

เครื่องผลิตโอโซนพลังงานแสงอาทิตย์
OZONE GENERATOR BY SOLAR ENERGY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เครื่องผลิตโอโซนพลังงานแสงอาทิตย์

OZONE GENERATOR BY SOLAR ENERGY



โดย

นายเขมรัฐ	วงศ์ทิมารัตน์
นายทงฤทธิ์	จิโรจน์กุล
นายบวร	อังคณาวิศัลย์
นายบัณฑิต	ปิ่นประไพ

วัน เดือน ปี.....	15 ส.ค. 2540
เลขทะเบียน.....	037253
เลขเรียกหนังสือ.....	ท 38346 ม 649๓

รพ.
๕๖๔๙๓
๕๕๙๘

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ศิริวัฒน์ โภธิเวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง **037253**


ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2538


ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องผลิตไอโซนพลังงานแสงอาทิตย์

ผู้จัดทำ

- 
1. นายเชมรัฐ วงศ์ทิมารัตน์ 35104048
 2. นายทงฤทธิ จิโรจน์กุล 35104155
 3. นายบวร อังคนาวีศัลย์ 35104228
 4. นายบัณฑิต ปั้นประไพ 35104230



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องผลิตโอโซนพลังงานแสงอาทิตย์

นายเขมรัฐ วงศ์ทิมารัตน์
 นายทนงฤทธิ์ จิโรจน์กุล
 นายบวร อังคนาวีศัลย์
 นายบัณฑิต ปั้นประไพ
 ผศ.ศิริวัฒน์ โทธีเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ แสดงถึงเครื่องผลิตก๊าซโอโซนจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีไฟฟ้าแรงสูง การทำงานเริ่มจากนำพลังงานแสงอาทิตย์มาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าซึ่งมีขนาดแรงดันกระแสตรง 12 โวลต์ ผ่านเข้าวงจร ดีซี- ดีซี คอนเวอร์เตอร์และวงจรผลิตไฟฟ้าแรงสูงซึ่งผลิตได้ประมาณ 10 กิโลโวลต์ แล้วจ่ายให้แก่แผงอิเล็กโตรดเพื่อสร้างก๊าซโอโซนออกมาโดยอาศัยปรากฏการณ์โคโรนา โดยปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตได้จะประมาณ 20 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งก๊าซโอโซนที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายทาง เช่น การบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะ โลหะหนัก สี กลิ่น หรือฆ่าเชื้อโรคในน้ำ เป็นต้น

OZONE GENERATOR BY SOLAR ENERGY

Khemarat Wongtimarat

Thanongrit Jirotkul

Bavorn Angkhanavisal

Bandit Punprapai

Asst.Prof.Siriwat Pothivechakul Advisor

1995

ABSTRACT

This thesis show the ozone generator which used solar energy that applied high voltage theory. First ,solar energy transfer to electrical energy that had direct voltage 12 volt. Later ,sent to DC-DC convertor and high voltage generator which generated high voltage about 10 kilovolt. Then sent to electrode for generated ozone, which used corona phenomena. Quantity of azone was about 20 mgO₃/hr. ozone can applied in many purpose,for example waste water treatment especially heavy metal, color ,ordor and kill germs in water, etc.

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 แผนผังการทำงานของเครื่องบำบัดน้ำเสียพลังงานแสงอาทิตย์	1
รูปที่ 2 .1 แสดงภาพแสดงหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดโอโซน	2
รูปที่ 2.2 เครื่องกำเนิดโอโซนแบบออกโทเพลตและแบบท่อ	4
รูปที่ 2.3 เครื่องกำเนิดโอโซนแบบโลเธอร์เพลต	4
รูปที่ 2.4 รูปแบบของเครื่องกำเนิดโอโซนแบบท่อ	5
รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงการสร้างโอโซนโดยใช้ออกซิเจน	6
รูปที่ 2.6 เครื่องกำเนิดโอโซนแบบท่อ	6
รูปที่ 2.7 แสดงเครื่องกำเนิดโอโซนแบบโคโรนาดีสชาร์จ	12
รูปที่ 2.8 เครื่องผสมโอโซนแบบโคโรนาดีสชาร์จ	13
รูปที่ 2.9 เครื่องผสมโอโซนกับน้ำชนิดเทอร์ไบน์	14
รูปที่ 4.1 กราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	22
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าเทียบกับความเข้มแสง	22
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิ	23
รูปที่ 4.4 กราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	24
รูปที่ 4.5 กราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันที่อุณหภูมิต่าง ๆ	24
รูปที่ 4.6 กราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันที่ความเข้มแสงต่าง ๆ	25
รูปที่ 4.7 แสดงผลของอุณหภูมิ	25
รูปที่ 4.8 ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์	26
รูปที่ 4.9 แผนภาพแสดงการต่อเรียงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีขนาด แรงดันและกระแสตามต้องการแบบขนานและอนุกรม	27
รูปที่ 4.10 แสดงการต่อ บล็อกกึ่งไดโอด	28
รูปที่ 4.11 แสดงการต่อบายพาสไดโอด	29
รูปที่ 4.12 แสดงการจัดโมดูลควบคุมความสม่ำเสมอของด้วยตนเองขนาด 30 เซลล์	35
รูปที่ 4.13 แสดงถึงการควบคุมการประจุโดยใช้โอเวอร์โวลเตจ มาต่อขนานกับแบตเตอรี่เพื่อจำกัดแรงดันของแบตเตอรี่	36
รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะสเกลโครงโซล่าเซลล์	38
รูปที่ 4.15 แสดงภาพถ่ายจริงของโครงโซล่าเซลล์	38
รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมของเพาเวอร์ซัพพลายแบบปกติ	41

รูปที่ 5.2	บล็อกไดอะแกรมของออฟไลน์ (off-line) สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	41
รูปที่ 5.3	หลักการของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค	42
รูปที่ 5.4	หลักการของคอนเวอร์เตอร์แบบฟอร์เวิร์ด	42
รูปที่ 5.5	วงจรพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แบบพุก-พุล	44
รูปที่ 5.6	วงจรพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค	45
รูปที่ 5.7	กราฟ B-H ของหม้อแปลงในคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค	46
รูปที่ 5.8	คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบคที่ให้แรงดันได้หลายระดับ	47
รูปที่ 5.9	กราฟ B-H ของหม้อแปลงในคอนเวอร์เตอร์แบบพุก-พุล	49
รูปที่ 5.10	กราฟแสดงผลที่เกิดจากค่าเหนี่ยวนำรั่วไหลในวงจรพุก-พุล	50
รูปที่ 5.11	(a) วงจรรวมของการควบคุมโดย PWM	51
รูปที่ 5.12	บล็อกไดอะแกรมของ IC SG 3524	53
รูปที่ 5.13	แสดงการทำงานของวงจรฟิลเตอร์	54
รูปที่ 5.14	ช่วงที่สวิตซ์ออน	54
รูปที่ 5.15	ช่วงที่สวิตซ์ออฟ	55
รูปที่ 5.16	แสดงสัญญาณเอาต์พุต	55
รูปที่ 5.17	แสดงรูปสัญญาณของรีเฟิลฟิลเตอร์	56
รูปที่ 5.18	แสดงฮาร์ตเวฟ LC ฟิลเตอร์	58
รูปที่ 5.19	แสดงการใช้เพาเวอร์มอสเฟตเป็นสวิตซ์ ในลักษณะคอมมอนซอส 59	
รูปที่ 5.20	อิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์บัฟเฟอร์ใช้ร่วมกับ TTL และเพาเวอร์มอสเฟต ทำให้การสวิตซ์ดีขึ้น	60
รูปที่ 5.21	แสดงการใช้วงจรรวมบัฟเฟอร์ในการช่วย TTL ขับเพาเวอร์มอสเฟต	61
รูปที่ 5.22	วงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดพุก-พุล	63
รูปที่ 5.23	วงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดพุก-พุล (ต่อ)	64
รูปที่ 5.24	แสดงวิธีการพันขดลวดหม้อแปลง T_1	66
รูปที่ 5.25	บล็อกไดอะแกรมของเครื่องผลิตไฮโวลเตจ	68
รูปที่ 5.26	วงจรของภาคผลิตความถี่	69
รูปที่ 5.27	วงจรสวิตชิงกำลังและฟลายแบค	70
รูปที่ 6.1	แสดงวงจรการทดลอง	72
รูปที่ 6.2	แสดงแรงดันทางด้าน เอาต์พุตของวงจรผลิตไฟฟ้าแรงสูง	73
รูปที่ 6.3	แสดงแผนภูมิโวลต์ โครคแบบเส้น	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.4 แสดงแผงอิเล็กทรอนิกส์แบบจุด	78
รูปที่ 6.5 แสดงแผงอิเล็กทรอนิกส์แบบระนาบ	79
รูปที่ 6.6 แสดงลักษณะการต่อวงจรของเครื่องในการทดลอง	84
รูปที่ 6.7 แสดงแผงอิเล็กทรอนิกส์แบบจุดที่ใช้	88
รูปที่ 6.8 แสดงกล่องวงจร	89
รูปที่ 6.9 แสดงการเกิดโคโรนา	89
รูปที่ 6.10 แสดงการวางวงจรและอุปกรณ์ต่างๆของกล่อง	90
รูปที่ 6.11 แสดงขนาดของกล่อง	91
รูปที่ 6.12 แสดงระบบรวมทั้งหมดของเครื่องผลิตไอโซนพลังงานแสงอาทิตย์	91
รูปที่ 6.13 แสดงการเกิดโคโรนาของแผงอิเล็กทรอนิกส์ 3 ชุด	92
รูปที่ 6.14 แสดงสารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ที่ทำปฏิกิริยากับไอโซนแล้ว	92
และ สารละลายสีมาตรฐานก่อนและหลังการบำบัดสีด้วยไอโซน	



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่า c.t. (mg.min/L) ของตัวออกซิไดซ์ต่าง ๆ เมื่อใช้กำจัด จุลินทรีย์ได้ 99% ที่ 5°C	8
ตารางที่ 2.2 สรุปประเภทของเสียที่ใช้โอโซนบำบัด ได้ผลดี	8
ตารางที่ 2.3 แสดงอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารต่าง ๆ	9
ตารางที่ 2.4 แสดงสมการปฏิกิริยาออกซิเดชันและปริมาณของตัวออกซิไดซ์ ที่ต้องใช้	10
ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดของลีดแอซิดเซลล์	30
ตารางที่ 4.2 แสดงคุณสมบัติของแรงดันของลีดแอซิดแบตเตอรี่	31
ตารางที่ 4.3 รายการโมดูลแบบควบคุมสม่ำเสมอด้วยตนเองภายใต้สภาวะต่าง ๆ	32
ตารางที่ 4.4 แสดงความต้องการพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน	33
ตารางที่ 4.5 แสดงคุณลักษณะของอุปกรณ์ป้องกันแบตเตอรี่	36
ตารางที่ 6.1 แสดงผลการทดลองหาประสิทธิภาพของดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์	73
ตารางที่ 6.2 แสดงผลการทดลองของแผงอิเล็กทรอนิกส์แบบต่าง ๆ	79
ตารางที่ 6.3 แสดงผลการทดลองปริมาณ โอโซนเมื่อแกป = 0.5 cm. พัดลมอยู่ด้านลมเข้า	81
ตารางที่ 6.4 แสดงผลการทดลองปริมาณ โอโซนเมื่อแกป = 0.5 cm. พัดลมอยู่ด้านลมออก	81
ตารางที่ 6.5 แสดงผลการทดลองปริมาณ โอโซนเมื่อแกป = 0.9 cm. พัดลมอยู่ด้านลมเข้า	81
ตารางที่ 6.6 แสดงผลการทดลองปริมาณ โอโซนเมื่อแกป = 0.9 cm. พัดลมอยู่ด้านลมออก	82
ตารางที่ 6.7 แสดงผลการทดลองปริมาณ โอโซนเมื่อแกป = 1.3 cm. พัดลมอยู่ด้านลมเข้า	82
ตารางที่ 6.8 แสดงผลการทดลองปริมาณ โอโซนเมื่อแกป = 1.3 cm. พัดลมอยู่ด้านลมออก	82
ตารางที่ 6.9 แสดงผลการทดลองปริมาณ โอโซนเทียบกับจำนวนอิเล็กทรอนิกส์	85
ตารางที่ 6.10 แสดงปริมาณพลังงานที่ใช้สร้างโอโซนในแต่ละแบบ	86
กราฟที่ 6.1 แสดงอัตราการเกิด โอโซนเทียบกับจำนวนแผงอิเล็กทรอนิกส์	85
กราฟที่ 6.2 แสดงอัตราการเกิด โอโซนต่อพลังงานเทียบกับจำนวนแผงอิเล็กทรอนิกส์	86

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญภาพ	III
สารบัญตาราง	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การกำเนิดโอโซน	2
2.1 การกำเนิดโอโซน	2
2.2 อุณหภูมิกับการเกิดโอโซน	7
2.3 การใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสีย	7
2.4 คุณสมบัติของโอโซน	7
2.5 ข้อดีของการนำโอโซนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียแทนคลอรีน	9
2.6 ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้โอโซน	11
บทที่ 3 การเกิดโคโรนา	15
3.1 การเกิดโคโรนา	15
3.2 แฟลคเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อแรงดันเบรคดาวน์	16
บทที่ 4 โซลาร์เซลล์	21
4.1 ลักษณะสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์ของเซลล์แสงอาทิตย์	22
4.2 ส่วนประกอบของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์	26
4.3 แบตเตอรี่	30
4.4 ชาร์จเรกูเรเตอร์	35
4.5 อุปกรณ์ป้องกันแบตเตอรี่	36
บทที่ 5 สวิตช์ชิงคอนเวอร์เตอร์	41
5.1 คีซี-คีซี คอนเวอร์เตอร์	41
5.2 วงจรควบคุมการทำงานแบบพัลส์วิดโมดูลชัน	50
5.3 เรคตีฟลายเออร์และฟิลเตอร์	53
5.4 การใช้พาเวอร์มอสเฟตในวงจรสวิตช์ชิง	58
5.5 วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้	61
5.6 เครื่องผลิตไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง	
6.1 การทดลองหาประสิทธิภาพของดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์	72
6.2 การทดลองเพื่อเลือกแบบของแผงอิเล็กทรอนิกส์	78
6.3 การทดลองเพื่อหาระยะแกปที่เหมาะสม	80
6.4 การทดลองเพื่อหาจำนวนแผงอิเล็กทรอนิกส์	84
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์	93

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

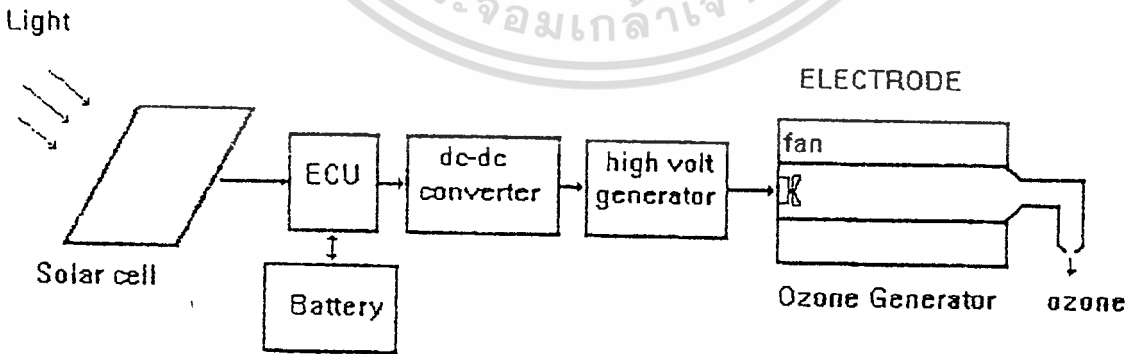
บทนำ

เครื่องผลิตโอโซนพลังงานแสงอาทิตย์

Ozone Generator by Solar Energy

ขอบเขตของโครงการ

ขอบเขตของโครงการเริ่มจากการศึกษาการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) ซึ่งใช้เป็นแหล่งพลังงาน การทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันไฟตรง 12 โวลต์ จาก เซลล์แสงอาทิตย์ให้มีระดับแรงดันสูงขึ้นแล้วจ่ายให้กับส่วนผลิตไฟฟ้าแรงสูง (High voltage generator) เพื่อผลิตแรงดันสูงป้อนให้กับแผงอิเล็กโทรดซึ่งทำหน้าที่ผลิตโอโซน โดยในส่วนนี้ต้องอาศัยกลไกการเบรคควาน์ของอากาศ การรวมตัวของออกซิเจนเกิดเป็นโอโซนและ ต้องศึกษาคุณสมบัติของโอโซนในการบำบัดน้ำเสีย รวมถึงการสร้างอุปกรณ์ ตามหลักการข้างต้นนี้ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังแสดงการทำงานของเครื่องผลิตโอโซนพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

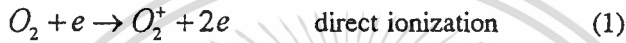
บทที่ 2

การกำเนิดโอโซน (Ozone Generation)

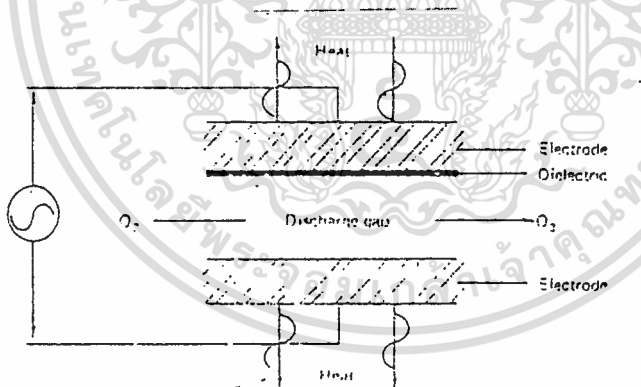
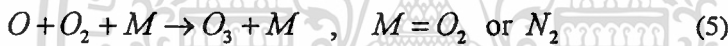
2.1 การกำเนิดโอโซน

รูปข้างล่างแสดงตัวสร้างโอโซนแบบพื้นฐาน แรงดันไฟฟ้าจะถูกป้อนให้อิเล็กโทรดทั้งสองขั้วที่มีไดอิเล็กตริกและช่องอากาศคั่นอิเล็กโทรดทั้งสองอยู่ อากาศจะถูกดูดผ่านช่องอากาศนี้และจะเกิดการแตกตัวของอากาศเนื่องจากเกิดความเครียดสนามไฟฟ้าสูงจนอิเล็กโทรดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ออกซิเจนในอากาศจะถูกเปลี่ยนเป็นโอโซนตามขั้นตอนดังนี้

1. Oxygen-free radicals are generated by ionic process:



2. Ozone is generated by free radical reaction:



Basic ozonator configuration. (Source: H. Rosen, "Ozone Generation and Its Relationship to the Economical Application of Ozone in Wastewater Treatment," in F. L. Lucas III (ed.), "Ozone in Water and Wastewater Treatment," Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, Mich., 1972.)

รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงหลักการการทำงานของเครื่องกำเนิดโอโซน

แรงดันไฟฟ้ามีความสำคัญในการกำเนิดโอโซน ที่มีความสัมพันธ์กับระยะห่างระหว่างขั้วของอิเล็กโทรดและความดัน

$$V = k_1 p g$$

เมื่อ V : แรงดันที่จำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

g : ระยะแถบ

ในทำนองเดียวกัน ความสามารถในการกำเนิดไอโซนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ค่า
คงที่ไดอิเล็กตริกและแรงดันกำลังสองและผกผันกับความหนาของไดอิเล็กตริก

$$\text{Yield} : k_2(\text{feV}^2)/d$$

เมื่อ f : ความถี่

V : แรงดัน

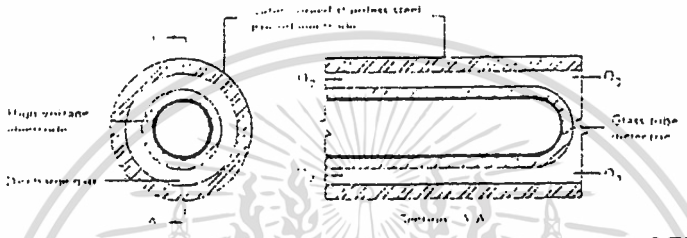
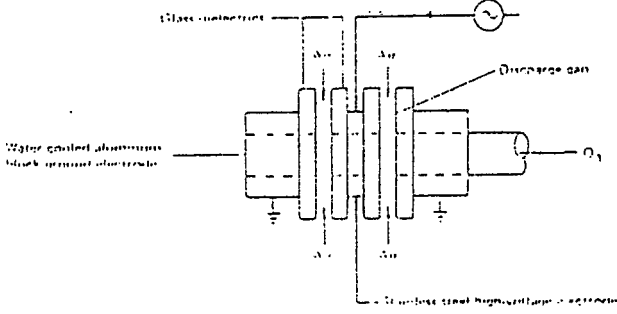
e : ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

d : ความหนาของไดอิเล็กตริก

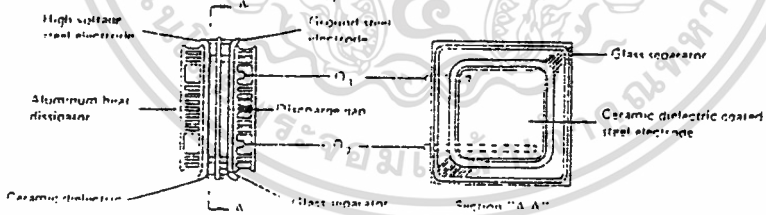
จากสมการนี้พบว่าจะมีปัญหาในการออกแบบเครื่องกำเนิดไอโซน คือ เราต้องพยายามทำ
ไดอิเล็กตริกให้บางที่สุดเท่าที่จะทำได้และทนแรงดันเบรคดาวน์ได้สูง ขณะเดียวกันเพื่อให้ไอโซน
มาก ๆ เราก็ต้องเพิ่มแรงดันให้สูง ๆ ด้วย เพราะแรงดันยิ่งสูงยิ่งดี ($O_3 \propto V^2$) ในอีกทางหนึ่งขณะ
ที่แรงดันสูง ๆ ถูกนำมาใช้ สารไดอิเล็กตริกก็จะเสียหายได้ง่ายขึ้น ในปัจจุบันมีวิธีที่นิยมในการ
เพิ่มปริมาณไอโซนที่ต้องการโดยเพิ่มความถี่ของกระแสที่ใช้ นอกจากนี้ในการเพิ่มประสิทธิภาพ
ของการผลิตไอโซนก็ยังมีการพัฒนาคุณภาพไดอิเล็กตริกให้ดียิ่งขึ้น และการระบายความร้อนออก
จากเซลล์ที่กำเนิดไอโซน ในปัจจุบันมีวิธีการที่จะผลิตไอโซน 3 ชนิดพื้นฐานที่ใช้อยู่คือ แบบ
อดโตเพลต(Otto plate) แบบท่อ(Tube type) และแบบ โลเธอร์เพลต(Lowther plate) แต่ละวิธีก็
ได้แสดงไว้ดังรูปข้างล่าง

แบบอดโตเพลตถูกออกแบบขึ้นในปี 1905 แบบนี้มีประสิทธิภาพไม่ดี แต่ก็ยังใช้กันอยู่
ในบางส่วนของยุโรปตะวันตก

แบบท่อนั้นประกอบด้วยจำนวนหลอดหลายหลอดที่มีรูปแสดงในรูปที่ 2.2 อิเล็กโตรดตัว
ข้างนอกจะเป็นท่อสแตนเลสและรอบ ๆ จะถูกระบายความร้อนด้วยน้ำ ท่อแก้วที่อยู่ตรงกลางที่มี
การเคลือบด้วยตัวนำอยู่



รูปที่ 2.2 เครื่องกำเนิดโอโซนแบบออกโตเพลตและแบบท่อ



Alternative ozonator configurations. (a) Otto plate-type generator unit; (b) tube-type generator unit; (c) Lowther plate generator unit. (Source: H. Rosen, "Ozone Generation and Its Relationship to the Economical Application of Ozone in Wastewater Treatment," in F. L. Evans (Ed.), Ozone in Water and Wastewater Treatment, Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, Mich., 1972.)

รูปที่ 2.3 เครื่องกำเนิดโอโซนแบบโลเธอร์เพลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



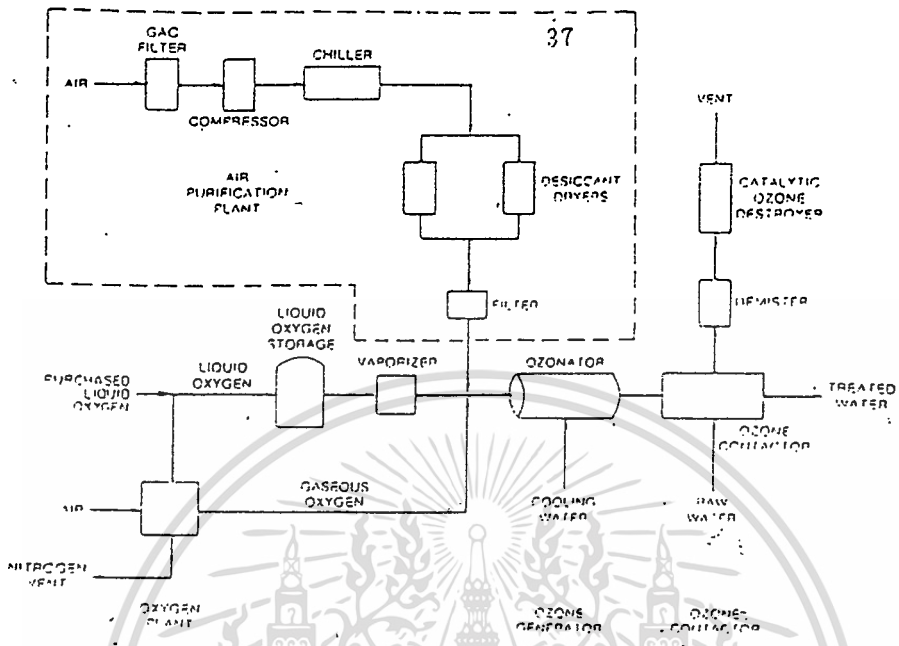
Typical tube-type generators at Choisy La Roy, France. (Courtesy of Trailgaz Ozone of America, Inc.)

รูปที่ 2.4 รูปแบบของเครื่องกำเนิดโอโซนแบบท่อ

ภายในท่อสามารถแทนด้วยท่อสแตนเลส แรงดันไฟฟ้าแรงสูงจะถูกป้อนเข้าระหว่างตัวนำที่เคลื่อนอยู่ในหลอดแก้วกับท่อเหล็กที่อยู่ด้านนอก และอากาศหรือออกซิเจนจะถูกทำให้ผ่านระหว่างช่องว่างนั้น รูปแบบที่หลากหลายของการออกแบบวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

รูปแบบที่พัฒนาปรับปรุงขึ้นใหม่เร็ว ๆ นี้คือแบบโลเธอร์เพลต วิธีนี้จะใช้การระบายความร้อนด้วยอากาศ (2 แบบข้างต้นใช้น้ำในการระบายความร้อน) ถูกทำขึ้นจาก a gas tight arrangement of an aluminum heat dissipator, อิเล็กโตรดเหล็กเคลือบด้วยเซรามิกส์, Silicone-rubber spacer, และเคลือบเซรามิกส์ชั้นสองที่อิเล็กโตรดเหล็กที่ด้านนอกและด้านใน รูปแบบนี้ให้ประสิทธิภาพสูง

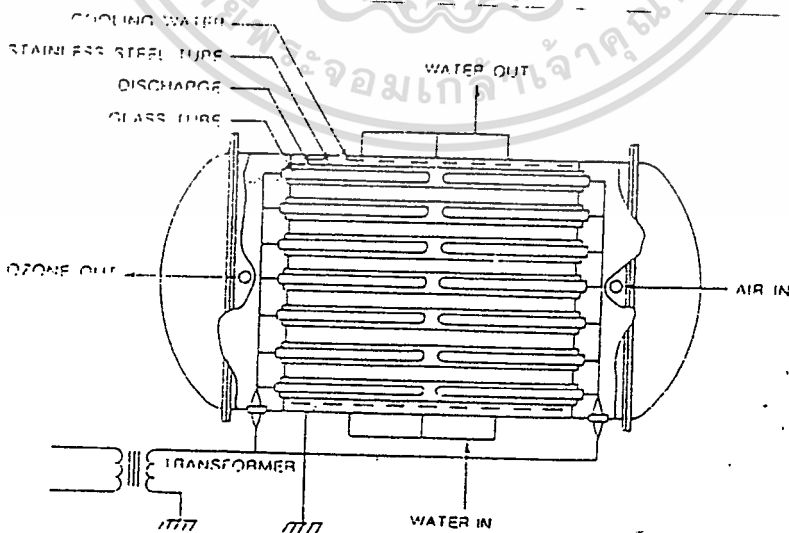
การระบายความร้อนที่เซลล์กำเนิดโอโซน [tubes or plates] จะเพิ่มประสิทธิภาพการกำเนิดโอโซน เครื่องกำเนิดโอโซนจะถูกป้อนด้วยออกซิเจน, ออกซิเจนปนอากาศ หรือ อากาศผ่านเข้าไประหว่างอิเล็กโตรดของเครื่องกำเนิดโอโซนที่มีสนามไฟฟ้าแรงสูงคร่อมอยู่, ถ้าเป็นออกซิเจนควรจะได้อโอโซน 5-7 % โดยน้ำหนักถึงจะคุ้มทุน



Flow diagrams for air and oxygen purification for ozonification production from oxygen-enriched air. The air purification unit may be omitted when pure oxygen is used or it may be used without oxygen enrichment.

รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงการสร้างโอโซนโดยใช้ออกซิเจน

รูปที่ 2.5 แสดงแผนภาพสำหรับการสร้างโอโซนโดยใช้ออกซิเจนเพิ่มเข้าไปในอากาศในการป้อนเพื่อกำเนิดโอโซน



Large-scale, tube-type generator for production of ozone from air or oxygen by cold plasma discharge.

รูปที่ 2.6 เครื่องกำเนิดโอโซนแบบท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่ใช้ในระบบสร้างโอโซนนั้นจะต้องระมัดระวังอย่างมาก เนื่องจากโอโซนมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาสูง (oxidized) วัสดุจำพวกยางหรือพลาสติกทุกชนิด นีโอพรีน EPDM และอลูมิเนียม ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ สิ่งที่ควรนำมาใช้คือสแตนเลส แก้ว ไฮพาลอน เทฟลอน และคอนกรีต

2.2 อุณหภูมิกับการเกิดโอโซน

ถ้าเพิ่มอุณหภูมิก๊าซที่ป้อนเข้าเซลล์สร้างโอโซน จะทำให้อัตราการเกิดโอโซนลดลง ขณะที่อัตราการสลายตัวของโอโซนเพิ่มขึ้น นั่นคือว่าการระบายความร้อนให้เซลล์โอโซนเป็นสิ่งจำเป็นในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดโอโซน

2.3 การใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสีย

ก๊าซโอโซน (O_3) คือก๊าซออกซิเจนซึ่งถูกปรับปรุงโครงสร้างให้มีพลังงานมากขึ้น เมื่อถูกอัดให้มีความหนาแน่นสูงขึ้น จะเป็นก๊าซที่มีสีน้ำเงินสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ก๊าซโอโซนมีแนวโน้มที่จะสลายตัวเองกลายเป็นก๊าซออกซิเจนได้ง่ายเมื่อโดนความร้อน ทำให้ไม่สามารถผลิตก๊าซโอโซนให้มีความหนาแน่นสูงๆ และเก็บไว้ได้นานๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องผลิตก๊าซโอโซน ณ แหล่งที่จะใช้งานนั้นเลย คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของโอโซน คือมันเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก โอโซนจะทำการออกซิไดซ์หรือเติมออกซิเจนให้กับสารประกอบทางเคมีได้หลายชนิด ซึ่งคุณสมบัติพิเศษนี้เองที่มีส่วนในการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย บำบัดน้ำสำหรับดื่ม น้ำที่จะใช้ในกรรมวิธีการผลิตต่างๆ น้ำในสระ โดยสารที่ไม่ต้องการจะถูกออกซิไดซ์ และสามารถกำจัดออกไปได้ ประโยชน์ที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ สิ่งที่หลงเหลือในน้ำ หลังการบำบัดด้วยโอโซนแล้วนั้นจะมีเพียงก๊าซออกซิเจนเท่านั้น นอกจากนี้โอโซนยังสามารถฆ่าเชื้อโรคได้และช่วยทำให้น้ำที่บำบัดมีรสดี ไม่มีกลิ่นและไม่มีสีหลงเหลืออยู่

2.4 คุณสมบัติของโอโซน

- เป็นก๊าซที่เกิดจากออกซิเจนที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage) หรือรังสีอุลตราไวโอเลต
- เป็นก๊าซที่มีกลิ่นฉุน
- พบมากที่ชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์
- มีค่าศักย์ออกซิเดชัน (Oxidation Potential) สูงถึง 2.07 V แต่คลอรีนมีค่าศักย์ออกซิเดชันเพียง 1.36 V

เอกสาร การละลายน้ำของโอโซนเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถคงตัวได้นานที่ pH ต่ำ
- สามารถฆ่าไวรัส,แบคทีเรียได้
- สามารถออกซิไดซ์กับสารอื่นได้เป็นอย่างดี
- มีน้ำหนักโมเลกุล 48.00 ความสามารถในการละลายน้ำที่ความดัน 1 บรรยากาศ 25°C คือ 6 mg/l จุดเดือด -122.0 °C จุดหลอมเหลว 192°C

Table III-40 C · t Values (mg · min/L) for 99 Percent Inactivation of Microorganisms with Disinfectants at 5°C

Microorganism	Disinfectant			
	Free Chlorine (pH 6 to 7)	Preformed Chloramine (pH 8 to 9)	Chloride Dioxide (pH 6 to 7)	Ozone (pH 6 to 7)
<i>E. coli</i>	0.034-0.05	95-180	0.4-0.75	0.02
Polio 1	1.1-2.5	770-3740	0.2-6.7	0.1-0.2
Rotavirus	0.01-0.05	3810-6480	0.2-2.1	0.006-0.06
Adenovirus type f2	0.08-0.18	-	-	-
<i>Giardia lamblia</i> cysts	47->150	-	-	0.5-0.6
<i>Cryptosporidium parvum</i> cysts	30-630	1400	7.2-18.5	1.8-2.0

Source: Hoff (1987).

ตารางที่ 2.1 แสดงค่า C.t (mg.min/L) ของตัวออกซิไดซ์ต่าง ๆ เมื่อใช้กำจัดจุลินทรีย์ได้ 99 % ที่ 5 °C

Table III-1 Summary of Ozone Applications

Control of:	Point of Application	Ozone Dose	Best Pathway*	Notes
Fe/Mn	Pre, Inter	Med	Molec.	Inter may be best with high-DOC waters.
Color	Inter	Med-High	Molec.	Two-step stoichiometry.
Taste and odor	Inter	High	Rad.	T&O may be produced by low ozone doses.
DOCs	Inter	Med-High	Rad.	Molec. may be best for some compounds.
Particles	Pre	Low	Unknown	May require high calcium concentration.
Algae	Pre, Inter	Low-Med	Unknown	Can be used with flotation.
Pathogens	Pre, Post	Med-High	Molec.	Pre in U.S.; post in Europe.
Cl ₂ by-products	Inter, Pre	Low-High	Molec.	High levels of removal require Rad.
Biodegradables	Inter	Med	Unknown	Design of downstream filtration process is important.

*Choice of molecular (Molec.) or radical (Rad.) pathway.

ตารางที่ 2.2 สรุปประเภทของเสียที่ใช้โอโซนบำบัดได้ผลดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ข้อดีของการนำโอโซนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียแทนคลอรีน

1) ประหยัดพลังงานความร้อน ที่ใช้ในการกระตุ้นปฏิกิริยา โอโซนในเซชัน (Ozonization)

โดยทั่วไปโอโซนสามารถละลายได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 35°C ดังนั้นปฏิกิริยาโอโซนในเซชันของโอโซนในน้ำเสียจึงเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ ระบบจึงไม่ต้องเสียพลังงานความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิเลย

2) ง่ายและสะดวกต่อการสลายโอโซนที่เหลือจากการใช้งาน

เนื่องจากโอโซนมีวงจรชีวิตสั้น จึงทำให้โอโซนสลายตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อนเพียงเล็กน้อย

3) โอโซนมีความสามารถในการออกซิไดซ์ดีกว่าคลอรีน

เนื่องจากโอโซนมีค่าศักย์ออกซิเดชันสูงกว่าคลอรีนถึง 1.52 เท่า ดังนั้นโอโซนจึงสามารถออกซิไดซ์สารประกอบเคมีที่มีพิษในน้ำได้ดีกว่าคลอรีน โดยโอโซนจะสามารถ ออกซิไดซ์ได้ทั้งสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์

ออกซิเดชันของสารประกอบอินทรีย์ (Oxidation of Organic) McGuire ได้ทำการทดลองโดยนำสารประกอบอินทรีย์ที่มีพิษ 16 ตัวมาทำปฏิกิริยากับตัวออกซิไดซ์ 3 ตัว คือ คลอรีน ไฮโปคลอไรต์ และโอโซน ในสภาวะเดียวกัน แล้วทำการวัดเวลาที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไปได้ 50% ของความเข้มข้นเริ่มต้น (Half Life) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2.3

Compound	Chlorine	Potmanganate	Ozone
Acetophenone	24 d	43 d	25 min
Benzaldehyde	> 1.2 d	36 min	25 min
Benzotriazole	87 min	> 5.3 d	22 min
1, 2-Bis (2-chloroethoxy) ethane	> 20 d	37 d	50 min
Bis (2-chloroethyl) ether	> 20 d	15 d	21 min
Boironol	1.4 d	7 d	13 min
Camphor	> 3.2 d	> 5.8 d	> 12 min
p-Dichlorobenzene	> 1.2 d	> 22 d	N/A
p-Nitrophenol	2.1 d	1.1 d	2 min
Phenyl-m-sulfate	> 20 d	22 d	5.5 min
p-Tolunitrile	> 20 d	28 d	3.4 min
Diacetone-L-sorbose	100 d	> 1.4 d	2.3 min
Diacetone-L-xylose	> 15 d	> 1.4 d	2.3 h
Toluene	N/A	N/A	2.3 min
Ethylbenzene	N/A	N/A	2.9 min
1, 2, 3-Trimethylbenzene	N/A	N/A	1.9 min

d:day min:minute N/A:Non Application

ตารางที่ 2.3 แสดงอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารต่างๆ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า โอโซนมีอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าสารออกซิไดซ์ตัวอื่น

ออกซิเดชันของสารประกอบอนินทรีย์ (Oxidation of Inorganic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอโซนสามารถออกซิไดซ์สารประกอบอนินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียได้ โดยโอโซนจะไปออกซิไดซ์ ไอออนของโลหะที่ละลายอยู่ในน้ำให้มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น แล้วเกิดเป็นสารประกอบตัวอื่นที่ไม่ละลายน้ำแล้วตกตะกอนแยกออกมาจากสารละลาย

เช่นการใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียที่ประกอบด้วย Fe^{2+} ที่ละลายน้ำได้ โอโซนจะไปออกซิไดซ์ Fe^{2+} ไปเป็น Fe^{3+} จากนั้น Fe^{3+} จะถูกไฮโดรไลซ์ (Hydrolyzed) กลายเป็น $Fe(OH)_3$ ตกตะกอนออกมา ดังสมการ

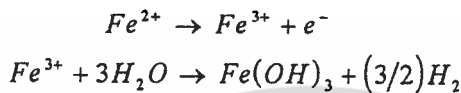


Table III—2 Reactions of Fe(II) and Mn(II) with Alternative Oxidants and the Theoretical Reaction Stoichiometry

Reductant/Oxidant	Reaction	Stoichiometry	Eq. No.
Fe(II)			
$O_2(aq)$	$2Fe^{2+} + \frac{1}{2}O_2(aq) + 5H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3(s) + 4H^+$	0.14 mg O_2 /mg Fe	[1]
$O_3(aq) \rightarrow O_2(aq)$	$2Fe^{2+} + O_3(aq) + 5H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3(s) + O_2(aq) + 4H^+$	0.43 mg O_3 /mg Fe	[2]
HOCl	$2Fe^{2+} + HOCl + 5H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3(s) + Cl^- + 5H^+$	0.64 mg HOCl*/mg Fe	[3]
$ClO_2 \rightarrow ClO_2^-$	$Fe^{2+} + ClO_2 + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_3(s) + ClO_2^- + 3H^+$	1.20 mg ClO_2 /mg Fe	[4]
$KMnO_4$	$3Fe^{2+} + MnO_4^- + 2H_2O \rightarrow 3Fe(OH)_3(s) + MnO_2(s) + 5H^+$	0.94 mg $KMnO_4$ /mg Fe	[5]
Mn(II)			
$O_2(aq)$	$Mn^{2+} + \frac{1}{2}O_2(aq) + H_2O \rightarrow MnO_2(s) + 2H^+$	0.29 mg O_2 /mg Mn	[6]
$O_3(aq) \rightarrow O_2(aq)$	$Mn^{2+} + O_3(aq) + H_2O \rightarrow MnO_2(s) + O_2(aq) + 2H^+$	0.88 mg O_3 /mg Mn	[7]
HOCl	$Mn^{2+} + HOCl + H_2O \rightarrow MnO_2(s) + Cl^- + 3H^+$	1.30 mg HOCl*/mg Mn	[8]
$ClO_2 \rightarrow ClO_2^-$	$Mn^{2+} + 2ClO_2 + 2H_2O \rightarrow MnO_2(s) + 2ClO_2^- + 4H^+$	2.45 mg ClO_2 /mg Mn	[9]
$KMnO_4$	$3Mn^{2+} + 2MnO_4^- + 2H_2O \rightarrow 5MnO_2(s) + 4H^+$	1.92 mg $KMnO_4$ /mg Mn	[10]

Source: Reprinted with permission from Pouvreau, P., *Jour. François d'Hydrologie*, 2:169. © 1984 *Journal François d'Hydrologie*.
*HOCl expressed as Cl_2 by convention.

ตารางที่ 2.4 แสดงสมการปฏิกิริยาออกซิเดชันและปริมาณของตัวออกซิไดซ์ที่
ต้องใช้ ในการกำจัดเหล็ก [Fe(II)] และแมงกานีส [Mn(II)]

4) สามารถกำจัดสีได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นโพลีไซคลิก (Polycyclic) บางตัวที่มีหมู่โคโมรฟอร์ คือเป็นหมู่ฟังก์ชันกรุป (function group) ที่ไม่อิมตัวซึ่งสามารถดูดกลืนแสงในช่วงที่มองเห็นได้ (UV Visible) ได้ ทำให้สารประกอบที่มีหมู่โคโมรฟอร์นี้ให้สีได้

เนื่องจากโอโซนสามารถออกซิไดซ์หมู่โคโมรฟอร์ได้ คือไปทำลายพันธะคู่ของมันทำให้สารประกอบที่มีหมู่โคโมรฟอร์ให้สีไม่ได้ต่อไปอีก ทำให้สามารถกำจัดสีในน้ำเสียได้

5) สามารถกำจัดกลิ่นได้ดี

ในสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์บางตัวจะมีกำมะถันและไนโตรเจนซึ่งเป็นสารที่มีกลิ่นเหม็น ทำให้สามารถกำจัดกลิ่นในน้ำเสียได้ เช่น H_2S เมื่อถูกโอโซนออกซิไดซ์จะกลายเป็น H_2SO_4 ดังสมการ



6) ควบคุมการเจริญเติบโตของพืชน้ำ (Algae) ได้

พืชน้ำที่มีอยู่ในน้ำเสียนี้เป็นตัวกำเนิดกลิ่น ขอบอยู่ที่อุณหภูมิอุ่นประมาณ $35-40^\circ C$ และอาหารของมันคือสารประกอบอินทรีย์ โอโซนไม่สามารถกำจัดพวกพืชน้ำได้โดยตรง เนื่องจากพืชน้ำสามารถสร้างภูมิคุ้มกันตัวมันเองตลอดเวลา แต่โอโซนสามารถกำจัดได้โดยทางอ้อม คือโอโซนสามารถออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์ที่เป็นอาหารของพวกมัน ทำให้พืชน้ำหยุดการเจริญเติบโตและตายไปในที่สุด

7) สามารถแยกของแข็งแขวนลอย (Suspended solids) ออกได้

ในน้ำเสียมีอนุภาคคอลลอยด์ ที่มีขนาดเล็กเป็นประจุอยู่ตามผิว เมื่อที่ผิวน้ำมีประจุเป็นกลางอนุภาคพวกนี้จะจับตัวเป็นกลุ่มลอยขึ้นมา ซึ่งโอโซนจะทำหน้าที่เป็นตัวทำให้ผิวของน้ำ มีประจุเป็นกลาง อนุภาคต่างๆก็ลอยขึ้นมารวมกันเป็นกลุ่มและสามารถแยกออกมาได้โดยการตกตะกอนกรอง หรือ ซ้อนออก

8) มีความปลอดภัยกว่าคลอรีน

เนื่องจากเมื่อคลอรีนไปออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์บางตัวแล้วทำให้เกิดสารประกอบคลอรีเนต (Chlorinate) ที่เป็นพิษ แต่เมื่อใช้โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์แล้วจะไม่เกิดสารประกอบที่เป็นพิษแบบสารประกอบคลอรีเนตขึ้นเลย

2.6 ระบบการบำบัดน้ำเสียโดยใช้โอโซน แบ่งเป็น 4 ส่วนดังนี้

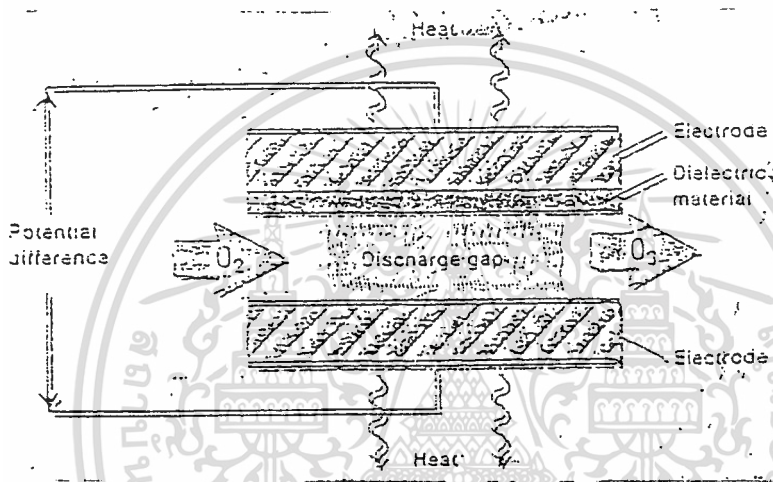
1) ส่วนบำบัดอากาศ (Feed gas treatment)

เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่จำหน่ายอากาศ หรือ ก๊าซออกซิเจนไปยังหน่วยสร้างซึ่งจะมีการกำจัดอนุภาคแปลกปลอม ละอองในอากาศ ความชื้นและสารไฮโดรคาร์บอนก่อนที่จะไปถึงหน่วยสร้างอนุภาค ที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.3 ไมครอน จะถูกกำจัดออกมาโดยการป้อนก๊าซเข้าไปที่ความดัน 2 ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรยากาศ จากนั้นทำการกรอง และนำไปอบแห้ง แล้วก็นำแยกออกมา ก๊าซออกซิเจนที่ผ่านส่วนนี้ จะมีสารปนเปื้อนน้อยกว่าก๊าซออกซิเจนในอากาศปกติ แต่ถ้าจะให้สะอาดจริงๆ เครื่องมือที่ใช้ควร จะสะอาดปราศจากสิ่งปนเปื้อนด้วย

2) ส่วนสร้างโอโซน (Ozone generation)

เป็นหน่วยสร้างโอโซน (O_3) จากก๊าซออกซิเจน (O_2) โดยเครื่องมือที่ใช้คือ เครื่องกำเนิด โอโซนแบบโคโรนาดิสชาร์จ (Corona-discharge ozone generator) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงเครื่องกำเนิดโอโซนแบบโคโรนาดิสชาร์จ

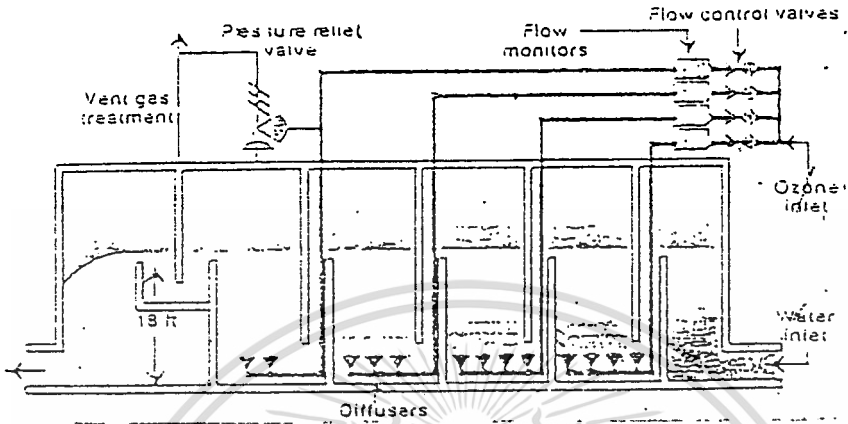
โดยทำการป้อนก๊าซออกซิเจนเข้าไประหว่างอิเล็กโทรด 2 ตัว ที่ความต่างศักย์ ของสนาม ไฟฟ้าสูง ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสูงระหว่างช่องว่างของอิเล็กโทรด ไปกระตุ้นโมเลกุลของ O_2 ให้ สลายกลายเป็น O จากนั้น O จะไปรวมตัวกับ O_2 กลายเป็น O_3 ดังสมการ

ข้อควรระวังคือ 80% ของพลังงานที่ให้กับเซลล์จะกลายเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งถ้าร้อน มากๆ จะไปสลายโอโซนได้ ดังนั้นในหน่วยสร้างนี้จึงควรมีเครื่องทำความเย็นอยู่ด้วยโดยขนาด และชนิดของเครื่องนั้นควรเลือกให้เหมาะกับขนาดของเครื่องกำเนิดโอโซน

3) ส่วนผสมโอโซนกับน้ำ (Ozone contact)

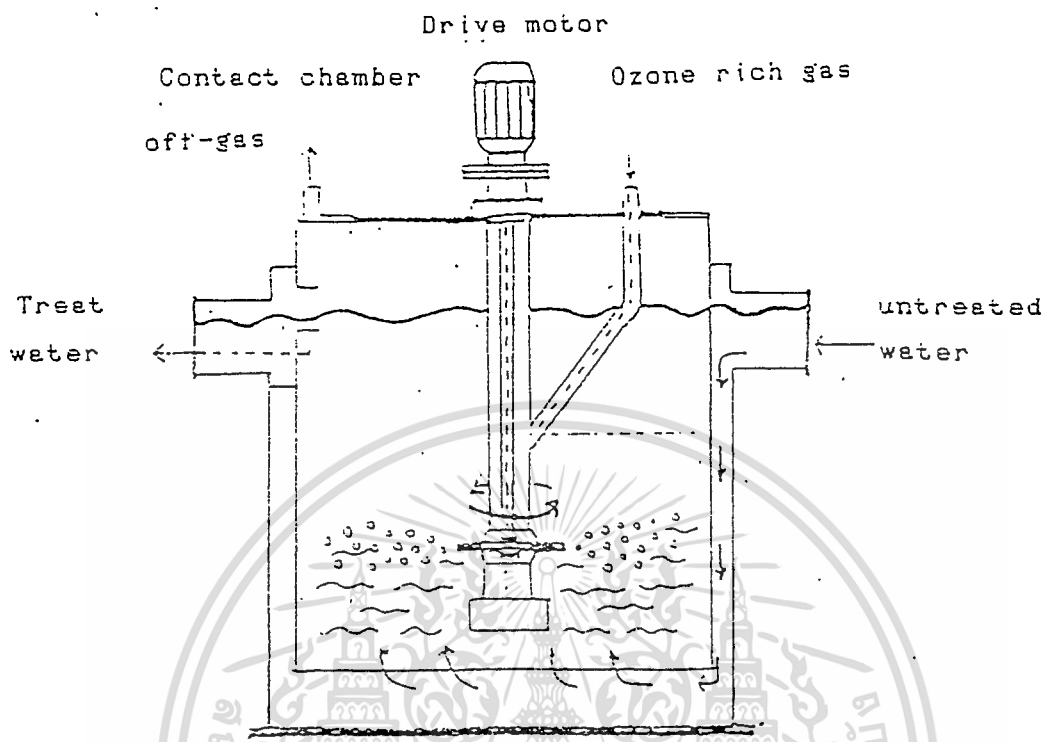
หน่วยนี้จะเป็นหน่วยที่เกิดปฏิกิริยาโอโซนในเข้ช่นขึ้น ซึ่งโอโซนและน้ำเสียจะผสมกันโดย วิธีทางเชิงกลหลายวิธี เช่น เทอร์ไบน์ (Turbine) ดิฟฟิวเซอร์ (Diffusers) และอินเจกชัน (Injection) เป็นต้น

การผสมแบบดิฟฟิวเซอร์เป็นวิธีที่การส่งผ่านก๊าซโอโซนอย่างรวดเร็วและใช้พลังงานต่ำ โดยใช้เครื่องมือดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 เครื่องผสมโอโซนกับน้ำชนิดคิฟิวเซอร์

เครื่องมือประกอบด้วยถึง 4 ถัง มีตัวคิฟิวเซอร์ 13 ตัว ซึ่งอยู่ลึกลงมา 7 เมตร โดยจะทำการส่งก๊าซให้แพร่ออกมาทางตัวคิฟิวเซอร์ แล้วทำการปล่อยน้ำเสียเข้ามาบำบัด เป็นเวลา 5-15 นาที แต่การผสมโดยวิธี คิฟิวเซอร์ นี้ยังมีข้อเสีย คือ อนุภาคขนาดใหญ่ในน้ำ เสียจะเข้าไปติดในตัวคิฟิวเซอร์ ทำให้สกปรกได้ง่ายและการส่งผ่านของก๊าซไม่สะดวก ดังนั้นจึงนิยมใช้การผสมแบบเทอร์ไบน์ (กังหันไอน้ำ) แทน เพราะมีประสิทธิภาพในการส่งก๊าซดีกว่า นอกจากนั้นการสัมผัสกันระหว่างน้ำกับโอโซนก็มากกว่า คือมีประสิทธิภาพถึง 90% โดยโอโซนจะถูกส่งลงมาข้างล่างแล้วแพร่ออกสู่ส่วนกังหันไบน์พัด ซึ่งจะทำให้น้ำเสียกับโอโซนมีการสัมผัสกันหลาย ๆ รอบ โดยเครื่องมือมีการผสมแบบเทอร์ไบน์เป็นดังนี้



รูปที่ 2.9 เครื่องผสมโอโซนกับน้ำชนิดเทอร์ไบน์

4) ส่วนทำลายโอโซน(Ozone destruction)

หน่วยนี้เป็นหน่วยทำลายโอโซน เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงสามารถกัดกร่อนโลหะและเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้เมื่อมีความเข้มข้นสูงถึง 100-200 ppm ดังนั้นจึงต้องมีการทำลายโอโซนที่มีเหลืออยู่ในระบบ ให้มีความเข้มข้นเหลือเพียง 0.1 ppm ก่อนที่จะปล่อยสู่บรรยากาศ

ซึ่งวิธีการทำลายของหน่วยนี้มีวิธีง่าย ๆ หลายวิธี คือ

1. นำกลับมาใช้อีก (reinjection)
2. การใช้ความร้อนเพื่อให้สลายตัวไปเอง (autodecomposition)
3. ทำให้เจือจางกับอากาศ (dilution)
4. เร่งให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันกับโลหะออกไซด์ (catalytic reduction with metal oxide)

โอโซนเป็นก๊าซที่มีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สูงสุดจึงเป็นที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำสำหรับ ดื่ม และสระว่ายน้ำร่วมกับเครื่องกรองถ่านเพื่อช่วยดูดซับสารที่ถูกทำปฏิกิริยากับสารพิษหรือโลหะที่ ละลายอยู่ให้หมดไป นอกจากนี้โอโซนยังมีความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคได้อย่างดี คิดว่าคลอรีนหลายเท่าโดยไม่ขึ้นกับ pH ของน้ำด้วย (ในการใช้คลอรีนต้องคำนึงถึง pH ของน้ำด้วย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การเกิดโคโรนา

3.1 การเกิดโคโรนา

โคโรนาเป็นชื่อปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าแรงสูงที่เกิดขึ้นบนสายส่งตัวนำไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ปรากฏการณ์โคโรนาจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน แสง เสียง เคมี และแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งส่วนที่ใช้ผลิตโอโซนในโครงการนี้จะใช้เส้นลวดทำเป็นขั้วอิเล็กโตรด และจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงเข้าที่เส้นลวดทำให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนาซึ่งเราจะได้ยินเสียงความถี่สูงปรากฏออกมาจากเส้นลวดอิเล็กโตรด ซึ่งเป็นการแตกตัวของอากาศรอบๆขั้วอิเล็กโตรด และเมื่อเพิ่มแรงดันสูงขึ้น ไปอีกก็จะเกิดการเรืองแสง โดยเฉพาะบริเวณที่ขั้วอิเล็กโตรดมีความขรุขระหรือสกปรก พร้อมกันนั้นจะเกิดคลื่นแม่เหล็กกระจายออกไปรบกวนสัญญาณคลื่นวิทยุ ถ้าแรงดันมากขึ้นไปอีก จะเกิดการสปาร์ก (spark) หรือเกิดการวาบไฟตามผิว (flashover)

มีคำนิยามในเรื่องระดับแรงดันที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปรากฏการณ์โคโรนาอยู่ 2 อย่างคือ

1. แรงดันไฟฟ้าวิกฤตแตกตัว (Disruptive Critical Voltage) เป็นค่าระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดระหว่างอิเล็กโตรดกับกราวด์ที่ทำให้เริ่มเกิดการกระบวนกรการแตกตัวของอากาศ อันเนื่องจากมีอิเล็กตรอนอิสระ (free electron) ในอากาศได้รับผลจากความเข้มของสนามไฟฟ้าทำให้เกิดพลังงานจลน์วิ่งเข้าชนโมเลกุลของก๊าซปลดปล่อยอิเล็กตรอนอิสระและไอออนขึ้น ทำให้เกิดปรากฏการณ์ทางเสียงยังไม่มีแสงให้เห็น

2. แรงดันไฟฟ้าวิกฤตมองเห็น (Visual Critical Voltage)

เป็นระดับแรงดันไฟฟ้าวิกฤตที่สูงกว่าค่าแรกทำให้อากาศรอบๆอิเล็กโตรดแตกตัวต่อไปด้วยผลจากการที่โมเลกุลได้รับพลังงานจลน์จากการชนของอิเล็กตรอนอิสระ จะทำให้อิเล็กตรอนของโมเลกุลแตกตัวหลุดออกไป และวิ่งไปชนโมเลกุลอื่นๆ แต่ถ้าอิเล็กตรอนบางตัวของโมเลกุลไม่สามารถแตกตัวออกไปได้ โมเลกุลนั้นก็อยู่ในสภาวะไม่เสถียรภาพ (metastable) และเมื่ออิเล็กตรอนคืนกลับสู่วงโคจรในสภาวะเดิม โมเลกุลก็จะปลดปล่อยพลังงานที่ได้รับกลับคืนมาในรูปพลังงานโฟตอน (Photon) ที่เป็นพลังงานแสง ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องตลอดเวลาในสภาวะที่อำนาจ ดังนั้นเราจะมองเห็นแสงเรืองรอบสายตัวนำ

ถ้าแรงดันไฟฟ้ามีค่ามากกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าวิกฤตมองเห็นนี้ขึ้นไปอีก อาจทำให้อากาศบริเวณรอบสายตัวนำแตกตัวหมดต่อเนื่อง เป็นผลให้อากาศบริเวณนั้นเปลี่ยนสภาพจากการเป็นฉนวน กลายเป็นตัวนำไฟฟ้าทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านข้ามอากาศได้ ซึ่งจะเป็นลำแสงสว่างมากที่ปรากฏบนพวงลูกถ้วย เรียกว่า การวาบไฟตามผิวนั่นเอง

8.2 แฟลคเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อแรงดันเบรคความ

แฟลคเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อความคงทนต่อความเครียดสนามไฟฟ้าของฉนวน เช่น ระยะแกป รัศมีความโค้ง(r) ลักษณะผิว(s_r) ช่วงเวลาป้อนแรงดัน ความถี่(f) รูปคลื่นแรงดัน อุณหภูมิ(T) ความดันอากาศ (P) ความชื้น(h) ขั้วแรงดันบนอิเล็กโทรดที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด ในที่นี้จะอธิบายถึงผลของแฟลคเตอร์ต่าง ๆ เหล่านี้ที่มีผลต่อแรงดันเบรคความของก๊าซ โดยกำหนดระยะแกปให้

รูปลักษณะอิเล็กโทรด (Electrode configuration)

รูปลักษณะอิเล็กโทรดจะมีผลต่อแรงดันเบรคความมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะสนามไฟฟ้าเป็นแบบสม่ำเสมอ ไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยหรือไม่สม่ำเสมอมาก ในกรณีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดกับค่าเฉลี่ยจะแตกต่างกันไม่มาก ค่าแรงดันเริ่มต้น (threshold-voltage) กับค่าแรงดันเบรคความเป็นค่าเดียวกัน กล่าวคือเมื่ออะวาลานซ์วิกฤตได้ตามเงื่อนไขก็จะเกิดเบรคความทันที จะไม่มีโคโรนาเกิดขึ้นก่อนเบรคความ จึงเรียกลักษณะเบรคความแบบนี้ว่า เบรคความโดยตรง (direct breakdown) เช่นเบรคความที่เกิดขึ้นในแกปของทรงกลมที่มีระยะห่างไม่มากนักเมื่อเทียบกับเส้นผ่าศูนย์กลาง ($d < D/2$) ความต่างของขั้วแรงดันมีผลต่อค่าแรงดันเบรคความเพียงเล็กน้อย

ในสนามไฟฟ้า (highly nonuniform field) ระยะห่างเมื่อเทียบกับรัศมีของอิเล็กโทรด ค่าแรงดันเริ่มต้นจะต่ำกว่าแรงดันเบรคความอย่างเห็นได้ชัด ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอแบบสมมาตร เช่นแท่งกลม-แท่งกลมมีปลายเหมือนกัน รูปลักษณะอิเล็กโทรดไม่มีผลต่อแรงดันเบรคความจะมีผลในกรณีที่อิเล็กโทรดเป็นแบบไม่สมมาตรมากๆ เช่น แท่งกลมกับแผ่นระนาบ

เบรคความจะเกิดขึ้นเมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด E_m เท่ากับความเครียดสนามไฟฟ้าเบรคความ E_b นั่นคือแรงดันเบรคความคำนวณได้จากสมการ คือ

$$V_b = E_b \cdot d \cdot \eta$$

เมื่อ d คือระยะแกป และ η = แฟลคเตอร์สนามไฟฟ้า

สมการนี้ใช้ได้เฉพาะสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ คือแบบเกิดเบรคความโดยตรงเท่านั้น ในกรณีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ คือ เกิดโคโรนา คือ เกิดโคโรนาก่อนเบรคความ สมการ $E_b = V_b/d \cdot \eta$ นี้ใช้คำนวณแรงดันเบรคความไม่ได้ แต่ใช้สำหรับคำนวณหาแรงดันโคโรนาเริ่มต้นเท่านั้น

ผลของความหนาแน่นของก๊าซ

จากความสัมพันธ์ที่ว่า ระยะอิสระ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ T และเป็นสัดส่วนกลับกับความดัน p (T/P) และในสมการ $\alpha/p = A e^{-B/(E \cdot p)}$ ค่าคงตัว A และ B ก็สามารถแทนด้วย P/T ได้ ในทางปฏิบัติความหนาแน่นของอากาศมีบทบาทสำคัญต่อฉนวนกลางแจ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(สายส่งไฟฟ้ากำลังสวิตช์เกียร์ในสถานีจ่ายไฟย่อย การทดสอบในห้องทดลอง) บรรยากาศเปลี่ยนแปลงไม่มากนักจึงถือได้ว่าค่าแรงดันเบรคคาวน์ หรือวาบไฟ (flashover) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า P/T ซึ่งแสดงถึงความหนาแน่นของก๊าซ ให้ความหนาแน่นของอากาศ = 1 เมื่อความดันบรรยากาศ $P = 760 \text{ torr}$, อุณหภูมิ $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (ซึ่งเท่ากับ $T = 273 + 20 = 293 \text{ K}$) เป็นสภาวะมาตรฐานของ IEC

ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอแรงดันเบรคคาวน์จะแปรตามความหนาแน่นก๊าซ แต่ในกรณีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอสูง คือ ที่แฟลคเตอร์สนามไฟฟ้า $\eta < 20 \dots 30 \%$ ลักษณะของแรงดันเบรคคาวน์ในเทอมของความดันก๊าซจะมีลักษณะสูงสุด-ต่ำสุด (maximum-minimum characteristics) กล่าวคือที่ความดันต่ำ ๆ จะมีโคโรนาเกิดขึ้นก่อนจะเกิดเบรคคาวน์และเรียกว่าเบรคคาวน์ตามโคโรนา ถ้าเป็นแบบโคโรนาคงสถานะ (stabilize corona) จะทำให้แรงดันเบรคคาวน์สูงกว่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดมาก แต่เมื่อเพิ่มความดันให้สูงขึ้นโคโรนาคงสถานะจะลดน้อยลงและทำให้ค่าแรงดันเบรคคาวน์ลดต่ำลงด้วย จนกระทั่งค่าแรงดันเบรคคาวน์และค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดมีค่าเท่ากัน และเป็นความดันที่แรงดันมีค่าต่ำ หลังจากจุดนี้หากเพิ่มแรงดันก๊าซต่อไปอีก ค่าแรงดันเบรคคาวน์จะเพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความดันก๊าซในช่วงหลังจุดแรงดันต่ำสุดนี้ ($p > p_G$) เบรคคาวน์จะเป็นแบบเบรคคาวน์โดยตรง ปรากฏการณ์ลักษณะแรงดันเบรคคาวน์ในเทอมของความดันก๊าซที่มีลักษณะสูงสุดนี้จะปรากฏเห็นเด่นชัดในกรณีของก๊าซประจุไฟฟ้าลบ เช่น SF_6 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ V_0 ในเทอมของความดัน p ของ SF_6 ในสนามไฟฟ้าระหว่างแท่งปลายมน (rod) กับระนาบ

ผลของความชื้นในอากาศ

โมเลกุลของ H_2O ในอากาศมีลักษณะเป็นก๊าซไฟฟ้าลบอ่อน ๆ เพราะมีอะตอมของออกซิเจนประกอบอยู่ ทำให้อากาศที่มีความชื้นมีความคงทนต่อแรงดันสูงขึ้นตรงเท่าที่ความชื้นยังไม่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำหรือยังไม่ถึงจุดน้ำค้าง ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอที่ไม่มีดีสชาร์จก่อน (predischage) หรือในแก๊ปของทรงกลม ($d < D/2$) ผลของความชื้นมีผลต่อแรงดันเบรคคาวน์น้อยมากเลยได้แต่ในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอที่เกิดดีสชาร์จก่อน ความชื้นที่มีผลต่อค่าแรงดันเบรคคาวน์ และมีผลมากที่สุดสำหรับแรงดันกระแสดตรง ถ้าแรงดันมีช่วงเวลาน้อย เช่น แรงดันอิมพัลส์ความชื้นมีผลต่อแรงดันเบรคคาวน์น้อย

แรงดันเบรคคาวน์กระแสดตรงในแก๊ปของแท่งกระบอกกลม (rod-rod gap) จากผลการทดลองจะให้ความสัมพันธ์ (Zaengl) คือ

$$V_0 = (a+bd) \cdot 5.1 \cdot 10^{-2} (h_s + 8.65) \quad \text{KV}$$

เมื่อ $a = 20 \text{ KV}$ (สำหรับ DC^+), 15 KV (สำหรับ DC^-)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$b = 5.1 \text{ KV/cm}$, $d =$ ระยะแกป เป็น cm

$h_a = 4 \dots 40 \text{ g/m}^3$ (ความชื้นสัมบูรณ์)

$d =$ ความหนาแน่นอากาศ

ในสมการนี้ เป็นค่าแรงดันเบรคความถี่ที่ความชื้นสัมบูรณ์ตามมาตรฐาน IEC (publ, No60) คือ $11 \text{ gH}_2\text{O/m}^3$ ซึ่งเท่ากับความชื้นสัมพัทธ์ 64 % ที่ 20°C ความดันอากาศ 760 Torr ถ้าความชื้นเพิ่มขึ้น 5 g/m^3 จะทำให้ V_b เพิ่มขึ้น +6% แต่ถ้าความชื้นลดลง 5 g/m^3 ค่า V_b จะลดลง 7 % ซึ่งแสดงว่าแรงดันเบรคความถี่เพิ่มขึ้นหรือลดลงความชื้นสัมบูรณ์ในอากาศ ฉะนั้นในการวัดแรงดันเบรคความถี่หรือวาทไฟตามผิว (flashover voltage) ที่สภาวะมิใช่ความชื้นมาตรฐาน ถ้าต้องการเทียบค่าแรงดันเบรคความถี่ V_b นี้กับค่ามาตรฐานกำหนดจะต้องแก้ค่าที่วัดได้ไปสู่อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน (V_{bn}) ด้วยตัวประกอบแปลงผันความชื้นในอากาศ (k_h) ซึ่งเป็นสัดส่วนกับความชื้นผลของสิ่งปรองเปื้อนและน้ำฝน

ตามลำพังก็อาจอย่างเดียวไม่สามารถจะทำหน้าที่การฉนวนได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เพราะว่าการฉนวนส่วนมากนอกจากจะต้องรับความเครียดสนามไฟฟ้าแล้วยังต้องรับแรงกลอีกด้วย จะต้องมีกรยึดหรือรับน้ำหนักของส่วนที่มีไฟฟ้าในระบบให้อยู่ได้อย่างมั่นคง นั่นคือจะต้องใช้วัสดุฉนวนที่เป็นของแข็งทำหน้าที่ดังกล่าว ตัวอย่างเช่น ใช้ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า (insulators) แบบลูกถ้วยแขวนลูกถ้วยท่อนยาว โดยทั่วไปแล้วความชื้นในอากาศจะทำให้ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าตามผิวฉนวนลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อน้ำค้าง

ผลของรูปแบบแรงดัน

แรงดันเบรคความถี่ขึ้นอยู่กับรูปคลื่นของแรงดัน ซึ่งความสัมพันธ์ของแรงดันเบรคความถี่ในอากาศในฟังก์ชันของระยะแกปในสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ และไม่สมมาตร คือระหว่างแท่งกับแผ่นระนาบ (rod-plate) จะเห็นได้ว่า

แรงดันแบบอิมพัลส์สวิตช์ซึ่งขั้วบวกมีค่าเบรคความถี่ต่ำสุด แรงดันขั้วลบกระแสตรง (DC) มีค่าเบรคความถี่สูงสุด แต่สูงกว่าแรงดันเบรคความถี่อิมพัลส์ (แบบฟ้าผ่า และ สวิตช์) ขั้วลบเล็กน้อย ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าความคงทนของอากาศต่อแรงดันขั้วลบทุกรูปแบบมีค่าใกล้เคียงกันแรงดันขั้วบวกอิมพัลส์และกระแสตรง (DC⁺) จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนเชิงเส้นโดยตรงกับระยะแกปแบบอิมพัลส์ฟ้าผ่าขั้วบวกสูงกว่าแบบแรงดันกระแสตรงขั้วบวกเล็กน้อย แต่ขั้วบวกทั้ง 1.2/50 และ DC⁺ มีค่าเบรคความถี่ต่ำกว่าขั้วบวกและสูงกว่าแบบอิมพัลส์สวิตช์ซึ่งขั้วบวกแรงดัน ส่วนแรงดันกระแสสลับความถี่พลังงาน (50-60 Hz) จะมีค่าเบรคความถี่เท่า ๆ กับแรงดันเบรคความถี่กระแสตรงในแกปที่ระยะห่างไม่เกิน 150 cm ที่ระยะแกปห่างกว่านี้แรงดันเบรคความถี่กระแสสลับจะต่ำกว่าแรงดันกระแสตรงมากขึ้นเมื่อระยะแกปเพิ่มขึ้น แต่กลับไปใกล้เคียงกับสวิตช์ซึ่งขั้วบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แรงดันเบรคความถี่สูงที่แรงดันยังมีผลการวิจัยน้อย แต่โดยทั่วไปแสดงให้เห็นว่าความถี่สูงจากหม้อแปลงเตสลาทำให้ค่าเบรคความถี่ต่ำลง แรงดันเบรคความถี่อิมพัลส์ขึ้นอยู่กับความชัน (steepness) ของรูปคลื่นและยังขึ้นอยู่กับชั่วแรงดันอีกด้วย

ผลของประจุค้างมีต่อแรงดันเบรคความถี่ต่างชั่ว

ประจุค้าง (space charge) เกิดขึ้นในสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอสูง เป็นผลให้แรงดันเบรคความถี่ V_0 มีค่าสูงกว่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด (V_i) และผลของประจุค้างทำให้แรงดันเบรคความถี่ของชั่วบวกและชั่วลบต่างกัน ในทางตรงข้ามกับแรงดันเบรคความถี่โดยตรง (direct breakdown) กล่าวคือ แรงดันเบรคความถี่โดยตรงปรี้อแรงดันเริ่มต้น (threshold voltage or starting voltage) ของชั่วลบจะต่ำกว่าของชั่วบวกเสมอ แต่ผลของประจุค้างทำให้แรงดันเบรคความถี่ชั่วลบสูงกว่าชั่วบวกปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นกับแรงดันทุกรูปแบบ (DC AC และ Impulse และในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงของอิเล็กโตรดแบบไม่สมมาตร ดังตัวอย่างเช่นปลายแหลมกับแผ่นระนาบ การอ้างถึงแรงดันชั่วบวกหรือชั่วลบหมายถึงชั่วแรงดันบนอิเล็กโตรดที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด

1. ปลายแหลมชั่วบวก

ที่ปลายแหลมชั่วบวกเทียบกับแผ่นระนาบ เมื่อแรงดันสูงถึงค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดก๊าซในปริมาตรของแก๊สจะเกิดไอออนในเซชันรอบ ๆ ปลายแหลม อิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่ได้เร็วจะวิ่งเข้าหาอะโนดคือปลายแหลมและรวมตัวเป็นกลาง ปล่อยให้ไอออนบวกซึ่งเคลื่อนที่ได้ช้าค้างออกันอยู่ที่ปลายแหลมเหมือน ทำให้สนามไฟฟ้าที่ปลายแหลมมีความเครียดน้อยลงแต่ความเครียดสนามไฟฟ้าทิศทางเข้าหาอะโนดคือแผ่นระนาบจะมีค่าสูงขึ้น ประจุไอออนบวกชั่วปลายแหลมเหมือนหนึ่งว่าทำให้อิเล็กโตรดยาวขึ้น เมื่อระยะแก๊สสั้นลงและเวลาเดียวกับความเครียดสนามไฟฟ้าแก๊สเพิ่มขึ้นเป็นผลให้เกิดเบรคความถี่ได้ง่ายขึ้น นั่นคือประจุค้างทำให้แรงดันเบรคความถี่ชั่วบวกต่ำลง

2. ปลายแหลมชั่วลบ

ปลายแหลมเป็นชั่วลบ อิเล็กตรอนที่เกิดจากไอออนในเซชันเคลื่อนที่ไปตามระนาบอะโนดซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำ อิเล็กตรอนอาจเกาะตัวบนโมเลกุลได้และรวมตัวเป็นกลางที่อะโนด ส่วนประจุไอออนบวกเคลื่อนที่ได้ช้าเข้าหาอะโนดปลายแหลมจะค้างอยู่บริเวณหน้าปลายแหลม ทำให้สนามไฟฟ้าที่หน้าปลายแหลมมีความเครียดสูงขึ้น แต่สนามไฟฟ้าระหว่างหมอกประจุค้างกับอะโนด (ระนาบ) จะกลับสม่ำเสมอดีขึ้นเนื่องจากประจุค้างจึงทำให้เบรคความถี่ได้ยากขึ้น ฉะนั้นผลของประจุค้างจะทำให้แรงดันเบรคความถี่ชั่วลบมีค่าสูงขึ้น

ปรากฏการณ์ผลของประจุค้างขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่ป้อนแรงดัน อยู่ในกรณีของแรงดัน

กระแสตรง DC และแรงดัน กระแสสลับ AC (50-60 Hz) ผลของประจุค้างมีต่อชั่วแรงดันเบรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุก **037253** ใช้

ความถี่เท่า ๆ กับแรงดันอิมพัลส์ก็แสดงให้เห็นผลแตกต่างของชั่วแรงดันเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งแรงดันอิมพัลส์ซึ่งยกเว้นแรงดันอิมพัลส์ที่มีช่วงเวลาสั้นมาก ๆ จะไม่มีผลของประจุค้างคังกล่าว

ที่ความดันสูง ๆ เมื่อนำอิเล็กโตรดแบบสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอมาทดสอบ และป้อนสัญญาณไฟฟ้าให้กับอิเล็กโตรดที่ไม่สม่ำเสมอ สักคาไฟฟ้าเบรคความถี่เมื่อชั่วอิเล็กโตรดที่ไม่สม่ำเสมอเป็นลบมีค่าสูงกว่าเมื่ออิเล็กโตรดที่ไม่สม่ำเสมอเป็นบวก เช่นสักคาไฟฟ้าเบรคความถี่ในอิเล็กโตรดปลายแหลมกับระนาบในอากาศ การเบรคความถี่ในสนามแบบไม่สม่ำเสมอที่ความดันสูงนั้นขึ้นอยู่กับประจุอากาศและเมื่อระยะความห่างมากขึ้น (gap) มากขึ้น สักคาไฟฟ้าเบรคความถี่เนื่องจากชั่วต่างกันก็แตกต่างกันมากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากเกิดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอมากขึ้น ผลของแผ่นฉนวนบางกั้น

แผ่นฉนวนบางกั้นแต่ไม่มีความพรุนกั้นระหว่างอิเล็กโตรดแบบสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอสูง โดยให้ระนาบแผ่นฉนวนบางตั้งฉากกับแนวเส้นฉนวนไฟฟ้าจะช่วยทำให้แถบนั้นทนต่อแรงดันเบรคความถี่ได้สูงขึ้น แต่ไม่มีผลต่อแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด (corona inception voltage) เนื่องจากแผ่นฉนวนบางไม่ทำให้สนามไฟฟ้าเชิงเรขาคณิตเปลี่ยน ผลของแผ่นฉนวนบางกั้นทำให้แรงดันเบรคความถี่ของแถบสูงขึ้นเนื่องจากแผ่นฉนวนบางจะกั้นการเคลื่อนที่ของไอออนประจุบวกที่เกิดจากการไอออไนเซชัน ที่บริเวณอิเล็กโตรดปลายแหลมมิให้กีดหน้าไป ประจุบวกจะรวมตัวกระจายอยู่บนระนาบของแผ่นฉนวนบาง ทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างหลังแผ่นฉนวนบางกับระนาบอิเล็กโตรดเป็นแบบสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอบางความเครียดสนามไฟฟ้าจะลดลง แรงดันเบรคความถี่จะขึ้นอยู่กับความคงทนของแถบในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ และขึ้นอยู่กับตำแหน่งการวางกั้นของแผ่นฉนวนบางซึ่งอาจจะทำให้แถบทนแรงดันเบรคความถี่ได้สูงขึ้นหรือลดลงก็ได้

ในกรณีของอิเล็กโตรดปลายแหลมกับปลายแหลมควรใช้ฉนวนบางกั้นทั้งสองด้าน(ทางกะโถดและอะโนด)

ผลของแผ่นฉนวนบางกั้นทำให้ทนแรงดันเบรคความถี่สูงขึ้นในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง แต่มีผลน้อยในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ผลนี้จะเกิดขึ้นในกรณีแรงดันเป็น DC หรือ AC และอิมพัลส์ชั่วบวก

บทที่ 4

เซลล์แสงอาทิตย์

ทุก ๆ วินาทีดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนไฮโดรเจนปริมาณ 600 ล้านตัน เป็นฮีเลียมในขณะที่ดวง
 ตันจะปล่อยพลังงานออกมา มหาศาล ชนิดที่โลกเรานำมาใช้ได้นับล้าน ๆ ปีแต่พลังงานที่ดวง
 อาทิตย์ปล่อยออกมามีถึงโลกมนุษย์จริง ๆ จำนวนเล็กน้อยเท่านั้นเนื่องจากโลกอยู่ห่างจากดวง
 อาทิตย์ประมาณ 150 ล้าน กม. พลังงานของดวงอาทิตย์จะมาถึงโลกในเวลา 8 นาที (ปล่อยมาใน
 รูปการแผ่รังสีออกไปในเนื้อที่ถึง 3×10^7 ตร.กม. ผิวโลกได้รับแสงจากดวงอาทิตย์เพียง 113×10^6
 ตร.กม. เท่านั้น จำนวนนี้เท่ากับ 4 ใน พันล้านส่วนเท่านั้น

เราเปลี่ยนพลังงานที่ดวงอาทิตย์ส่งมาให้ เป็นความร้อนหรือไฟฟ้าได้ด้วยการใช้ตัวเก็บ
 พลังงานแสงอาทิตย์ ตัวแมกนีโตไฮโดรไดนามิก (MHD) และเซลล์สร้างไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์
 (เรียกง่าย ๆ ว่า โซลาร์เซลล์)

ขณะที่การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ประสบปัญหาสำคัญประการหนึ่งคือต้นทุนสูง แต่ก็มี
 ข้อดีหลายประการเช่น

- มีความสามารถในการใช้งานที่ถาวร (อายุการใช้งานมากกว่า 20 ปีขึ้นไป)
- เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถให้อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้า ต่อ น้ำหนัก
 สูงที่สุดเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าอื่นๆ
- มีตามธรรมชาติ และจำนวนมหาศาล
- นำมาใช้ผลิตกระแสไฟได้โดยตรงหรือโดยทางอ้อม ทำให้หมดปัญหาเรื่องระบบส่ง
 กำลัง

- เครื่องกำเนิดพลังงาน โดยใช้แสงอาทิตย์ไม่ต้องมีอุปกรณ์ส่วนใดที่ต้องเคลื่อนไหวหรือ
 โยกย้ายทำให้บำรุงรักษาและดูแลสะดวก

- ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษ
- ปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินในระหว่างใช้งาน เช่น ไม่เกิดปัญหาไฟไหม้ ไม่เป็น
 อันตรายต่อเด็กเหมือนกับการใช้เครื่องไฟฟ้าทั่วไป

- ใช้งานได้ในทุกสภาพพื้นที่ และ ภูมิอากาศ เช่นกลางทะเล หุบเขา ทะเลทราย หรือ
 อวกาศ

- มีความเชื่อถือได้สูง

- ไม่ต้องเสียค่าเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า

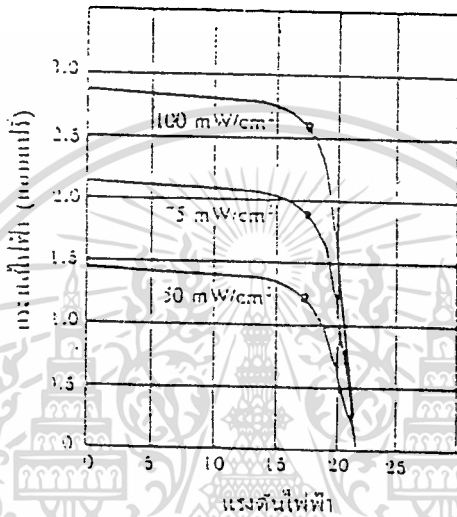
คาดกันว่าในเวลา 10 ปี ข้างหน้าต้นทุนจะต่ำลงมากจะกระทั่งเป็นที่นิยมใช้แพร่หลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นใบเสร็จรับเงินด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

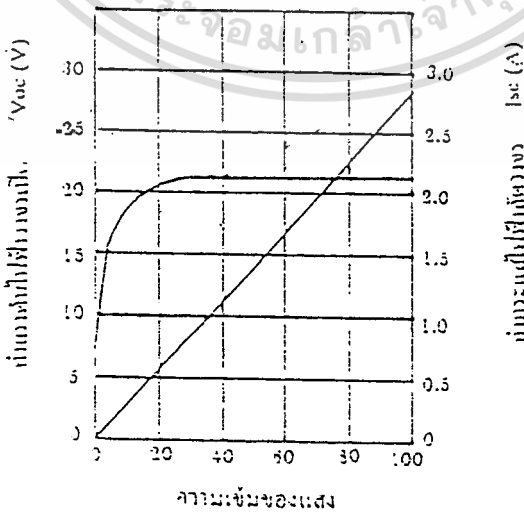
4.1 ลักษณะสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ประการคือ

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะให้กระแสที่ ทั้งกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กัน จาก กราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน(I-V CURVE) โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีจุดให้พลังงานสูงสุด ณ ตำแหน่งที่วงกลมในรูป



รูปที่ 4.1 กราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

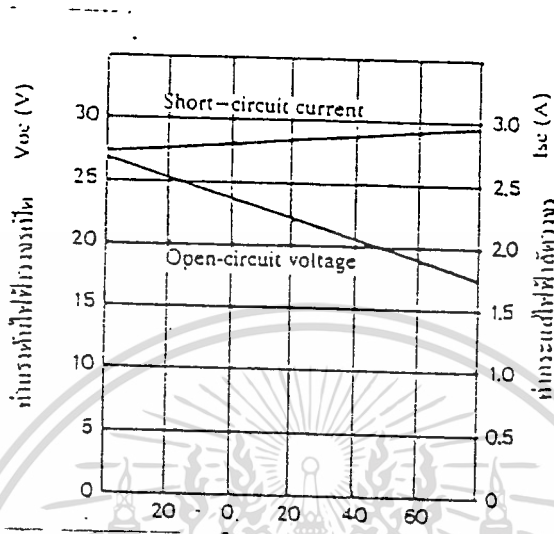
2. กระแสจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าแทบจะไม่แปรตามความเข้มของแสงเลย



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เกี่ยวกับความเข้มของแสงศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

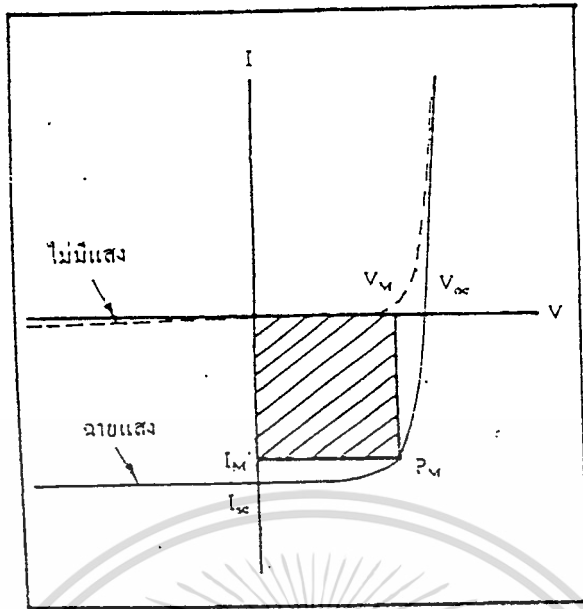
3. กระแสแทบจะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิ

ตัวแปรที่สำคัญของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

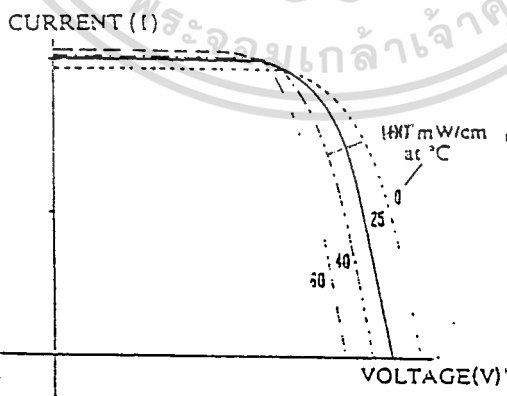
ดังได้กล่าวมาแล้วว่า โครงสร้างหลักของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ หัวต่อพี-เอ็น (P-N JUNCTION) ซึ่งมีลักษณะทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับไดโอดโดยทั่วไป ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีลักษณะสมบัติกระแสแรงดัน ดังเส้นประในรูปที่ 4.4 ในสภาพไม่ถูกแสง และเมื่อมีการฉายแสงมาตกกระทบ หัวต่อจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก (photovoltaic) ขึ้น ลักษณะสมบัติกระแสแรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปเป็นเส้นเต็มในรูปที่ 4.3 พื้นที่ภายใต้เส้นที่แรงจาคือกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์นั้นผลิตได้ แต่กำลังไฟฟ้าที่จะนำมาใช้งานจริง ๆ นั้นจะกำหนดได้จากการต่อโหลดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าค่าสูงสุด ดังแสดงในรูปที่จุด M ซึ่งค่ากระแสและแรงดันนี้ยังมีเงื่อนไขอื่น ๆ ที่ทำให้เปลี่ยนแปลงได้อีก ดังจะกล่าวต่อไป



รูปที่ 4.4 กราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน (I-V CURVE) ของเซลล์แสงอาทิตย์

1.ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (OPEN CIRCUIT VOLTAGE = V_{OC}) เป็นแรงดันที่วัดได้เมื่อเปิดวงจรและไม่ได้ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า

2.ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (MAXIMUM VOLTAGE = V_M) เป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อต่อโหลดที่มีค่าถูกต้อง ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานจริง เซลล์ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วย ดังนั้นอุณหภูมิของเซลล์จึงเพิ่มขึ้น ผลที่ตามมาก็คือคุณสมบัติของเซลล์จะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งพอจะสรุปได้ว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าลดลงดังรูปที่ 4.5

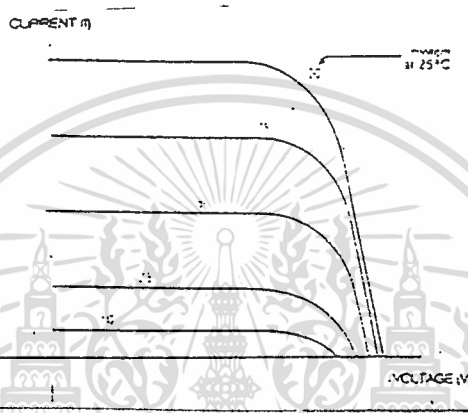


รูปที่ 4.5 กราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันที่อุณหภูมิต่าง ๆ

3.ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (SHORT CIRCUIT CURRENT I_{SC}) เป็นกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อลัดวงจรแผงเซลล์แสงอาทิตย์

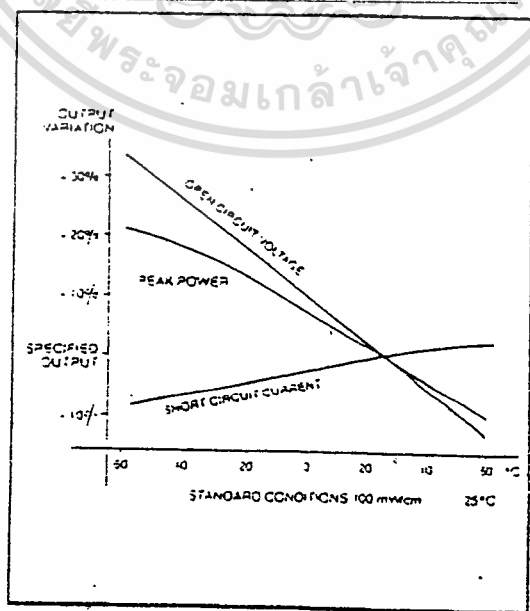
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงสุด (MAXIMUM CURRENT I_M) เป็นปริมาณที่วัดได้ขณะเมื่อต่อโหลดที่มีค่าถูกต้อง เนื่องจากขณะทำงาน เซลล์แสงอาทิตย์จำเป็นต้องมีพลังงานมากกระตุ้นให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮล ดังนั้นหากแสงที่ตกกระทบบมีค่าสูงมาก ก็จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลสูงขึ้นด้วย จึงกล่าวได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันที่ความเข้มแสงต่าง ๆ

อุณหภูมิของเซลล์เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่จะทำให้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้น-แต่จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง ซึ่งผลก็คือจะทำให้พลังงานลดลง เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงผลของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

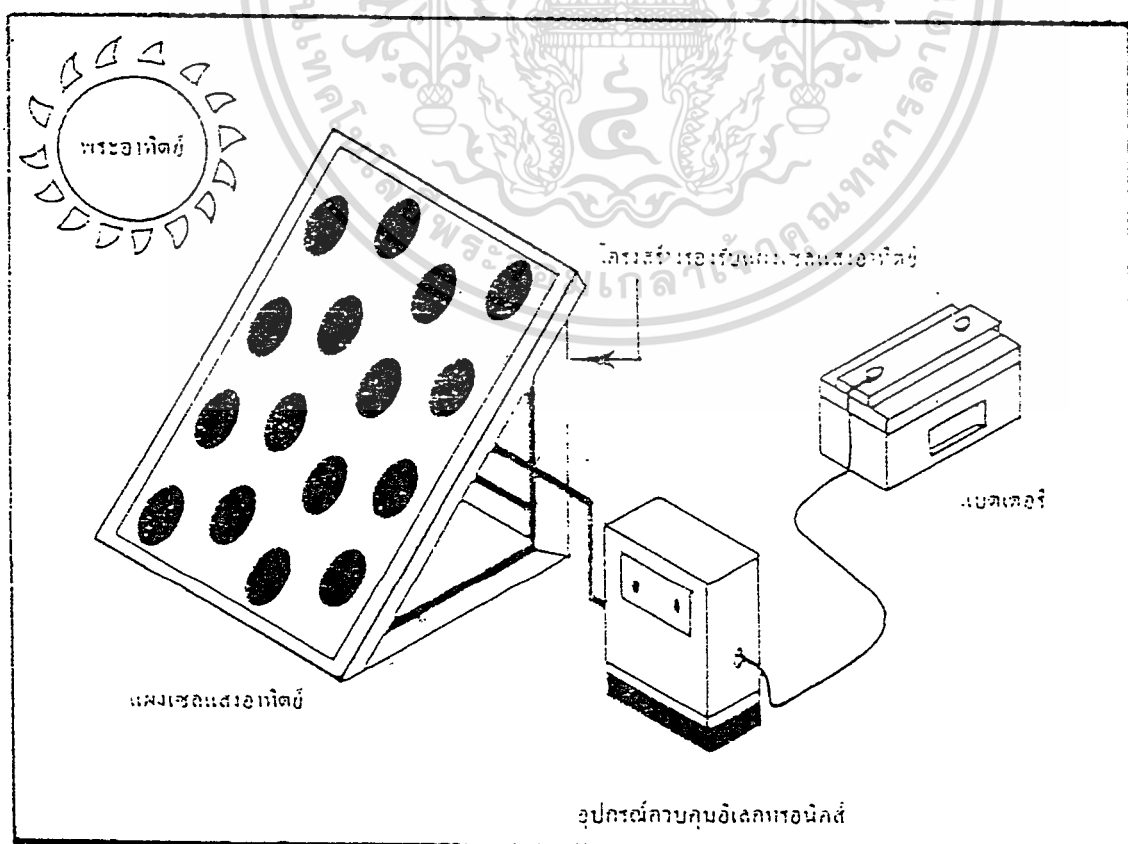
5.AM (AIR MASS) ความเข้มของแสงวัดที่ $AM = 0$ (สภาพของแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกเป็นมาตรฐานที่กำหนดโดย NASA) จะได้ค่า mW/cm^2 ส่วนความเข้มแสงอาทิตย์วัดที่ $Am 2$ (สภาพของแสงอาทิตย์บนพื้นโลก เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุม 60° กับพื้นผิวโลก) จะมีค่าประมาณ $72-75 mW/cm^2$ $AM 1.5$ ซึ่งนิยมใช้กันในการกำหนดสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ แสงอาทิตย์ที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ความเข้มแสงจะมีค่า $100 mW/cm^2$

4.2 ส่วนประกอบของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์

ส่วนประกอบสำคัญของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์มี 4 ส่วน คือ

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (SOLAR MODULE)
2. อุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ELECTRONIC CONTROL UNIT: ECU)
3. แบตเตอรี่ (BATTERY)
4. โครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (STRUCTURE)

ดังแสดงในรูปที่ 4.8



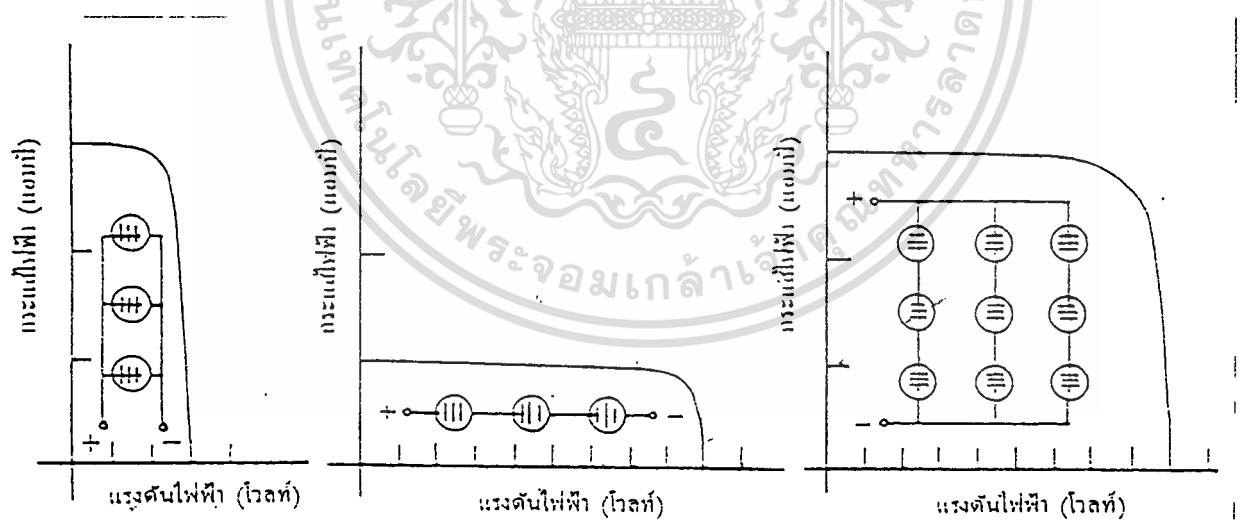
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นทำหนังสือขออนุญาตและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (SOLAR PANEL)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์กำเนิดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. เซลล์แสงอาทิตย์ (SOLAR CELL) มีรูปร่างลักษณะต่าง ๆ กัน แต่ที่นิยมใช้กันมากมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบสี่เหลี่ยม (100 mm x 100 mm) และแบบกลม (เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm) ซึ่งอาจถูกตัดแบ่งเป็นชิ้นเล็ก ๆ ย่อยลงไปอีก เซลล์แสงอาทิตย์ ไม่ว่าจะชิ้นใหญ่หรือชิ้นเล็กจะมีแรงดันคงที่ประมาณ 0.5 โวลต์ แต่กระแสจะเปลี่ยนไปตามพื้นที่หน้าตัดของชิ้นเซลล์ ซึ่งโดยเฉลี่ยจะให้กระแสลัดวงจรประมาณ 3 A/100 cm²

แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกออกแบบโดยอาศัยการนำชิ้นเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกันแบบอนุกรม หรือแบบขนานตามต้องการ ดังรูปที่ 4.9 โดยปกติแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกออกแบบให้ใช้กับระบบไฟฟ้าขนาด 12 โวลต์จึงต้องนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกันแบบอนุกรมจำนวน 32-36 ชิ้น ก็จะได้แรงดัน 16-18 โวลต์ เพื่อที่จะประจุไฟลงในแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ได้

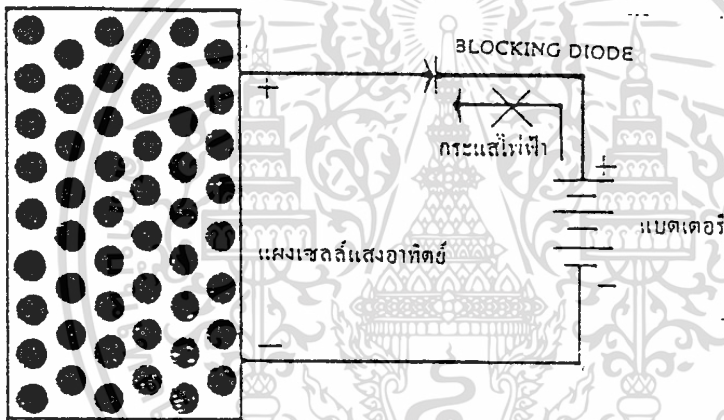


รูปที่ 4.9 แผนภาพแสดงการต่อเรียงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีขนาดแรงดัน และกระแสตามต้องการแบบขนานและอนุกรม

2. กระจกนิรภัย สามารถให้แสงผ่านได้สูง (TEMPERED LOW IRON, HIGH TRANSMISSION GLASS) โดยให้แสงผ่านได้ถึง 92%

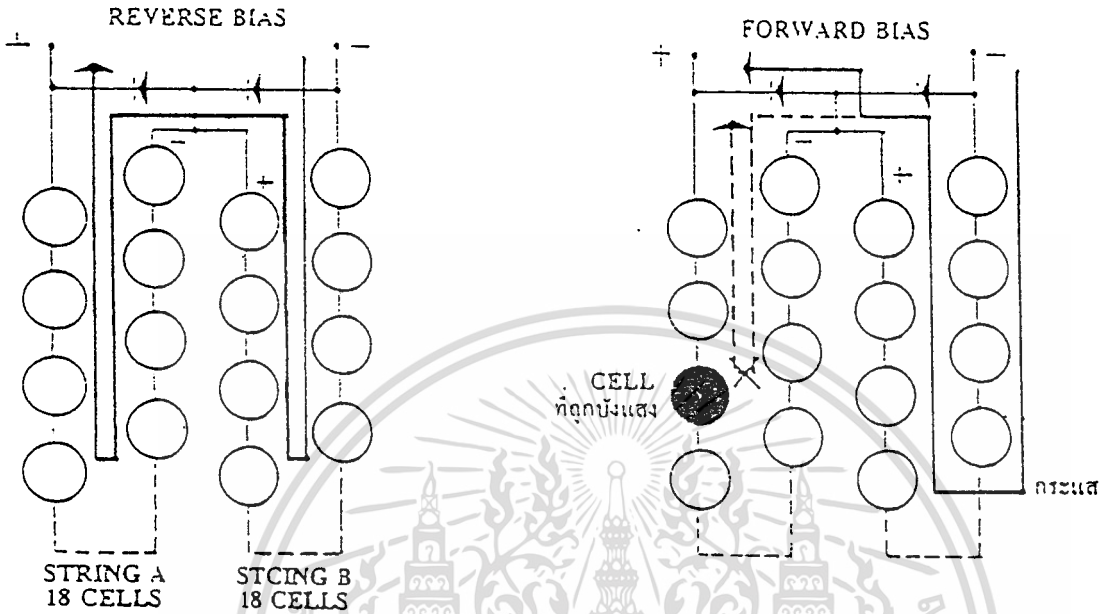
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. EVA (ETHYLENE-VINYL ACYRATE) สารเคลือบป้องกันไม่ให้ความชื้นและฝุ่นละอองถูกเซลล์แสงอาทิตย์
4. กรอบ(FRAME) ใช้อลูมิเนียมชุบแข็ง(ANODISED ALUMINIUM) เพื่อทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศในประเทศไทยได้ดี หรือใช้วัสดุอื่นที่ออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละสภาพแวดล้อม
5. แผ่นยึดด้านหลัง (BACK COVER) ใช้สารโพลีเมอร์ที่มีชื่อทางการค้าว่า TEDLAR ซึ่งมีแผ่นอลูมิเนียมบาง ๆ แทรกอยู่ตรงกลาง
6. บล็อกกิ้งไดโอด(BLOCKING DIODE) เป็นไดโอดที่ต่อไว้ป้องกันไม่ให้เกิดกระแสจากแบตเตอรี่ไหลกลับไปสู่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ไม่มีแสงแดด ดังรูปที่ 4.10

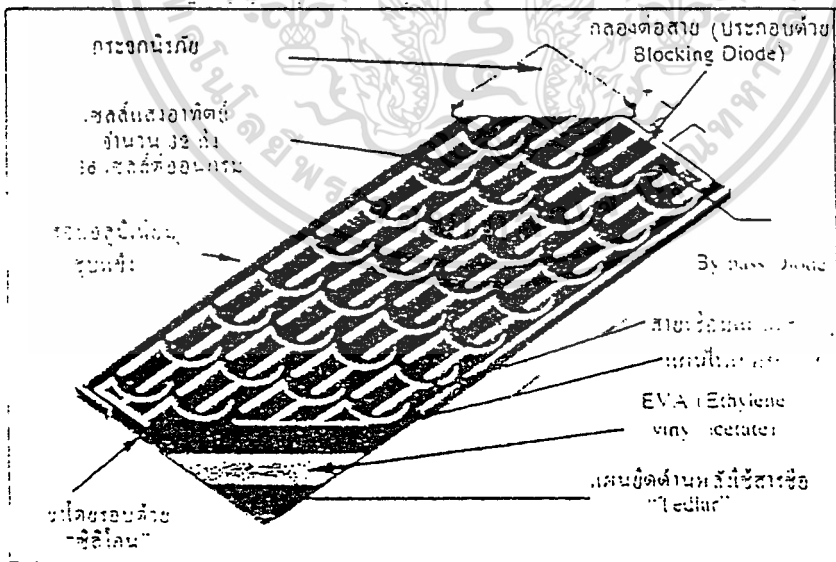


รูปที่ 4.10 แสดงการต่อบล็อกกิ้งไดโอด

7. ขายพาสไดโอด(BY PASS DIODE) เป็นไดโอดที่ต่อคร่อมระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ 2 แถวเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดขาควงจรและทำให้เกิดจุดไหม้บนเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีเงามาบังบนเซลล์ ในขณะที่ใช้งานปกติบายพาสไดโอดจะถูกต่อแบบรีเวอร์สไบอัส กระแสในแต่ละแถวก็จะไหลตามปกติ แต่เมื่อเซลล์ตัวใดตัวหนึ่งถูกเงาบังหรือขาควงจรบายพาสไดโอดก็จะถูกต่อแบบฟอว์เวิร์ส กระแสก็จะไหลผ่านตัวไดโอดโดยไม่ผ่านเซลล์แถวนั้น ๆ ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 (ก) แสดงการต่อสายพาสไดโอดและการทำงาน



รูปที่ 4.11 (ข) แสดงส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 แบตเตอรี่

ข้อกำหนดสำหรับระบบแสงอาทิตย์ ขึ้นอยู่กับ

1. ชาติวัชเกิด (shadow cycle) ในแต่ละวัน
2. ดัชนีวัชเกิด (deep cycle) ในช่วงเมฆมากและฤดูหนาว (deep cycle คือช่วง เวลาที่การประจุแทนที่ไม่เพียงพอกับจำนวนประจุที่ใช้ไปในแต่ละวัน)

คุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่ต้องการในระบบแสงอาทิตย์

1. มีวงจรชีวิตสำหรับดัชนีวัชเกิดสูง
2. ต้องการการบำรุงรักษาต่ำ
3. ประสิทธิภาพการประจุสูง
4. ความสามารถในการคายประจุอย่างสมบูรณ์
5. มีอัตราการคายประจุด้วยตนเองต่ำ
6. เชื้อถือได้
7. มีการเปลี่ยนแปลงค่าในช่วงอุณหภูมิสูง

Parts	Materials	
	Charged	Discharged
Active material on positive electrode	Lead dioxide (chocolate brown)	Lead sulphate (grey)
Active material on negative electrode	Lead (silvery grey)	Lead sulphate (grey)
Electrolyte	Sulphuric acid	Acid slightly weaker
Electrode support	Lead	
Container	Hard rubber (ebonite) with bitumen Glass Plastic (polypropylene, polyethylene, or types of styrene such as ABS and SAN)	

ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดของลิธแอซิดเซลล์(lead-acid cell)

สำหรับเซลล์ที่ถูกประจุเต็มแผ่นขั้วบวกจะมีสีน้ำตาล และแผ่นขั้วลบมีสีเทาอมเงิน เมื่อเซลล์ถูกคายประจุจะเกิดลิธซัลเฟต (lead sulfate) ก่อตัวเป็นแผ่นบาง ๆ ทั้งแผ่น และจะทำให้แผ่นขั้วออกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนเป็นสีเทา เมื่อแบตเตอรี่ถูกประจุแต่ละแผ่นจะกลับไปเหมือนเดิม ในการประจุ เมื่อแบตเตอรี่ใกล้จะเต็มจะเกิดก๊าซและฟองอากาศจะเพิ่มอย่างรวดเร็วและจะเกิดขึ้นในทุก ๆ แผ่น

คุณลักษณะทางแรงดันไฟฟ้า

Voltage characteristics	Voltages at 20 °C (68 °F) (V)	
	Single cell	Six-cell battery
Nominal	2	12
V_{CH} maximum	2.3–2.5	14.0–15.0
V_{CH} float	2.2–2.3	13.0–14.0
$-V_{OC}$ at full charge ¹	2.1–2.2	12.5–13.0
V_{AL} limit for measuring capacity ²	1.8–1.9	10.8–11.4
Change of voltage characteristics with temperature ²	–0.05 V	–0.33 V
	per 10 °C rise	per 10 °C rise
	(–0.03 V	(–0.18 V
	per 10 °F rise)	per 10 °F rise)

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณสมบัติของแรงดันของลิธียมแบตเตอรี่

ในระหว่างการประจุ แรงดันในการประจุสามารถเพิ่มขึ้นสูงสุดตามตารางเมื่อแผ่นขั้วทั้งหมดเกิดก๊าซอย่างอิสระ แรงดันค่านี้เรียกว่าแรงดันอิกวาไลเซชัน (equalization voltage) เมื่อใกล้จะเต็มควรลดแรงดันลงเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายและค่าความสูญเสีย (loss) ความด่างจำเพาะของอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte)

ในระหว่างการคายประจุ สารอิเล็กโทรไลต์จะเจือจางลงเพราะส่วนที่เป็นกรดถูกเปลี่ยนเป็นลิธียมซัลเฟต ซึ่งมีผลต่อแรงดันระหว่างปลายทั้งสองข้างและความหนาแน่นของอิเล็กโทรไลต์ ในเซลล์ที่ประจุเต็มความด่างจำเพาะของอิเล็กโทรไลต์อยู่ระหว่าง 1.2-1.3 ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่ เมื่อคายประจุถึงจุดตัดออฟ (cut-off) ความด่างจำเพาะจะลดลงเหลือ 1.1 ถ้าคายประจุจนแรงดันเป็น 0 ส่วนที่เป็นกรดจะถูกใช้จนหมดความด่างจำเพาะจะเป็น 1

การเกิดสารซัลเฟต

ซัลเฟตจะเกิดขึ้นในสภาวะดังนี้

1. ไม่ได้คายประจุของเซลล์เป็นเวลานาน
2. ความสามารถในการทนประจุ
3. ใช้งานอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิมากกว่า 45 องศาเซลเซียส
4. อิเล็กโทรไลต์เข้มข้นมาก

ภายใต้การทำงานปกติ จะเกิดลิธียมซัลเฟตเป็นแผ่นบาง ๆ โดยก่อตัวเป็นเม็ดเล็ก ๆ ในช่วงเริ่มต้นของการคายประจุซึ่งหมายความว่าเมื่อมีช่องว่างจำนวนมากรอบ ๆ ผลึกของลิธียมซัลเฟตซึ่งสารอิเล็กโทรไลต์จะไม่สามารถเข้าถึงได้ทั้งหมด อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคโรไลต์ยังคงสัมผัสกับวัสดุซึ่งทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วของออกไซด์ของตะกั่ว (lead dioxide) และตะกั่วจนกระทั่งผลึกเล็ก ๆ ของงของลีดซัลเฟตต่อกันและเปลี่ยนโครงสร้างเป็นผลึกที่ใหญ่กว่า ปฏิกิริยานี้เรียกว่า การเกิดซัลเฟต ซึ่งเกิดปัญหาขึ้นว่าผลึกใหญ่ ๆ จะไม่สามารถเปลี่ยนมาเป็นออกไซด์ของตะกั่วและตะกั่วในระหว่างการประจุ ทางที่ดีที่สุดที่จะหลีกเลี่ยงการเกิดซัลเฟตคือ ประจุเซลล์เป็นประจำเพื่อให้ลีดซัลเฟตทั้งหมดถูกเปลี่ยน สำหรับในสถานที่ที่อุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่า 30 องศาเซลเซียส สารอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ควรมีความเข้มข้นของกรดต่ำเพื่อลดการเสียหายของโครงสร้าง grid ของแผ่นขั้วบวกและลดอัตราการเกิดซัลเฟต

ผลของอุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะได้รับความจุเพิ่มขึ้น แต่อัตราการคายประจุก็เพิ่มขึ้น โลไฟไซเคิล (life cycle) ต่ำลง เกิดเร็วขึ้น เพราะฉะนั้นไม่ควรใช้แบตเตอรี่อย่างต่อเนื่องในที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส

Abbreviation	Units of daily insolation		Conversion factor to peak-hours at 1000 W/m ²
	Name in full		
peak-hour	Peak-hour at an irradiance of 1000 W/m ²		1
langley	Calorie per square centimetre		0.0116
cal/cm ²	Calorie per square centimetre		0.0116
Wh/m ²	Watt-hour per square metre		0.001
kWh/m ²	Kilowatt-hour per square metre		1
W/m ² averaged over 24 hours	Watt per square metre averaged over 24 hours		0.024
kJ/m ²	Kilojoule per square metre		0.000278
MJ/m ²	Megajoule per square metre		0.278
Btu/ft ²	British thermal unit per square foot		0.0428

ตารางที่ 4.3 รายการของโมดูลแบบควบคุมสม่ำเสมอด้วยตนเองภายใต้สภาวะต่าง ๆ
ความสม่ำเสมอในการประจุแรงดัน

การประจุแบตเตอรี่จำเป็นที่จะต้องได้รับการประจุอย่างถูกวิธี เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายของแบตเตอรี่ สำหรับระบบแสงอาทิตย์ควบคุมโดยใช้โมดูลการควบคุมสม่ำเสมอด้วยตนเอง ซึ่งการควบคุมโซล่าโมดูลแบบ การควบคุมสม่ำเสมอด้วยตนเองที่ง่ายที่สุดสำหรับใช้กับแบตเตอรี่ขนาด 12 V ได้แสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งเป็นรายการของโมดูลแบบการควบคุมสม่ำเสมอด้วยตนเองภายใต้สภาวะต่าง ๆ เมื่อแบตเตอรี่ถูกประจุจนเต็ม การประจุกระแส (charging current) จะลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงโดยอัตโนมัติจนเข้าสู่ระดับทริกเกิล (trickle) เพื่อให้แน่ใจว่า การประจุกระแสเกินระดับทริกเกิล (over-charging trickle current) จะไม่ทำความเสียหายแก่แบตเตอรี่

ขนาดที่เล็กที่สุดของแบตเตอรี่ควรจะใช้ขนาด 40 Ah ต่อกระแส 1 A (ภายใต้ STC) ยกตัวอย่างเช่น โมดูลขนาด 22 W ประกอบด้วย 30 เซลล์ มีกระแสของภาระ 1.65 A (ภายใต้ STC) ดังนั้นขนาดของแบตเตอรี่ที่เล็กที่สุดและสามารถนำมาใช้งานได้ คือขนาด 66 Ah (จาก 40 Ah/1A คูณ 1.65 A)

ดาร์กเคอเรนทิลีคเกจ (Dark current leakage)

จุดที่บ่งชี้เกี่ยวกับดาร์กเคอเรนทิลีคเกจ ซึ่งไหลย้อนกลับในเวลากลางคืน จากแบตเตอรี่เข้าสู่โมดูลที่ต่อตรงเข้าด้วยกัน สำหรับโมดูลที่มีกระแสเอาต์พุต ภายใต้ STC 1 A ดาร์กเคอเรนทิลีคเกจจะมีประมาณ 0.015 A ความสูญเสียทางไฟฟ้าทั้งหมดที่เกิดจากดาร์กเคอเรนทิลีคเกจที่รั่วไหลเข้าสู่โมดูล สามารถหาได้จากสูตรดังนี้

จำนวน โมดูลใน อาร์เรย์	×	กระแสเอาต์พุตของ แต่ละ โมดูลภายใต้ STC(A)	0.18 (VA/A)	=	จำนวน ชั่วโมงใน 1 คืน (ชั่วโมง)	=	ความสูญเสีย ทางไฟฟ้าทั้ง หมดที่เกิดจาก ดาร์กเคอเรนทิลีคเกจ (Wh ต่อวัน)
------------------------------	---	---	----------------	---	--	---	--

คำตอบที่ได้จะอยู่ในหน่วยของ Wh ต่อวัน เพื่อว่าจะได้สามารถเปรียบเทียบโดยตรงกับความต้องการพลังงานไฟฟ้าเมื่อนำมาใช้งานจริง (ดูตาราง 4)

อุปกรณ์ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า ของอุปกรณ์ (W)	เวลาที่ใช้นับแต่ สัปดาห์(ชั่วโมง ต่อวัน)	ความต้องการ พลังงานไฟฟ้า (Wh ต่อวัน)
หลอดไฟในห้องรับแขก	8	4	32
หลอดไฟในห้องครัว	8	3	24
หลอดไฟในห้องน้ำ	10	0.5	5
หลอดไฟในห้องนอน 1	10	0.5	5
หลอดไฟในห้องนอน 2	10	0.5	5
โทรทัศน์ขนาดเล็ก	15	3	45

เครื่องเล่นเทป	5	4	20
พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ต้องการต่อวัน (Wh ต่อวัน)			136

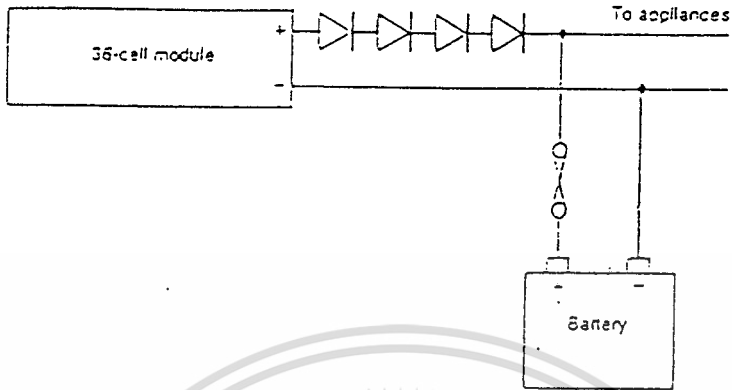
ตารางที่ 4.4 แสดงความต้องการพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน

เมื่อใช้โมดูลขนาด 22 W เป็นตัวอย่างอีกครั้งหนึ่ง จะหาความสูญเสียทางไฟฟ้าเมื่อช่วงเวลากลางคืนมีเวลา 12 ชั่วโมงได้ดังนี้

$$(1 \times 1.65 \times 0.18 \times 12) = 3.6 \text{ Wh per day at } 12 \text{ V}$$

กำลังไฟที่ถูกสร้างจากโมดูลขนาด 22 W ตลอดคืนคือ 80 Wh per day at 12 V ดังนั้นความสูญเสียที่มาจากคาร์กเคอเรนทีลิกเกจซึ่งมีค่าประมาณ 4 % ของกำลังไฟฟ้าที่สร้างได้ในช่วงกลางวัน ซึ่งความสูญเสียขนาดนี้ถือว่าไม่สูงจนเกินไป แต่อย่างไรก็ตาม ในระหว่างฤดูหนาวของประเทศที่อยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตร จะเกิดความสูญเสียทางไฟฟ้าที่มาจากคาร์กเคอเรนทีลิกเกจสูงเกินกว่าที่จะยอมรับได้ เพราะว่าฤดูหนาวจะมีช่วงกลางวันสั้นทำให้ประจุได้น้อย และเวลากลางคืนมีเวลานานทำให้คาร์กเคอเรนทีลิกเกจมีปริมาณมาก เพื่อป้องกันการรั่วไหลของกระแส เราจะต่อไดโอดในทิศทางที่ยอมให้กระแสที่ประจุไหล และจะปิดกั้นการไหลของคาร์กเคอเรนทีลิกเกจ เรียกไดโอดนี้ว่า บล็อกกิง ไดโอด (blocking diode) (ดูรูปที่ 4.12) และเพื่อเป็นการทดแทนแรงดันตกที่รอมตัวซิลิกอน ไดโอด (silicon diode) ขณะที่มีการประจุไหล เราจะต้องเพิ่มเซลล์พิเศษเข้าไปในโมดูลอีก 2 เซลล์ แต่ถ้าไดโอดที่ใช้เป็นชนิดชอททักกี้ (Schottky) หรือเจอร์มาเนียม (germanium) ก็ใส่เพิ่มอีกเพียงเซลล์เดียว แต่ที่กล่าวมานี้เหมาะสำหรับระบบ 12 V เท่านั้น (ทั้งนี้เพราะว่ามันมีแรงดันเบรคดาวน์ (breakdown voltage) ทางรีเวอร์สไบอัส (reverse bias) ต่ำเกินไป เมื่อนำมาใช้กับระบบ 24 V หรือสูงขึ้นไป)

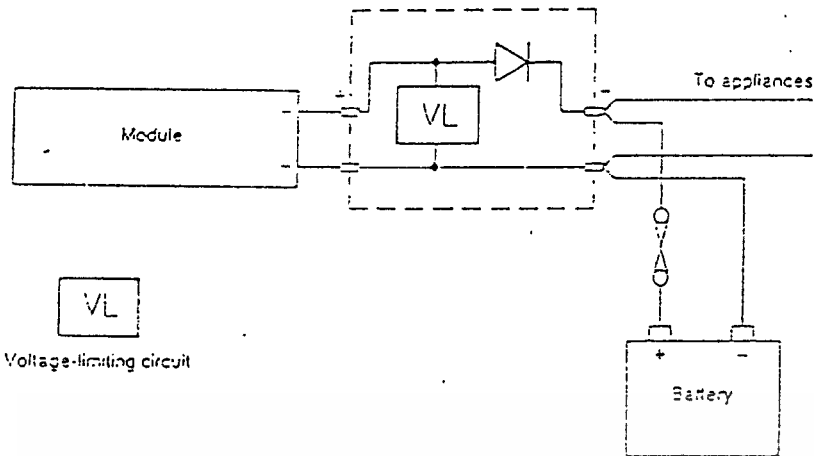
โมดูลบางรุ่นจะมีบล็อกกิง ไดโอดติดมาด้วย โดยติดอยู่ในกล่องเชื่อมต่อ (junction box) ซึ่งทำให้ง่ายและสะดวกต่อการนำไปใช้งาน อย่างไรก็ตาม ไดโอดในกล่องเชื่อมต่ออาจจะต่อไว้เพื่อจุดประสงค์อื่นด้วยก็ได้ เมื่อเรกกูเลเตอร์ (regulator) เกิดปัญหาไม่ทำงานขึ้นมา จะมีวิธีแก้ปัญหาชั่วคราวด้วยการเพิ่มจำนวนบล็อกกิง ไดโอดเข้าไปมากกว่า 1 ตัวเพื่อไปหยุดยั้งแรงดันจากเซลล์ในโมดูลที่มีมากกว่าความจำเป็น



รูปที่ 4.12 แสดงการจัดโมดูลขนาด 36 เซล โดยใช้ได้เหมือนกับโมดูลควบคุมความสม่ำเสมอด้วยตนเองขนาด 30 เซล

4.5 ชาร์จเรกกูเรเตอร์

ความเสียหาย 2 ประการของโมดูลควบคุมความสม่ำเสมอด้วยตนเองคือ เมื่อแบตเตอรี่ไม่สามารถจะประจุได้เร็วเท่าที่มันจะทำได้ และเมื่อการประจุกระแสมีปริมาณต่ำในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆทึบ สำหรับโมดูลที่มีจำนวนเซลล์มาก ก็จะทำให้แรงดันที่สูงกว่าซึ่งจะทำให้มีแรงดันสูงพอสำหรับจ่ายกระแสสูงสุดในทุก ๆ สภาวะของการประจุแบตเตอรี่ ในช่วงที่แบตเตอรี่ถูกประจุจนเกือบเต็ม ถ้าสมมติว่าจะเต็มเมื่อแรงดันเทอร์มินัล (terminal voltage) ของแบตเตอรี่เท่ากับ 15 V แต่ถ้าเกิน 15 V จะทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่มีมากเกินไป โดยในแบตเตอรี่ชนิดที่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ (vented cell) จะทำให้เกิดความเสียหายกับเพลต (plate) รวมถึงการสูญเสียน้ำจากปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลต์ และเกิดละอองกรด (acid spray) ไหลออกจากช่องว่างระหว่าง แต่สำหรับแบตเตอรี่ชนิดซีลเซลล์ (sealed cell) นั้นก๊าซที่เกิดขึ้นมกเกินไปจะเป็นสาเหตุให้เกิดความดันเนื่องจากก๊าซและเกิดความร้อนเกินกว่าปกติ ด้วยเหตุนี้เราจึงต้องใช้ชาร์จเรกกูเรเตอร์เข้ามาป้องกันไม่ให้แรงดันเทอร์มินัลที่ให้แบตเตอรี่มีค่าเกิน 15 V ในระหว่างการประจุ



รูปที่ 4.13 แสดงถึงการควบคุมการประจุโดยใช้โอเวอร์โวลเตจ (over-voltage) มาต่อขนานกับแบตเตอรี่เพื่อจำกัดแรงดันของแบตเตอรี่

4.6 อุปกรณ์ป้องกันแบตเตอรี่ชนิดและประเภท

อุปกรณ์ป้องกันแบตเตอรี่ (ECU) มีให้เลือกหลายรุ่นตามความเหมาะสมของการใช้งานมีตั้งแต่ขนาด 3 แอมป์ 5 แอมป์ 10 แอมป์ และ 30 แอมป์ นอกจากนี้ในแต่ละขนาดยังมีรุ่นที่สามารถปรับการใช้งานเป็นระบบ 12 โวลต์หรือ 24 โวลต์ได้โดยอัตโนมัติ (รุ่น M) ส่วนรุ่นที่ใช้ระบบ 12 โวลต์เพียงอย่างเดียว (รุ่น T) จะมีขนาดตั้งแต่ 3 แอมป์จนถึง 30 แอมป์

ขนาดกระแสไฟ	3 แอมป์	5 แอมป์	10 แอมป์	30 แอมป์
รุ่นระบบไฟ 12 โวลต์	12031T	12051T	12101T	12301T
รุ่นระบบไฟ 12 หรือ 24 โวลต์	12031M	12051M	12101M	

ตารางที่ 4.5 แสดงคุณลักษณะของอุปกรณ์ป้องกันแบตเตอรี่

รายละเอียดคุณลักษณะ

อุปกรณ์ป้องกันแบตเตอรี่ทุกรุ่นได้ออกแบบพัฒนาให้ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ความร้อน ความชื้นภายในเครื่องควบคุมการทำงานด้วยระบบดิจิทัล โดยเฉพาะในรุ่น M ซึ่งสามารถปรับการใช้งานเป็น 12 โวลต์หรือ 24 โวลต์ได้โดยอัตโนมัติ ไม่ต้องปรับสวิตช์ให้ยุ่งยาก ระบบการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวจะครอบคลุมถึง

1. การตัดแหล่งประจุไฟออก (HI-CUT OFF) เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุไฟเข้าจนเต็มที่แล้ว เพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่เสียหายจากการรับประจุไฟเกิน โดยใช้สัญญาณตำแหน่ง ไฮโวลเตจ (HI VOLTAGE) จะตัด อุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่ตัดการประจุไฟ จากแหล่งประจุไฟจนกว่าแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดันของแบตเตอรี่จะลดต่ำลงในระดับที่ต้องการ อุปกรณ์นี้ก็จะ ปลดปล่อยให้การประจุไฟเข้าแบตเตอรี่ทำงานต่อไปตามปกติโดยอัตโนมัติ

2. การตัดอุปกรณ์ไฟฟ้าจากการใช้งาน เมื่อแบตเตอรี่จ่ายไฟออกมาจนแรงดันของแบตเตอรี่ลดต่ำลงจนถึงจุดที่อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อแบตเตอรี่ได้ ไฟสัญญาณตำแหน่งโลว์โวลเตจ (LOW VOLTAGE) จะติด อุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่ตัดการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อไม่ให้อุปกรณ์ไฟฟ้าดึงกระแสออกจากแบตเตอรี่มากเกินไปจนทำให้แบตเตอรี่เสียหาย และเมื่อและเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่เข้าสู่ภาวะปกติอีกครั้ง อุปกรณ์ นี้ก็จะปล่อยให้การทำงาน อุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นไปตามปกติโดยอัตโนมัติ

3. ในรุ่น M ซึ่งใช้ได้ทั้งระบบ 12 และ 24 โวลต์ จะมีสัญญาณแสดงให้รู้ว่าระบบไฟที่ใช้เป็นระบบ 12 โวลต์หรือ 24 โวลต์และจะปรับเปลี่ยนได้โดยอัตโนมัติ

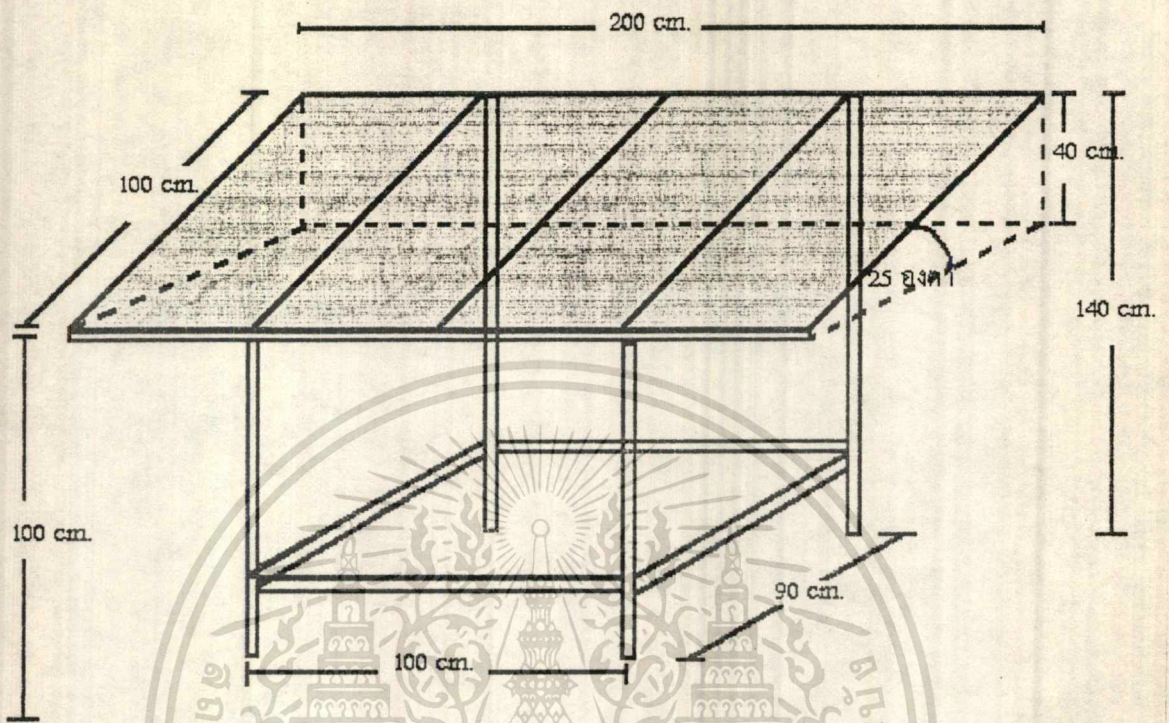
4. ใช้เป็นขุมสายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์ไฟฟ้า

การทำงาน

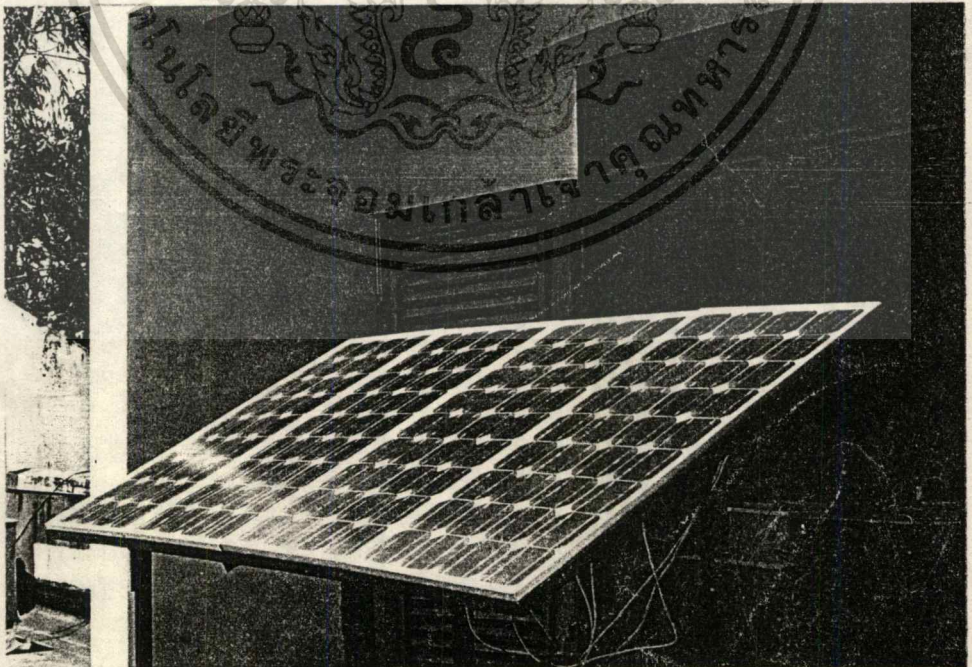
เมื่อต่อสายจากแบตเตอรี่เข้าในตำแหน่ง "แบตเตอรี่" ของกล่องอุปกรณ์อิชียู ไฟสัญญาณแสดงระบบไฟ 12 โวลต์หรือ 24 โวลต์ในรุ่น M จะติดเพื่อให้รู้ว่าเป็นระบบ 12 หรือ 24 โวลต์ และเมื่อต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าไปในตำแหน่ง "โซลาร์พานเนล (SOLAR PANEL)" กระแสไฟจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเริ่มประจุเข้าแบตเตอรี่ จนแรงดันของแบตเตอรี่ถึง 14.8 โวลต์ในระบบ 12 โวลต์และ 29.6 โวลต์ในระบบ 24 โวลต์ สัญญาณไฟตำแหน่ง "ไฮโวลเตจ" จะติด ขณะที่สัญญาณไฟตำแหน่ง "ไฮโวลเตจ" ติด อิชียูจะทำหน้าที่ตัดกระแสไฟจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ออกจากการประจุแบตเตอรี่และเมื่อมีการใช้งานแบตเตอรี่จนแรงดันแบตเตอรี่ลดลงเหลือประมาณ 13.5 โวลต์ในระบบ 12 โวลต์หรือ 27 โวลต์ในระบบ 24 โวลต์ สัญญาณไฟ "ไฮโวลเตจ" จะดับ และแผง เซลล์แสงอาทิตย์ก็จะเริ่มประจุเข้าแบตเตอรี่อีกครั้งโดยอัตโนมัติ

เมื่อต่อสายจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้เข้าในตำแหน่ง "ภาระ" ของกล่องอุปกรณ์อิชียู และเปิดใช้ไปเรื่อย ๆ จนแรงดันแบตเตอรี่ลดลงเหลือ 10.8 โวลต์ในระบบ 12 โวลต์หรือ 21.6 โวลต์ในระบบ 24 โวลต์ สัญญาณไฟตำแหน่ง "โลว์โวลเตจ" จะติด ขณะที่สัญญาณไฟตำแหน่ง "โลว์โวลเตจ" ติด อิชียูจะทำหน้าที่ตัดไม่ให้ไฟจากแบตเตอรี่ส่งไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าอีก จะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไม่ทำงาน ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่เสียหาย และเมื่อแบตเตอรี่ได้รับไฟประจุจากจนแรงดันถึง 12.5 โวลต์ในระบบ 12 โวลต์หรือ 25 โวลต์ในระบบ 24 โวลต์ สัญญาณไฟ "โลว์โวลเตจ" จะดับ และอุปกรณ์ไฟฟ้าจะใช้งาน ได้อีกครั้งโดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะสเกลของโครงโซล่าเซลล์



รูปที่ 4.15 แสดงภาพถ่ายจริงของโครงโซล่าเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณการใช้พลังงาน

การใช้งานนั้นจะมีภาระของเครื่องผลิตโอโซน 24 W กับ พัดลมสำหรับเป่าลงน้ำ 16 W และ พัดลมสำหรับระบายความร้อน 1.32 W ดังนั้น ภาระรวมของทั้งระบบจะเป็น $24+16+1.32 = 41.32$ W เนื่องจากการใช้งานในขณะมีแสงแดดจะประมาณ 8 ชั่วโมงต่อวัน หรือคิดเป็น 330.56 W.hr และขณะไม่มีแสงแดดจะประมาณ 16 ชั่วโมงต่อวัน หรือคิดเป็น 661.12 W.hr แต่ว่าคิดประสิทธิภาพการประจุของแบตเตอรี่ (charging Efficiency) ประมาณ 0.85 ดังนั้นพลังงานที่ต้องการในการใช้ในเวลากลางคืนจะเท่ากับ $\left[\frac{661.12}{0.85} \right] = 777.8$ W.hr เพราะฉะนั้นจึงรวมพลังงานที่ต้องใช้ทั้งวันทั้งหมดรวมเป็น $330.56 + 777.8 = 1108.36$ W.hr ซึ่งเป็นค่าที่นำไปหาขนาดแผงโซลาร์เซลล์ที่สามารถจ่ายพลังงานได้เท่านี้ ซึ่งในที่นี้ได้เลือกแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 55 W จำนวน 4 แผง ซึ่งจากทฤษฎีและการใช้งานของแผงโซลาร์เซลล์ สำหรับประเทศไทย จะใช้ค่า แครี่ อินโซเลชัน¹ เท่ากับ 5 Peak-hr per day ดังนั้นใน 1 วันจะประมาณพลังงานที่ได้จากแผงได้เป็น

$$\text{Daily Charging} = 55 \times 5 \times 4 = 1110 \text{ W.hr}$$

ซึ่งได้เป็นค่าที่ต้องการพอดีซึ่งต่อไปจะต้องหาขนาดของแบตเตอรี่ ซึ่งใน 1 วันสามารถประมาณพลังงานจากแผงได้ 1110 W.hr หรือเท่ากับ $\left[\frac{1110}{12} \right] = 92.5$ A.hr ดังนั้นการเลือกขนาดของแบตเตอรี่ จะสมมติให้มีการประจุและจ่ายไฟประมาณวันละ 92.5 A.hr ซึ่งค่า 92.5 จะเป็นค่า 20% ของความจุของแบตเตอรี่ เพื่อให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน หรือก็คือในแต่ละวันแบตเตอรี่จะมีการประจุและคายประจุวันละประมาณ 20% นั่นเอง

$$\text{Capacity of Battery} \left[\frac{92.5}{0.2} \right] = 462.5 \text{ A.hr}$$

สำหรับระบบที่ออกแบบแบบนี้ (จะเน้นให้ระบบใช้งานอย่างต่อเนื่อง) ดังนั้นจึงเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 450 A.hr ทั้งนี้จะเห็นว่า การจ่ายภาระจะเลือกให้มีขนาดน้อยกว่าการประจุในแต่ละวันและขนาดของแบตเตอรี่จะใหญ่กว่าการประจุมากเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพ(ทำงานอย่างต่อเนื่อง) คือในวันที่มีแสงอาทิตย์น้อย แบตเตอรี่จะถูกประจุน้อยกว่าปกติแต่ก็สามารถจ่ายได้ในเวลากลางคืน โดยไม่ทำให้เกิดการคายประจุมากเกินไปและไม่ทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสั้น

¹ ค่าแครี่ อินโซเลชัน (Daily Insolation) เป็นการวัดค่าที่ใช้เพื่อประมาณค่าอิทธิพลจากแผงโซลาร์เซลล์ ค่านี้จะคำนึงถึงมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับผิวระนาบเอียงซึ่งมีผลต่อปริมาณแสงที่ตกลงเนื่องจากเมฆหมอกปกคลุมด้วย ซึ่งได้มาจากสถานีตรวจอากาศทั่วโลก

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลง เมื่อเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ขึ้นและสามารถค่อย ๆ เติมประจุกลับเข้ามาในแต่ละวันที่มีแสงอาทิตย์ มากอีกด้วย

สำหรับในกรณีที่ไม่สามารถหาแสงแดด (เช่นในฤดูหนาวที่มีเมฆมาก หรือ ฤดูฝนที่ไม่มีแสงแดด) มาทำการประจุแบตเตอรี่เพื่อให้ทำงานในเวลากลางคืนได้ หรือว่าต้องการลดขนาดของแผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ให้มีขนาดเล็กลง ก็สามารถทำได้เนื่องจากได้โดยการออกแบบให้เลือกใช้ไฟฟ้าจากไฟบ้านปกติ 220 V. 50 HZ ผ่านหม้อแปลง และ วงจร เร็กติไฟเออร์ แปลงให้เหลือ 12 V. dc แล้วนำมาต่อกับวงจรแทน ซึ่งก็จะให้ผลเหมือนกัน สำหรับในกรณีนี้จะสามารถลดขนาดของโซลาร์เซลล์ให้เหลือเพียงที่จะทำงานในเวลากลางวัน โดยที่มีแบตเตอรี่ขนาดเล็ก ๆ ทำหน้าที่เพียงเพื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่เท่านั้น ไม่ได้มีหน้าที่จ่ายไฟแก่วงจรซึ่งอาจจะเลือกแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 55 W จำนวน 1 แผง และแบตเตอรี่ 50 A.hr มาต่อแทน



บทที่ 5

สวิตซ์ซิ่งคอนเวอร์เตอร์

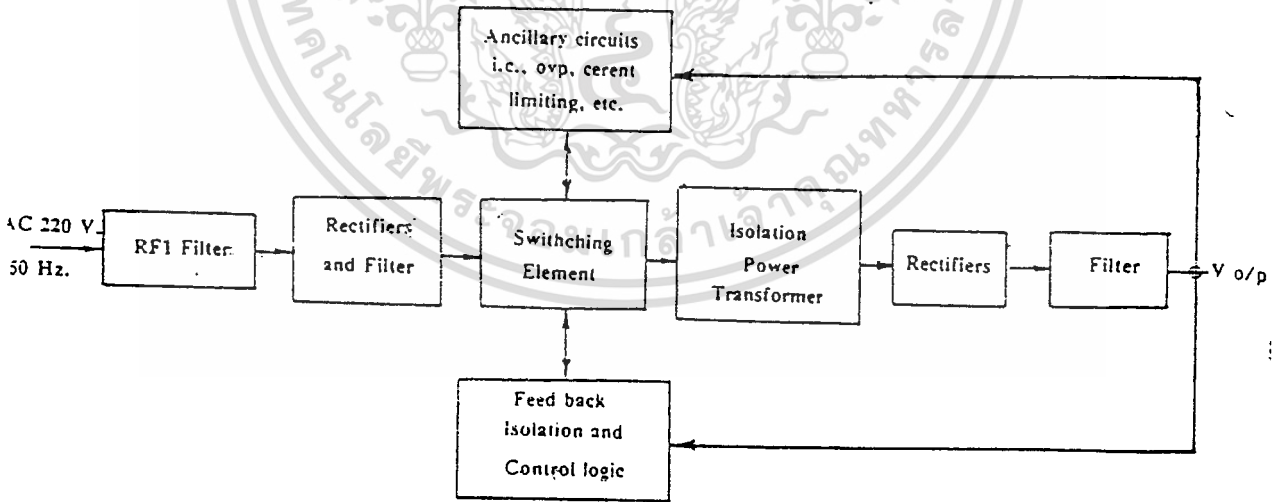
5.1 ดีซีทูดีซี คอนเวอร์เตอร์

โดยหลักการของเพาเวอร์เวอร์ชันพลาซแบบปกติสามารถอธิบายได้โดยบล็อกไดอะแกรมดังนี้



รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมของเพาเวอร์เวอร์ชันพลาซแบบปกติ

โดยเหตุที่ว่าความถี่ที่เข้าห้อมือแปลงไฟฟ้า นั้นมีความถี่ต่ำเพียง 50 Hz. ทำให้ห้อมือแปลงไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก และในขณะที่เดียวกันทำให้ต้องใช้ C ขนาดใหญ่และราคาแพงในการกรองสัญญาณให้เรียบ จะเห็นว่าความถี่นี้เองเป็นต้นเหตุสำคัญทำให้มีการพัฒนาเพาเวอร์เวอร์ชันพลาซแบบใหม่ที่มีความถี่สูงขึ้นซึ่งเรียกว่า แอนออฟ - เดอะไลน์สวิตซ์ซิ่งเพาเวอร์เวอร์ชันพลาซ (An Off - the line Switching Power Supply)



รูปที่ 5.2 บล็อกไดอะแกรมของ ออฟไลน์(Off-line)สวิตซ์ซิ่งเพาเวอร์เวอร์ชันพลาซ

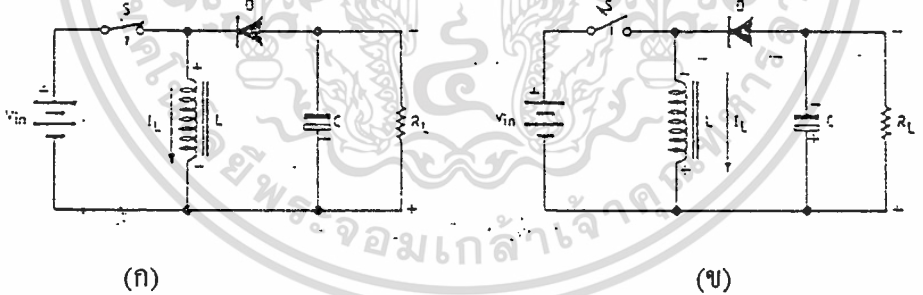
หลักการของเพาเวอร์เวอร์ชันพลาซชนิดนี้มีดังนี้

อินพุทของเครื่องจะเป็นไฟ AC ที่ใช้ตามบ้านคือ 220V. 50 Hz จากนั้นเข้าสู่ภาค RFI ซึ่งจะกรองสัญญาณความถี่สูงจากเครื่องซึ่งอาจไปรบกวนเครื่องมืออื่น ๆ ที่ใช้ AC ไลน์เดียวกัน นอกจากนี้ถ้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

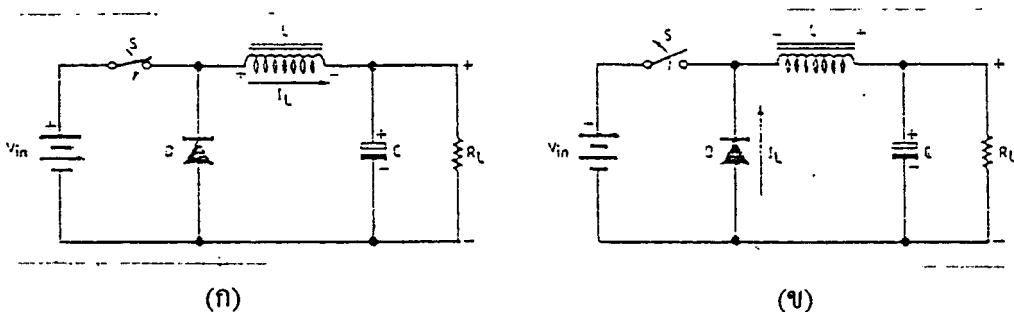
สังเกตได้ง่ายเมื่อเราเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ภาพในที่นี้จะไม่ชัดเจน ต่อจากนั้นก็ทำการ รีกติไฟร์และฟิลเตอร์ ซึ่งก็จะได้ ดีซีไฮโวลเตจ ประมาณ 310 V (p) เข้าสู่ภาคสวิตซ์ซึ่งอิเลิเมนต์ (Switching Element) ซึ่งจะทำสวิตซ์ให้เป็นคลื่นสแควร์ เข้าสู่ หม้อแปลงไฟฟ้า จากนั้นเข้าสู่ภาค รีกติไฟร์และฟิลเตอร์ เช่นเดียวกันกับเพาเวอร์ซัพพลาย แบบปกติ นอกจากนี้ยังมีการนำ สัญญาณ V (o/p) ป้อนกลับไปยังภาคคอนโทรลลอจิก(Control logic) ซึ่งจะควบคุมความกว้าง ของพัลส์วิด(Pulsewidth) ของภาคสวิตซ์ซึ่งอิเลิเมนต์ให้ V (out) เป็นไปตามสเปคที่กำหนดไว้ เนื่องจากในส่วนของวงจรควบคุมประกอบด้วยหลายวงจร เช่น วงจรกำเนิดความถี่ วงจรขยาย ความผิดพลาด วงจรป้องกันโหลดเกิน ฯลฯ ในตอนนี้จะกล่าวถึงส่วนสำคัญคือดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์คืออินเวอร์เตอร์ความถี่สูงกับวงจรเรกติไฟร์และฟิลเตอร์ด้านเอาต์พุท ขอเรียกรวมสั้น ๆ ว่า คอนเวอร์เตอร์

แม้ว่าคอนเวอร์เตอร์จะมีอยู่หลายแบบ แต่ก็ล้วนมีพื้นฐานมาจากวงจร 3 แบบคือ

- ฟลายแบคหรือบัคบูสต์ (Flyback or BuckBoost)
- ฟอว์เวิร์คหรือ บัค (Forward or Buck)
- พูช - พูล หรือ บัคดีริฟ (Push-Pull or Buck-Derived)



รูปที่ 5.3 หลักการของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ค



รูปที่ 5.4 หลักการของคอนเวอร์เตอร์แบบฟอว์เวิร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็คเมื่อสวิตช์ S ปิด รูป (ก)

กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L สะสมพลังงานในรูปของสนามแม่เหล็กไดโอด D จะถูกไบแอสกลับจึงยังไม่มีแรงดันตกคร่อมโหลด R_L ในขณะที่ ต่อมาเมื่อสวิตช์เปิด รูป (ข) ตัวเหนี่ยวนำก็จะคายพลังงาน(เนื่องจากสนามแม่เหล็กยุบตัว) แต่ขั้วของแรงดันจะกลับกันกับที่ป้อนเข้ามา (ซึ่งเป็นไปตามธรรมชาติของตัวเหนี่ยวนำ)ทำให้ไดโอดได้รับไบแอสตรงนำกระแสจากการคายพลังงานกลับของตัวเหนี่ยวนำไปสู่โหลด และจะมีขั้วแรงดันตรงข้ามกับแรงดันอินพุต ถ้าสวิตช์ปิด-เปิดเป็นจังหวะอย่างต่อเนื่อง กระแสอินพุตและเอาต์พุตก็จะมีลักษณะเป็นพัลส์อย่างต่อเนื่องด้วยจึงพอสรุปได้ว่าในคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็คนี้ พลังงานจะถูกเก็บในตัวเหนี่ยวนำในระหว่างที่สวิตช์ปิด และพลังงานจะถูกปล่อยไปสู่โหลดในระหว่างสวิตช์เปิดหรือฟลายแบ็คนั่นเอง

รูปที่ 5.4 แสดงการทำงานของคอนเวอร์เตอร์แบบฟอร์เวิร์ด เมื่อสวิตช์ปิดกระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไปสู่โหลดทำให้มีแรงดันตกคร่อมโหลด และมีขั้วเหมือนกับอินพุตดังแสดงในรูปที่ 5.4 (ก) ไดโอดจะถูกไบแอสกลับในตอนี้ และเมื่อสวิตช์เปิดสนามแม่เหล็กที่ตัวเหนี่ยวนำจะยุบตัวคายพลังงานออกมาในรูปกระแสและมีขั้วแรงดันดังรูปที่ 5.4 (ข) ทำให้ไดโอดได้รับไบแอสตรงนำกระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุและโหลดแรงดันที่ตกคร่อมโหลดจึงยังมีขั้วเหมือนเดิม ไดโอดในวงจรนี้มักจะถูกเรียกว่าไดโอดฟรี-วิลลิงหรือไดโอดฟลายวิล (freewheeling or fly wheel diode) เพราะการทำงานดังกล่าว กระแสเอาต์พุตที่ได้จะต่อเนื่องถึงแม้ขณะที่กระแสอินพุตจะมีลักษณะเป็นพัลส์

ส่วนในรูปที่ 5.5 เป็นวงจรพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แบบพุก-พูล ซึ่งที่จริงก็คือ การนำคอนเวอร์เตอร์แบบฟอร์เวิร์ด 2 วงจรมาทำงานร่วมกันโดยให้ผลัดกันทำงานนั่นเอง

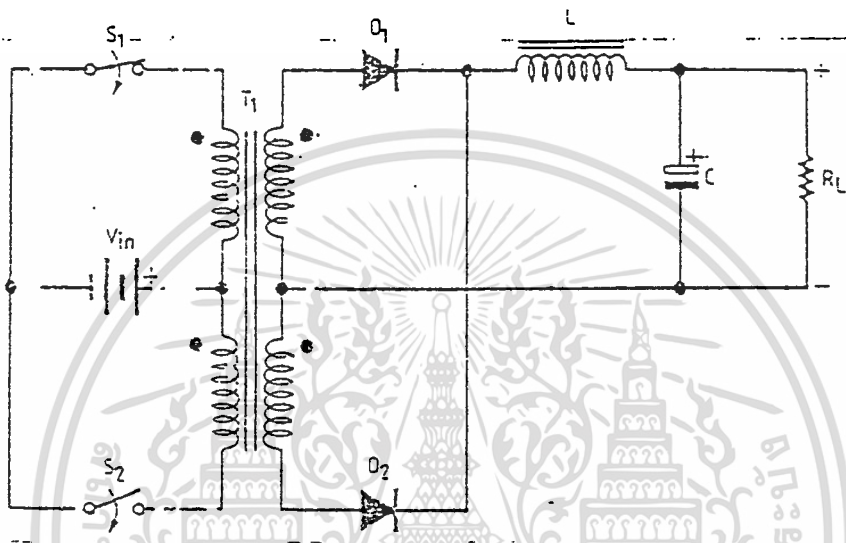
คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ค

รูปแบบพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์ที่แสดงในรูปที่ 5.3 , 5.4 และ 5.5 นั้นไม่ได้รับการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต จึงไม่ค่อยปลอดภัยเท่าไรนัก ดังนั้นแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซึ่งที่ใช้กันในทางปฏิบัติจึงต้องมีหม้อแปลงแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างไฟตรง 300 โวลต์กับเอาต์พุต เป็นหม้อแปลงความถี่สูงซึ่งมีขนาดเล็ก

คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็คที่ใช้กันในทางปฏิบัติรูปที่ 5.6 พร้อมด้วยรูปคลื่นของสัญญาณตามจุดต่าง ๆ เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_1 นำกระแส กระแสไหลผ่านขดปฐมภูมิและสะสมพลังงานไว้แต่แรงดันที่เกิดขึ้นที่ขดทุติยภูมิจะมีขั้วตรงกันข้ามกับขดปฐมภูมิ (สังเกตจากขดที่ขดปฐมภูมิและทุติยภูมิ) ดังนั้นจึงยังคงมีพลังงานปล่อยไปยังโหลด เพราะไดโอดถูกไบแอสกับและเมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส ขดปฐมภูมิของหม้อแปลงจะคายพลังงานออกมาแต่ขั้วแรงดันจะกลับกันทำให้ไดโอดด้านทุติยภูมิได้รับไบแอสตรงนำกระแสผ่านไปยังโหลดและเก็บประจุที่ C แม้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

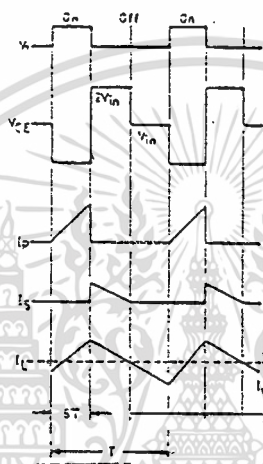
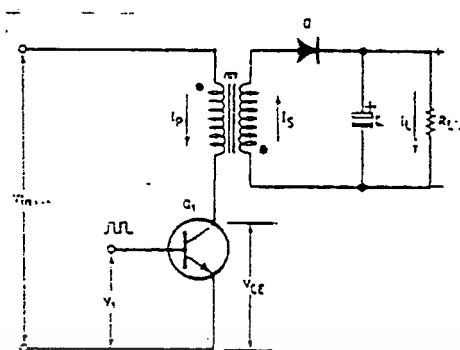
หม้อแปลงจะทำหน้าที่แยกจากกันทางไฟฟ้าแล้วยังกระทำตัวเป็นโช้คอีกด้วย ซึ่งในทางทฤษฎีไม่จำเป็นต้องใส่ตัวเหนี่ยวนำที่เอาต์พุตอีกแต่ในทางปฏิบัติจำเป็นต้องใส่ตัวเหนี่ยวนำค่าน้อย ๆ ไว้ตรงระหว่างไดโอดและตัวเก็บประจุ เพื่อทำการกำจัดสัญญาณรบกวน EMI/RFI ที่เกิดจากการสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์เอง



รูปที่ 5.5 วงจรพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แบบฟูล-พูล
ขนาดของอุปกรณ์สวิตซ์ที่ใช้ในคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ค

อุปกรณ์สวิตซ์ในที่นี้หมายถึง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพาเวอร์มอสเฟต ฯลฯ ซึ่งจะต้องทนแรงดันตกคร่อมได้สูงเมื่อตัวมันนำกระแส เช่น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ จะต้องทราบพิกัดที่สำคัญ คือ $V_{CE(max)}$ และ $I_{C(max)}$ แต่ถ้าเป็นเพาเวอร์มอสเฟตก็คือ $V_{DS(max)}$ และ $I_{D(max)}$ ฯลฯ

ในตอนนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์สวิตซ์ที่เป็นเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เท่านั้น เพราะง่ายต่อการทำความเข้าใจและเป็นที่ยึดเหนี่ยวกันดีอยู่แล้ว จากวงจรในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 วงจรพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ก

$V_{CE(max)}$ ที่เกิดขึ้นในวงจรเมื่อ Q_1 ต้องทนได้ในขณะไม่นำกระแสคือ

$$V_{CE(max)} = 2 * V_{in} + V_S * (N_S / N_P)$$

โดยที่ V_{in} คือแรงดันไฟตรงที่ได้รับจากภาคเรกติไฟร์และฟิลเตอร์ด้านอินพุต (= 300 V)

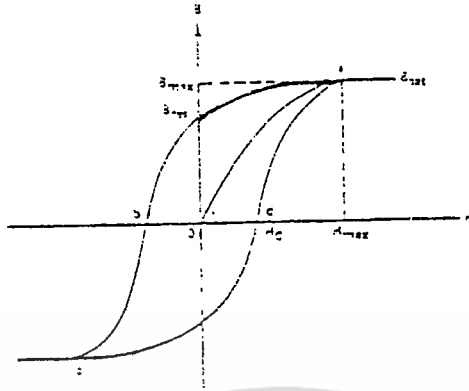
V_S คือแรงดันที่ขดทุติยภูมิ ($V_{out} - 0.7 \approx V_{out}$)

(N_S / N_P) คืออัตราส่วนของจำนวนรอบระหว่างขดทุติยภูมิกับปฐมภูมิ

แต่จากทฤษฎีของหม้อแปลง $N_S/N_P = V_S/V_P$

$$\begin{aligned} V_{CE(max)} &= 2V_{in} + V_S * V_S/V_P \approx 2V_{in} + (V_o)^2/V_{in} \\ &= 600 + (V_o)^2/300 \end{aligned}$$

จากสมการเห็นได้ว่า $V_{CE(max)}$ มีค่ามากกว่า 600 โวลต์ ขึ้นกับแรงดันเอาต์พุตในทางปฏิบัติ ทรานซิสเตอร์หรือมอสเฟตที่นำมาใช้จะต้องทนแรงดันตกคร่อมมากกว่าที่คำนวณได้สักประมาณ 800 โวลต์



รูปที่ 5.7 กราฟ B-H ของหม้อแปลงในคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ค

อีกจุดหนึ่งที่สำคัญคือ ทรานซิสเตอร์ที่ใช้จะต้องทนกระแสคอลเลกเตอร์ I_C ในขณะทำงานด้วยคือ

$$I_C = I_L * (N_S/N_P)$$

เมื่อ I_L คือกระแสที่ไหลผ่านโหลดสูงสุด นอกจากนี้ยังหา I_C ได้จาก

$$I_C = (2P_{out}) / (\eta V_{in} \delta_{(max)})$$

โดยที่ η คือ ประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์ (อยู่ในช่วง 60%-90%)

$\delta_{(max)}$ คือ ค่าดีวีไอที่เกิดสูงสุดของสัญญาณพัลส์จากวงจรควบคุม
(ความกว้างของพัลส์)/คาบเวลาของพัลส์

ซึ่งโดยทั่วไป $\delta_{(max)}$ จะมีค่าต่ำกว่า 0.5 (≈ 0.4) แล้วแต่จะออกแบบ เช่น ถ้าสมมติให้คอนเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพ η เป็น 0.8 และ $\delta_{(max)}$ เป็น 0.4 ก็จะได้

$$I_C = 6.25 * (P_{in}/P_{out})$$

หม้อแปลงในคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ค

จากลักษณะการทำงานดังที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าหม้อแปลงในคอนเวอร์เตอร์แบบนี้จะถูกขับเพียงทิศทางที่เป็นบวกทิศทางเดียวดังกราฟ B-H ในรูปที่ 5.7 ดังนั้นแกนที่ใช้จึงต้องมีขนาดปริมาตรใหญ่เป็นพิเศษ ปริมาตรของแกนสามารถหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{ปริมาตรของแกน} = \frac{\mu_0 \mu_e I_{L(Max)}^2 L_{out}}{B_{max}^2}$$

เมื่อ μ_0 คือ $4\pi \times 10^{-7}$

μ_e คือ ค่าความซึมซาบทางแม่เหล็กสัมพัทธ์เทียบกับอากาศ

I_L คือ กระแสที่จ่ายแก่โหลดสูงสุด (แอมป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L_{out} คือ ค่าความเหนี่ยวนำทางด้านเอาต์พุต(ไมโครเฮนรี่)

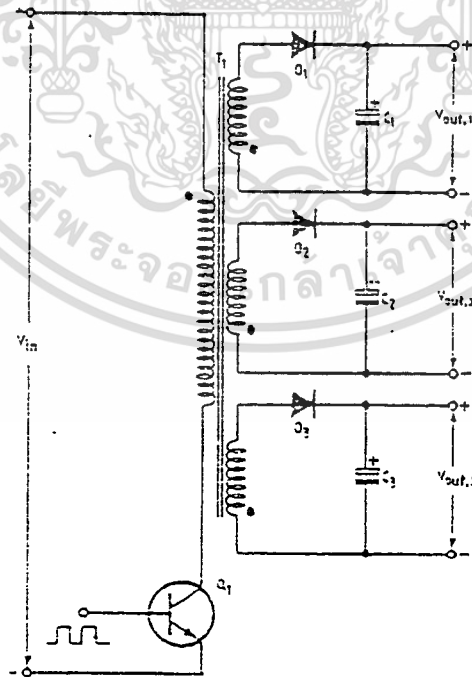
B_{max} คือ ค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด (เวบเบอร์/ตารางเมตร)

การเลือกใช้แกนจะต้องเลือกวัสดุที่ทำแกนที่มีค่า μ_c มากเพื่อลดขนาดของแกนและจำนวนรอบของขดลวดลง อันจะเป็นเหตุให้เกิดเป็นความร้อนสะสมขึ้นได้

คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็คในรูปแบบอื่น

จากที่กล่าวมาแล้วว่าอุปกรณ์สวิตซ์ ซึ่ง เช่น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้จะต้องทนแรงดันได้ประมาณ 800 โวลต์ ในขณะที่ไม่ทำงาน ซึ่งเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์หรือเพาเวอร์มอสเฟตที่ทนแรงดันได้สูงมักมีราคาแพง จึงได้มีการปรับปรุงรูปแบบของวงจรโดยใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว ให้ทำงานพร้อมกัน ไดโอด D_1 และ D_2 จะทำหน้าที่เป็นแคลมป์ไบ่งไดโอด (clamping diode) จำกัดแรงดัน V_{CE} ของทรานซิสเตอร์ให้ไม่เกิน V_m ดังนั้นจึงสามารถใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ทนแรงดันเพียง 400 โวลต์ก็พอ

นอกจากนี้ถ้าต้องการแรงดันเอาต์พุตจากคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็คหลาย ๆ ระดับก็สามารถทำได้ง่าย ๆ โดยการเพิ่มขดลวดขดขุมที่หม้อแปลง ดังแสดงในรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็คที่ให้แรงดันได้หลายระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเวอร์เตอร์แบบพุก - พูล

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าคอนเวอร์เตอร์แบบนี้ เป็นการนำคอนเวอร์เตอร์แบบฟอร์เวิร์ด 2 วงจรมาต่อร่วมกันโดยให้ทำงานแบบสลับกันส่งพลังงาน ไปยังโหลดในแต่ละครึ่งไซเคิล

ลักษณะวงจรเบื้องต้นของคอนเวอร์เตอร์แบบพุก-พูล และรูปคลื่นสัญญาณตามจุดต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 5.9 เมื่อ Q_1 นำกระแสก็จะมีกระแสไหลผ่านขดปฐมภูมิของ T_1 จากจุด 2 ไปยังจุด 1 ดังนั้นจุด 5 และ 7 ทางด้านขดทุติยภูมิจึงมีศักย์เป็นลบ เมื่อเทียบกับจุด 6 และ 8 ตามลำดับ D_1 จึงถูกไบแอสกลับ ในขณะที่ D_2 ได้รับไบแอสตรงนำกระแส I_{D2} ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและโหลด

เช่นเดียวกันเมื่อ Q_2 นำกระแสก็จะมีกระแสไหลผ่านจากจุด 3 ไปจุด 4 ของขดปฐมภูมิ ทำให้ที่จุด 5 และ 7 มีศักย์เป็น บวก เมื่อเทียบกับจุด 6 และ 8 ตามลำดับ D_1 จึงนำกระแส I_{D1} ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและโหลด ในขณะที่ D_2 ถูกไบแอสกลับ แรงดันเอาต์พุตที่ติดคร่อมโหลด R_L สามารถหาได้จากสูตร

$$V_{out} = 2\delta_{(max)} V_{in} (N_S/N_P)$$

โดยที่ค่า $\delta_{(max)}$ จะต้องมีค่าต่ำกว่า 0.5 เพื่อไม่ให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองนำกระแสพร้อมกัน ซึ่งจะทำให้พังทั้งคู่ ดังนั้น ถ้าสมมติให้ $\delta_{(max)} = 0.4$ ก็จะได้

$$V_{out} = 0.8 V_{in} (N_S/N_P)$$

หม้อแปลงที่ใช้ในคอนเวอร์เตอร์แบบพุก-พูล

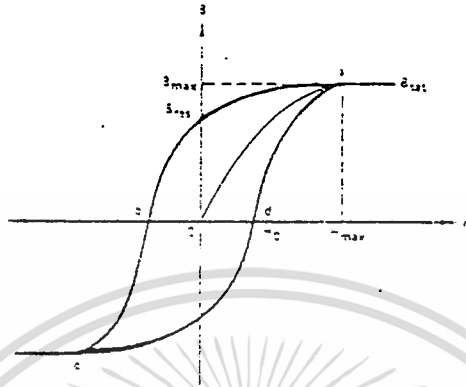
จากการพิจารณาที่ผ่านมาทั้งคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบคและแบบฟอร์เวิร์ด หม้อแปลงที่ใช้จะถูกขับเพียงทิศทางเดียวของกราฟ B-H จึงทำให้มีขนาดใหญ่และต้องมีช่องว่างระหว่างแกน แต่ในพุก-พูล

คอนเวอร์เตอร์นี้ ถ้าให้ช่วงการนำกระแสที่ทรานซิสเตอร์ทั้งสองเท่ากัน(ดูรูปที่ 5.9) ดังนั้น ปริมาตรของแกนจึงสามารถลดลงได้ครึ่งหนึ่งและไม่จำเป็นต้องมีช่องว่างระหว่างแกน

$$\text{ปริมาตรของแกน} = \frac{4 \mu_0 \mu_e I_{mag}^2 L}{B_{max}^2}$$

$$\text{เมื่อ} \quad I_{mag} = [n_p TV_{out}] / n_s 4L$$

การพิจารณาี้สามารถใช้ได้กับคอนเวอร์เตอร์แบบอื่นๆในตระกูล พุก-พูลได้ เช่น แบบ ฮาล์ฟบริดจ์ และแบบ ฟูลบริดจ์ ฯลฯ



รูปที่ 5.9 กราฟ B-H ของหม้อแปลงในวงจรคอนเวอร์เตอร์พุช-พูล
เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์แบบ พุช-พูล

เนื่องจากในแต่ละครึ่งของคอนเวอร์เตอร์แบบพุช-พูลก็คือ ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์แต่ละตัวไม่ทำงานคือ $V_{CE(max)} = 2V_{in}$

ส่วนกระแส I_C สูงสุดที่ผ่านทรานซิสเตอร์แต่ละตัวขณะนำกระแสคือ

$$I_C = P_{out} / (\eta \delta_{(max)} V_{in})$$

โดย $\delta_{(max)}$ คือค่าคิดที่ไซเคิลรวมของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวเป็น 0.4 ดังนั้น

$\delta_{(max)} = 0.8$ ฯลฯ และถ้าสมมติให้ประสิทธิภาพ, $\eta = 0.8$ (80%) และ $\delta_{(max)} = 0.8$ ดังนั้น

$$I_C \sim 1.6 * (P_{out} / V_{in})$$

ข้อเสียของวงจรพุช-พูล

แม้ว่าคอนเวอร์เตอร์แบบพุช-พูลจะมีข้อดีหลายอย่าง เช่น ปริมาตรของแกนเล็กลง กระแสคอลเล็กเตอร์สูงสุดที่ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวต่ำ ทรานซิสเตอร์ทั้งสองถูกขับด้วยกราวด์เดียวกันทำให้วงจรขับเบสไม่ยุ่งยาก ฯลฯ แต่ก็ยังมีข้อเสียบางอย่างทำให้ไม่นิยมเท่าที่ควร

ข้อเสียอย่างแรกคือเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้จะต้องทนแรงดันได้มากกว่า 2 เท่าของแรงดันอินพุต บวกกับแรงดันสไปค์ซึ่งเกิดจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลง นั่นหมายถึงเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้จะต้องทนแรงดันได้มากกว่า 800 โวลต์ ในกรณีใช้ไฟ 220 V_{ac} ซึ่งนี่อาจเป็นปัญหาในการนำไปใช้กับโหลดที่ต้องการกำลังสูง ๆ เพราะเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ทนกระแสและแรงดันสูง ๆ หายากและราคาแพงมาก

นอกจากนั้นรูปที่ 5.10 ยังแสดงถึงปัญหาข้อที่ 2 ของคอนเวอร์เตอร์แบบนี้ นั่นก็คือ

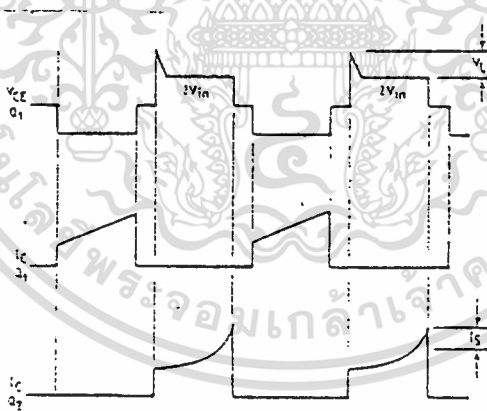
อันตรายจากการอิ่มตัวของแกนหม้อแปลงซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันได้มีการนำแกนเฟอร์ไรท์มาใช้งานในแหล่งจ่ายไฟสวิตซ์อย่างกว้างขวาง เพราะว่ามี การสูญเสียในแกนต่ำที่ความถี่สูง แต่โซคร้ายที่มันมีความไวต่อการอิ่มตัวของแกนสูง เพราะว่ามี ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ต่ำ ดังนั้นไฟตรงเพียงเล็กน้อยก็สามารถขับให้ แกนอิ่มตัวได้ ซึ่งสิ่งนี้จะเกิดขึ้นอย่างแน่นอนในวงจรพุก-พุล

เมื่อ Q_1 นำกระแสและ Q_2 ไม่ทำงาน เส้นแรงแม่เหล็กที่หม้อแปลงจะสวิงไปในทิศทาง หนึ่งของกราฟ B-H และจะกลับทิศไปอีกทางหนึ่ง เมื่อ Q_2 นำกระแสแทน Q_1 และเพื่อให้ 2 พื้นที่ของกราฟ B-H ที่เกิดจากการสวิตซ์ของ Q_1 และ Q_2 เท่ากัน คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ทั้งสองจะต้องเท่ากันและต้องอยู่ภายใต้ภาวะการทำงานและอุณหภูมิเดียวกัน ถ้าไม่เป็นดังที่กล่าวก็จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กตกค้างในทิศทางใดทิศทางหนึ่งของกราฟ B-H ซึ่งเปรียบเสมือนการป้อนไฟตรงให้แก่หม้อแปลงตลอดเวลา แกนของหม้อแปลงจึงอิ่มตัวเร็วขึ้นทำให้เกิดกระแสไปค์ ดังแสดงในรูปที่ 5.10 กระแสไปค์ที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เกิดกำลังสูญเสียไปเป็นจำนวนมากในทรานซิสเตอร์จนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะยิ่งทำให้คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์แตกต่างกันมากขึ้นไป อีก ซึ่งสภาวะอย่างนี้จะรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ จนทรานซิสเตอร์พังในที่สุด



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงผลที่เกิดจากค่าเหนี่ยวนำรั่วไหลในวงจรพุก- พุล

แต่ข้อเสียดังกล่าวก็อาจกำจัดไปได้ โดยการพัฒนามาอยู่ในรูปของคอนเวอร์เตอร์แบบ ฮาล์ฟบริดจ์หรือฟูลบริดจ์ โดยเฉพาะแบบฮาล์ฟบริดจ์นี่เป็นที่นิยมใช้กันมากในการออกแบบ สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย

5.2 วงจรควบคุมการทำงานแบบพัลส์วิดมอดูเลชัน (Pulse Width Modulation ; PWM)

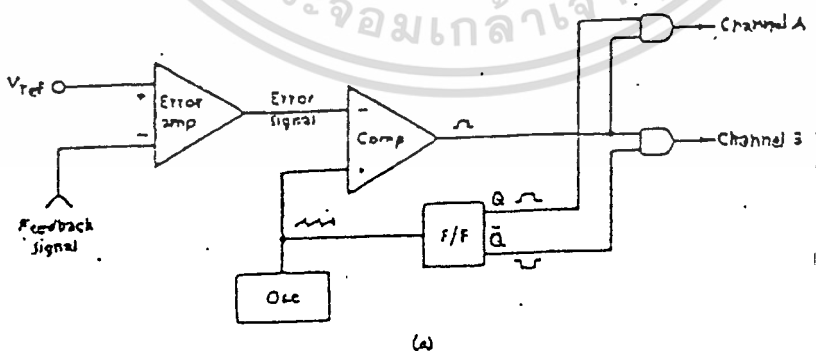
วงจรควบคุมการทำงานแบบ PWM นี้เป็นหัวใจของวงจรทั้งหมดเพราะวงจร PWM นี้จะ ทำหน้าที่ในการส่งพัลส์ไปกระตุ้นให้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สวิตซ์ซึ่งได้แก่ ทรานซิสเตอร์, มอสเฟต ไม่ว่าจะชนิดใดทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฯลฯ ทำการนำกระแสหรือหยุดนำกระแสตามสัญญาณพัลส์รูปสแควร์เวฟ ซึ่งความกว้างของพัลส์นี้ จะสามารถปรับให้กว้างหรือแคบได้เพื่อเป็นตัวควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้มากหรือน้อยตามไปด้วย โดยมีความถี่คงที่มีเสถียรภาพสูงในการควบคุมและในการรักษาระดับแรงดันเอาต์พุต

แม้ว่าเทคนิคการควบคุมสวิตช์ของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตช์ซึ่งนี้จะมีอยู่หลายอย่าง แต่เทคนิคของ PWM โดยการสร้างความถี่คงที่นี้ได้รับความนิยมมากที่สุดโดยปรกติทั่วไป PWM จะถูกสร้างออกมาเป็นวงจรรวม (Integrate Circuits) ซึ่งโดยการรวบรวมวงจรต่างๆที่สำคัญที่ใช้ในการควบคุมได้แก่ เออเรอร์แอมพลิฟายเออร์(Error Amplifier) ; ฟลิปฟลอป(Flip-Flop) ; คอมพารเตอ์(Comparator) ; ออสซิลเลเตอร์(Oscillator) ; เคอเรนทลิมิตติ้ง(Current Limiting) ฯลฯ มาอยู่ในชิพ IC เดียวกันเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน ในโครงการนี้จะขออธิบายการทำงาน PWM ตาม IC เบอร์ SG3524

พื้นฐานการทำงานของ PWM

พื้นฐานการทำงานของวงจร PWM แสดงดังรูปที่ 58 การทำงานจากรูปวงจรเออเรอร์แอมพลิฟายเออร์ มีหน้าที่รับสัญญาณจากระดับแรงดันจากเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟตรงนำมาเปรียบเทียบกับ V_{ref} ที่กำหนดไว้แล้วทำการขยายสัญญาณเออเรอร์นี้ส่งต่อไปให้กับวงจรรวมพารเตอ์ วงจรรวมพารเตอ์มีหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณระหว่างสัญญาณเออเรอร์ (Error Signal) กับสัญญาณฟันปลา(Sawtooth) จาก ออสซิลเลเตอร์ ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตของคอมพารเตอ์จะมีรูปเป็นสัญญาณสแควร์เวฟที่มีความกว้างของ พัลส์ขึ้นอยู่กับสัญญาณสัญญาณเออเรอร์



รูปที่ 5.11 (a) วงจรรวมของการควบคุมโดย PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรฟลิปฟล็อปมีหน้าที่รับสัญญาณฟันปลาจากออสซิลเลเตอร์ไปทำการหาร 2 แล้วเปลี่ยนเป็น สแควร์เวฟแล้วส่งต่อไปให้แอนดเกต(And Gate) ไปทำการขับทรานซิสเตอร์ในแต่ละช่องซึ่งจะมีสัญญาณต่างเฟสกัน 180° และสามารถปรับเปลี่ยนความกว้างของพัลส์คิวต์ไซเคิล (duty cycle) ได้โดยอัตโนมัติตามแต่ระดับแรงดันเอาต์พุต นั่นคือถ้าแรงดันเอาต์พุตต่ำคิวต์ไซเคิลจะกว้างขึ้นแต่เมื่อแรงดันเอาต์พุตสูงขึ้นคิวต์ไซเคิลก็จะแคบลง ฉะนั้นแรงดันเอาต์พุตจึงสามารถรักษาระดับแรงดันให้คงที่ได้เสมอ

IC SG3524

เป็น IC PWM ที่ผลิตความถี่คงที่ ซึ่งจะสามารถโปรแกรมความถี่ได้โดยต่อค่า R_f ที่ขา 6 และต่อ C_f ที่ขา 7 จากรูปที่ 5.18 ก็สามารถคำนวณหาค่าความถี่ของ Osc. ซึ่งจะมีค่าเป็นสองเท่าของความถี่ที่ใช้สวิทช์ ดังสมการ

$$f = 1.15/(R_f C_f)$$

เมื่อ R_f มีค่าเฉลี่ยที่ใช้งานอยู่ระหว่าง 1.8 ถึง 100 k Ω

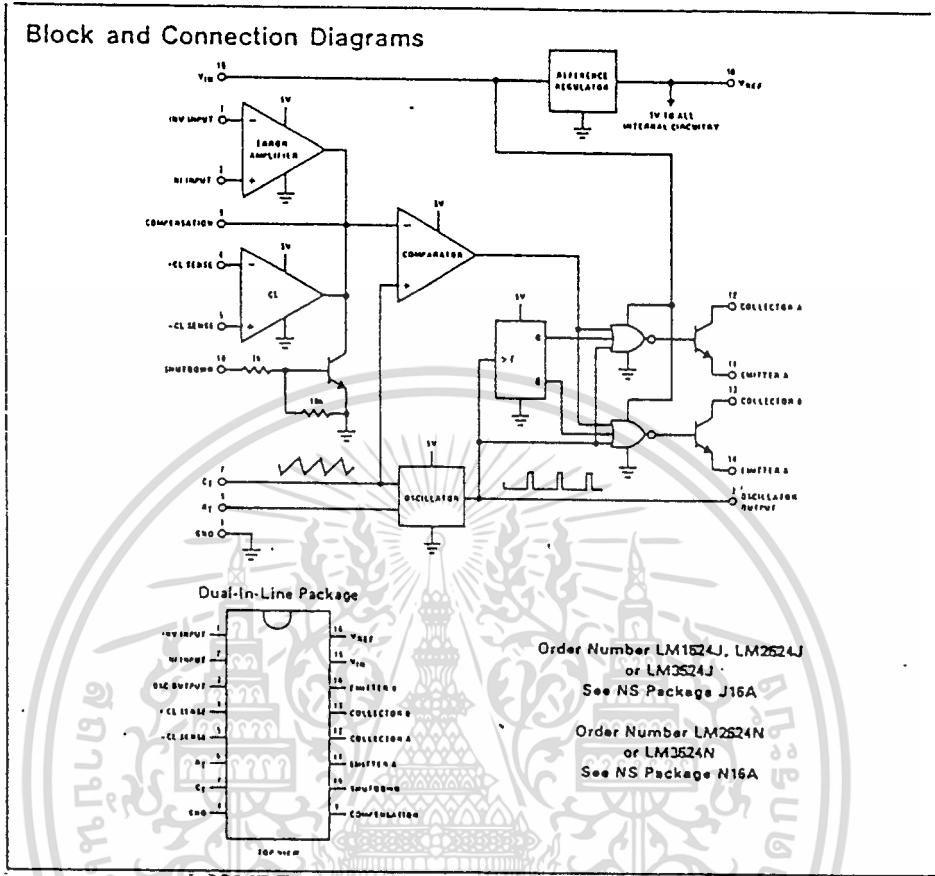
C_f มีค่าใช้งานอยู่ระหว่าง 0.001 F ถึง 0.1 F

วงจรเออเรียร์แอมพลิฟายเออร์ จะอยู่ที่ขา 1 และขา 2 ในการใช้งานขา 1 ซึ่งเป็นขาอินเวอร์ตติ้ง (Inverting) จะต่อกับฟีดแบคจากแรงดันเอาต์พุตส่วนขา 2 จะต่อกับระดับแรงดันคงที่เพื่อเป็นแรงดันอ้างอิง (V_{ref})

วงจรเคอเรนทลิมิตติ้ง จะอยู่ที่ขา 4 และขา 5 ซึ่งมีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับวงจรเออเรียร์ แอมพลิฟายเออร์ ในการต่อใช้งานขา 5 ซึ่งเป็นนอนอินเวอร์ตติ้ง (Non-inverting) จะต่อลงกราวด์ส่วนขา 4 ซึ่งเป็นขาอินเวอร์ตติ้งจะต่อจากเซนเซอร์เคอเรนท(Sensor Current)

ขา 10 เป็นวงจรชัตดาวน์(Shut Down) มีไว้สำหรับต้องการให้วงจร PWM หยุดการทำงานทันทีทันใด ด้วยการป้อนไฟบวกเข้าไป

ขา 16 เป็นขาที่แรงดันคงที่ +5 โวลต์เพื่อนำไปใช้เป็น V_{ref} ส่วนขา 11 , 12 , 13 , 14 เป็นส่วน ทรานซิสเตอร์สวิทช์เอาต์พุต(Transistor Switch Output) ของ PWM ช่อง A. และ ช่อง B. ที่จะนำไป ขับ วงจรสวิทช์ซึ่ง



รูปที่ 5.12 บล็อกโคแอดแกรมของ IC SG3524

5.3 เร็กติฟายเออร์ และ ฟิลเตอร์

เร็กติฟายเออร์ และ ฟิลเตอร์ในส่วนนี้ เราจะกล่าวถึงเฉพาะกรณีของด้านเอาต์พุตของวงจรคือการเร็กติฟายเออร์จากด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกำลัง (Power transformer) จากนั้นก็ทำการกรองเพื่อให้ดีซีเอาต์พุตมีการกระเพื่อม (Ripple) น้อยที่สุด

1. การสวิตซ์ซิ่งทรานซิสเตอร์ของเพาเวอร์สวิตซ์ซิ่ง

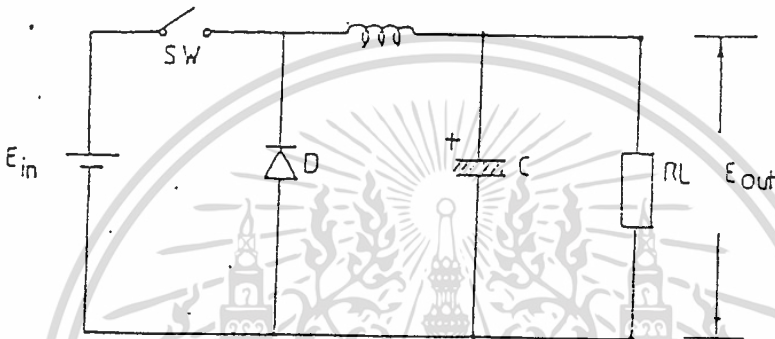
สัญญาณที่ผ่านหม้อแปลงสวิตซ์ซิ่งจะถูกกรองเพื่อให้ได้ค่ากระแสและแรงดันตรงตามความต้องการ ในการออกแบบวงจรในส่วนนี้จึงมีความสำคัญมากพอสมควร เนื่องจากสัญญาณที่จากหม้อแปลงสวิตซ์ซิ่ง นั้น เป็นสัญญาณที่มีความถี่สูงมาก (20 kHz) วงจรเร็กติฟายเออร์ก็เพียงพอแล้ว เพราะความถี่สูงก็จะสามารถทำให้เรียบได้ง่าย

สำหรับวงจรฟิลเตอร์ ในส่วนนี้ส่วนใหญ่จะใช้แบบพายฟิลเตอร์ (Pi-Filter) เนื่องจากความถี่สูง วงจรพายฟิลเตอร์ จะให้ประสิทธิภาพที่เหนือกว่าวงจรแบบอื่น คือ คุณสมบัติของ L และ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

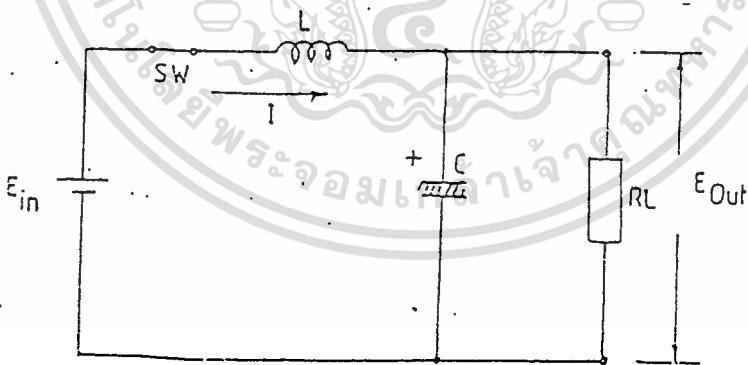
2 การวิเคราะห์วงจรเอาต์พุตฟิลเตอร์ (Output Filter)

การทำงานของสวิตช์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ซึ่งอาศัยการ ออน-ออฟ ของสวิตช์ซึ่งทรานซิสเตอร์ ป้อนสัญญาณให้สวิตช์ซึ่งทรานซิสเตอร์ทางด้านไพรมารี และ เหนี่ยวนำ ไปยังขดเชคคั่นคาร์รี่ ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตที่ขดเชคคั่นคาร์รี่จึงมีลักษณะเป็นพัลส์ ตามจังหวะการ ออน-ออฟ ของสวิตช์ซึ่งทรานซิสเตอร์การทำงานของ รีคตีฟายเออร์ และ ฟิลเตอร์จึงขึ้นอยู่กับสัญญาณอินพุตพัลส์นี้ด้วย ซึ่งเปรียบเสมือนการ ออน-ออฟ ของสวิตช์



รูปที่ 5.13 แสดงการทำงานของวงจรฟิลเตอร์

พิจารณาช่วงที่ สวิตช์ออน



รูปที่ 5.14 ช่วงที่สวิตช์ออน

เป็นช่วงที่มีพัลส์เข้ามาไดโอดทำตัวเหมือนเปิดวงจร

$$E_{in} = L(di/dt) + E_{out} \quad \text{---(1)}$$

เมื่อ E_{in} : อินพุตโวลเตจ (V)

L : อินดักแตนซ์ฟิลเตอร์ (H)

I : กระแสในวงจรขณะสวิตช์ออน (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E_{out} : คีซี เอาท์พุทโวลเตจ (V)

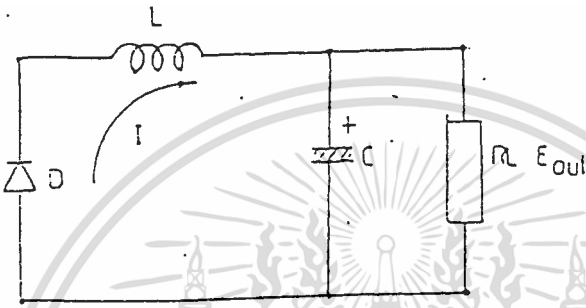
จากสมการที่ (1)

$$di/dt : (E_{in} - E_{out})/L \quad \text{---(2)}$$

จากสมการที่ (2)

$$I : \{(E_{in} - E_{out})/L\} \cdot t_{on} \quad \text{---(3)}$$

พิจารณาช่วงที่ สวิตช์ออฟ



รูปที่ 5.15 ช่วงที่สวิตช์ออฟ

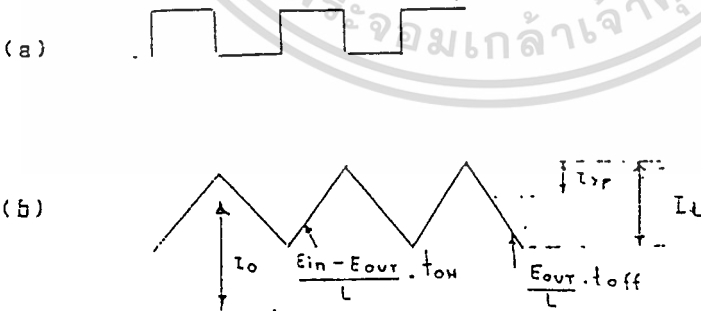
คือช่วงที่ไม่มีพัลส์เข้ามาไดโอดทำตัวเสมือนตัววงจร

$$L(di/dt) + E_{out} = 0 \quad \text{---(4)}$$

$$di/dt = -E_{out}/L \quad \text{---(5)}$$

$$I = -(E_{out}/L) \cdot t_{off} \quad \text{---(6)}$$

การหาค่า L



รูปที่ 5.16 แสดงสัญญาณเอาท์พุท

จากรูป 5.16 (b) และสมการที่ (3)

$$I_{pk} = \{(E_{in} - E_{out})/L\} \cdot t_{on} \quad \text{---(7)}$$

เมื่อ I_{pk} : กระแสพีกที่ผ่าน L_1

t_{on} : ช่วงเวลาที่สวิตช์ออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{ul} = (I_{rpl})/2 \quad (=I_o) \quad \text{---(8)}$$

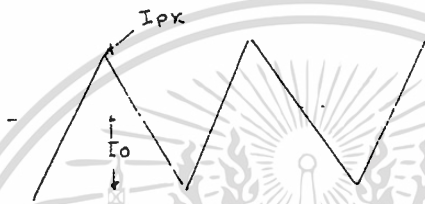
เมื่อ I_{rpl} : กระแสพีกริฟเฟิล

I_{ul} : ค่าเฉลี่ยกระแสพีกริฟเฟิล

I_o : กระแสเอาต์พุท

จากรูป 5.17

$$I_o = (I_{rpl})/2 \quad (=I_{ul}), I_{pk} = I_{rpl} \quad \text{---(9)}$$



ผลของกระแสเนื่องจาก L

รูปที่ 5.17 แสดงรูปสัญญาณของริฟเฟิลฟิลเตอร์

จากสมการ (8) และ (9)

$$I_{pk} = I_{rpl} = 2I_{ul} \quad \text{---(10)}$$

จากสมการ (7) และ (10)

$$2I_{ul} = \{(E_{in} - E_{out})/L\} \cdot t_{on} \quad \text{---(11)}$$

จะได้ว่า

$$I_{ul} = \{(E_{in} - E_{out})/2L\} \cdot t_{on}$$

หรือ

$$I_{ul} = 1/5I_{o(max)} \quad \text{ถึง} \quad 1/20I_{o(max)} \quad \text{---(12)}$$

จากสมการ (11) และ (12)

$$L \geq (2.5 - 10) \{(E_{in} - E_{out})/I_{o(max)}\} \cdot t_{on} \quad \text{---(13)}$$

เมื่อ

$$E_{out} = (t_{on}/T) \cdot E_{in} \quad \text{---(14)}$$

$$T = 1/f \quad \text{---(15)}$$

จากสมการ (13) และ (14)

$$L \geq (2.5 - 10) \{(E_{in} - E_{out})/I_{o(max)}\} \cdot (E_{out}/E_{in}) \cdot T \quad \text{---(16)}$$

การหาค่า C

การจะหาค่า C ได้ เราจะต้องหาแรงดันริฟเฟิลพีกทุกพีก ($4E_o$) ก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตร $E_o = 1/C \int i dt$ ---(17)

$$E_o = (I_{rpl}/C) \cdot t_{off} \quad \text{---(18)}$$

เมื่อ $I_{rpl} = I_{pk}$ ดังนั้น

$$E_o = (I_{pk}/C) \cdot t_{off} \quad \text{---(19)}$$

$$C = (I_{pk}/\Delta E_o) \cdot t_{off} \quad \text{---(20)}$$

จากสมการ (10) และ (20)

$$C = \{[(E_{in} - E_{out})/L] \cdot t_{off} / E_o\} \cdot t_{off} \quad \text{---(21)}$$

จากสมการ (9) และ (14)

$$I = \{[(t_{on}/T) \cdot E_{in}] / L\} \cdot t_{off} \quad \text{---(22)}$$

จาก $I = t_{on}/t_{off}$

และสมการ (22)

$$I = -[I \cdot E_{in} \cdot T(1-I)] / L \quad \text{---(23)}$$

$$= -\{[E_{in}(1-I)] / L\} \cdot T$$

ถ้า $= 1/2$, $t_{on} = t_{off} = (1/2)T$

แทนในสมการ (22)

$$C = [(E_{in} - E_{out}) / 4E_o \cdot I] \cdot T^2 \quad \text{---(24)}$$

การคำนวณหาจำนวนรอบของอินดักเตอร์ฟิวดอร์

จากสูตร

$$N = A_L \times N^2 \times 10^{-9} \quad \text{---(25)}$$

$$N = \sqrt{(L \times 10^{-9}) / A_L} \quad \text{---(26)}$$

เมื่อ N : จำนวนรอบ (T)

A_L : ปริมาตรของลวด (nH/T²)

L : อินดักแตนซ์ (H)

3 การออกแบบวงจรฟิวดอร์

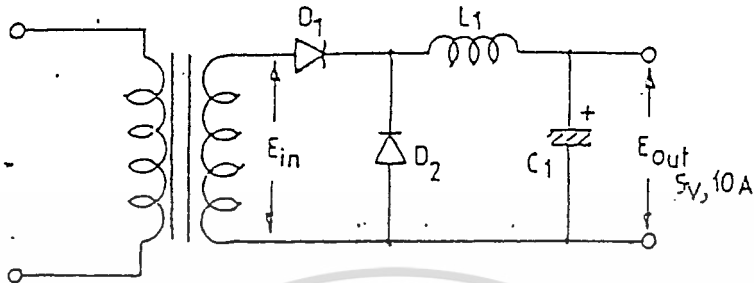
ในการออกแบบวงจรฟิวดอร์นั้น สิ่งที่ต้องทราบก็คือ E_{out} : แรงดันทางด้านเอาต์พุต (DC output voltage), $I_{o(max)}$: กระแสสูงสุดทางด้านเอาต์พุต (maximum output current), E_{in} : แรงดันสูงสุดทางด้านอินพุต (input voltage peak to peak), แรงดันกระเพื่อมสูงสุดทางด้านเอาต์พุต (ripple voltage peak to peak), และ f ความถี่ ในการสวิตช์ (switching frequency)

ตัวอย่างการออกแบบวงจรฟิวดอร์

- ความถี่ 20 kHz
- แรงดันเอาต์พุต 5 V DC
- แรงดันอินพุต 20 V p-p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กระแสเอาต์พุต 10 A
- แรงดันกระเพื่อม 50 mV p-p



รูปที่ 5.18 ฮาฟเวฟ LC ฟิลเตอร์

1. หาค่า L_1

$$\begin{aligned} L_1 &= [(2.5-10)(E_{in} - E_{out})/I_{o(max)}] \cdot (E_{out}/E_{in}) \cdot T \\ &= 5[(20-5)/10] \cdot (5/20) \cdot [1/(2 \times 10^3)] \\ &= 94 \mu\text{H} \end{aligned}$$

2. หาค่า C_1

$$\begin{aligned} C_1 &= (E_{in} - E_{out})/4 \cdot E_o \\ &= [(20-5)/(4 \times 50 \times 10^3 \times 94 \times 10^{-6})] \times [1/(2 \times 10^3)]^2 \\ &= 200 \mu\text{F} \end{aligned}$$

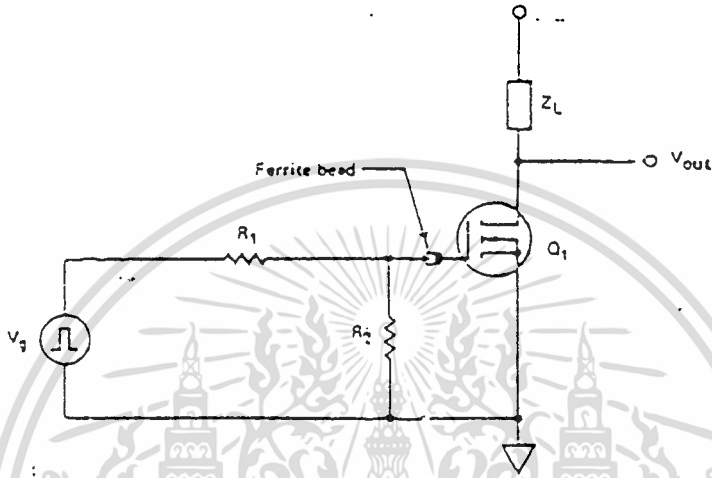
5.4 การใช้เพาเวอร์มอสเฟตในวงจรสวิตชิง

วงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ถูกรออกแบบให้เพาเวอร์มอสเฟตเป็นอุปกรณ์สวิตชิงมีข้อดีกว่าการใช้ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์มาก เพราะเพาเวอร์มอสเฟตสามารถทำงานที่ความถี่สูงได้ดีกว่า(สำหรับวงจรนี้ใช้ความถี่ประมาณ 40 kHz)จึงไม่ต้องกังวลข้อจำกัดเหมือนการใช้ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ และการทำงานที่ความถี่สูงสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย มีขนาดเบาและน้ำหนักน้อยลง นอกจากข้อดีในด้านความเร็วแล้วยังไม่มีปรากฏการณ์เทอร์มอลรันอเวย์(thermal runaway) อีกด้วย

- การพิจารณาในการออกแบบวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต

เพาเวอร์มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมโดยศักดาไฟฟ้าที่ขาคเกตและชาจอร์สเพื่อทำให้กระแสไหลผ่านขาเดรน ซึ่งขาคเกตของเพาเวอร์มอสเฟตจะถูกแยกจากจอร์สโดยชั้น SiO_2 ดังนั้นมันจึงมีเกนและอินพุทอิมพีแดนซ์สูงมาก ในการเปิดเพาเวอร์มอสเฟตให้น้ำกระแสได้ จำเป็นต้องมีกระแสไปชาร์จตัวเก็บประจุอินพุทภายในเวลาที่ต้องการ ซึ่งค่าความเก็บประจุนี้เป็นผลรวมของความเก็บประจุที่ขาคเกตกับขาคจอร์สและความเก็บประจุของขาคเกตกับเดรน ดังนั้นแหล่งจ่ายศักดา

สำหรับควมมีอิมพีแดนซ์ (R_x) ต่ำ ๆ เพื่อจะทำให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานได้ด้วยความเร็วสูง แต่การทำงานที่ความถี่สูง ๆ นั้นจำเป็นต้องมีการออกแบบที่ดีเพื่อลดปัญหาต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้น โดยเฉพาะการเกิดออสซิลเลท รูปต่อไปนี้จะแสดงการขับเพาเวอร์มอสเฟตทั้ง ๆ ไปในโหมดคอมมอนซอส(common source)

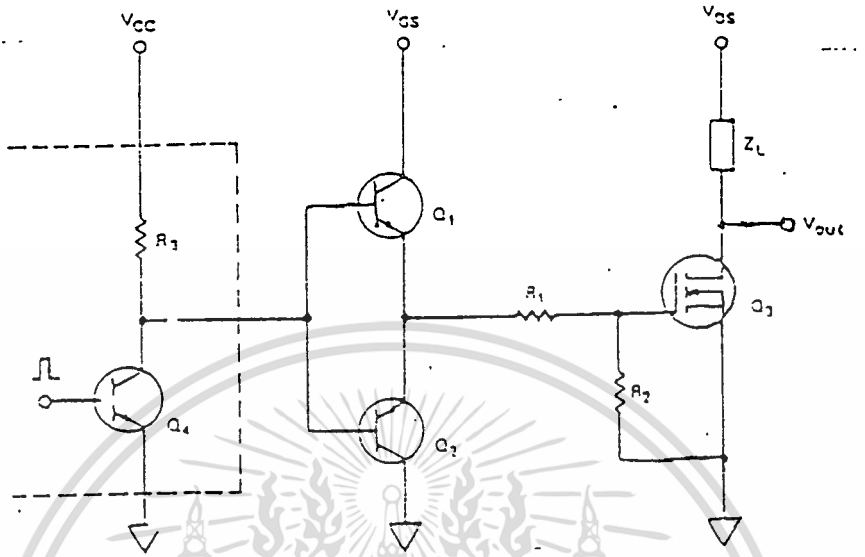


รูปที่ 5.19 แสดงการใช้เพาเวอร์มอสเฟตเป็นสวิตช์ในลักษณะคอมมอนซอส

จากรูป ความต้านทาน R_1 ค่าต่ำ ๆ ที่ต่ออนุกรมกับเพาเวอร์มอสเฟตนั้นเพื่อเป็นการป้องกันการออสซิลเลท ส่วน R_2 มีไว้สำหรับช่วยในการเทอร์น-ออฟของเพาเวอร์มอสเฟต และป้องกันไม่ให้มีแรงดันกระชากไปทำลายขาเกทของเพาเวอร์มอสเฟตเนื่องจาก สเตรย์อินดักแตนซ์(stray inductance)

- วงจรที่ใช้ขับเพาเวอร์มอสเฟต

การขับเพาเวอร์มอสเฟตจาก TTL โดยใช้ร่วมกับวงจรคอมพลีเมนต์ทาร์อีมิเตอร์ฟอลโลเวอร์ (complementary emitter follower) แสดงในรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.20 อิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์บัฟเฟอร์ใช้ร่วมกับ TTL และ เพาเวอร์มอสเฟตทำให้การสวิตช์ดีขึ้น

ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 ต้องเอกที่มีค่าเกณฑ์และรับกระแสได้สูง สมการต่อไปนี้จะใช้ในการคำนวณกระแสที่ไหลในทรานซิสเตอร์ที่ ออน (Q1) และ ทรานซิสเตอร์ที่ ออฟ (Q2) กระแสชาร์จคำนวณได้ดังนี้

$$I_{charge} = \frac{C_{gs} \times V_{gs}}{t_r}$$

และ
โดยที่

$$C_{gs} = C_{iss} - C_{rss}$$

C_{gs} ; ค่าความเก็บประจุระหว่างเกตกับซอร์ส , pF

C_{iss} ; ค่าความเก็บประจุอินพุต , pF

C_{rss} ; ค่าความเก็บประจุส่งกลับ (reverse transfer capacitance) , pF

V_{gs} ; ค่าศักดาระหว่างเกตกับซอร์ส , V

t_r ; ไรส์ทาร์ม (rise time) ของพัลส์อินพุต , ns

ถ้าเราสมมติว่า ไรส์ทาร์ม มีค่าเท่ากับ ฟอลทาร์ม กระแสดิสชาร์จจะเป็นดังนี้

$$I_{dis} = \frac{C_{rss} \times V_{ds}}{t_r}$$

เมื่อ

V_{ds} ; เป็นศักคจากเดรนไปซอร์ส , V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณพลังงานสูญเสียในบัพเฟอร์ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวมีสูตรดังนี้

$$P = V_{ce} * I_c * t_r * f$$

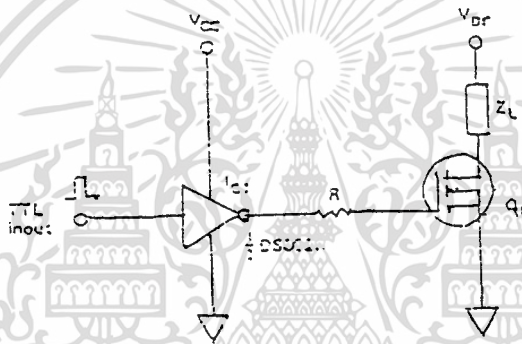
โดยที่

V_{ce} ; ศักดาอิมิตัวของบัพเฟอร์ , V

I_c ; กระแสคอลเลคเตอร์ของบัพเฟอร์ทรานซิสเตอร์ , A

f ; ความถี่ที่ทรานซิสเตอร์ สวิตช์ , kHz

และทางเลือกอื่นในการขับเพาเวอร์มอสเฟต ก็ทำได้โดยการใช้วงจรรวมชนิดมีบัพเฟอร์พิเศษดังรูปที่ 5.21



รูปที่ 5.21 แสดงการใช้วงจรรวมบัพเฟอร์ในการช่วย TTL ขับเพาเวอร์มอสเฟต

5.5 วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้

ส่วนวงจรที่ใช้ในโครงการนี้เป็นการนำเอาที่พุดจาก MC14049 ซึ่งมี อาร์-พูลอัพ (R-pull up) มาขับคู่คอมพลีเมนต์ทาร์จิมิตเตอร์พอลโลเวอร์ ให้สามารถสวิตช์ได้ดีมีไรท์ทาร์ม น้อย จากนั้นผ่านการ ไอโซเลทด้วยหม้อแปลง แล้วจะถูกรักษาระดับแรงดันโดยซีเนอร์ไดโอด ซึ่งการต่อในลักษณะนี้จะทำให้การขับเกตของเพาเวอร์มอสเฟตมีความปลอดภัยมากขึ้น เพราะสามารถรักษาระดับแรงดันได้ทั้งไฟบวกและไฟลบสำหรับขับเพาเวอร์มอสเฟต จึงเป็นการรับรองอีกชั้นหนึ่งว่าจะไม่มีการออนเพาเวอร์มอสเฟต พร้อมกันทุกตัว เป็นการออกแบบวงจรที่ดีมีการป้องกันการเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น หลังจากนั้นสัญญาณการสวิตช์นี้จะถูกส่งไปยังเพาเวอร์ทรานฟอร์มเมอร์เพื่อส่งกำลังไปยังภาคเอาต์พุตต่อไป

คุณสมบัติของวงจร

มีวงจรตัดการทำงานเมื่อแรงดันแบตเตอรี่ต่ำ เพื่อป้องกันไฟแบตเตอรี่ ไฟตกจนไม่สามารถ ชาร์จ แบตเตอรี่ได้ นอกจากนี้ถ้าวงจรมีอุณหภูมิสูงมากเกินไป ก็อาจทำให้วงจรเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ เพื่อเป็นการป้องกัน มอสเฟต จึงต้องมีวงจรตัดการทำงานเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าที่ตั้งเอาไว้ เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจึงทำงานต่อไปได้โดยปกติ

การทำงานของวงจร

ส่วนสำคัญของวงจรมี คือไอซีพัลส์วิดธ์มอดูเลเตอร์ (pulse-width modulator) เบอร์ SG3524 วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่สมบูรณ์แสดงในรูปที่ 5.22.

IC₃ เบอร์ SG3524 นี้ทำหน้าที่ผลิตความถี่สวิตซ์ซึ่ง ป้อนให้แก่มอสเฟต Q₁ - Q₄ โดยมี IC₄ และ IC₅ ทำหน้าที่เป็นตัวขับ และเป็นบัฟเฟอร์ ความถี่ออสซิลเลต สามารถกำหนดโดย R₇ และ C₂ ซึ่งสูงเป็นสองเท่าของความถี่สวิตซ์ เอาท์พุทจาก IC₃ มี 2 เฟสตรงข้ามกันเพื่อให้เอาท์พุททำงานแบบพุชพูล

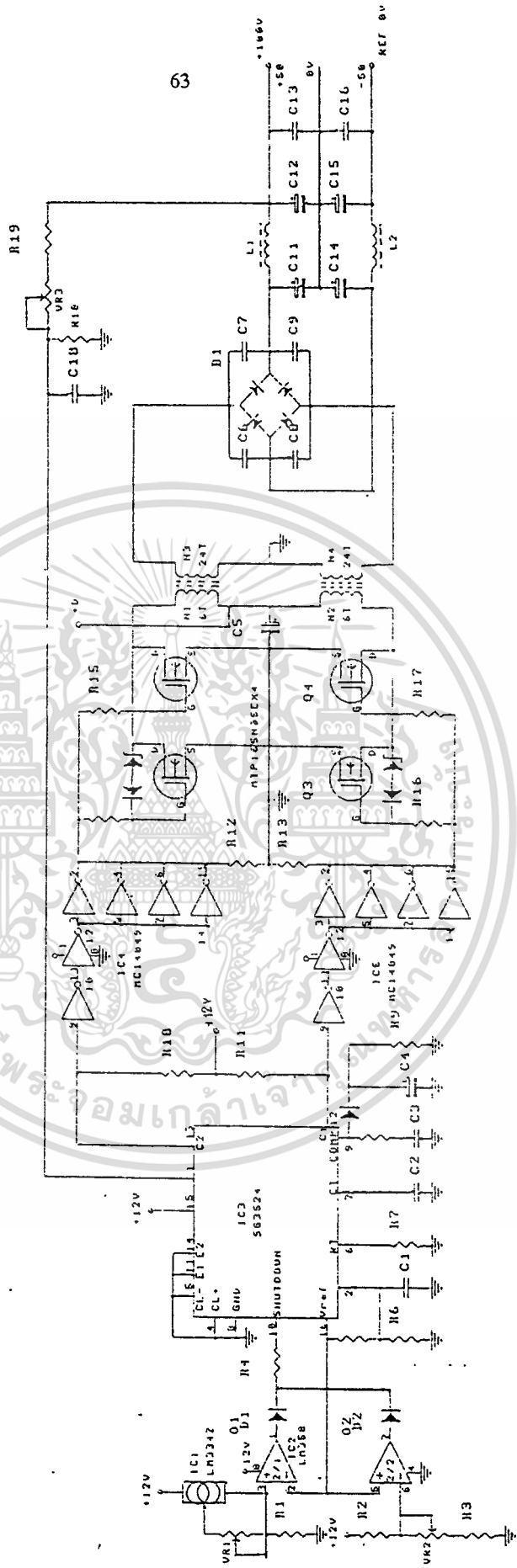
ที่วงจรบัฟเฟอร์ IC₄ และ IC₅ ได้ขนาบเกท 4 ตัวเข้าด้วยกัน เพื่อให้เพียงพอกับการขับมอสเฟต ซึ่งเพาเวอร์มอสเฟตมีการขนาบกันด้านละ 2 ตัวเพื่อให้ทนกระแสได้สูงขึ้น มีตัวต้านทาน 56 โอห์มแยกเกทจากกันเพื่อให้สวิตซ์ได้พร้อมกัน สำหรับไดโอด และ ซีเนอร์ที่ต่ออยู่ระหว่างขาเกตและขาเดรนมีไว้ป้องกันแรงดันเดรน - เกตสูงเกินไป

เพาเวอร์มอสเฟต Q₁, Q₂ และ Q₃, Q₄ จะสลับการทำงานเพื่อจ่ายกระแสให้แก่ขดลวด N₁ และ N₂ ตามลำดับซึ่งเป็นขดไพรมารีของหม้อแปลง T₁

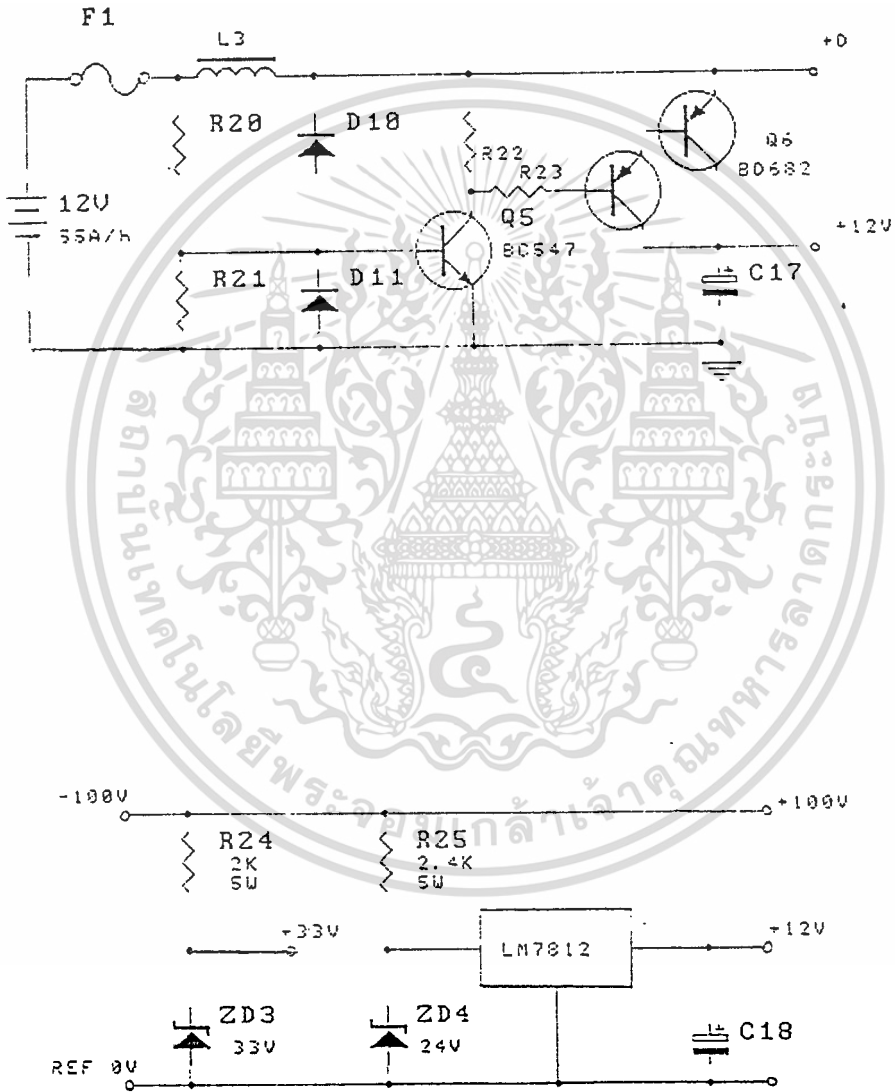
ทางด้านขดลวด N₃, N₄ ด้านเซคันดารี ซึ่งมีจำนวนรอบมากกว่าจะทำการสลับอัทพ์แรงดันให้สูงขึ้น แล้วผ่านไปยังวงจรบริดจ์เรกติไฟร์ D₆ - D₈ และกรองให้เรียบ โดยตัวเก็บประจุที่ภาคเอาท์พุท

ไฟตรงที่ได้ทางเอาท์พุทถูกป้อนกลับผ่าน R₁₉, VR₃ มายัง IC₃ เพื่อควบคุมความกว้างของพัลส์ที่จะไปควบคุมความกว้างของพัลส์ที่จะไปควบคุมการสวิตซ์เป็นการควบคุมแรงดันเอาท์พุทให้คงที่ สำหรับ IC₁ เบอร์ LM334Z ทำหน้าที่ตรวจอุณหภูมิ ทำงานร่วมกับ IC_{2n} เพื่อตัดการทำงานของ IC₃ เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าที่ตั้งไว้ซึ่งมี VR₁ เป็นตัวกำหนด ส่วน IC_{2n} ทำหน้าที่ตัดการทำงานเมื่อแรงดันแบตเตอรี่ต่ำกว่ากำหนดซึ่งกำหนดโดย VR₂

ตัวเก็บประจุ C₄ และไดโอด D₃ ทำหน้าที่เป็นวงจรชอพท์สตาร์ท เพื่อเริ่มต้นการทำงานของวงจรแบบค้อยเป็นค้อยไป ทางด้านทรานซิสเตอร์ Q₅ และ Q₆ เป็นวงจรควบคุมการทำงานโดยรวมอีกที ทำหน้าที่เปิดปิดการทำงานของวงจรแทนการเปิดปิดไฟ 12 โวลท์ โดยตรงจากแบตเตอรี่ ซึ่งต้องผ่านกระแสที่สูงมาก



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 5.22 วงจร ดิจิทัลดีซี คอนเวอร์เตอร์ ชนิดพหุขั้ว ไม่นอญูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.23. วงจร คีชีพิวคี่ซี คอนเวอร์เตอร์ ชนิดพหุผล(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เข้ดูตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

ตัวต้านทาน

R_1, R_7	12 k Ω	1/4 W	5%	2 ตัว
$R_2, R_6, R_{10}, R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{20}, R_{22}, R_{23}$	10 k Ω	1/4 W	5%	9 ตัว
R_3	6.8 k Ω	1/4 W	5%	1 ตัว
R_4	1 k Ω	1/4 W	5%	1 ตัว
R_5	15 k Ω	1/4 W	5%	1 ตัว
R_8	1.5 k Ω	1/4 W	5%	1 ตัว
R_9, R_{21}	100 k Ω	1/4 W	5%	2 ตัว
$R_{14}, R_{15}, R_{16}, R_{17}$	56 k Ω	1/4 W	5%	4 ตัว
R_{18}	22 k Ω	1/4 W	5%	1 ตัว
R_{19}	360 k Ω	1/4 W	5%	1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

$C_1, C_3, C_{10}, C_{13}, C_{16}$	0.1 μ F	50 V	เซรามิก	5 ตัว
C_2	0.001 μ F	100 V	โพลีเอสเตอร์	1 ตัว
C_4	2.2 μ F	16 V	อิเล็กโทรไลต์	1 ตัว
C_5	2200 μ F	25 V	อิเล็กโทรไลต์	1 ตัว
$C_6 - C_9$	470 pF	100 V	เซรามิก	4 ตัว
C_{11}, C_{14}	1000 μ F	100 V	อิเล็กโทรไลต์	2 ตัว
C_{12}, C_{15}	2200 μ F	100 V	อิเล็กโทรไลต์	2 ตัว
C_{17}	100 μ F	25 V	อิเล็กโทรไลต์	1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

$D_1 - D_5, D_{10} - D_{11}$	1N4148	7 ตัว
$D_6 - D_9$	BYW29	4 ตัว
ZD_1, ZD_2	ซีเนอร์ไดโอด 30 V 1/2 W	2 ตัว
$Q_1 - Q_4$	MTP16N05	4 ตัว
Q_5	BC547	1 ตัว
Q_6	BD682	1 ตัว
IC_1	LM334Z	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IC ₂	LM358	1 ตัว
IC ₃	SG3524	1 ตัว
IC ₄ , IC ₅	MC14049	2 ตัว

อุปกรณ์อื่นๆ

T₁ หม้อแปลงใช้แกนเฟอร์ไรท์ รุ่น EE 55 พร้อม บ็อบบิน

L₁ , L₂ ขดลวดใช้แกนเทอร์รอยด์ รุ่น TRB24×15×10

L₃ ขดลวดใช้แกนเทอร์รอยด์ รุ่น TRB22×14×8

VR₁ ตัวต้านทานปรับค่าแบบเกือกม้า ค่า 470 Ω

VR₂ ตัวต้านทานปรับค่าแบบเกือกม้า ค่า 4.7 kΩ

VR₃ ตัวต้านทานปรับค่าแบบเกือกม้า ค่า 47 kΩ

F₁ กระจุกฟิวส์ใหญ่พร้อมฟิวส์ 15 A

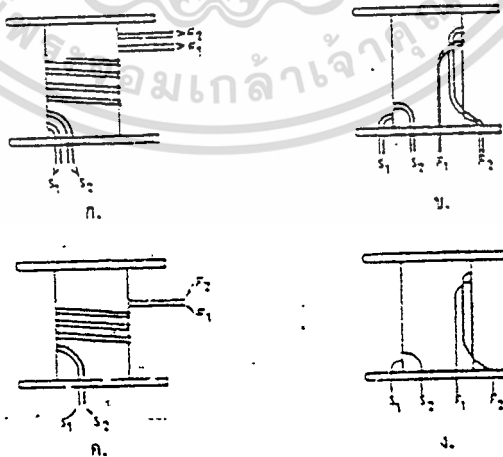
ซีดกเกิดไอซี 8 ขา

ซีดกเกิดไอซี 16 ขา

แผงระบายความร้อน

แผ่นไมก้ารองทรานซิสเตอร์ TO-220

ลวดทองแดงอาบน้ำยาเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 มม. และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 มม



รูปที่ 5.24. แสดงวิธีการพันขดลวดหม้อแปลง T₁ (S หมายถึง Start F หมายถึง Finish)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพันหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรท์ และ ขดลวดเหนี่ยวนำ

ขดลวด L_1 ใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 มม. พันบนแกนทอรอยด์ TRB24×15×10 ให้ได้ 27 รอบ ก่อนพันควรใช้ฉนวนพันรอบแกนก่อนเพื่อไม่ให้ขดลวดทองแดงชุกกับแกนจนถลอก ซึ่งอาจเกิดการ short turn ขึ้นได้

ขดลวด L_2 และ L_3 ใช้ขดลวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม. ยาวประมาณ 2 เมตร พันบนแกนทอรอยด์ TRB22×14×8 ให้ได้ 37 รอบ ควรพันฉนวนที่แกนก่อนเช่นกัน

หม้อแปลง T_1 ใช้แกนเฟอร์ไรท์ EE ขนาด 55 มม.× 55 มม.× 20 มม. (EE 55) พร้อมบีโอบบิ้นพลาสติก การพันให้ดูรูปที่ 5.35. ประกอบ อักษร S ย่อมาจาก Start ส่วน F ย่อมาจาก Finish ตัวเลขที่ห้อยท้ายหมายถึงขดของขดลวด

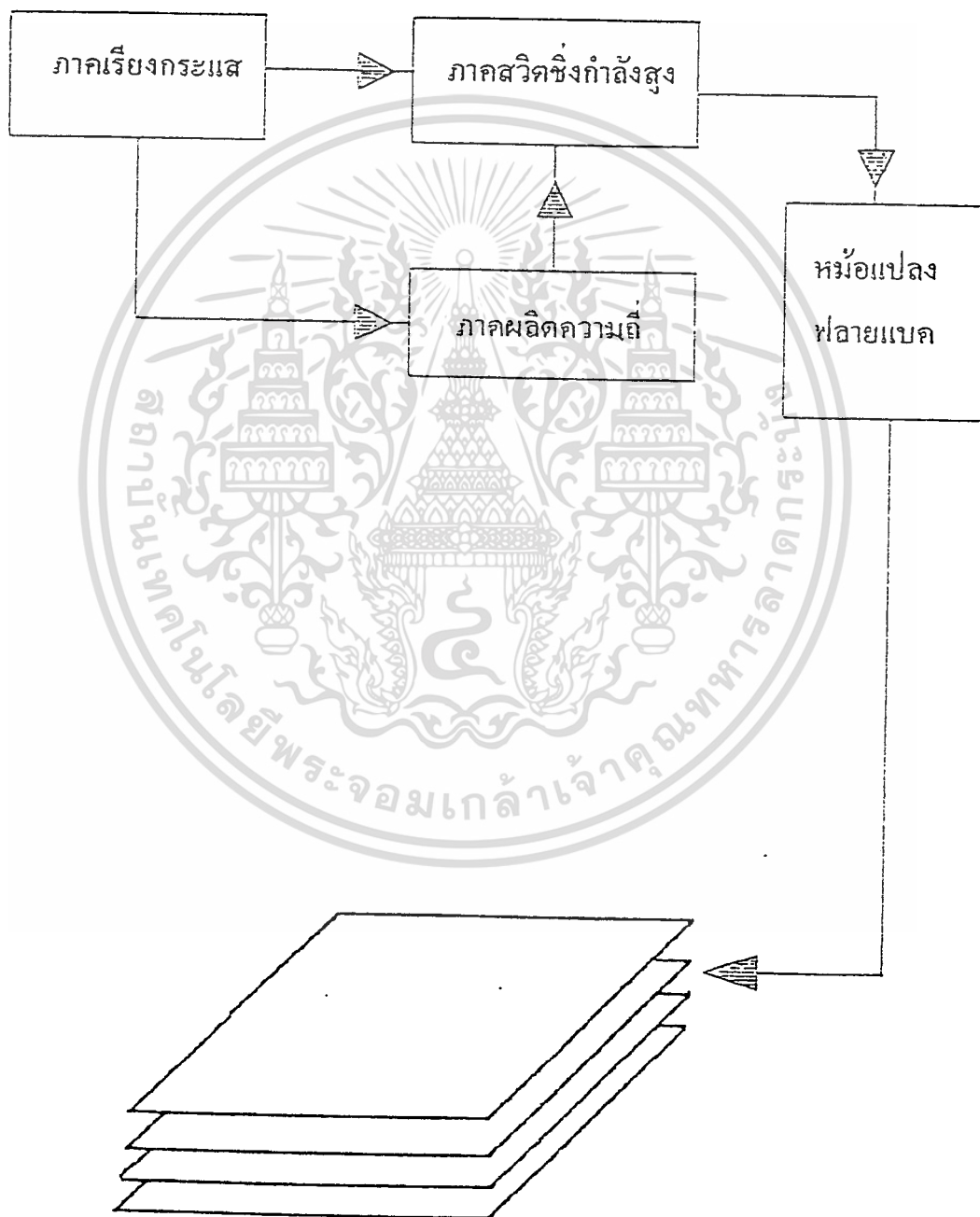
เริ่มที่ขดลวดไพรมารี ใช้ลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 มม. แต่ละขดใช้ลวด 2 เส้นคู่ และพันพร้อมกันทั้ง 2 ขด รวมแล้วต้องพันพร้อมกัน 4 เส้น พันให้ได้จำนวน 5 รอบครึ่ง (ขาดเหลือนิดหน่อยไม่เป็นไร) เสร็จแล้วรวมปลายดังรูปที่ 5.35 ข. แล้วพันรอบด้วยฉนวน ไมลาร์ อีกครั้งค้อยพันขดเซคันดารี

ทางด้านเซคันดารี ใช้ลวดขนาดเดิม (1.25 มม.) ด้านนี้ใช้ขดลวดเส้นเดียวแต่พันพร้อมกัน 2 ขด นั่นคือพันพร้อมกัน 2 เส้น ตามรูป พันให้ได้เท่ากับ 34 รอบ เสร็จแล้วดึงปลายลงมาเป็นจุดต่อดังรูปที่ 5.24 ง. แล้วพันฉนวน ทับอีกครั้ง เสร็จแล้วเสียบบีโอบบิ้นลงในแกนแล้วยึดแกนด้วย กาว

การปรับแต่งส่วนคอนโทรล จุดที่ต้องมีการปรับแต่งมี 3 จุด จุดแรก VR_3 ใช้ปรับให้ได้แรงดันออก ± 75 V ซึ่งในการปรับครั้งแรกต้องปรับ VR_1 ตามเข็มนาฬิกาจนสุด และ VR_2 หมุนทวนเข็มสุดก่อน VR_2 ใช้ปรับแรงดันเบตเตอร์รีด้าสุดที่ยอมให้วงจรทำงาน ควรตั้งไว้ที่ 11.5 V จ่ายให้กับคอนเวอร์เตอร์แล้วใช้โวลท์มิเตอร์วัดแรงดันเอาท์พุทปรับ VR_2 กลับมาที่ละนิคจนกระทั่ง แรงดันเอาท์พุทตกลงเกือบเป็นศูนย์โวลท์ ทางด้าน VR_1 ใช้ปรับจุดตัดอุณหภูมิสูงเกิน กำหนดไว้ที่อุณหภูมิ 95 °C โดยการตรวจจากแรงดันคร่อม R_1 วิธีการคำนวณให้หาอุณหภูมิแวดล้อมในขณะนั้นบวกกับ 273 แล้วคูณด้วยแรงดันอ้างอิงจาก IC_3 ที่ขา 16 ได้เท่าไรหารด้วย $(273+95)$ จะได้แรงดันอยู่ในช่วง 4-5 โวลท์ ให้ปรับ VR_1 จนได้แรงดันคร่อม R_1 เท่ากับแรงดันที่กำหนด

5.6 เครื่องผลิตไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง

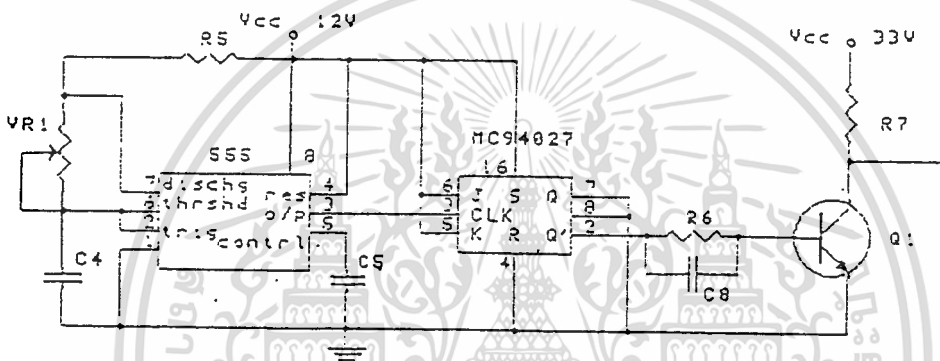
หลักการทำงานของวงจรฟลายแบค การทำงานของจะมีหลักการเป็นแบบเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ(AC to AC คอนเวอร์เตอร์) แล้วทำการแปลงจากไฟสลับเป็นไฟตรงที่มีแรงดันสูงโดยใช้ไดโอดเรียงกระแส ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 5.25



แผ่นอิเลกโทรด

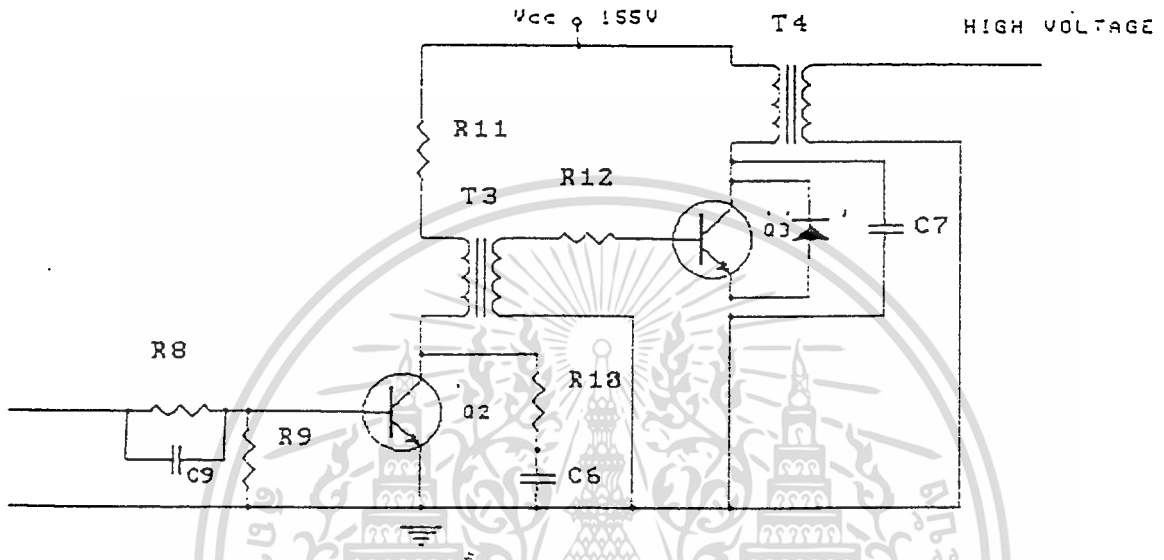
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.25 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องผลิตไฮโวลเตจ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผลิตความถี่จะผลิตความถี่ค่าประมาณ 15.625 kHz ซึ่งเป็นค่าความถี่ใช้งานของฟลายแบคโดยใช้ไอซีเบอร์ 555 ซึ่งต่อให้ทำงานเป็นวงจรมัลติไวเบเรเตอร์แบบไม่เสถียร ค่าของความถี่จะถูกกำหนดโดยตัวต้านทาน R5, VR1 และ C4 ซึ่งค่าความถี่ที่ผลิตออกมาจะมีค่าประมาณ 31.25 kHz แล้วป้อนให้แก่ไอซีเบอร์ 4027 ซึ่งเป็นฟลิป-ฟลอปแบบซิมอสทำหน้าที่จำกัดค่าตัวดีไซเคลให้ได้ 50 เปอร์เซ็นต์จากนั้นก็ป้อนต่อกับทรานซิสเตอร์สวิตช์ Q1 ทรานซิสเตอร์ Q2 เป็นภาคขับหม้อแปลงเอาท์พุทหม้อแปลง T3 นี้จะเป็นตัวขับทรานซิสเตอร์กำลังในภาคสวิตซึ่งกำลังสูงสำหรับวงจรดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.26



รูปที่ 5.26 วงจรของภาคผลิตความถี่

ภาคสวิตซึ่งกำลังสูง ภาคนี้จะทำการเปลี่ยนไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับตามค่าความถี่ที่ได้รับจากภาคผลิตความถี่เพื่อป้อนแก่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลงฟลายแบค อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ก็คือทรานซิสเตอร์กำลัง Q3 แต่เนื่องจากทรานซิสเตอร์ภาคกำลังที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีค่าอัตราขยายต่ำมาก จำเป็นจะต้องจ่ายกระแสที่เบสสูงจึงต้องมีวงจรขับอันประกอบด้วย Q2 และ T3 ซึ่งจะอธิบายการทำงานของวงจรดังในรูปที่ 5.27 ได้ดังนี้คือสัญญาณที่ส่งถ่ายมาจากภาคผลิตความถี่(ขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q1) จะถูกป้อนเข้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 ซึ่งทรานซิสเตอร์ Q2 นี้จะเป็นตัวขับให้หม้อแปลง T3 ทำงานทำให้มีสัญญาณไปป้อนให้แก่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q3 สำหรับ ตัวต้านทาน R11 ตัวเก็บประจุ C6 และ C7 นั้นจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองทำงานเป็นสวิตช์ได้ดียิ่งขึ้น ส่วนขดลวดซึ่งจะต้องเป็นไดโอดชนิดที่ใช้กับความถี่สูง ๆ หรือ ฟาส์รีคัฟเวอรี ไดโอด สำหรับรูปวงจรแสดงไว้ในรูปที่ 5.27



รูปที่ 5.27 วงจรสวิตชิงกำลังและฟลายแบค

รายการอุปกรณ์

R1 = วาร์ริสเตอร์ (Varistor) เบอร์ S20k250

R2 , R3 = 100 kohm 10 W 5%

R4 = 3.3 kohm 1/2 W 5%

R5 = 2.2 kohm 1/4 W 5%

R6 = 10 kohm 1/4 W 5%

R7 = 560 ohm 1/4 W 5%

R8 = 470 ohm 1/4 W 5%

R9 = 220 ohm 1/4 W 5%

R10 = 1.2 kohm 10 W 5%

R11 = 3.9 kohm 2 W 5%

R12 = 100 ohm 2 W 5%

VR1 = 5 kohm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C1 = 1200 μ F 200 V. อิเล็กโตรไลต์

C2 = 2200 μ F 50 V. อิเล็กโตรไลต์

C3 = 220 μ F 16 V. อิเล็กโตรไลต์

C4 = 0.01 μ F 50 V. ไมล่ำ

C5 = 0.01 μ F 50 V. ไมล่ำ

C6 = 1.46 μ F 2000 V. เซรามิก

C7 = 5.5 nF 2000 V. เซรามิก

C8 = 1200 nF 50 V. ไมล่ำ

C9 = 1200 nF 50 V. ไมล่ำ

D1-D8 = ซีเนอร์ไดโอด 24 V

Q1 = 2SC1687

Q2 = 2SC1573

Q3 = 2SD1886

IC₁ = Timer 555

IC₂ = MC14027

T3 = หม้อแปลงฮอว์ไควร์ (H drive)

T4 = หม้อแปลง ฟลายแบคของเนชั่นแนล เบอร์ TFL 14610F

ฟิวส์ 500 มิลลิแอมป์



บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง

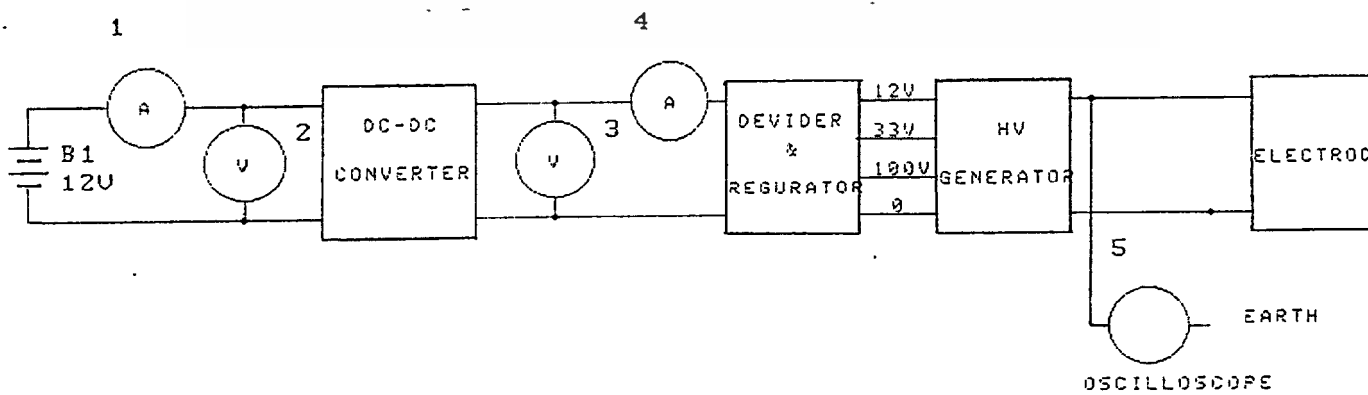
6.1 การทดลองหาประสิทธิภาพของดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์

รายการอุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดวงจร ดีซีทูดีซี คอนเวอร์เตอร์	1 เครื่อง
2. ชุดวงจรผลิต ไฮ โวลเตจ	1 เครื่อง
3. ชุดวงจรแบ่งแรงดันและรักษาระดับแรงดัน	1 เครื่อง
4. แผงอิเล็กทรอนิกส์	1 แผง
5. แบตเตอรี่ 12V 55AH	1 ลูก
6. โวลมิเตอร์	1 เครื่อง
7. แอมมิเตอร์	1 เครื่อง
8. ออสซิลโลสโคป	1 เครื่อง
9. โพรบไฮ โวลท์(Probe HV× 1000)	1 ชุด
10. กล่องต่อสาย(Junction Box)	2 ชุด
11. สายไฟ	20 เส้น

ขั้นตอนการทดลอง

1.ต่อวงจรตามรูปที่ 6.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะที่ห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัดแรงดันและกระแสที่จุดต่าง ๆ ดังรูปโดยใช้ โวลท์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์ และ ออสซิลโลสโคป

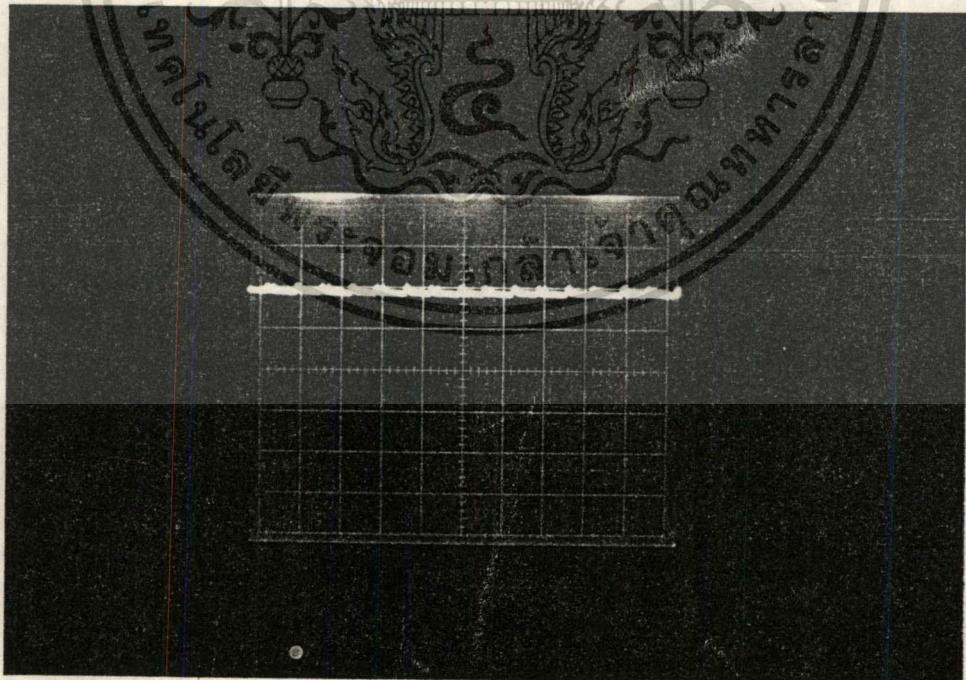
ผลการทดลอง

	V	A
กระแสและแรงดันทางด้าน i/p ของชุดวงจร ดีซีทูดีซี คอนเวอร์เตอร์	12 V	2.16 A
กระแสและแรงดันทางด้าน o/p ของชุดวงจร ดีซีทูดีซี คอนเวอร์เตอร์	100 V	248 mA

ตารางที่ 6.1 แสดงผลการทดลองหาประสิทธิภาพของ DC คอนเวอร์เตอร์

$$\text{ประสิทธิภาพของ ดีซีทูดีซี คอนเวอร์เตอร์} = \frac{100 \times 248 \times 10^{-3}}{12 \times 2.16} = 94.6\%$$

ที่ออสซิลโลสโคปสามารถวัดแรงดันได้ดังรูป



รูปที่ 6.2 แสดงแรงดันทางด้าน o/p ของวงจร HV GENERATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ระบบเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8 kV(peak) 5 kHz

สรุปผลการทดลอง

เมื่อป้อนแรงดัน 12 V. จากแบตเตอรี่ให้กับชุดวงจร ดิจิทัลดีซี คอนเวอร์เตอร์ สามารถแปลงแรงดันเป็น 100 V. ซึ่งเป็นแรงดันที่ต้องป้อนให้กับหม้อแปลงฟลายแบ็คในชุดวงจรผลิตไฟฟ้าแรงสูงซึ่งประสิทธิภาพของวงจรนี้ถือว่าสูงมากเหมาะที่จะใช้กับแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์

วิจารณ์ผลการทดลอง

เมื่อป้อนแรงดันสูงที่มาจากชุดวงจรผลิตไฟฟ้าแรงสูงให้กับอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ จะเกิดปรากฏการณ์โคโรนาและ จะมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาจาก ซึ่งมารบกวนออสซิลโลสโคปทำให้รูปคลื่นที่ได้จากออสซิลโลสโคปอาจมีการผิดพลาดได้

การวัดปริมาณไอโซน

การวัดปริมาณไอโซนที่เกิดขึ้นมาจากแสงอิเล็กทรอนิกส์นั้น ได้ทำการศึกษาในหลาย ๆ รูปแบบแต่วิธีที่ง่ายและสามารถหาได้นั้นจะเป็นการทดลองทางกระบวนการเคมีโดยได้ติดต่อผ่านทางคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีวิธีการทดลองเพื่อวัดปริมาณ ไอโซนดังต่อไปนี้

สารที่ต้องเตรียม

1. สารละลาย โปตัสเซียม ไอโอไดด์ (Potassium iodide solution)

สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์(KI) 20 g ในน้ำกลั่น 1 L (น้ำกลั่นต้องต้มให้เดือดแล้วทิ้งไว้ให้เย็นจึงนำมาใช้ได้) เก็บไว้ในขวดสีชาอย่างน้อย 1 คืน จึงจะนำมาทดลองได้

2. กรดซัลฟูริก 1 N (Sulfuric acid , H_2SO_4 , 1 Normal)

3. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 M (Standard sodium thiosulfate titrant 0.1Mol)

ละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$)จำนวน 25 g ในน้ำกลั่น 1 L ถ้าจะทำให้ได้มาตรฐานต้องทำสแตนดาร์ด ไคซ์ (Standardize)กับโพแทสเซียมไบโอไอเดต(Potassium biiodate) หรือโพแทสเซียมไดโครเมต(Potassium dichromate)

4. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.005 M (Standard sodium thiosulfate titrant 0.005 Mol)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1 M ที่เตรียมไว้ 50 mL มาเจือจางให้เป็น 1000 mL สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องมาก ๆ ต้องทำสแตนดาร์ดโคซ์สารละลายที่จะนำมาใช้งานนี้วันต่อวัน กับสารละลายโพแทสเซียมไบโอไอโอดีด หรือสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.005 M

5. น้ำแป้ง (Starch indicator solution)

เตรียมน้ำแป้งโดยละลายแป้ง 5 g ในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดแล้วให้มีปริมาตร 800 mL โดยประมาณ จากนั้นเจือจางให้เป็น 1 L ทิ้งไว้ข้ามคืน

หยดกรดซาลิซิลิก (Salicylic) 1.25 g/L หรือเติมโทลูอีน (toluene) เล็กน้อยเพื่อให้เก็บไว้ได้นาน

6. สารละลายมาตรฐานไอโอดีด 0.1 M (Standard iodine 0.1 M)

ละลาย KI 40 g ในน้ำกลั่น 25 mL และเติมเกล็ดไฮโอไดน ปริสุทธิ์ 13 g ร่อนละลายหมดแล้วเจือจางให้เป็น 1 L แล้วสแตนดาร์ดโคซ์

7. สารละลายมาตรฐานไอโอดีด 0.005 M

ละลาย KI 16 g ในน้ำกลั่นเล็กน้อย ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 L จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานไอโอดีด 0.1 M ปริมาตร 50 mL แล้วเจือจางให้เป็น 1 L

สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง ให้ทำสแตนดาร์ดโคซ์วันต่อวันที่ใช้งาน เก็บไว้ในขวดสีชาในที่มืดไม่ให้โดนแสงแดดและไม่ให้สัมผัสกับสารจำพวกยาง

หมายเหตุ ข้อ 6 และข้อ 7 การเตรียมไอโอดีดจะต้องระมัดระวังเพราะเป็นสารเคมีที่อันตราย ควรอยู่ภายใต้การควบคุมของนักวิทยาศาสตร์ที่มีความเชี่ยวชาญ

กระบวนการทดลอง

1. นำสารละลายโพแทสเซียมไอโอดีด (KI sol^n) 100 mL ใส่ใน flask (ขวดรูปกรวย) ปริมาตร 250 mL

2. วัดค่าศักดาไฟฟ้า และกระแส ด้าน อินพุทของดีซีคอนเวอร์เตอร์ และศักดาไฟฟ้าด้านเอาต์พุทของดีซีคอนเวอร์เตอร์ ตามรูปการทดลอง บันทึกผล

3. เปิดพัดลมพ่นไอโซนลงในสารละลายโพแทสเซียมไอโอดีด เป็นเวลา 5 นาที

4. นำสารละลายโพแทสเซียมไอโอดีดที่ผ่านการพ่นไอโซน 5 นาที ไปไทเทรต กับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ sol}^n$ 0.005 M) บันทึกค่าสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คำนวณหาปริมาณโอโซนที่ได้ในเวลา 5 นาที จากสูตร

$$\text{mg O}_3/\text{L} = \{(A+B)*M*24000\}/\text{mL Sample}$$

A : mL titrant for sample

B : mL titrant for blank

M : molarity of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

(รายละเอียดการหาปริมาณโอโซนดูได้จากภาคผนวก)

6. ปริมาณโอโซนที่ได้เป็นปริมาณที่เกิดขึ้นในช่วง 5 นาที มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม (mg O_3 /L/ 5 minutes)

นำไปคำนวณเป็นค่า mg O_3 /5 min โดยหารด้วย 10

นำไปคำนวณเป็นค่า mg O_3 / hr โดยคูณค่า mg O_3 /5 min ด้วย 12

นำไปคำนวณเป็นค่า mg O_3 / Whr โดยหาร mg O_3 / hr ด้วย ด้าน

อินพุทของคีย์คอนเวอร์เตอร์

7. บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การสแตนด์ไรซ์(Standardize)

สารละลายเคมี

1. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 F ละลาย 25 กรัมของโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดแล้วและทำให้เย็นใหม่ ๆ เติม 0.1 กรัมของโซเดียมคาร์บอเนตลงไปแล้วทำให้มีปริมาตรของสารละลายเป็น 1 ลิตร เก็บสารละลายนี้ในขวดสีน้ำตาล สารละลายนี้ควรไทเทรตหาความเข้มข้นก่อนใช้ทุกวัน

2. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดตเข้มข้น 1/60 F นำโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) ไปทำให้แห้งในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาทำให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ ชั่งโพแทสเซียมไอโอเดตให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนและใกล้เคียงกับ 0.365 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและทำให้สารละลายมีปริมาตร 100 cm^3 ในขวดวัดปริมาตร คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายนี้

3. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 10 ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 10 กรัมในน้ำกลั่น 100 cm^3

4. น้ำแป้ง นำ 1.0 กรัมของแป้งที่ละลายน้ำได้ (soluble starch) มาละลายในน้ำเล็กน้อย คนให้เป็นแป้งเปียกในบีกเกอร์ขนาด 250 cm³ เทน้ำร้อนที่เดือด 100 cm³ ลงไปแล้วคนให้แป้งละลาย ต้มสารละลายที่ได้ 1 นาทีแล้วทำให้เย็น เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2 กรัม คนสารละลายที่ได้ผสมกันแล้วเก็บไว้ในขวดที่มีจุกอุด (ถ้าต้องการใช้สารละลายนี้เป็นเวลานานหลายเดือน ควรเติมเมอร์คิวรี(II)ไอโอไดด์แทนโพแทสเซียมไอโอไดด์

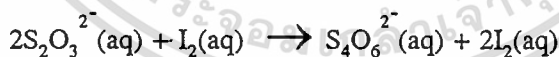
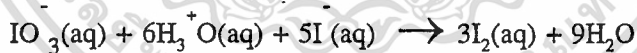
ใช้สารละลายน้ำแป้ง 2 cm³ เป็นอินดิเคเตอร์ในการไทเทรตแต่ละครั้ง และจะต้องไม่ใส่น้ำแป้งจนกว่าเกือบจะถึงจุดยุติเพราะจะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสีได้ชัดเจน ถ้าเติมแป้งลงไปขณะที่ไอโอดีนมีความเข้มข้นสูง ไอโอดีนอาจถูกดูดซับบนสารที่มีสี

5. สารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.1 F

วิธีทดลอง

เปิดสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตมา 25.0 cm³ ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 250 cm³ เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 10 cm³ และสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1F

ปริมาตร 5 cm³ นำสารละลายที่ได้มาไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจากบิวเรตจนสารละลายที่ได้มีสีจางอ่อน เติมน้ำแป้ง 2 cm³ จะได้สารละลายสีน้ำเงิน นำไปไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหายไป ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง ผลที่ได้ไม่ควรแตกต่างกันเกิน 0.1 cm³ กำหนดหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจากสมการข้างล่าง



จากสมการทั้งสองนี้และอาศัยมวลสารสัมพันธ์ จะได้

$$[\text{จำนวน โมลของ } \text{I}_2 / \text{จำนวน โมลของ } \text{KIO}_3] = 3/1$$

$$[\text{จำนวน โมลของ } \text{I}_2 / \text{จำนวน โมลของ } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] = 1/2$$

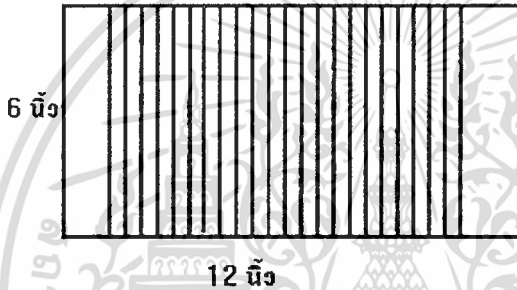
$$[\text{จำนวน โมลของ } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 / \text{จำนวน โมลของ } \text{KIO}_3] = 6/1$$

6.2 การทดลองเพื่อเลือกแบบของแผงอิเล็กทรอนิกส์

แผงอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ทดลองสร้างมี 3 แบบ แบบละ 4 ชุด

1.แผงอิเล็กทรอนิกส์แบบเส้น

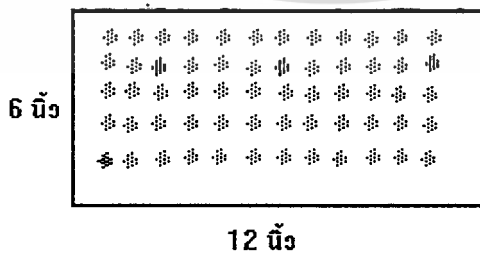
เป็นแผงอิเล็กทรอนิกส์แทนสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยซึ่งตัวแผงทำจาก แผ่นลายนพรีนทองแดงหน้าเดียวไว้สำหรับให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ ส่วนอีกด้านทำการเดินเส้นลวดทองแดงขนาดเล็ก เพื่อให้เป็นตัวกำเนิดสนามไฟฟ้าเพื่อสร้างไอโซนออกมา



รูปที่ 6.3 แสดงแผงอิเล็กทรอนิกส์แบบเส้น

2.แผงอิเล็กทรอนิกส์แบบจุด

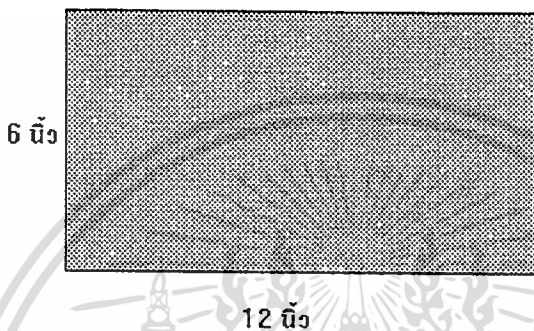
เป็นแผงอิเล็กทรอนิกส์แบบสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง ซึ่งทำจากขดลวดแบบฝอย สร้างสนามไฟฟ้าแล้วกำเนิดไอโซนออกมา ส่วนแผงนั้นทำจากแผ่นลายนพรีนเช่นกันเพื่อสามารถใช้เป็นทางเดินไฟฟ้าได้



รูปที่ 6.4 แสดงแผงอิเล็กทรอนิกส์แบบจุด

3. แผงอิเล็กโทรดแบบเรียบ

ทำมาจากแผ่นลายนพรีนทองแดงซึ่งใช้แทนสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ โดยใช้ทำเป็นทั้งอิเล็กโทรดสำหรับจ่ายไฟและเป็นอิเล็กโทรดที่เป็นกราวนด์ด้วย



รูปที่ 6.5 แสดงแผงอิเล็กโทรดแบบระนาบ

ผลการทดลอง

แบบอิเล็กโทรด	gap (cm.)	kV.	mA.	Watt	mgO ₃ /hr	mgO ₃ /Whr
อิเล็กโทรดแบบจุด	1.0	13.2	1.2	15.84	2.04	0.129
อิเล็กโทรดแบบ(เคลือบ ฉนวน)	1.0	16.1	0.24	4.86	0.06	0.012
อิเล็กโทรดแบบ(ไม้ เคลือบฉนวน)	1.0	18.3	0.6	10.98	0.12	0.011
อิเล็กโทรดแบบระนาบ	1.0	24.1	0.15	3.62	0.03	0.008

ตารางที่ 6.2 แสดงผลการทดลองของแผงอิเล็กโทรดแบบต่าง ๆ

หมายเหตุ * แหล่งจ่ายใช้เครื่องผลิตไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง

* ค่า kV และค่า mA คือค่าศักดาไฟฟ้าและกระแสสูงสุดที่ปรับได้ก่อนเกิดเบรคดาวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองค่า kV สูงสุดของแผงอิเล็กโตรดแต่ละแบบที่ปรับได้ เรียงตามลำดับ จากสูงสุดไปต่ำสุดคือ 1. แบบระนาบ 2. แบบเส้น(ไม่เคลือบฉนวน) 3. แบบเส้น(เคลือบฉนวน) 4.แบบจุดเมื่อ gap = 1.0 cm. เท่ากัน แสดงว่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการเบรกดาวน์

$E_b = \frac{V}{d}$ เรียงตามลำดับจากสูงสุดไปต่ำสุดคือ 1. แบบระนาบ 2. แบบเส้น(ไม่เคลือบฉนวน)

3. แบบเส้น(เคลือบฉนวน) 4. แบบจุด เช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณากระแสและกำลังไฟฟ้าพบว่า ปริมาณโอโซนเพิ่มขึ้นตามกระแสและกำลังไฟฟ้า ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากโอโซนเกิดจากปรากฏการณ์โคโรนา และ โคโรนาทำให้เกิดการสูญเสียในระบบไฟฟ้า นั่นคือเมื่อต้องการให้เกิดโอโซนมาก จึงต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น

เมื่อใช้แผงอิเล็กโตรดที่มีพื้นที่เท่ากัน (6 นิ้ว × 12 นิ้ว) จำนวนแผงเท่ากัน(4 แผง) และ ระยะ gap เท่ากัน(1.0 cm.) พบว่า อิเล็กโตรดแบบที่ทำให้เกิดโอโซนมากที่สุด (ค่า mgO_3/hr สูงที่สุด) คือแบบจุดเทียบกับพลังงานที่ให้ (ค่า mgO_3/Whr สูงที่สุด) คือแบบจุด เช่นเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าควรใช้แผงอิเล็กโตรดแบบจุด กับใช้ระนาบเป็นกราวด์ ในเครื่องผลิตโอโซน

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. ปริมาณโอโซนที่วัดได้เป็นปริมาณโอโซนที่ละลายในน้ำในช่วงเวลาที่ทดลองไม่ใช่ ปริมาณโอโซนที่ผลิตจริงจากเครื่อง เนื่องจากใช้การวัดทางเคมี โดยให้โอโซนทำปฏิกิริยากับสารละลาย KI แล้วนำมาไตเตรทเพื่อหาปริมาณโอโซน

2. ปริมาณโอโซนที่ได้น้อยมาก อาจเนื่องมาจาก

2.1 จำนวนอิเล็กโตรดน้อยเกินไป

2.2 ปัญหาเนื่องจากแผงอิเล็กโตรดที่ใช้คือ

- อิเล็กโตรดแบบใช้เส้นลวดตัวนำจากสายไฟขนาดเล็กซึ่งอาจมีบางจุดที่ไม่เรียบและเกิดโคโรนาก่อนเพียงบางจุด
- บริเวณขอบของแผงอิเล็กโตรดมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่น และมักเกิดโคโรนาก่อนบริเวณอื่น

6.3 การทดลองเพื่อหาระยะ gap ที่เหมาะสม

ได้ทำการทดลองวัดผลปริมาณโอโซนที่ได้จากการใช้แผงอิเล็กโตรดปลายแหลม จำนวน

5 แผง โดยใช้ไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงจากห้องทดลอง ป้อนแล้วได้ทำการปรับ gap ที่ระยะต่าง ๆ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วทำการวัดปริมาณ โอโซนที่ได้เปรียบเทียบกับที่แรงดันค่าต่าง ๆ และได้ทำการสลับหาตำแหน่งของพัดลมเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด

ผลการทดลอง

T = 25 °C H = 65 % gap =0.5 cm. พัดลมอยู่ด้านลมเข้า

kV	mA	Watt	mg O ₃ /hr	mg O ₃ /Whr
8.4	6	50.4	4.176	0.083
12.0	12	144.0	9.072	0.063

ตารางที่ 6.3 แสดงผลการทดลองเรื่องเมื่อ gap =0.5 cm พัดลมอยู่ด้านลมเข้า

T = 25 °C H = 65 % gap =0.5 cm. พัดลมอยู่ด้านลมออก

kV	mA	Watt	mg O ₃ /hr	mg O ₃ /Whr
8.4	6	50.4	4.68	0.093
12.0	12	144.0	11.448	0.079

ตารางที่ 6.4 แสดงผลการทดลองเรื่องเมื่อ gap =0.5 cm พัดลมอยู่ด้านลมออก

T = 24.5 °C H = 72 % gap =0.9 cm. พัดลมอยู่ด้านลมเข้า

kV	mA	Watt	mg O ₃ /hr	mg O ₃ /Whr
12.6	6	75.6	4.752	0.063
16.5	12	198	11.304	0.057

ตารางที่ 6.4 แสดงผลการทดลองเรื่องเมื่อ gap =0.9 cm พัดลมอยู่ด้านลมเข้า

T = 24.5 °C H = 72 % gap = 0.9 cm. พัดลมอยู่ด้านลมออก

kV	mA	Watt	mg O ₃ /hr	mg O ₃ /Whr
12.6	6	75.6	3.024	0.040
16.5	12	198	10.08	0.051

ตารางที่ 6.5 แสดงผลการทดลองเรื่องเมื่อ gap = 0.9 cm พัดลมอยู่ด้านลมออก

T = 25 °C H = 73 % gap = 1.3 cm. พัดลมอยู่ด้านลมเข้า

kV	mA	Watt	mg O ₃ /hr	mg O ₃ /Whr
16.8	6	100.8	4.536	0.045
21	12	252	17.208	0.068

ตารางที่ 6.6 แสดงผลการทดลองเรื่องเมื่อ gap = 1.3 cm พัดลมอยู่ด้านลมเข้า

T = 25 °C H = 73 % gap = 1.3 cm. พัดลมอยู่ด้านลมออก

kV	mA	Watt	mg O ₃ /hr	mg O ₃ /Whr
16.8	6	99	5.832	0.059
21	12	248.4	16.128	0.065

ตารางที่ 6.7 แสดงผลการทดลองเรื่องเมื่อ gap = 1.3 cm พัดลมอยู่ด้านลมออก

วิเคราะห์ผลการทดลอง

1. การหาปริมาณโอโซน คำนวณได้จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$mgO_3 / L = \frac{(A \pm B) \times M \times 24000}{mL \text{ sample}}$$

A: mL titrant for sample

B: mL titrant for blank

M: molarity of $Na_2S_2O_3$

เช่นเมื่อ gap = 0.5 cm. พัดลมอยู่ด้านหน้าใช้ $Na_2S_2O_3$ ความเข้มข้น 0.005 mol/L = 6.5 mL blank
test = 0.7 mL ปริมาณ KI = 100 mL ใช้เวลาทดลอง 10 นาที แทนในสูตรได้ดังนี้

$$mgO_3 / L = \frac{(6.5 - 0.7) \times 0.005 \times 24000}{100}$$

$$= 6.96$$

แปลงหน่วยเป็น $mgO_3 / hr = 6.96 \times \left(\frac{60 \text{ min} \times 100 \text{ mL}}{10 \text{ min} \times 1000 \text{ mL}} \right) = 4.176$

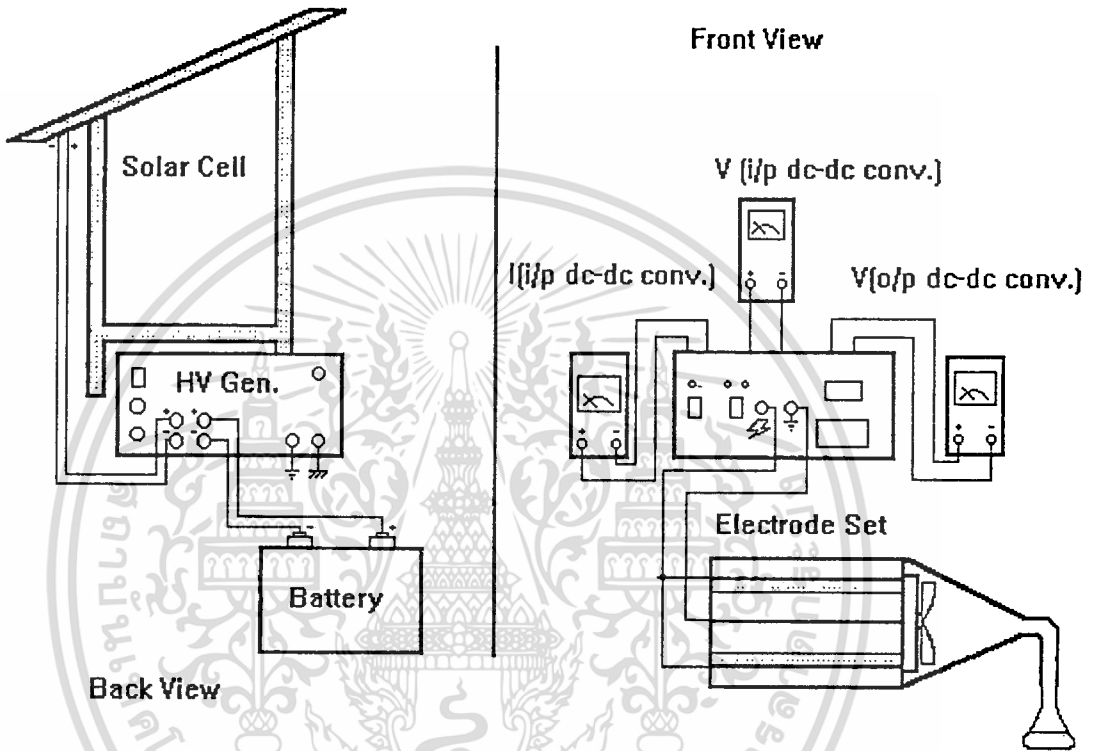
2. สังเกตว่าเมื่อจำนวนแผงฮีเลตโตรดเท่ากับ 5 แผงเท่ากัน เมื่อ $I = 12 \text{ mA}$ จำนวนจุดที่เกิดโคโรนา(เกิดแสงสีม่วง) มีมากกว่าขณะที่ $I = 6 \text{ mA}$ มาก และความเข้มแสงมากกว่าด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองขณะที่ $I = 12 \text{ mA}$ ปริมาณไอโซนที่เกิดขึ้นมากกว่า

3. เมื่อติดตั้งพัดลมไว้ด้านเข้าของอากาศ และ ด้านออกของอากาศ มีผลแตกต่างของปริมาณไอโซนน้อย ดังนั้นควรเลือกตำแหน่งติดตั้งตามความสะดวก

6.4 การทดลองเพื่อหาจำนวนแอมป์อิเล็กโตรด

วิธีการทดลอง

1. ต้องจรรยาตามรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 แสดงลักษณะการต่อวงจรของเครื่องในการทดลอง

2. เปิดเครื่อง โดยสับสวิทช์เลือกแหล่งจ่ายไปที่เซลล์แสงอาทิตย์
3. เพิ่มค่าแรงดัน HV เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยการปรับความถี่ด้วยความต้านทานปรับค่าได้ในวงจรฟลายแบคแต่พยายามอย่าให้ถึงจุดเบรคดาวน
4. บันทึกค่ากระแสและแรงดันทางด้าน อินพุท ของวงจร ดิซี-ดิซี คอนเวอร์เตอร์ และบันทึกแรงดันด้าน เอาท์พุทของวงจร ดิซี-ดิซี คอนเวอร์เตอร์
5. เปิดพัดลมพ่นไอโซนลงในสารละลาย โปตัสเซียมไอโอไดด์ เป็นเวลา 5 นาที
6. นำสารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ที่ผ่านการพ่นไอโซน ไปไทเทรต กับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต บันทึกค่าสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้
7. คำนวณหาปริมาณไอโซนโดยใช้สูตรจากการทดลองที่ 6.6
8. บันทึกผลการทดลองและบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

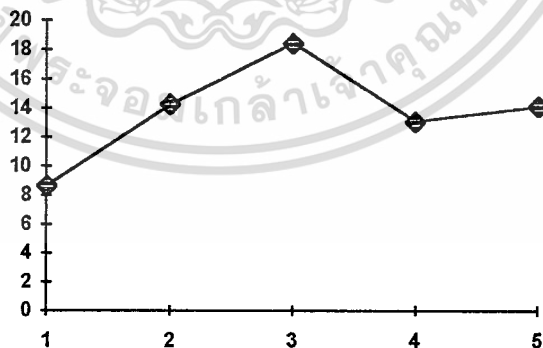
จำนวน แผง	T (°C)	H (%)	Input			mgO ₃ /hr	mgO ₃ /W hr
			V(volt)	I(amp)	P(Watts)		
1	29	83	12	2.4	28.8	8.64	0.300
2	30	75	11.9	2.3	27.37	14.256	0.521
3	30	75	12	2.2	26.4	18.432	0.698
4	30	75	12	2.1	25.2	13.104	0.520
5	30	75	12	1.9	22.8	14.112	0.619

ตารางที่ 6.9 แสดงผลการทดลองปริมาณโอโซนเทียบกับจำนวนแผงอิเล็กโตรด

วิเคราะห์ผลการทดลอง

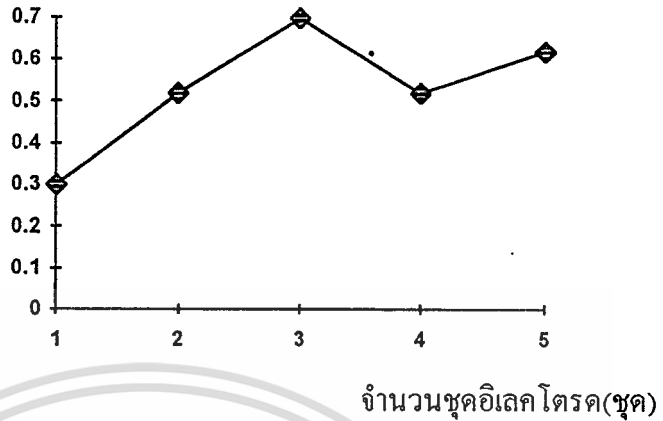
กราฟอัตราการเกิดโอโซน - จำนวนแผงอิเล็กโตรด

อัตราการเกิดโอโซน (mg O₃/hr)



จำนวนแผงอิเล็กโตรด(จุด)

อัตราการเกิดโอโซน/พลังงาน (mgO₃/Whr)



กราฟที่ 6.2 แสดงอัตราการเกิดโอโซนต่อพลังงานเทียบกับจำนวนแผงอิเล็กโตรด

จากกราฟอัตราการเกิดโอโซน-จำนวนชุดอิเล็กโตรดพบว่าอัตราการเกิดโอโซนเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนชุดอิเล็กโตรดเพิ่มจาก 1 ชุดไปจนถึง 3 ชุด แต่ลดลงเมื่อเพิ่มเป็น 4 ชุด และเพิ่มขึ้นจาก 4 ชุดเล็กน้อยเมื่อเพิ่มจำนวนอิเล็กโตรดเป็น 5 ชุด ซึ่งสอดคล้องกับกราฟอัตราการเกิดโอโซน/พลังงาน - จำนวนชุดอิเล็กโตรด

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการเกิดโอโซนและอัตราการเกิดโอโซนต่อพลังงานโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงในห้องทดลองไฟฟ้าแรงสูงเป็นแหล่งจ่าย และใช้จำนวนอิเล็กโตรด 5 ชุดเท่ากันดังนี้

Power supply	W	mgO ₃ /hr	mgO ₃ /Whr
DC HV Generator	248.4	16.128	0.065
วงจรที่สร้างขึ้น	22.8	14.112	0.619

ตารางที่ 6.10 แสดงปริมาณพลังงานที่ใช้ในการสร้างโอโซนของเครื่องกำเนิดโอโซนแต่ละแบบ

พบว่าอัตราการเกิดโอโซน/พลังงานของวงจรที่สร้างขึ้น เป็น 9.25 เท่าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ทั้งนี้เนื่องจากการที่ความสามารถในการกำเนิดโอโซนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ตามสมการ $Yield = k_2(feV^2)/d$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ f = ความถี่

k_2 = ค่าคงที่

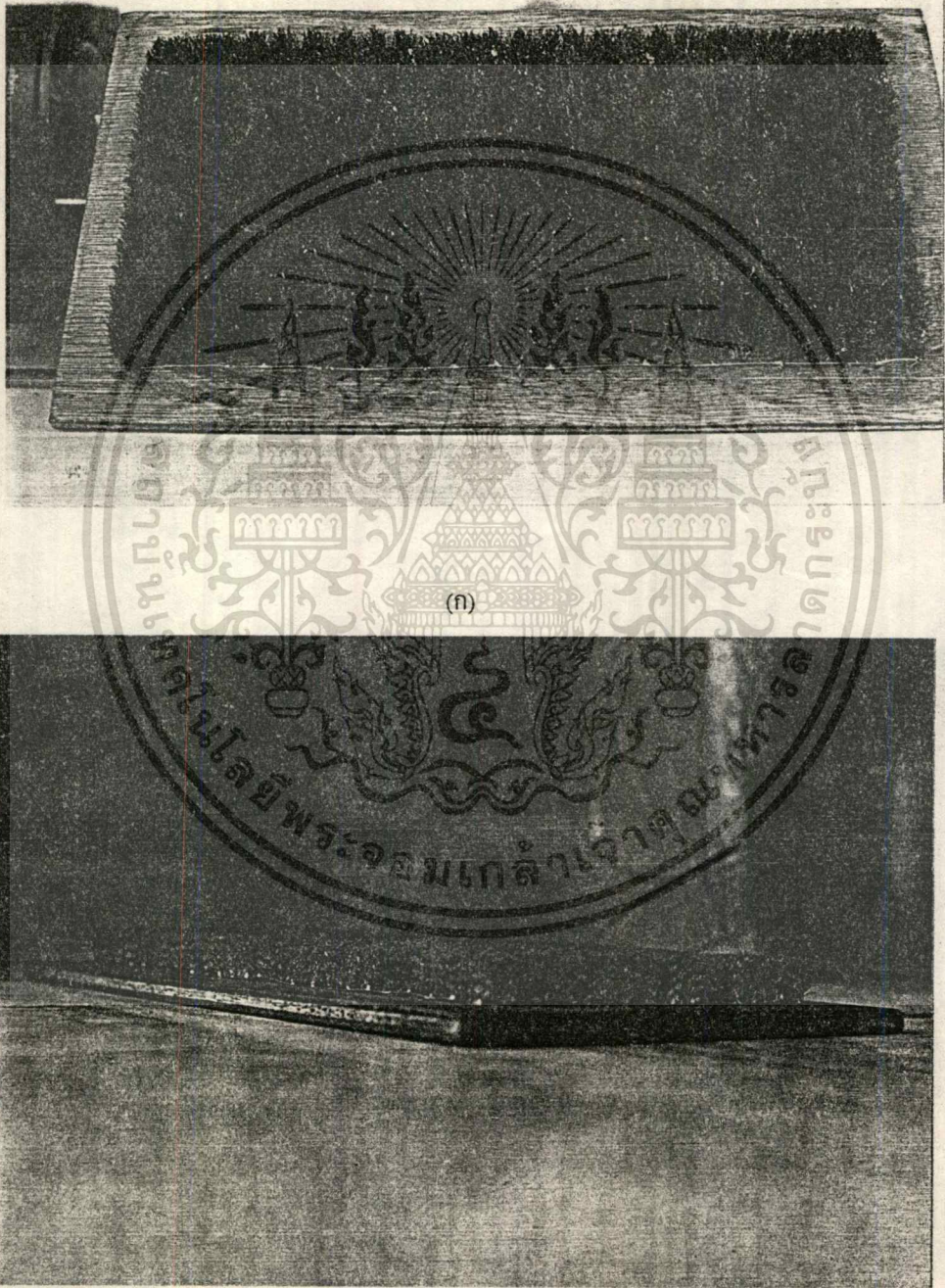
V = แรงดัน

e = ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

d = ความหนาของไดอิเล็กตริก(ในที่นี้คืออากาศ)

และเอาที่พุดจากวงจร ฟลายแบค เป็นไฟ DC ที่ไม่เรียบและมีความถี่สูงถึงประมาณ 5 kHz ในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงให้ไฟ DC ที่เรียบ วงจรที่สร้างขึ้นจึงให้อัตราการเกิดไอซอน/พลังงานสูงกว่า

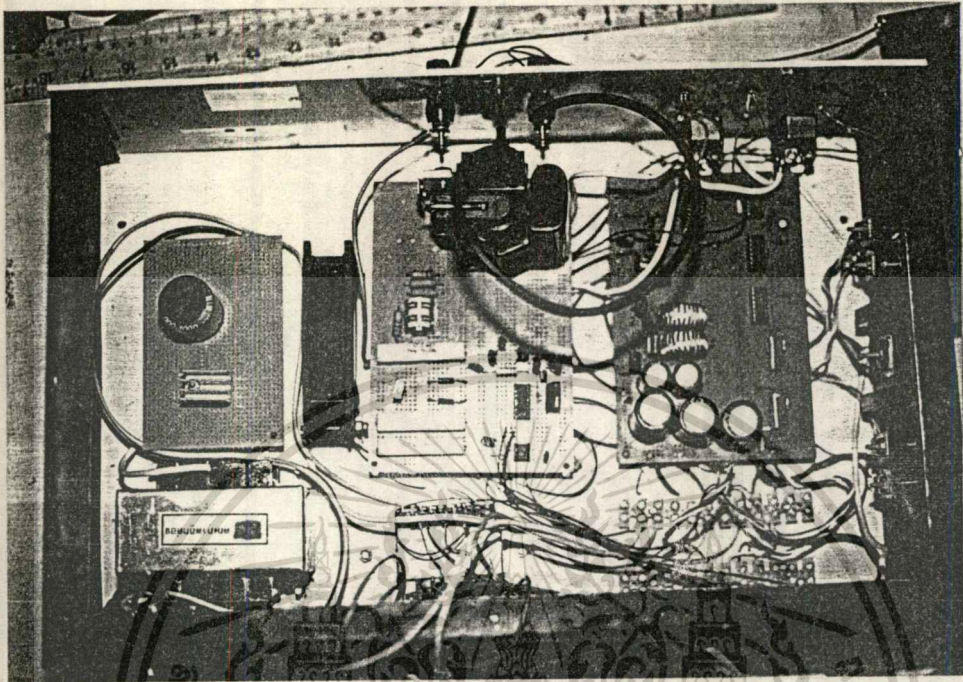




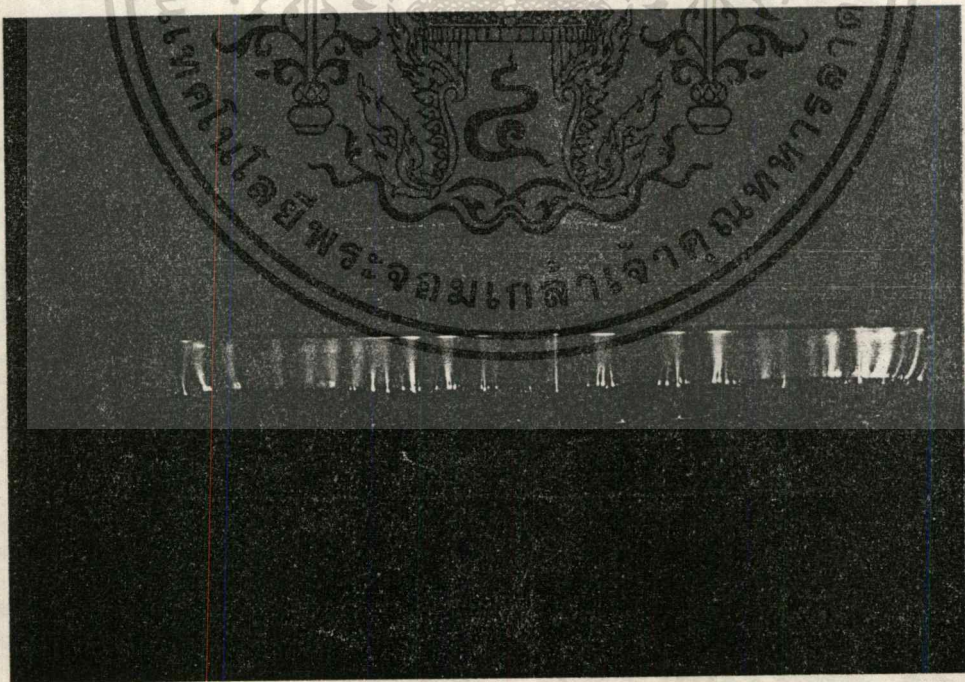
(๗)

รูปที่ 6.7 แสดงแผงอิเลคโตรดแบบจุดที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

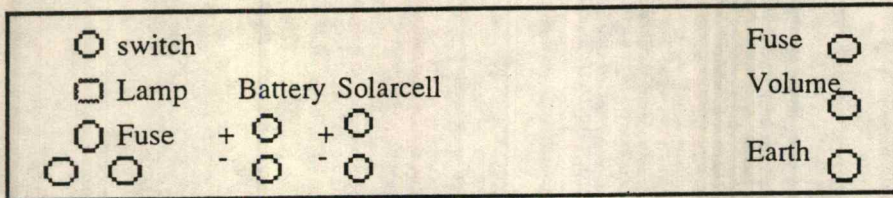


รูปที่ 6.8 แสดงกล่องวงจร



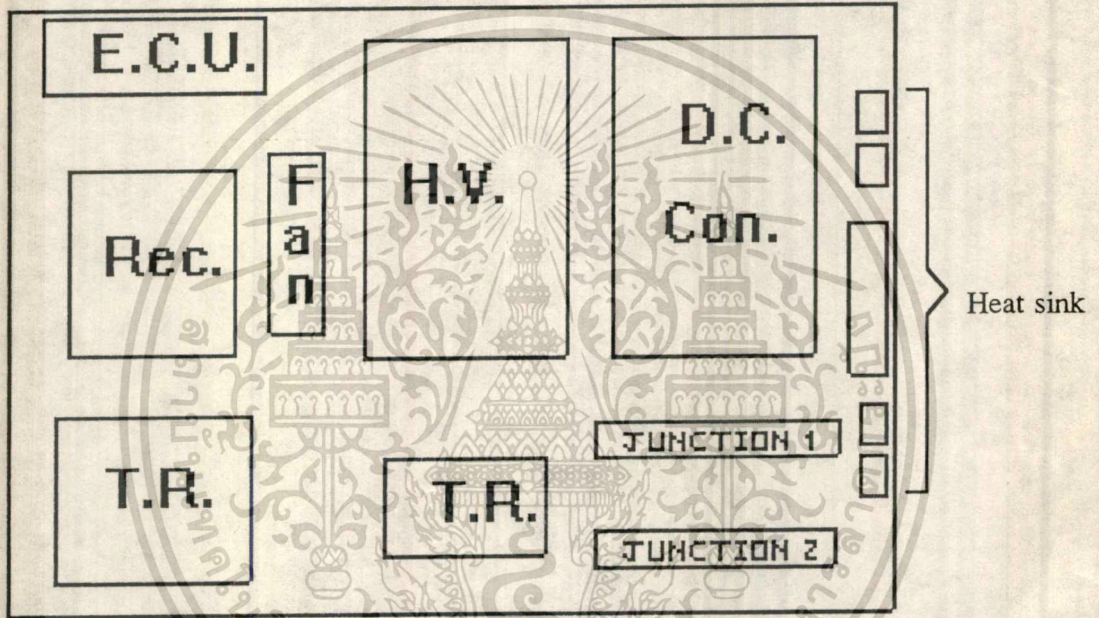
รูปที่ 6.9 แสดงการเกิดโคโรนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

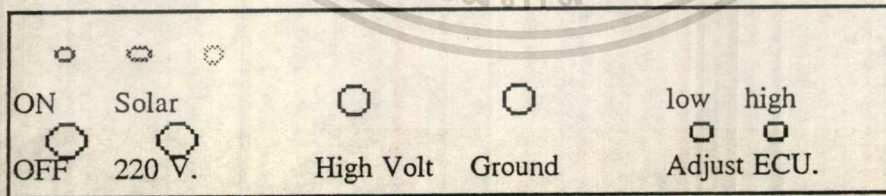


220 V. Fan

Back view



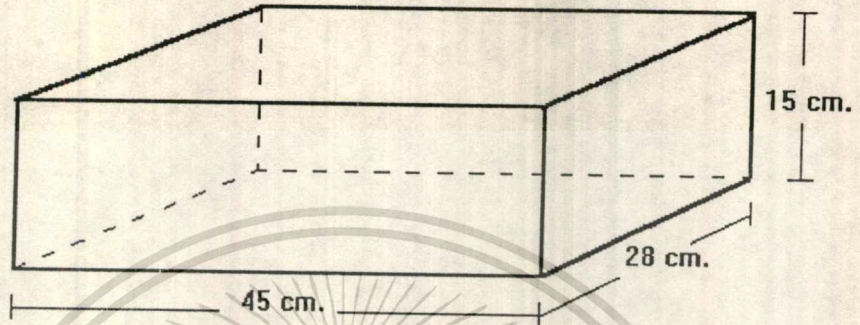
Top view



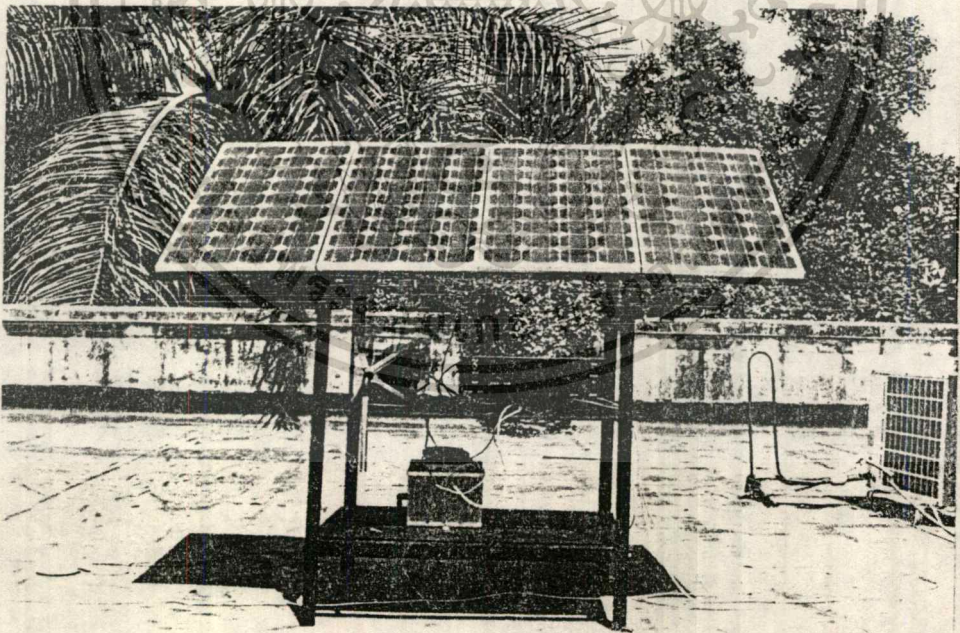
Front view

รูปที่ 6.10 แสดงการวางวงจรและอุปกรณ์ต่างๆของกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

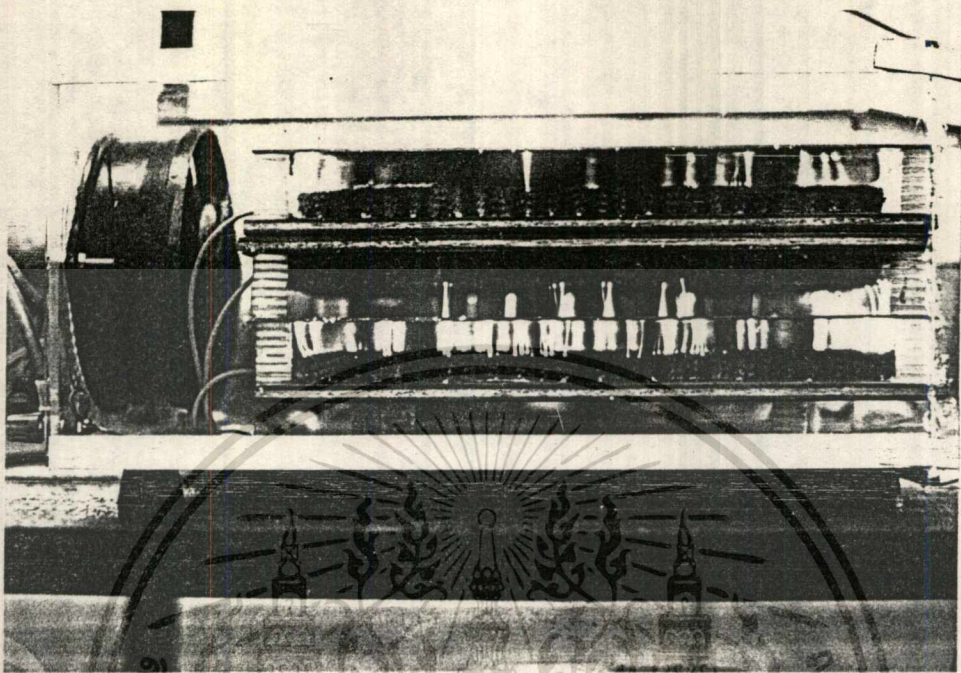


รูปที่ 6.11 แสดงขนาดของกล่อง

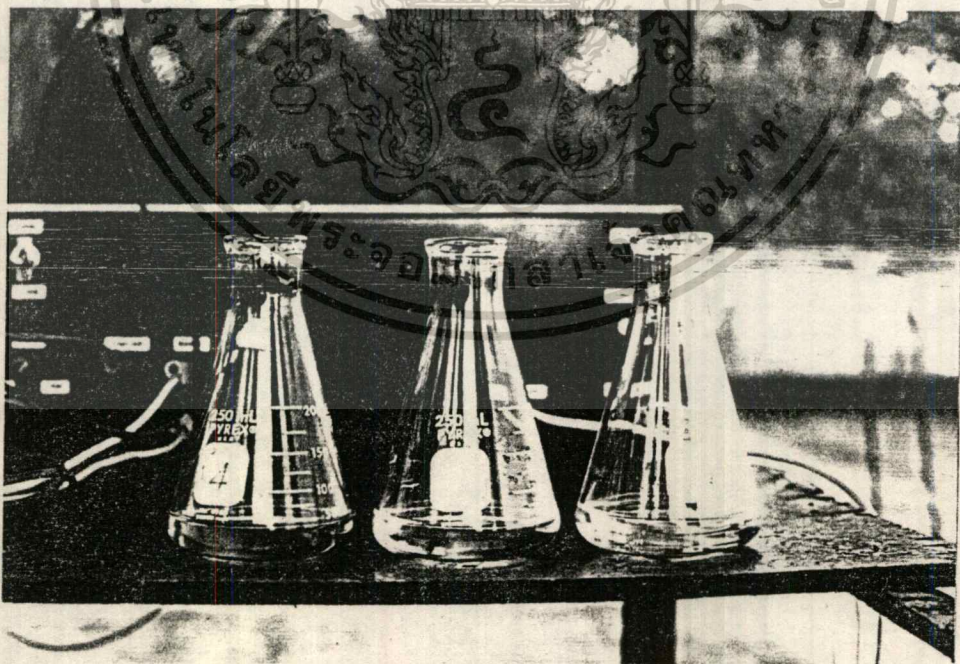


รูปที่ 6.12 แสดงระบบรวมทั้งหมดของเครื่องผลิตโอโซนพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.13 แสดงการเกิดโคโรนาของแผงอิเล็คโตรด 3 ชุด



รูปที่ 6.14 แสดงสารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ที่ทำปฏิกิริยากับโอโซนแล้ว และ สารละลายสี

มาตรฐานก่อนและหลังการบำบัดด้วยโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและวิจารณ์

1. เครื่องผลิตโอโซนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถรับแหล่งจ่ายพลังงานได้ 2 แหล่ง โดยแหล่งพลังงานหลักคือ พลังงานแสงอาทิตย์และสามารถเก็บพลังงานสำรองไว้ในแบตเตอรี่ ส่วนอีกแหล่งคือ ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 Hz สำรองจ่ายในช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์ติดต่อกันเป็นเวลานาน ๆ เช่น ในช่วง ฤดูฝนซึ่งมีเมฆมาก

2. วงจรผลิตไฟฟ้าแรงสูงรับไฟ 12 โวลต์จากเซลล์แสงอาทิตย์หรือ 220 V AC โดยมีวงจรเรกติฟายเออร์เป็น 12 V DC ได้เอาที่พุทออกมาเป็นไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง 8 kV โดยมีแรงดันกระแสเพื่อกที่มีค่าความถี่ 5 kHz. ซึ่งเพียงพอต่อการเกิดโคโรนาของเครื่องกำเนิดโอโซนและได้ปริมาณโอโซนสูงสุด 18.43 mgO₃/hr. ซึ่งได้โอโซนมากกว่าใช้เครื่องผลิต ดีซี ไฮโวลต์เตจจ่าย

3. เนื่องจากวงจรฟลายแบคจ่ายพลังงานได้จำกัด ถ้าต้องการโอโซนมากขึ้นควรพัฒนา วงจรสวิตซ์ซึ่งเป็นแบบอื่น เช่น พุชพูล ซึ่งจะจ่ายพลังงานได้มากกว่า

4. ได้ทำการพัฒนาอิเล็กทรอนิกส์ให้มีจำนวนจุดต่อพื้นที่มากขึ้นเพื่อให้มีจำนวนจุดที่เกิดโคโรนามากขึ้น แต่การทดลองพบว่าความสูงที่ไม่เท่ากันของสวดปลายแหลมทำให้เกิดโคโรนากระจายไม่ทั่วแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ได้โอโซนออกมาน้อยกว่าที่ควรจะเป็นจึงควรหาวิธีสร้างแผงอิเล็กทรอนิกส์ให้สวดปลายแหลมมีความยาวเท่ากันทั่วทั้งแผ่น

5. การวัดปริมาณโอโซนด้วยวิธีทางเคมีจะมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างในขั้นตอนต่าง ๆ ในการทดลอง จึงควรหาวิธีการอื่นที่ละเอียดและแม่นยำมากขึ้นในการวัดปริมาณโอโซน

แสดงการเปรียบเทียบเครื่องกำเนิดโอโซนต้นแบบเมื่อปีการศึกษา 2536 เครื่องกำเนิดโอโซนพลังงานแสงอาทิตย์ และ เครื่องกำเนิดโอโซนที่จำหน่ายในตลาดรุ่น BO10/50A

เครื่องกำเนิดโอโซนพลังงานแสงอาทิตย์มีความสามารถในการกำเนิดโอโซนสูงสุด 18.43 mgO₃/hr ใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 26.4 วัตต์ รวมกับกำลังของพัดลม 16 วัตต์ เป็น 42.4 วัตต์ สามารถแสดงการเปรียบเทียบได้ดังนี้

ข้อมูล	เครื่องต้นแบบปี 2536	เครื่องรุ่น BO10/50A	เครื่องที่ใช้
1.อัตราการเกิดโอโซนสูงสุด	5.8 mgO ₃ /hr	1000mgO ₃ /hr	18.43 mgO ₃ /hr
2.กำลังไฟฟ้ารวมที่ใช้	291 วัตต์(ไม่รวมส่วนผลิตไฟฟ้าแรงสูง)	3000 วัตต์(ไม่รวมมอเตอร์ที่ผสมโอโซนลงน้ำ)	42.4 วัตต์
3.อัตราการเกิดโอโซนต่อพลังงานไฟฟ้า	0.0199mgO ₃ /Whr	3.33mgO ₃ /Whr	0.435mgO ₃ /Whr
4.ส่วนประกอบ	ก.)ชุดอิเล็กโตรด -กล่องอิเล็กโตรดสำหรับบรรจุแผงอิเล็กโตรดขนาด 15×15×60 cm. ³ -แผงอิเล็กโตรดที่เป็นกลุ่มเส้นลวดจำนวน 4 แผง หรือที่เป็นแท่งปลายแหลม 1 แผง ขนาด 13.5×60 cm. ² ข.)พัดลมดูดอากาศกำลัง 163 วัตต์	ก.)หลอดไอโอไดน (อิเล็กโตรดทรงระบอกซ้อนกัน)จำนวน12 หลอด ข.)ระบบเตรียมอากาศ ซึ่งมีถังดูดความชื้น 2 ถังไว้ใช้งานสลับกัน ค.)ระบบระบายความร้อนให้ชุดอิเล็กโตรด ง.)ระบบควบคุมของตัวบวมอเตอร์บีบของหัวฉีดและหม้อแปลงแรงสูง	ก.)ชุดอิเล็กโตรด -กล่องอิเล็กโตรดสำหรับบรรจุแผงอิเล็กโตรดขนาด 18×18×35 cm. ³ -แผงอิเล็กโตรดที่เป็นแบบลวดปลายแหลม 3 แผงขนาด8×35 cm. ² ข.)พัดลมดูดอากาศกำลัง 16 วัตต์ ค.)วงจรผลิต HV ง.)เซลล์แสงอาทิตย์
5. ราคา	ไม่เกิน 2,000 บาท	ไม่ต่ำกว่า1,000,000บาท	ประมาณ 40,000บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในกิจการศึกษานี้เท่านั้นเมื่อมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยไว้ด้วย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

การทดลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์¹

จากหลักการในการใช้งานระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ในการทดลองนี้จะทำเพื่อศึกษาคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์, การประจุแบตเตอรี่ และการต่อกับประจุไฟฟ้า เพื่อหาประสิทธิภาพคุณลักษณะทางไฟฟ้าของระบบและลักษณะการใช้งานที่เหมาะสม

ข้อมูลเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้เป็นชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว (Monocrystalline) ของบริษัท BP Thai Solar

ขนาดพิกเพาเวอร์ (Peak Power Point)	55 W
แรงดัน	
- พิกัดแรงดันสูงสุด	17 V
- จ่ายปกติ	12 V
- เปิดวงจร	21.2 V
กระแส	
- พิกัดกระแสสูงสุด	3.23 A
- ลัดวงจร (short circuit)	3.54 A

การทดลองคุณลักษณะที่ความเข้มแสงต่าง ๆ

เป็นการแสดงหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความสามารถในการจ่ายไฟของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการวัด V_{oc} กับ I_{sc} ที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ตั้งแต่ 0-3000 LUX (เนื่องจากลักซ์มิเตอร์ (LUX METER) มีขอบเขต สูงสุดเพียง 3000 LUX) ได้ผลการทดลองดังนี้ (ตารางที่ 6.1)

ความเข้มแสง (LUX)	แรงดัน เปิดวงจร V_{oc} (V)	กระแส ลัดวงจร I_{sc} (A)
0	0	0
50	2.4	0
200	8.05	0.009
400	9.6	0.011

600	10.75	0.018
800	11.5	0.021
1000	12.5	0.027
1200	12.7	0.028
1400	13.5	0.035
1600	13.7	0.040
1800	14.0	0.042
2000	14.6	0.052
2200	14.8	0.058
2400	15.0	0.060
2600	15.1	0.062
2800	15.2	0.070
3000	15.5	0.081

ตารางที่ ผ.1 ตารางแสดงคุณลักษณะของแผงที่ความเข้มแสงต่าง ๆ

การทดลองเพื่อหามุมเอียงที่เหมาะสม

เป็นการทดลองหาความสามารถในการจ่ายไฟของแผงที่มุมเอียงต่าง ๆ โดยทำการวัดค่า V_{oc} และ I_{sc} ที่มุมเอียงค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 15-25 องศา โดยมีช่วงห่าง ทุก ๆ 5 องศา กั้นหน้าไปทางทิศใต้ ทำการวัดทุก ๆ ชั่วโมง ตั้งแต่ 7.00 ถึง 17.00 น. ให้ผลการทดลองดังนี้.

เวลา	มุมเอียง	15 องศา		20 องศา		25 องศา	
		V_{oc}	I_{sc}	V_{oc}	I_{sc}	V_{oc}	I_{sc}
7.00	22.5	17.50	0.29	17.50	0.27	17.50	0.26
8.00	27.00	18.60	0.84	18.50	0.85	18.50	0.81
9.00	27.00	18.50	1.64	18.50	1.55	18.50	1.42
10.00	31.00	18.20	1.92	18.30	1.82	18.30	1.69
11.00	29.00	18.00	2.18	18.50	2.04	18.00	1.88
12.00	35.50	17.90	2.22	17.80	2.06	18.00	1.92
13.00	35.00	18.00	1.98	18.00	1.86	17.50	1.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14.00	35.00	17.50	1.75	17.50	1.65	17.50	1.43
15.00	31.50	18.00	1.10	17.50	1.30	17.50	0.92
16.00	32.50	17.60	0.69	17.50	0.60	17.40	0.57
17.00	29.50	16.50	0.21	16.50	0.19	16.20	0.18

ตารางที่ 6.2 วัด V_{oc} และ I_{sc} โดยหันแผงไปทางทิศใต้



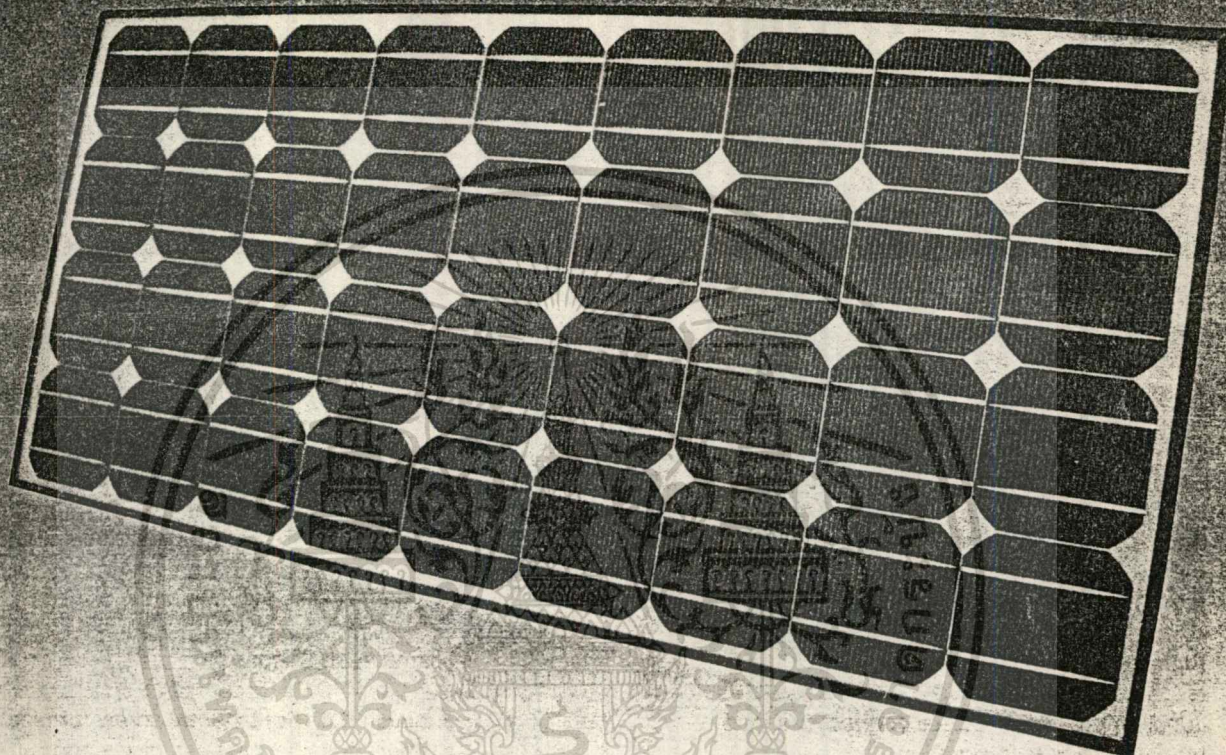
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BP THAI SOLAR

BPTS 1255 HP, BPTS 1270 HP



HIGH POWER SOLAR MODULES MONOCRYSTALLINE TYPE BPTS 1255 HP, BPTS 1270 HP



PRODUCT FEATURES

- A high performance solar module with maximum power of 55 watts/70watts
- High efficiency monocrystalline square silicon cells.
- Designed for maximum reliability and minimum maintenance.
- Produced using in-house technology in cell manufacturing and encapsulation.
- Highly resistant to water, abrasion, hail impact and other environmental factors.
- Lightweight anodised aluminium frame with silicone edge sealant around the laminate.
- All proven products, only materials with extensive field experienced used.
- Designed and manufactured to comply with European, American and Australian standards.

TYPICAL APPLICATIONS INCLUDE

- Telecommunications
- Radio Networks
- Navigational Aids
- Telemetry
- Cathodic Protection
- Obstruction Lighting
- Water Pumping
- Domestic Lighting
- Domestic Power
- Rural Electrification
- Medical Refrigeration
- Railway Signalling

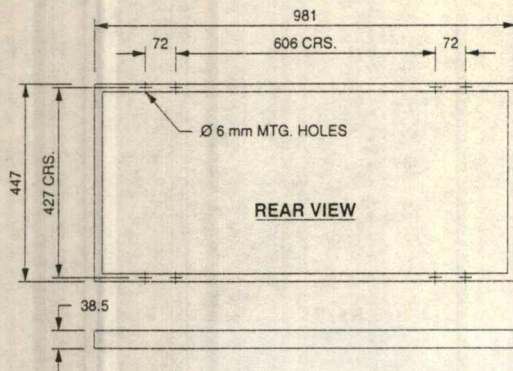
TECHNICAL SPECIFICATIONS

	BPTS 1255	BPTS 1270
Power (Watts)		
– Nominal Peak Power Point	55	70
Voltage (Volts)		
– Peak Power Point	17	17
– Nominal	12	12
– Open Circuit	21.2	21.2
Current (Amps.)		
– Peak Power Point	3.23	4.16
– Short Circuit	3.54	4.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อใช้งานให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่รับความผิดหากมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

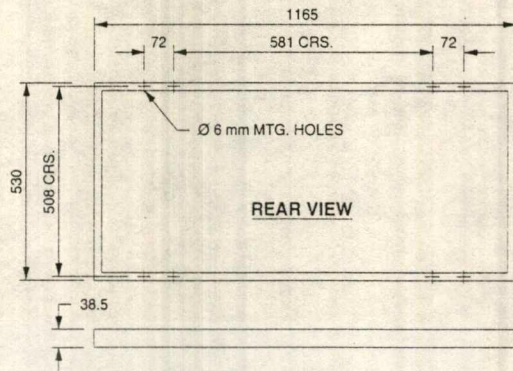
BPTS 1255 HP

DIMENSIONS



BPTS 1270 HP

DIMENSIONS



COMPONENTS

36 series connected, 104mm monocrystalline silicon pseudo square cells.

Toughened high transmission (92%) glass, 3mm thick.

Encapsulant: Ethylene Vinyl Acetate (EVA).

Back surface: Polyester/Tedlar trilaminat.

Frame: Anodised aluminium.

Frame seal: Silicone.

Junction box: For external connections, and by-pass diode incorporation.

Weight: 5.9 kg.

Dimensions:

- Length: 981 mm.
- Width: 447 mm.
- Depth: 38.5 mm.

Module power measurements are specified using sun simulators referenced to International Standards.

Figures specified are at standard conditions of 100m W/cm² of light intensity (AM 1.5) at 25°C cell temperature.

COMPONENTS

36 series connected, 125mm monocrystalline silicon pseudo square cells.

Toughened high transmission (92%) glass, 3mm thick.

Encapsulant: Ethylene Vinyl Acetate (EVA).

Back surface: Polyester/Tedlar trilaminat.

Frame: Anodised aluminium.

Frame seal: Silicone.

Junction box: For external screw terminal connections, with by-pass diode and blocking diode options. The box has a hinged weatherproof lid and three cable gland entry points.

Weight: 7.5 kg.

Dimensions:

- Length: 1165 mm.
- Width: 530 mm.
- Depth: 38.5 mm.



BP THAI SOLAR

DISTRIBUTOR

BP Thai Solar Corp., Ltd.
101/47/9 Nava Nakorn Industrial Estate
Phaholyothin Road, Klong 1
Klongluang, Pathumthani
Thailand
Tel: +66-2-529-1105-6
Fax: +66-2-529-4542

BP Solar International Ltd.
Solar House
Bridge Street, Leatherhead
Surrey, KT22 8BZ
United Kingdom
Tel: +44-372-377899
Tlx: 838867
Fax: +44-372-377750

BP Solar Ltd.
Credsec House, Oxford Road,
Stone, Aylesbury
Bucks HP 17 8PL
United Kingdom
Tel: +44-296-747 222
Tlx: 838867 BPSOL G
Fax: +44-296-748 111

BP Solar Australia Pty. Ltd.
P.O. Box 519
Brookvale
N.S.W. 2100
Australia
Tel: +61-2-938-5111
Tlx: AA 70605 BPSOL A
Fax: +61-2-939-1548

BP Solar España S.A.
Calle Primera No. 5
Poligono Industrial de Valportillo
Alcobendas, Madrid
España
Tel: +34-1-661-1614
Tlx: 48496 BPSE E
Fax: +34-1-661-4713



Operational Amplifiers/Buffers

LM158/LM258/LM358, LM158A/LM258A/LM358A, LM2904 Low Power Dual Operational Amplifiers

General Description

The LM158 series consists of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard +5 V_{DC} power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional ±15 V_{DC} power supplies.

Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.
- The unity gain cross frequency is temperature compensated.
- The input bias current is also temperature compensated.

Advantages

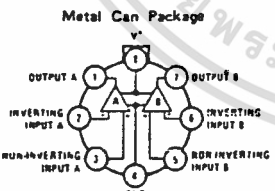
- Eliminates need for dual supplies
- Two internally compensated op amps in a single package

- Allows directly sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation
- Pin-out same as LM1558/LM1458 dual operational amplifier

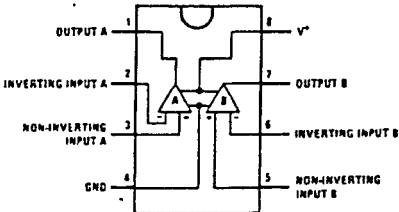
Features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large dc voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
 - Single supply 3 V_{DC} to 30 V_{DC}
 - or dual supplies ±1.5 V_{DC} to ±15 V_{DC}
- Very low supply current drain (500µA) – essentially independent of supply voltage (1 mW/op amp at +5 V_{DC})
- Low input biasing current 45 nA_{DC} (temperature compensated)
- Low input offset voltage and offset current 2 mV_{DC} 5 nA_{DC}
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0 V_{DC} to V* - 1.5 V_{DC}

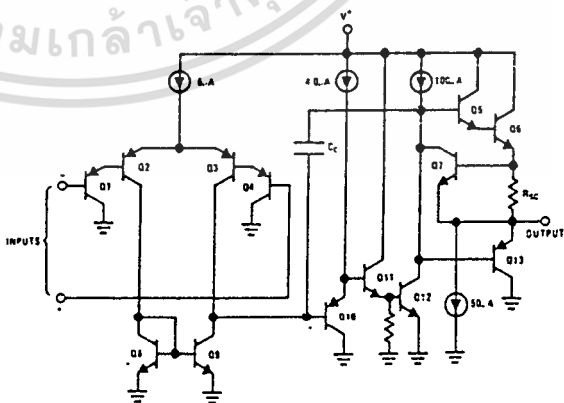
Connection Diagrams (Top Views) Schematic Diagram (Each Amplifier)



Order Number LM158AH, LM158H, LM258AH, LM258H, LM358AH or LM358H
See NS Package H08C



Order Number LM358AN, LM358N or LM2904N
See NS Package N08B



Absolute Maximum Ratings

PARAMETER	LM158/LM258/LM358	LM158A/LM258A/LM358A	LM2904
Supply Voltage, V^+	32 VDC or ± 16 VDC	26 VDC or ± 13 VDC	26 VDC or ± 13 VDC
Differential Input Voltage	32 VDC	26 VDC	26 VDC
Input Voltage	-0.3 VDC to +32 VDC	-0.3 VDC to +26 VDC	-0.3 VDC to +26 VDC
Power Dissipation (Note 1)	570 mW	570 mW	570 mW
Molded DIP (LM358N)	830 mW	830 mW	830 mW
Metal Can (LM158H/LM258H/LM358H)	Continuous	Continuous	Continuous
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2)	50 mA	50 mA	50 mA
$V^+ \leq 15$ VDC and $T_A = 25^\circ\text{C}$	0°C to +70°C	-40°C to +185°C	-40°C to +185°C
Input Current ($V_{IN} < -0.3$ VDC) (Note 3)	0°C to +70°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Operating Temperature Range	-25°C to +85°C	-65°C to +160°C	-65°C to +160°C
LM258	0°C to +70°C	-65°C to +160°C	-65°C to +160°C
LM258L	-25°C to +85°C	-65°C to +160°C	-65°C to +160°C
LM158	-55°C to +125°C	-65°C to +160°C	-65°C to +160°C
Storage Temperature Range	-65°C to +160°C	-65°C to +160°C	-65°C to +160°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C	300°C	300°C

Electrical Characteristics ($V^+ = +5.0$ VDC, Note 4)

PARAMETER	CONDITIONS			LM158A		LM258A		LM358A		LM158/LM258		LM358		LM2904		UNITS
	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$, (Note 5)			1	2	1	3	2	3	2	3	2	3	2	3	mVDC
Input Bias Current	$ I_{IN(+)} $ or $ I_{IN(-)} $, $T_A = 25^\circ\text{C}$, (Note 6)			20	50	40	80	45	100	45	150	45	250	45	250	nADC
Input Offset Current	$ I_{IN(+)} - I_{IN(-)} $, $T_A = 25^\circ\text{C}$			2	10	2	15	5	30	3	30	5	150	5	150	nADC
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30$ VDC, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Note 7)			0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	VDC
Supply Current	$R_L = \infty$, $V_{CC} = 30$ V (LM2904 $V_{CC} = 26$ V) $R_L = \infty$ On All Op Amps Over Full Temperature Range			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	mADC
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15$ VDC (For Large V_O Swing) $R_L \geq 2$ k Ω , $T_A = 25^\circ\text{C}$			50	100	50	100	25	100	50	100	25	100	100	100	V/mV
Output Voltage Swing	$R_L = 2$ k Ω , $T_A = 25^\circ\text{C}$ (LM2904 $R_L \geq 10$ k Ω)			0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	VDC
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $T_A = 25^\circ\text{C}$			70	85	70	85	65	85	70	85	65	85	50	70	dB
Power Supply Rejection Ratio	DC, $T_A = 25^\circ\text{C}$			65	100	65	100	65	100	65	100	65	100	50	100	dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling	f = 1 kHz to 20 kHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Input Referred), (Note 8)			-120	-120	-120	-120	-120	-120	-120	-120	-120	-120	-120	-120	dB
Output Current Source	$V_{IN}^+ = 1$ VDC, $V_{IN}^- = 0$ VDC, $V^+ = 15$ VDC, $T_A = 25^\circ\text{C}$			20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	mADC

LM158/LM258/LM358, LM158A/
LM258A/LM358A, LM2904

LM158/LM258/LM358, LM158A/
LM258A/LM358A, LM2904

Electrical Characteristics (Continued) ($V^+ = +5.0$ VDC, Note 4)

PARAMETER	CONDITIONS	LM158A		LM258A		LM358A		LM158/LM258		LM358		LM2904		UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Sink	$V_{IN}^- = 1$ VDC, $V_{IN}^+ = 0$ VDC, $V^+ = 15$ VDC, $T_A = 25^\circ\text{C}$	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	mADC
		12	50	12	50	12	50	12	50	12	50	12	50	μ ADC
Short Circuit to Ground	$T_A = 25^\circ\text{C}$, (Note 2)	40	60	40	60	40	60	40	60	40	60	40	60	mADC
Input Offset Voltage	(Note 5)		4		4		4		4		4		4	mVDC
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$	7	15	7	15	7	15	7	15	7	15	7	15	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current	$ I_{IN}(+) - I_{IN}(-) $		30		30		30		30		30		30	nADC
Input Offset Current Drift		10	200	10	200	10	200	10	200	10	200	10	200	$\mu\text{ADC}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$I_{IN}(+) \text{ or } I_{IN}(-)$	40	100	40	100	40	100	40	100	40	100	40	100	nADC
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30$ VDC, (Note 7)	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	VDC
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15$ VDC (for Large VO Swing) $R_L \geq 2$ k Ω	25		25		25		25		25		25		V/mV
Output Voltage Swing VOH	$V^+ = +30$ VDC, $R_L = 2$ k Ω $R_L \geq 10$ k Ω	26		26		26		26		26		26		VDC
		27	28	27	28	27	28	27	28	27	28	27	28	VDC
VOL	$V^+ = 5$ VDC, $R_L \leq 10$ k Ω	5	20	5	20	5	20	5	20	5	20	5	20	mVDC
Output Current Source	$V_{IN}^+ = +1$ VDC, $V_{IN}^- = 0$ VDC, $V^+ = 15$ VDC	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	mADC
		5	8	5	8	5	8	5	8	5	8	5	8	mADC
Sink	$V_{IN}^- = +1$ VDC, $V_{IN}^+ = 15$ VDC	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	mADC
		5	8	5	8	5	8	5	8	5	8	5	8	mADC
Differential Input Voltage	(Note 7)	32		32		32		32		32		32		VDC

Note 1: For operating at high temperatures, the LM358/LM358A/LM2904 must be derated based on a $+125^\circ\text{C}$ maximum junction temperature and a thermal resistance of $175^\circ\text{C}/\text{W}$ which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM258/LM258A and LM158/LM158A can be derated based on a $+150^\circ\text{C}$ maximum junction temperature. The dissipation is the total of all four amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

Note 2: Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. The maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+ . At values of supply voltage in excess of +15 VDC, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Note 3: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V^+ signal returns to a value greater than -0.3 VDC (at 25°C).

Note 4: These specifications apply for $V^+ = +5$ VDC and $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$, unless otherwise stated. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$, the LM358/LM358A temperature specifications are limited to $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$, and the LM2904 specifications are limited to $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$.

Note 5: $V_O = 1.4$ VDC, $R_S = 0\Omega$ with V^+ from 5 VDC to 30 VDC; and over the full input common-mode range (0 VDC to $V^+ - 1.5$ VDC).

Note 6: The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

Note 7: The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5$ V, but either or both inputs can go to +32 VDC without damage (+26 VDC for LM2904).

Note 8: Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitive increases at high frequencies.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Voltage Regulators

LM1524/LM2524/LM3524 Regulating Pulse Width Modulator

General Description

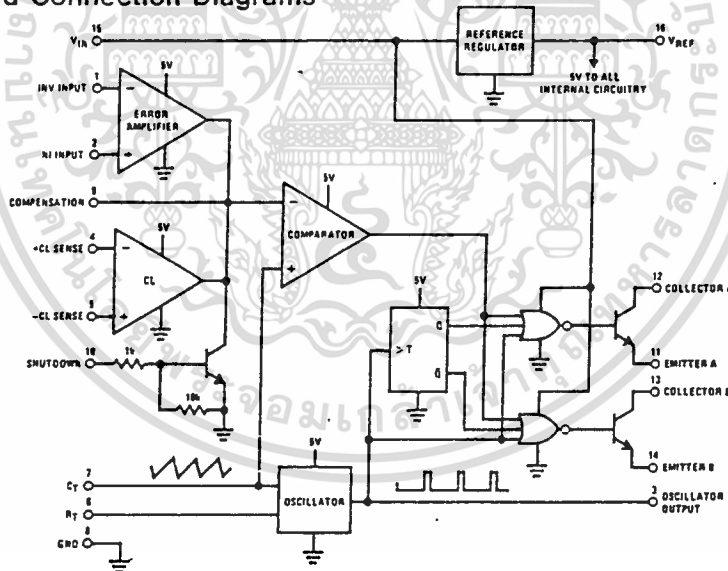
The LM1524 series of regulating pulse width modulators contains all of the control circuitry necessary to implement switching regulators of either polarity, transformer coupled DC to DC converters, transformerless polarity converters and voltage doublers, as well as other power control applications. This device includes a 5V voltage regulator capable of supplying up to 50 mA to external circuitry, a control amplifier, an oscillator, a pulse width modulator, a phase splitting flip-flop, dual alternating output switch transistors, and current limiting and shut-down circuitry. Both the regulator output transistor and each output switch are internally current limited and, to limit junction temperature, an internal thermal shut-down circuit is employed. The LM1524 is rated for operation from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ and is packaged in a hermetic 16-lead DIP (J). The LM2524 and LM3524 are rated for operation from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$ and are

packaged in either a hermetic 16-lead DIP (J) or a 16-lead molded DIP (N).

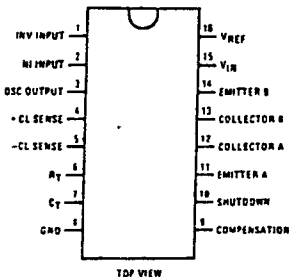
Features

- Complete PWM power control circuitry
- Frequency adjustable to greater than 100 kHz
- 2% frequency stability with temperature
- Total quiescent current less than 10 mA
- Dual alternating output switches for both push-pull or single-ended applications
- Current limit amplifier provides external component protection
- On-chip protection against excessive junction temperature and output current
- 5V, 50 mA linear regulator output available to user

Block and Connection Diagrams



Dual-In-Line Package



Order Number LM1524J, LM2524J
or LM3524J
See NS Package J16A

Order Number LM2524N
or LM3524N
See NS Package N16A

Absolute Maximum Ratings

Input Voltage	40V	Maximum Junction Temperature	
Reference Voltage, Forced	6V	(J Package)	150°C
Reference Output Current	50 mA	(N Package)	125°C
Output Current (Each Output)	100 mA	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Oscillator Charging Current (Pin 6 or 7)	5 mA	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C
Internal Power Dissipation (Note 1)	1W		
Operating Temperature Range			
LM1524	-55°C to +125°C		
LM2524/LM3524	0°C to +70°C		

Electrical Characteristics

Unless otherwise stated, these specifications apply for $T_A = -55^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$ for the LM1524 and 0°C to $+70^\circ\text{C}$ for the LM2524 and LM3524, $V_{IN} = 20\text{V}$, and $f = 20\text{ kHz}$. Typical values other than temperature coefficients, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

PARAMETER	CONDITIONS	LM1524/ LM2524			LM3524			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Reference Section								
Output Voltage		4.8	5.0	5.2	4.6	5.0	5.4	V
Line Regulation	$V_{IN} = 8-40\text{V}$		10	20		10	30	mV
Load Regulation	$I_L = 0-20\text{ mA}$		20	50		20	50	mV
Ripple Rejection	$f = 120\text{ Hz}, T_A = 25^\circ\text{C}$		66			66		dB
Short-Circuit Output Current	$V_{REF} = 0, T_A = 25^\circ\text{C}$		100			100		mA
Temperature Stability	Over Operating Temperature Range		0.3	1		0.3	1	%
Long Term Stability	$T_A = 25^\circ\text{C}$		20			20		mV/kyr
Oscillator Section								
Maximum Frequency	$C_T = 0.001\ \mu\text{F}, R_T = 2\ \text{k}\Omega$		350			350		kHz
Initial Accuracy	R_T and C_T constant		5			5		%
Frequency Change with Voltage	$V_{IN} = 8-40\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$			1			1	%
Frequency Change with Temperature	Over Operating Temperature Range			2			2	%
Output Amplitude (Pin 3)	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.5			3.5		V
Output Pulse Width (Pin 3)	$C_T = 0.01\ \mu\text{F}, T_A = 25^\circ\text{C}$		0.5			0.5		μs
Error Amplifier Section								
Input Offset Voltage	$V_{CM} = 2.5\text{V}$		0.5	5		2	10	mV
Input Bias Current	$V_{CM} = 2.5\text{V}$		2	10		2	10	μA
Open Loop Voltage Gain		72	80		60	80		dB
Common-Mode Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$	1.8		3.4	1.8		3.4	V
Common-Mode Rejection Ratio	$T_A = 25^\circ\text{C}$		70			70		dB
Small Signal Bandwidth	$A_V = 0\ \text{dB}, T_A = 25^\circ\text{C}$		3			3		MHz
Output Voltage Swing	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.5		3.8	0.5		3.8	V
Comparator Section								
Maximum Duty Cycle	% Each Output ON	45			45			%
Input Threshold (Pin 9)	Zero Duty Cycle		1			1		V
Input Threshold (Pin 9)	Maximum Duty Cycle		3.5			3.5		V
Input Bias Current			-1			-1		μA
Current Limiting Section								
Sense Voltage	$V(\text{Pin } 2) - V(\text{Pin } 1) \geq 50\ \text{mV}$, $\text{Pin } 9 = 2\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	190	200	210	180	200	220	mV
Sense Voltage T.C.			0.2			0.2		mV/°C
Common-Mode Voltage		-0.7		1	-0.7		1	V
Output Section (Each Output)								
Collector-Emitter Voltage		40			40			V
Collector Leakage Current	$V_{CE} = 40\text{V}$		0.1	50		0.1	50	μA
Saturation Voltage	$I_C = 50\ \text{mA}$		1	2		1	2	V
Emitter Output Voltage	$V_{IN} = 20\text{V}, I_E = -250\ \mu\text{A}$	17	18		17	18		V
Rise Time (10% to 90%)	$R_C = 2\ \text{k}\Omega, T_A = 25^\circ\text{C}$		0.2			0.2		μs
Fall Time (90% to 10%)	$R_C = 2\ \text{k}\Omega, T_A = 25^\circ\text{C}$		0.1			0.1		μs
Total Standby Current	$V_{IN} = 40\text{V}$, Pins 1, 4, 7, 8, 11 and 14 are grounded, Pin 2 = 2V, All Other Inputs and Outputs Open		5	10		5	10	mA

Note 1: For operation at elevated temperatures, devices in the J package must be derated based on a thermal resistance of 100°C/W , junction to ambient, and devices in the N package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W junction to ambient.



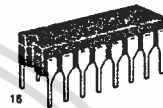
MOTOROLA

**MC14049UB
MC14050B**

HEX BUFFERS

The MC14049UB hex inverter/buffer and MC14050B non-inverting hex buffer are constructed with MOS P-channel and N-channel enhancement mode devices in a single monolithic structure. These complementary MOS devices find primary use where low power dissipation and/or high noise immunity is desired. These devices provide logic-level conversion using only one supply voltage, V_{DD} . The input-signal high level (V_{IH}) can exceed the V_{DD} supply voltage for logic-level conversions. Two TTL/DTL Loads can be driven when the devices are used as CMOS-to-TTL/DTL converters ($V_{DD} = 5.0\text{ V}$, $V_{OL} \leq 0.4\text{ V}$, $I_{OL} \geq 3.2\text{ mA}$). Note that pins 13 and 16 are not connected internally on these devices; consequently connections to these terminals will not affect circuit operation.

- High Source and Sink Currents
- High-to-Low Level Converter
- Supply Voltage Range = 3.0 V to 18 V
- Meets JEDEC UB Specifications—MC14049UB
- Meets JEDEC B Specification—MC14050B
- V_{IN} can exceed V_{DD}



L SUFFIX
CERAMIC
CASE 620



P SUFFIX
PLASTIC
CASE 648



D SUFFIX
SOIC
CASE 751B

MAXIMUM RATINGS* (Voltages referenced to V_{SS})

Rating	Symbol	Value	Unit
DC Supply Voltage	V_{DD}	-0.5 to +18	V
Input Voltage (DC or Transient)	V_{IN}	-0.5 to +18	V
Output Voltage (DC or Transient)	V_{OUT}	-0.5 to $V_{DD} + 0.5$	V
Input Current (DC or Transient), per Pin	I_{IN}	± 10	mA
Output Current (DC or Transient), per Pin	I_{OUT}	+45	mA
Power Dissipation, per Package†	P_D	500	mW
Storage Temperature	T_{STG}	-65 to +150	°C
Lead Temperature (8-Second Soldering)	T_L	260	°C

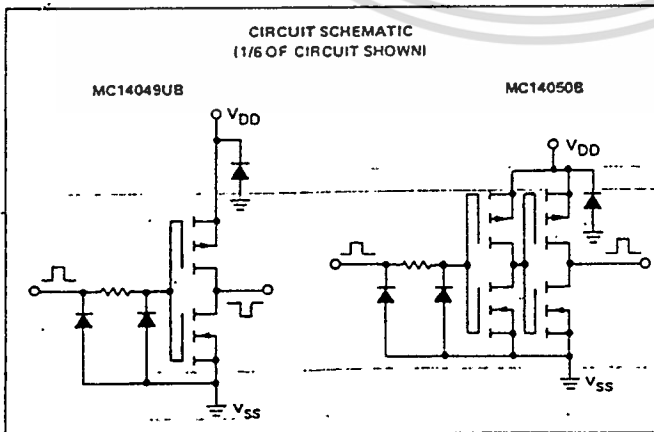
*Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.
†Temperature Derating: All Packages: -7.0 mW/°C from 65°C to 125°C.

ORDERING INFORMATION

MC14XXXBCP Plastic
MC14XXXBCL Ceramic
MC14XXXBD SOIC

$T_A = -55^\circ$ to 125°C for all packages.

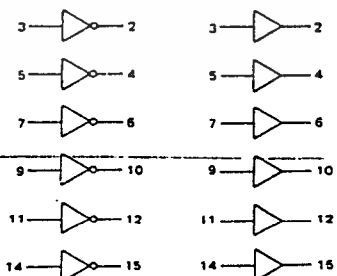
**CIRCUIT SCHEMATIC
(1/6 OF CIRCUIT SHOWN)**



LOGIC DIAGRAMS

MC14049UB

MC14050B



NC = Pin 13, 16
 V_{SS} = Pin 8
 V_{DD} = Pin 1

NC = Pin 13, 16
 V_{SS} = Pin 8
 V_{DD} = Pin 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC14049UB•MC14050B

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to V_{SS})

Characteristic	Symbol	V _{DD} V _{dC}	-55°C		25°C			125°C		Unit	
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max		
Output Voltage V _{in} = V _{DD} or 0	"0" Level V _{OL}	5.0	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05	V _{dC}	
		10	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05		
		15	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05		
	"1" Level V _{OH}	5.0	4.95	—	4.95	5.0	—	4.95	—	V _{dC}	
		10	9.95	—	9.95	10	—	9.95	—		
		15	14.95	—	14.95	15	—	14.95	—		
Input Voltage MC14049UB (V _O = 4.5 V _{dC}) - (V _O = 9.0 V _{dC}) - (V _O = 13.5 V _{dC})	"0" Level V _{IL}	5.0	—	1.0	—	2.25	1.0	—	1.0	V _{dC}	
		10	—	2.0	—	4.50	2.0	—	2.0		
		15	—	2.5	—	6.75	2.5	—	2.5		
	"1" Level (V _O = 0.5 V _{dC}) (V _O = 1.0 V _{dC}) (V _O = 1.5 V _{dC})	V _{IH}	5.0	4.0	—	4.0	2.75	—	4.0	—	V _{dC}
		10	8.0	—	8.0	5.50	—	8.0	—		
		15	12.5	—	12.5	8.25	—	12.5	—		
Input Voltage MC14050B (V _O = 0.5 V _{dC}) (V _O = 1.0 V _{dC}) (V _O = 1.5 V _{dC})	"0" Level V _{IL}	5.0	—	1.5	—	2.25	1.5	—	1.5	V _{dC}	
		10	—	3.0	—	4.50	3.0	—	3.0		
		15	—	4.0	—	6.75	4.0	—	4.0		
	"1" Level (V _O = 4.5 V _{dC}) (V _O = 9.0 V _{dC}) (V _O = 13.5 V _{dC})	V _{IH}	5.0	3.5	—	3.5	2.75	—	3.5	—	V _{dC}
		10	7.0	—	7.0	5.50	—	7.0	—		
		15	11	—	11	8.25	—	11	—		
Output Drive Current	Source (V _{OH} = 2.5 V _{dC}) (V _{OH} = 9.5 V _{dC}) (V _{OH} = 13.5 V _{dC})	I _{OH}	5.0	-1.6	—	-1.25	-2.5	—	-0.9	—	mA _{dC}
		10	-1.6	—	-1.3	-2.6	—	-0.9	—		
		15	-4.7	—	-3.75	-10	—	-2.7	—		
	Sink (V _{OL} = 0.4 V _{dC}) (V _{OL} = 0.5 V _{dC}) (V _{OL} = 1.5 V _{dC})	I _{OL}	5.0	3.75	—	3.2	6.0	—	2.2	—	mA _{dC}
		10	10	—	8.0	16	—	5.6	—		
		15	30	—	24	40	—	17	—		
Input Current	I _{in}	15	—	±0.1	—	±0.00001	±0.1	—	±1.0	μA _{dC}	
Input Capacitance (V _{in} = 0)	C _{in}	—	—	—	—	10	20	—	—	pF	
Quiescent Current (Per Package)	I _{DD}	5.0	—	1.0	—	0.002	1.0	—	30	μA _{dC}	
		10	—	2.0	—	0.004	2.0	—	60		
		15	—	4.0	—	0.006	4.0	—	120		
Total Supply Current**† (Dynamic plus Quiescent, Per Package) (C _L = 50 pF on all outputs, all buffers switching)	I _T	5.0	I _T = (1.8 μA/kHz) f + I _{DD}							μA _{dC}	
		10	I _T = (3.5 μA/kHz) f + I _{DD}								
		15	I _T = (5.3 μA/kHz) f + I _{DD}								

#Data labelled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

**The formulas given are for the typical characteristics only at 25°C.

†To calculate total supply current at loads other than 50 pF:

$$I_T(C_L) = I_T(50 \text{ pF}) + (C_L - 50) \text{ V/k}$$

where: I_T is in μA (per package), C_L in pF, V = (V_{DD} - V_{SS}) in volts, f in kHz is input frequency, and k = 0.002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MOTOROLA

MC14025B
See Page 6-5

MC14025UB
See Page 6-14

DUAL J-K FLIP-FLOP

The MC14027B dual J-K flip-flop has independent J, K, Clock (C), Set (S) and Reset (R) inputs for each flip-flop. These devices may be used in control, register, or toggle functions.

- Diode Protection on All Inputs
- Supply Voltage Range = 3.0 Vdc to 18 Vdc
- Logic Swing Independent of Fanout
- Logic Edge-Clocked Flip-Flop Design – Logic state is retained indefinitely with clock level either high or low; information is transferred to the output only on the positive-going edge of the clock pulse
- Capable of Driving Two Low-power TTL Loads or One Low-power Schottky TTL Load Over the Rated Temperature Range
- Pin-for-Pin Replacement for CD4027B

MAXIMUM RATINGS* (Voltages Referenced to V_{SS})

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{DD}	DC Supply Voltage	-0.5 to +18.0	V
V_{in}, V_{out}	Input or Output Voltage (DC or Transient)	-0.5 to V_{DD} - 0.5	V
I_{in}, I_{out}	Input or Output Current (DC or Transient), per Pin	± 10	mA
P_D	Power Dissipation, per Package†	500	mW
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to +150	°C
T_L	Lead Temperature (8-Second Soldering)	260	°C

*Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.
†Temperature Derating: All Packages: -7.0 mW/°C from 65°C to 125°C.

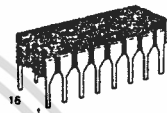
TRUTH TABLE

C†	INPUTS				OUTPUTS*		
	J	K	S	R	Q_n ‡	Q_{n+1}	\bar{Q}_{n+1}
0	1	X	0	0	0	1	0
0	X	0	0	0	1	1	0
0	0	X	0	0	0	0	1
0	X	1	0	0	1	0	1
0	1	1	0	0	Q_0	\bar{Q}_0	Q_0
1	X	X	0	0	X	Q_n	\bar{Q}_n
1	X	X	1	0	X	1	0
1	X	X	0	1	X	0	1
1	X	X	1	1	X	1	1

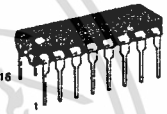
X = Don't Care ‡ = Present State
† = Level Change * = Next State

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, V_{in} and V_{out} should be constrained to the range $V_{SS} \leq (V_{in} \text{ or } V_{out}) \leq V_{DD}$. Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either V_{SS} or V_{DD}). Unused outputs must be left open.

MC14027B



L SUFFIX
CERAMIC
CASE 620



P SUFFIX
PLASTIC
CASE 648



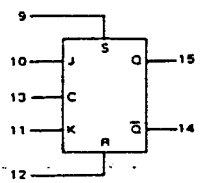
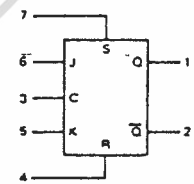
D SUFFIX
SOIC
CASE 751B

ORDERING INFORMATION

MC14XXXBCP Plastic
MC14XXXBCL Ceramic
MC14XXXBD SOIC

$T_A = -55^\circ\text{C}$ to 125°C for all packages.

BLOCK DIAGRAM



V_{DD} = Pin 16
 V_{SS} = Pin 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC14027B

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to V_{SS})

Characteristic	Symbol	V _{DD} Vdc	-55°C		25°C			125°C		Unit
			Min	Max	Min	Typ #	Max	Min	Max	
Output Voltage V _{in} = V _{DD} or 0	V _{OL}	5.0	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05	Vdc
		10	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05	
V _{in} = 0 or V _{DD}	V _{OH}	5.0	4.95	—	4.95	5.0	—	4.95	—	Vdc
		10	9.95	—	9.95	10	—	9.95	—	
Input Voltage (V _O = 4.5 or 0.5 Vdc) (V _O = 9.0 or 1.0 Vdc) (V _O = 13.5 or 1.5 Vdc)	V _{IL}	5.0	—	1.5	—	2.25	1.5	—	1.5	Vdc
		10	—	3.0	—	4.50	3.0	—	3.0	
		15	—	4.0	—	6.75	4.0	—	4.0	
	V _{IH}	5.0	3.5	—	3.5	2.75	—	3.5	—	Vdc
		10	7.0	—	7.0	5.50	—	7.0	—	
		15	11	—	11	8.25	—	11	—	
Output Drive Current (V _{OH} = 2.5 Vdc) (V _{OH} = 4.6 Vdc) (V _{OH} = 9.5 Vdc) (V _{OH} = 13.5 Vdc)	Source	5.0	-3.0	—	-2.4	-4.2	—	-1.7	—	mAdc
		10	-0.64	—	-0.51	-0.88	—	-0.36	—	
		15	-1.6	—	-1.3	-2.25	—	-0.9	—	
	Sink	5.0	0.64	—	0.51	0.88	—	0.36	—	mAdc
		10	1.6	—	1.3	2.25	—	0.9	—	
		15	4.2	—	3.4	8.8	—	2.4	—	
Input Current	I _{in}	15	—	±0.1	—	±0.00001	±0.1	—	±1.0	μAdc
Input Capacitance (V _{in} = 0)	C _{in}	—	—	—	—	5.0	7.5	—	—	pF
Quiescent Current (Per Package)	I _{DD}	5.0	—	1.0	—	0.002	1.0	—	30	μAdc
		10	—	2.0	—	0.004	2.0	—	60	
		15	—	4.0	—	0.006	4.0	—	120	
Total Supply Current**† (Dynamic plus Quiescent, Per Package) (C _L = 50 pF on all outputs, all buffers switching)	I _T	5.0	I _T = (0.8 μA/kHz) f + I _{DD}							μAdc
		10	I _T = (1.6 μA/kHz) f + I _{DD}							
		15	I _T = (2.4 μA/kHz) f + I _{DD}							

#Data labelled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

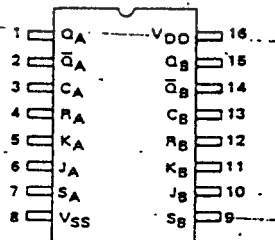
**The formulas given are for the typical characteristics only at 25°C.

†To calculate total supply current at loads other than 50 pF:

$$I_T(C_L) = I_T(50 \text{ pF}) + (C_L - 50) \text{ V/k}$$

where: I_T is in μA (per package), C_L in pF, V = (V_{DD} - V_{SS}) in volts, f in kHz is input frequency, and k = 0.002.

PIN ASSIGNMENT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

An electrode system for measuring dissolved oxygen. *Anal. Chem.* 31:5.

19. MANCY, K.H. & W.C. WESTGARTH. 1962. A galvanic cell oxygen analyzer. *J. Water Pollut. Control Fed.* 34:1037.

20. MANCY, K.H., D.A. OKUN & C.N. REILLEY. 1962. A galvanic cell oxygen analyzer. *J. Electroanal. Chem.* 4:65.

21. WEISS, C.M. & R.T. OGLESBY. 1963. Instrumentation for monitoring water quality in reservoirs. American Water Works Ass. 83rd Annual Conf., New York, N.Y.

22. CLEARY, E.J. 1962. Introducing the ORSANCO robot monitor. *Proc. Water Qual.*

ity Meas. Instrum. Publ. No. 108, U.S. Public Health Serv., Washington, D.C.

23. MACKRETHI, F.J.H. 1964. An improved galvanic cell for determination of oxygen concentrations in fluids. *J. Sci. Instrum.* 41:38.

24. SULZER, F. & W.M. WESTGARTH. 1962. Continuous D.O. recording in activated sludge. *Water Sewage Works* 109:376.

25. DUKHURY, A.C. 1963. Calibration and use of a galvanic type oxygen electrode in field work. *Limnol. Oceanogr.* 8:483.

26. LIPNER, H.J., L.R. WITHERSPOON & V.C. CHAMPEAUS. 1964. Adaptation of a galvanic cell for microanalysis of oxygen. *Anal. Chem.* 36:204.

422 OZONE (RESIDUAL)*

Ozone, O_3 , a potent germicide, also is used as an oxidizing agent for the destruction of organic compounds producing taste and odor in water, for the destruction of organic coloring matter, and for the oxidation of reduced iron or manganese salts to insoluble oxides, which can be precipitated or filtered from the water.

1. General Discussion

The iodometric method described is quantitative, subject to few interferences except for most volatile oxidants, and capable of good precision. The method also can be used for the determination of ozone in air by absorption of the ozone in iodide solution.

*Approved by Standard Methods Committee, 1981.

If iodometric titration is considered undesirable, any method for measuring residual chlorine (see Section 408) may be applied after ozone stripping into the adsorber has been completed. These methods determine iodine with acceptable accuracy. The ozone concentration in water, air, or oxygen also can be determined continuously by photometric instruments, which measure the strong absorption ozone exerts at the wavelength of 253.7 nm.

a. Principle: Ozone liberates iodine from a potassium iodide (KI) solution. For accurate results make the solution alkaline during absorption of ozone. In practice, KI solutions quickly become alkaline during the process, so buffering is not required. After immediate acidification, the liberated iodine is titrated with standard 0.005M so-

dium thiosulfate ($Na_2S_2O_3$) with starch indicator.

b. Interference: Because ozonated water may contain manganese dioxide, ferric ion, chlorine, possibly peroxide, and other oxidation products, avoid these interferences by passing the ozone through the gaseous phase into a KI solution for titration. Titration a sample added directly to the KI solution (without first passing ozone through the gaseous phase), as compared with titrating after ozone stripping, will indicate whether interfering oxidants are present. If such interferences are absent or negligible, ozone transfer through inert gas stripping may be eliminated.

The stability of ozone solutions decreases progressively at each increment in temperature above freezing and with each increment in pH above 3.0.

c. Sampling and storage: Determine ozone immediately; samples cannot be preserved or stored because of instability of the residual. The stability of residual ozone is markedly improved at low temperatures and low pH. Minimize aeration during sample collection.

d. Minimum detectable concentration: Approximately 30 $\mu g O_3/L$.

2. Apparatus

The following are required for sample collection:

a. Gas-washing bottles and absorbers, 1-L and 500-mL capacities. To prevent loss of ozone on glass frits found on standard wash bottles, cut off glass diffusers and draw tube into a 1-mm tip extending to approximately 5 mm from bubbler bottom.

b. Pure air or pure nitrogen gas supply, 0.2- to 1.0-L/min capacity.

c. Glass, stainless steel, or aluminum piping, for carrying ozonized air. Good-quality polyvinyl tubing also may be used for short runs, but do not use rubber.

†Tygon, US Stoneware Company, or equivalent.

3. Reagents

a. Potassium iodide solution: Dissolve 20 g KI, free from iodine, iodate, and reducing agents, in 1 L freshly boiled and cooled distilled water. Store in a brown bottle in a refrigerator. Store at least 1 d before using.

b. Sulfuric acid, H_2SO_4 , 1N.

c. Standard sodium thiosulfate, 0.1M: Dissolve 25 g $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ in 1 L freshly boiled distilled water. Standardize against potassium bi-iodate (also called potassium hydrogen iodate) or potassium dichromate according to the procedure described in Section 408A.2c.

d. Standard sodium thiosulfate titrant, 0.005M: Dilute proper volume (approximately 50 mL) of 0.1M $Na_2S_2O_3$ to 1000 mL. For accurate work, standardize this solution daily, using either 0.005M potassium bi-iodate or potassium dichromate solution. Standardize as described in ¶ 4c below; 1.00 mL standard $Na_2S_2O_3$ titrant, 0.005M = 120 $\mu g O_3$.

e. Starch indicator solution: Use either an aqueous solution or soluble starch powder mixtures.

To prepare aqueous solution, add a cold water suspension of 5 g arrowroot or soluble starch to approximately 800 mL boiling water, with stirring. Dilute to 1 L, boil a few minutes, and let settle overnight. Use clear supernate. Preserve with 1.25 g salicylic acid/L or by adding a few drops of toluene.

f. Standard iodine, 0.1M: Dissolve 40 g KI in 25 mL distilled water. Add 13 g resublimed iodine and stir until dissolved. Dilute to 1 L and standardize as described in Section 408B.3g.

g. Standard iodine, 0.005M: Dissolve 16 g KI in a little distilled water in a 1-L volumetric flask, add proper volume (approximately 50 mL) of 0.1M iodine solution, and dilute to mark. For accurate work, standardize daily. Store solution in a brown bottle or in the dark. Protect from

5. Calculation

$$\text{mg O}_2/\text{L} = \frac{(A \pm B) \times M \times 24,000}{\text{mL sample}}$$

where:

- A = mL titrant for sample,
 B = mL titrant for blank (positive or negative), and
 M = molarity of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$.

6. Interpretation of Results

The precision of the test is within $\pm 1\%$ for concentrations of 3 mg O_2/L or greater. However, rapid decrease of the residual occurs in the time elapsing between sampling and testing. Temperature also is an important factor in the decrease.

7. Bibliography

- BIRDSELL, C.M., A.C. JENKINS & E. SPADINGER. 1952. The iodometric determination of ozone. *Anal. Chem.* 24:662.
- ZEHNENDER, F. & W. STUMM. 1953. Determination of ozone in drinking water. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* 44:206.
- INGOLS, R.S., R.H. FETNER & W.H. EBERHARDT. 1956. Determination of ozone in solution. Proc. Int. Ozone Conf., American Chemical Soc., Advan. Chem. Ser. No. 21.
- BYERES, T.H. & B.E. SALTZMAN. 1958. Determination of ozone and air by neutral and alkaline iodide procedures. *J. Ind. Hyg. Ass.* 19:251.
- SALTZMAN, B.E. & N. GILBERT. 1959. Iodometric microdetermination of organic oxidants and ozone. *Anal. Chem.* 31:1914.
- ALTSHULLER, A.P., C.M. SCHWAB & M. BARE. 1959. Reactivity of oxidizing agents with potassium iodide reagent. *Anal. Chem.* 31:1987.
- U.S. DEPARTMENT OF HEALTH, EDUCATION AND WELFARE. 1965. Selected Methods for the Measurement of Air Pollutants. Publ. No. 999-AP-11, U.S. Public Health Serv., Washington, D.C.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1972. Method of Air Sampling and Analysis. Intersociety Comm., American Public Health Ass., Washington, D.C.

direct sunlight at all times and keep from all contact with rubber.

4. Procedure

a. *Sample collection:* Collect an 800-mL sample in a 1-L gas washing bottle.

b. *Ozone absorption:* Pass a stream of pure air or N_2 through sample and then through an absorber containing 400 mL KI solution. Continue for 5 to 10 min at a rate of 0.2 to 1.0 L/min to insure that all ozone is swept from sample and absorbed in KI solution.

c. *Titration:* Transfer KI solution to a 1-L beaker, rinse absorber, and add 20 mL 1*N* H_2SO_4 to reduce pH below 2.0. Titrate with 0.005*M* $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ titrant until yellow color of liberated iodine almost is discharged. Add 4 mL starch indicator solution and continue titrating carefully but rapidly to the end point, at which the blue color just disappears. Long contact of iodine and starch develops a blue compound that is difficult to decolorize. The end point may be determined amperometrically as described in Section 408C:4b except that $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ can be used as the titrant. Other procedures given in Section 408 for measuring iodine may be used.

d. *Blank test:* Correct sample titration result by determining blank contributed by such reagent impurities as free iodine or iodate in KI, or traces of reducing agents that might reduce liberated iodine.

Take 400 mL KI solution, 20 mL 1*N* H_2SO_4 , and 4 mL starch indicator solution. Perform whichever blank titration below applies:

- 1) If a blue color appears, titrate with 0.005*M* $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ to disappearance of blue and record result.
- 2) If no blue color appears, titrate with 0.005*M* iodine solution until a blue color appears. Back-titrate with 0.005*M* $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ to disappearance and record difference.
 Before calculating ozone concentration subtract blank titration in (f 4d1) from sample titration, or add result of (f 4d2) above.

U.S. DEPARTMENT OF HEALTH, EDUCATION AND WELFARE. 1974. NIOSH Manual of Analytical Methods. Publ. No. (NIOSH) 75-121,

U.S. Dep. Health, Education & Welfare, Washington, D.C.

423 pH VALUE*

Measurement of pH is one of the most important and frequently used tests in water chemistry. Practically every phase of water supply and wastewater treatment, e.g., acid-base neutralization, water softening, precipitation, coagulation, disinfection, and corrosion control, is pH-dependent. pH is used in alkalinity and carbon dioxide measurements and many other acid-base equilibria. At a given temperature the *intensity* of the acidic or basic character of a solution is indicated by pH or hydrogen ion activity. Alkalinity and acidity are the acid- and base-neutralizing capacities of a water and usually are expressed as milligrams CaCO_3 per liter. Buffer capacity is the amount of strong acid or base, usually expressed in moles per liter, needed to change the pH value of a 1-L sample by 1 unit. pH as defined by Sorenson¹ is $-\log [\text{H}^+]$; it is the "intensity" factor of acidity. Pure water is very slightly ionized and at equilibrium the ion product is

$$\begin{aligned} [\text{H}^+][\text{OH}^-] &= K_w \\ &= 1.01 \times 10^{-14} \text{ at } 25^\circ\text{C} \quad (1) \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} [\text{H}^+] &= [\text{OH}^-] \\ &= 1.005 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

where:

- $[\text{H}^+]$ = activity of hydrogen ions, moles/L, and
 $[\text{OH}^-]$ = activity of hydroxyl ions, moles/L, and
 K_w = ion product of water.

Because of ionic interactions in all but very dilute solutions, it is necessary to use the "activity" of an ion and not its molar concentration. Use of the term pH assumes that the activity of the hydrogen ion, a_{H^+} , is being considered. The *approximate* equivalence to molarity, $[\text{H}^+]$ can be presumed only in very dilute solutions (ionic strength < 0.1).

A logarithmic scale is convenient for expressing a wide range of ionic activities. Equation 1 in logarithmic form and corrected to reflect activity is:

$$(-\log_{10} a_{\text{H}^+}) + (-\log_{10} a_{\text{OH}^-}) = 14 \quad (2)$$

or

$$\text{pH} + \text{pOH} = \text{p}K_w$$

where:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log_{10} a_{\text{H}^+} \text{ and} \\ \text{pOH} &= -\log_{10} a_{\text{OH}^-}. \end{aligned}$$

Equation 2 states that as pH increases pOH decreases correspondingly and vice versa because $\text{p}K_w$ is constant for a given temperature. At 25°C, pH 7.0 is neutral, the activities of the hydrogen and hydroxyl ions are equal, and each corresponds to an approximate activity of 10^{-7} moles/L. The neutral point is temperature-dependent and is pH 7.5 at 0°C and pH 6.5 at 60°C.

The pH value of a highly dilute solution is approximately the same as the negative common logarithm of the hydrogen ion concentration. Natural waters usually have pH values in the range of 4 to 9, and most

*Designates $-\log_{10}$ of a number.

*Approved by Standard Methods Committee, 1985.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบุคคลและหน่วยงานต่างๆที่เอื้อเพื่อเอกสารคำแนะนำและอื่นๆที่เป็นประโยชน์
ต่อปริญญาานิพนธ์ดังต่อไปนี้

ผศ.ศิริวัฒน์ โทธวิฑูร อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษาและเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง
ตลอดมา

ผศ.สมยศ จุณณะปิยะ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้คำปรึกษาเรื่องวงจร
หลายแบบเป็นอย่างดี

อาจารย์ พิศมัย ชัยรัตน์อุทัย และ อาจารย์ กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ ภาควิชาเคมี คณะ
วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษา และ ให้
ข้อมูลเรื่องการวัดปริมาณ โอโซน

เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเพื่อสถานที่ทดลองและอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และสารเคมี
ในห้องปฏิบัติการ

บริษัท โพรมิเนนท์ ฟลูอิด คอนโทรลส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้แนวทางเกี่ยวกับการนำ
โอโซนไปบำบัดน้ำเสีย

บริษัท บีพี ไทยโซลาร์ ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์
ที่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือจนทำให้โครงการนี้สำเร็จลง
ด้วยดี

หนังสืออ้างอิง

- [1] ส้ารวย สังข์สะอาด, “วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2528
- [2] นพกร ศรีมานพพร สนวนมัน และ วันชัย แสงอมรกุล, ปรินญานิพนธ์เรื่อง “การประยุกต์ใช้ทฤษฎีไฟฟ้าแรงสูงเพื่อการบำบัดน้ำเสีย”, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2536
- [3] ชัยพัฒน์ สังข์ทอง, พรชัย กิ่งพัฒน์ และ รัญ อุ่นจิต, ปรินญานิพนธ์เรื่อง “เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง”, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2534
- [4] จิรพงษ์ ไพศาลกุล และ สมพงษ์ เหลืองเจริญวัฒนา , ปรินญานิพนธ์เรื่อง “เครื่องฟอกชนิดไอออนบวก”, ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2534
- [5] จิรเทพ สังข์ขาว, เฉลิมเกียรติ อ่อนอัฐ และ คำรง ทรงเจริญ, ปรินญานิพนธ์เรื่อง “อิเล็กทรอนิกส์ไฟฟ้าแรงสูง”, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2535
- [6] บริษัทพีพีไทยโซลาร์จำกัด, “ความรู้พื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์”
- [7] Brink Deborah R., Langlais Brono and Reckhow David A, “Ozone in Water Treatment, Application and Engineering”, Lewis Publishing, Michigan, 1991, USA.
- [8] Chryssis George C., “High- Frequency Switching Power Supply :Theory & Design ”, MC GrawHill Publishing ,1989, USA