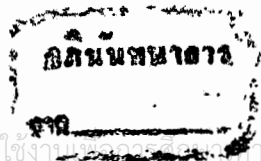




นาย สิบพงษ์ นิธิชัย

อาจารย์ที่ปรึกษา

ค.ร. แคเน็ล บริน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะของสถาบันนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

023107 -8.สค.2532

ปริญญาโทบริหารการศึกษา 2531

เรื่อง ELECTROSTATIC SPRAYER

ผู้จัดทำ

1. นายสกุล คັນบุญเอก
2. นายสีบพงษ์ นิธิชัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึง 023107 ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทกัตย่อ	I
Abstract	II
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นทางไฟฟ้าสถิตย์	2
2.1 ประวัติ	2
2.2 ความรู้เบื้องต้นที่ควรทราบเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตย์	3
2.2.1 ประจุไฟฟ้า	4
2.2.2 สนามไฟฟ้า	4
2.2.3 ศักย์ไฟฟ้า	7
2.2.4 การทำให้เกิดประจุ	8
2.2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาไฟฟ้าสถิตย์	10
2.3 การนำไฟฟ้าสถิตย์ไปประยุกต์ในงานต่าง ๆ	12
2.3.1 การประยุกต์ใช้คุณสมบัติของประจุในสนามไฟฟ้าในงานอุตสาหกรรม	12
2.3.2 การประยุกต์ใช้ในกระบวนการพิมพ์	13
2.3.3 การประยุกต์ใช้ในงานเครื่องแยกแร่	13
2.4 อันตรายอันเกิดจากไฟฟ้าสถิตย์	14
บทที่ 3 การนำความรู้ทางไฟฟ้าสถิตย์มาใช้ในเครื่องเล่นสารเคมีสำหรับกำจัดศัตรูพืช	16
3.1 หลักการ	16
3.2 คุณสมบัติต่าง ๆ ในกระบวนการพ่นโตไซใช้ไฟฟ้าสถิตย์	17
3.2.1 คุณสมบัติการรับประจุของละอองสารเคมี	17
3.2.2 แรงที่กระทำต่อละอองสารเคมี	20
3.2.3 การนำไฟฟ้าของสารเคมี	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
3.3 อินทราย	22
3.4 สรุปการพันสารเคมีกำจัดศัตรูพืชโดยใช้ไฟฟ้าสถิตย์	23
บทที่ 4 การให้ประจุแก่ละอองสารเคมีโดยวิธีทอประจุแบบโถโรน่า	25
4.1 ปรากฏการณ์โถโรน่า	25
4.2 ศักไฟฟ้าเบรคควาน์ในปรากฏการณ์โถโรน่า	26
บทที่ 5 วงจรสวิตชิง เรกทูลเลเตอร์แบบศักไฟฟ้าสูง	31
5.1 พื้นฐานของวงจรสวิตชิง เรกทูลเลเตอร์	31
5.2 สแต๊ปอัปสวิตชิง เรกทูลเลเตอร์	35
5.2.1 การเลือกสวิตชิงทรานซิสเตอร์	37
5.2.2 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง	40
5.2.3 การออกแบบวงจรควบคุมพัลส์วิคตัมอคทูลเลเตอร์	44
5.2.4 วงจรซอฟต์แวร์	46
5.3 วงจรและการออกแบบ	46
บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง	50
6.1 วิธีการทดลอง	50
6.2 ผลการทดลอง	52
6.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	54
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์	55
ภาคผนวก รายละเอียดทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	56
กิตติกรรมประกาศ	64
หนังสืออ้างอิง	65

อิเล็กทรอนิกส์เทรติก สเปร์ย์เยอร์

นาย สฤต คันมฤเอก รหัส 281246

นาย สิบพงษ์ นิธิชัย รหัส 281266

อาจารย์ที่ปรึกษา

ก.ร. แคนเนียด บริน

ปีการศึกษา 2531

บทคัดย่อ

อิเล็กทรอนิกส์เทรติก สเปร์ย์เยอร์ เป็นเครื่องพ่นสารเคมีสำหรับกำจัดศัตรูพืชชนิดหนึ่ง ซึ่งใช้หลักการทางคานไฟฟ้าสถิตย์ โดยนำมาประยุกต์ใช้ในงานพ่นที่ต้องการประสิทธิภาพในการพ่นสูง โดยมีหลักการ คือ การให้ประจุไฟฟ้าชนิดบวกแก่สารเคมีขณะทำการพ่น จากนั้นสารเคมีซึ่งมีประจุเกาะอยู่ ก็จะถูกทำให้เคลื่อนที่ไปยังต้นพืชซึ่งมีประจุลบเกาะอยู่ โดยจะเคลื่อนที่ไปตามเส้นแรงสนามไฟฟ้าด้วยแรงทางไฟฟ้า เนื่องจากเส้นแรงสนามไฟฟ้ามีทิศทางพุ่งออกจากประจุบวกไปยังประจุลบ ในทุกทิศทุกทาง ดังนั้นละอองสารเคมีจึงมีโอกาที่จะเกาะติดทางด้านหลังใบของต้นพืชได้ด้วย เป็นผลให้ประสิทธิภาพของการเคลือบเกาะของสารเคมีบนใบต้นพืชดีกว่าเครื่องพ่นชนิดอื่นมาก

สำหรับวิธีการทำให้เกิดประจุบนละอองสารเคมีนั้น จะใช้วิธีการให้ประจุแบบโคโรน่า ซึ่งต้องอาศัยศักดาไฟสูง โดยจะสร้างขึ้นจากวงจร สเต็ปอัพสวิทชิงเร็ค-กูเลเตอร์

ELECTROSTATIC SPRAYER .

MR. SAKUL TANBUNEK

MR. SUEBPHONG NITICHAI

ADVISER

DR. DANIEL BREEN

Academic Year 1988

ABSTRACT

An electrostatic sprayer is the sprayer that is suitable for a small scale farmer. It applies the electrostatic force to create the droplets of spray. A fine droplet receives the positive ions while they are sprayed and then disperses in a cloud. The negative ions also appear on the leaves and stems of the plants. Then the positive charged will move along the lines of electric field; its direction is from the positive potential to the negative one. This brings the charged droplets cling to leaves including the underside of leaves and stems of sprayed plant. By this method, it will enhance the efficiency and safety in using pesticide to protect crops.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

สำหรับปริญญาโทฉบับนี้ เนื้อหาจะประกอบด้วยความรู้พื้นฐานและหลักการต่าง ๆ ที่ใช้ช่วยในการสร้างประกอบ ELECTROSTATIC SPRAYER โดยจะมีเนื้อหาที่แบ่งเป็นลำดับดังต่อไปนี้

- ความรู้เบื้องต้นทางไฟฟ้าสถิตย์
- การนำความรู้ทางด้านไฟฟ้าสถิตย์ มาประยุกต์ใช้ในเครื่องพ่นสารเคมี

ถ้าจัดกิจกรรม

- การให้ประจุแก่ละอองสารเคมี โดยวิธีการคายประจุแบบโคโรนา
- รวบรวมละเอียดของวงจรสร้างศักย์ไฟฟ้าสูงสำหรับการให้ประจุแก่สารเคมี
- การทดลองและผลการทดลอง
- วิจารณ์และสรุป

การจัดทำปริญญาโทฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นเอกสารประกอบวิชา 14421 PROJECT II ของชั้นปีที่ 4 ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้นทางไฟฟ้าสถิตย์

2.1 ประวัติ

ความรู้ทางค่านไฟฟ้าสถิตย์ได้มีการศึกษามาเป็นเวลานานกว่า 2500 ปีแล้ว ในยุคกรีกมีชาวกรีกที่ชื่อว่า ทาเลส (Thales) ได้นำเอาแท่งอำพันมาถูกับผ้าไหม พบว่าแท่งอำพันนี้สามารถดูดวัตถุชิ้นเล็ก ๆ ได้ แต่ความเข้าใจในทางธรรมชาติของไฟฟ้าสถิตย์ เพิ่งจะมีมาในราวต้นศตวรรษที่ 18 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อ ดูเฟย์ (Dufay) ซึ่งเขาพบว่า สามารถที่จะแยกชนิดของประจุไฟฟ้าออกได้เป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ ประจุที่เกิดจากการนำแท่งแก้วมาถูกับผ้าไหม ซึ่งก็คือประจุบวก และประจุอีกชนิดหนึ่งที่เกิดจากการนำเอาแท่งยาง ไปถูกับขนสัตว์ ซึ่งก็คือประจุลบนั่นเอง นอกจากนี้ เขายังตั้งข้อสังเกตอีกว่าประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกันจะผลักรัน ในขณะที่ประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันจะดูดติดกัน วัตถุในธรรมชาติจะเป็นกลางทางไฟฟ้าได้ก็เนื่องมาจากที่ประจุบวกและประจุลบอยู่ในปริมาณที่เท่ากัน ทำให้อำนาจไฟฟ้าหักล้างกันเองจนหมด

วัตถุโลกก็ตามที่สามารถรักษาสภาพมีประจุไฟฟ้าอิสระได้ไม่ติด ประจุไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ถ่ายเทได้โดยสะดวก เช่น โลหะ สารละลาย และอโลหะจำพวกกราไฟท์หรือน้ำนี้จะเรียกได้ว่า เป็นวัตถุประเภทตัวนำ

ส่วนวัตถุโลกก็ตามที่สามารถรักษาสภาพมีประจุไฟฟ้าอิสระได้เป็นอย่างดี การถ่ายเทประจุกระทำไยยาก เช่น อากาศ แก้ว และน้ำมัน จะเรียกว่าเป็นวัตถุประเภทฉนวน

ในราวปี ค.ศ. 1709 ได้มีการสร้างอุปกรณ์สำหรับใช้ในการศึกษาเรื่องราวทางไฟฟ้าสถิตย์ที่เรียกว่า อิเล็กโตรสโคป (Electroscope) มีลักษณะเป็นชวคแก้วภายในบรรจุแท่งโลหะซึ่งตอนปลายมีแผ่นโลหะบาง ๆ ติดอยู่ 2 แผ่น โดยมากมักจะเป็นแผ่นทองคำ เมื่อนำวัตถุที่มีประจุมาแตะกับส่วนบนของแท่งโลหะ ถ้าเป็นประจุชนิดเดียวกับประจุของแท่งโลหะจะทำให้แผ่นโลหะบาง ๆ นี้กางออกจากกันมากขึ้น ซึ่งเกิดจากการเสียดกันของประจุชนิดเดียวกัน กรณีถ้าเป็นประจุต่างชนิดกันจะทำให้แผ่นโลหะนี้หุบลงเข้าหากัน ซึ่งเกิดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคุกกันของประจุชนิดเดียวกัน อิเล็กโตรสโคปนี้ยังคงใช้อยู่จนถึงปัจจุบัน

การศึกษาทางคานไฟฟ้าสถิตย์ เริ่มมีการศึกษาอย่างจริงจัง ในปี ค.ศ. 1785 โดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อคูลอมป์ (Coulomb) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาแรงที่เกิดขึ้นระหว่างประจุไฟฟ้า 2 ประจุ เขาได้พบว่า แรงที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับปริมาณของประจุ และแปรผกผันกับระยะห่างประจุกกำลังสอง ซึ่งกลายมาเป็นกฎของคูลอมป์ในปัจจุบัน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

F = แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากประจุไฟฟ้าที่วางห่างกันเป็นระยะ r เมตร มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

Q_1, Q_2 = ปริมาณประจุไฟฟ้ามีหน่วยเป็นคูลอมป์ (Coulomb)

K = ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ $1/4 \pi \epsilon$

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

ϵ_0 = Permittivity of free space

$$\approx 8.654 \times 10^{-12} \text{ หรือ } \epsilon_r \approx 1/36\pi \times 10^{-9}$$

ϵ_r = relative dielectric constant

ถ้าทำการทดลองในอากาศ (free space) $\epsilon_r = 1.0006$

ถ้าทดลองในสุญญากาศ $\epsilon_r = 1$

กฎของคูลอมป์นี้นับว่าเป็นกฎสำคัญกฎแรกเกี่ยวกับประจุไฟฟ้า หลังจากนั้นไม่นานความรู้ทางไฟฟ้าก็แพร่หลายออกไปมาก ดังจะเห็นได้จากการที่มีผลงานออกมา เช่น ได้มีการสร้างแบตเตอรี่เครื่องแรกขึ้นโดย โวลตา (Volta) และ กัลวานี (Galvani) และมีผู้ค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับอำนาจแม่เหล็ก ทั้งยังมี ฟาราเดย์ (Faraday) เป็นผู้เสนอหลักการทางสนามไฟฟ้ารวมทั้งเส้นแรงสนามไฟฟ้า ซึ่งต่อมา แมกซ์เวลล์ (Maxwell) ได้ตีความกฎของฟาราเดย์ออกมาในรูปคณิตศาสตร์ได้สำเร็จ

2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวงจรความถี่สูงกับไฟฟ้าสถิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น โปรดดูเงื่อนไขการใช้งานที่แนบมา และขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ

ขั้นแรกจะนิยามคำว่า ไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic) ซึ่งหากจะให้รัดกุมก็คือ เป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ซึ่งเกิดจากประจุไฟฟ้า (อาจจะหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ก็ได้) โดยที่อันตรกิริยาระหว่างประจุเหล่านี้ จะขึ้นอยู่กับตัวประจุและตำแหน่งเท่านั้น ไม่ขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนที่ของประจุ ซึ่งจากการนิยามนี้ทำให้หักเหเรื่องอันตรกิริยาทางแม่เหล็กและความร้อนออกได้ เนื่องจากว่าปรากฏการณ์เหล่านี้เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุ

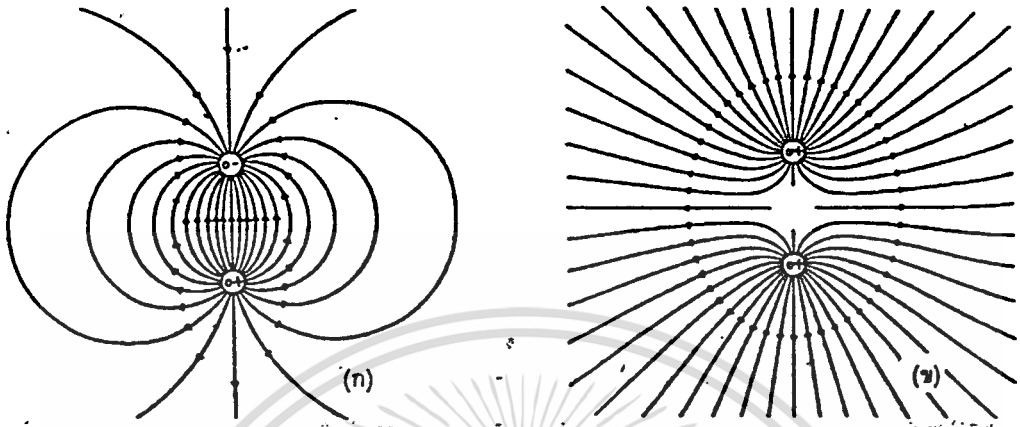
2.2.1 ประจุไฟฟ้า

หากจะกล่าวถึง อนุภาคพื้นฐานของอะตอมใด ๆ ก็จะมีถึงโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน แท้จริง ๆ แล้วยังมีอนุภาคพื้นฐานที่เล็กลงไปกว่านั้นอีก เช่น โพสิตรอน (Positron) เมซอน (Meson) นิวทริโน (Neutrino) หรืออาจเล็กลงไปถึง ควาร์ก (Quark) แต่ในที่นี้จะสนใจเพียงระดับอิเล็กตรอนเท่านั้น โดยถือว่าอิเล็กตรอนเป็นอนุภาคที่โคจรอยู่รอบ ๆ นิวเคลียส ซึ่งประกอบด้วย โปรตอน และ นิวตรอน ถ้ามีแรงมากกระทำต่ออะตอม อาจทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระได้ อิเล็กตรอนนี้จะมีมวล 9.1×10^{-31} กิโลกรัม มีขนาดประจุเท่ากับ -1.6×10^{-19} คูโลมป์ โดยมีค่าของประจุเป็นลบ ส่วนโปรตอนซึ่งก็เป็นอนุภาคที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง มีมวล 1.7×10^{-27} และมีประจุเท่ากับอิเล็กตรอนคือ 1.6×10^{-19} คูโลมป์ แต่มีค่าของประจุเป็นบวก ส่วนนิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุ มีมวลเท่ากับ 1.67×10^{-27} กิโลกรัม ในอะตอมหรือโมเลกุลจะก่อกองประกอบด้วยอนุภาคพื้นฐานทั้ง 3 ชนิดนี้ เช่น อะตอมของธาตุไฮโดรเจน ประกอบด้วย 1 โปรตอน และ 1 อิเล็กตรอน ส่วนอะตอมของฮีเลียมจะประกอบด้วย 2 โปรตอน 1 นิวตรอน และ 2 อิเล็กตรอน เป็นต้น ความปกติเมื่อไม่มีแรงมากกระทำต่ออะตอม จำนวนอิเล็กตรอนก็จะมีค่าเท่ากับโปรตอน ซึ่งมีสภาพทางไฟฟ้าเป็นกลาง แต่ถ้าหากมีแรงจากภายนอกมากกระทำจนทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ อะตอมนั้นก็จะมีสภาพทางไฟฟ้าเป็น ไอออนบวก (positive ion) ส่วนอะตอมที่ที่ได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มก็จะมีสภาพทางไฟฟ้าเป็น ลบ หรือเรียกว่า ไอออนลบ (negative ion)

2.2.2 สนามไฟฟ้า

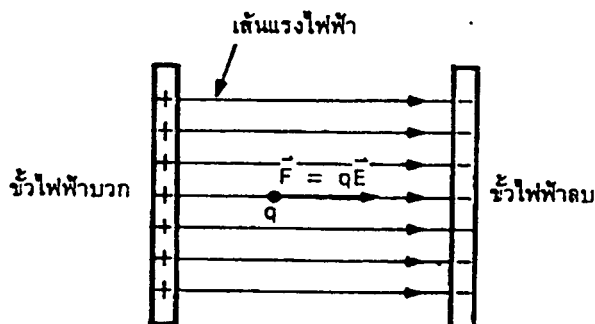
จากที่ทราบมาแล้วว่า ถ้าหากนำวัตถุซึ่งมีประจุ 2 อัน มาวางห่างกันเป็นระยะหนึ่ง จะเกิดแรงระหว่างกันตามกฎของคูลอมป์ เพื่อช่วยในการอธิบายความเกี่ยวข้องระหว่างประจุนี้ ฟาราเดย์จึง ทดริยามเส้นแรงไฟฟ้าว่ามีทิศออกจากประจุบวกไปยังประจุลบ

ดังที่เห็นในรูป



รูปที่ 2.1 แสดงทิศทางของเส้นแรงสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุบวกและลบ (ก) และประจุบวกกับบวก (ข)

การอธิบายเส้นแรงสนามไฟฟ้าในลักษณะนี้ ทำให้เราวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ของปัญหาทางไฟฟ้าสถิตยได้ดีขึ้น ในการนิยามสนามไฟฟ้านั้น อาศัยหลักการของเส้นแรงไฟฟ้ามาประกอบเพื่อให้เห็นภาพชัดเจน ถ้าหากนำประจุไฟฟ้าบวกขนาด Q ไปวางไว้ระหว่างประจุบวกและประจุลบดังรูป ประจุไฟฟ้าจะถูกผลักจากประจุบวก แต่ถูกดึงจากประจุลบโดยแรงลัพธ์นี้จะอยู่ในแนวเส้นแรง ถ้าหากว่าประจุ Q มีขนาด 1 หน่วย ก็อาจนิยามสนามไฟฟ้าไว้ว่าเป็นค่าของแรงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยประจุหนึ่งหน่วย เป็น นิวตัน/คูลอมบ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 ประจุ Q ถูกวางไว้ในสนามสม่ำเสมอซึ่งเกิดจากประจุบวกและลบ

การคำนวณความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุไฟฟ้าอิสระ

กำหนด Q_1 เป็นประจุไฟฟ้าที่อยู่ ณ จุดใดจุดหนึ่ง สมมติว่า Q_1 อยู่ที่จุดเริ่มต้น (origin) การหาความเข้มสนามไฟฟ้า ณ จุดใดอันเนื่องมาจากประจุไฟฟ้า Q_1 เช่น ต้องการหาความเข้มสนามไฟฟ้าที่จุด $R(x,y,z)$ ให้ทำดังนี้ คือ นำประจุไฟฟ้าขนาด +1 ครอบม้วางไว้ที่จุด $F(x,y,z)$

$$\text{จากกฎของคูลอมบ์ที่ว่า } \vec{F} = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi\epsilon R_{12}^2} \cdot \hat{a}_{R12}$$

ดังนั้นแรงที่เกิด ณ จุด $R(x,y,z)$ เนื่องจากประจุไฟฟ้า Q_1 คือ

$$\vec{F} = \frac{Q_1 \cdot 1}{4\pi\epsilon R_{12}^2} \cdot \hat{a}_{R12}$$

สามารถเขียนได้เป็น

$$\vec{E}_R = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon R_{12}^2} \cdot \hat{a}_{R12}$$

โดยที่ R เป็นขนาดของเวกเตอร์ \vec{R}

$$\hat{a}_R \text{ เป็น unit vector ในทิศ } \vec{R}, \hat{a}_R = \frac{\vec{R}}{|\vec{R}|}$$

ถ้า Q_1 เป็นประจุไฟฟ้าที่จุดศูนย์กลางของรูวงกลม ถ้า R ก็เป็นรัศมีของวงกลมนั่นเอง

$$\vec{E} = E_r \hat{a}_r = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon r^2} \cdot \hat{a}_r$$

กรณีที่ต้องการหาความเข้มสนามไฟฟ้า ที่เกิดจากประจุไฟฟ้าอิสระหลายตัวก็นำประจุไฟฟ้าขนาด 1 ครอบม้วางไว้ที่จุดที่ต้องการหาความเข้มสนามไฟฟ้า แล้วใช้สมการดังต่อไปนี้คือ

$$\frac{Q_1}{4\pi\epsilon R_{1p}^2} \cdot \hat{a}_{R_{1p}} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon R_{2p}^2} \cdot \hat{a}_{R_{2p}} + \dots + \frac{Q_n}{4\pi\epsilon R_{np}^2} \cdot \hat{a}_{R_{np}}$$

โดยที่ Q_1, Q_2, \dots, Q_n เป็นประจุไฟฟ้าอิสระที่อยู่ห่างจากจุดที่ต้องการ

หาความเข้มสนามไฟฟ้า (สมมติว่าเป็นจุด p) เป็นระยะทาง $P_{1p}, P_{2p}, \dots, P_{np}$ ตาม

ลำดับ ส่วน $\hat{a}_{R_{1p}}, \hat{a}_{R_{2p}}, \dots, \hat{a}_{R_{np}}$ เป็น unit vector ที่อยู่ในทิศทางของ $R_{1p},$

R_{2p}, \dots, R_{np} สามารถเขียนสมการได้ว่าคือ

$$\vec{E} = \sum_{m=1}^n \frac{Q_m}{4\pi\epsilon R_{mp}^2} \cdot \hat{a}_{R_{mp}}$$

การคำนวณความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุไฟฟ้าที่รวมตัวกันเป็นกลุ่ม

"ประจุไฟฟ้าที่รวมตัวกันเป็นกลุ่ม" ในที่นี้จะหมายถึง ประจุไฟฟ้าจำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น โปรดอย่านำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้ามากมาย (a tremendous number) ที่รวมกันอยู่อย่างหนาแน่นในบริเวณจำกัด เช่น ไม่วิ่งเร็วแต่เพียงสั้น ยกทั้งหมัดเหดตีแบดสังเนือหา และตยงอึ้งคองเจของเอ็กสัวทุกคั้งหมักกรณาเบไซ

อิเล็กตรอนจำนวนมาก ที่อยู่บริเวณหัวคาโทดของหลอดวิทยุ จำนวนอิเล็กตรอนเหล่านี้ พยายามจะขึ้นไปหาหัวแอโนด แต่ก็ถูกกันขวางจากกริด (grid) เนื่องจากระยะทาง ระหว่างประจุไฟฟ้ากับหัวคาโทดมีค่ามากมายมาก ดังนั้นจึงต้องทำการวัดด้วยความหนาแน่น ของประจุไฟฟ้าคือ ρ คูლობ์ต่อปริมาตรลูกบาศก์เมตร (c/m^3)

สมมุติว่าภาชนะมีปริมาตร ΔV ลูกบาศก์เมตร ภายในภาชนะนี้มีความ หนาแน่นของประจุไฟฟ้าอยู่ ρ คูლობ์/ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นจำนวนประจุไฟฟ้าทั้งหมด ในภาชนะจะมีค่า

$$\Delta Q = \rho \Delta V \text{ คูლობ์}$$

หรืออาจเขียนว่า $\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow c} \frac{\Delta Q}{\Delta V}$ คูლობ์/ลูกบาศก์เมตร

หรือ $Q = \int_{vol} dQ = \int_{vol} \rho dv$ คูლობ์

สำหรับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดจากการรวมตัวของประจุไฟฟ้า นั้น สามารถ

หาได้ดังนี้

$$\Delta \vec{E} = \frac{\Delta Q}{4\pi \epsilon R^2} \hat{a}_R = \frac{\rho \Delta V}{4\pi \epsilon R^2} \hat{a}_R$$

$$d\vec{E} = \frac{dQ}{4\pi \epsilon R^2} \hat{a}_R = \frac{\rho dv}{4\pi \epsilon R^2} \hat{a}_R$$

$$\therefore \vec{E} = \int_{vol} \frac{\rho dv}{4\pi \epsilon R^2} \hat{a}_R$$

โดยที่ R คือ ระยะทางระหว่างประจุไฟฟ้าที่รวมกันอยู่เป็นกลุ่ม (ρdv) กับจุดที่ต้องการหาความเข้มสนามไฟฟ้า โดยจุดที่ต้องการหาความเข้มสนามไฟฟ้านั้นจะมีประจุนอก 1 คูლობ์วางอยู่ด้วย

2.2.3 ศักย์ไฟฟ้า

เมื่อวางประจุในสนามไฟฟ้าแล้วปรากฏว่ามีแรงกระทำระหว่างประจุไฟฟ้า กับสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ประจุไฟฟ้ามีพลังงานศักย์เกิดขึ้น โดยพลังงาน ศักย์ก่อนหนึ่งหน่วยประจุนี้เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้า มีหน่วยเป็น จูลต่อคูლობ์ หรือ โวลต์ (Volt)

ประจุไฟฟ้าจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีศักย์ไฟฟ้าสูง ไปยังบริเวณที่มีศักย์ไฟฟ้า

ต่ำ ดังนั้น จึงอาจนิยามความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดว่าคือ ค่าความต่าง ศักย์ (potential difference) แปลงนี้ปกติแล้วหากกำหนดค่าศักย์ไฟฟ้ามาจะ ถือว่าค่ามันไปใช้

เทียบกับดิน (ground) ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเป็น ศูนย์โวลต์

2.2.4 การทำให้เกิดประจุ

การทำให้เกิดประจุนั้นมีวิธีการหลักอยู่ 3 วิธี คือ

1. การทำให้เกิดประจุโดยการเสียดสี (Friction)

วิธีนี้เป็นวิธีการที่ง่ายและเก่าแก่ที่สุด แต่ในปัจจุบันก็ยังคงมีใช้อยู่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตย์ แบบแวนเดอร์กราฟ (Van de Graff) หลักการคือเมื่อนำวัสดุสองชนิด มาเสียดสีกัน อิเล็กตรอนจะหลุดออกจากวัตถุหนึ่ง ไปเกาะบนวัตถุหนึ่ง วัตถุซึ่งได้รับอิเล็กตรอนก็จะมีสภาพทางไฟฟ้าบวก แต่ถ้าวัตถุนี้เป็นฉนวน ประจุที่ได้ก็จะเกาะอยู่บนผิว โดยปริมาณของประจุมากที่สุด สามารถคำนวณได้จากกฎของเกาส์ ซึ่งกล่าวว่า "The electric flux passing through any enclosed surface is equal to the total charge enclosed by the surface" ซึ่งมีสมการคือ

$$\int E \cdot ds = EQ/\epsilon_0$$

โดยที่ E คือ สนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุ Q

S คือ พื้นที่ผิวปิดใด ๆ ซึ่งหากพิจารณาพื้นที่เล็ก ๆ ก็จะเป็น ds

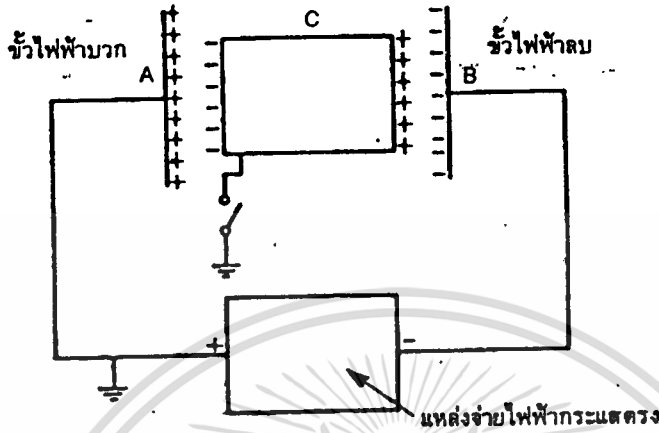
2. การทำให้เกิดประจุแบบโคโรน่า (Corona)

สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในบริเวณขั้วไฟฟ้า (electrode) ซึ่งมีมุมหรือปลายแหลม จะมีความเข้มสูงมาก ความเข้มสนามไฟฟ้าที่สูงมากนี้จะก่อให้เกิดการคายประจุ (discharge) แบบที่เรียกว่า การคายประจุแบบโคโรน่า (Corona discharge) ซึ่งพบได้ทั่วไป กรณีที่หัวนำปลายแหลมหรือเส้นลวดเล็ก ๆ ถูกใช้เป็นตัวนำไฟฟ้า ถ้าปลายแหลมของขั้วไฟฟ้าถูกทำให้มีศักย์เป็นบวกซึ่งมีค่าสูงมาก (high voltage) อิเล็กตรอนที่อยู่บริเวณใกล้ ๆ ปลายแหลมจะถูกเร่งให้ไปอยู่ที่ปลายและหากมีพลังงานมากพอ เนื่องจากการชนอะตอมข้างเคียงก็จะทำให้อะตอมหรือโมเลกุลของอากาศรอบข้างเกิดการแตกตัวเป็น ไอออน (ionization) การรวมตัวของ อิเล็กตรอนและไอออนบวก ในบริเวณที่มีการจ่ายประจุแบบโคโรน่าจะทำให้เกิด โฟตอน (Photon) พลังงานสูง และจะก่อให้เกิดอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น ในบริเวณ ๆ ที่มีการคายประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกเมื่อสนามไฟฟ้าถูกสร้างขึ้นในบริเวณที่มีตัวนำ หรือตัวนำถูกทำให้มีศักย์เป็นบวก



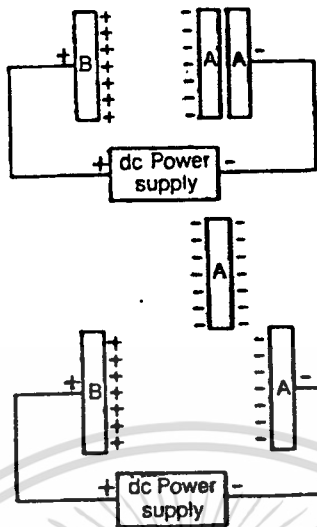
บริเวณซึ่งมีสนามไฟฟ้า จะพบว่าเกิดประจุขึ้นบนตัวนำค้ำรูป



รูปที่ 2.3 วัตถุตัวนำถูกวางในสนามไฟฟ้า

หากพิจารณาจากรูปจะพบว่า มีขั้วไฟฟ้า A และ B วัตถุตัวนำ C ถูกนำมาวางในบริเวณ A และ B ดังนั้นวัตถุตัวนำ C จึงได้รับประจุที่บริเวณต่าง โดยข้างหนึ่ง จะมีประจุบวก ส่วนอีกข้างจะมีประจุลบ ประจุรวมบนตัวนำทั้งหมดจะมีค่าเป็นศูนย์ ถ้าหากต่อ C ลงดิน อิเล็กตรอนที่ C ก็จะวิ่งลงดิน เมื่อเปิดวงจรก็จะมีประจุบนตัวนำ C จะมีจำนวนอิเล็กตรอนน้อยกว่าประจุบวก จึงมีสภาพทางไฟฟ้าเป็นบวก เมื่อ นำ C ออกจากสนามไฟฟ้ามันก็ยังคงมีประจุบวกติดอยู่ ประจุที่ได้นี้จะเรียกว่าเกิดจากวิธีการเหนี่ยวนำ

การทำให้เกิดประจุไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ อาจทำได้โดยการนำเอาตัวนำไฟฟ้ามาแตะเข้ากับขั้วไฟฟ้าตัวหนึ่ง ซึ่งตัวนำจะได้รับประจุขึ้นมา และเมื่อนำออกจากขั้วไฟฟ้าแล้ว ตัวนำก็ยังคงมีประจุอยู่ค้ำรูป



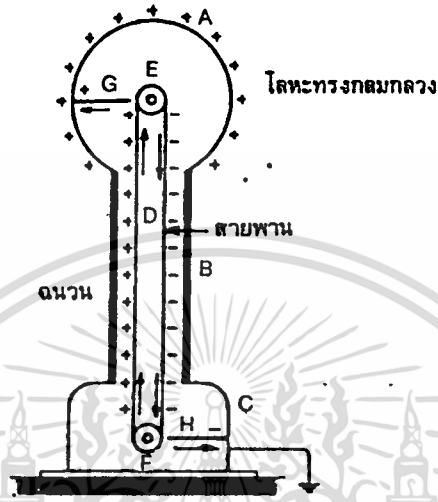
รูปที่ 2.4 การให้ประจุโดยการนำตัวนำมาสัมผัสกับขั้วไฟฟ้า

การทำให้เกิดประจุโดยการเหนี่ยวนำและโดยการคายประจุแบบโคโรน่านี้มีประโยชน์มากในการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าสถิตในงานอุตสาหกรรม เช่น การแยกแร่ การกำจัดฝุ่นผง และการพ่นสี เป็นต้น

2.2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาไฟฟ้าสถิต

การศึกษาไฟฟ้าสถิตในยุคแรก ๆ นั้นนอกจากจะใช้เทคนิคการสร้างประจุโดยการเสียดสี เช่น การนำวัตถุสอง ชนิดมาถูกัน ของกรณี อาจต้องมีการสร้างประจุจำนวนมาก อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิต

อุปกรณ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตมักจะใช้หลักการพลังงานกล เพื่อให้เกิดศักดาไฟฟ้าสูง ๆ อุปกรณ์เหล่านี้ให้ศักดาไฟฟ้าสูงแก่กระแสต่ำ ตัวอย่างของอุปกรณ์ประเภทนี้ที่ยังมีชื่ออยู่ในปัจจุบันคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิต แบบ แวน เดอ กราฟฟ์ (van de Graff Generator) ซึ่งสามารถสร้างศักดาไฟฟ้าสูงกว่า 1 ล้านโวลต์



รูปที่ 2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตย์แบบ แวน เคอ กราฟฟ์

จากรูปแสดง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตย์แบบ แวน เคอ กราฟฟ์ มีหลักการทำงานดังนี้ คือ ทั่วหน้าทรงกลม กลวง A จะวางอยู่บนฉนวน B ซึ่งอยู่บนฐาน C ที่ต่อดังพื้นดินภายในจะมีสายพานพันรอกสองอัน ซึ่งอยู่บนส่วนหัวและส่วนฐาน รอกนี้หมุนโดยใช้มอเตอร์ โดยรอกทั้งสองนี้จะใช้วัสดุต่างกัน เมื่อเสียดสีกับสายพานจะให้ประจุต่างชนิดกัน กล่าวคือ รอกตัวล่างเสียดสีกับสายพานจะให้ประจุบวก ส่วนรอกตัวบนจะให้ประจุลบ เมื่อเกิดประจุบวกขึ้นบริเวณส่วนล่าง สายพานจะนำประจุบวกนี้ขึ้นไปยังส่วนบน เมื่อผ่านเข้าไปใกล้โลหะปลายแหลม G ซึ่งติดกับทรงกลมกลวง ประจุก็จะถูกนำไปยังทรงกลมกลวง เนื่องจากโลหะปลายแหลมก่อให้เกิดการแตกตัวของอากาศที่อยู่ระหว่างปลายแหลมกับสายพาน เมื่ออากาศแตกตัวเป็น ไอออน ก็จะทำตัวเสมือนเป็นตัวนำทำให้ประจุผ่านจากสายพานไปยังทรงกลมได้ หลังจากนั้นเมื่อสายพานผ่านรอกด้านบน ก็จะเกิดประจุไฟฟ้าลบ ซึ่งเคลื่อนที่ตามสายพานลงมายังลวดปลายแหลมที่อยู่ด้านล่างแล้วลงสู่พื้น เนื่องจากภายในที่ทั่วหน้าทรงกลมนี้ไม่มีสนามไฟฟ้า ดังนั้น ประจุที่ได้รับมานั้นลวดปลายแหลมไปสะสมที่ผิวนอกของทรงกลมจึงมากขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ทั่วหน้าทรงกลมนี้มีศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า รณมีศักย์ไฟฟ้าสูงในที่สุด

ไม่ว่ากรณีใดๆที่สงวนไว้ ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

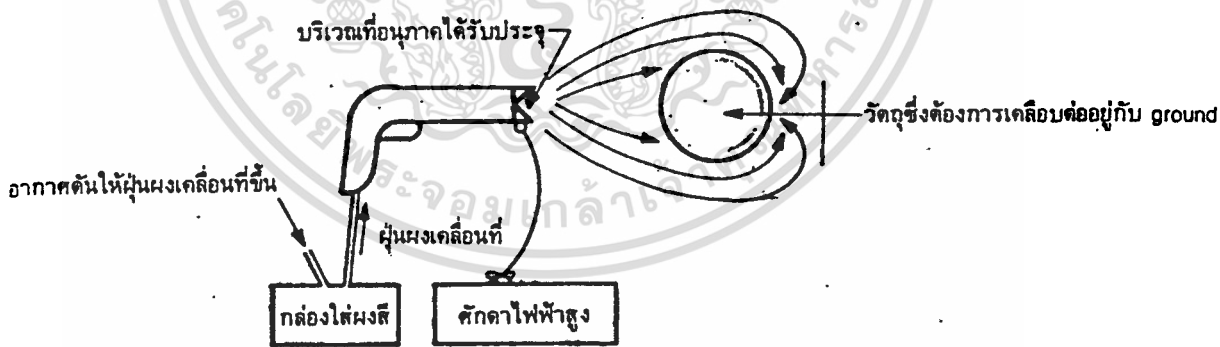
2.3 การนำไฟฟ้าสถิตไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ

จากความรู้ที่มีให้นำไปสู่การประยุกต์ใช้งานไฟฟ้าสถิตทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย โดยจะกล่าวสรุปเป็นหัวข้อก็คือ

2.3.1 การประยุกต์ใช้คุณสมบัติของประจุในสนามไฟฟ้าในงานอุตสาหกรรม

สำหรับในทางอุตสาหกรรมการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าสถิตที่นับว่ามีประโยชน์ที่สุดคือ การใช้ไฟฟ้าสถิตในการควบคุมการเคลื่อนที่ของอนุภาคเล็ก ๆ อุปกรณ์ชิ้นแรกที่เริ่มใช้หลักการนี้คือ เครื่องจับฝุ่นละอองโดยใช้ไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator) ลักษณะของอุปกรณ์ อย่างง่าย ๆ ประกอบด้วยท่อโลหะซึ่งต่อกับดิน (ground) โดยมีเส้นลวดซึ่งอยู่ที่แกนทำหน้าที่คายประจุแบบโคโรนา (Corona) เมื่อฝุ่นผงเข้ามาในท่ออนุภาคเหล่านี้จะได้รับประจุซึ่งได้จากการคายประจุแบบโคโรนา แล้วก็จะถูกผลักไปติดกับผนังท่อซึ่งต่อกับดิน อุปกรณ์ชนิดนี้สามารถให้ประสิทธิภาพได้สูงกว่า 99% โดยสามารถตรวจจับอนุภาคซึ่งมีขนาดเล็ก 2-3 ไมครอนได้

หลักการเดียวกันนี้สามารถนำมาใช้กับกระบวนการเคลือบผิววัสดุซึ่งแสดงดังรูป



รูปที่ 2.6 แสดงระบบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าสถิต

จากรูป วัสดุจำพวก ผงเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) หรือ ผงเทอร์โมเซตติงเรซิน (Thermosetting resin) จะถูกเป่าออกผ่านปืนฉีดที่มีปลายแหลม โดยที่ปากกระบอกปืนจะต่อกับศักย์ไฟฟ้าสูง จึงมีการคายประจุแบบโคโรนาขึ้นกลุ่ม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นานญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาของฝุ่นผงพลาสติกจะถูกให้ประจุโดยไอออนที่ได้จากการคายประจุแบบโคโรนา และถูกนำ

ไปสู่วัตถุที่กองการพนันซึ่งติดอยู่กับกิน โดยสนามไฟฟ้าเป็นตัวนำ เนื่องจากผงฝุ่นเหล่านี้มักจะมีการนำไฟฟ้าต่ำจึงรักษาประจุไว้ได้ และยังคงติดอยู่กับวัตถุที่กองการเคลือบผิวอยู่ แม้ว่าจะเอาสนามไฟฟ้าออกแล้วก็ตาม จุดเด่นของเทคนิคนี้คือ ใค้ผิวที่สม่ำเสมอ แข็งแรง และยังสามารถนำฝุ่นผงที่ไม่เกาะติดกับวัตถุ และตกอยู่กลับมาใช้ได้อีก ทำให้ประหยัด เมื่อเทียบกับการพ่นสีธรรมดา

การเคลือบผิวโดยใช้ไฟฟ้าสถิตนี้ อาศัยกับสีในลักษณะที่เป็นของเหลวได้ ค่าย โดยสีจะถูกทำให้แตกตัวเป็นละออง และจะมีการให้ประจุแก่ละอองเหล่านั้น ละอองสีที่ได้รับประจุจะเคลื่อนที่ไปตามเส้นแรงสนามไฟฟ้าเพื่อไปยังทุกส่วนของวัตถุที่อยู่ในขอบเขตสนามไฟฟ้า แม้ว่าจะอยู่อีกด้านหนึ่งก็ตาม กระบวนการนี้เรียกว่า "wrap around" ขบวนการนี้ ใค้ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับการพ่นสารเคมีปราบศัตรูพืช ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น อีอั้งยังพบว่าสารเคมีสามารถที่จะเกาะทั้งผิวบนและล่างของใบได้ นับว่ามีประโยชน์กับการปราบศัตรูพืชอย่างมาก รายละเอียดในเรื่องนี้จะอธิบายในบทที่ 3

2.3.2 การประยุกต์ใช้ในกระบวนการพิมพ์

ความเที่ยงตรงของระบบไฟฟ้าสถิตในการควบคุมอนุภาคเล็ก ๆ สามารถเห็นได้ชัดเจนจากการใช้งานของเครื่องฉายเอกสาร วิธีการทำงานของเครื่องจะมีหลักการดังนี้ คือ แสงจะถูกส่งลงบนกระดาษที่มีภาพที่ต้องการฉายแล้วเพื่อที่จะก่อให้เกิดภาพบนลูกกลิ้งบริเวณที่ใค้รับแสงก็จะกลายเป็นตัวนำซึ่งประจุไฟฟ้าจะหนีออกไปใค้ง่าย ส่วนที่เป็นเงามืด เช่น รูปภาพหรือตัวอักษร ซึ่งแสงไม่สามารถผ่านใค้ หรือผ่านใค้แค่น้อยก็จะเป็นฉนวนอยู่ ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณแสงที่มากตกกระทบบนน้อยหรือมากเพียงใค้ ในส่วนที่เป็นฉนวนนี้ประจุไม่สามารถถ่ายเทใค้ง่าย จึงมีประจุเกาะติดอยู่มากน้อยเป็นสัดส่วนกับความเป็นฉนวนนี้ เมื่อลูกกลิ้งนี้หมุนผ่านไปบนบริเวณที่มีผงหมึก ซึ่งทำให้หมึกประจุโดยการเสียดสีและมีประจุชนิดตรงข้ามติดอยู่ เกิดเป็นภาพบนลูกกลิ้งที่ใค้ด้วยสารโพโตคอนดักเตอร์ จากนั้นผลหมึกก็จะถูกถ่ายเทลงกระดาษ โดยใช้ความร้อนช่วยเพื่อให้เกาะติดกับแผ่นกระดาษทำให้เกิดเป็นภาพขึ้นตามต้องการ

2.3.3 การประยุกต์ใช้งานในเครื่องแยกแ้ว

จากข้อดีดังกล่าวพบว่า ขนาดรูปร่าง และคุณสมบัติเฉพาะของสารต่าง ๆ จะมีผลอย่างมากกับธรรมชาติของกราวใค้และรับประจุของอนุภาคเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการ

แยกวัตถุหลายชนิดออกจากกันได้ เช่น กรณีที่มีการนำไฟฟ้าต่างกัน หรือกรณีที่มีการรับประจุต่างกันในทางอุตสาหกรรมเหมืองแร่ จึงใช้หลักการนี้เพื่อแยกแร่หลายชนิดออกจากกัน เช่น การแยก ควอตซ์และฟอสเฟต จากคุณสมบัติของแร่ทั้งสองชนิด เมื่อมีการเสียดสีกันจะทำให้ประจุต่างชนิดกัน จึงใช้สนามไฟฟ้าเพื่อแยกออกจากกัน สำหรับวัสดุที่เป็น ฉนวนหรือตัวนำก็สามารถแยกจากกันได้ง่าย เนื่องจากอนุภาคที่เป็นตัวนำจะเคลื่อนที่ได้ในสนามไฟฟ้า แต่อนุภาคที่เป็นฉนวนจะไม่เคลื่อนที่ หลักการนี้ยังสามารถช่วยในการวิเคราะห์แยกแร่ต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี

2.4 อันตรายอันเกิดจากไฟฟ้าสถิตย์

ปรากฏการณ์พื้นฐานที่สุดที่เกี่ยวกับประจุไฟฟ้าที่พบในชีวิตประจำวัน คือ การที่ประจุพยายามเรียงตัวตามธรรมชาติบนผิวที่จะพบจากเหตุการณ์ เช่น การถูรองเท้า จากการถูเสื้อผ้าคุณ เมื่อพยายามเปิดรถ หรือประตูบาน กรณีนี้ เกิดจากการที่ประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกันรวมตัวกันเป็นกลุ่มที่ผิว และพยายามที่จะลงสู่ดิน โดยปกติแล้วทั้งของแข็งและของเหลวจะแสดงพฤติกรรมในลักษณะข้างต้น แต่ของเหลวมักจะมีแนวโน้มที่จะเกิดการแยกตัวของประจุ ทำให้เกิดประจุอิสระขึ้นจากอะตอมที่เป็นกลาง ก็จะเห็นได้จากกรณีที่ของเหลวไหลผ่านท่อ ซึ่งทำให้เกิดการแยกตัวของประจุระหว่างของเหลวกับท่อบริเวณส่วนที่สัมผัสกับของเหลว ถ้าหากท่อหรือของเหลวมีการนำไฟฟ้าไม่ดี ประจุที่เก็บขึ้น ก็ไม่อาจจะวิ่งลงดินได้ง่าย จึงอาจมีการรวมตัวของประจุได้ ซึ่งมีผลทำให้เกิดประกายไฟซึ่งก่อให้เกิดอันตรายได้

ในสถานการณ์บางอย่าง เช่น ในโรงงานซึ่งผู้คุมเครื่องจักรหรือคนงาน ที่ได้ รับประจุแล้วเกิดอันตรายก็มีโอกาสเกิดขึ้นได้ ทั้งนี้เพราะร่างกายคนจะรู้สึกว่ามี การรับหรือคายประจุผ่านตัว เมื่อมีศักดาสูงกว่า 2 กิโลโวลต์ ซึ่งพบว่าเป็นค่าต่ำมาก เพราะเพียงการเดินผ่านห้องที่มีขั้วลบ ก็สามารถก่อให้เกิดศักดาไฟฟ้าสูงกว่า 10 กิโลโวลต์แล้ว จึงมักพบว่าร่างกายจะรับรู้การรับประจุหรือถูกไฟช็อตได้ง่าย และอาจส่งผลต่อการนี้ ในลักษณะของการถูซึ่งแม้ว่าไม่มีอันตรายต่อร่างกาย เพราะพลังงานในการคายประจุนี้ประมาณ 10 มิลลิจูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดปัญหาของไฟฟ้าสถิตย์นี้ นับว่าเป็นปัญหาที่ยุ่งยากพอควร ดั้งแรก
ที่ควรทำคือ วัสดุที่เป็นตัวนำซึ่งเกี่ยวข้องกับการทำงาน ควรจะค่อลงดินเสมอ เพราะ
อย่างน้อยประจุชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นจะวิ่งลงดิน ซึ่งจะช่วยลดอันตรายนลงไปได้มาก



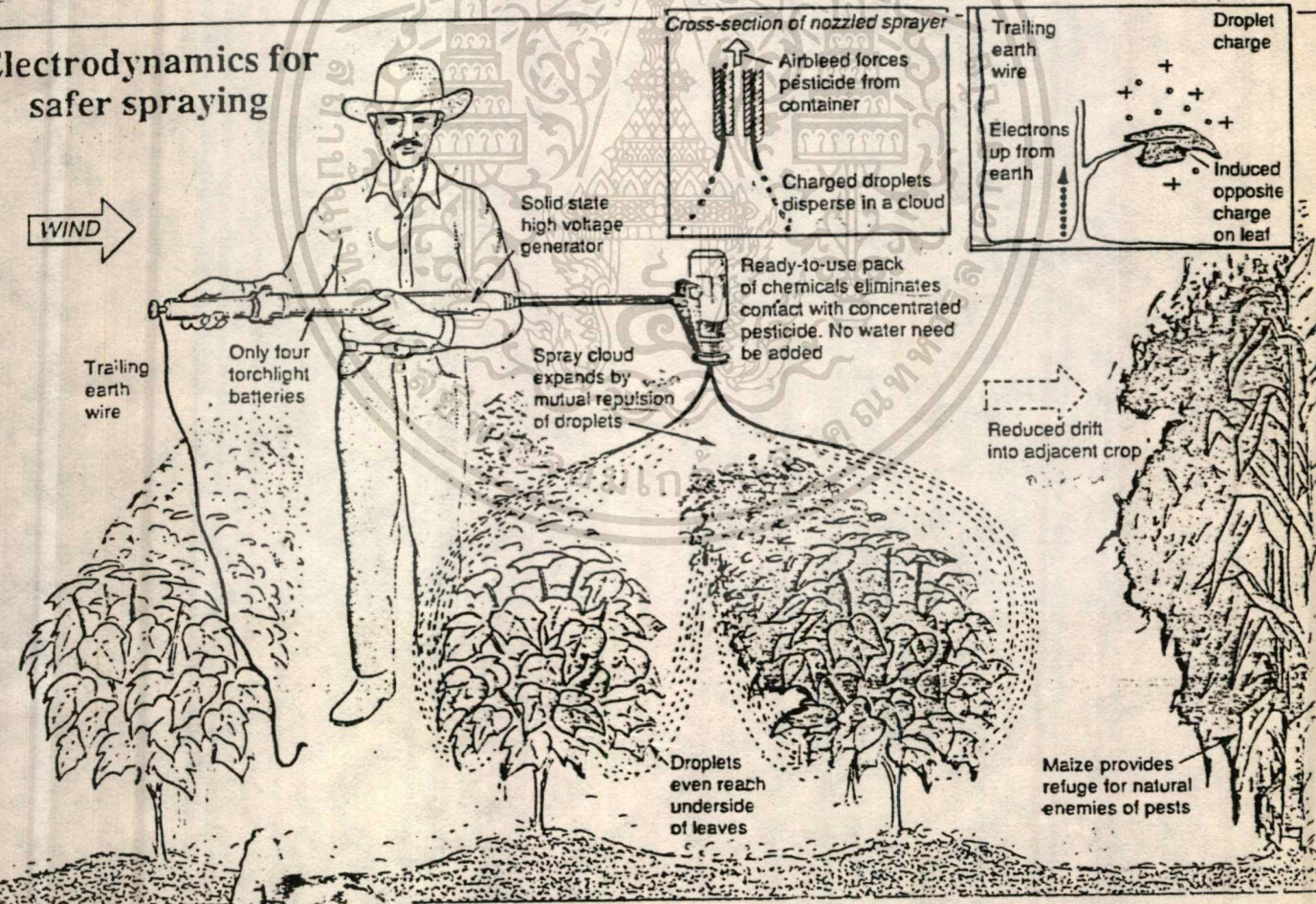
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การนำความรู้ทางไฟฟ้าสถิตมาใช้ในการพ่นสารเคมีสำหรับกำจัดศัตรูพืช

3.1 หลักการ

การพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชด้วยวิธีนี้ จะช่วยทำให้เกิดประสิทธิภาพสูง การสูญเสียของสารเคมีจะน้อยลง และไม่ก่อให้เกิดอันตรายแก่มนุษย์ และสิ่งแวดล้อมไม่ว่าในทางตรง และทางอ้อม การศึกษาถึงการนำเอาไฟฟ้าสถิตมาใช้ในการพ่นสารกำจัดศัตรูพืช ได้เริ่มมาเป็นเวลากว่า 10 ปี แล้ว โดยนาย Ron Coffee แห่งบริษัท ICI Agrochemical โดยมีลักษณะของเครื่องพ่นดังรูป



เอกสารที่ 3.1 แสดงการพ่นโดยใช้เครื่องพ่นแบบ Electrostatic Sprayer ประโยชน์ด้านกรรค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นว่า สารเคมีจะถูกพ่นออกมา ณ ที่ซึ่งมีศักดาไฟสูง จากนั้น สารเคมีก็จะถูกทำให้เป็นละออง และได้รับประจุบวก จากการทำประจุแบบเหนี่ยวนำ และการทำประจุแบบโคโรน่า ทำให้กลายเป็นละอองสารเคมีที่มีประจุอยู่ ส่วนคันพีช ก็จะได้รับประจุลบจากการที่ต่อสาย ground ของ เครื่องลากไปกับพื้นดิน อิเล็กตรอน จะวิ่งจากดินไปออกอยู่ที่ตามใบและกิ่งก้านของคันพีช จากนั้นสารเคมีที่มีประจุบวกก็จะทำการเคลื่อนที่ไปตามแนวเส้นแรงสนามไฟฟ้า ซึ่งมีทิศออกจากภัยไฟฟ้าบวกไปยังภัย ไฟฟ้าลบ เป็นเหตุให้ละอองสารเคมีเกาะติดที่ตามใบและกิ่งก้านของคันพีชที่อยู่ภายในบริเวณ ที่เส้นแรงสนามไฟฟ้าไปถึง แต่มีข้อพิเศก็คือ สารเคมีจะสามารถเกาะติดทางค้ำต่างของ ใบได้ค้วย เนื่องจากผลของสนามไฟฟ้าซึ่งพุ่งออกจากควงวนไปยังช่้วลใบในทุกทิศทาง ทำให้ประสิทธิภาพของการ เกาะติดดีกว่า เครื่องพ่นแบบธรรมดา และ ส่วนของสารเคมี ที่จะถูกพัดพาไปกับลมจะมีน้อย

3.2 คุณสมบัติต่าง ๆ ในกระบวนการพ่นโดยใช้ไฟฟ้าสถิตย์

ก่อนอื่นจะขอกล่าวถึงประสิทธิภาพของการเคลื่อนเกาะ (Deposition efficiency) ซึ่งเป็นตัวบอกว่าการสูญเสียวัสดุ เนื่องจากการทำงานเป็นเท่าใด มี สูกรกั๊งนี้

$$\eta_d = M_a / M_t \times 100\%$$

โดยที่ η_d คือ ค่าประสิทธิภาพในการเคลื่อนเกาะ ซึ่งถ้าหากมีค่า มาก ก็แสดงว่ามีการสูญเสีย น้อย

M_a คือ มวลของสารที่ติดอยู่กับวัตถุที่ทำการพ่น

M_t คือ มวลของสารที่ถูกพ่นออกมาทั้งหมด

การพ่นแบบธรรมดาโดยไม่ใช้ไฟฟ้า จะให้ประสิทธิภาพการเคลื่อนประมาณ 50% แต่ถ้หากโครงสร้างของวัตถุที่จะพ่นซับซ้อนยิ่งขึ้น ประสิทธิภาพก็จะยิ่งลดลง กรณีที่ใช้ไฟฟ้าสถิตย์ช่วยในการพ่น จะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็นถึง 95% ส่วนวัตถุ ที่มีรูปร่างซับซ้อนก็จะมีประสิทธิภาพประมาณ 40-50%

3.2.1 คุณสมบัติการรับประจุของละอองสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เมื่อไอออนหรือประจุไฟฟ้า พบกับละอองสารเคมีที่ถูกพ่นออกมา ก็จะเกาะติด ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อเอกสารทุกครั้งที่มาใช้ กับละอองสารเคมี จนกระทั่งละอองสารเคมีมีประจุมากพอที่ระผลลัไอออนอื่น ๆ โดย

ประจุที่จะมีได้ สามารถคำนวณได้จาก

$$Q = 4\pi\epsilon_0 a^2 B E$$

โดยที่ Q เป็นปริมาณประจุมากที่สุดที่จะมีได้บนละอองสารเคมี

a เป็นรัศมีของละอองของสารเคมี

E เป็นค่าสนามไฟฟ้า

B เป็นค่าคงที่มีค่า $= 1 + 2(\epsilon_r - 1) / (\epsilon_r + 2)$

โดย ϵ_r คือ ค่า relative permittivity ของสารเคมี

ส่วนเวลาซึ่งใช้ในการที่จะได้รับประจุมากที่สุดหาได้จาก

$$t = 4\epsilon_0 / (e N K)$$

โดยที่ N คือ ค่าความหนาแน่นของประจุ มีหน่วยเป็น ประจุก่อลูกบาศก์เมตร

e คือ ค่าของประจุ $= 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมป์

K คือ ค่า mobility ของประจุ มีหน่วยเป็น ตารางเมตร/โวลต์-วินาที

ϵ_0 คือ ค่า permittivity ของ free space $= 8.85419 \times 10^{-12}$

ในการพ่นสารเคมีนี้ จะมีกระแสไฟฟ้าขนาดประมาณ $10 \mu A$ แผลออกจากบริเวณที่มีความหนาแน่นไอออนสูงไปยังบริเวณไกลออกไปที่มีความหนาแน่นของประจุหรือไอออนต่ำ ในบริเวณที่ห่างจากหัวฉีด 2-3 เซนติเมตร ความหนาแน่นของประจุจะมีค่าประมาณ 5×10^4 ไอออนต่อลูกบาศก์เมตร ทำให้เวลาที่ใช้ในการได้ประจุถึงค่าสูงสุดบนละอองสารเคมี มีค่าประมาณ 2×10^{-4} วินาที แต่ในงานจริง ๆ นั้น อนุภาคของละอองสารเคมี จะใช้เวลาอย่างน้อย 0.1 วินาที ในการเคลื่อนข้ามหัวฉีดไปยังวัตถุที่ต้องการพ่น ละอองจึงจะไ้รับประจุอย่างเต็มที่ แต่ในกรณีที่มีไอออนมากกว่าละอองมาก ๆ ประจุที่ได้รับมากที่สุดจะไม่ขึ้นกับจำนวนไอออนที่มี เนื่องจากจำนวนไอออนมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการรับประจุให้ไ้มากที่สุดเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการพ่นสารเคมีโดยใช้ไฟฟ้าสถิตยนี้ สำหรับเครื่องที่ออกแบบมาอย่าง
ดีจะมีการให้ประจุโดยวิธีการเหนี่ยวนำด้วย เพื่อให้ได้ผลดีที่สุด ปากกระบอกปืนฉีกระ
ต้องทำด้วยโลหะหรือวัสดุตัวนำอื่นๆ สนามไฟฟ้าบริเวณนี้จะคงมีค่าสูงมาก แต่การให้
ประจุโดยวิธีนี้สารเคมีที่ฉีดจะคงมีคุณสมบัติเป็นตัวนำที่ดีพอ คือ อย่างน้อยคงมีค่าการ
นำไฟฟ้ามากกว่า 10^{10} mho ต่อเมตร

สำหรับ ขนาดของละอองสารเคมีและประจุจะขึ้นอยู่กับ

- 1) การนำไฟฟ้าของสารเคมี
- 2) ความดันและความเร็ว ณ จุดที่สารเคมีแตกตัวเป็นละออง
- 3) ความเร็วของละอองสารเคมี
- 4) ศักย์ไฟฟ้าที่หัวฉีด

ในกรณีที่ละอองมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1 ไมครอน พบว่าจำนวน
ประจุที่รับบนอนุภาคจะถูกจำกัดโดยขีดจำกัดที่เรียกว่า ขีดจำกัดของเรย์ไลต์ (Rayleigh
Limit) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อแรงดันของหยดสารเคมีอันเกิดจากแรงทางไฟฟ้าซึ่งดันออกและ
แรงตึงผิวมีค่าเท่ากัน ในกรณีนี้จำนวนประจุ (n) จะมีค่าเท่ากับ

$$n = 4\pi(\tau E_v)^2 a^3 / e$$

โดยที่ e คือ ประจุมีหน่วยเป็นคูลอมป์

τ คือ แรงตึงผิวมีหน่วยเป็นนิวตันต่อเมตร

a คือ รัศมีของอนุภาคมีหน่วยเป็นเมตร

ถ้าประจุมีค่ามากกว่านี้อนุภาคละอองสารเคมีจะแตกออกการให้ประจุโดยไฟฟ้า
สถิตยนี้จะได้ละอองสารเคมีที่ละเอียดกว่าแบบที่ไม่ใช้ไฟฟ้าสถิตย

ในการออกแบบหัวฉีดที่ดี จะต้องมีการให้ประจุทั้ง 2 แบบ คือ ให้ประจุแบบ
เหนี่ยวนำ และแบบโคโรน่า แต่การให้ประจุโดยการเหนี่ยวนำนี้จะเกิดขึ้นเมื่อสารเคมี
มีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงพอเท่านั้น ถ้าเป็นกรณีที่สารมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำหรือเป็นฉนวนจะให้
ประจุได้เพียงวิธีเดียวคือแบบโคโรน่า

3.2.2 แรงที่กระทำต่อละอองสารเคมี

หากจะพิจารณาถึงแรงที่กระทำต่อละอองจะพบว่ามีความแข็งแรง แรงโน้มถ่วงของโลก และแรงทางไฟฟ้าสถิตย์

1) แรงลม (Aerodynamic Force) แรงลมมีส่วนช่วยในการนำละอองสารเคมีไปเกาะติดบนต้นไม้พืช แต่ก็อาจมีผลเสียคือ พัดพาละอองสารเคมีให้หายไปสู่อากาศได้ด้วย ดังนั้น การพ่นจึงควรพ่นในตอนที่ลมสงบ เพื่อลดผลอันเกิดจากแรงลมให้มีความน้อยที่สุด

2) แรงทางไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Force) แรงนี้เป็นแรงที่ดึงดูดประจุที่เคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่ติดการพ่น และยังสามารถทำให้ละอองสารเคมีที่มีประจุเกาะติดทางคาน้ำล้างของใบไม้ได้ด้วย แรงทางไฟฟ้ามีสูตรดังนี้คือ

$$F_e = QE$$

โดยที่ F_e คือ แรงทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้น มีหน่วยเป็นนิวตัน

Q คือ ประจุที่มีอยู่บนอนุภาค

E คือ สนามไฟฟ้าในบริเวณหัวฉีดกับสิ่งที่ต้องการพ่น

ปกติมีค่าประมาณ 4×10^5 โวลต์ต่อเซนติเมตร

แรงทางไฟฟ้าจะถูกต้านโดยแรงเนื่องจากอนุภาควิ่งผ่านอากาศ

ซึ่งหาได้จาก

$$F_d = 6\pi\mu a v_c$$

โดยที่ a คือ รัศมีของอนุภาคมีหน่วยเป็นเมตร

μ คือ ค่า viscosity ของอากาศ ซึ่งมีค่า

2×10^{-4} นิวตัน-วินาที/เมตร²

v_c คือ ความเร็วของอนุภาคมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

ถ้าหากแรงทั้งสองนี้สมดุลกันพอดีก็จะสามารถหาความเร็วของอนุภาคได้

$$6\pi\mu a v_c = QE$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้ $5 \times 10^7 EE_c a$ เมื่อให้ $Q = 4\pi\epsilon_0 a^2 BE$ โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
โดยที่ E_c หมายถึงความเข้มสนามที่จุดโคโรนา

สำหรับอนุภาคขนาด 50 ไมครอน ซึ่งเคลื่อนที่อยู่ในสนามไฟฟ้าระหว่าง
เป็นฉีกกับวัตถุที่ต่อกับดิน (ground) โดยสนามไฟฟ้ามีความเข้ม 4×10^5 โวลต์ต่อ
เมตร จะได้ว่า

$$V_e = 5 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

ค่านี้จะสอดคล้องกับความจริงของอนุภาคที่จับได้ เนื่องจากแรงทางไฟฟ้า
ในกรณีที่ได้รับประจุมากที่สุด และเนื่องจากประจุ Q จะแปรผันกับ a^2 จะเห็นได้ว่า
ค่าความเร็ว V_e จะแปรผันกับ a ดังนั้น หากอนุภาคมีขนาดเล็กลง ก็จะมีความเร็วต่ำด้วย

3) แรงเนื่องจากความโน้มถ่วง ของโลก เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็ว
ของอนุภาค ซึ่งคำนวณได้จากแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้า (F_e) กับความเร็วซึ่งเกิดจาก
แรงโน้มถ่วงของโลก (V_g) ซึ่งคำนวณจากแรงต้านของอากาศโดยใช้ Stoke's law
จะเห็นว่ามีความต่างกันมาก

จาก Stoke's law

$$V_g = M_g / (6\pi\eta a) = 4a^3 \rho_g / (3\eta a)$$

โดย m เป็นมวลของอนุภาค มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

D คือ ความหนาแน่นของอนุภาคมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อ

ลูกบาศก์เมตร

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

และมวล (M) มีค่า = ความหนาแน่น (D) \times ปริมาตร ($4/3 \pi a^3$)

ถ้าหากสมมุติว่าความหนาแน่นของอนุภาคมีค่าเท่ากับ 2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
อนุภาคซึ่งมีขนาด 50 ไมครอน จะมีความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกประมาณ 0.1
เมตรต่อวินาที ซึ่งน้อยกว่า ความเร่งเนื่องจากแรงทางไฟฟ้าถึง 50 เท่า การคำนวณ
นี้แม้ว่าจะไม่เที่ยงตรงนัก เนื่องจากค่าที่ใช้ไม่ใช่ค่าที่แท้จริง แต่ก็เป็นการแสดงให้เห็น
ถึงขนาดของแรงต่าง ๆ ที่กระทำในระลอกที่มีการเคลื่อนผิวเกิดขึ้น อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึง
ขนาดของแรงต่าง ๆ ที่กระทำในระลอกที่มีการเคลื่อนผิวเกิดขึ้น อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผล
ของการใช้ไฟฟ้าสถิตย์ต่อความเร็วจากสมการ $V_e = 5 \times 10^{-7} E E_c a$ ทำให้เห็นว่า
เอกลักษณ์ของอนุภาคมีผลต่อความเร็ว เพราะความเร่งเนื่องจากแรงทางไฟฟ้า (V_e) นั้นแปรผัน
ไม่ตรงกับขนาดของอนุภาค (a) ถ้าอนุภาคยิ่ง เล็กความเร่งเนื่องจากแรงทางไฟฟ้าก็ยิ่งน้อยใช้

กว่าความเร็วลมนี้คือความเร็วประมาณ 0.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งทำให้รั้วมีของอนุภาค (a) มีค่าประมาณ 2.5 ไมครอน นั่นคือ อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอนจะถูกพัดพาไปโดยแรงลมเป็นส่วนใหญ่และจากการคำนวณพบว่าถ้าอนุภาคมีขนาดมากกว่า 80 ไมครอน ประสิทธิภาพของการเคลือบเกาะจะลดลง เนื่องจากแรงโน้มถ่วง

3.2.3 การนำไฟฟ้าของสารเคมี

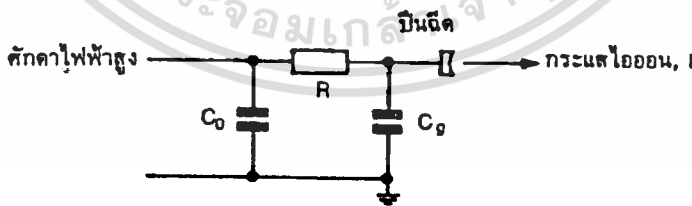
การนำไฟฟ้าของสารเคมีนับว่าเป็นตัวการสำคัญที่ควบคุมการรับประจุของละอองสารเคมี กล่าวคือ ถ้าการนำไฟฟ้าต่ำ เช่น น้อยกว่า 10 โมห์ต่อเมตร จะทำให้ไม่สามารถรับประจุแบบเหนี่ยวนำได้ ดังนั้น จึงรับได้แต่การให้ประจุแบบโคโรนาเท่านั้น แต่การนำไฟฟ้ามีค่าสูงไปก็จะเกิดปัญหาในการปฏิบัติมากขึ้น

3.3. อันตราย

อันตรายที่อาจเกิดจากการพ่นสารโดยใช้ไฟฟ้าสถิตย์นี้ อาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม

- 1) อันตรายอันเกิดจากการถูกไฟฟ้าช็อต
- 2) อันตรายอันอาจเกิดจากการจุดระเบิดของสารติดไฟ

หากพิจารณาจากรูปของหัวฉีดที่ใช้ไฟฟ้าสถิตย์ ดังรูป



รูปที่ 3.2 แลวงจรจรของหัวฉีดแบบไฟฟ้าสถิตย์

จาก รูปถ้าตัวกำเนิดศักย์ไฟฟ้ามีค่าของตัวเก็บประจุทางค่าน out put (C_0)

มีขนาดประมาณ 1,000 พิโคฟารัด หากมีศักย์ไฟฟ้า 60 กิโลโวลท์ ก็จะมีพลังงาน
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$(C_0V^2/2) = 180$ มิลลิวูล ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ใช้ได้หากเมลอคเอามือไปจับเข้า หรือถ้าหากมีการลัดวงจรระหว่างปากกระบอกปืนกับวัตถุ พลังงานขนาดนี้ อาจทำให้เกิดการจู่ระเบิดของสารเคมีได้ เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการจู่ระเบิดของสารเคมี เช่น ทินเนอร์ มีค่าเพียง 0.2-1 มิลลิวูล เท่านั้น

ในหลาย ๆ ระบบ อันตรายนี้อาจลดลงได้โดยการติดตั้ง ความต้านทานค่าสูงระหว่างตัวจ่ายไฟฟ้ากับหัวฉีด เช่น ถ้าใช้ความต้านทาน 600 เมกกะโอห์มและศักย์ไฟฟ้า (V_g) มีค่า 60 กิโลโวลต์ จะให้กระแสมีค่าประมาณ

$$I_{max} = V_g/R = 100 \text{ ไมโครแอมแปร์}$$

เมื่อเกิดการลัดวงจรจะทำให้มีศักย์ไฟฟ้าตกตลอดทั่วทั้งความต้านทาน ดังนั้น ศักย์ไฟฟ้าที่หัวฉีดจะมีค่าเป็นศูนย์ การเลือกใช้ความต้านทานค่าสูงพอเหมาะระหว่างตัวจ่ายกับหัวฉีด จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่หัวฉีดลดลงถึงจุดที่ไม่เป็นอันตรายในทันทีที่ปากกระบอกปืนแตกกับสิ่งที่จะถูกพ่น

3.4 สรุปการพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชโดยใช้ไฟฟ้าสถิตย์

สำหรับสารเคมีที่ใช้กับเครื่องพ่นชนิดนี้จะต้องเป็นสารเคมีสูตรเข้มข้นไม่ต้องผสมน้ำอีกเวลาใช้ซึ่งสารเคมีสูตรนี้ (Ultra low Volume) ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใช้ในปัจจุบันมากขึ้น เนื่องจากเป็นวิธีที่ประหยัด ปลอดภัย และรวดเร็วกว่าวิธีอื่น

สารเคมีสูตรนี้มักจะมีส่วนผสมของน้ำมีฤทธิ์ระเหยช้าและไม่เป็นพิษต่อต้นพืชสาเหตุที่ถ่วงผสมน้ำมีฤทธิ์ระเหยช้าก็น่าจะมาจากในเวลาที่ละอองสารเคมีปลิวไปในอากาศจะระเหยไปทุกวินาที ทำให้ขนาดของละอองมีขนาดเล็กลงทุกทีเมื่อขนาดเล็กลงก็จะทำให้ปลิวหายไปในอากาศทำให้พลาที่หมา ที่จะทำการพ่น ฉะนั้น จึงต้องผสมน้ำมีฤทธิ์ระเหยช้า หรือไม่ระเหยเลย การที่ผสมด้วยน้ำมีฤทธิ์ระเหยช้าก็คือ สารเคมีจะไม่ถูกชะล้างไ้ได้ง่ายเวลาที่ฝนตก

การที่ใช้สารเคมีสูตร ULV นี้ จะใช้ปริมาณสารที่ค่อนข้างน้อยกว่าการใช้

สารเคมีที่ค่อนข้างก่อนเป็นอันมาก ตัวอย่างจากเครื่องฉีดชนิดเดียวกัน การใช้สารเคมีสูตรนี้ (ขนาดของละอองประมาณ 50 - 80 ไมครอน) จะใช้ปริมาณ 0.8 ลิตรต่อไร่

แต่ถ้าใช้สารเคมีชนิดที่ค่อนข้างก่อน จะต้องใช้ปริมาณสารถึง 64 ลิตรต่อไร่ขึ้นไป

การนำเครื่องพ่นชนิดนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้มาก ได้มีการนำไปใช้
ในหลายประเทศ เช่น ประเทศแถบแอฟริกาใต้ ซึ่งประสบปัญหาในการกำจัดแมลงที่
ทำลายกันฝ้าย ก็จะเห็นผลจากการวางร่างล่าง

Electrodynamic sprayers increase yields

Country	Yields of seed cotton in kg/ha		
	Knapsack yield	Electrodyn yield	Percentage increase
Zambia	767	1211	58
Paraguay	1518	2024	33
Brazil	2094	2285	9
Kenya (Kisumu)	898	1420	58
Kenya (Sisya)	1129	1439	27
Kenya (Nyanza)	1121	1443	29
Tanzania (Ukiriguru)	924*	1128	22

*Spinning disc sprayer.

Source: Smith R. (Paper to be published by SCI on cotton.)

ตารางที่ 3.1 แสดงประสิทธิภาพของการใช้เครื่องพ่นธรรมดา และเครื่องพ่นแบบใช้ไฟฟ้าสถิตย์

แต่ปัญหาของเครื่องพ่นชนิดนี้ยังมีอยู่บ้าง เนื่องจากสารเคมีที่ใช้จำเป็นต้องซื้อจากบริษัท ICI Agrochemical เท่านั้น เพราะเป็นลิขสิทธิ์ในการผลิตเครื่องพ่นการนำไปใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นต้องศึกษาถึงคุณสมบัติของสารเคมีที่ใช้จึงจะสามารถออกแบบเครื่องพ่นที่เหมาะสมกับการใช้งาน เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

บทที่ 4

การให้ประจุแก่โลหะของสารเคมี โดยวิธีคายประจุแบบโคโรน่า

4.1 ปฏิกิริยาการคายประจุโคโรน่า

ปฏิกิริยาการคายประจุโคโรน่าเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในบริเวณที่ขั้วไฟฟ้า (ELECTRODE) มีมุมหรือปลายแหลมที่จุดนี้จะมีสนามไฟฟ้าความเข้มสูงมาก ซึ่งความเข้มไฟฟ้าสูงมากนี้จะก่อให้เกิดการคายประจุแบบโคโรน่า (CORONA DISCHARGE) ในการทดลองขั้วไฟฟ้าที่มีมุมแหลมถูกให้ศักดาไฟฟ้าบวก อิเล็กตรอนที่บริเวณใกล้ ๆ ปลายแหลมจะถูกเร่งให้ไปอยู่ที่จุดปลายแหลมนั้น และหากมีพลังงานมาพอ เนื่องจากการชนกับอะตอมข้างเคียงก็จะทำให้อะตอมหรือโมเลกุลของอากาศระอบข้างเกิดการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) ได้ การรวมตัวของอิเล็กตรอนและไอออนบวกในบริเวณที่มีการให้ประจุแบบโคโรน่าจะทำให้เกิดโฟตอน (Photon) ซึ่งมีพลังงานสูง และจะก่อให้เกิดอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นในบริเวณรอบ ๆ ที่มีการคายประจุ จึงทำให้เกิดการคายประจุแบบโคโรน่ายิ่งมากขึ้นเรื่อย ๆ

ซึ่งปฏิกิริยาการคายประจุโคโรน่านี้ เกิดขึ้นขณะที่สนามไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าค่าเบรคดาวน์ของสนามไฟฟ้าในบริเวณที่มีความหนาแน่นของก๊าซในขณะนั้น (Breakdown Field in Compressed Guass) ขณะที่อิเล็กตรอนวิ่งเข้าหาขั้วคาร์บอก จะทำให้ง่ายเสริมการเกิดสนามไฟฟ้า ในช่วงเวลานั้น

สำหรับสมการความหนาแน่นของกระแสเมื่อมีการวิ่งของอิเล็กตรอน มีดังนี้

$$J = \frac{e}{2\pi h} \frac{\mu \frac{1}{2}}{(\mu + \phi) \phi^{\frac{1}{2}}} = \frac{2}{3} e^{-\left(\frac{2k\phi}{3e}\right)}$$

โดยที่ $\mu = \left(\frac{2\pi}{h}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{h^2}{8m}$ และ $k = \frac{e \pi^2 n_0}{h^2}$

ซึ่ง E = Electron Charge

h = Plank's constant

m = Mass of Electron

n = Number of Free Electron per Cubic

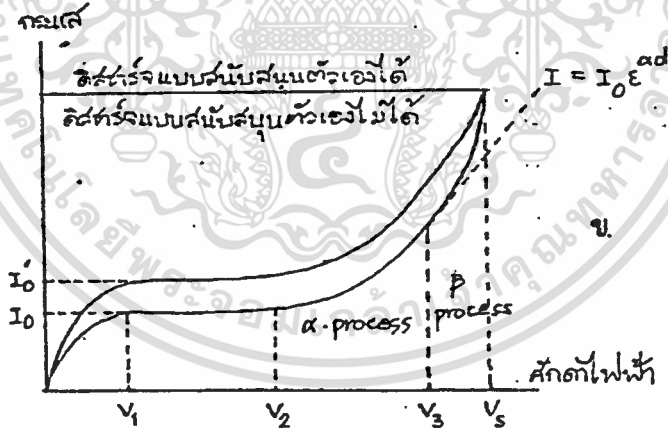
ϕ = Work function of the Surface

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งปรากฏการณ์เบรคควานนี้ จะทำให้เกิดความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่บริเวณขั้วอิเล็กโทรดสูงมาก ซึ่งจะมีความสำคัญมากในการเกิดปรากฏการณ์ โครโมน่า-กิสซาร์จ

4.2 คักตาไฟฟ้าเบรคควานในปรากฏการณ์โครโมน่า

การศึกษาเรื่องกลไกการเบรคควานในอากาศ ก็มีความจำเป็นมาก เนื่องจากการเบรคควานจะมีผลต่อการทดลอง โดยที่การเบรคควานก็คือ ลักษณะที่เปรียบเสมือนการลัดวงจรไฟฟ้า เมื่อปลายคักตาไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดในก๊าซ จะมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรด และพบว่า จะเกิดการเคลื่อนที่ของไอออนตามเส้นแรงของสนามไฟฟ้า ซึ่งค่าเบรคควานโวลเตจนั้นจะทำให้เกิดการ กิสซาร์จ (Discharge) ที่ขั้วอิเล็กโทรด โดยเมื่อเราปรับคักตาไฟฟ้าสูงให้กับอากาศจะเกิดปรากฏการณ์หนึ่งเกิดขึ้นดังรูป (4.1) เรียกว่าปรากฏการณ์อัลฟา



รูป 4.1 แสดงปรากฏการณ์อัลฟา

ซึ่งจะพบว่าในช่วงคักตา V_1 ถึง V_2 และช่วง V_2 ถึง V_3 จะเกิดการกระแสแบบ Exponential และต่อมาในช่วง V_3 จนถึงช่วงคักตาไฟฟ้าเบรคควาน จะมีกระแสไฟฟ้าในอัตราสูงกว่าเดิมมาก โดยทั่วไปค่าคักตาไฟฟ้าเบรคควาน จะมีค่าเดียวกันในก๊าซหนึ่ง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขบวนการอัสลา เกิดขึ้นโดยการชนของอิเล็กตรอนกับอะตอมของก๊าซ ซึ่งเราสามารถหาจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นและกระแสที่ไหลผ่านได้ดังนี้

$$n_d = n_0 \varepsilon^{\alpha d}$$

$$I_d = I_0 \varepsilon^{\alpha d}$$

โดย n_d = จำนวนอิเล็กตรอนที่วิ่งเข้าหาขั้วคาโทดต่อวินาที

n_0 = จำนวนอิเล็กตรอนที่วิ่งออกจากขั้วคาโนดต่อวินาที

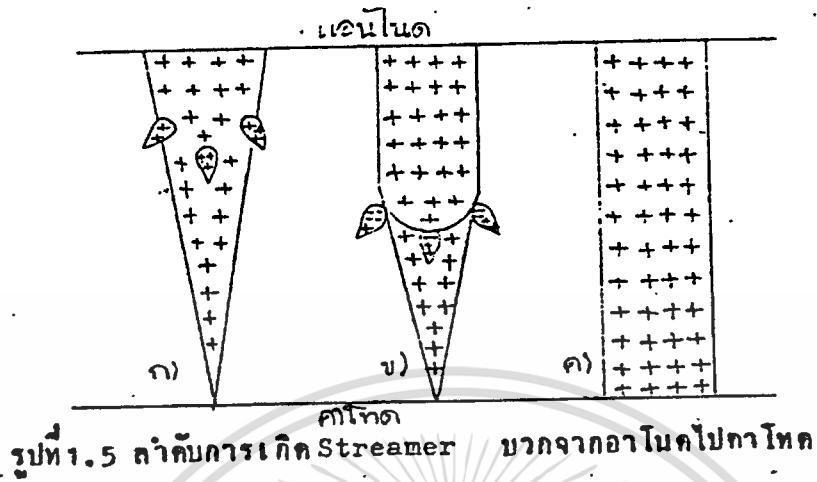
I_d = กระแสที่เกิดจากขบวนการอัสลา

d = ระยะห่างระหว่างขั้วคาโนด กับ คาโทด

I_0 = กระแสเริ่มต้นขบวนการอัสลา

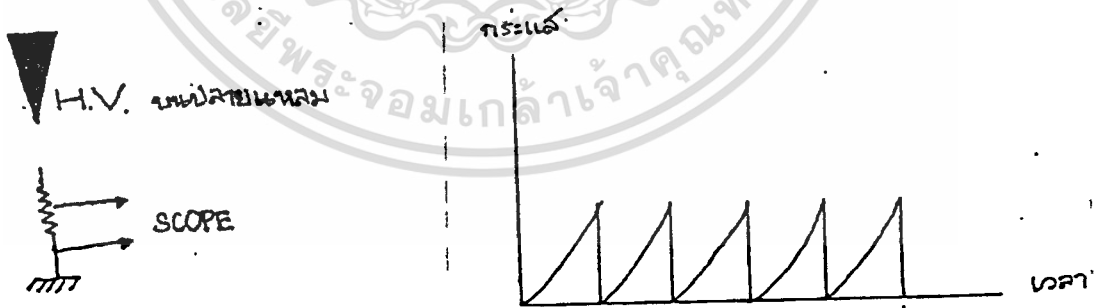
ซึ่งจากการเกิดขบวนการอัสลา นี้ จะเกิดมีลำอิเล็กตรอน (Electron Avalanche) เพิ่มขึ้น ทำให้โอกาสที่แก๊สไอออนจะชนอะตอมอากาศข้างเคียง ทำให้เกิดปรากฏการณ์ โดโรนาที่ซาร์จเสริมขึ้นอีก

กลไกการเกิดโดโรนาที่ซาร์จ ที่ปลายแหลมนี้ อันที่จริงแล้วสามารถเกิดได้ทั้งกับปลายแหลมที่ความยาว และปลายแหลมที่กาลบได้ด้วย ซึ่งการเกิดโดโรนาที่ซาร์จที่ปลายแหลมนี้เป็นการเกิดเนื่องจากการเกิดกลไกการเบรคควอนัมแบบ (Streamer) ซึ่งการเกิดเบรคควอนัมแบบสตีมเมอร์วอก เมื่อลำอวาลานซ์เกิดขึ้น อิเล็กตรอนที่วิ่งไปยังขั้วคาโนดจะเหลือไอออนบวกเอาไว้ มีลักษณะเป็นกรวยคังรูป (3.2 ก) ซึ่งสนามไฟฟ้าบริเวณใกล้ขั้วคาโนดจะมีค่าสูง เนื่องจากประจุความหนาแน่นของไอออนบวกสูงที่บริเวณปลายแหลม โดยถ้าเราเพิ่มศักย์ที่ปลายแหลมให้ยิ่งสูงขึ้นไปอีก จะเกิดการฟอร์มลำอวาลานซ์บวกอย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิดการเบรคควอนัมอย่างสมบูรณ์



รูป 4.2 แสดงการฟอร์มลำอวาลานซ์

ในการศึกษาถึงปรากฏการณ์โคโรนาคีสซาร์จ สามารถทำได้โดยใช้หัวอิเล็กโทรดแบบปลายแหลมกับระนาบ ค. รูป (4.3 ก) และจะได้ลักษณะรูปคลื่นกระแสโคโรนาคิงรูป (4.3 ข)

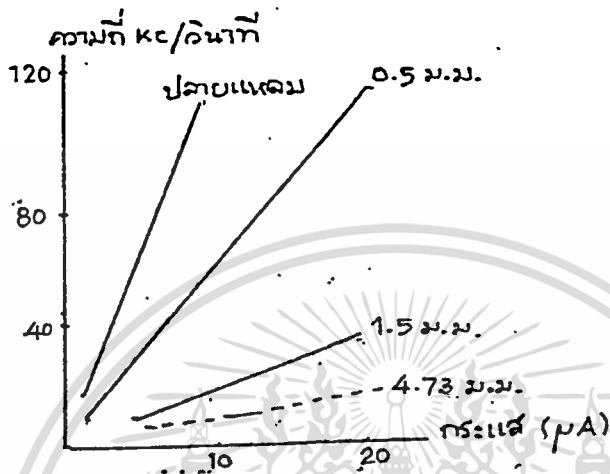


รูป 4.3 ก

รูปที่ 4.3 ข

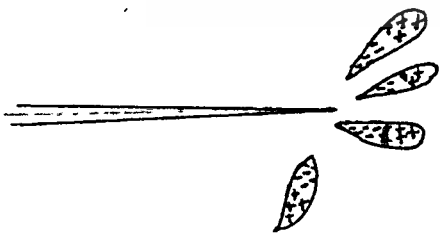
โดยการต่อวงจรคิงรูป (4.3 ก) และระนาบที่ลดลงกราวนผ่านความต้านทาน จะได้รูปพัลส์ของโคโรนาคิงของปลายแหลม กระแสโคโรนาคิงจะเกิดขึ้นเป็นพัลส์แบบสม่ำเสมอ เอกสทั้งความถี่ของพัลส์ไม่ขึ้นกับระยะห่าง แต่จะขึ้นกับปลายแหลม ซึ่งถ้าปลายแหลมจะยิ่งทำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ความถี่พัลส์สูงขึ้น โดยแสดงเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของปลายแหลมในแกนรอง
กระแสความถี่ไค้คงรูป (4.4)



รูป 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของปลายแหลม

ซึ่งการเกิดพัลส์ของกระแสสามารถอธิบายไค้ดังนี้ คือ เมื่อไอออนบวกเกิดขึ้น
เนื่องจากการชนของอิเล็กตรอนที่วิ่งเข้าสู่อั้วบวกปลายแหลม เมื่อเข้าใกล้ปลายแหลม ซึ่ง
มีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูง อิเล็กตรอนก็ยิ่งมีความเร็วสูงขึ้น วิ่งเข้าปลายแหลมทำให้
เกิดไอออนหลุดออกมาได้เอง ดังรูป (4.5 ก) และรูป (4.5 ข)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นรูป (4.5 ข) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม จะขอสงวนไว้ก่อนล่วงหน้า และขอสงวนไว้ก่อนล่วงหน้า

แสดงลักษณะอะตอมเมื่ออิเล็กตรอนวิ่ง

แสดงลักษณะไอออนบวกที่ไค้หลังจากรากอิเล็กตรอน

เข้าหาอั้วบวก

หลุดไป

อธิบายได้ว่าในรูป (4.5 ก) ขณะที่อิเล็กตรอนวิ่งยังไม่ถึงหัวอาโนด จะยังไม่มีกระแสไหล และในรูป (4.5 ข) เมื่ออิเล็กตรอนวิ่งชนหัวอาโนดวิ่งชน หัวอาโนด จะเกิดมีกระแสไหลได้ จึงเกิดพลัดของกระแสขึ้น โดยไอออนบวกที่ เกิดขึ้นหลังจากที่อิเล็กตรอนวิ่งเข้าหัวอาโนดแล้ว จะเปรียบเสมือนมีหัวอิเล็กโทรด บวกยื่นออกมาอีก จึงเกิดการช่วยเสริมให้เกิดการไอออนในเขตนั่นมากขึ้นอีก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

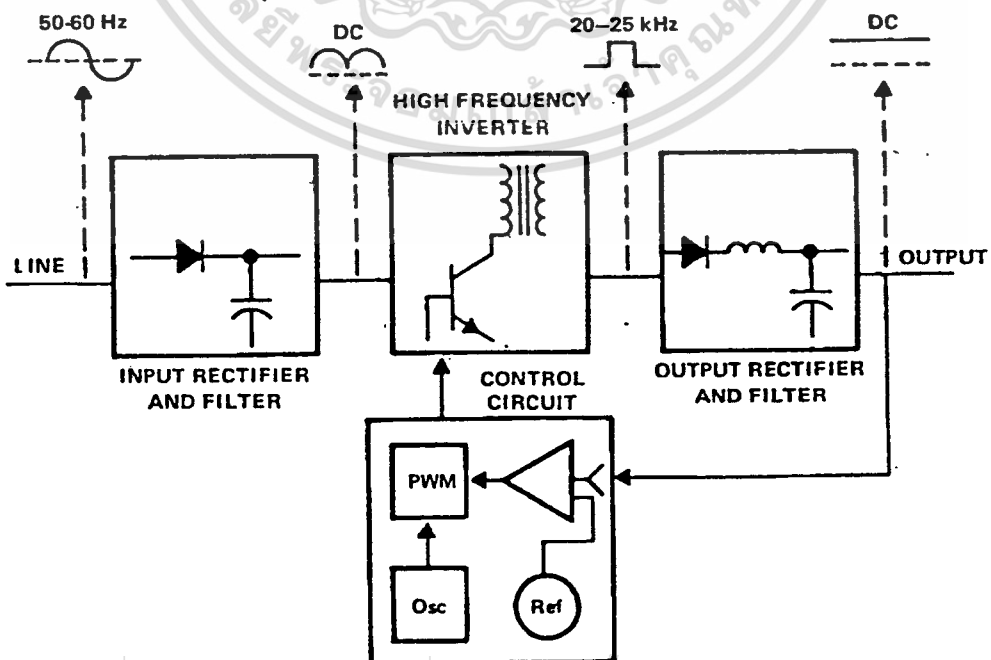
วงจรสวิตชิ่งเร็กกูเรเตอร์แบบคัทคาไฟสูง

เนื่องจากปริมาณเพิ่มขึ้น หมายความว่า วงจรสวิตชิ่งเร็กกูเรเตอร์แบบคัทคาไฟสูง (High Voltage Switching Regulator) มาประยุกต์ใช้งานจริง จึงจะแยกเป็นวงจรสเต็ปอัพ สวิตชิ่ง เร็กกูเรเตอร์ (Step Up Switching Regulator) และเทคนิคต่าง ๆ ที่จำเป็นในการสร้างวงจรสวิตชิ่งแบบคัทคาไฟสูง (High Voltage Switching) ชนิดปรับค่าที่ Out put ได้

5.1 พื้นฐานของวงจรสวิตชิ่งเร็กกูเรเตอร์

ในรูป (5.1) แสดงรูปพื้นฐานของวงจรสวิตชิ่งเร็กกูเรเตอร์ ซึ่งสามารถแยกเป็น 4 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

- ก. อินพุทเร็กติไฟายเออร์และฟิวเตอร์ (Input Rectifier and Filter)
- ข. อินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (High Frequency inverter)
- ค. เอาท์พุทเร็กติไฟายเออร์และฟิวเตอร์ (Output Rectifier and Filter)
- ง. วงจรควบคุม (Control Circuit)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูป 5.1 แสดงวงจรพื้นฐานของวงจรสวิตชิ่งเร็กกูเรเตอร์

เป็นหลักพื้นฐาน คือ จากไฟกระแสสลับผ่านอินพุทเรกติไฟร่ายเออร์ จะได้ดักคาไฟตรงซึ่งนำมาป้อนให้กับวงจรภาคอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (ทั่วไปประมาณ 25 กิโลเฮิร์ต ถึง 100 กิโลเฮิร์ต) ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ ทำการสวิตซ์ที่ความถี่สูง ทำการจับเมื่อแปลงหรือตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งมีค่าเท่ากันกับที่ระดับเอาต์พุทโวลต์เตจ ที่เราต้องการ ขณะนี้เราได้เอาต์พุทโวลต์เตจระดับกักคาที่ต้องการแล้วแต่เป็นกระแสสลับที่ความถี่สูงมาก เนื่องจากเราต้องการแปลงเป็นดักคาไฟตรง จึงต้องมีวงจรเรกติไฟร่ายเออร์ และฟิวเตอร์ อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งการทำงานของวงจรจะถูกทำให้มีเสถียรภาพ และควบคุมได้โดยวงจรควบคุมซึ่งจะประกอบไปด้วยวงจรรออสซิลเลเตอร์สร้างรูปคลื่นแบบ พลัส-วิกซ์-มอดูเลเตอร์, วงจรเออเรอร์ แอมป์ไฟร่าย (Error Amplifier) และคักคาอ้างอิงค่าหนึ่ง (Voltage Reference) โดยเออเรอร์ แอมป์ จะทำการแซมปลิง (Sampling) ค่ากักคาเอาต์พุทนำมาเปรียบเทียบกับค่าคักคาอ้างอิง ถ้าขณะนี้สมมุติว่าเอาต์พุทโวลต์เตจเพิ่มขึ้นทำให้เอาต์พุทโวลต์เตจตกลง เออเรอร์ แอมป์ จะสามารถรับรู้ระดับกักคาที่ตกลง เมื่อเทียบกับคักคาอ้างอิง จะทำการปรับที่เอาต์พุทของวงจรควบคุมพลัส-วิกซ์-มอดูเลเตอร์ ซึ่งช่วงเวลาออน (on - time) ให้นานขึ้น เพื่อรักษาระดับของเอาต์พุทโวลต์เตจให้คงที่ ในทำนองเดียวกันถ้าโวลต์เตจที่เอาต์พุทกำลัง ทำให้เอาต์พุทโวลต์เตจสูงเกินไป วงจรควบคุมก็จะทำการปรับให้ช่วงเวลาออนแคบลงเพื่อให้วงจรมีเสถียรภาพตลอดเวลา

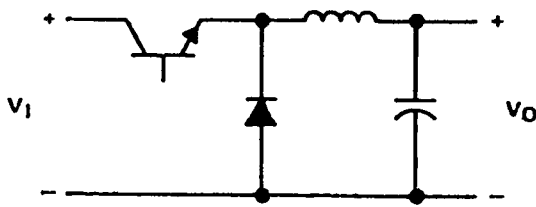
โดยทั่วไปแล้ววงจรสวิตซ์ชิ่งเรกติเรเตอร์สามารถแยกออกได้เป็น 3 แบบคือ

1. สเต็ปดาวน์ เรกติเรเตอร์ (Step Down Regulator)
2. สเต็ปอัพ เรกติเรเตอร์ (Step Up Regulator)
3. ฟลายแบ็ก เรกติเรเตอร์ (Flyback Regulator)

สเต็ปดาวน์เรกติเรเตอร์

ซึ่งมีรูปวงจรพื้นฐานดังรูปที่ (5.2) จะเห็นว่าสวิตซ์ชิ่งทรานซิสเตอร์จะทอแบบอนุกรม กับ อินพุท (V_i) จากวงจรอินพุทเรกติไฟร่ายเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



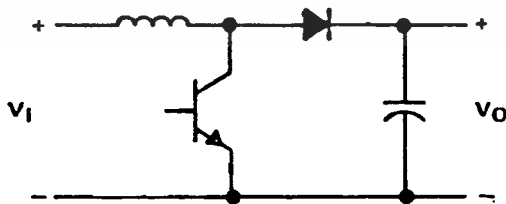
รูป 5.2 แสดงวงจรพื้นฐานแรงสแต็ปดาวน์เร็กกูเรเตอร์

ขณะที่ทรานซิสเตอร์นำกระแส ได้ว่า รัศมีศักดาอินพุตถูกป้อนส่งผ่าน
 เข้าที่พหุหิเตอร์ โดยมีกระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลด และขณะที่ทรานซิสเตอร์
 ไม่นำกระแส พลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำจะถูกดีชาร์จให้กับโหลด จากวงจร
 สแต็ปดาวน์ ค่าพีคของกระแสขณะทำการสวิช จะเป็นสัดส่วนกับกระแสที่ผ่านโหลด และจะ
 ได้เอาต์พุตโวลท์เฉลี่ยเป็นสัดส่วนของคิวตี้ไคเคิล (Duty Cycle)

$$V_D = V_i \times \text{Duty Cycle}$$

สแต็ปอัพเร็กกูเรเตอร์

ซึ่งมีวงจรพื้นฐานดังรูปที่ (5.3) สวิตซ์ทรานซิสเตอร์ จะต่อแบบขนานอยู่กับ
 อินพุตและเอาต์พุต



รูป 5.3 แสดงวงจรพื้นฐานแรงสแต็ปอัพเร็กกูเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารมีหลักการทางงานวิศวกรรมใช้ เมื่อเริ่มกันแล้วพลังงานสะสมในตัวเหนี่ยวนำป้อนและส่งผ่านตัว
 เหนี่ยวนำจากที่ศักดาอินพุตผ่านไปยังโหลดคือหา ค่อมำขณะที่ทรานซิสเตอร์นำกระแสจะมีกระแสใช้

ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งจะสะสมพลังงานไว้ แต่ไม่มีการส่งผ่านไปยังโหลด เมื่อ
ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแสระดับคิกคาที่โหลดจะกลายเป็นเท่ากับระดับคิกคาอินพุท ขว
กักระดับคิกคาเหนี่ยวนำจากตัวเหนี่ยวนำ และถูกส่งไปพร้อมกันให้กับโหลด

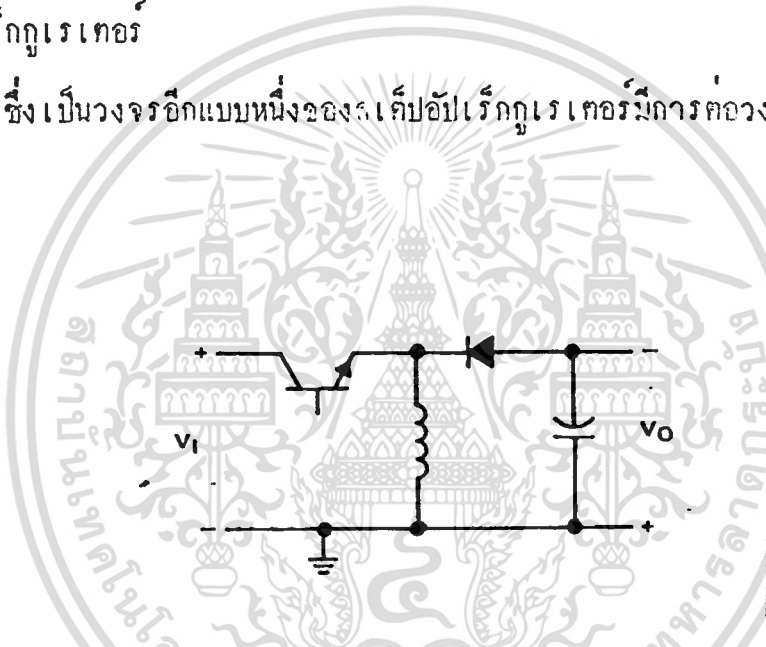
วงจรสแต็ปอัพ เร็กกูเลเตอร์ นี้ จะได้ว่าค่าพีคของกระแสขณะทำการสวิช
จะไม่เป็นสัดส่วนกับกระแสที่ผ่านโหลด และจะได้พลังงานเอาต์พุท เป็น

$$P_{out} = \frac{L I^2}{2}$$

ฟลายแบคเร็กกูเรเตอร์

ซึ่งเป็นวงจรอีกแบบหนึ่งของสแต็ปอัพเร็กกูเรเตอร์มีการต่อวงจรพื้นฐาน

ดังรูป (5.4)



รูป 5.4 แสดงวงจรพื้นฐานของวงจรฟลายแบคเร็กกูเรเตอร์

วงจรฟลายแบคก็ค้แปลงจากวงจรสแต็ปอัพ เร็กกูเรเตอร์ คือ มันจะส่ง
พลังงานไปยังโหลดเท่ากับพลังงานที่ถูกระดมในตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น ซึ่งมีข้อดี คือ เรา
สามารถยกระดับคิกคาให้สูงหรือ ลดระดับคิกคาให้ต่ำลงได้ หลักการทำงาน คือ เมื่อ
ทรานซิสเตอร์นำกระแสตัวเหนี่ยวนำ จะถูกชาร์จ แต่ไม่มีกระแสจ่ายไปยังโหลด เนื่อง
จากไดโอดถูกไบอัสกลับทาง (Reverse Bias) ต่อมาขณะทรานซิสเตอร์ไม่นำกระแส
พลังงานในตัวเหนี่ยวนำจะถูกดีชาร์จจนไปยังโหลดได้ ซึ่งเอาต์พุทโวลต์เตจสามารถ
คำนวณหาได้จากสูตร

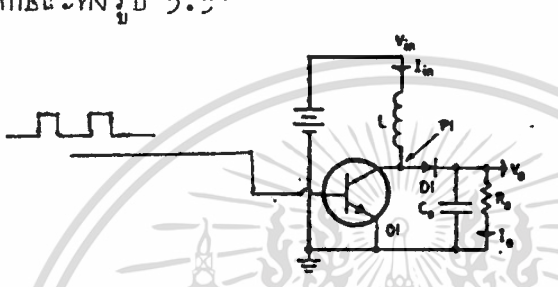
$$V_o = \sqrt{P_o R_L} = I \sqrt{L f P_o}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำ
ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตได้ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม
กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่กล่าวมาทั้ง 3 แบบนี้เป็นวงจรที่ใช้งานเฉพาะอย่าง ซึ่งในโครงงานนี้ ต้องการใช้เฉพาะวงจร สแต็ปอัพ เร็กกูเรเตอร์ เท่านั้น จึงจะขอลำไว้ในรายละเอียด เฉพาะสแต็ปอัพ เร็กกูเรเตอร์ เท่านั้น

5.2 สแต็ปอัพสวิชชิง เร็กกูเรเตอร์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรูปแบบของวงจรสแต็ปอัพ สวิชชิงที่ใช้งานในโครงงาน จริง โดยมีลักษณะดังรูป 5.5



รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะการค้ำทำงาน

ซึ่งจะเห็นว่า เป็นการค้ำในลักษณะสแต็ปอัพ แก่การทำงานเป็นลักษณะของ ฟลายแบคก กล่าวคือไม่มีกระแสผ่านไปยังโหลดขณะที่ทรานซิสเตอร์นำกระแส และพลังงานที่ผ่านโหลด จะเท่ากับพลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำขณะที่ทรานซิสเตอร์นำกระแส เท่านั้น

ขณะที่ทรานซิสเตอร์นำกระแสแบบอิมิตัว (Saturation) จะได้

$$V_{in} - V_{CE(SAT)} = L \frac{di}{dt}$$

$$\text{จะได้ว่า } \Delta I_L = \frac{1}{L} (V_{in} - V_{CE(SAT)}) t_{on}$$

(จาก $V_L = L \frac{di}{dt}$)

$$\text{ซึ่งจะได้ว่า } V_0 = \frac{(V_{in} - V_{CE(SAT)}) t_{on}}{t_{off}}$$

จะเห็นว่าระดับกักค้ำที่ขาคอลเลคเตอร์จะเปลี่ยนแปลงเป็น 2 ค่า คือ $V_{CE(SAT)}$ และ $\frac{(V_{in} - V_{CE(SAT)})}{C_{off}}$ และเมื่อมากุ่ระดับ V_{RL} ที่ตัว ทดขุมนี้ ถ้าสมมุติให้ทราน-
 ฟอร์มเมอร์ มีสัดส่วนทางปฐมภูมิและทุติยภูมิเป็น 1 ต่อ 1 จะได้ว่าขณะที่ตัวเหนี่ยวนำทำการ
 กักขารจ์ คือ ตัวคาปาซิเตอร์จะถูกชาร์จเท่ากับพี.เค.ของผลัดคือ $V_{in} \left(\frac{t_{on}}{t_{off}} \right)$ และในขณะที่
 อกค ที่ตัวเหนี่ยวนำขารจ์อยู่นั้น หรือตัวคาปาซิเตอร์จะทำการกักขารจ์ให้กับโหลด ซึ่งอัตรากวัดขารจ์
 ไม่อย่างใดก็อย่างหนึ่ง อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 จะเป็น

$$\frac{dQ_c}{dt} = I_o = V_o/R_L$$

และประจุที่สูญเสียไปเนื่องจาก ระบายความร้อนในช่วงที่สวิตช์คือ

$$\Delta Q_c = I_o t_{on} = \frac{V_o t_{on}}{R_L}$$

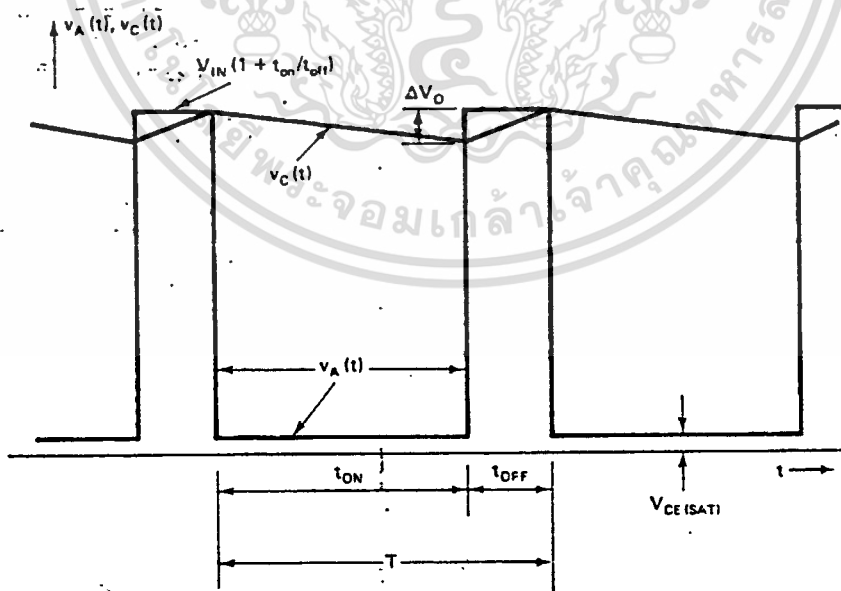
ดังนั้นจะได้ว่า อัตราที่พหุคูณที่ตัวพหุคูณจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็น ΔV_o เนื่องจาก ΔQ_c

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q_c}{C_c} = \frac{I_o t_{on}}{C_c} = \frac{V_o t_{on}}{R_L C_c}$$

นั่นคือจะเกิดเป็นริปล (ripple) ขึ้น โดย ริปล แพกเตอร์ สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ริปล แพกเตอร์} = \frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{t_{on}}{R_L C_c} = \frac{\delta T}{R_L C_c} = \frac{\delta}{R_L C_c}$$

เราสามารถเขียนรูปการเปลี่ยนแปลงของศักดาที่พหุคูณ และศักดาที่ประมุข และศักดาที่ประมุขได้เป็นดังรูป (5.6)



รูป 5.6 แสดงรูปคลื่นของสแต็ปอัพ สวิตชิงเร็กกูเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 การเลือกสวิทช์ทรานซิสเตอร์

ตัวแปรสำคัญในการเลือกชนิดของ ทรานซิสเตอร์ นั้นประกอบด้วย

- ค่าของคิกคาตกรวมคอลเลคเตอร์ - อิมิตเตอร์ที่สามารถทนได้
- ค่ากระแสสูงสุดของคอลเลคเตอร์
- อัตราขยายทางกระแสต่ำสุด ที่ค่ากระแสไหลสูงสุด
- ความเร็วในการสวิทช์
- ค่าศักดาทั้งสองของคอลเลคเตอร์

- ค่าคิกคาตกรวมคอลเลคเตอร์

ในการออกแบบเราต้องคำนึงถึงการทำงาน ในสภาวะเปิดเปิดตามสภาพของคลื่นสามเหลี่ยม โดยทรานซิสเตอร์ควรสามารถทนศักดา C - E ได้อย่างน้อย

$V_{in} \left(\frac{ton}{T_{off}} \right)$ ซึ่งในการใช้งานจริงเพื่อเป็นการปลอดภัยไว้ก่อนเราจะใช้ทรานซิสเตอร์ที่ทนศักดา C - E ประมาณ $1.2 V_{in} \left(\frac{ton}{T_{off}} \right)$

- ค่ากระแสสูงสุดที่ขาคอลเลคเตอร์

จากสมการกระแสที่ผ่านทรานซิสเตอร์ในช่วง t_{on} คือ

$$I = \frac{1}{T} (V_{im} - V_{CE(sat)}) t_{on}$$

ซึ่งจะต้องหาทรานซิสเตอร์ที่อย่างน้อยที่สุดทนได้เท่านั้น และในทางปฏิบัติ

ควรเลือกให้สามารถทนได้อย่างต่ำ 2 เท่า

- อัตราขยายกระแสต่ำสุดที่ค่ากระแสไหลสูงสุด

เมื่อเรารู้ค่า β_{min} (หรือ β) จากคู่มือแล้ว เราจะสามารถหาค่ากระแสที่ป้อนให้เบสของทรานซิสเตอร์ได้คือ $I_b = I_{c(max)}/\beta_{(min)}$ ซึ่งจะช่วยให้ได้จุด

ทำงานที่เหมาะสม คือ พอดีให้ทรานซิสเตอร์คัทออฟ และอิมิต์พอดี

- ความเร็วในการสวิทช์

ในทางปฏิบัติการ ปิด - เปิด ทรานซิสเตอร์จะมีเวลาติลย์ (delay time)

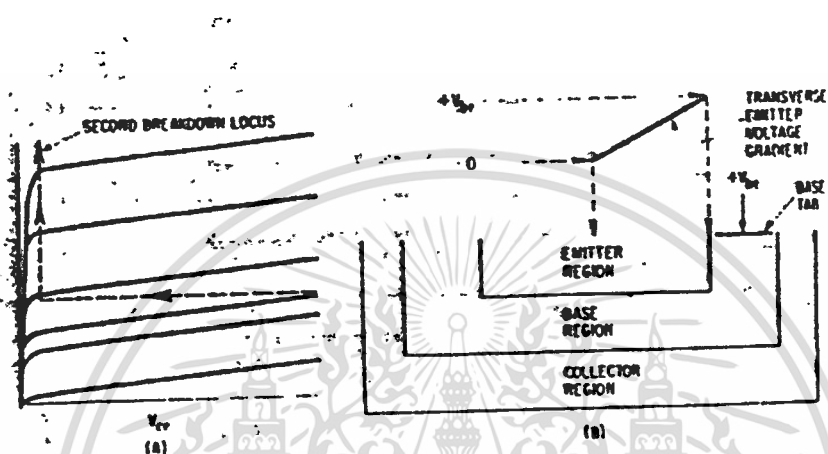
เนื่องจากค่า rise time และ fall time ดังนั้น จึงควรเลือกทรานซิสเตอร์ที่มีค่า

rise time และ fall time น้อยที่สุด ศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้าศึกษาฟังก์ชันหลายที่สองของทรานซิสเตอร์

เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโดยทันทีของสัปดาห์ระหว่างทรานซิสเตอร์ - เบส

แสดงดังรูป (5.7)

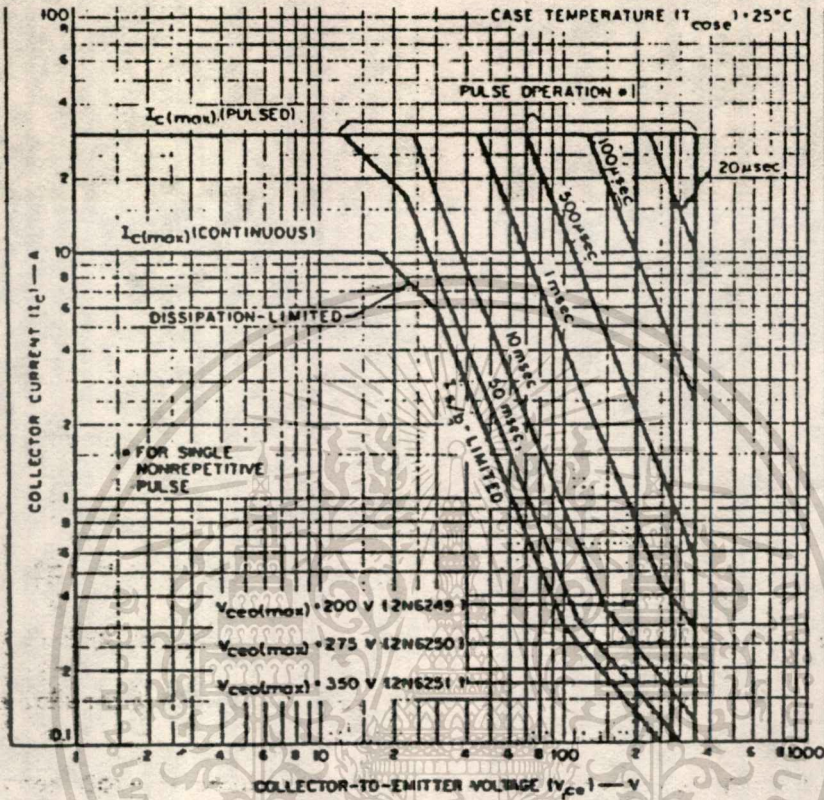


รูป 5.7 แสดงลักษณะฟังก์ชันหลายที่สอง

จากรูประนาบระหว่างกระแสทรานซิสเตอร์และอิมิตเตอร์ การฟังก์ชันนี้เกิดจากกระแสจำกัดกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบระหว่างรอยต่อทรานซิสเตอร์ - เบส และกระแสไหลผ่านพื้นที่จำกัดค่าหนึ่งทำให้เกิดความร้อน อุณหภูมิสูงขึ้นจนสามารถทำลายทรานซิสเตอร์ได้

การฟังก์ชันนี้จะเกิดขึ้นที่ค่าจุดยอดของเล็ง ที่มีค่ากำลังสูง ๆ และมีค่า duty cycle น้อย ๆ ที่กระแสจะทำให้เกิดการฟังก์ชันนี้มีได้ 2 ชนิด คือ

1. การฟังก์ชันที่เกิดจากกระแสกระตุ้นกลางตรง (Forward Bias Second Breakdown) แสดงในรูป (5.8) ซึ่งเป็น N-P-N ทรานซิสเตอร์ เราป้อนศักดาบวก ทำให้เกิด I_c โหลด ที่ค่ากระแสหนึ่งมากพอทำให้เกิดการฟังก์ชันของทรานซิสเตอร์ได้

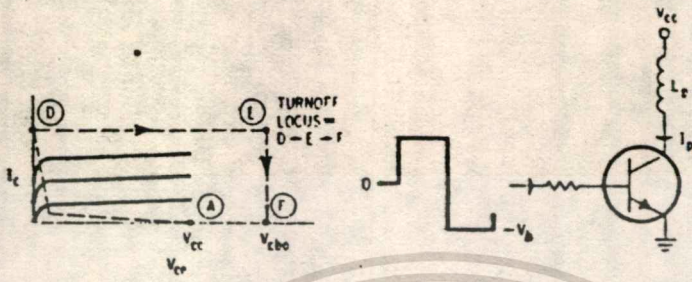


รูป 5.8 แสดงลักษณะ Forward Bias Second Breakdown

ถึงเราสามารถป้องกันไม่ให้เกิดการพังทลายนี้ได้โดยการให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณเหมาะสม ในรูปที่ตำแหน่ง $I_{s/b}$ เป็นจุดที่มั่นใจว่าจะไม่เกิดการพังทลายนี้ได้

2. การพังทลายเนื่องจากกระแสกระตุ้นย้อนกลับ (Reverse Bias Second Breakdown) การพังทลายนี้เกิดเนื่องจากการป้อนกระแสย้อนกลับเข้าขาเบส ในขณะที่ป้อนกระแสย้อนกลับนี้จะทำให้เกิดกระแส I_c ไหลในขาคอลเลกเตอร์ แต่บริเวณรอก่อนนี้จะป้องกันการไหลของกระแสนี้เข้ามายังกระแสเบส แต่ถ้าขาคอลเลกเตอร์มีความว่องไว (Inductive) จะทำให้เกิดการสะสมพลังงานขึ้น ถ้าพลังงานมากพอถึงค่า V_{cbo} ก็จะทำให้เกิดการ อวาลานซ์ เบรคดาวน์ ขึ้นดังรูป (5.9) ระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ทางเกิน D-E-F ึ่งในช่วง ON จะมีการสูญเสียพลังงานไป ที่ักค่า V_{cbo}
 ไม่ว่าจะผิดใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.9 แสดงการสูญเสียพลังงานของทรานซิสเตอร์

ถ้ามีพลังงานมาจนเกิดวาลานซ์ได้ เราเรียกว่า E_{sb}

$$\text{โดย } E_{sb} = \frac{1}{2} I_p I_p^2$$

จะพบว่า E_{sb} ขึ้นอยู่กับค่ากระแสย้อนกลับ ซึ่งการออกแบบจะต้องให้ค่า
ไม่มากเกินไป ในขณะที่ที่ทรานซิสเตอร์ไม่นำกระแส

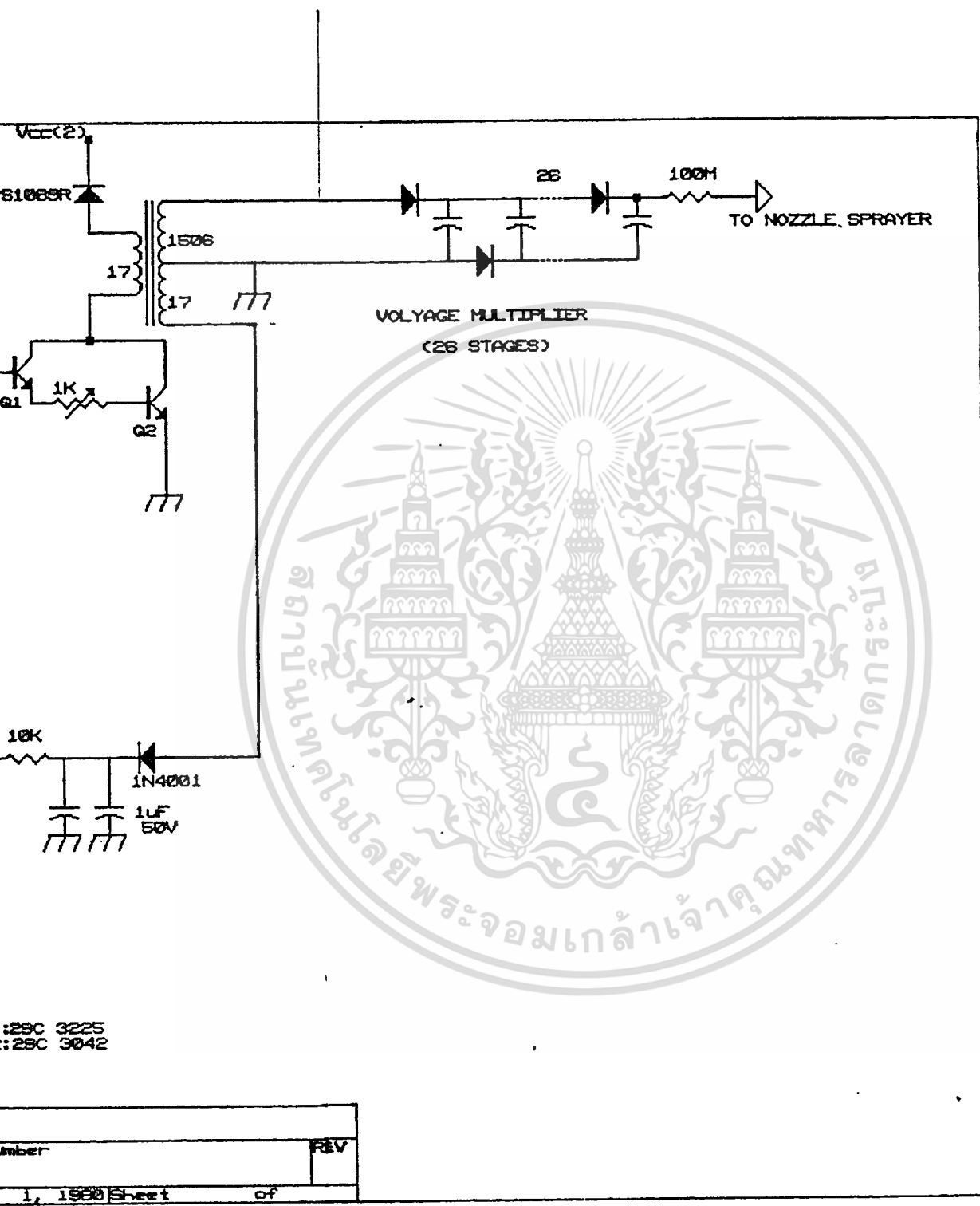
$$\frac{1}{2} L_p I_p^2$$

5.2.2 การออกแบบทรานฟอร์เมอร์ความถี่สูง

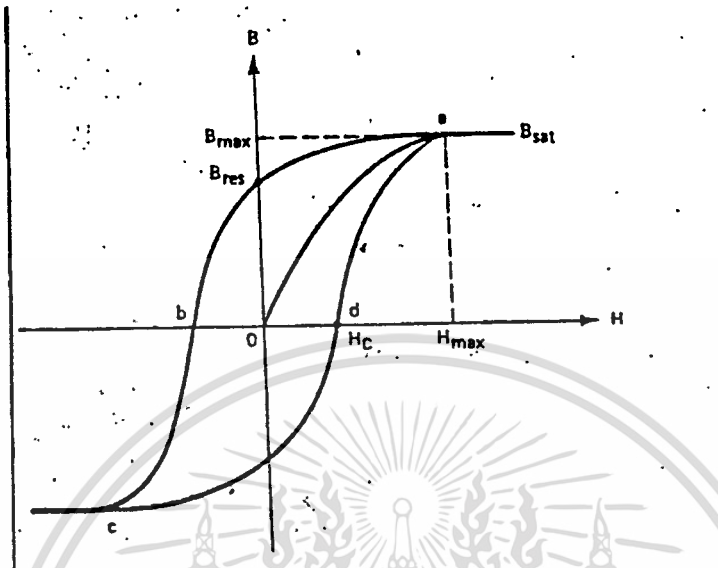
ฮิสเทอริซิส ลูป (Hysteresis Loop)

คือ ลักษณะของการเปลี่ยนแปลง ระหว่าง ถ่านามให้ฟ้า (H) กับสนามแม่

เหล็ก (B) ดังรูป (5.10)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.10 แสดงฮิสเทอรีซิส ลูป ของแกนทั่วไป

โดย B_{max} = ความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุด (Gauss)

H_{max} = แรงแทางสนามไฟฟ้าสูงสุด (Oersted)

จากรูปจะเห็นว่า B_{max} จะมีค่าสูงสุดที่ H_{max} และจะไม่เกินนี้ถึงแม้จะเพิ่ม H_{max} เพิ่มขึ้นอีกซึ่งที่จุดนี้เราเรียกว่า B_{sat}

มีวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยให้ทราบฟอร์เมอร์ ยังไม่อันตัวที่แรงสนามไฟฟ้าเท่าเดิม ก็คือ การเพิ่มความยาวของทางเดินสนามแม่เหล็ก (magnetic path) คือ การใส่ช่องอากาศ (air gap) ได้ว่า

$$l_e = l_i + \mu_i l_g$$

l_i = ความยาวของทางเดินสนามแม่เหล็กของแกนเฟอร์ไรท์

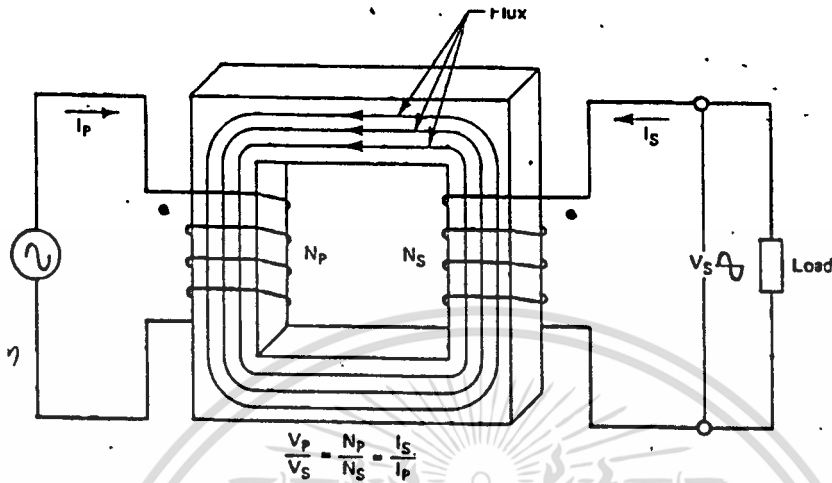
l_g = ความยาวของทางเดินสนามแม่เหล็กของแกนอากาศ

μ_i = ค่าเฟอร์ริออบิลิตีของแกนเฟอร์ไรท์

จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปในการใช้งานทรานส์ฟอร์มเมอร์ จะมีการต่อวงจรรูป (5.11)



รูป 5.11 แสดงการต่อทรานส์ฟอร์มเมอร์

สูตรโดยทั่วไปคือ $\frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S}$

$e = N A_e$

$B_{max} = \frac{(V_P)_{10^8}}{4.44 N_P A_e}$

โดย V_P = สัปดาห์ที่ชั่วไฟฟ้านารี

N_P = จำนวนรอบที่โหมนารี

A_e = พื้นที่เอเฟเฟกทีฟของแกน (Core Effective) (Cm²)

$K = 4.44$ สำหรับคลื่นซาวน (sine) และ 4 สำหรับคลื่นสี่เหลี่ยม (Rectangular)

โดยทั่วไปในการออกแบบสวิทช์ ทรานส์ฟอร์มเมอร์ เราเลือกค่า $B_{max} =$

$B_{SAT}/2$ และเราจะได้ $N_P = \frac{V_P (10^8)}{4.44 B_{max} A_e}$

และในการเลือกขนาดแกนจะต้องเลือกให้เล็กที่สุดที่ยังสามารถทนพลังงานสูงสุดได้ เพื่อจะได้ลดควินดิงลอส (Winding Loss) ให้น้อยที่สุด

$P_{OUT} = (1.66 B_{max} f d A_e A_c) 10^{-9}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย d = ความหนาแน่นของกระแสของลวด (A/m^2 .)

A_e = เอฟเฟกทีฟแเอเรีย ของแกน (Core effective area) Cm^2

A_c = บอบบิ้น วินดิงแเอเรีย ของแกน (Bobbin Winding area) Cm^2

ในการออกแบบ จำนวนรอบหึ่งทางคานปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ของวงจร สแต็ปอัฟ สวิตซิง ทรานซิสเตอร์ มออยู่ 7 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1

หาค่ากระแสคอลเลกเตอร์ที่ต้องการใช้จาก

$$I_c = I_p = \frac{2 P_{out}}{V_{in(min)} J_{max}}$$

ขั้นตอนที่ 2

ในกรณีที่ระดับสัปดาห์อินพุตไม่คงที่ เหม้ค่าสูงสุดและต่ำสุดเป็น V_{max} และ V_{min}

เราให้ว่า
$$\frac{V_{in(max)}}{V_{in(min)}} = K$$

ขั้นตอนที่ 3

หาค่าเหนืววนำของชคลวดทางคานปฐมภูมิ

$$L_p = \frac{V_{in(min)} F_{max}}{I_p f}$$

ขั้นตอนที่ 4

คำนวณหาค่า $A_c A_e$ เพื่อเลือกแกนที่เหมาะสม โดย

$$A_c A_e = \frac{(25.32 L_p I_p D^2) 10^8}{B_{max}}$$

ขั้นตอนที่ 5

คำนวณหาค่าแกนอากาศที่เหมาะสมเพื่อถึนไม่ให้แกนอึมตัวขณะความ เข้มสนาม

ไม่ค่าสูงสุด

$$L_g = \frac{(0.4 \pi L_p I_p^2) 10^8}{A_e B_{max}^2} \text{ cm}$$

ขั้นตอนที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้เฉพาะที่มหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

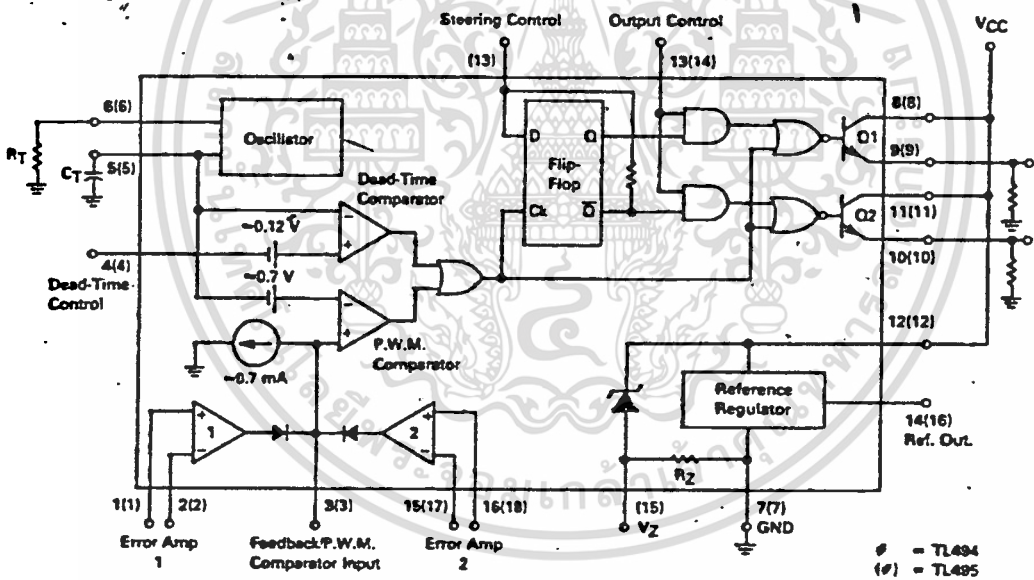
ขั้นตอนที่ 7

คำนวณหาจำนวนรอบทางทศนิยมที่เหมาะสม

$$N_s = \frac{N_p (V_p + V_o) (1 - \delta_{MAX})}{V_{in (min)} \delta_{MAX}}$$

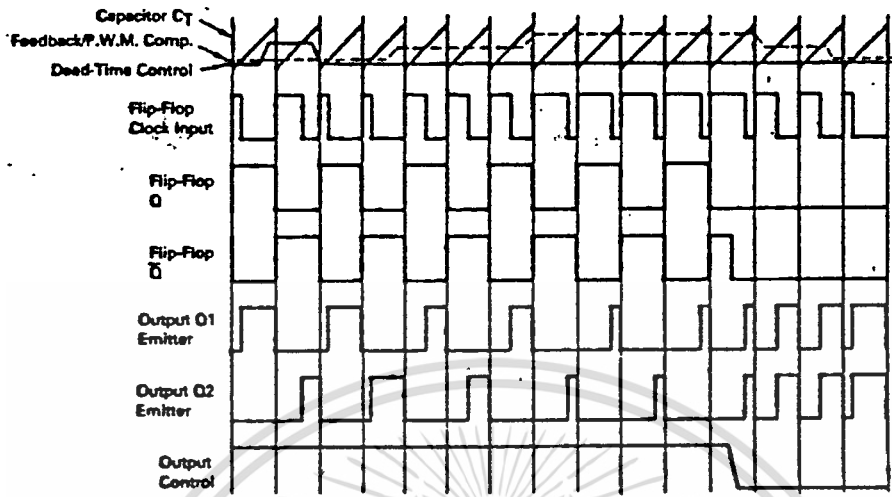
5.2.3 การออกแบบวงจรควบคุมพัลส์ วิถี มอดคูลเลเตอร์

ในโครงการนี้เราเลือก TL 494 เป็นตัวควบคุมการทำงานของสวิตช์ ที่ป้อนให้กับวงจรโคตที่การทำงานภายในของ TL 494 แสดงดังรูป (5.12)



รูปที่ 5.12 แสดงรูปวงจรภายใน TL 494

จากรูปเราสามารถอธิบายการทำงานแล้ว ๆ ดังรูป 5.13



รูป 5.13 แสดง Timing Diagram ของ TL 494

ภายในประกอบด้วยวงจรกำเนิดคลื่นฟันเลื่อยที่สามารถปรับความถี่ได้ จากค่า R - C ภายนอก โดย
$$f_{osc} = \frac{1.1}{R_T C_T}$$

จะได้อาพุทของพลัสสวิทช์ มอดคูลเลเตอร์ จากการ เปรียบเทียบของคลื่นฟันเลื่อยกับระดับศักดาควบคุม 2 ค่า ภายในจะมี NOR gate ซึ่งจะไปจับ เอาพุท - ทรานซิสเตอร์ของ TL 494 ซึ่งทรานซิสเตอร์ทั้งสองต่ออยู่ในลักษณะขนานกัน โดยทรานซิสเตอร์ทั้งสองจะถูกนำกระแสเมื่อสัญญาณสัญญาณฟันเลื่อยและสัญญาณควบคุมติดกัน ดังรูป (5.13) โดยสามารถแยกส่วนต่าง ๆ เป็น

ระดับศักดาอ้างอิง ที่ขา 14 จะมีศักดาอ้างอิง 5

วงจรรอสซิวเลเตอร์ สามารถตั้งไ้ที่ขา 5 และขา 6 ตามสมการข้างต้น

Dead Time & PWM Comparators โดยที่ศักดาคงที่ 100mV

จะถูกป้อนที่ขา 1 ของ dead time ซึ่งเป็นค่าต่ำสุด เพื่อให้ TL 494 ยังสามารถให้พลัสเอาพุทออกมาได้ ดังนั้น เราจึงสามารถตั้งความกว้างต่ำสุดของพลัสเอาพุทได้ โดยการตั้งที่ขา dead time ส่วน PWM ขา 1, 2 และ 15, 16 ถูกนำไปป้อนให้ เออร์เรอร์ แอมป์ภายใน ซึ่งมีอยู่ 2 ตัว โดยต่อในลักษณะ single - ended

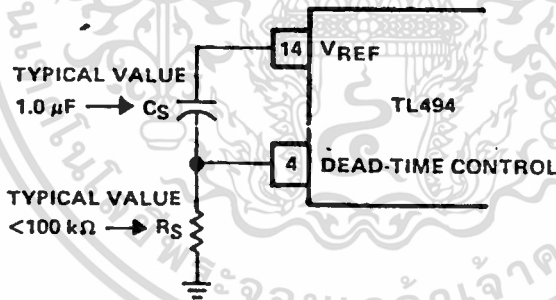
ซึ่งมันจะทำหน้าที่ปรับความกว้างของพัลส์ได้ตามต้องการ สัญญาณเอาต์พุตของเออเรียร์แอมพลิฟายเออร์ จะถือเอาเอาต์พุตของตัวสูงกว่าเป็นหลัก โดยตัวมันจะมีเวลาตอบสนอง (response time) ประมาณ 400 นาโนวินาที

วงจรรักษาขั้วกระแสเอาต์พุต

ประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ตัว ซึ่งในโครงงานนี้เรายำว่ามาต่อกันในลักษณะขนาน โดยจะได้ว่า ทรานซิสเตอร์แต่ละตัว จะสามารถขับกระแสได้สูงสุด 200 มิลลิแอม ที่ $V_{CE(SAT)} = 1.1$ โวลต์

5.2.4 วงจรซอฟต์-สตาร์ท (SOFT START)

วงจรรซอฟต์-สตาร์ท นี้จะช่วยป้องกันวงจรจากกระแสกระชากขณะเปิดเครื่อง ลักษณะการท จะต่อระหว่างขา dead - time control กับ V_{ref} ตามรูปที่ (5.14)

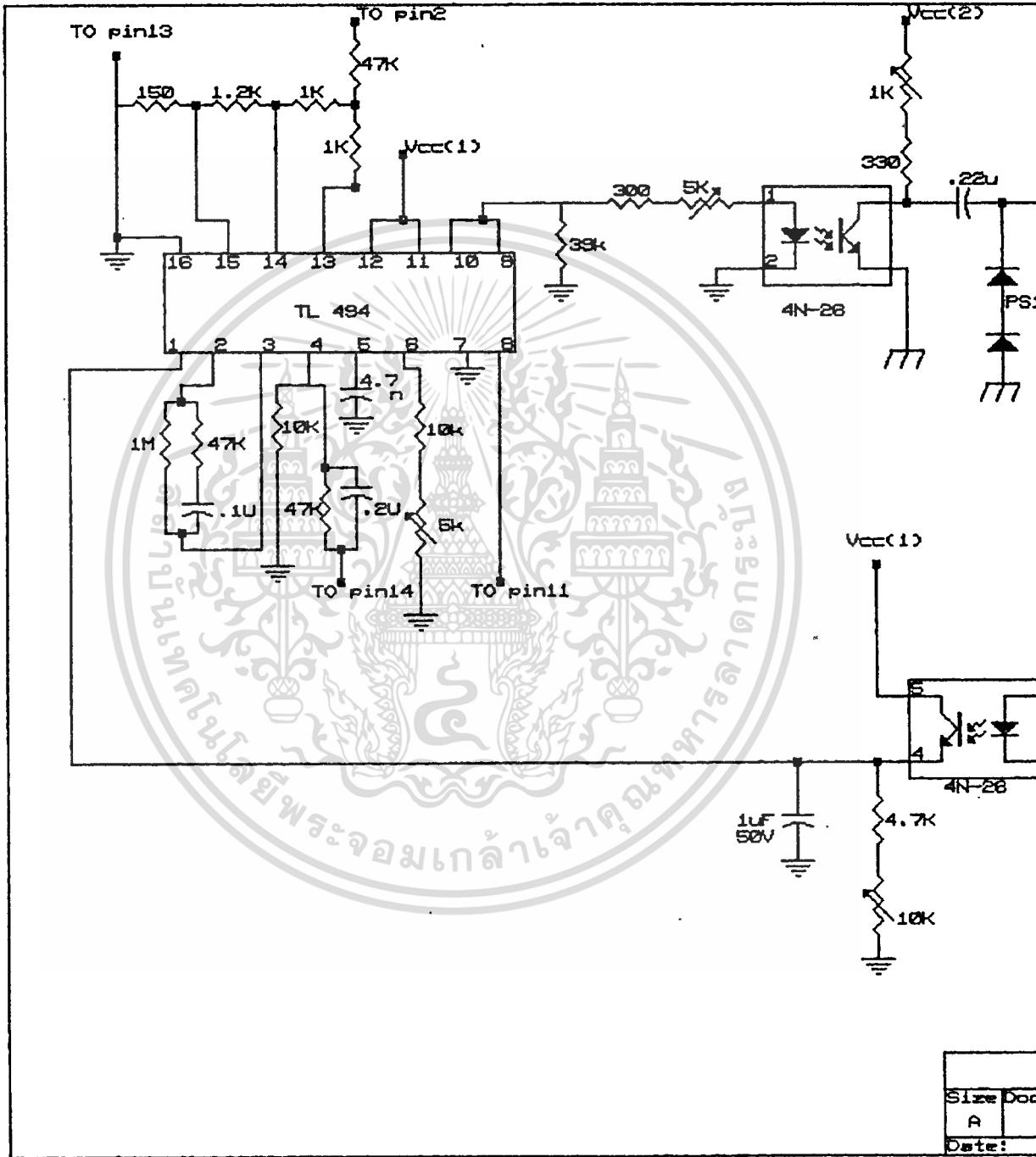


รูปที่ (5.14) แสดงวงจรรซอฟต์-สตาร์ท

ขณะเริ่มต้นที่ขอบขาขึ้นของโวลต์ที่ขา 14 จะผ่านซาร์จ C_s โดยผ่าน R_s ที่ขณะนี้จะเห็นว่าที่ขา dead - time จะมีโวลต์สูงเป็น V_{ref} จึงยังไม่มีเอาต์พุตออกมาได้ ต่อมาระดับโวลต์ที่ R_s จะค่อย ๆ ลดลงจนสามารถมีเอาต์พุตออกมาได้ เรียกว่าเป็นลักษณะซอฟต์-สตาร์ท

5.3 วงจรและการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารจริงที่ใช้ในโครงงานนี้แสดงดังรูปเท่าที่สมควรแก่แยกส่วนสำคัญ ๆ ใ้ เป็น 6 ส่วน คือ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Size	Doc
A	
Date:	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ภาควงจร พัลส์ วิคธี มอดคูลูเลเตอร์
2. ภาควงจร เชื่อมโยงควยแสง
3. ภาควงจร แปลระดั้มสัญญาณไฟสลับ
4. ภาควงจร ทวีแรงทัน
5. วงจร จักกักระแสสูงสูค
6. ภาควงจร ป้อนกลับ
7. ส่วนหัวฉีก

1. ภาควงจร พัลส์วิคธี มอดคูลูเลเตอร์

เลือกใช้ IC TL 494 เป็นตัว พัลส์ วิคธี มอดคูลูเลเตอร์ โดย
วงจรรอสวิเตเตอร์ เลือกใช้ตามความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ และเลือก $C_T = 4.7\text{NF}$

$$\text{จาก } f = \frac{1}{R_T R_T} \text{ ดังนั้น } R_T = \frac{1}{(20\text{k})(4.7\text{n})} = 10\text{k}\Omega$$

วงจรรีเออร์เรอ์แอมป์ ซึ่งทำการเทียบระดับศักดาเอาท์พุท กับ ศักดา
อ้างอิง เพื่อนำไปควบคุมความกว้างของพัลส์ และเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของเออร์-
เรอ์แอมป์ จะทำการต่อซีคแคคให้กับมัน โดยย่าน R 47 K, 1M และ C 0.1 μ
ระหว่างขา 2 และ 3 เพื่อลดเกนให้ต่ำลงที่ความถี่สูง ๆ

วงจรรอพัลส์สตาร์ท และ เคพทาม เพื่อเป็นการลดกระแส SURGE ขณะ
เปิดเครื่อง ตัวคาปาซิเตอร์ 0.2 μF จะให้ศักดา dead time เป็น 5 V (100%
dead time) และขณะที่ตัว C กำลังชาร์จจน R 10 k ความกว้างวิคธีจะค่อย ๆ
เพิ่มขึ้น ซึ่งปกติแล้ว ซอฟ-สตาร์ทจะใช้เวลาประมาณ 25 ถึง 100 clock cycle
เราเลือกใช้ 50 clock cycle

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{20\text{k}} = 50\mu\text{s per clock cycle}$$

$$C_s = \frac{\text{soft start time}}{10\text{k}} = \frac{50\mu\text{s} \times 50 \text{ cycle}}{10\text{k}}$$

2. ภาควงจร เชื่อมโยงควยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ในโครงการเราเลือกใช้ IC 4N26 OPTO COUPLER เพราะมีคุณสมบัติ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สามารถแยกศักดาไฟสูงโค

- ๒. สามารถส่งผ่านกระแสได้สูงถึง 80 mA
- 3. ทำงานแบบสวิชได้เร็วมาก โดยมี $T_r = 2\mu s$, $T_f = 2\mu s$

3. ภาพวงจรแปลงระดับสัญญาณไฟสลัม

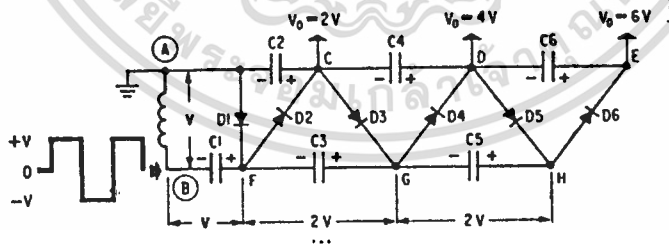
ซึ่งประกอบด้วย สวิตชิงทรานซิสเตอร์ และหม้อแปลงขั้วกลับ ใช้ทรานซิสเตอร์ สวิตชิง 2 ตัว เพื่อนำมาคาร์ลิงกัน โดยตัวแรก จะมีอัตราขยายกระแสสูง เลือกใช้ วัตต์หลังใช้เบอร์ 25C 3402 ซึ่งสามารถทนกระแสได้สูงถึง 10 A และในการออกแบบหม้อแปลงแบบ Step - up เราสามารถคำนวณได้ตามวิธีดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ ขั้นตอนการออกแบบหม้อแปลง ได้ว่า

ขดลวดทางโพรมารี่ ใช้ลวดเบอร์ 28 เส้น 17 รอบ

ขดลวดทางเอาต์พุ. เซกชั่นคาร์รี่ ใช้ลวดเบอร์ 40 เส้น 1506 รอบ

ขดลวดทางฟีดแบค เซกชั่นคาร์รี่ ใช้ลวดเบอร์ 35 เส้น 17 รอบ

4. ภาพวงจรทวีแรงดัน



รูปที่ (5.15) แสดงวงจรทวีแรงดัน

อธิบายได้ว่า ให้มีศักดากร่อมกันเซกชั่นคาร์รี่เป็น $\pm V$ ในครึ่งแรกของคลื่น

ให้จุด B เป็นลบ เมื่อเทียบกับจุด A ได้ว่า จะมีกระแสผ่าน D_1 และชาร์จ C_1 จนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น, ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าถึงักควาศิยะ ในช่วงครึ่งหลังที่จุด B จะกลับเป็นบวกเมื่อเทียบกับ A จะค้นให้ศักทาที่จุดไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขวามือของ C_1 ขึ้นเป็น $+2V$ และชาร์จ C_2 ขึ้นเป็น $+2V$ โดยผ่านทาง D_2 ต่อมาในช่วงไซเคิลที่ 3 จุด B กลับเป็นลบเมื่อเทียบกับ A อีกครั้ง ใคว่า C_1 จะถูกชาร์จจนถึง $+V$ และขณะนี้ D_1 นำกระแสและแกล้มป์อยู่กับกราวด์ ทำให้ทางขั้วมือของ C_3 ถูกดึงลงให้เป็นกราวด์เช่นกัน ขณะนี้ C_2 จะชาร์จ C_3 ขึ้นไปเป็น $+2V$ โดยผ่าน D_3 ในครึ่งไซเคิล 4 จุด B เป็นบวก คัมให้จุดขวามือเอง C_1 ขึ้นเป็น $+2V$ ทำการชาร์จ C_2 เป็น $2V$ และทางขวามือของ C_3 ถูกกันให้เป็น $+4V$ และชาร์จ C_4 โดยผ่าน D_4 ที่ขณะนี้จะใคว่าขวามือของ C_4 มีศักดาสูงถึง $+4V$ เหนือกราวด์

5. วงจรจำกัดกระแสสูงสุด

เนื่องจากศักดาทางคานเอาต์สูงถึง $12,000$ โวลท์ จึงอาจทำอันตรายแก่ผู้ใช้ได้ ถ้ามังเอิญไปสัมผัส จึงใคว่าวงจรจำกัดกระแสสูงสุดไว้ โดยการต่อ R ค่า 100 เมกกะโอมห์ไว้ ถ้าเกิดการลัดวงจร จะมีกระแสไหล 100 ไมโครแอมป์ ซึ่งไม่สามารถทำอันตรายแก่ผู้ใช้ได้

6. ภาควงจรป้อนกลับ

โดยการใช้ขดลวดพันอีกชุดหนึ่งทางคานเซกชั่นคาร์ โดยพันจำนวนรอบเท่ากันกับทางคานโพรมารี นำมาผ่านชุดเรกดินชายเพื่อทำให้เป็นไฟตรง นำมาแยกศักดาไฟสูงเพื่อป้อนกลับให้กับภาทพลัส วิธ มอดคูลเลเตอร์ โดยผ่านทาง ออปโตคัปเบิลอร์ 4N26 อีกตัวหนึ่ง

7. ส่วนหัวฉีด

เราใคว่าการออกแบบหัวฉีดเพื่อทำการพ่นสารเคมีให้เป็นละอองเล็ก ๆ โดยใช้หลักของหัวฉีดแบบ (Low Volume Sprayer) โดยมีหลักการคือ ใพ่นสารเคมีเหลวไหลผ่านท่อเล็ก ๆ และถูกตีท้วยใบพัดจากมอเตอร์ความเร็วสูง สารเคมีจะถูกตีสูงเป็นละอองเล็กมาก ทำให้เราสามารถใพ่นระจุรุ่มมันได้ดีขึ้น

บทที่ 6

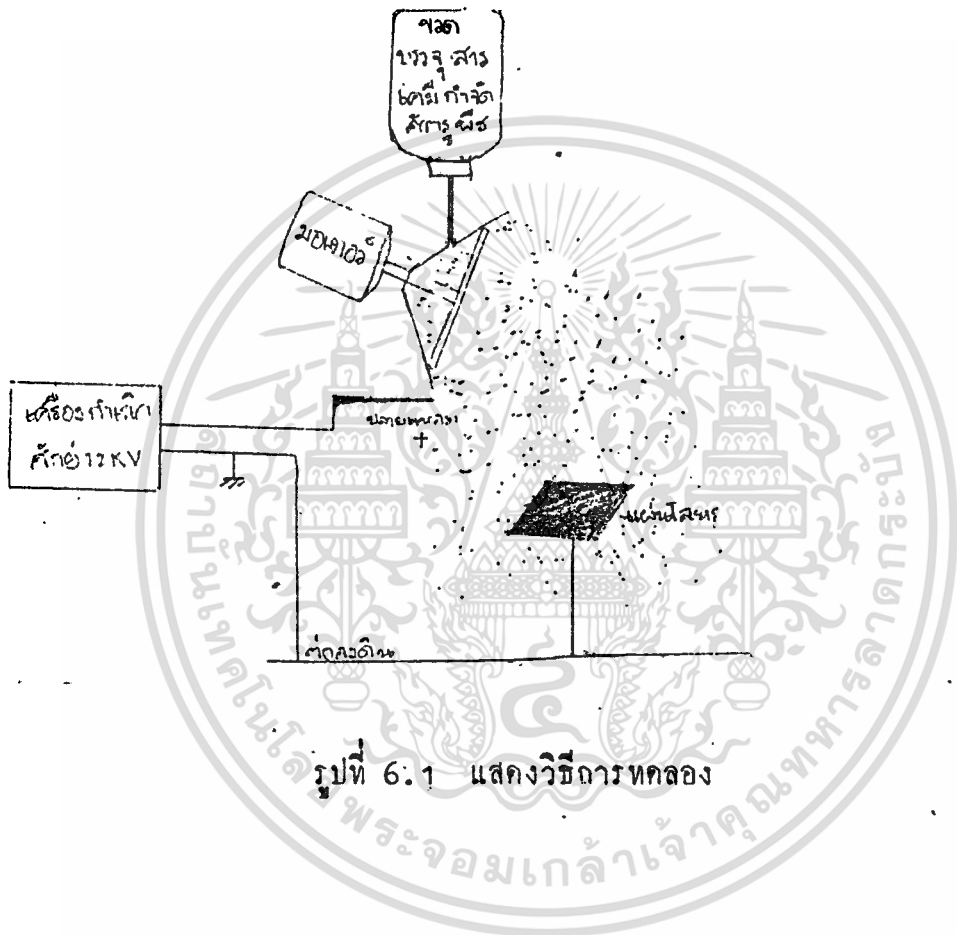
การทดลองและผลการทดลอง

6.1 วิธีการทดลอง

- 1) ปรับศักดาไฟฟ้าที่บริเวณหัวฉีกใหม่ค่าคงที่เท่ากับ 12 kv
- 2) ในการทดลองนี้จะใช้กระดาษกรองเป็นตัววัดปริมาณของสารที่ถูกพ่นออกมาจากหัวฉีก ซึ่งเกาะอยู่ทางด้านบนและด้านล่างของแผ่นโลหะที่ใช้เป็นบริเวณที่ถูกพ่น ดังนั้นจึงต้องชั่งน้ำหนักของกระดาษกรองทุกแผ่นแล้วบันทึกผลเก็บไว้
- 3) ทำการพ่นสารเคมีซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้น้ำเป็นสารที่จะถูกพ่นผ่านหัวฉีกชนิด Electrostatic sprayer ในครั้งแรกจะทำการพ่นลงบนแผ่นโลหะขนาด 5×5 เซนติเมตร ซึ่งอยู่ห่างจากหัวฉีกเป็นระยะทางในแนวตั้ง 60 เซนติเมตร โดยที่แผ่นโลหะที่ใช้จะต่อกับสารดิน (Ground) ของวงจรศักดาไฟสูง ในการพ่น 1 ครั้งจะใช้เวลา 30 วินาที
- 4) บันทึกปริมาณน้ำที่เกาะอยู่ทางด้านบนและด้านล่างของแผ่นโลหะ โดยการใช้กระดาษกรองซับ จากนั้นจึงนำไปชั่งน้ำหนัก
- 5) หาดลต่างของน้ำหนักของกระดาษกรองก่อนและหลังทำการพ่น แล้วบันทึกค่าลงในตารางหัวข้อที่ 6.2.1
- 6) ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งเพื่อเป็นค่าเทียบเคียงผลการทดลอง แล้วบันทึกค่าลงในตารางหัวข้อที่ 6.2.1 เช่นกัน
- 7) ทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3 ถึง 6 แต่เปลี่ยนระยะทางที่ใช้พ่นในแนวตั้งเป็น 50 เซนติเมตร, 40 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร แล้วบันทึกผลลงในตารางหัวข้อที่ 6.2.2, 6.2.3 และ 6.2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 8) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่หัวข้อที่ 3 ถึง 7 แต่เปลี่ยนขนาดของแผ่นโลหะเป็น 10 10 เซนติเมตร แล้วบันทึกผลลงในตารางหัวข้อที่ 6.2.5, 6.2.6, 6.2.7 และ 6.2.8



รูปที่ 6.1 แสดงวิธีการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ผลการทดลอง

6.2.1 พื้นที่แผ่นโลหะ 0.0025 ตารางเซนติเมตร ที่ระยะทาง 60 เซนติเมตร

ครั้งที่	ปริมาณน้ำที่วัด โคหาคานบน ของแผ่นโลหะ (g)	ปริมาณน้ำที่วัด โคหาคานบน ของแผ่นโลหะ เมื่อเทียบต่อ หน่วยพื้นที่ (g/m ²)	ปริมาณน้ำที่วัด โคหาคาน กลางของแผ่น (g)	ปริมาณน้ำที่วัด โคหาคาน กลางของแผ่น โลหะเมื่อ เทียบต่อหน่วย พื้นที่ (g/m ²)	เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำ ทางคานกลาง ของแผ่นโลหะ เมื่อเทียบกับ ทางคานบน ของแผ่นโลหะ
1	0.2328	93.12	0.0205	8.2	11.36%
2	0.2513	100.52	0.0267	10.68	9.41%

6.2.2 พื้นที่แผ่นโลหะ 0.0025 ตารางเซนติเมตร ที่ระยะทาง 50 เซนติเมตร

1	0.2977	119.08	0.0369	14.76	12.40%
2	0.3261	130.44	0.0417	16.68	12.79%

6.2.3 พื้นที่แผ่นโลหะ 0.0025 ตารางเซนติเมตร ที่ระยะทาง 40 เซนติเมตร

1	0.4500	180	0.0751	30.74	16.69%
2	0.4732	189.28	0.1264	50.56	26.71%

6.2.4 พื้นที่แผ่นโลหะ 0.0025 ตารางเซนติเมตร ที่ระยะทาง 30 เซนติเมตร

1	0.6543	261.72	0.1082	43.28	16.94%
2	0.6819	272.76	0.1024	40.96	15.02%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไปได้ กรุณาแจ้งให้ทราบถึงวัตถุประสงค์การใช้งาน และขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.5 พื้นที่ แฉนโลหะ 0.01 ตารางเซนติเมตร ที่ระยะทาง 60 เซนติเมตร

ครั้งที่	ปริมาณน้ำที่วัด โคทางกานบน ของแฉนโลหะ (g)	ปริมาณน้ำที่วัด โคทางกานบน ของแฉนโลหะ เมื่อเทียบคอ หน่วย (g/m ²)	ปริมาณน้ำที่วัด โคทางกาน ล่างของแฉน (g)	ปริมาณน้ำที่วัด โคทางกาน ล่างของแฉน โลหะเมื่อเทียบ คอหน่วย(g/m ²)	%ของปริมาณน้ำ ทางกานล่าง เมื่อเทียบกับ ทางกานบน ของแฉนโลหะ
1	0.8194	81.94	0.0353	3.53	4.3%
2	0.7905	79.05	0.0434	4.34	5.5%

6.2.6 พื้นที่แฉนโลหะ 0.01 ตารางเซนติเมตร ที่ระยะทาง 50 เซนติเมตร

1	1.0687	106.87	0.0565	5.65	5.29%
2	1.0394	103.94	0.0384	3.84	3.70%

6.2.7 พื้นที่แฉนโลหะ 0.01 ตารางเซนติเมตร ที่ระยะทาง 40 เซนติเมตร

1	1.6433	164.33	0.1351	13.51	8.22%
2	1.5479	154.79	0.1206	12.06	7.80%

6.2.8 พื้นที่แฉนโลหะ 0.01 ตารางเซนติเมตร ที่ระยะทาง 30 เซนติเมตร

1	1.3669	136.69	0.1429	14.29	7.65%
2	1.7139	171.39	0.1487	14.87	8.33%

6.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองนี้สามารถแสดงให้เห็นว่า ที่ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับสิ่งที่จะถูกพ่นด้วย Electrostatic sprayer นี้ ถ้ายิ่งใกล้เปอร์เซ็นต์ของปริมาณของน้ำทางคานล่างของแผ่นโลหะเทียบกับคานบนของแผ่นโลหะจะมีค่าสูงขึ้น และถ้าขนาดของพื้นที่ที่จะถูกพ่นมีขนาดเล็กลง จะทำให้เปอร์เซ็นต์ของปริมาณของน้ำทางคานล่างของแผ่นโลหะเทียบกับคานบนของแผ่นโลหะจะมีค่ามากขึ้น แสดงให้เห็นว่าถ้าต้องการให้เห็นว่า ถ้าต้องการให้ประสิทธิภาพของการพ่นสูงขึ้นจะกึ่งพ่นสารลงที่พื้นที่ เล็ก ๆ และที่ระยะใกล้พอสมควร

ผลการทดลองที่ได้ในครั้งนี้ อาจมีข้อผิดพลาดตรงที่จำนวนครั้งที่ใช้ทำการทดลอง มีจำนวนน้อยเกินไป จนทำให้ไม่สามารถสรุปผลของข้อมูลที่ออกมาด้วยค่าที่แน่นอนได้

ในการทดลองครั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดบางประการทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนชนิดของสารที่ถูกพ่นให้เป็นสารที่แตกต่างกันได้ ซึ่งถ้าหากว่าสารเคมีที่จะนำมาใช้พ่นมีคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความนำไฟฟ้า ความหนืด เป็นต้น แตกต่างกันไป ประสิทธิภาพของการเคลือบเกาะผิวก็จะแตกต่างกันออกไปด้วย

บทที่ 7

สรุป และวิจารณ์

จากการทดลองใช้เครื่อง Electrostatic Sprayer ที่สร้างขึ้น พบว่าสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการพอสมควร อย่างไรก็ตาม การนำเครื่องที่สร้างขึ้นนี้ไปใช้งานจริง คงยังมีความไม่สะดวกอยู่บ้างประการ กล่าวคือ การเลือกสารเคมีที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการประสิทธิผลสูงสุดนี้ จำเป็นต้องทราบคุณสมบัติทางกายภาพของสารเคมีนั้น เช่น ค่าความนำไฟฟ้า, ค่าความคล่องตัวของสาร เป็นต้น

และในส่วนของวงจรเราเลือกใช้วงจรกำเนิดศักดา แบบสวิชชิงเร็กกูเลเตอร์ เนื่องจากมีประสิทธิผลสูงกว่า แบบลิเนียร์เร็กกูเลเตอร์ และในการเลือกความถี่ในการสวิชชิง เราเลือกที่ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ต เพราะแบตเตอรี่ขนาด 12 v, 7 Ah ที่ความถี่ใช้งาน 20 กิโลเฮิร์ต วงจรจะใช้กระแสประมาณ 300 ma ถ้าประมาณให้แบตเตอรี่ คือสารจ 20% จะได้ว่าสามารถพ่นได้ครั้งหนึ่งนานประมาณ 5 ชั่วโมง ซึ่งคิดว่าเพียงพอที่เหมาะสมพอสมควร

ส่วนปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลองมีดังนี้

1. เนื่องจากการใช้งานที่ศักดาสูงมากในชุด voltage multiplier จึงเกิดการสปาร์ค (Spark) และกระแสรั่วไหล (leakage current)
2. ในวงจร voltage multiplier จะต้องใช้ตัวคาปาซิเตอร์ที่สามารถทนแรงดันสูงได้ ซึ่งตัวคาปาซิเตอร์ทนแรงดันสูงนี้ มักจะมีค่าคาปาซิแตนซ์ต่ำมาก ทำให้ต้องใช้จำนวนชุด multiplier มากกว่าที่คำนวณไว้
3. ปัญหาจาก สะสมประจุบนตัวนำที่บริเวณหัวฉีด ถ้านานเกินไปผู้ใช้ในเวลารวดเร็วขณะเริ่มสัมผัส จะทำให้เกิดการกระตุกของกล้ามเนื้อ ซึ่งแม้ไม่มีอันตรายต่อร่างกาย ก็จะทำให้เกิดความรำคาญได้ จึงแก้ปัญหาโดยวัสดุที่เป็นตัวนำที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานให้ทอลงดินเสมอ

จากโครงการนี้ ทางผู้จัดทำคิดว่า จะช่วยเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เครื่องพิมพ์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES 4N25, 4N26, 4N27, 4N28 OPTO-COUPLERS

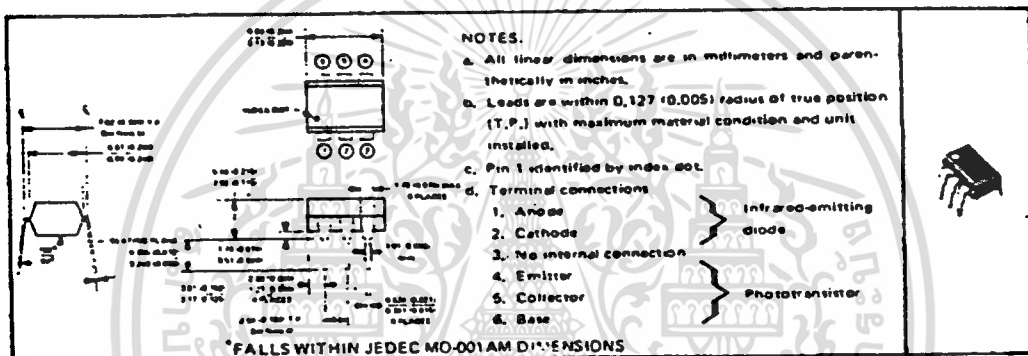
BULLETIN NO. DLS 12648, SEPTEMBER 1978

COMPATIBLE WITH STANDARD DTL AND TTL INTEGRATED CIRCUITS

- Gallium Arsenide Diode Infrared Source Optically Coupled to a Silicon N-P-N Phototransistor
- High Direct-Current Transfer Ratio
- High-Voltage Electrical Isolation . . . 2.5-kV, 1.5-V, or 0.5-kV Rating
- Plastic Dual-In-Line Package
- High-Speed Switching . . . $t_r = 2 \mu s$, $t_f = 2 \mu s$ Typical

mechanical data

The package consists of a gallium arsenide infrared-emitting diode and an n-p-n silicon phototransistor mounted on a 6-lead frame encapsulated within an electrically nonconductive plastic compound. The case will withstand soldering temperature with no deformation and device performance characteristics remain stable when operated in high-humidity conditions. Unit weight is approximately 0.52 grams.



absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)

Peak Input-to-Output Voltage:	4N25	±2.5 kV
	4N26, 4N27	±1.5 kV
	4N28	±0.5 kV
Collector-Base Voltage		70 V
Collector-Emitter Voltage (See Note 1)		30 V
Emitter-Collector Voltage		7 V
Emitter-Base Voltage		7 V
Input-Diode Reverse Voltage		3 V
Input-Diode Continuous Forward Current at (or below) 25°C Free Air Temperature (See Note 2)		80 mA
Input-Diode Peak Forward Current ($t_w = 300 \mu s$, duty cycle = 2%)		3 A
Continuous Power Dissipation at (or below) 25°C Free-Air Temperature:		
Infrared-Emitting Diode (See Note 3)		150 mW
Phototransistor (See Note 4)		150 mW
Total, Infrared-Emitting Diode plus Phototransistor (See Note 5)		250 mW
Storage Temperature Range		-55°C to 150°C
Lead Temperature 1.6 mm (1/16 Inch) from Case for 10 Seconds		260°C

- NOTES:**
- This value applies when the base-emitter diode is open circuited
 - Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 1.33 mA/°C.
 - Derate linearly to 100°C free air temperature at the rate of 2 mW/°C.
 - Derate linearly to 100°C free air temperature at the rate of 2 mW/°C.
 - Derate linearly to 100°C free air temperature at the rate of 3.33 mW/°C.
- * JEDEC registered data. This data sheet contains all applicable JEDEC registered data in effect at the time of publication.

Copyright © 1978 by Texas Instruments Incorporated

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED
POST OFFICE BOX 275012 • DALLAS, TEXAS 75225

TYPES 4N25, 4N26, 4N27, 4N28 OPTO-COUPLEDERS

electrical characteristics at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	4N25, 4N26			4N27, 4N28			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
*V(BR)CBO Collector-Base Breakdown Voltage	I _C = 100 μA, I _E = 0, I _F = 0	70			70			V
*V(BR)CEO Collector-Emitter Breakdown Voltage	I _C = 1 mA, I _B = 0, I _F = 0	30			30			V
*V(BR)ECO Emitter-Collector Breakdown Voltage	I _E = 100 μA, I _B = 0, I _F = 0	7			7			V
*I _R Input Diode Static Reverse Current	V _R = 3 V			100			100	μA
*I _{C(on)} On-State Collector Current (Phototransistor Operation)	V _{CE} = 10 V, I _B = 0, I _F = 10 mA	2	5		1	3		mA
I _{C(off)} On-State Collector Current (Photodiode Operation)	V _{CB} = 10 V, I _E = 0, I _F = 10 mA		20			20		μA
*I _{C(off)} Off-State Collector Current (Phototransistor Operation)	V _{CE} = 10 V, I _B = 0, I _F = 0		1	50		1	50	nA
*I _{C(off)} Off-State Collector Current (Photodiode Operation)	V _{CB} = 10 V, I _E = 0, I _F = 0		0.1	20		0.1	20	nA
*V _F Input Diode Static Forward Voltage	I _F = 10 mA		1.25	1.5		1.25	1.5	V
*V _{CE(sat)} Collector-Emitter Saturation Voltage	I _C = 2 mA, I _B = 0, I _F = 50 mA		0.25	0.5		0.25	0.5	V
r _{IO} Input-to-Output Internal Resistance	V _{in-out} = ±2.5 kV for 4N25, ±1.5 kV for 4N26, 4N27, ±0.5 kV for 4N28, See Note 6	10 ¹¹	10 ¹²		10 ¹¹	10 ¹²		Ω
C _{IO} Input-to-Output Capacitance	V _{in-out} = 0, f = 1 MHz, See Note 6		1			1		pF

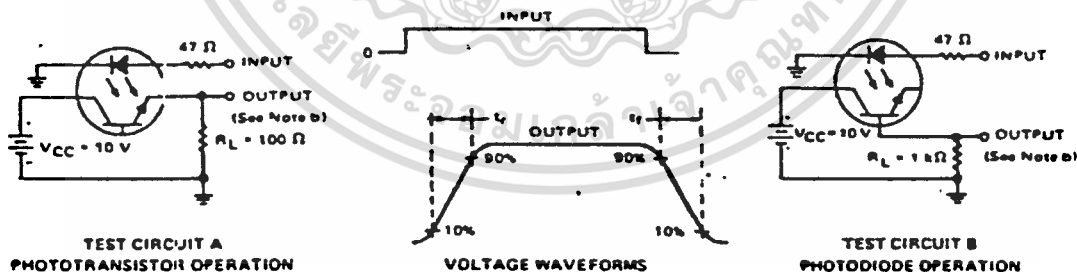
NOTE 6: These parameters are measured between both input diode leads shorted together and all the phototransistor leads shorted together.
*JEDEC registered data

switching characteristics at 25°C free-air temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TYP	UNIT
t _r Rise Time	Phototransistor Operation V _{CC} = 10 V, I _B = 0, I _{C(on)} = 2 mA, R _L = 100 Ω. See Test Circuit A of Figure 1	2	μS
t _f Fall Time		2	
t _r Rise Time	Photodiode Operation V _{CC} = 10 V, I _E = 0, I _{C(on)} = 20 μA, R _L = 1 kΩ. See Test Circuit B of Figure 1	1	μS
t _f Fall Time		1	

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

Adjust amplitude of input pulse for:
I_{C(on)} = 2 mA (Test Circuit A) or
I_{C(on)} = 20 μA (Test Circuit B)



NOTES: a. The input waveform is supplied by a generator with the following characteristics: Z_{out} = 50 Ω, t_r < 15 ns, duty cycle = 1%, t_w = 100 μs.
b. The output waveform is monitored on an oscilloscope with the following characteristics: t_r < 12 ns, R_{in} > 1 MΩ, C_{in} < 20 pF.

FIGURE 1 - SWITCHING TIMES

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED
POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75285

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LINEAR
INTEGRATED
CIRCUITS**

**TYPES TL494M, TL4941, TL494C,
TL494C-WIDE TEMP, TL4951, TL495C
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS**

BULLETIN NO. DL-S 12620, JUNE 1978 (REVISED JUNE 1979)

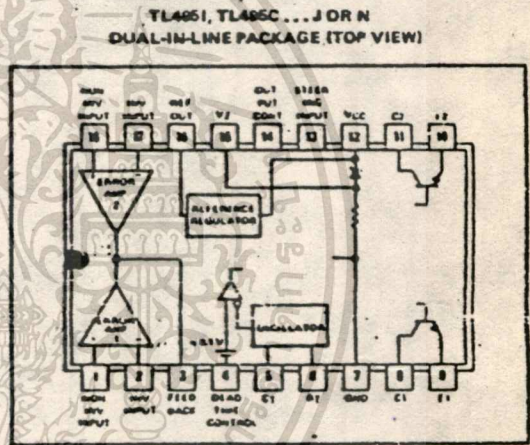
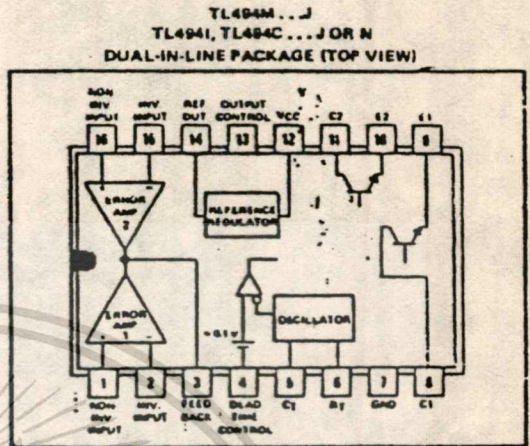
- Completes PWM Power Control Circuitry
- Uncommitted Outputs for 200-mA Sink or Source
- Output Control Selects Single-Ended or Push-Pull Operation
- Internal Circuitry Prohibits Double Pulse at Either Output
- Variable Dead-Time Provides Control Over Total Range
- Internal Regulator Provides a Stable 5-V Reference Supply
- Circuit Architecture Provides Easy Synchronization
- On-Chip 39-V Zener (TL495 Only)
- External Control of Output Steering (TL495 Only)

description

The TL494 incorporates on a single monolithic chip all the functions required in the construction of a pulse-width-modulation control circuit. Designed primarily for power supply control, the TL494 contains an on-chip 5-volt regulator, two error amplifiers, adjustable oscillator, dead-time control comparator, pulse steering, flip-flop and output-control circuitry. The uncommitted output transistors provide either common-emitter or emitter-follower output capability. Push-pull or single-ended output operation may be selected through the output-control function. The architecture of the TL494 prohibits the possibility of either output being pulsed twice during push-pull operation. The internal amplifiers exhibit a common-mode voltage range from -0.3 volt to $V_{CC} - 2$ volts. The dead-time control comparator has a fixed offset that provides approximately 5% dead time unless externally altered. The on-chip oscillator may be bypassed by terminating R_T (pin 6) to the reference output and providing a sawtooth input to C_T (pin 5), or it may be used to drive the common TL494 circuitry and provide a sawtooth input for associated control circuitry in synchronous multiple-rail power supplies.

The TL495 provides the identical functions found in the TL494. In addition the TL495 contains an on-chip 39-volt zener diode for high-voltage applications where V_{CC} is greater than 40 volts, and an output steering control that overrides the internal control of the pulse-steering flip-flop.

The TL494M is characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C . The TL4941 and TL4951 are characterized for operation from -25°C to 85°C . The TL494C and the TL495C are characterized for operation from 0°C to 70°C .

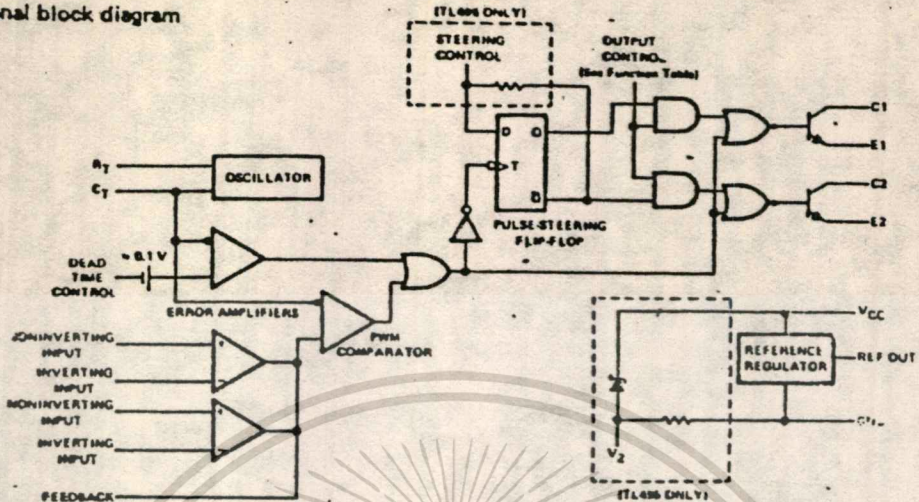


FUNCTION TABLE

INPUTS		OUTPUT FUNCTION
OUTPUT CONTROL	STEERING INPUT (TL495 only)	
Grounded	Open	Single-ended or parallel output
At V_{ref}	Open	Normal push-pull operation
At V_{ref}	$V_1 < 0.4\text{ V}$	PWM Output at Q1
At V_{ref}	$V_1 > 2.4\text{ V}$	PWM Output at Q2

TYPES TL494M, TL494I, TL494C,
TL494C-WIDE TEMP, TL4951, TL495C
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

functional block diagram



absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	TL494M	TL494I TL4951	TL494C TL495C	TL494C- WIDE	UNIT
Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	41	41	41	41	v
Amplifier input voltages	$V_{CC} + 0.3$	$V_{CC} + 0.3$	$V_{CC} + 0.3$	$V_{CC} + 0.3$	v
Collector output voltage	41	41	41	41	v
Collector output current	250	250	250	250	mA
Continuous total dissipation at or below 25°C free-air temperature (see Note 2)	1000	1000	1000	1000	mW
Operating free-air temperature range	-65 to 125	-25 to 85	0 to 70	-20 to 80	°C
Storage temperature range	-65 to 150	-65 to 150	-65 to 150	-65 to 150	°C
Lead temperature 1/16 inch (1.6 mm) from case for 60 seconds: J package	300	300	300	300	°C
Lead temperature 1/16 inch (1.6 mm) from case for 10 seconds: N package		260	260	260	°C

DISSIPATION DERATING TABLE

PACKAGE	POWER RATING	DERATING FACTOR	ABOVE T_A
J	1000 mW	0.2 mW/°C	26°C
N	1000 mW	0.2 mW/°C	41°C

recommended operating conditions

	TL494M		TL494I TL4951		TL494C TL495C		TL494C- WIDE		UNIT
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	7	40	7	40	7	40	7	40	v
Amplifier input voltages, V_I	-0.3	$V_{CC} - 2$	-0.3	$V_{CC} - 2$	-0.3	$V_{CC} - 2$	-0.3	$V_{CC} - 2$	v
Collector output voltage, V_O		40		40		40		40	v
Collector output current (each transistor)		200		200		200		200	mA
Current into feedback terminal		0.3		0.3		0.3		0.3	mA
Timing capacitor, C_T	0.47	10,000	0.47	10,000	0.47	10,000	0.47	10,000	nF
Timing resistor, R_T	1.8	500	1.8	500	1.8	500	1.8	500	k Ω
Oscillator frequency	1	300	1	300	1	300	1	300	kHz
Operating free-air temperature, T_A	-65	125	-25	85	0	70	-20	80	°C

WIDE TEMP. TL4951, TL495C
 TYPES TL494M, TL494I, TL494C,
 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

Electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

reference section

PARAMETER	TEST CONDITIONS ¹	TL494M			TL494I, TL4951, TL494C, TL495C			UNIT
		MIN	TYP ²	MAX	MIN	TYP ²	MAX	
Output voltage (V_{ref})	$I_O = 1\text{ mA}$	4.75	5	5.25	4.75	5	5.25	V
Input regulation	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	2 25			2 25			mV
Output regulation	$I_O = 1\text{ to }10\text{ mA}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	1 15			1 15			mV
Output voltage change with temperature	$\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$	0.2 1			0.2 1			%
Short-circuit output current ³	$V_{ref} = 0$	10	35	50	35			mA

oscillator section

PARAMETER	TEST CONDITIONS ¹	MIN	TYP ²	MAX	UNIT
Frequency	$C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\text{ k}\Omega$	10			kHz
Standard deviation of frequency ⁴	All values of V_{CC} , C_T , R_T , T_A constant	10			%
Frequency change with voltage	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	0.1			%
Frequency change with temperature	$C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\text{ k}\Omega$, $\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$	2			%

dead-time control section (see figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP ²	MAX	UNIT
Input bias current (pin 4)	$V_I = 0\text{ to }5.25\text{ V}$	-2 -10			μA
Maximum duty cycle, each output	V_I (pin 4) = 0	45			%
Input threshold voltage (pin 4)	Zero duty cycle	3 3.3			V
	Maximum duty cycle	0			

error-amplifier sections

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP ²	MAX	UNIT
Input offset voltage	V_O (pin 3) = 2.5 V	2 10			mV
Input offset current	V_O (pin 3) = 2.5 V	25 250			nA
Input bias current	V_O (pin 3) = 2.5 V	0.2 1			μA
Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$	-0.3			V
		40			
Open-loop voltage amplification	$\Delta V_O = 3\text{ V}$, $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$	70 95			dB
Unity-gain bandwidth		800			kHz
Common-mode rejection ratio	$V_{CC} = 40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	65 80			dB
Cu Out sink current (pin 3)	$V_{ID} = -15\text{ mV to }-5\text{ V}$, V (pin 3) = 0.7 V	0.3 0.7			mA
Output source current (pin 3)	$V_{ID} = 15\text{ mV to }5\text{ V}$, V (pin 3) = 3.5 V	-2			mA

output section

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494M			TL494I, TL4951, TL494C, TL495C			UNIT
		MIN	TYP ²	MAX	MIN	TYP ²	MAX	
Collector off-state current	$V_{CE} = 40\text{ V}$, $V_{CC} = 40\text{ V}$	2 100			2 100			μA
Emitter off-state current	$V_{CC} = V_C = 40\text{ V}$, $V_E = 0$	-150			-100			μA
Collector-emitter saturation voltage	Common-emitter $V_E = 0$, $I_C = 200\text{ mA}$ Emitter follower $V_C = 15\text{ V}$, $I_E = -200\text{ mA}$	1.1 1.5			1.1 1.3			V
Output control input current	$V_I = V_{ref}$	3.5			3.6			mA

For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

All typical values except for temperature coefficients are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

Duration of the short circuit should not exceed one second.

Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (X_n - \bar{x})^2}{N - 1}}$

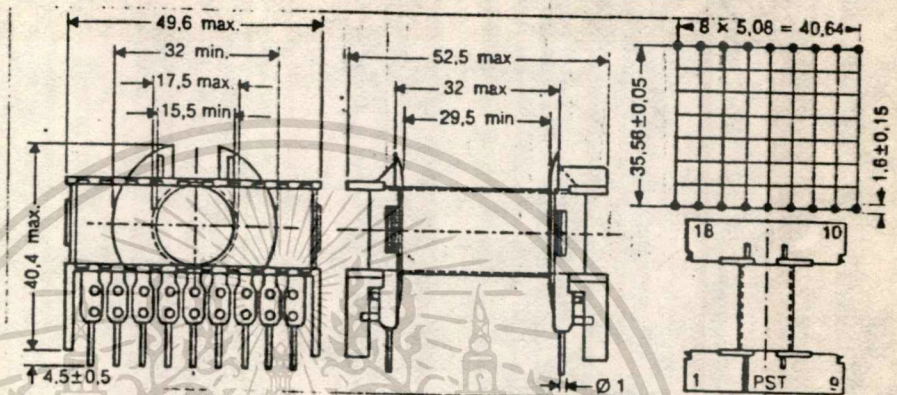
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (X_n - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

TEXAS INSTRUMENTS
 INCORPORATED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BOBBINS AND MOUNTINGS for ETD cores

BOBBIN AND MOUNTING FOR ETD 44x22x15



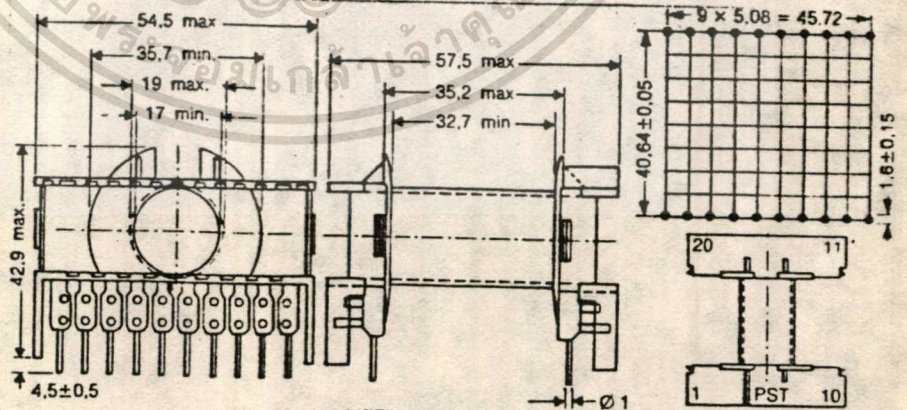
BOBBIN :

Number of pins	Material	Min. available winding space S_p (mm ²)	Mean turn length l_t (mm)	Approx. weight g	
18	Polybutylene terephthalate	210	78	20	CAR 4415 A

Habillage :

		HAB 4415
		Component parts
Bobbin	CAR 4415 A	1
Clamp	ETR 4415 A	2

BOBBIN AND MOUNTING FOR ETD 49x25x16



BOBBIN:

Number of pins picots	Material	Min. available winding space S_p (mm ²)	Mean turn length l_t (mm)	Approx. weight g	
20	Polybutylene terephthalate	270	86	27	CAR 4916 A

MOUNTING:

		HAB 4916
		Component parts
Bobbin	CAR 4916 A	1
Clamp	ETR 4916 A	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรนำมาใช้เพื่อการค้าหรือการอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทผู้ผลิต

กิตติกรรมประกาศ

การที่โครงการนี้สำเร็จขึ้นได้ ก็เนื่องมาจากการให้คำแนะนำปรึกษา และ
อำนวยความสะดวกทางด้านอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ จาก อาจารย์ ดร.แคเนียล บริน
อาจารย์ประภากร สุวรรณะ และยังมีเพื่อน ๆ อีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวชื่อไว้ ณ ที่นี้
ได้คอยช่วยเหลือเมื่อเกิดปัญหาต่าง ๆ ขึ้น ทางผู้จัดทำ รู้สึกขอบอกทุก ๆ ท่านเป็นอย่างสูง

ผู้จัดทำ

สกุล ศันนุญเอก
โสมพงษ์ นธิวัช



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ค.ร. ชูลพงษ์ บุญพรหมณ์, "ไฟฟ้าสถิตในงานอุตสาหกรรม", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2530.
2. พ.ศ. เฉลิมพล น้าคำง, "สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กสถิตย์," ศูนย์สื่อเสริมกรุง.ทพ, 2529.
3. กลุ่มงานวิจัยการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช, "เอกสารวิชาการฉบับที่ 4 : วิธีการพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช", กองกัญและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร, 2530.
4. Graham Matthews, "The attack of charged brigade", New Scientist, 14 July 1988, PP 55-57
5. George Chryssis, "High - Frequency Switching Power Supplies : Theory and Design", Mc Graw - Hill, Inc., 1984
6. Dowding Barry, "Principle of Electronics", New York : Prentice Hall 1988.
7. Pressman; I Abraham, "Switching and linear Power Supply, Power Converter Design", Rochelle Park, N.J, Hayden, 1977.