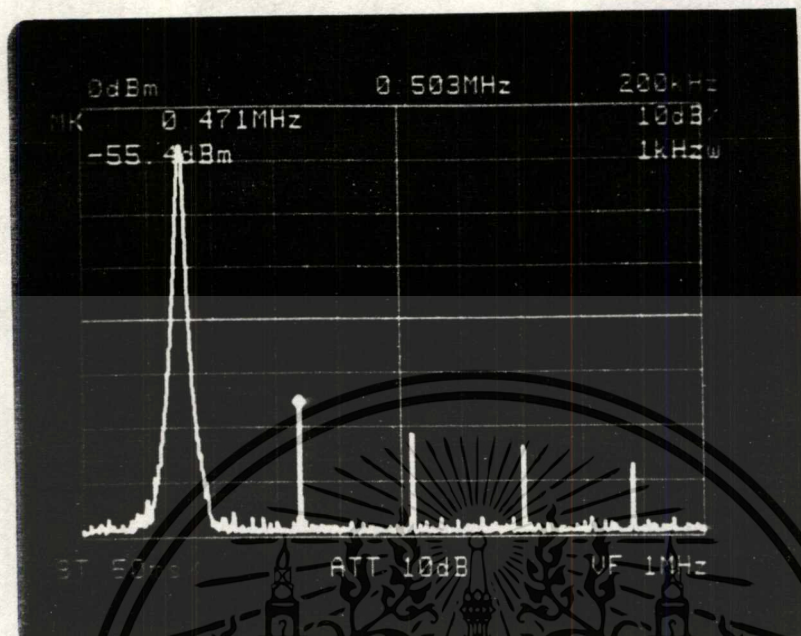
จากการทดลองได้ใช้เครื่องสเปกตรัมอนาล็อกเซอร์ วัดที่เอาท์พุทของแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง ที่ใช้เทคนิคพัลส์แบบเดบิทคอนโทรล ประกอบกับการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำ ทำให้กำจัดฮาร์โมนิกส์ที่ไม่ต้องการออกไปได้ ทั้งขณะที่ไม่มีโหลด และขณะจ่ายโหลดถึง 100% เนื่องจากเป็นโหลดความต้านทาน จึงไม่ได้เป็นแหล่งก่อกำเนิดฮาร์โมนิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 4.69

ส่วนแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่องที่ใช้เทคนิคพัลส์แบบ SPWM ที่ขยายตามท้องตลาดทั่วไป ได้ใช้เครื่องสเปกตรัมอนาล็อกเซอร์วัดที่เอาท์พุท ขณะที่ไม่มีโหลด และขณะจ่ายโหลดถึง 100% จะมีฮาร์โมนิกส์เกิดขึ้นที่ความถี่ 47kHz เป็นต้นไป ตามรูปที่ 4.70

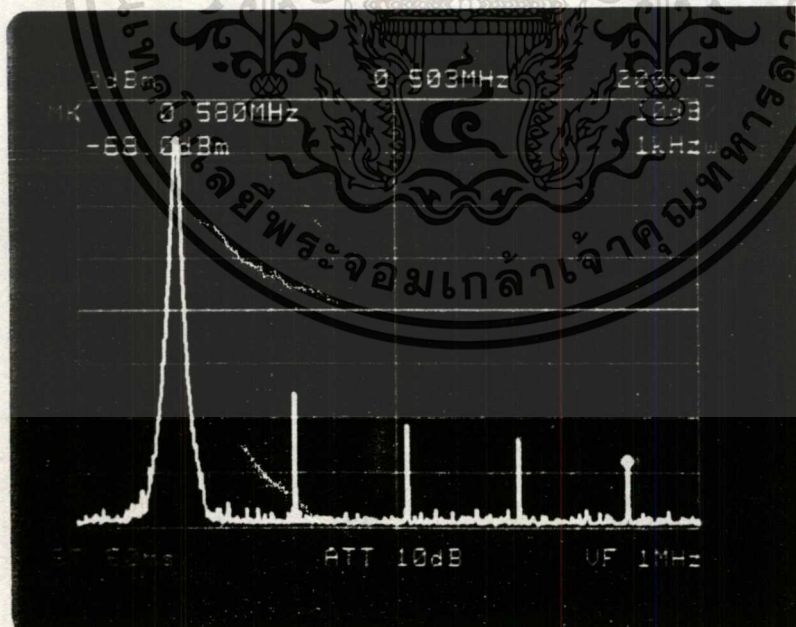


รูปที่ 4.69 แสดงสเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่ 50Hz ของ UPS แบบเดบิทคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก)



ข)

รูปที่ 4.70 ก) และ ข) แสดงสเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของ UPS แบบ SPWM ที่ขายตามท้องตลาด  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงนเวสสาหรับการใชงานเพื่การศึกษาเท่านั้น ไม่นูญาติเหเนาไปเซบระเยชนดานการค้

ไม่ว่ากรณีใดตทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเป็นแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง จากอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ขนาด 400 VA โดยใช้เทคนิคพัลส์จากกฎการควบคุมแบบเดบิทีท ทำการวัดแอมป์ลิจูดของแรงดันไซน์ที่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ เพื่อทดสอบเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่องที่ขายตามท้องตลาด และเป็นอินเวอร์เตอร์ที่ใช้เทคนิคพัลส์แบบ SPWM จากผลการทดลองพบว่าแอมป์ลิจูดของแรงดันรูปคลื่นไซน์ที่เอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง ที่ใช้กฎการควบคุมแบบเดบิทีทคอนโทรล ทำการทดสอบโหลด ซึ่งขณะมีโหลด 100% จะทำให้แอมป์ลิจูดของแรงดันรูปคลื่นไซน์ที่เอาต์พุตลดลงเพียง 3% จากแรงดัน 310Vp (220Vrms) หรือแรงดันรูปคลื่นไซน์อ้างอิง คือแอมป์ลิจูดแรงดันไซน์ลดลงแค่ 301.79Vp หรือ (213 Vrms) และมีค่าแรงดันเร็กกูเลชัน 2.81% ขณะมีโหลด 100%

สำหรับแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่องแบบ SPWM ทำการทดสอบขณะมีโหลด 100% จะทำให้แอมป์ลิจูดของแรงดันรูปคลื่นไซน์ที่เอาต์พุตลดลงถึง 10% จาก 310Vp(220Vrms) หรือแรงดันรูปคลื่นไซน์อ้างอิง ซึ่งแอมป์ลิจูดของแรงดันเอาต์พุตจะลดลงถึง 280Vp(198Vrms) และมีค่าแรงดันเร็กกูเลชันถึง 8.58% คุณลักษณะที่สำคัญของฮาร์ดแวร์ของวิทยานิพนธ์มีดังนี้

1. ใช้ทรานซิสเตอร์กำลังเป็นอุปกรณ์การสวิตช์ในภาคอินเวอร์เตอร์ สามารถจ่ายกำลังงานได้ 400W ที่แรงดัน 220V 1 เฟส ใช้แรงดันอินพุต 310VDC
2. ใช้ไมโคร โปรเซสเซอร์เบอร์ 8031 สร้างสัญญาณ PWM จากกฎการควบคุมแบบเดบิทีท เพื่อขับอินเวอร์เตอร์
3. แอมป์ลิจูดของแรงดันไซน์ที่เอาต์พุตลดลงเพียง 3% ขณะมีจ่ายโหลด 100%
4. มีค่าแรงดันเร็กกูเลชัน 2.81% ขณะมีจ่ายโหลด 100%
5. การออกแบบวงจรของความถี่ต่ำให้สอดคล้องกับโหลด ซึ่งเป็นความต้านทานจะทำให้สามารถกำจัดฮาร์โมนิกส์ ที่ไม่ต้องการออกไปได้
6. สามารถปรับตั้งค่าระดับแรงดัน ไฟฟ้าเกิน และไฟฟ้าตกได้
7. มีระบบป้องกันแรงดันสูงเกินและกระแสสูงเกิน พร้อมกับแสดงผลเมื่อเกิดความผิดปกติ

ตามทฤษฎีกฎการควบคุมแบบเคปิท จะไม่ได้เน้นถึงการกำจัดฮาร์โมนิกส์ แต่จะกล่าวถึงการใช้รูปแบบพัลส์ทั้งพัลส์เดียว และพัลส์คู่ เพื่อให้แอมพลิจูดแรงดันรูปคลื่นไซน์ที่เอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์เพิ่มขึ้นในขณะที่จ่ายโหลด นั่นคือเป็นการรักษาระดับแอมพลิจูดรูปคลื่นไซน์ให้คงที่ไม่ให้แอมพลิจูดลดลงเรื่อย ๆ ในขณะที่จ่ายโหลดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการควบคุมแบบเคปิท ไม่ได้กล่าวถึงการกำจัดฮาร์โมนิกส์ แต่ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป PSPICE ทำการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำ ให้สอดคล้องกับโหลดซึ่งเป็นโหลดความต้านทาน อยู่ในช่วง 100 - 400 โอห์ม เป็นช่วงที่จ่ายโหลด 25 % ถึง 100% ตามลำดับ ประกอบกับมุมของการสวิตช์ ตามจำนวนการแฉมป์ถึง 30 ครั้งต่อ 1 คาบเวลา ซึ่งมุมการสวิตช์มีจำนวนมากนี้จะสร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์ได้ละเอียดยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถช่วยกำจัดฮาร์โมนิกส์ออกไปได้ และทำให้คุณภาพของกระแสดีขึ้น

ในการทดลองพบว่า ไมโครโปรเซสเซอร์จะต้องใช้เวลาส่วนหนึ่ง สำหรับประมวลผล นอกจากนี้ต้อง ใช้เวลาส่วนหนึ่งไปในวงจรป้องกันการลัดวงจร ระหว่างตัวทรานซิสเตอร์ ในกิ่งเดียวกันของอินเวอร์เตอร์ ทำให้มุมการสวิตช์ และการคำนวณความกว้างพัลส์เวลาจริงเคลื่อนไปจากทฤษฎีการควบคุมแบบเคปิท แต่ในที่นี้ได้แก้ปัญหาโดยการปรับค่าหน่วยเวลารวม Td ไว้เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยลง ในอนาคตไมโครโปรเซสเซอร์จะมีความเร็วในการประมวลผลสูงขึ้น จึงทำให้มุมการสวิตช์ได้เวลาจริงมากยิ่งขึ้น สามารถเพิ่มมุมการสวิตช์ได้มาก

ค่าความกว้างพัลส์ทั้งรูปแบบพัลส์เดียว กับรูปแบบพัลส์คู่ และมุมการสวิตช์จะมีค่าไม่คงที่ จะแปรเปลี่ยนไปตามค่าแรงดันรูปคลื่นไซน์ที่เอาท์พุท ขณะไม่มีโหลด หรือขณะที่จ่ายโหลดขนาดต่าง ๆ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันและกระแสที่อ่านได้ ณเวลานั้น เพื่อไปใช้ในการคำนวณค่าความกว้างพัลส์ ตามกฎการควบคุมแบบเคปิท ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้จากรูปที่ถ่ายไว้ในผลการทดลอง ค่าความกว้างพัลส์ขณะไม่มีโหลด กับขณะที่จ่ายโหลดเต็ม 100% จะแสดงความแตกต่างของค่าความกว้างพัลส์ได้อย่างชัดเจน

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Donato Vincenti, Phoivos D. Ziogas, Rajnikant V. Patel, " A PC Base Pulse Width Modulator for Static Converters, " *IEEE Trans. Ind. Electron*, Vol 37, No. 1, pp 57-69, February 1990
- [2] K. P. Gokhate, A. Kawamura, and R. G. Hoft, " Deadbeat microprocessor control of PWM inverter for sinusoidal output waveform synthesis. " in *Proc. IEEE Power Electronics* vol.35 pp. 28-30, 1985.
- [3] I. J. Pitel, S. N. Talukdar. and P. Wood, " Characterization of Programmed Waveform Pulsewidth Modulation, " *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 1A-16, pp. 707-715, 1980.
- [4] M. H. Rashid, " Power Electronics Circuits, Devices, and Applications " Prentice Hall International Editions, pp 114, pp 239-245, 1988
- [5] George C. Chirrysis , " High-Frequency Switching Power Supplies Theory and Design ", McGRAW-HILL International Edition, 1984
- [6] N. Mohan, Tore M.Undeland, William P.Robbins, " Power Electronics Converters Applications and Design", John Willy & Sons, 667 P 1989
- [7] George Wood Vinal. " Storage Batteries", John Willy & Sons, 446 P, 1955
- [8] Rudolf F. Graf, " The Modern Power Supply and Battery Charger Circuit Encyclopedia", 133 P, 1992
- [9] Tore M. Undeland, " Snubbers For Pulse Width Modulated Bridge Converter With Power Transistors or GTOS ", IPEC - Tokyo, 83, 345P, 1983
- [10] M. V. Valkenburg , " Analog Filter Design " , Holt - Saunders International Edition , 1982
- [11] K. E. Addoweesh, W. Shepherd, L. N. Hurrey, " Induction Motor Speed Control Using a Microprocessor Based PWM Inverter, " *IEEE Trans. Ind. Electron*, Vol. 36, No. 4 pp.516-522 November 1989

- [12] K. S. Rajashedara, J. Vithyathil, V. Rajagopalan, " Protection and Switching Aid Networks for Transistor Bridge Inverters, " *IEEE Trans. Ind. Electron*, Vol. IE-33, No.2, pp.185-192, May 1986

ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยในระหว่างศึกษาปริญญาโท ที่ได้รับการเผยแพร่ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16 พ.ศ. 2536 ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ข. โปรแกรมภาษาปาสคาล ที่ใช้จำลองเสถียรภาพการควบคุมแบบเดทบีท

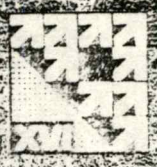
ภาคผนวก ค. โปรแกรมภาษาแอสเซมบลี 8031 ที่ใช้กฎการควบคุมแบบเดทบีท และส่วนควบคุม



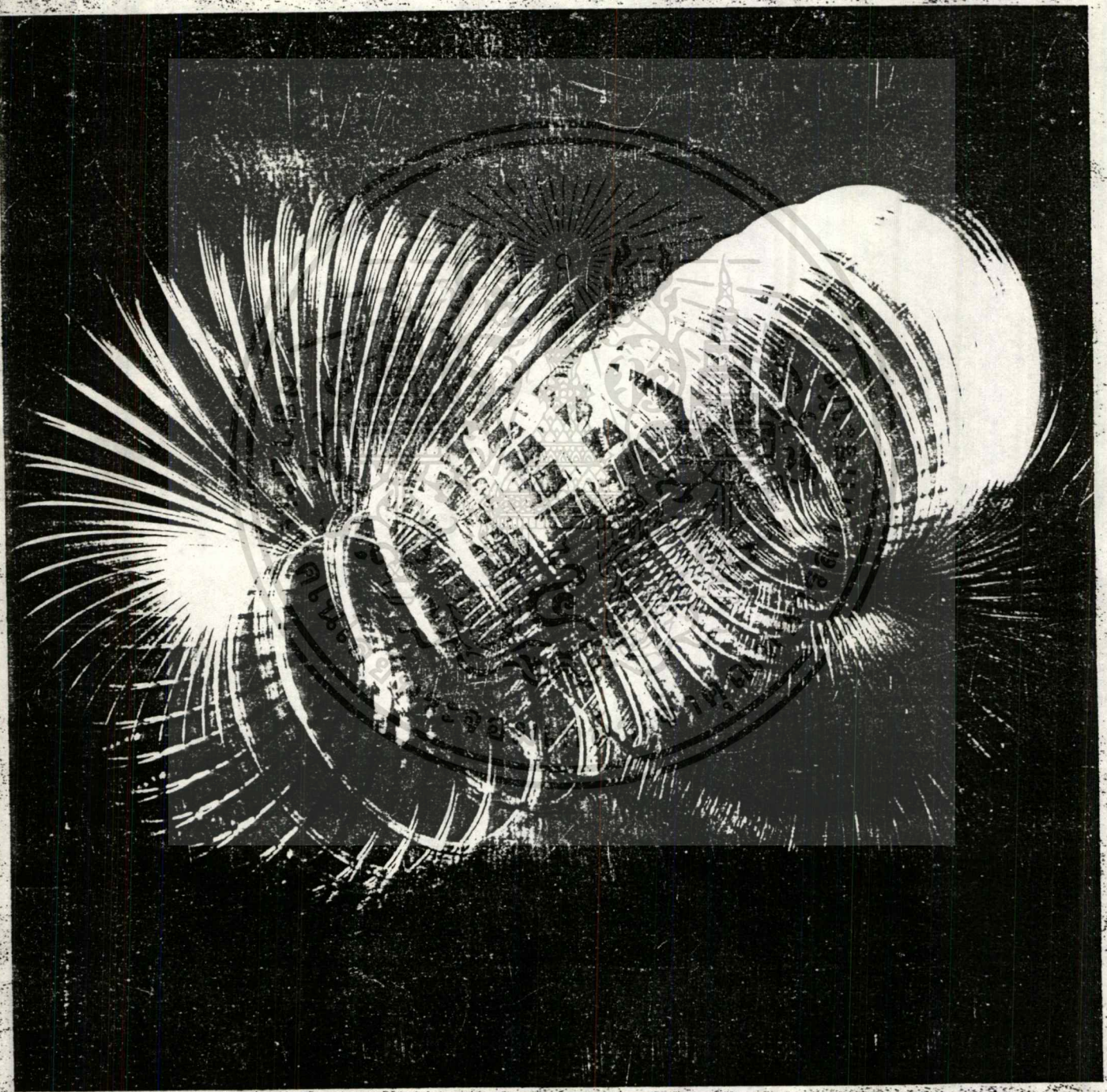
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# การประชุมวิชาการ ทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16



ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
25-26 พฤศจิกายน 2536

- 13.20-13.40 CT 002 ระบบสแกนพื้นผิววัตถุด้วยเลเซอร์  
 สราวุฒิ วณิชชานุกร ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาถัดคา ผศ.ดร.อารีย์ วิเชียรฉาย  
 รศ.ดร. โยธิน เปรมปราวณีรัชต์ (549)
- 13.40-14.00 CT 003 การควบคุมแบบเคมิตของพีดีบีลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ โดยการปรับปรุง  
 รูปแบบพัลส์ เพื่อใช้กับแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง  
 ประทีป กมลวทันกุล รศ.ดร. โยธิน เปรมปราวณีรัชต์ (554)
- 14.00-14.20 CT 004 เครื่องจำลองรูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจ  
 อุคม ถิ่นลมไพศาล รศ.ดร.โยธิน เปรมปราวณีรัชต์ (558)

**ห้องประชุม E ภาคประชุมที่ E-2**

- 14.40-15.00 CT 005 การออกแบบขนาดคอนเซ้นทริกของออริฟิซเพลทด้วยคอมพิวเตอร์  
 จักรพงษ์ เกาเทียน วิทยา ทิพย์สุวรรณพร (562)
- 15.00-15.20 CT 006 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวควบคุมแบบฟัซซี่  
 ธิดาพร พิทักษ์พรพันธุ์ สมพร ชาญประจักษ์วณิช เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์  
 ผศ.ดร.จงกล งามวิวิทย์ (566)
- 15.20-15.40 CT 007 ระบบควบคุมและตรวจสอบขบวนการผลิต  
 วุฒิชัย สิทธิอัฐกร เอก ไชยสวัสดิ์ ฉัตรชัย เจริญพร ยุทธนา ถิลาศวัฒน์กุล  
 สุรศักดิ์ อยู่สวัสดิ์ (571)
- 15.40-16.00 CT 008 การควบคุมแบบเหมาะสมสำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์  
 ชีรยุทธ เณรวิทยา รศ.ดร. หริส สุตะบุตร รศ.ดร. เอก ไชยสวัสดิ์ (576)

**สาขาประมวลสัญญาณดิจิทัล**

**ห้องประชุม F ภาคประชุมที่ F-1**

- 13.00-13.20 DSP 001 การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพสีจากหลายแถบความยาวคลื่นโดยการวิเคราะห์  
 องค์ประกอบหลัก  
 สักกริยา ชิตวงศ์ สาท คำมูล คร. พุศศักดิ์ ชิวสุวิทย์ (595)

**การควบคุมแบบเดดไทม์ ของฟีดแบ็คปัลส์ เวิร์ดอินเวอร์เตอร์**  
**โดยการปรับปรุงรูปแบบพัลส์ เพื่อใช้กับแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง**  
**Deadbeat Control of PWM Inverter with Modified**  
**Pulse Patterns for Uninterruptible Power Supply**

ประทีป กมลวิฑูรย์      ศ. ดร. โยชิ เปรมฟูวาทิซึกิ

บทคัดย่อ - บทความนี้เสนอผลการศึกษา ทฤษฎีการควบคุมแบบเดดไทม์ โดยปรับปรุงอัลกอริทึม เพื่อนำไปใช้กับอินเวอร์เตอร์ ที่มีการโมดูลชันแบบความกว้างพัลส์ (PWM) ซึ่งมีจุดมุ่งหมายต้องการพัฒนา แหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง (Uninterruptible Power Supply = UPS) ที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับรูปไซน์ โดยใช้ตัวแปร 2 สถานะ คือโวลต์เทจกับกระแส จะถูกวัดในแต่ละช่วงของการแซมปลิง จากนั้นนำข้อมูลนี้ คือความกว้างของพัลส์ค่าในเวลาจริง เพื่อควบคุมแรงดันที่เอาต์พุต ให้เท่ากับแรงดันอ้างอิงในแต่ละช่วงของการแซมปลิง ซึ่งเรียกการควบคุมแบบนี้ว่า ไมโครโพรเซสเซอร์เดดไทม์คอนโทรล (microprocessor deadbeat control) ดังนั้นการควบคุมแบบเดดไทม์ จะใช้รูปแบบพัลส์เดี่ยว และพัลส์คู่ทำงานร่วมกัน เพื่อเพิ่มค่าแอมพลิจูด แรงดันเอาต์พุต ให้กับโหลด

**Abstract** - This paper presents the results of studying the theory of the PWM inverter deadbeat control suitable for the uninterruptible power supply (UPS) system. Two state variables are measured each sampling interval, then using these data the pulse width is computed in real time so as to force the output voltage equal to the reference at each sampling instant, which is called the microprocessor deadbeat control. Two kinds of PWM pulse patterns are used to increase the fundamental component of the output voltage for loads

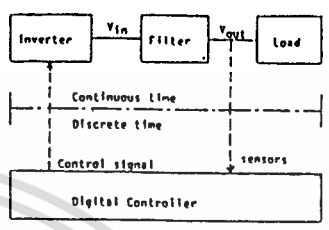
1) บทนำ  
 ระบบแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง ใช้เมื่อเกิดความขัดข้องของระบบไม่พ่วงหลัก โดยการแปลง กระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นกระแสสลับ ซึ่งจะนำวงจรอินเวอร์เตอร์ กับ LC ฟิลเตอร์ โดยการใช้นิโครบโพรเซสเซอร์ จะได้การควบคุมที่ เรียกว่า ไมโครโพรเซสเซอร์เดดไทม์คอนโทรล (microprocessor deadbeat control) [1] จะอยู่ในรูปแบบของการชักข้อมูลและป้อนกลับแบบดิจิทัล ทำให้มีการตอบสนองเร็วต่อการเปลี่ยนแปลง โหลด ดังนั้น การควบคุมแบบเดดไทม์จะใช้ทั้ง รูปแบบพัลส์เดี่ยว และพัลส์คู่ทำงานร่วมกัน เพื่อขยายความกว้างพัลส์ให้เท่ากับช่วงเวลาในการแซมปลิง ทำให้แอมพลิจูดของแรงดันเอาต์พุตเพิ่มขึ้น สำหรับพัลส์เดี่ยว ความกว้างของพัลส์ ถูกจำกัดด้วยเวลาที่ไมโครโพรเซสเซอร์ ใช้ในการคำนวณ ซึ่งความกว้างพัลส์ที่มากที่สุดจะน้อยกว่า 1 ช่วงของการแซมปลิง และข้อจำกัดนี้ ทำให้ฮอตแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง

การทดลองได้ทำ การเปรียบเทียบระหว่างการใช้นพัลส์เดี่ยว รูปแบบเดียว (2) กับการใช้ทฤษฎีการควบคุมแบบเดดไทม์ จะใช้ทั้งรูปแบบพัลส์เดี่ยว และพัลส์คู่ ทำงานร่วมกัน มาสังเคราะห์แรงดันเอาต์พุต ผลการทดลองพบว่า ถ้าใช้รูปแบบพัลส์เดี่ยวอย่างเดียว มาสังเคราะห์แรงดันเอาต์พุตขณะไม่มีโหลด ผลปรากฏว่าไม่ได้รูปไซน์ที่แท้จริง คูในรูปที่ 9 ต่อจากนั้นได้ทำการทดลองขณะมีโหลด จะทำให้แอมพลิจูดแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง คูในรูปที่ 10 และ รูปที่ 11 ตามลำดับ

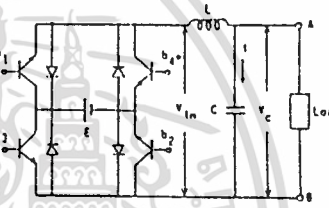
สำหรับผลการทดลอง ใช้ทฤษฎีการควบคุมแบบเดดไทม์ ผลปรากฏว่าขณะไม่มีโหลด จะได้แรงดันเอาต์พุตไซน์ที่แท้จริง คูในรูปที่ 12 หลังจากนั้นทำการทดลองขณะมีโหลด จะเห็นว่าแอมพลิจูดแรงดันเอาต์พุตไซน์ไม่ลดลงแสดงในรูปที่ 13

\* นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 \*\* หัวหน้าภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2) ทฤษฎี  
 บล็อกไดอะแกรม ของการควบคุมแบบเดดไทม์ในรูปที่ 1 ประกอบด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์, LC ฟิลเตอร์, และโหลดความต้านทาน ตามสลับปิดของระบบการป้อนกลับแบบดิจิทัล โดยไมโครโพรเซสเซอร์ ควบคุมการสวิตช์อินเวอร์เตอร์ ให้แรงดันเอาต์พุต (เท่ากับแรงดันอ้างอิง)



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรม การควบคุมแบบเดดไทม์



รูปที่ 2 วงจร PWM อินเวอร์เตอร์ กับ ฟิลเตอร์

จากรูปที่ 2 ถ้าใช้ไมโครโพรเซสเซอร์ควบคุม จะให้ผลแรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็นรูปไซน์ที่แน่นอน โดยแรงดันที่โหลด และกระแสจะตามมาในรูปตัวแปรสเทท

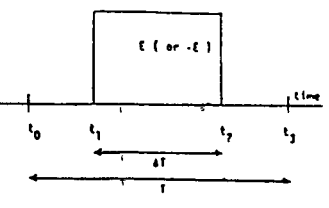
2.1) ฟิเตอร์ของอินเวอร์เตอร์ ประกอบด้วย LC ฟิลเตอร์ และโหลดความต้านทาน จะอยู่ในอันดับที่ 2 ในเวลาต่อเนื่อง เราสามารถเขียนในรูปตัวแปรสเทท  $v$  และ  $\dot{v}$  ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \dot{v}_{in} &= LC \ddot{v} + L/R \dot{v} + v \\ \ddot{v} &= -1/LC v - 1/RC \dot{v} + 1/LC v_{in} \end{aligned}$$

จะได้ตัวแปรสเทท

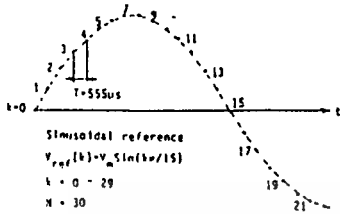
$$\begin{bmatrix} \dot{v} \\ \ddot{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1/LC & -1/RC \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \dot{v} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -1/LC \end{bmatrix} v_{in} \quad (1)$$

2.2) รูปแบบเดดไทม์

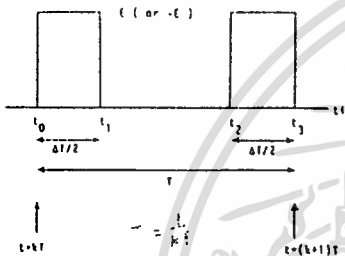


การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน การตีพิมพ์ หรือการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 และต้องอ้างอิงถึง รูปที่ 3 พัลส์เดี่ยวของ PWM ที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3 สามารถกำหนดครบลื่นของ  $v_{rr}$  ได้ในรูปแบบเวลาไม่ต่อเนื่อง  $T$  คือคาบเวลาการแซมปลิง (Sampling Interval) โดยใน 1 รอบความถี่ 50Hz ของรูปคลื่นไซน์แบ่งเป็น  $M$  ส่วน แสดงในรูปที่ 4 เช่น กำหนดให้  $M = 30$  ดังนั้น  $k = 0 \sim 29$  และ  $T = 1/(50)(30) = 666 \mu s$



รูปที่ 4 สัญญาณไซน์อ้างอิง



รูปที่ 5 แบบพัลส์คู่ของ PWM

พัลส์คู่ในรูปที่ 5 แต่ละลุ่มมีความกว้างพัลส์  $\Delta T/2$  เพราะฉะนั้นพัลส์คู่ จึงมีสมการสแตกที่มี ช่วงการซัดตัวอย่างเหมือนพัลส์เดี่ยว

2.3) การกำหนดสแตก

โดยการเปลี่ยนสมการที่ (1) เป็น (2)

$$\begin{bmatrix} v(k+1) \\ \dot{v}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} \\ \phi_{21} & \phi_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v(k) \\ \dot{v}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \end{bmatrix} \Delta T \quad (2)$$

โดยที่  $\phi_{ij}$  คือส่วนประกอบหนึ่งของ  $e^{AT}$   
 $g_i$  คือส่วนประกอบหนึ่งของ  $e^{AT} \cdot aE$   
 $v(k), i(k)$  และ  $\Delta T(k)$  คือค่าเวลาการซัดตัวอย่าง  $t = kT$   
 สแตกที่ 2 ของเดทริก

$$A \triangleq \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1/LC & -1/RC \end{bmatrix} \quad b \triangleq \begin{bmatrix} 0 \\ 1/LC \end{bmatrix} \quad (3)$$

2.4) กฎการควบคุมเดทริก

จากสมการที่ (2) หาค่าแรงดันที่เอาท์พุท  $v(k+1)$  เป็น

$$v(k+1) = \phi_{11} v(k) + \phi_{12} \dot{v}(k) + g_1 \Delta T(k) \quad (4)$$

ถ้าให้ แรงดันเอาท์พุท  $v(k+1)$  มีค่าเท่ากับ แรงดันอ้างอิง  $v_{rr}(k+1)$  ที่  $k+1$  ช่วงการซัดตัวอย่าง จะได้ค่า  $T$  ดังนี้

$$\Delta T(k) = -\phi_{11} / g_1 * v(k) - \phi_{12} / g_1 * \dot{v}(k) + v_{rr}(k+1) / g_1 \quad (5)$$

สมการที่ (5) คือกฎการควบคุมเดทริก กำหนดให้  $\Delta T$  คือความกว้างของพัลส์ ที่ทำให้ได้รูปคลื่นไซน์ และ  $\Delta T$  เป็นการเลือกสแตก หรือรูปแบบพัลส์

จากทรานส์ฟอร์มตัวเก็บประจุ  $i = C dv/dt$   
 $\dot{v}(k) = i(k)/C \quad (6)$

นำ (6) แทนใน (5) จะได้

$$\Delta T(k) = -\phi_{11} / g_1 * v(k) - \phi_{12} / g_1 / C * i(k) + v_{rr}(k+1) / g_1 \quad (7)$$

เขียนสมการ  $T(k)$  ใหม่ในรูปค่าคงตัว จะได้

$$\Delta T(k) = -h_1 v(k) - h_2 i(k) + h_3 v_{rr}(k+1) \quad (8)$$

ใช้ Z transform หาค่า  $V(z)$  ในรูป  $I(z), V_{rr}(z)$  แทนสมการที่ (8) ใน (4)

$$v(k+1) = \phi_{11} v(k) + \phi_{12} / C i(k) + g_1 \Delta T(k)$$

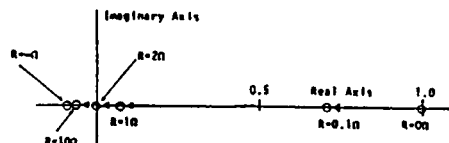
ใช้ Z transform  $v(k+1)$  กับ  $\Delta T(k)$  ในสมการที่ (8) แก้สมการใหม่จะได้

$$V(z) = \frac{\phi_{12} / C - g_1 h_2}{z - (\phi_{11} - g_1 h_1)} I(z) + \frac{g_1 h_3 z}{z - (\phi_{11} - g_1 h_1)} V_{rr}(z) \quad (9)$$

เมื่อแทน  $h_1 = \phi_{11} / g_1, h_2 = \phi_{12} / C / g_1$  และ  $h_3 = 1/g_1$  จะได้สมการที่ (10)  
 $V(z) = V_{rr}(z) \quad (10)$

ในรูปที่ 6 เป็นเส้นทางเดินรากบน Z plane ที่  $L=0.5$  mH,  $C=800$  uF จะเห็นว่าใช้ทฤษฎีการควบคุมแบบเดทริก ทำให้ระบบนี้จะไม่ต้องการเปลี่ยนแปลงโพลความถี่ตามธรรมชาติ ระบบจะมีเสถียรภาพตลอดค่า R แต่จะไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของ L, C ดังนั้นการออกแบบตัวมัลติเพล็กซ์จะต้องให้ค่าของ L, C ที่ระบบไม่มีผลต่อโพล R และมีเสถียรภาพที่ค่า L, C นั้น จุดที่มีเสถียรภาพในการทำงาน สามารถคำนวณจากกจิตรลคอมพิวเตอร ตามใน [1]

$0 < R < \alpha$	กับ	$L = 0.6 \text{ mH}, C = 800 \mu\text{F}$
$C > 330 \mu\text{F}$	กับ	$R = 20 \text{ ohm}, L = 0.5 \text{ mH}$
$L > 0.238 \text{ mH}$	กับ	$R = 20 \text{ ohm}, C = 800 \mu\text{F}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการวิจัยที่ 6 แสดง Z plane เมื่อเปลี่ยน R ที่  $L=0.5$  mH,  $C=800$  uF ค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณำไปใช้

2.5) การเปลี่ยนรูปแบบพัลส์

นำแรงดัน  $v(k)$  และกระแส  $i(k)$  จะแปลงจากอนุภาคเป็นดิจิทัล นำไปคูณในสมการที่ (7) เพื่อคำนวณหาค่าช่วงเวลา (Td) ความกว้างพัลส์สูงสุด  $\Delta T_{max}$  สำหรับพัลส์เดียวในรูปที่ 3

$$\Delta T_{max} \leq T - 2Td \quad (11)$$

โดย  $0 \leq D_1 \leq (T - 2Td) / T \quad (12)$

$$0 \leq D_2 \leq 1$$

$D_1$  คือ duty cycle สำหรับรูปแบบพัลส์คู่ มีค่า  $0 \leq D_1 \leq 1$

$$2Td / T \leq D_2 \leq 1 \quad (13)$$

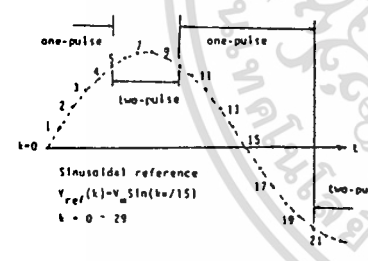
ขั้นตอนควบคุมการแก้ปัญหา สมมติว่า Td ประมาณ 10% ของ T

$$0 \leq D_1 \leq 0.8$$

$$0.2 \leq D_2 \leq 1$$

- ถ้า  $0 \leq v_{ref}/E \leq 0.8$  ใช้รูปแบบพัลส์เดียว กับ E
- ถ้า  $0.8 \leq v_{ref}/E$  ใช้รูปแบบพัลส์คู่ กับ E
- ถ้า  $-0.8 \leq v_{ref}/E \leq 0$  ใช้รูปแบบพัลส์เดียว กับ -E
- ถ้า  $v_{ref}/E \leq -0.8$  ใช้รูปแบบพัลส์คู่ กับ -E

E คือ แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟตรง,  $v_{ref}$  คือแรงดันอ้างอิง



รูปที่ 7 การเปลี่ยนรูปแบบพัลส์ตามคุณสมบัติของอัลกอริทึม

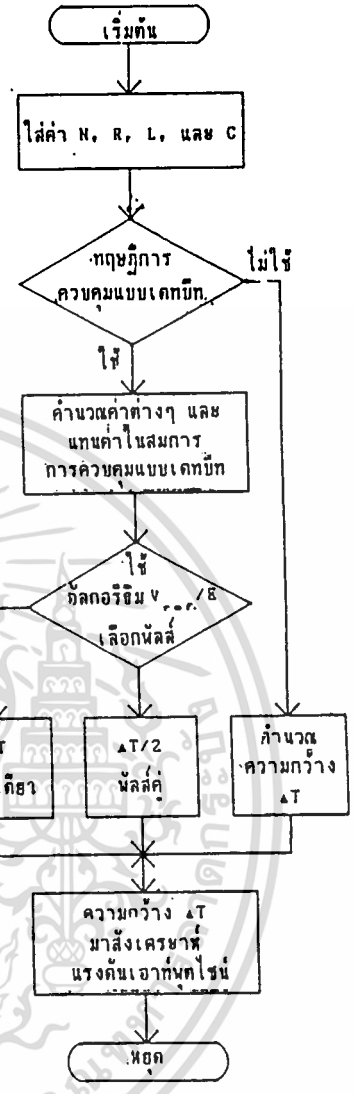
3) การทดลอง

การทดลองกระทำโดย นำสมการที่มีความสัมพันธ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีมาหาค่า แล้วแทนค่าใน กฎการควบคุมแบบเกทบิท ตามสมการที่ (5) และทำการซิมูเลชันด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาปาสคาล และใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรกำลังอินเวอร์เตอร์ เช่น

- จำนวนการแซมปลิงต่อ 1 คาบเวลา  $N = 30$
- แรงดันไฟตรง  $E = 310$  V ขดลวดเหนี่ยวนำ  $L = 0.5$  mH
- ตัวเก็บประจุ  $C = 800$   $\mu$ F ความต้านทาน  $R = 2$  ohm

จะได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

- รูปคลื่นไซน์อ้างอิง (Reference sine wave) = 310V at 50Hz
- อัตรากระแสที่โหลด (Rated load current) = 155A
- ช่วงของการแซมปลิง (Sampling interval) = 666  $\mu$ S ( $N=30$ )
- ความถี่ที่ใช้แซมปลิง (Sampling frequency) =  $30 \times 50$  Hz = 1500Hz
- ความถี่เรโซแนนท์ (Resonant frequency) = 252 Hz

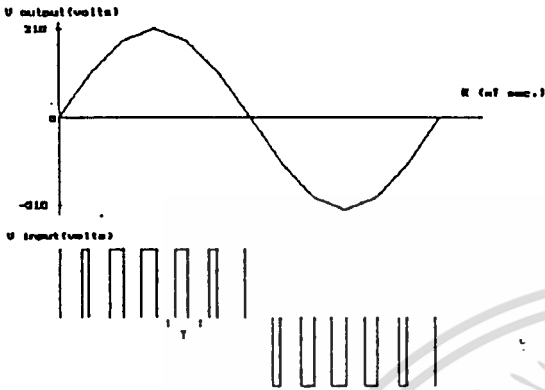


รูปที่ 8 แสดง Flowchart ที่ทำการทดลอง

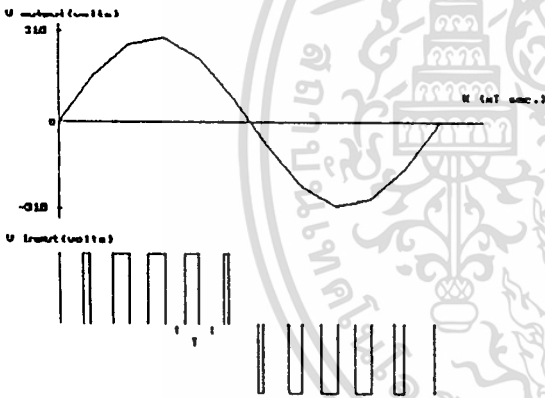
ผลการทดลองได้หาค่า แรงดันอ้างอิง, แรงดันเอาต์พุต, พารามิเตอร์ต่างๆ เช่น  $\phi_{11}, \phi_{12}, \phi_{21}, \phi_{22}$  แทนค่าในสมการที่ 5 คือกฎการควบคุมแบบเกทบิท เพื่อหาค่าความกว้างพัลส์  $\Delta T$  ไว้สร้างสัญญาณ PWM จึงนำไปซิมูเลชันในวงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์ สำหรับกรณีการทดลองใช้รูปแบบพัลส์เดียว อย่างเดียว พบไม่มีโหลด ผลปรากฏว่าแอมพลิจูด หรือยอดคลื่นแรงดันเอาต์พุตไม่เป็นไซน์ที่แท้จริง ดังรูปที่ 9 ต่อจากนั้นเพิ่มโหลดเพียงเล็กน้อย ( $R=20\text{ohm}$ ) จนทำให้แอมพลิจูดแรงดันเอาต์พุตเพิ่มขึ้นจากเดิมไป ดังรูปที่ 10 หลังจากนั้นได้ทำการเพิ่มโหลดมากขึ้น ( $R=100\text{ohm}$ ) ผลปรากฏว่ายอดคลื่นแรงดันเอาต์พุต หายไปส่วนหนึ่ง ดังรูปที่ 11

ส่วนการใช้ ทฤษฎีการควบคุมแบบเกทบิท มาทำการทดลอง โดยใช้รูปแบบทั้งพัลส์เดียว และพัลส์คู่ ทำงานร่วมกัน สังเคราะห์รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตได้ โดยเงื่อนไขตามคุณสมบัติ อัลกอริทึมของการควบคุมแบบเกทบิท ว่า  $v_{ref}/E$  อยู่ในช่วงมากกว่าหรือน้อยกว่า ว่าควรจะใช้รูปแบบพัลส์เดียว หรือพัลส์คู่ ผลการทดลองพบว่า โดยยอดคลื่นแรงดันเอาต์พุตที่แท้จริง พบที่ไม่มีโหลด ดังรูปที่ 12 และเพิ่มโหลด ( $R=2\text{ohm}$ )

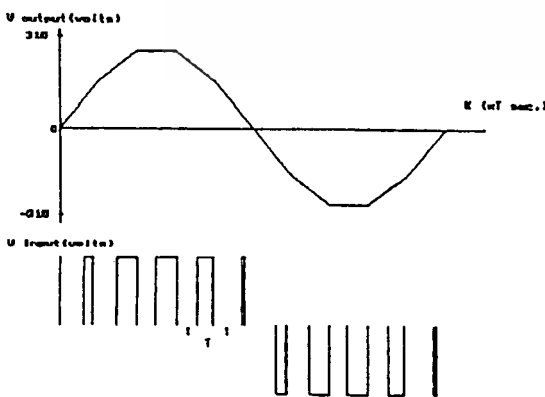
ถึง 100 ohm) ก็ยังได้ทอดคลื่นแรงดันเอาต์พุตไซน์ คงที่ไม่ลดลง ขณะที่ โหลด และเพิ่มโหลด แสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 9 แรงดันเอาต์พุตไซน์ กับ PWM ขณะที่มีโหลด



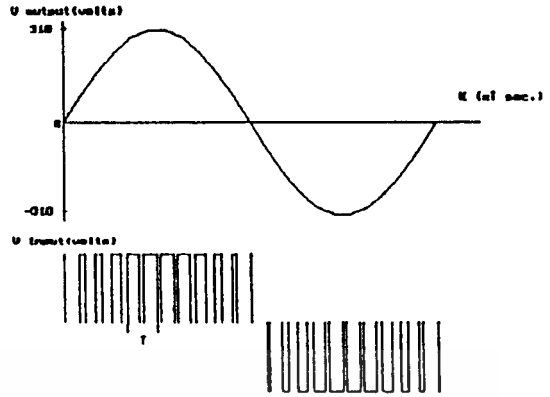
รูปที่ 10 แรงดันเอาต์พุตไซน์ กับ PWM ขณะที่มีโหลด R=2 ohm



รูปที่ 11 แรงดันเอาต์พุตไซน์ กับ PWM ขณะที่มีโหลด R=100 ohm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นใบเซอร์ใบนี้บนหน้ากระดาษ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 แรงดันเอาต์พุตไซน์ กับ PWM ที่ใช้ทฤษฎีการควบคุมแบบเกเบบิท ขณะที่มีโหลด จะได้รูปไซน์ที่แท้จริง



รูปที่ 13 แรงดันเอาต์พุตไซน์ กับ PWM ที่ใช้ทฤษฎีการควบคุมแบบเกเบบิท ขณะที่มีโหลด และเพิ่มโหลด (R=2 ohm ถึง R=100 ohm)

4) สรุป

การใช้ทฤษฎีการควบคุมแบบเกเบบิท โดยใช้รูปแบบพัลส์เดือว และพัลส์สี่ ทำงานร่วมกัน ผลการสังเคราะห์แรงดันเอาต์พุตไซน์ จะได้ไซน์ที่แท้จริง ขณะไม่มีโหลด หลังจากนั้นใส่โหลด และเพิ่มโหลด ก็ยังได้นอมปลิจูดแรงดันเอาต์พุตไซน์ มีค่าคงที่ไม่ลดลง จึงต่างกับ โดยทั่วไปจะใช้รูปแบบพัลส์เดือวมาสังเคราะห์ แรงดันเอาต์พุตไซน์ ขณะไม่มีโหลดจะได้ไซน์ที่ไม่แท้จริง และเมื่อใส่โหลด จะทำให้นอมปลิจูดแรงดันเอาต์พุตไซน์ลดลง

จึงถ้าใช้ทฤษฎีการควบคุมแบบเกเบบิทจะเป็นการเพิ่มนอมปลิจูดแรงดันเอาต์พุตไซน์ ให้มีค่าคงที่ขณะมีโหลด และเพิ่มโหลด

เอกสารอ้างอิง

[1] K.P. Gokhate, A. Keshavnur, and R. G. Haft, "Deadbeat microprocessor control of PWM inverter for sinusoidal output waveform synthesis." In Proc. IEEE Power Electronics vol35 pp. 28-30, 1985.

[2] I. J. Pitel, S. N. Talukdar, and P. Wood, "Characterization of programmed waveform pulse width modulation," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-16, pp. 707-715, 1980.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

program DEADBEAT_CONTROL_PWM_INVERTER;
uses
  crt, graph;
type
  met1 = array[0..200] of real;
  met2 = array[1..2,1..2] of real;
var
  i, j, k, n, maxx, maxy, ll, E      : integer;
  R, L, C, t, t1, g1, constofv2, halft, f : real;
  g2, fi11, fi12                      : real;
  a, a2, a3, a4, fi, meti, x          : met2;
  vref, vdot, v, deltat, pulse, ic    : met1;

function power(t:real; n:integer):real;
begin
  power:=exp(n*ln(t))
end;

procedure multimatrix(var A,B,C:met2);
begin
  for i:=1 to 2 do
    for j:=1 to 2 do
      begin
        C[i,j]:=0;
        for k:=1 to 2 do
          C[i,j]:=C[i,j] + a[i,k]*b[k,j]
        end
      end
    end;
end;

procedure matrixA;
begin
  writeln('          PROGRAM DEADBEAT CONTROLLER');
  writeln;
  writeln(' Enter times of trigs per cycle : 30'); {readln(n);}
writeln;
  writeln(' Get value of filter circuit elements (R,L,C)...');
  writeln(' Enter Resistance value ( Ω ): 2'); {readln(R);}
  writeln(' Enter Inductance value ( mH ): 0.5e-3'); {readln(L);}
  writeln(' Enter Capacitance value ( µF ): 400e-6'); {readln(C);}
  N:=30; R:=2; L:=0.5e-3; C:=400e-6; f:=50;
  A[1,1] :=0;           A[1,2] :=1;
  A[2,1] :=-1/(L*C);   A[2,2] :=-1/(R*C);
  t :=1/(f*n);         halft :=n/2;      E:=310;
end;

procedure Vreference;
begin
  for k:=1 to n do
    Vref[k] :=E*(sin(k*2*Pi/n));
  end;
end;

procedure get_eat(var t:real;var eat:met2);
begin
  multimatrix(A,A,A2);
  multimatrix(A,A2,A3);

```

```

multimatrix(A,A3,A4);
for i:=1 to 2 do
  for j:=1 to 2 do
    begin
      if i=j then meti[i,j]:=1
      else meti[i,j]:=0;
      eat[i,j]:= meti[i,j] + t*A[i,j]+ (power(t,2)*A2[i,j])/2
      + (power(t,3)*A3[i,j])/6 + (power(t,4)*A4[i,j])/24
    end;
end;

procedure fi_g1;
begin
  get_eat(t,fi);writeln;
  writeln(' fi matrix and g1 ');
  writeln('fi matrix =':20); writeln;
  for i:=1 to 2 do
    begin
      write('|');
      for j:=1 to 2 do write(fi[i,j]:17:8);
      writeln('  |');
    end;
  t1:=t/2;      get_eat(t1,x);
  g1:=X[1,2]/(L*C)*E;  writeln;
  writeln('g1 =':20,g1:15:4);
  fi11:=fi[1,1]/g1*(-1);
  fi12:=fi[1,2]/(C*g1)*(-1);
  g2:=1/g1;      writeln;
  writeln('-fi11/g1 =':5,fi11:7:8,
  '-fi12/Cg1 =':15,fi12:7:8, '1/g1 =':13,g2:7:8);
end;

procedure displayV(V:mett1);
begin
  writeln;
  writeln('-----VOLTAGE REFERENCE -----':63);
  for k :=0 to n do
    begin
      Vref[0]:=0;
      if k mod 3 <> 0 then write(k:8,Vref[k]:15:3)
      else writeln(k:8,Vref[k]:15:3);
    end;
end;

procedure sel_pulse;
begin
  writeln;
  writeln('----- Change of PWM Pulse Patterns -----':63);
  writeln;
  for k:=1 to n do
    begin
      pulse[k]:=Vref[k]/E;
      if k mod 3 <> 0 then write(k:8,pulse[k]:15:3)
      else writeln(k:8,pulse[k]:15:3);
    end;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end;

procedure printdelta;
begin
  writeln;
  writeln('DeltaT[k]= - f11/g1 *V(k) - f12/C*g1 + Vref(k)/g1':10);
  writeln;
  writeln('DeltaT[k]=':10,g2:12:8,'Vref(k)':8, f11:12:8,
          'v(k)':5, f12:12:8, 'i(k)':5, 'Sec':5 );
  writeln;
end;

procedure pause;
var wait:char;
begin
  lowvideo;
  writeln; writeln;
  {writeln(' <PRESS> anykey to Continute! ');}
  repeat
    wait:=readkey
  until wait<>' ';
  highVideo;
  clrscr;
end;

procedure delta_T;
begin
  v[0]:=0; vdot[0]:=1; ic[0]:=0; writeln;
  printdelta; writeln;
  writeln('          k      DeltaT(k)      v(k)      vdot(k)      i(k)
Vref(k)');
  writeln;
  for k:=1 to n do
  begin
    deltaT[k] := (-fi[1,1]*v[k-1]-fi[1,2]*Vdot[k-1]+Vref[k])/g1;
    v[k] := Vref[k];
    {fi[1,1]*v[k-1] + fi[1,2]*vdot[k-1] + g1*deltaT[k];}
    Vdot[k] := (V[k] - V[k-1])/t;
    ic[k] := Vdot[k]*C;

    if k mod 1 <> 0 then write(k:10, deltaT[k]:13:8, v[k]:9:3,
    vdot[k-1]:9:3, ic[k]:9:3, vref[k]:9:3)
    else writeln(k:10, deltaT[k]:13:8, v[k]:9:3,vdot[k-1]:11:3,
    ic[k]:9:3, vref[k]:9:3);
    'if k=15 then pause;
  end;
  writeln;
end;

procedure findVoutput;
begin
  V[0] :=0; Vdot[0] :=1; writeln;
  writeln(' ----- VOLTAGE OUTPUT -----':60);
  writeln;
  for k :=1 to n do

```

```

begin
  V[k] :=fi[1,1]*V[k-1] + fi[1,2]*Vdot[k-1] + g1*deltaT[k];
  Vdot[k] :=(V[k] - V[k-1])/t;
  if k mod 3 <> 0 then write(k:8,Vref[k]:15:3)
  else writeln(k:8,Vref[k]:15:3);
end;
writeln;
end;

procedure GraphicsMode;
var
  graphdriver,graphmode: integer;
begin
  graphdriver:=detect;
  initgraph(graphdriver,graphmode,'');
  maxx := getmaxx;
  maxy := getmaxy;
end;

procedure plotgraphV;
var
  xscale,yscale :integer;
  ymin,ymax :real;
  strm :string[10];
begin
  { ----- SINE ----- }
  xscale := 400 div n;
  yscale := 80;
  moveto(80,105);
  for k:=1 to n do
    lineto( k*xscale+80 , 105-round(V[k]*yscale) div E );
    line(80,105,520,105); {x scale}
    line(80,20,80,190); {y scale}
  outtextxy(70,103,'0');
  outtextxy(41,25,'310 --');
  outtextxy(33,180,'-310 --');
  for k:=1 to n do
    begin
      str(k,strm);
      if k mod 5 =0 then
        begin
          outtextxy(k*xscale+78,117,strm);
          outtextxy(k*xscale+78,102,'|');
        end;
    end;
  outtextxy((n-2)*xscale+10,maxy,strm);
  outtextxy(25,7,'V output(volts)');
  outtextxy(500,80,'k (xT sec.)');

  {----- PWM -----}
  moveto(80,280);
  lineto(80,280);
  lineto(80,220);
  for k:=1 to n do
    begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

i :=(k-1)*xscale + 90;
l1 := round((deltaT[k]/t)*xscale);
j := (xscale-l1) div 2;
moveto(i+j,280);
if k <= halft then
begin
    lineto(i+j,220);
    lineto(i+j+l1,220);
    lineto(i+j+l1,280);
end
else
begin
    moveto(i+j,280);
    lineto(i+j,340);
    lineto(i+j+l1,340);
    lineto(i+j+l1,280);
end;
outtextxy(25,205,'V input (volts)');
outtextxy(3*xscale+101,282,'|');
outtextxy(4*xscale+110,282,'|');
outtextxy((xscale div 2)+3*xscale+107,292,'T');
end;
readln;
closegraph;
end;

begin
clrscr;
matrixA;
Vreference;
displayV(vref);    pause; clrscr;
fi_g1;             pause; clrscr;
delta_T;           pause; clrscr;
sel_pulse;         pause; clrscr;
findVoutput;       pause;
graphicsmode;
plotgraphV;
end.

```



ภาคผนวก ก

โปรแกรมภาษาเอสเซมบลี 8031 ที่ใช้กฎการควบคุมแบบเดทบิท และส่วนควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;-----
;
;   THE PROGRAM USE MICROPROCESSOR 8031
;   FOR microprocessor deadbeat control
;
;-----

```

```

SWTRD      EQU      1100H      ;table switching pointer
DBTD       EQU      1180H      ;deadbeat time position
DBTSH      EQU      40H        ;save high deadbeat
DBTSL      EQU      41H        ;save low deadbeat
SWTRSH     EQU      42H        ;save high pointer switching
SWTRSL     EQU      43H        ;save low pointer switching
Vout       EQU      00H        ;voltage
Iout       EQU      01H        ;current
K          EQU      02H        ;interval of sampling
Vref       EQU      03H        ;sinusoidal reference
VOLTAGE    EQU      0F800H     ;IN0 address
CURRENT    EQU      0F801H     ;IN1 address
READ_AD    EQU      0FC00H     ;START,ALE address
LINE       EQU      0B4H       ;solid state relay 1
INV        EQU      0B5H       ;solid state relay 2

```

```

;-----
;
;   MAIN PROGRAM
;-----

```

```

ORG        0000H
LJMP      START      ;initial and wait

ORG        0003H      ;INT0 interrupt vector
LJMP      NORMAL

ORG        000BH      ;timer 0 interrupt vector
LJMP      INTRT0

ORG        0013H      ;INT1 interrupt vector
LJMP      HL_VOLT

ORG        0030H
START:    MOV        R0,#0100H
POWERON: DJNZ      R0,POWERON      ;delay power on
          MOV        P1,#0FFH
          CLR        LINE          ;OFF line 220 VAC
          CLR        INV          ;OFF inverter
          MOV        TMOD,#0000001B ;16 bit timer 0 model
          MOV        IE,#10000111B ;enable timer 0, int0, int1
          MOV        DPTR,#DBTD    ;start deadbeat time pointer
          CLR        A
          MOVC       A,@A+DPTR
          MOV        TH0,A
          INC        DPTR
          CLR        A
          MOVC       A,@A+DPTR
          MOV        TL0,A
          INC        DPTR
          MOV        DBTSL,DPL

```

```

MOV     DBTSH,DPH
MOV     DPTR,#SWTRD
CLR     A
MOVC   A,@A+DPTR
MOV     P1,A           ;to base driver
INC     DPTR
MOV     SWTRSL,DPL
MOV     SWTRSH,DPH
SETB   TCON.4         ;start timer 0
SJMP   $              ;stop program

```

```

INTRT0: CLR     TCON.4           ;stop timer 0 (CLR TR0)

```

```

MOV     IE,#00000000B
PUSH   DPL
PUSH   DPH
PUSH   ACC
MOV     DPL,DBTSL
MOV     DPH,DBTSH
CLR     A
MOVC   A,@A+DPTR
CJNE   A,#77H,DBTV    ;check deadbeat time
MOV     DPTR,#DBTD
CLR     A

```

```

DBTV:

```

```

MOVC   A,@A+DPTR
MOV     TH0,A
INC     DPTR
CLR     A
MOVC   A,@A+DPTR
MOV     TL0,A
INC     DPTR
MOV     DBTSL,DPL
MOV     DBTSH,DPH

```

```

MOV     DPL,SWTRSL
MOV     DPH,SWTRSH
CLR     A
MOVC   A,@A+DPTR
CJNE   A,#77H,SWTRP1
MOV     DPTR,#SWTRD
CLR     A
MOVC   A,@A+DPTR

```

```

SWTRP1:

```

```

MOV     P1,A
INC     DPTR
MOV     SWTRSL,DPL
MOV     SWTRSH,DPH
MOV     IE,#10000010B ;timer 0 Enable interrupt
POP     ACC
POP     DPH
POP     DPL
SETB   TCON.4         ;start timer0
RETI   $              ;return to main program

```

```

;-----
;Subroutine for read voltage
;Input : A/D
;Output: A
;-----
READ_V:      MOV     DPTR,#VOLTAGE    ; select voltage IN0
             MOVX   @DPTR,A
             MOV    R6,#01H          ; delay time
             ACALL  DELAY1
WA_D1:      MOV    R3,#00H
WA_D2:      DJNZ   R3,WA_D2
             MOV    DPTR,#READ_AD    ; read data IN0
             MOVX   A,@DPTR
             MOV    Vout,A           ; save voltage data
             MOV    DPTR,#VOLTAGE    ; F800h
             MOVX   @DPTR,A
             MOV    R3,#00H
WA_D20:     DJNZ   R3,WA_D20
             MOV    DPTR,#READ_AD
             MOVX   A,@DPTR
             RET

;-----
;Subroutine for read current
;Input : A/D
;Output: A
;-----
READ_I:      MOV     DPTR,#CURRENT    ; select current IN1
             MOVX   @DPTR,A
             MOV    R6,#01H          ; delay time
             ACALL  DELAY1
IWA_D1:     MOV    R3,#00H
IWA_D2:     DJNZ   R3,IWA_D2
             MOV    DPTR,#READ_AD    ; read data IN1
             MOVX   A,@DPTR
             MOV    Iout,A           ; save current data
             MOV    DPTR,#CURRENT    ; F801h
             MOVX   @DPTR,A
             MOV    R3,#00H
IWA_D20:    DJNZ   R3,IWA_D20
             MOV    DPTR,#READ_AD
             MOVX   A,@DPTR
             RET

;-----
;Subroutine for Delay Time
;Input : R6 for DELAY1
;Output: -
;-----
DELAY1:     MOV    R3,#0FFH
LOOP21:    DJNZ   R3,LOOP21
           DJNZ   R6,DELAY1
           RET

```

```

;-----
;Subroutine for delay time 100uS
;Input : -
;-----
DELAY100u:    MOV     R7,#20      ;100u
DL100u:      NOP
             NOP
             DJNZ    R7,DL100u
             NOP
             NOP
             RET

;-----
;Subroutine for delay time 1mS
;Input : -
;-----
DELAY1mS:    MOV     R7,#227    ;1mS
DELAY1m1:   NOP
             NOP
             DJNZ    R7,DELAY1m1
             RET

;-----
;Routine for interrupt service routine INT0
;output LINE SSR1 (P3.4 T0 pin 14)
; INV        SSR2 (P3.5 T1 pin 15)
;-----
NORMAL:     CLR     TCON.4      ;stop timer 0
             SETB    LINE      ;ON line 220 VAC
             ACALL   DELAY1
             CLR     INV       ;OFF inverter
             RETI

;-----
;Routine for interrupt service routine INT1
;output LINE SSR1 (P3.4 T0 pin 14)
; INV        SSR2 (P3.5 T1 pin 15)
;-----
HL_VOLT:    ACALL   READ_V     ;read voltage
             ACALL   READ_I     ;read cureent
             CLR     LINE      ;OFF line 220 VAC
             ACALL   DELAY1
             SETB    INV       ;ON inverter
             LJMP   DBPWM
             RETI

;-----
;Subroutine for run PWM of deadbeat control
;input TH0,TL0
;output port 1
;-----
DBPWM:      MOV     TMOD,#0000001B ;16 bit timer 0 model
             MOV     IE,#100001111B ;timer 0 Enable interrupt
             MOV     DPTR,#DETD    ;start deadbeat time pointer
             CLR     A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVC    A,@A+DPTR
MOV     TL0,A
INC     DPTR
CLR     A
MOVC    A,@A+DPTR
MOV     TH0,A
INC     DPTR           ;new deadbeat PWM pointer
MOV     DBTSL,DPL     ;save deadbeat pointer
MOV     DBTSH,DPH

MOV     DPTR,#SWTRD   ;start switching pointer
CLR     A
MOVC    A,@A+DPTR
MOV     P1,A         ;to base driver
INC     DPTR         ;new switching pointer
MOV     SWTRSL,DPL   ;save switching pointer
MOV     SWTRSH,DPH
SETB    TCON.4       ;start timer 0

```

```

;-----
;Subroutine for interrupt service routine TIMER 0
;input timer 0
;output port 1
;-----

```

```

INTRT0:  CLR     TRO           ;stop timer 0 (CLR TRO)
          PUSH    DPL
          PUSH    DPH
          PUSH    ACC
          MOV     DPL,DBTSL
          MOV     DPH,DBTSH
          CLR     A
          MOVC    A,@A+DPTR
          CJNE   A,#0FFH,DBTV   ;check deadbeat time
          MOV     DPTR,#DBTD
          CLR     A
DBTV:    MOV     A,@A+DPTR
          MOV     TLO,A
          INC     DPTR
          CLR     A
          MOVC    A,@A+DPTR
          MOV     TH0,A
          INC     DPTR
          MOV     DBTSL,DPL
          MOV     DBTSH,DPH

          MOV     DPL,SWTRSL
          MOV     DPH,SWTRSH
          CLR     A
          MOVC    A,@A+DPTR
          CJNE   A,#0FFH,SWTRP1
          MOV     DPTR,#SWTRD
          CLR     A
          MOVC    A,@A+DPTR
SWTRP1:  MOV     P1,A
          INC     DPTR

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ใช้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     SWTRSL,DPL
MOV     SWTRSH,DPH
ACALL  READ_V
ACALL  READ_I
ACALL  DELTA_T
POP     ACC
POP     DPH
POP     DPL
SETB   TCON.4           ;start timer0
RETI                    ;return to main program

```

```

;-----
;Subroutine for ADD16
;input  R0x1,R1x10,R7x10,Ax1
;output R0,R1
;-----

```

```

ADD16   PUSH    R2
        PUSH    R3
        MOV     R3,R7
        MOV     R2,A           ;keep
        CLR     C             ;keep
        ADD    A,R0
        MOV    R0,A
        MOV    A,R7
        ADDC   A,R1
        MOV    R1,A
        MOV    R7,R3         ;get
        MOV    A,R2         ;get
        POP    R3
        POP    R2
        RET

```

```

;-----
;Subroutine for SUB16
;input  R1,R0 - R7,R6 = R1,R0
;output R0,R1
;-----

```

```

SUB16   CLR     C
        MOV    A,R0
        SUBB   A,R6
        MOV    R0,A
        MOV    A,R1
        SUBB   A,R7
        MOV    R1,A
        RET

```

```

;-----
;Subroutine for Multiplier16
;A,R4=Multiplier R4*10,A*1
;R5,R6=Multiplicand R7-reserve
;R0,R1,R2=Product
;-----

```

```

        PUSH    R3           ;reserve mul.
        PUSH    R7

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     R1,#00H
MOV     R2,#00H
MOV     R7,#00H
CLR     MULCY           ;clear multiply flag
MUL2C2: MOV     R3,A
        CLR     C
        MOV     A,R4
        RRC     A
        MOV     R4,A           ;R4->A->C
        MOV     A,R3
        RRC     A
        MOV     R3,A
        JNC     MUL2C
        ACALL   ADD16
        JNC     MUL2C
        SETB   MULCY
        MOV     R0,#0FFH
        MOV     R1,#0FFH

        MOV     R2,#0FFH
MUL2C:  SJMP   endMu12
        CLR     C
        MOV     A,R5           ;shift left of R5
        RLC     A
        MOV     R5,A
        MOV     A,R6           ;shift left of R6
        RLC     A
        MOV     R6,A
        MOV     A,R7           ;shift left of R7
        RLC     A
        MOV     R7,A
        CJNE   R4,#00H,MUL2C2
        CJNE   R3,#00H,MUL2C2
endMu12: MOV     C,MULCY
        POP     R7
        POP     R3
        RET

```

```

;-----
; Compute Deadbeat Time Value
;-----

```

```

DELTA_T:  PUSH   DPL
          PUSH   DPH
          PUSH   ACC
          PUSH   R5
          PUSH   R6
          MOV    R5,19H
          MOV    ACC,Vref
          ACALL  MUL16           ;R0
          MOV    R5,16H
          MOV    R6,Vout
          ACALL  MUL16           ;R0
          MOV    R1,R0
          ACALL  SUB16           ;R0,R1
          MOV    R7,R0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     R6,R0
MOV     R5,39H
MOV     R4,01H
MOV     R6,Iout
ACALL   MUL16           ;R0
ACALL   SUB16
MOV     TH0,R0
MOV     TL0,R1
POP     R6
POP     R5
POP     ACC
POP     DPH
POP     DPL
RET

```

```

;-----
; Switching transistor table
;-----

```

```

ORG     1100H
DB      0FFH,0F6H,0FFH,0FFH,0F6H,0FFH,0FFH,0F6H,0FFH
DB      0FFH,0F6H,0FFH,0FFH,0F6H,0FFH,0F6H,0FFH,0F6H
DB      0F6H,0FFH,0F6H,0F6H,0FFH,0F6H,0F6H,0FFH,0F6H
DB      0F6H,0FFH,0F6H,0FFH,0F6H,0FFH,0FFH,0F6H,0FFH
DB      0FFH,0F6H,0FFH,0FFH,0F6H,0FFH,0FFH,0F6H,0FFH
DB      0FFH,0F9H,0FFH,0FFH,0F9H,0FFH,0FFH,0F9H,0FFH
DB      0FFH,0F9H,0FFH,0FFH,0F9H,0FFH,0F9H,0FFH,0F9H
DB      0F9H,0FFH,0F9H,0F9H,0FFH,0F9H,0F9H,0FFH,0F9H
DB      0F9H,0FFH,0F9H,0FFH,0F9H,0FFH,0FFH,0F9H,0FFH
DB      0FFH,0F9H,0FFH,0FFH,0F9H,0FFH,0FFH,0F9H,0FFH
        ,77H

```

```

;-----
; Deadbeat Time caculation position value k
;-----

```

```

ORG     1180H
DB      0FFH,016H,0FFH,0CDH,0FFH,016H           ;k= 0-1
DB      0FFH,02CH,0FFH,0A1H,0FFH,02CH           ;k= 1-2
DB      0FFH,059H,0FFH,047H,0FFH,059H           ;k= 2-3
DB      0FFH,083H,0FEH,0F3H,0FFH,083H           ;k= 3-4
DB      0FFH,0A5H,0FEH,0AFH,0FFH,0A5H           ;k= 4-5
DB      0FFH,086H,0FEH,0EDH,0FFH,086H           ;k= 5-6  *
DB      0FFH,075H,0FFH,00FH,0FFH,075H           ;k= 6-7  *
DB      0FFH,06EH,0FFH,01DH,0FFH,06EH           ;k= 7-8  *
DB      0FFH,06EH,0FFH,01DH,0FFH,06EH           ;k= 8-9  *
DB      0FFH,075H,0FFH,00FH,0FFH,075H           ;k= 9-10 *
DB      0FFH,086H,0FEH,0EDH,0FFH,086H           ;k=10-11 *
DB      0FFH,0A5H,0FEH,0AFH,0FFH,0A5H           ;k=11-12
DB      0FFH,083H,0FEH,0F3H,0FFH,083H           ;k=12-13
DB      0FFH,059H,0FFH,047H,0FFH,059H           ;k=13-14
DB      0FFH,02CH,0FFH,0A1H,0FFH,02CH           ;k=14-15

DB      0FFH,016H,0FFH,0CDH,0FFH,016H           ;k=15-16
DB      0FFH,02CH,0FFH,0A1H,0FFH,02CH           ;k=16-17
DB      0FFH,059H,0FFH,047H,0FFH,059H           ;k=17-18
DB      0FFH,083H,0FEH,0F3H,0FFH,083H           ;k=18-19

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่ไปยังประชาชนด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DB	0FFH, 0A5H, 0FEH, 0AFH, 0FFH, 0A5H	;k=19-20
DB	0FFH, 086H, 0FEH, 0EDH, 0FFH, 086H	;k=20-21 *
DB	0FFH, 075H, 0FFH, 00FH, 0FFH, 075H	;k=21-22 *
DB	0FFH, 06EH, 0FFH, 01DH, 0FFH, 06EH	;k=22-23 *
DB	0FFH, 06EH, 0FFH, 01DH, 0FFH, 06EH	;k=23-24 *
DB	0FFH, 075H, 0FFH, 00FH, 0FFH, 075H	;k=24-25 *
DB	0FFH, 086H, 0FEH, 0EDH, 0FFH, 086H	;k=25-26 *
DB	0FFH, 0A5H, 0FEH, 0AFH, 0FFH, 0A5H	;k=26-27
DB	0FFH, 083H, 0FEH, 0F3H, 0FFH, 083H	;k=27-28
DB	0FFH, 059H, 0FFH, 047H, 0FFH, 059H	;k=28-29
DB	0FFH, 02CH, 0FFH, 0A1H, 0FFH, 02CH, 77H	;k=29-30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

นายประทีป กมลวัฒน์กุล เกิดเมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2503 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีการศึกษา 2533 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2534 มีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการยอมรับนอกเหนือจากงานวิทยานิพนธ์ จำนวน 1 เรื่อง ได้แก่ เรื่องการควบคุมแบบเดทบีท ของพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ โดยการปรับปรุงรูปแบบพัลส์ เพื่อใช้กับแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง

