

เครื่องบำบัดควันพิษในไอเสียรถยนต์

**HIGH VOLTAGE EXHAUST IONIZER**

นาย ฉัตรชัย สิงห์อุตร

นาย ทศวรรษ โอวสุวรรณกุล

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2556

54EE204

หัวข้อโครงการ	เครื่องบำบัดควันพิษในไอเสียรถยนต์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
นักศึกษา	นาย ฉัตรชัย สิงห์อุคร
	นาย ทศวรรษ โอวสุวรรณกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สัจญา คุณขาว

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

.....หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พศวีร์ ศรีโหมค)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. สัจญา คุณขาว)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

## เครื่องบำบัดควันพิษในไอเสียรถยนต์

### HIGH VOLTAGE EXHAUST IONIZER

#### บทคัดย่อ (ABSTRACT)

โครงการนี้นำเสนอเครื่องบำบัดควันพิษในไอเสียรถยนต์ เนื่องจากการศึกษาได้พบว่า ปัญหามลภาวะทางอากาศเป็นปัญหาหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากเครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ การบำบัดไอเสียจากเครื่องยนต์โดยการใช้ไฟฟ้าแรงสูง โดยจะแบ่งชุดการออกแบบเป็น 2 ชุดคือชุดไฟฟ้าแรงสูงและชุดกระจายอิเล็กตรอนโดยใช้ไฟฟ้าแรงดันสูงไปจ่ายให้ชุดกระจายอิเล็กตรอนผ่านอิเล็กโตรดแบบปลายแหลมและแบบระนาบ จะเกิดการแตกตัวของอากาศเกิดเป็นอะตอมเดี่ยว(O)อะตอมเดี่ยวนี้อจะไปรวมตัวกับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO)ที่อยู่ในไอเสียของรถยนต์เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพปล่อยผ่านออกสู่ภายนอกตามปกติ

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการนี้ผู้ทำโครงการใครขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สัญญา คุณขาว ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการและคอยให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางการจัดทำโครงการและคอยให้ความช่วยเหลือตลอดในทุกๆเรื่องระหว่างจัดทำโครงการและขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ช่วยแนะนำและให้คำปรึกษาในด้านต่างๆจนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

นอกจากนี้ขอแสดงความขอบคุณต่อเจ้าหน้าที่ห้องเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกในการเบิกใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ทุกอย่างตลอดการทำโครงการและขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลือให้โครงการนี้สำเร็จลงได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบข่ายของงาน	2
1.4 หลักการออกแบบ	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับอากาศ	4
2.2 มลสารในอากาศ	4
2.3 ผลของมลภาวะอากาศที่มีต่อคน	6
2.4 การสร้างฮีตด้วยแรงดันไฟฟ้า	8
2.5 ผลของสนามไฟฟ้าในการตกตะกอน	9
2.6 การใส่ประจุให้อิออนภาค	10
2.7 รูปแบบของขั้วไฟฟ้า	11
2.8 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้า	15
2.9 คุณสมบัติของประจุลบ	16
2.10 วงจรพัลส์และสวิดจิ่ง	17

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจร	
3.1 หลักการออกแบบ	22
3.2 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์	22
3.3 IC เบอร์ SG3525A	23
3.4 IGBT	25
3.5 การออกแบบวงจรภาคขับสวิตช์ IGBT	26
3.6 การสร้างแรงดันสูงโดยใช้ Fly back	28
3.7 การออกแบบแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในชุดบำบัดไอเสีย	34
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 ทดสอบแรงดันจากหม้อแปลง Fly back	36
4.2 ทดสอบวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ก่อนและหลังการใช้ชุดบำบัดไอเสีย	38
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก	44

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองโดยการปรับแรงดันและความถี่จ่ายให้กับหม้อแปลง Fly back	36
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบวัดปริมาณ (CO) โดยยังไม่ผ่านชุดบำบัดไอเสียที่ได้ทำขึ้น	38
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบวัดปริมาณ (CO) โดยผ่านการใช้ชุดบำบัดไอเสียที่ได้สร้างขึ้น	40

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมเกี่ยวกับการทำเครื่องบำบัดควันพิษ	2
ภาพที่ 2.1 ขนาดของฝุ่นละอองประเภทต่างๆ : ฝุ่นจากทางหลวงหรือถนน	5
ภาพที่ 2.2 แสดงภาพตัวอย่างควันพิษจากรถยนต์	8
ภาพที่ 2.3 แสดงการเกิดไอออนลบจากอิเล็กโตรดแบบปลายเข็ม	9
ภาพที่ 2.4 แสดงขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นระนาบ	11
ภาพที่ 2.5 แสดงขั้วไฟฟ้าแบบช่องว่างทรงกลม	12
ภาพที่ 2.6 ตัวอย่าง Rod-Gap และ Needle-Gap	13
ภาพที่ 2.7 ขั้วไฟฟ้าทรงกระบอกแกนร่วม	13
ภาพที่ 2.8 แรงดันเบรกดาวนของ Needle-Gap	14
ภาพที่ 2.9 ผลความขึ้นต่อแรงดันเบรกดาวน	14
ภาพที่ 2.10 ฟังก์ชันขึ้นบันไดขึ้นฟังก์ชันขึ้นบันไดลง	17
ภาพที่ 2.11 ฟังก์ชันลาดเอียงแบบบวกฟังก์ชันลาดเอียงแบบลบ	17
ภาพที่ 2.12 ฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียลแบบบวกฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียลแบบลบ	18
ภาพที่ 2.13 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมจตุรัสรูปคลื่นพัลส์	18
ภาพที่ 2.14 รูปคลื่นสามเหลี่ยม	18
ภาพที่ 2.15 รูปคลื่นฟันเลื่อย	19
ภาพที่ 2.16 รูปคลื่นเอ็กโพเนนเชียล	20
ภาพที่ 2.17 รูปคลื่นพัลส์ทางอุดมคติ	20
ภาพที่ 3.1 แสดงวงจรภายใน IC SG3525A	24
ภาพที่ 3.2 แสดงวงจรสร้างสัญญาณพัลส์	24
ภาพที่ 3.3 แสดงรูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณพัลส์	25
ภาพที่ 3.4 แสดงสัญลักษณ์ของ IGBT ทั้ง 2 แบบ	26
ภาพที่ 3.5 แสดงการต่อวงจรขับสวิตช์ IGBT	27
ภาพที่ 3.6 แสดงลักษณะโครงสร้างของหม้อแปลง Fly back	28
ภาพที่ 3.7 แสดงภาพหม้อแปลง Fly back ที่ใช้ในวงจร	33



## สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.8 แสดงวงจรสร้างแรงดันสูง Flyback tranformor	34
ภาพที่ 3.9 แสดงวงจรสร้างแรงดันสูงที่ได้สร้างขึ้น	34
ภาพที่ 3.10 แสดงลักษณะแผ่นอิเล็กทรอนิกส์	34
ภาพที่ 3.11 แสดงกล่องชุดกระจายอิเล็กทรอนิกส์	35
ภาพที่ 4.1 แสดงรูปภาพสัญญาณที่ความถี่ 6 kHz ที่ป้อนเข้า Fly back	37
ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงแรงดันที่ได้จาก Fly back ที่ความถี่ 6 kHz	37
ภาพที่ 4.3 แสดงการวัดแรงดันจริงที่ได้จากหม้อแปลง Fly back	38
ภาพที่ 4.4 แสดงการวัดปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จากรถยนต์จริง	39
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความแตกต่างของ CO จากท่อไอเสียกับ CO ที่ผ่านชุดบำบัดไอเสีย	41

# บทที่ 1

## บทนำ

มลพิษทางอากาศในปัจจุบันเป็นปัญหาที่สำคัญซึ่งมีสาเหตุใหญ่มาจากหลายๆด้าน ทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ ทำให้เกิดควันพิษซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ในโครงการนี้จะให้ความสำคัญต่อปัญหาควันพิษที่เกิดจากเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในที่ไม่สมบูรณ์ จึงทำให้เกิดก๊าซ คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ขึ้นมา

### 1.1 หลักการและเหตุผล

ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ที่ไม่สมบูรณ์ และรถยนต์ปล่อยก๊าซนี้ออกมาทางท่อไอเสีย ก๊าซนี้จะลอยปะปนอยู่ในอากาศมีจำนวนมาก เมื่อมีการจราจรคับคั่งเมื่อสูดหายใจเอาก๊าซนี้เข้าไปในร่างกายแล้ว จะไปแย่งออกซิเจนในร่างกายหากได้รับคาร์บอนมอนนอกไซด์ เข้าไปเป็นจำนวนมากจะทำให้เกิดวิงเวียน อ่อนเพลีย เพราะสมองได้รับออกซิเจนน้อยนั่นเอง

ดังนั้นโครงการนี้จะออกแบบเครื่องบำบัดควันพิษจากเครื่องยนต์ โดยอาศัยหลักการทฤษฎีทางด้านไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งการทำงานจะใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12V. ในรถยนต์เป็นตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ดวงจรสร้างสัญญาณพัลส์และส่งผ่านไปยังหม้อแปลงแรงดันสูงเพิ่มแรงดันให้ได้แรงดันที่สูงขึ้นประมาณ 8-15 kV ส่งไปยังชุดกระจายอิเล็กตรอนอิเล็กตรอน โดยการป้อนศักย์ลบให้กับอิเล็กโตรดแบบปลายแหลมซึ่งจะเกิดความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กสูงบริเวณปลายแหลมเมื่อโมเลกุลของอากาศมากระทบที่ปลายแหลมก็จะเกิดการแตกตัวของอากาศเกิดเป็นอะตอมเดี่ยว (O) อะตอมเดี่ยวนี้อจะไปรวมตัวกับก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ออกสู่อากาศภายนอกซึ่งสามารถช่วยลดปริมาณมลภาวะในอากาศได้

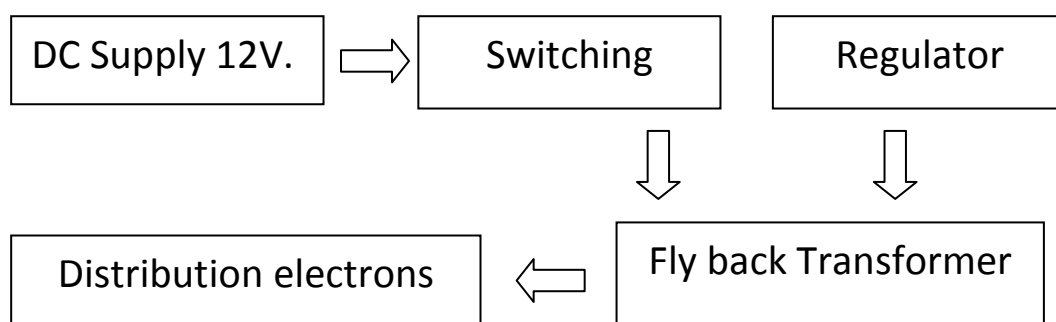
## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 3.1 เพื่อศึกษาทฤษฎีไฟฟ้าแรงดันสูง กระแสตรง ในการนำมาใช้บำบัดควันพิษ
- 3.2 เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรเพิ่มแรงดัน และชุดกระจายอิเล็กทรอนิกส์
- 3.3 สามารถนำชุดบำบัดควันพิษ โดยใช้ไฟฟ้าแรงสูงมาประยุกต์ใช้กับเครื่องยนต์ได้

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 4.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้าแรงสูงในการบำบัดควันพิษ
- 4.2 ออกแบบและสร้างวงจรเพื่อใช้ในชุดเพิ่มระดับแรงดัน
- 4.3 ออกแบบและสร้างชุดกระจายอิเล็กทรอนิกส์
- 4.4 ทดสอบชุดบำบัดควันพิษและนำมาทดลองใช้กับเครื่องยนต์สรุปผลการดำเนินงาน

## 1.4 หลักการออกแบบ



ภาพที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของชุดบำบัดควันพิษในไอเสียรถยนต์

## 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้หลักการของการใช้ไฟฟ้าแรงดันสูงในการบำบัดควันพิษจากเครื่องยนต์
2. ได้เรียนรู้และศึกษาหลักการการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า
3. สามารถออกแบบและสร้างวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ในการเปลี่ยนแรงดันและการเพิ่มแรงดันได้
4. สามารถออกแบบและสร้างชุดกระจายอิเล็กทรอนิกส์ได้
5. สามารถดัดแปลงชุดบำบัดควันพิษจากไฟฟ้าแรงสูงเข้ากับเครื่องยนต์ได้
6. สามารถช่วยทำให้ลดมลภาวะทางอากาศให้น้อยลงซึ่งเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดโรคทางเดินหายใจได้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับอากาศ [1]

มลภาวะทางอากาศเป็นปัญหาหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพซึ่งแหล่งกำเนิดสำคัญประการหนึ่งคือจากระบบขนส่งที่มีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทางผู้จัดทำโครงการจึงหาวิธีในการแก้ปัญหาว่ามีทางใดหรือทฤษฎีใดในการช่วยแก้ปัญหามลพิษทางอากาศได้ทำการศึกษาคณะสมบัติอากาศบริสุทธิ์ประกอบด้วยไนโตรเจน 78.09% โดยปริมาตรและออกซิเจน 20.94% โดยปริมาตรส่วนที่เหลือ 0.97% ประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ฮีเลียมอาร์กอนคริปทอน ซีนอนก๊าซอินทรีย์และอนินทรีย์ซึ่งมีปริมาณเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพการณ์และเวลาโดยปกติมีไอน้ำอยู่ในอากาศประมาณ 1-3 % และยังคงประกอบด้วยฝุ่นละอองซึ่งมีขนาดตั้งแต่ขนาดหลายไมโครจนถึงหลายสิบลไมครอน

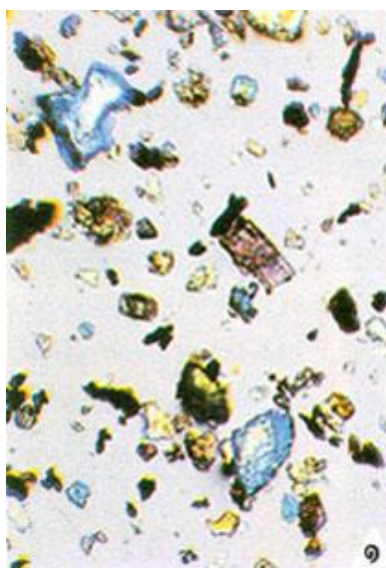
#### 2.2 มลสารในอากาศ [1]

มลสารในอากาศคือสารใดๆก็ตามในอากาศซึ่งมีผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์หรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆเป็นที่รังเกียจหรือไม่พึงปรารถนาต่อมนุษย์โดยภายในหรือภายนอกร่างกายหรือสารซึ่งมีผลเสียต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์โดยทางตรงและทางอ้อมมลภาวะอากาศไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพเท่านั้นเพียงแต่ปรากฏมีอยู่ในอากาศก็นับได้ว่าทำให้เกิดมลภาวะอากาศหมอก (Smog) เกิดจากก๊าซและฝุ่นละอองรวมตัวกันในปริมาณมากก่อให้เกิดหมอกควันซึ่งบดบังแสงแดดอันจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตในโลกและขัดขวางการถ่ายเทความร้อนจากผิวโลกออกสู่อวกาศในชั้นสูงขึ้นไปเป็นองค์ประกอบหนึ่งซึ่งยังผลให้เกิดสภาพ “กรีนเฮาส์” (Greenhouse Effect) ซึ่งก๊าซที่ออกมาจากไอเสียรถยนต์ก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกัน

สารมลพิษอากาศมีความหมาย คำจำกัดความว่า ควัน แก๊ส และกลิ่นไม่พึงประสงค์ซึ่งมีผลต่อสุขภาพมนุษย์และผลเสียต่อระบบนิเวศ แบ่งออกได้เป็น อนุภาคสาร (Particulate Matters) แก๊ส (Gaseous Matters) และกลิ่น นอกจากนี้ยังมีสารมลพิษทางอากาศทุติยภูมิ (Secondary Pollutants) ที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากปฏิกิริยาของความร้อน (Thermal Reaction) ปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reaction) หรือปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล (Photochemical Reaction)

### 2.2.1 อนุภาคหรือฝุ่นละออง (Particulate Matter)

ฝุ่นละออง หรือ ละอองธุลี คือ ของแข็งขนาดเล็กที่ลอยอยู่ในอากาศหรือน้ำซึ่งเกิดจากธรรมชาติหรือมนุษย์โดยนับเป็นมลพิษทางอากาศและมลพิษทางน้ำประเภทหนึ่งฝุ่นละอองมีที่มาหลากหลายทั้งจากธรรมชาติ อาทิเช่นภูเขาไฟ พายุทรายไฟป่า ไอเกลือ หรือการกระทำของมนุษย์ เช่น ไอของเสียจากรถยนต์ โรงงานไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม รวมไปถึงการเผาหญ้าและการเผาป่า ในประเทศกำลังพัฒนาฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นมักจะเกิดจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากถ่านหิน ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศจำนวนมากส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ก่อให้เกิดปัญหาหลากหลายเช่น โรคทางเดินหายใจ โรคหัวใจ โรคปอด รวมไปถึงมะเร็งปอดซึ่งสามารถป้องกันได้ด้วยพวกตัวกรองแบบต่างๆ เช่น หน้ากากการกำจัดฝุ่นละอองนั้น ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่จะตกอยู่บนพื้นตามแรงโน้มถ่วงของโลก ขณะที่ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM10) จะลอยอยู่ในอากาศได้หลายสัปดาห์ และจะถูกกำจัดโดยฝนหรือหยาดน้ำฟ้าประเภทอื่น



ภาพที่ 2.1 ขนาดของฝุ่นละอองประเภทต่างๆ : ฝุ่นจากทางหลวงหรือถนน

เป็นมลสารที่อยู่ในสภาพของแข็ง หรือของเหลว ที่อุณหภูมิและความดันปกติและอาจมีขนาดตั้งแต่ 0.1-2.00 ไมครอน (หนึ่งไมครอนเท่ากับหนึ่งในล้านเมตร) ซึ่งได้แก่ ฝุ่น (Dust) (ตะกั่วจากการเผาไหม้ น้ำมันเชื้อเพลิงจากรถยนต์ซึ่งจะออกมาในรูปอนุภาคฝุ่น) ควัน (Smoke) ไอควัน (Fume) ละอองน้ำ (Moist)

### 2.2.2 ลักษณะของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองในอากาศโดยปกติจะไม่เป็นทรงกลม มีลักษณะพื้นฐานของอนุภาคแตกต่างกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะขึ้นกับแหล่งกำเนิดของอนุภาคนั้นๆ ของแข็งที่เกิดจากการควบแน่น เช่น เถ้าลอย (Fly Ash) เกสรดอกไม้ จะมีลักษณะค่อนข้างเป็นทรงกลม เส้นใยของขนสัตว์ ฝ้าย แก้ว แอสเบสตอร์ และเส้นใยสังเคราะห์ต่างๆมักเป็นทรงกระบอก สิ้นแร่โดยปกติอาจจะมีรูปร่างไม่เป็นระเบียบ เป็นปุยสะเก็ด (Flakelike) หรือก้อนรวม (Agglomerates) อนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวกันในขณะลอยอยู่ในอากาศหรือเกิดจากการเย็นตัวของแก๊สร้อน รูปร่างที่เห็นจะเหมือนลูกโซ่ (Chainlike) และเป็นฟล็อก (Flocs) กลุ่มอนุภาครวมตัวหลวมๆ เช่น ฝุ่นละอองจากท่อไอเสียรถยนต์ และมักเกิดจากการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง ซึ่งผลิตอนุภาคคาร์บอนจำนวนมาก

### 2.2.3 ก๊าซและไอระเหย

เป็นมลสารที่อยู่ในสภาพก๊าซ ได้แก่

- คาร์บอนมอนนอกไซด์ เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงจากแร่ เชื้อเพลิงจึงเป็นสารพิษที่พบปริมาณสูงในท้องถนน ก๊าซนี้จะทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน เพราะมันจะไปแย่งจับกับเม็ดเลือดแดงแทนออกซิเจน
- ออกไซด์ของกำมะถัน ได้แก่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์เป็นก๊าซที่มีพิษ
- ออกไซด์ของไนโตรเจน เป็นสารพิษ รสขมกัดลิ้น ถ้ามีอยู่ในอากาศมากๆ จะรู้สึกอึดอัดและหายใจ
- ไฮโดรคาร์บอน สารพิษประเภทนี้จัดเป็นองค์ประกอบอินทรีย์สาร
- คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและเป็นก๊าซตัวหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการดูดซับรังสีความร้อนทำให้โลกร้อนขึ้น

## 2.3 มลภาวะอากาศที่มีผลกระทบต่อคนต่อคน [6]

มลพิษทางอากาศ มีผลต่อสุขภาพอนามัยของคนและสัตว์ ปกติมลพิษทางอากาศจะเข้าสู่ร่างกายได้จากระบบหายใจ ซึ่งแบ่งเป็นระบบทางเดินหายใจส่วนบน (ช่องจมูก และหลอดลม) และระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง (Bronchial Tubes และปอด) เมื่อร่างกายหายใจเอาสิ่งแปลกปลอม

ปะปนเข้าไป ระบบหายใจจะมีวิธีการต่อต้าน โดยระบบทางเดินหายใจส่วนบนจะกรองฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ (มากกว่า 5 ไมครอน) ไว้ ส่วนฝุ่นที่มีขนาดเล็กที่รอดจากการกรองเข้าไปถึงปอดทำให้เกิดการระคายเคืองได้ อากาศเป็นพิษ ทำให้เกิดโรกระบบทางเดินหายใจในปริมาณสูง สถิติผู้ป่วยด้วยโรกระบบทางเดินหายใจในกรุงเทพมหานครสูงขึ้นประมาณร้อยละ 20 ของทุกปี ทางกรมแพทย์พบว่า หากมนุษย์ขาดอากาศซึ่งมีออกซิเจนสำหรับการหายใจ เพียง 2-3 นาทีก็อาจตายได้ ถ้า 5 นาทีตายแน่ อากาศในกรุงเทพเป็นพิษอย่างมากหลายจุด โดยมากเกิดจากไอเสียของรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม ถ้ามลพิษทางอากาศมากเกินไป อาจทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิต

อันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ เมื่อมนุษย์และสัตว์หายใจเอาอากาศที่สกปรกมีฝุ่นละอองหมอกควันก๊าซต่างๆ ตลอดจนสารเป็นพิษเข้าไปในร่างกาย จะทำให้ร่างกายเจริญเติบโตไม่เต็มที่ และเป็นสาเหตุของโรคต่างๆ เช่น โรคเกี่ยวกับระบบหายใจ โรคมะเร็งที่ปอด โรคหลอดเลือดแข็ง โรคหัวใจปอด มึนงง ไอเป็นเลือด เหล่านี้เป็นต้น

สำหรับสารพิษตัวสำคัญที่ทำให้อากาศเสียและเป็นพิษต่อร่างกาย ได้แก่ ควันดำ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนและตะกั่ว

สารมลพิษที่ฟุ้งกระจายในอากาศ ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ นั้น มี 3 สถานะ

1. ก๊าซ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซโอโซน (O<sub>3</sub>) เป็นต้น
2. ของเหลว ในรูปอนุภาคขนาดเล็ก เป็นละอองไอของสารปรอทศัตรูพืช ไอกรดหรือละอองของสารเคมีอื่นๆ
3. ของแข็ง ในรูปอนุภาคของแข็งขนาดเล็ก เช่น ฝุ่นละออง เขม่าควันต่างๆ

สารมลพิษทางอากาศเหล่านี้สามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ

#### 1. สารมลพิษปฐมภูมิ (Primary Pollutants)

เป็นสารมลพิษที่เกิดขึ้นโดยตรงจากแหล่งกำเนิด เมื่อแพร่กระจายเข้าสู่อากาศสามารถก่อให้เกิดอันตรายได้ เช่น ฝุ่นละออง เขม่าควันจากยานพาหนะ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NOX) สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ตะกั่ว (Lead ; Pb) เป็นต้น

#### 2. สารมลพิษทุติยภูมิ (Secondary Pollutants)

เป็นสารมลพิษที่เกิดจากสารเคมีต่างๆ ในอากาศทำปฏิกิริยากัน เช่น กรดซัลฟูริก ที่เกิดจากจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับไอน้ำอากาศ หรือก๊าซโอโซนที่เกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมี (Photochemical Reaction) เป็นต้น

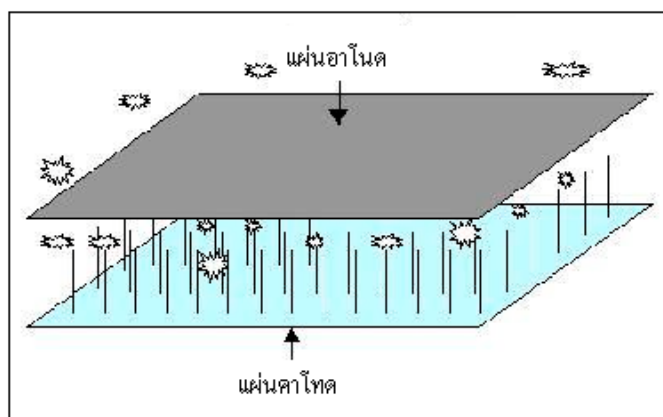




ภาพที่ 2.2 แสดงภาพตัวอย่างควันพิษจากรถยนต์

## 2.4 การสร้างโอโซนด้วยแรงดันไฟฟ้าสูง [4]

ในการสร้างโอโซนด้วยแรงดันสูงสามารถสร้างได้โดยสร้างสนามไฟฟ้าความเข้มสูง สนามไฟฟ้าความเข้มสูงนี้จะทำให้เกิดเป็นไอออนกระจายออกไปในอากาศและไอออนนั้นก็จะต้องสร้างให้เป็นประจุไอออนลบด้วยซึ่งสามารถสร้างได้จากการจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงให้แก่ชุดอิเล็กโตรดชุดอิเล็กโตรดจะปล่อยสนามไฟฟ้าความเข้มสูง (ไอออนลบ) ออกมาหากจะให้มีโนภาพเองก็จะมีมีการแตกกระจายออกจากปลายอิเล็กโตรดในแบบของสเปร์ย์ไอออน (แต่ในความจริงเรามองไม่เห็น) จึงทำให้เกิดฟุ้งกระจายออกไปในทุกทิศทางหลังจากนั้นในช่วงการเดินทางของประจุไอออนลบในระยะทางที่สั้นมาก ๆ ก็จะเกิดการปะทะกันระหว่างไอออนกับ โมเลกุลของอากาศจนกลายมาเป็นไอออน โดยจะกลายมาอยู่ในรูปโอโซน (OZONE: O<sub>3</sub>) ซึ่งโอโซนนี้ก็คือออกซิเจนที่มีอะตอม 3 อะตอมหน้าที่อีกอย่างหนึ่งของเครื่องผลิตไอออนลบก็คืออิเล็กตรอนที่ถูกขับออกไปไม่ได้มีแต่ไอออนในอากาศเท่านั้นแต่ในทำนองเดียวกันก็จะมีผลต่ออนุภาคประจุไฟฟ้าของฝุ่นละอองด้วยเมื่อประจุไฟฟ้าลบเข้าทำปฏิกิริยากับฝุ่นละอองที่เป็นประจุบวก (IONIZE) ดังนั้นอนุภาคของประจุก็จะเกิดการสะสมอยู่บนไอออนในบริเวณใกล้เคียงอย่างฉับพลันและนี่ก็คือวิธีการขับไล่ฝุ่นละอองในอากาศให้มีน้ำหนักและตกสู่เบื้องล่างอย่างรวดเร็วซึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ก็มีการประยุกต์ไปใช้งานในการเคลื่อนย้ายหรือจัดเก็บมาออกจากกลุ่มควันพิษต่างๆด้วย



ภาพที่ 2.3 แสดงการเกิดอไอออนลบบจากอิเล็กโตรดแบบปลายเข็ม

## 2.5 ผลของสนามไฟฟ้าในการตกตะกอน [4]

สนามไฟฟ้า (Electric Field) มีบทบาทสำคัญในการตกตะกอนสนามไฟฟ้ามีผลทั้งต่อการไล่ประจุให้กับอนุภาคและต่อแรงที่กระทำต่ออนุภาคที่ได้รับประจุแล้วในแง่ทฤษฎีผลคูณระหว่างความแรงของสนามไฟฟ้าในย่านที่เกิดการไล่ประจุของสนามไฟฟ้าใกล้ขั้วเก็บจะเป็นตัวกำหนดคุณภาพในการเก็บอนุภาคแต่ละขนาดสนามไฟฟ้าในเครื่องตกตะกอนเกิดจากการไล่ไฟฟ้าแรงสูงให้กับคู่ของขั้วไฟฟ้าและจากผลกระทำโดยประจุในอากาศ (Space Charge Effect) ของอไอออนและอนุภาคติดประจุที่อยู่ในย่านระหว่างขั้วไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีการไหลของกระแสไฟฟ้าสนามไฟฟ้าจะประกอบด้วยองค์ประกอบที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าที่ใส่ในรูปทรง(Geometry) ของระบบเท่านั้นในกรณีของระบบขั้วแบบเส้นลวดและผนังทรงกระบอกที่มีแนวแกนกลางร่วมกัน ความแรงของสนามไฟฟ้าที่รัศมีใดๆ  $E(r)$  สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$E(r) = V / [ r \ln (b/a) I ] \quad (2.0)$$

- ในกรณีนี้ a คือรัศมีของเส้นลวดโคโรนา (m)  
 b คือระยะระหว่างขั้วโคโรนาและขั้วเก็บ (m)  
 r คือระยะรัศมี (m)  
 v คือแรงดันไฟฟ้าที่ใส่ (V)  
 $E(r)$  คือความแรงของสนามไฟฟ้า (V/m)

เมื่อใส่แรงดันไฟฟ้าเกินกว่าขีดเริ่มของโคโรนา (Corona Threshold) สนามไฟฟ้าจะถูกแปรเปลี่ยนโดยออรอนที่เกิดในย่านระหว่างขั้วไฟฟ้าเนื่องจากความว่องไว (Mobility) ของออรอนก๊าซ มีน้อยกว่าของอิเล็กตรอนมากกว่าดังนั้น ออรอนที่เกือบไม่เคลื่อนที่นี้จะเป็เหมือนประจุในอากาศ (Space Charge) เราสามารถนึกภาพอิทธิพลของประจุเชิงไอออนิกในอากาศได้โดยคิดว่าเป็นประจุที่รวมจุดอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆในย่านระหว่างขั้วไฟฟ้าออรอนและอนุภาคที่มีประจุเหมือนกันจะถูกเร่งเข้าหาขั้วเก็บโดยแรงขับไล่ซึ่งเกิดจากประจุในอากาศและสนามไฟฟ้าผลก็คือทำให้สนามไฟฟ้าที่อยู่ใกล้ขั้วเก็บมีค่าสูงขึ้นในทางตรงกันข้ามอิเล็กตรอนและออรอนที่มีประจุเหมือนกันในบริเวณใกล้ขั้วโคโรนาจะถูกขับไล่กลับไปหาขั้วโคโรนา ทำให้ความแรงของสนามไฟฟ้าในบริเวณใกล้ขั้วโคโรนาลดลงสรุปแล้วผลการกระทำรวมของกระแสไฟฟ้าโคโรนาจะไปแปรสนามไฟฟ้า

## 2.6 การใส่ประจุให้ออนุภาค [7]

เงื่อนไขพื้นฐานข้อหนึ่งของกระบวนการตกตะกอนคือการใส่ประจุให้กับอนุภาคในจำนวนมากที่สุดที่สอดคล้องกับเงื่อนไขการเดินเครื่องนั้นๆ โดยปกติจะถือว่าการใส่ประจุเกิดขึ้นในย่านระหว่างขอบเขตของแสงเรืองโคโรนากับขั้วเก็บภายในย่านอนุภาคจะได้รับการชนจากท่าฝนของออรอนที่เกิดจากปรากฏการณ์โคโรนา

### 2.6.1 การใส่ประจุโดยสนามไฟฟ้า

กลไกการใส่ประจุแบบใดจะมีความสำคัญเหนือกว่าขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคที่รับประจุอนุภาคขนาดโต (เส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่าประมาณ 0.5 ไมครอน) จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างเฉพาะที่ (Local Deformation) ของสนามไฟฟ้าในลักษณะที่เส้นแรงไฟฟ้าจะวิ่งตัดกับอนุภาคออรอนวิ่งเคลื่อนที่ตามเส้นของสนามไฟฟ้าจะกระทบกับอนุภาคและถูกจับยึดโดยแรงของประจุจินตภาพเมื่อจำนวนออรอนที่กระทบกับอนุภาคมีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆปริมาณประจุบนอนุภาคจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสนามไฟฟ้าเฉพาะถิ่นที่เกิดจากประจุบนอนุภาคก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างของเส้นแรงสนามไฟฟ้าเดิมจนเส้นเหล่านี้ไม่วิ่งตัดกับอนุภาคอีกต่อไปทำให้ออรอนไม่กระทบกับอนุภาคอีกและไม่มีการเพิ่มของประจุบนอนุภาคอีกเรียกกรณีนี้ว่าประจุมัตัว (Saturation Charge) ค่าของประจุมัตัวจะขึ้นกับขนาดของอนุภาคและความแรงของสนามแม่เหล็กเวลาที่อนุภาคใช้ในการรับประจุจนค่ามัตัวแปรผันตามความเข้มข้นของออรอนในย่านที่เกิดการใส่ประจุ

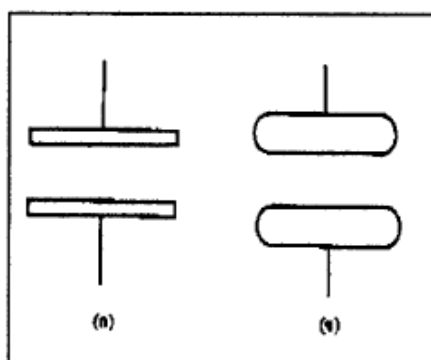
## 2.6.2 การใส่ประจุแบบแพร่

นอกจากกระบวนการใส่ประจุโดยการกระทบจากอ็อนที่วิ่งตามเส้นแรงสนามไฟฟ้า แล้วอนุภาคยังสามารถรับประจุจากการสัมผัสและเกาะติดของอ็อนซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่อย่างไม่มีการเคลื่อนที่เชิงความร้อน(Thermal Random Motion) อีกด้วยวิธีการใส่ประจุนี้เรียกว่าการใส่ประจุแบบแพร่ (Diffusion Charging) เป็นวิธีการใส่ประจุที่ใช้ในกรณีของเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าประมาณ 0.2 ไมครอนการใส่ประจุแบบแพร่จะขึ้นอยู่กับความแรงของสนามไฟฟ้าด้วยเพราะการเคลื่อนไหวของอ็อนย่อมขึ้นกับทั้งแรงเชิงไฟฟ้าสถิตและแรงของการแพร่

## 2.7 รูปแบบของขั้วไฟฟ้า [4]

### 2.7.1 ขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นระนาบ

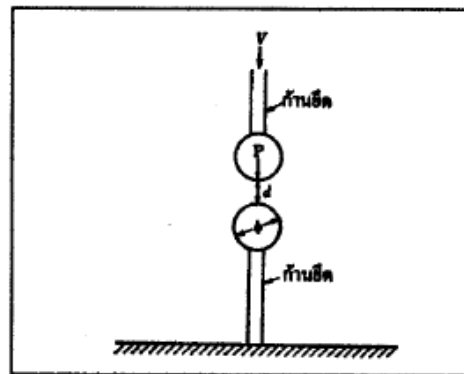
ตามรูปที่ 2.4(ก) บริเวณตรงกลางของขั้วไฟฟ้าจะเป็นสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอแต่ที่ขอบของขั้วไฟฟ้าจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าอยู่สูงดังนั้นเมื่อมีแรงดันกระทำต่อขั้วไฟฟ้าจะเกิดโคโรนาขึ้นที่ขอบของขั้วไฟฟ้าจะเกิดการสปาร์คขึ้นระหว่างขอบของขั้วไฟฟ้าทั้งสองแต่ถ้าให้ขอบของขั้วไฟฟ้ามีลักษณะโค้งดังรูปที่ 2.4(ข) การสปาร์คจะเกิดในบริเวณตรงกลางของขั้วไฟฟ้า



ภาพที่ 2.4 ขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นระนาบ

### 2.7.2 ขั้วไฟฟ้าแบบช่องว่างทรงกลม (Sphere Gap)

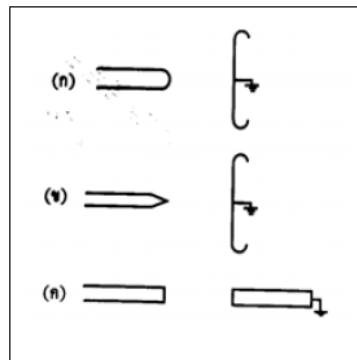
รูปที่ 2.5 เป็นรูปขั้วไฟฟ้าแบบช่องว่างทรงกลมสนามไฟฟ้าไม่เป็นสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอเหมือนแบบแรกแต่ถ้าช่องว่าง (d) มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลม ( $\phi$ ) สนามไฟฟ้าตรงใจกลางของช่องว่าง (Gap) จะไม่แตกต่างไปจากสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมากนักจึงนิยมใช้กันมากในการวัดแรงดันทางไฟฟ้าแรงสูง



ภาพที่ 2.5 ขั้วไฟฟ้าแบบช่องว่างทรงกลม

### 2.7.3 ขั้วไฟฟ้ารูปแท่งกลมและรูปเข็ม

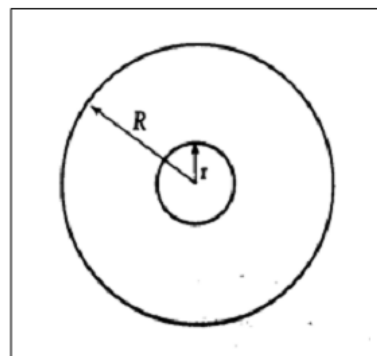
มีรูปแบบต่างๆกันตามรูปที่ 2.6 ขั้วไฟฟ้าชนิดนี้มีการกระจายความเข้มของสนามไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอเมื่อให้แรงดันกระทำต่อขั้วไฟฟ้าจะเกิดโคโรนาที่มีลักษณะต่างๆขึ้นแรงดันเริ่มต้นที่ทำให้เกิดโคโรนาขึ้นนี้เราเรียกว่า Corona Inception Voltage หลังจากเกิดโคโรนาแล้วถ้าเราเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นอีกจะเกิดการเบรกดาวน์ในที่สุด



ภาพที่ 2.6 ตัวอย่าง Rod-Gap และ Needle-Gap

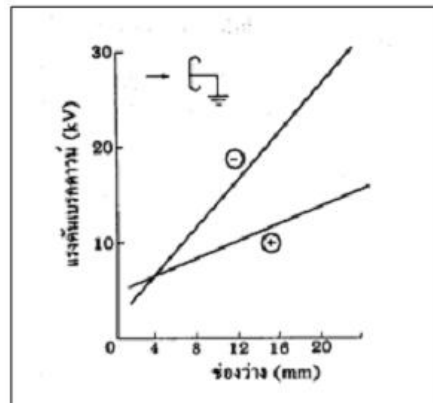
#### 2.7.4 ขั้วไฟฟ้าทรงกระบอกแกนร่วม

ขั้วไฟฟ้าชนิดนี้สามารถคำนวณหาค่าสนามไฟฟ้าได้ง่ายใช้กันมากในการค้นคว้าหาปรากฏการณ์โคโรนาและใช้ในการทำสายไฟฟ้าเคเบิลหรือบัสบาร์ที่ไซกาซ SF เป็นฉนวนขั้วไฟฟ้าด้านในรัศมี  $r$  และขั้วไฟฟ้าด้านนอก รัศมี  $R$  ตามรูปที่ 2.7



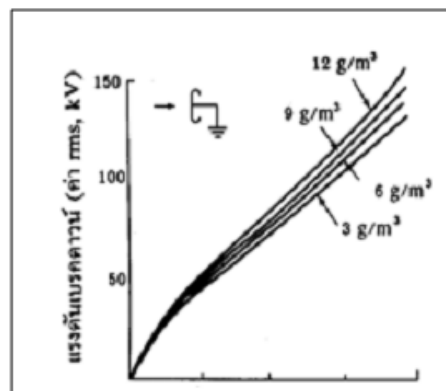
ภาพที่ 2.7 ขั้วไฟฟ้าทรงกระบอกแกนร่วม

ในกรณีของกระแสสลับนั้นแรงดันที่กระทำต่อขั้วไฟฟ้าจะเป็นแรงดันบวกและลบสลับกันไปทุกครั้งไซเคลสวอนใหญ่การเบรคความจะเกิดขึ้นในครึ่งบวกซึ่งมีค่าแรงดันเบรคความต่ำกว่าครึ่งลบดังรูปที่ 2.8สามารถอธิบายได้ว่าเป็นเพราะโคโรนาบวกสามารถออกได้ง่ายกว่าโคโรนาลบแต่ในบริเวณที่  $G_{ab}$  มีระยะห่างน้อยกว่า 4 mm โคโรนาบวกจะมีลักษณะเป็นแผ่นบางหุ้มขั้วไฟฟ้าทำให้ไม่สามารถออกยาวออกไป



ภาพที่ 2.8 แรงดันเบรกคานของ Needle-Gap

จากภาพที่ 2.8 แสดงแรงดันเบรกคานของขั้วไฟฟ้ารูปเข็มและแผ่นระนาบจะเห็นว่าเมื่อแรงดันที่กระทำเป็นบวกแรงดันเบรกคานจะต่ำกว่าแรงดันเบรกคานเมื่อแรงดันที่กระทำเป็นลบอยู่เกือบครึ่งหนึ่ง



ภาพที่ 2.9 ผลความชื้นต่อแรงดันเบรกคาน

ภาพที่ 2.9 แสดงอิทธิพลของความชื้นที่มีต่อแรงดันเบรกคาน แรงดันที่ใช้เป็นกระแสสลับ การสปาร์คจะ เกิดขึ้นทางด้านบวกของแรงดันจะเห็นได้ว่าเมื่อความชื้นสูงแรงดันเบรกคานจะมากขึ้น ซึ่งจะอธิบายได้ว่า โคร นาบวกถูกละอองน้ำในอากาศวางไว ไมให้งอกยาวได้มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากละอองน้ำจะจับอิเล็กตรอนเกิดเป็น ไอออนลบขึ้น จากรูป 2.9 อาจกล่าวได้ว่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการเบรกคานในกรณีที่เป็นขั้วบวกมีค่าประมาณ 5 kV/cm ซึ่งน้อยกว่าในกรณีของสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอซึ่งมีค่าเป็น 30 kV/cm

## 2.8 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้า (Electron Emission) [4]

ในการเกิดดิซชาร์จ์ในก๊าซนอกจากอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวเป็นไอออนของโมเลกุลในก๊าซด้วยกระบวนการต่างๆ อิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจากขั้วไฟฟ้าก็มีส่วนสำคัญในการเกิดดิซชาร์จ์ในก๊าซเช่นกัน ซึ่งกระบวนการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ โลหะที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าจะมีอะตอมอยู่ใกล้กันมากจนกระทั่งวาเลนซ์อิเล็กตรอนของอะตอมหนึ่งอาจจะถือเป็นอิเล็กตรอนของอีกอะตอมหนึ่งได้ถ้าอิเล็กตรอนตัวใดตัวหนึ่งมีพลังงานสูงพอที่จะสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้โดยอิสระภายในโลหะเราเรียกอิเล็กตรอนเหล่านี้ว่าอิเล็กตรอนอิสระ อย่างไรก็ตามที่ผิวของโลหะจะมีกำแพงพลังงานศักย์ (Potential Energy Barrier) กั้นอยู่ อิเล็กตรอนจะไม่สามารถหลุดออกมาจากผิวของโลหะได้จนกว่าจะได้รับพลังงานเพิ่มเติมจากภายนอก เราอาจแบ่งประเภทของการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าตามแหล่งพลังงานที่เพิ่มเติมเข้ามาจากภายนอกดังนี้

1. การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าโดยใช้ความร้อน (Thermion Emission) คือการที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะ โดยได้รับพลังงานเพิ่มเติมในรูปของพลังงานความร้อน ตัวอย่างเช่น การเผาขั้วคาโทดในหลอดสุญญากาศ โดยให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านถ้าอุณหภูมิสูงพอจะทำให้อิเล็กตรอนบางตัวมีพลังงานสูงอยู่แล้วมีพลังงานมากขึ้นจนหลุดออกจากผิวโลหะได้

2. การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าโดยใช้พลังแสง (Photo Emission) คือการที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะ โดยพลังงานที่ได้รับเพิ่มเติมเป็นพลังงานโฟตอนจากการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น กรณียิงแสงเหนือม่วงตกกระทบบั้วคาโทดของหลอดดิซชาร์จ์ เป็นต้น

3. การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าโดยสนามไฟฟ้า (Field Emission) คือการที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะได้โดยรับอิทธิพลจากสนามไฟฟ้าภายนอกผิวโลหะ เมื่อมีสนามไฟฟ้าจากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้องกับกำแพงพลังงานศักย์จะลดลงทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากขั้วไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนได้ง่ายขึ้น แม้แต่อุณหภูมิห้องก็สามารถทำได้

อิเล็กตรอนหลุดออกมาได้และในที่สนามไฟฟ้าสูงมาก ๆ ความหนาของกำแพงพลังงานศักย์จะแคบเข้าทำให้อิเล็กตรอนบางตัวซึ่งถึงแม้ว่าจะมีพลังงานไม่สูงพอ ก็อาจจะทะลุผ่านกำแพงออกมาได้ ซึ่งเรียกว่าผลของอุโมงค์ (Tunnel Effect) และการที่อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากผิวโลหะได้ด้วยวิธีการเช่นนี้เรียกว่าฟิลด์อิมิชชัน (Field Emission)

4. การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าโดยการชนของอนุภาค (Secondary Emission) คือการที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะ โดยได้รับพลังงานเพิ่มเติมจากการชนของอนุภาค เช่น อิเล็กตรอนหรือไอออนในกรณีการชนด้วยไอออน ประสิทธิภาพของการเกิด Secondary Emission จะ



น้อยกว่าการชนกันด้วยอิเล็กตรอนมากอย่างไรก็ดีการเกิดSecondary Emissionโดยไอออนนั้นก็มีความสำคัญในกลไกการเกิดดิสชาร์จในก๊าซ

## 2.9 คุณสมบัติของประจุลบ [6]

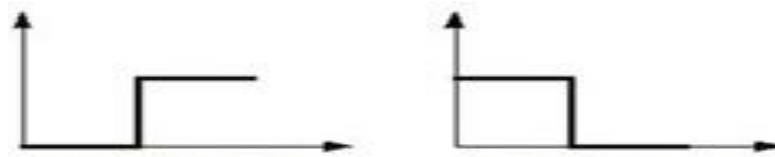
ไอออนคืออะตอมหรือกลุ่มอะตอมที่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวกหรือลบ ไอออนที่มีประจุลบจะมีอิเล็กตรอนในชั้นอิเล็กตรอนมากกว่าโปรตอนในนิวเคลียสเราเรียกไอออนชนิดนี้ว่าแอนไอออน (Anion) ส่วน ไอออนที่มีประจุบวกจะมีอิเล็กตรอนน้อยกว่าโปรตอนเราเรียกว่าแคทไอออน (Cation) กระบวนการแปลงเป็น ไอออน หรือทำให้เป็น ไอออน เรียกว่า ไอออไนเซชัน (Ionization) ไอออนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับชีวิตเช่น ไอออนของ โซเดียม โพแทสเซียม และ แคลเซียม ต่างก็มีความสำคัญในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะในเยื่อหุ้มเซลล์มีการนำไอออนไปใช้ใน ชีวิตประจำวันเป็นจำนวนมากเช่นตัวตรวจจับ ควันเครื่องยนต์ไอออน ฯลฯ

Negative Ions ทุกสิ่งรอบตัวเราล้วนประกอบขึ้นด้วยอะตอมอะตอมประกอบขึ้นจากอนุภาคที่เล็กกว่าได้แก่โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนเป็นอนุภาคที่เล็กที่สุดในกลุ่มนี้ อิเล็กตรอนแต่ละตัวจะมี ปริมาณประจุที่น้อยที่สุดแต่แม้แต่สารชิ้นเล็กๆก็ยังบรรจุอิเล็กตรอนไว้ นับพันล้านตัวอะตอมที่มีอิเล็กตรอนมากกว่าโปรตอนจะมีสภาพเป็นประจุลบหรือ Negative Ions หรือ Minus Ions หรือ Anions หากไม่มีอิเล็กตรอนก็จะมีสภาพเป็นประจุบวกหรือ Cations โดยทั่วไปแล้วประจุลบจะมีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติเช่นภูเขาสูง น้ำตกในป่าทะเลหรือหุบเขาสังเกตได้ว่าเวลาเราอยู่ตามแหล่งธรรมชาติบริสุทธิ์ไร้มลพิษเราจึงรู้สึกถึงความสดชื่นเพราะประจุไอออนลบส่งผลดีต่อระบบประสาทที่ควบคุมการทำงานของร่างกายมนุษย์ช่วยควบคุมความเป็นกรด-ด่างของเลือดให้สมดุลยิ่งขึ้นประจุลบจะทำให้ออกซิเจนภายในร่างกายเพิ่มขึ้นส่งผลให้สมองปลอดโปร่งระบบการไหลเวียนโลหิตดีขึ้นซึ่งจะไปกระตุ้นการทำงานของระบบเผาผลาญให้เผาผลาญอาหารและไขมันได้ใน ปริมาณสูงและยังขจัดของเสียและสารพิษรวมถึงสารตกค้างที่อยู่ในร่างกายทำให้ร่างกายเรามีสุขภาพดีประจุลบยังช่วยสลายประจุบวกในอากาศที่เกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (เกิดจากเครื่องใช้ไฟฟ้าคอมพิวเตอร์โทรทัศน์ ฯลฯ) และตามแหล่งมลภาวะเป็นพิษประจุลบจะทำให้เรารู้สึกเครียดหงุดหงิดและอาจร้ายแรงถึงขั้นเป็นหืดหอบได้

## 2.10 วงจรพัลส์และสวิตชิง [3]

ฟังก์ชันและรูปคลื่นหมายถึง ความสัมพันธ์ของ 2 ปริมาณที่เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ปริมาณของกระแสหรือแรงดันที่เปรียบเทียบกับเวลา

- ฟังก์ชันขั้นบันได (Step Function)



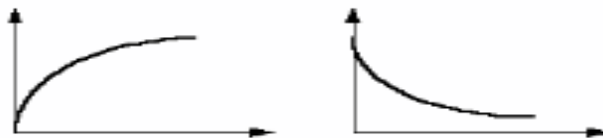
ภาพที่ 2.10 ฟังก์ชันขั้นบันไดขึ้นฟังก์ชันขั้นบันไดลง

- ฟังก์ชันลาดเอียง (Ramp Function) เป็นฟังก์ชันเพิ่มหรือลดแบบเชิงเส้นเมื่อเทียบกับเวลา



ภาพที่ 2.11 ฟังก์ชันลาดเอียงแบบบวกฟังก์ชันลาดเอียงแบบลบ

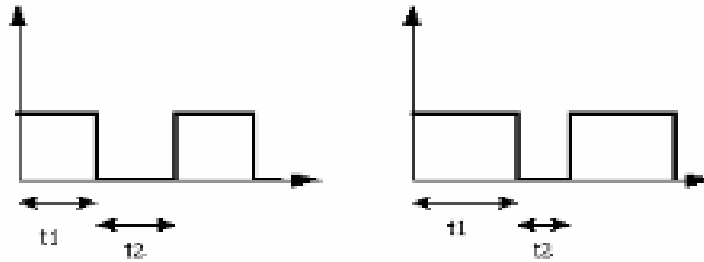
- ฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียล (Exponential Function) เป็นฟังก์ชันเพิ่มหรือลดในฟังก์ชันของรูปเอ็กโพเนนเชียล



ภาพที่ 2.12 ฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียลแบบบวกฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียลแบบลบ

รูปฟังก์ชันต่างๆหากนำมารวมหรือต่อเนื่องกันจะได้รูป คลื่นทางไฟฟ้าดังนี้

1. รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Rectangula Waveform) เกิดจากการรวมตัวของฟังก์ชันขั้นบันไดขึ้นและขั้นบันไดลง ถ้าช่วงเวลา  $t_1$  และ  $t_2$  เท่ากัน จะเรียกว่ารูปคลื่นสี่เหลี่ยมจตุรัส (Square Wave) แต่หาก  $t_1$  ไม่เท่ากับ  $t_2$  เรียกว่า (Pulse Wave)



ภาพที่ 2.13 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมจตุรัสรูปคลื่นพัลส์

ค่าเฉลี่ย ของคลื่นสี่เหลี่ยม square wave  $V_{av} = (V_p * t_1) / T$

ค่าประสิทธิภาพ  $V_{rms} = \sqrt{(t_1 / T)} V_p$

$V_{av}$  = แรงดันเฉลี่ยรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

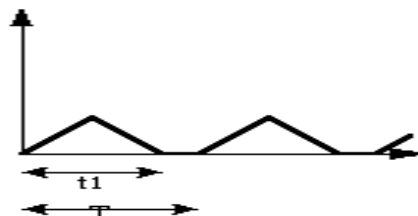
$V_{rms}$  = แรงดันประสิทธิภาพ

$V_p$  = แรงดัน พีค ทู พีค

$t_1$  = คาบเวลาที่ปรากฏรูปคลื่น

$T$  = คาบเวลาของรูปคลื่น

2. รูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangula Waveform) เป็นรูปคลื่นที่เกิดจากการรวมตัวของฟังก์ชันลาดเอียงแบบบวกกับแบบลบ



ภาพที่ 2.14 รูปคลื่นสามเหลี่ยม

ค่าเฉลี่ย ของคลื่นสามเหลี่ยม  $V_{av} = (V_p \cdot t_1) / T$

ค่าประสิทธิผล  $V_{rms} = \sqrt{(4t_1 / 3T)} V_p$

$V_{av}$  = แรง ดันเฉลี่ยรูปคลื่นสามเหลี่ยม

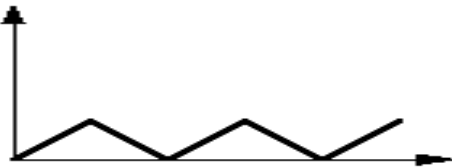
$V_{rms}$  = แรงดันประสิทธิผล

$V_p$  = แรงดัน พีค ทู พีค

$t_1$  = คาบเวลาที่ปรากฏรูปคลื่น

$T$  = คาบเวลาของรูปคลื่น

3. รูปคลื่นฟันเลื่อย (Sawtooth Waveform) เป็นรูปคลื่นที่เกิดจากการรวมตัวของฟังก์ชันลาดเอียงกับฟังก์ชันขั้นบันได



ภาพที่ 2.15 รูปคลื่นฟันเลื่อย

ค่าเฉลี่ย ของคลื่นฟันเลื่อย  $V_{av} = V_p / 2$

ค่าประสิทธิผล  $V_{rms} = \sqrt{3} V_p$

$V_{av}$  = แรง ดันเฉลี่ยรูปคลื่นฟันเลื่อย

$V_{rms}$  = แรงดันประสิทธิผล

$V_p$  = แรงดัน พีค ทู พีค

$T$  = คาบเวลาของรูปคลื่น

4. รูปคลื่นเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Waveform) เป็นรูปคลื่นที่เกิดจากการรวมตัวของฟังก์ชัน เอ็กซ์โพเนนเชียลแบบบวกกับแบบลบ



ภาพที่ 2.16 รูปคลื่นเอ็กโพเนนเชียล

$$V_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T V_p * \delta t / T$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (V_p \delta t)^2 dt}$$

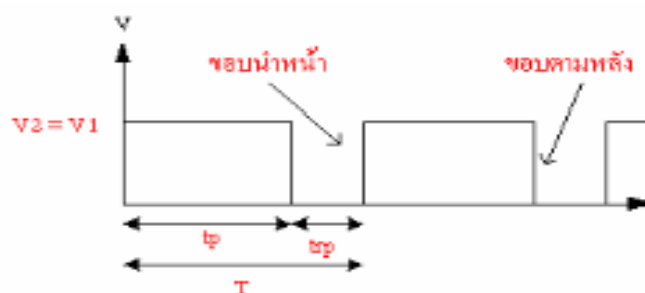
$V_{av}$  = แรงดันเฉลี่ยรูปคลื่นโพเนนเชียล

$V_{rms}$  = แรงดันประสิทธิผล

$V_p$  = แรงดัน พีค ทู พีค

$T$  = คาบเวลาของรูปคลื่น

ลักษณะ และคุณสมบัติของรูปคลื่นพัลส์



ภาพที่ 2.17 รูปคลื่นพัลส์ทางอุดมคติ

1. แอมพลิจูดของพัลส์ (Pulse Amplitude) หมายถึงขนาดความสูงของรูปคลื่นเมื่อวัดเทียบกับกราวด์
2. ขอบนำหน้าพัลส์ (Leading Edge) หมายถึง ขอบแรกที่ปรากฏ
3. ขอบตามหลังพัลส์ (Trailing Edge) หมายถึงขอบที่สองที่ปรากฏ
4. ความกว้างของพัลส์ (Pulse Width) หมายถึงระยะเวลาตั้งแต่ขอบนำหน้าถึงขอบตามหลังของพัลส์ลูก เดียวกัน  $t_p$  หรือ  $p_w$  หน่วยเป็นวินาที
5. ช่วงไม่ปรากฏพัลส์ (Space Width) หมายถึงช่วงเวลาที่ค่าของพัลส์เป็น ศูนย์  $t_{rp}$  หรือ  $s_w$
6. ความถี่การซ้ำของพัลส์ (Pulse Repetition Frequency) หมายถึงจำนวนของพัลส์ที่ ปรากฏ ในเวลา 1 วินาที PRF หน่วยเป็นพัลส์/วินาที  $PRF = 1/T$

7. คาบเวลาของพัลส์ (Time Period) หมายถึงช่วงเวลาตั้งแต่ขอบนำหน้าของพัลส์ลูกหนึ่งถึงของนำหน้าพัลส์อีกลูกหนึ่ง  $T$

ของ 
$$PRT = t_p + t_{rp} = T$$

8. ค่าเฉลี่ยของพัลส์ หมายถึงอัตราส่วนผลรวมของพื้นที่ของพัลส์ / คาบ เวลาของพัลส์

$$V_{av} = [(V_1 t_1) + (V_2 t_2)] / T$$

9. ดิวตี้ ไซเคิล (Duty Cycle) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างความกว้างของช่วงที่มีพัลส์ / คาบเวลาของพัลส์

$$\text{Duty Cycle} = (t_p / T) * 100\%$$

## บทที่ 3

### การออกแบบและสร้างวงจร

#### 3.1 หลักการออกแบบ

การทำงานโดยออกแบบวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ไปควบคุมการขับเคลื่อนที่สร้างสัญญาณพัลส์ ความถี่ Pulse Width Modulation คือสัญญาณที่สามารถปรับความกว้างของ Pulse ได้ ที่เรียกว่า Duty Cycle ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดแรงดันสูงผ่านหม้อแปลงฟลายแบ็คสร้างประจุลบเพื่อมาเพิ่มในบรรยากาศให้มากขึ้นโดยอาศัยหลักการสร้างสนามไฟฟ้าแรงดันสูง ป้อนศักย์ลบให้กับเข็มปลายแหลมทำให้ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กสูงบริเวณปลายแหลมและโมเลกุลของอากาศมากระทบปลายแหลมนี้เข้าจะเกิดการแตกตัวของอากาศเป็นอะตอมเดี่ยวแล้วนำแรงดันนั้นไปใช้ในการแตกอิเล็กตรอนที่ชุดกระจายอิเล็กตรอน

#### 3.2 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ [7]

ในวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ควบคุมการสวิทช์ในวงจรนี้เลือกใช้ ไอซีเบอร์ SG3525A ทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่(f) การทำงานของ SG3525A มีข้อดีตรงที่ออสซิลเลเตอร์ จะมีอินพุตซิงค์ (Sync Input) ทำให้ง่ายต่อการล็อกความถี่ของแหล่งจ่ายต่างๆไปเป็นการกำจัดปัญหาที่เกิดจากบีท (Beat) ความถี่ที่ใช้ในการทดลองนี้จะอยู่ที่ประมาณ 1-10 kHz สามารถกำหนดได้จากค่าความต้านทาน  $R_T$  และค่าคาปาซิเตอร์  $C_T$

ดังสมการต่อไปนี้  $T = R_T \times C_T$

เมื่อ T คือคาบสัญญาณดังนี้  $f = 1/T$

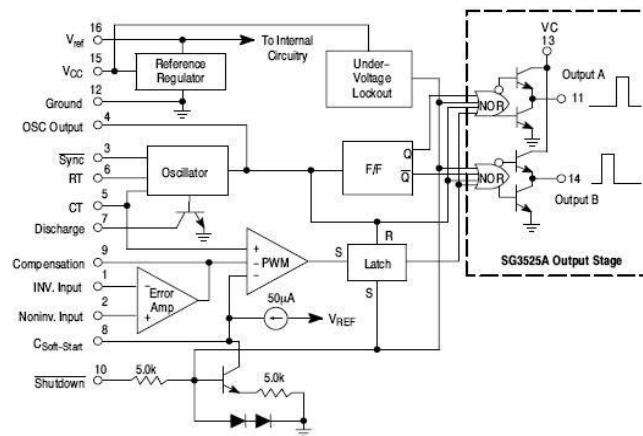
ก่อนที่จะนำสัญญาณไปใช้ในการจ่ายให้กับ Fly Back นั้นจะผ่านอุปกรณ์อีกสองตัวที่ใช้ในวงจร คือ IGBT และ TPL250 IGBT นั้นทำหน้าที่คล้ายๆกับ MOSFET แต่จะมีข้อดีกว่ามีความเร็วในการสวิทช์ทำงานนำกระแสและหยุดนำกระแสได้เร็วกว่า โดยมีพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยในขณะที่ไบอัสตรง (Forward Bias Safe Operating Area : FBSOA) ที่กว้างมากเกือบได้เป็นสี่เหลี่ยมสำหรับเวลาในการสวิทช์ที่สั้นๆ แต่จะแคบลงเมื่อเวลาในการสวิทช์ยาวนานขึ้น ซึ่งถ้าเปรียบเทียบ

กับเพาเวอร์มอสเฟตแล้ว IGBT จะทำงานได้ในช่วงพื้นที่ที่กว้างกว่าเมื่อเวลาในการสวิตช์เท่ากัน ส่วน TPL250 นั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวแยกระหว่างภาคแรงดันสูงกับภาคแรงดันต่ำ เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ในวงจรสร้างสัญญาณเสียหายหากมีการย้อนกลับของแรงดันสูง

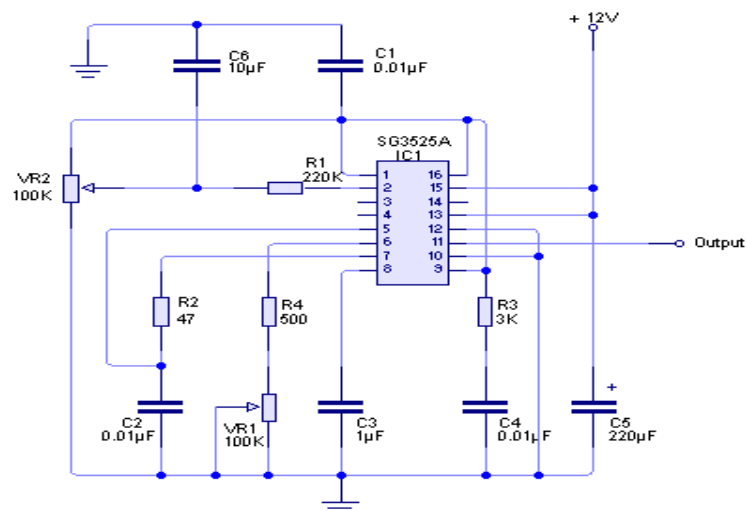
### 3.3 IC เบอร์ SG3525A [7]

หลักการการทำงานของ SG3525A ออสซิลเลเตอร์จะมีอินพุตซิงค์ (Sync Input) ทำให้ง่ายต่อการลืออกความถี่ของแหล่งจ่ายต่างๆ ไปเป็นการกำจัดปัญหาที่เกิดจากการบีท (Beat) ของความถี่ในบอร์ดที่มีซัพพลายหลายๆตัวหรือหลายๆระบบ วงจรซันคาน์และลักษณะการทำซอฟต์แวร์-สตาร์ท (Soft-Start) เป็นส่วนหนึ่งของวงจรป้องกันที่ไคเพิ่มเติมขึ้นมาซึ่งจะได้กล่าวถึงในการนำไปใช้งานในส่วนถัดไปที่จุดรวมขั้ว (push-pull) มีอัตรากระแสสูงสุดที่ 500 mA เพื่อให้มีความเร็วในการตัดต่อสูง โพลีดีสวิตช์จึงใช้สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่เร็วและเข้าภาคขยายกระแสแบบแยกส่วนของ SG3524 จึงได้ถูกตัดออกไปรูปที่แสดงวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ขนาด 15 วัตต์ R2, C2 จะเป็นตัวกำหนดความถี่ในการออสซิลเลตของออสซิลเลเตอร์ ให้มีความถี่เท่ากับ 200 kHz (ที่เอาร์พุทสุดท้ายมีความถี่ 100 kHz) ทรานซิสเตอร์คายประจุภายใน (ขา 7) เป็นตัวที่ควบคุม ช่วงเวลาในการคายประจุทุกๆ การจบของแรงดันแรมป์เพื่อให้แน่ใจช่วงเวลาหยุดระหว่างเอาต์พุตพัลส์ มีระดับเดียวกัน เวลาหน่วงของการตัดต่อทรานซิสเตอร์ทั้งสอง จึงไม่สามารถทำงานพร้อมกันได้ R6 , C2 จะเป็นตัวเซตเวลาช่วงนี้ใหม่ ช่วงเวลาคงที่ (Time Constant) เท่ากับ 47 ns. รูป พุช- พูลสวิตช์เร็กกูเลเตอร์ ผลิตแรงดันเอาต์พุตที่ +/- 6 V ที่ 15 วัตต์ แรงดันอ้างอิง 5 V (ขา 16) ถูกต่อเข้ากับขาอินพุทนอน – อินเวอร์ตติ้ง (ขา 2) โดยความต้านทานจำกัดกระแส R3 ส่วน C9 เป็นตัวบายพาสความถี่สูงให้ผ่านลงกราวด์ไป แรงดันป้อนกลับแบบลบจะถูกแบ่งโดย R1-R4 เพื่อให้แรงดันเอาต์พุต 6V ลดลงเหลือ 5V

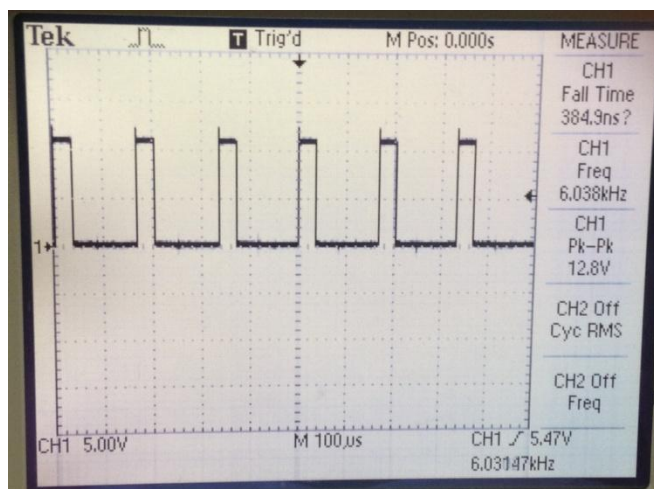




ภาพที่ 3.1 แสดงวงจรภายใน IC SG3525A



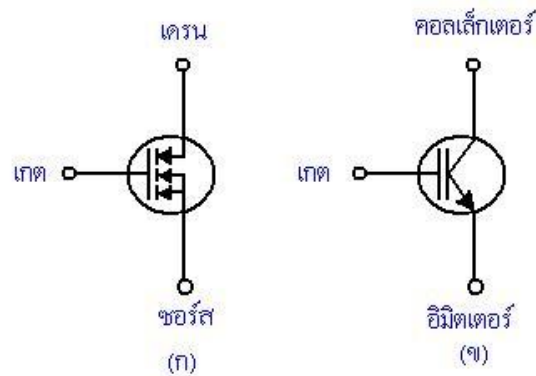
ภาพที่ 3.2 แสดงวงจรสร้างสัญญาณพัลส์



ภาพที่ 3.3 แสดงรูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณพัลส์

### 3.4 IGBT

IGBT เป็นอุปกรณ์ที่ใหม่เป็นการรวมข้อดีของทรานซิสเตอร์กับมอสเฟตเข้าด้วยกัน IGBT เป็นอุปกรณ์ที่ทนแรงดันและกระแสได้สูง ถ้าเปรียบเทียบ IGBT และ เพาเวอร์มอสเฟต IGBT มีพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยทั้งในระหว่างนำกระแสและหยุดนำกระแส โดยมีพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยในขณะที่ไบอัสตรง (Forward Biass Safe Operating Area : FBSOA) ที่กว้างมากเกือบได้เป็นสี่เหลี่ยมสำหรับเวลาในการสวิทช์ที่สั้นๆ แต่จะแคบลงเมื่อเวลาในการสวิทช์ยาวนานขึ้น ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับเพาเวอร์มอสเฟตแล้ว IGBT จะทำงานได้ในช่วงพื้นที่ที่กว้างกว่าเมื่อเวลาในการสวิทช์เท่ากัน ในโครงการนี้จึงได้เลือกใช้ IGBT ในการทำโครงการนี้



ภาพที่ 3.4 แสดงสัญลักษณ์ของ IGBT ทั้ง 2 แบบ

ภาพที่ 3.5(ก) จะเห็นว่า มีสัญลักษณ์คล้ายกับมอสเฟตมากเพียงแต่สัญลักษณ์จะมีลูกศรเพิ่มขึ้นมาตรงขาเดรน ลักษณะของลูกศรจะชี้เข้าหาตัวหรือชี้เข้าหาชั้นของซิลิคอนภายในตัว IGBT

ภาพที่ 3.5(ข) จะเหมือนกับสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ แต่ตรงขาเกต (หรือขาเบสของทรานซิสเตอร์) จะเพิ่มขีดขึ้นมาอีกหนึ่งขีด เพื่อให้เห็นว่าขีดที่เพิ่มมานั้นไม่ได้ต่อกันโดยตรงกับขาที่ต่อออกมาภายนอก โครงสร้างส่วนมากจะมีลักษณะเหมือนมอสเฟต จะแตกต่างตรงที่ IGBT จะมีชั้น P+ หรือชั้นอิงเจกต์ติ้ง (Injecting) ต่ออยู่ระหว่างขาเดรน ซึ่งในมอสเฟตจะไม่มี จากการที่ขาเกตถูกกั้นด้วยชั้นของซิลิคอนออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) เป็นผลทำให้ความต้านทานอินพุตที่ขาเกตมีค่าสูงมาก เหมือนกับเพาเวอร์มอสเฟต โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ช่วง 10 จิกะโอห์ม

### 3.5 การออกแบบวงจรภาคขับสวิตช์ IGBT [4]

การออกแบบวงจรขับสวิตช์ IGBT จะใช้ Opto Isolate เบอร์ TLP250 เพื่อแยกแรงดันไฟต่ำกับแรงดันไฟสูงออกจากกัน โดย R6 จะใช้ค่าอยู่ระหว่าง  $10\Omega$  ถึง  $100\Omega$  เพื่อป้องกันการเกิดการแกว่งของสัญญาณที่ขาเกตของ IGBT ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่า  $R6 = 100\Omega$  ซึ่งการแกว่งของสัญญาณเกิดจากตัวเก็บประจุที่ขาเกตของ IGBT มีค่า  $2800\text{ pF}$  หากเรามองจากเอาทพุทของ Opto Isolate จะประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำแฝงที่เกิดจากลวดวงจรและตัวเก็บประจุที่ขาเกตของ IGBT เป็นวงจร LC ซึ่งจะทำให้เกิดความถี่แกว่ง (Damping Frequency) เนื่องจากสัญญาณที่เอาทพุทของ Opto Isolate เป็นสัญญาณพัลส์ PWM ที่ประกอบด้วยฮาร์มอนิกของสัญญาณไซน์หลายความถี่ ซึ่งอาจทำให้เกิดการออสซิลเลทได้จึงจำเป็นต้องใส่ตัวต้านทาน R6 เพื่อควบคุมไม่ให้เกิดการแกว่งของ

สัญญาณ โดยจะทำให้ผลของ L ในสายวงจรลดลงจะมีผลของ R และ C แทนนั้น โดยการเพิ่มขึ้นของแรงดันและลดลงของระดับแรงดันพัลส์ของสัญญาณ PWM จะขึ้นกับค่าเวลาคงตัวของ R6 และ C ที่ขาเกทของ IGBT โดยมีค่าที่  $\tau = 28\mu\text{s}$

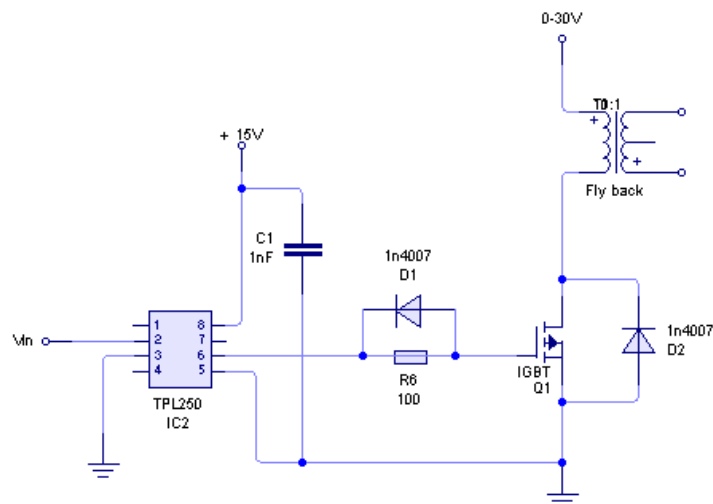
$$\tau = (R_{3U} \cdot C_{GATE}) \quad (3.0)$$

$\tau$  = ค่าเวลาคงตัว

$R_{3U}$  = ค่าตัวต้านทาน

$C_{GATE}$  = ค่าตัวเก็บประจุที่ขาเกทของ IGBT

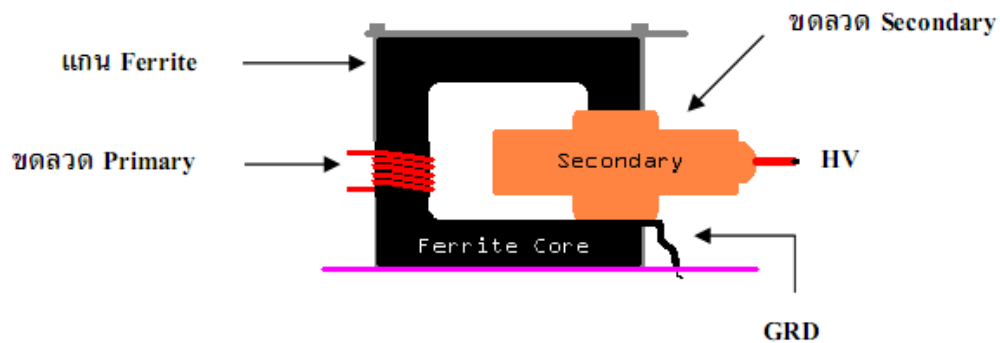
สวนไดโอด D1 มีหน้าที่ช่วยในการคายประจุของตัวเก็บประจุที่ขาเกทของ IGBT ขณะสั่งให้ IGBT เป็นสภาวะ Turn Off โดยดึงประจุผ่านไดโอดผ่าน Opto Isolate ลง Ground ของวงจร



ภาพที่ 3.5 แสดงการต่อวงจรขับสวิตช์ IGBT

### 3.6 การสร้างแรงดันสูงโดยใช้ Fly Back [5]

หัวใจสำคัญของภาคจ่ายไฟแรงสูงในวงจรก็คือหม้อแปลงลายเบ็ค (Fly Back Transformer) หม้อแปลงลายเบ็คก็เหมือนกับหม้อแปลงอื่นๆซึ่งจะประกอบด้วยขดลวดทองแดงพันอยู่รอบๆ แกนซึ่งแกนสำหรับหม้อแปลงลายเบ็คก็คือแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite) แกนชนิดนี้เหมาะที่จะทำงานที่ความถี่สูงๆโดยปกติทั่วไปหม้อแปลงจะมีขดลวดมากกว่า 1 ขดโดยขดแรกจะเรียกว่าขด Primary (เป็นทางไฟเข้า) ขดที่สองสองจะเรียกว่า Secondary (เป็นทางไฟออก)



ภาพที่ 3.6 แสดงลักษณะ โครงสร้างของหม้อแปลง Fly Back

โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงจะมีแรงดันเอาต์พุตสูงหรือต่ำ เกิดจากสัดส่วนการพัน โดยกำหนดให้

$$\left(\frac{N_P}{N_S}\right) = \left(\frac{V_P}{V_S}\right) = \left(\frac{I_S}{I_P}\right) \quad (3.1)$$

ดังนั้นหม้อแปลงก็จะสามารถทำงานเป็น Step – Up หรือ Step – Down ได้โดยสามารถทำให้แรงดันที่ขดทุติยภูมินั้นสูงกว่าขดปฐมภูมิ และถ้าเพิ่มขดลวดที่ทุติยภูมิอีกหลายๆ ขดเราก็จะแรงดันเอาต์พุตอีกหลายระดับ ตามสัดส่วนการพันเช่นกัน ประโยชน์ที่สำคัญอีกข้อหนึ่งโดยใช้ลักษณะสมบัติของหม้อแปลง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นั่นคือการแยกกันทางไฟฟ้า (Electronic Isolation) ที่เกิดขึ้นระหว่างขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิ

จากความสัมพันธ์พื้นฐานของหม้อแปลง

$$e = NA_e \left( \frac{dB}{dt} \right) 10^{-8} \quad (3.2)$$

เราสามารถคำนวณหาความหนาแน่นฟลักซ์ B ที่แน่นอนได้โดยกำหนดการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าให้อยู่ในส่วนที่เป็นเชิงเส้นของกราฟ ดังสมการ

$$B_{\max} = \frac{(V_P) \times 10^8}{KfN_P A_e} \quad (3.3)$$

- เมื่อ  $V_P$  = แรงดันที่ขดลวดปฐมภูมิ, V  
 $N_P$  = จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ  
 $f$  = ความถี่, Hz  
 $A_e$  = พื้นที่ของแกน,  $\text{cm}^2$   
 $K$  = 4.44 สำหรับสภาพคลื่นไซน์ และ 4.0 สำหรับภาคคลื่นสี่เหลี่ยม  
 $B_{\max}$  = ความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุด, G

ปกติแล้วผู้ออกแบบหม้อแปลงมักจะกำหนด  $B_{\max}$  ด้วยตนเอง ดังนั้นภายในบริเวณเชิงเส้นตรงของกราฟ

B-H จุดที่เหมาะสมที่สุดก็คือ  $B_{\max}$  จะได้จำนวนรอบของขดปฐมภูมิ ดังนี้

$$N_P = \frac{(V_P) \times 10^8}{4fB_{\max} A_e} \quad (3.4)$$

ในการเลือกแกนนั้นก็ยังมีตัวพารามิเตอร์ที่สำคัญๆ อีก 2 ตัว ตัวแรกก็คือพื้นที่การพันของแกน (หรือบอบบิ้น) ซึ่งจะต้องเลือกให้กว้างพอขนาดของเส้นลวด เพื่อให้เกิด Winding Loss น้อยที่สุดและข้อที่สองคือ Core ' Power Handling Capability

$$P_{\text{out}} = (1.16B_{\max} f d A_e A_c) 10^{-9} \quad (3.5)$$

เมื่อ	$P_{out}$	= Power Handling of Core , W
	$B_{max}$	= ความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุด, G
	$f$	= ความถี่, Hz
	$B$	= ความหนาแน่นกระแสของเส้นลวด, A/m <sup>2</sup>
	$A_e$	= พื้นที่ของแกน, cm <sup>2</sup>
	$A_c$	= พื้นที่การพันของบอบบิ้น, cm <sup>2</sup>

ผู้ผลิตบางรายใช้สัญลักษณ์  $W_a$  สำหรับพื้นที่หน้าตัดของบอบบิ้น แทนสัญลักษณ์  $A_c$  โดยปกติแล้ว ความหนาแน่นกระแสมีหน่วยใน Circular Mils Per Ampere ใช้สัญลักษณ์เป็น  $D$  , โดยเขียนเป็นความสัมพันธ์กับ  $d$  ได้ดังนี้

$$N_P = \frac{1.27 \times 10^6}{D} \quad (3.6)$$

แทนสมการ 5 ลงในสมการ 4 จะได้

$$P_{out} = \frac{(0.68A_eA_cD)10^3}{fB_{max}} \text{ cm}^4 \quad (3.7)$$

สมการ 6 เป็นสมการที่ใช้กันมากในการคำนวณ และเลือกขนาดของแกนหม้อแปลง

$$A_eA_c = \frac{(0.68P_{out}D)10^3}{fB_{max}} \text{ cm}^4 \quad (3.8)$$

หากระแสด้านปฐมภูมิ  $I_{pp}$

$$I_{pp} = \frac{2P_{out}}{\eta V_{in} \delta_{max}} \quad (3.9)$$

หาขนาดลวด

ขนาดเส้นลวด = ความหนาแน่นกระแส x กระแส

$$= D \times \quad (\text{cm/A}) \quad (4.0)$$

ความหนาแน่นกระแส  $D$  จะถูกกำหนด โดยผู้ผลิตเส้นลวดที่ความหนาแน่นกระแส 1,000 Circular Mils Per Ampere (cm/A) ในทางปฏิบัติจะใช้ความหนาแน่นกระแสต่ำ ค่าที่ได้คือ 200 cm/A เพื่อความปลอดภัย

การออกแบบหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง

พิกัดหม้อแปลง  $V_{in} = 30 \text{ V}$ ,  $V_{out} = 18 \text{ kV}$ ,  $f = 10 \text{ kHz}$

เลือกแกน EE42/20,  $A_e, A_c = 4.68 \text{ cm}^4$ ,  $A_e = 2.4 \text{ cm}^2$ ,  $A_c = 1.95 \text{ cm}^2$

คำนวณขดลวดด้านปฐมภูมิ  $N_p$

$$\begin{aligned} N_p &= \frac{V_p \times 10^8}{4fB_{max}A_e} \\ &= \frac{30 \times 10^8}{4(10\text{kHz})(3000\text{G})(2.4\text{cm}^2)} \\ &= 15 \text{ รอบ} \quad \# \end{aligned}$$

คำนวณขดลวดด้านทุติยภูมิ  $N_s$

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$$



$$N_s = 15 \times \frac{18 \text{ kV}}{30 \text{ V}}$$

$$= 9000 \text{ รอบ}$$

หากระแสด้านปฐมภูมิ  $I_{pp}$

$$I_{pp} = \frac{2P_{out}}{\eta V_{in} \delta_{max}}$$

$$I_{pp} = \frac{2(100\text{w})}{0.8(30 \text{ V})(0.5)} = 2.42 \text{ A}$$

หากระแสด้านทุติยภูมิ  $I_s$

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{E_p}{E_s}$$

$$I_s = \frac{E_p}{E_s} \times I_p$$

$$= \frac{30 \text{ V}}{18 \text{ kV}} \times 2.42 \text{ A} = 0.025 \text{ A}$$

หาขนาดลวดด้านปฐมภูมิ

$$\text{ขนาดเส้นลวด} = \text{ความหนาแน่นกระแส} \times \text{กระแส}$$

$$= (400 \text{ cm} / \text{A}) \times (2.42 \text{ A})$$

$$= 986 \text{ Circular mils.}$$

เลือกค่าที่ใกล้เคียง ดังนั้นใช้ลวด AWG เบอร์ 20 #

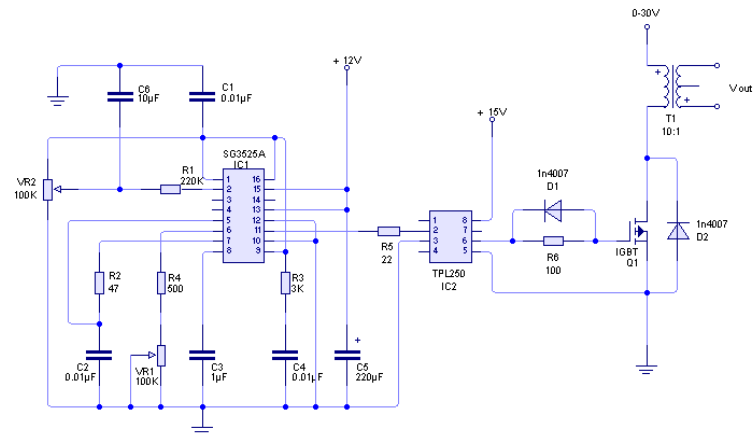
หาขนาดลวดด้านทุติยภูมิ

$$\begin{aligned}\text{ขนาดเส้นลวด} &= (400 \text{ cm} / A) \times (0.025 \text{ A}) \\ &= 10 \text{ Circular Mils.}\end{aligned}$$

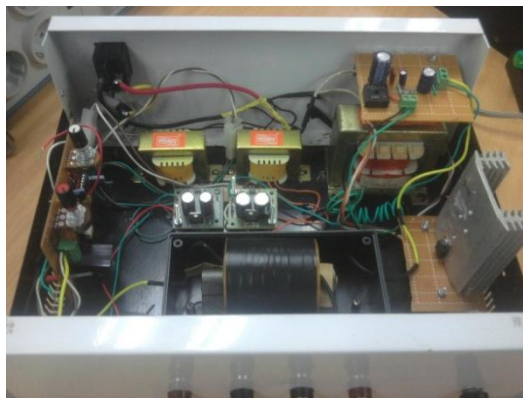
เลือกค่าที่ใกล้เคียง ดังนั้นใช้ลวด AWG เบอร์ 40 #



ภาพที่ 3.7 แสดงภาพหม้อแปลง Fly Back ที่ใช้ในวงจร

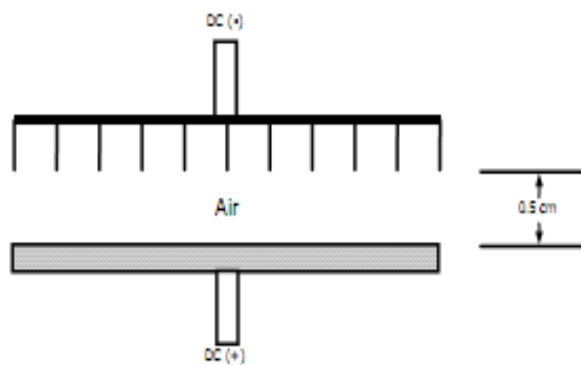


ภาพที่ 3.8 แสดงวงจรสร้างแรงดันสูง Fly Back Transformer



ภาพที่ 3.9 แสดงวงจรสร้างแรงดันสูงที่ได้สร้างขึ้น

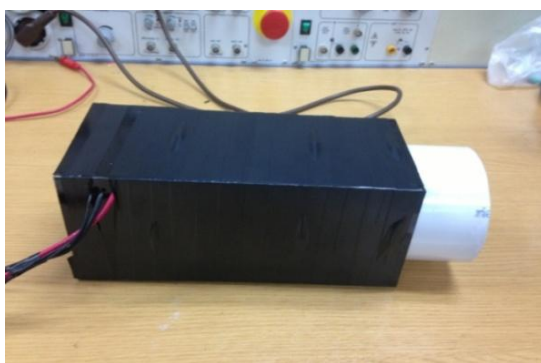
### 3.7 การออกแบบแผ่นอิเล็กโทรดที่ใช้ในชุดบำบัดไอเสีย [7]



ภาพที่ 3.10 แสดงลักษณะแผ่นอิเล็กโทรด

ในการออกแบบไดโอดเลือกใช้อิเล็กโตรดที่ไม่สม่ำเสมอสูงกับอิเล็กโตรดระนาบซึ่งวัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโตรดแบบไม่สม่ำเสมอสูงคือตระแกรงปรับให้เป็นปลายแหลมและวัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโตรดระนาบไดโอดเลือกใช้นิยามในการสร้างเครื่องผลิตไอโซนข้อดีของอิเล็กโตรดแบบไม่สม่ำเสมอสูงคือมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่บริเวณ ปลายแหลมการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงและความถี่สูงโดยความถี่ถูกควบคุมโดยชุดวงจรควบคุมความถี่เอาต์พุตของหม้อแปลงความถี่สูงที่เป็นแรงดันสูงถูกนำมาจ่ายให้แผ่นอิเล็กโตรดแบบไม่สม่ำเสมอสูงข้างหนึ่งและอีกส่วนจะจ่ายให้กับแผ่นอิเล็กโตรดแบบระนาบซึ่งจะจ่ายแรงดันสูงแต่ไม่ทำให้เกิดการเบรคดาวนั้นมีแต่ความเครียดของสนามไฟฟ้าสูงดังนั้นในระบบจึงไม่ควรเกิดความร้อนขึ้นภายในแก๊สมากเกินไปเพราะจะทำให้ไม่เกิดไอโซนและจากการเปรียบเทียบสนามไฟฟ้าของอิเล็กโตรดลักษณะต่างๆพอจะสรุปได้ว่ารูปร่างอิเล็กโตรดที่เป็นแบบไม่สม่ำเสมอสูงกับอิเล็กโตรดแบบระนาบให้ผลผลิตสูงสุดดังนั้นจึงนำอิเล็กโตรดแบบไม่สม่ำเสมอสูงและอิเล็กโตรดแบบระนาบทำการออกแบบเครื่องผลิตไอโซนด้วยแหล่งจ่ายแรงดันสูงแบบสวิตชิง

จากการศึกษาพบว่าระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรดแบบไม่สม่ำเสมอสูงและอิเล็กโตรดแบบระนาบที่ทำให้เกิดประจุลบออกมามากนั้นจะมีระยะห่างอยู่ที่ประมาณ 0.5 cm ในทดลองจึงได้กำหนดระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรดทั้งสองไว้ที่ 0.5 cm



ภาพที่ 3.11 แสดงกล่องชุดกระจายอิเล็กตรอนที่สร้างขึ้น

## บทที่ 4

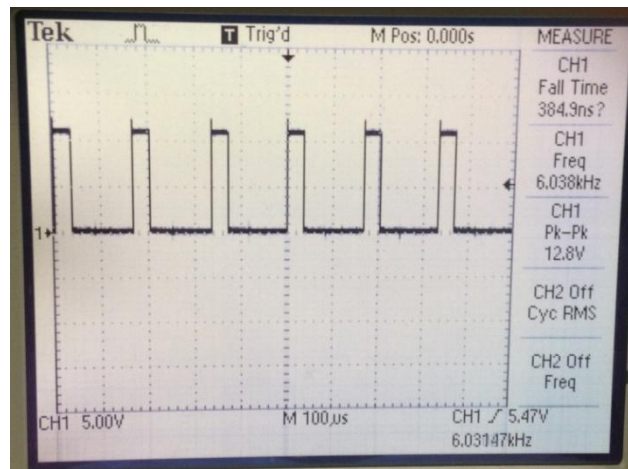
### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 ทดสอบแรงดันจากหม้อแปลง Fly Back

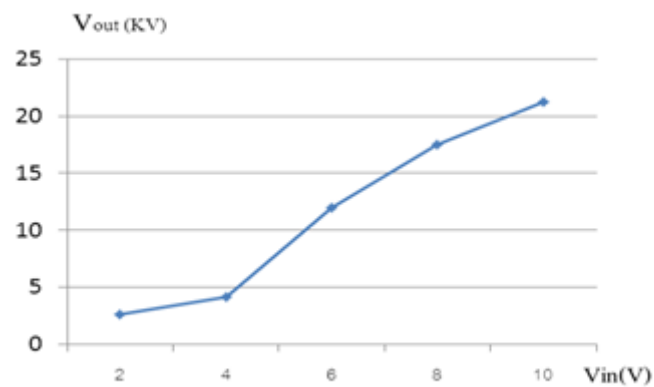
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการจ่ายแรงดันและความถี่จ่ายให้กับหม้อแปลง เพื่อดูค่าแรงดัน  $V_{out}$

f(kHz)	$V_{in}$				
	2	4	6	8	10
1	0.23 kV	0.39 kV	1.2 kV	3.7 kV	2.1 Kv
2	0.3 kV	0.4 kV	1.1 kV	2.3 kV	2.1 kV
3	1.2 kV	2.5 kV	9 kV	13 kV	15 kV
4	0.4 kV	1.3 kV	1.46 kV	1.4 kV	1.23 kV
5	0.5 kV	0.4 kV	0.23 kV	0.34 kV	0.45 kV
6	2.6 kV	4.2 kV	13 kV	17.8 kV	23.3 kV
7	1.2 kV	1.3 kV	1.6 kV	0.3 kV	0.4 kV

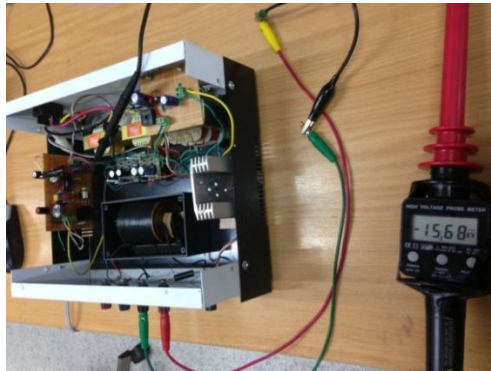
จากการทดสอบหม้อแปลง Fly back ผลที่ได้ตามตารางจะเห็นว่าค่าแรงดันสูงสุดของหม้อแปลงจะอยู่ในช่วงความถี่ 6 kHz



ภาพที่ 4.1 แสดงรูปภาพสัญญาณที่ความถี่ 6 kHz ที่ป้อนเข้าหม้อแปลง Fly Back



ภาพที่ 4.2 แสดงแรงดันที่ได้จากหม้อแปลง Fly Back ที่ความถี่ 6 kHz

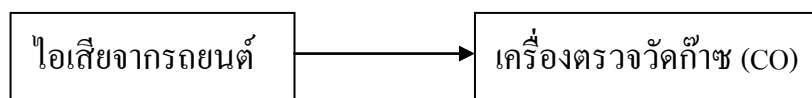


ภาพที่ 4.3 แสดงการวัดแรงดันที่ได้จากหม้อแปลง Fly Back

## 4.2 ทดสอบวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ก่อนและหลังการใช้ชุดบำบัดไอเสีย

โดยในการทดสอบนั้นจะใช้ท่อพลาสติกที่มีความยืดหยุ่นได้ความยาวประมาณ 2 เมตรต่อเข้าที่ปลายของท่อไอเสียรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบและนำเครื่องวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ไปวัดที่ด้านปลายท่ออีกด้านหนึ่งจากนั้นจะทำการเร่งรอบเครื่องยนต์ ไปที่ 1000 2000 3000 4000 และ 5000 รอบตามลำดับ และทำการบันทึกผลที่ได้

### 4.2.1 วัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ก่อนใช้ชุดบำบัดไอเสีย



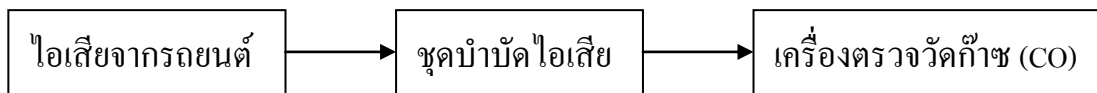
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบวัดปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) โดยยังไม่ผ่านชุดบำบัดไอเสียที่ได้ทำขึ้น

รอบเครื่องยนต์ (rpm)	ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)
1000	125
2000	250
3000	365
4000	450
5000	-

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่ายิ่งจำนวนรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่วัดได้ก็จะมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

#### 4.2.2 วัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยผ่านการใช้ชุดบำบัดไอเสีย

ทดลองทำการจ่ายแรงดันสูงให้กับชุดบำบัดไอเสียเป็นลำดับและเพิ่มอัตราเร่งรอบของเครื่องยนต์เป็นลำดับเพื่อเก็บค่าของปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงตามความประสงค์ของโครงการหรือไม่ดูผลการทดลองได้จากตารางที่ 4.3



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.4 แสดงการวัดปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จากรถยนต์จริง

(ก) ก่อนผ่านชุดบำบัดไอเสีย

(ข) หลังผ่านชุดบำบัดไอเสีย



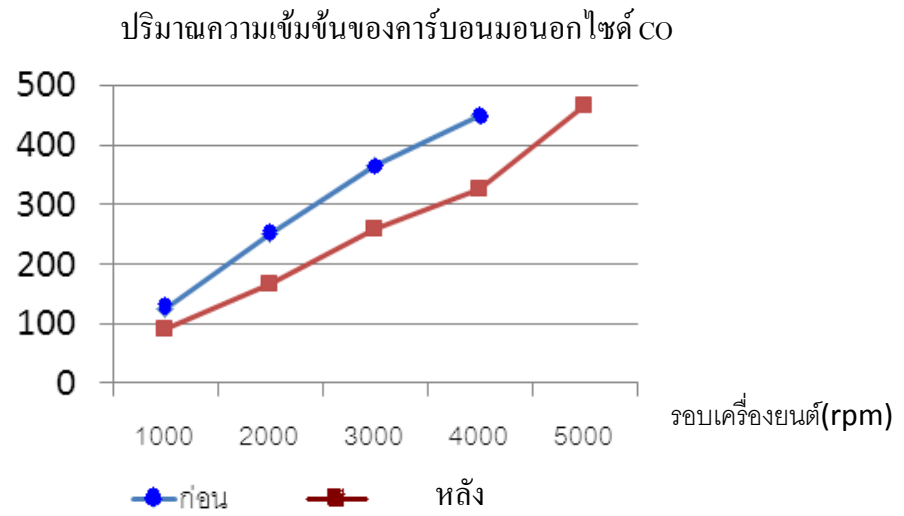
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบวัดปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) โดยผ่านการใช้ชุด บำบัดไอเสียที่ได้สร้างขึ้น

V (kV)	rpm				
	1000	2000	3000	4000	5000
2	125 ppm	268 ppm	354 ppm	472 ppm	error
4	113 ppm	218 ppm	297 ppm	470 ppm	error
6	122 ppm	211 ppm	233 ppm	446 ppm	491 ppm
8	90 ppm	165 ppm	260 ppm	327 ppm	467 ppm
10	104 ppm	169 ppm	211 ppm	387 ppm	error
12	124 ppm	243 ppm	323 ppm	411 ppm	error
14	121 ppm	256 ppm	374 ppm	471 ppm	error
16	126 ppm	263 ppm	364 ppm	476 ppm	error

จากการทดลองพบว่าในช่วงที่ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าลดลงมากที่สุดนั้นอยู่ในช่วงที่มีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับชุดบำบัดไอเสีย อยู่ในช่วง 8-10 kV

ค่า error ที่เกิดขึ้นนั้นเนื่องมาจากอุปกรณ์เครื่องวัดปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์นั้นมีขีดจำกัดที่สามารถวัดได้ที่ค่า 500 ppm แต่ค่าที่วัดได้จริงนั้นมีจำนวนที่มากกว่านั้นจึงทำให้ไม่สามารถอ่านค่าได้

นำค่าที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ทั้งก่อนและหลังการผ่านชุดบำบัดไอเสียมาแสดงเป็นกราฟจะได้ผลดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความแตกต่างของปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ CO ก่อนและหลังการใช้ชุดบำบัดไอเสีย

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

โครงการนี้เป็นการศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดควันพิษในไอเสียรถยนต์อาศัยหลักการทฤษฎีทางด้านไฟฟ้าแรงสูง โดยการสร้างสัญญาณพัลส์ควบคุมการสวิชชิงก่อนที่จะนำสัญญาณไปใช้ในการจ่ายให้กับหม้อแปลง Fly Back นำมาใช้สร้างอิเล็กทรอนิกส์โดยผ่านอิเล็กทรอนิกส์แบบปลายแหลมและได้ทำการทดสอบโดยการทดลองจากรถยนต์จริงเร่งเครื่องยนต์ไปที่อัตราเร่ง 1000 2000 3000 4000 และ 5000 รอบใช้เครื่องตรวจวัดที่สามารถตรวจปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ จึงได้ค่าตามตารางผลการทดลอง

จากผลของการทดสอบพบว่าเครื่องเครื่องบำบัดควันพิษในไอเสียรถยนต์ที่ได้ทดลองทำขึ้นสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ออกมาปกติซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้

#### ข้อเสนอแนะและปัญหาของโครงการ

- ในโครงการนี้ใช้ส่วนประกอบที่มีแรงดันสูงมากจึงควรใช้ความระมัดระวังในการสร้างและการทดสอบเป็นอย่างมากเพื่อป้องกันการเกิดอันตรายที่อาจเกิดได้
- ชุดบำบัดควันพิษในไอเสียรถยนต์ที่ได้สร้างขึ้นนั้นยังมีขนาดที่ใหญ่และรูปลักษณะที่ยังไม่เหมาะสมจึงยังไม่สามารถนำไปใช้ได้จริงในการติดตั้งเข้ากับตัวรถ
- หากจะมีการนำเอาโครงการนี้ไปศึกษาหรือพัฒนาต่อควรทำการศึกษาและออกแบบให้สามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้มากยิ่งขึ้นและสามารถนำไปใช้กับรถยนต์ได้จริง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สุธีรา ตูลยะเสถียรและคณะ. มลพิษสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ : บริษัทรวมสาส์น จำกัด, 2544. <http://suchada.wikispaces.com/มลสารในอากาศ>
- [2] FEDERAL TECHNOLOGY ALERT: OZONE TREATMENT FOR COOLING TOWERS, THE NEW TECHNOLOGY
- [3] กิตติพงษ์ ตันมิตร, เอกสารประกอบการสอนวิชา 162 441 HIGH VOLTAGE ENGINEERING, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [4] OZONE IN LAUNDRY: MEASURABLE ECONOMIC BENEFITS, AMERICAN LAUNDRY NEWS, JULY 2007.
- [5] M.T. ZHANG, M.M. JOVANOVIĆ, AND F.C. LEE, “DESIGN CONSIDERATIONS AND PERFORMANCE EVALUATIONS OF SYNCHRONOUS RECTIFICATIONS IN FLYBACK CONVERTER”, IEEE TRANS. POWER ELECTRONICS, VOL. 13, No. 3, PP 538-546, 1998.
- [6] พัฒนา มุลพฤกษ์. การป้องกันและควบคุมมลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีอีเอ็ม ดีไซน์กราฟิก, 2545.
- [7] OZONE GAS GENERATIONS USING HIGH VOLTAGE AT HIGH FREQUENCY ELECTRIC FIELD SISEEROT KETKAEW FACULTY OF ENGINEERING, RAMKHAMHAENG UNIVERSITY

ภาคผนวก



รูปภาพแสดงเครื่องวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

เบอร์ SW.G	เส้นผ่านศูนย์กลาง		เนื้อที่หน้าตัด		ทอกระแสน้ำได้		ใช้เป็นฟิวส์ ทอกระแสน้ำได้ (A)	น้ำหนักต่อ ความยาว 100 ม. (กก.)	ค.ท.ท. ต่อ ความยาว 100ม. ( $\Omega$ )	เบอร์ A W G		
	นิ้ว	มิลลิเมตร	เซอร์กิวลาริส	ตาราง มิลลิเมตร	ขุมยาง	ขนาดปลั๊ก						
0000	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
000	0.372	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
00	0.344	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
19/12	0	0.324	8.23	106,500	54.186	125	200	-	47.925	0.033	0	
	1	0.3	7.62	90,000	46.451	-	-	-	-	-	-	
19/13	-	-	-	83,690	-	100	150	-	37.994	0.042	1	
	2	0.276	7.06	77,176	39.847	-	-	-	-	-	-	
19/14	3	0.252	6.4	66,370	32.768	90	125	-	30.185	0.052	2	
19/16	4	0.232	5.89	52,630	27.735	-	-	-	23.895	0.066	3	
	5	0.212	5.38	41,740	23.155	70	90	-	18.960	0.038	4	
19/18	6	0.192	4.88	33,100	18.215	-	-	-	15.030	0.015	5	7/14
	7	0.176	4.46	30,976	15.913	-	-	-	-	-	-	
	8	0.16	4.06	26,250	13.026	50	70	-	11.925	0.133	6	
	9	0.144	3.66	20,766	10.716	-	-	-	9.45	0.167	7	
7/16	10	0.128	3.24	16,510	8.398	35	50	-	7.5	0.211	8	
	11	0.166	2.94	13,090	6.914	-	-	-	5.945	0.266	9	
7/18	12	0.104	2.642	10,816	5.584	25	30	-	4.175	0.335	10	
	13	0.092	2.336	8,234	5.584	-	-	-	3.738	0.424	11	
7/20	14	0.08	2.03	6,530	3.296	20	25	232	2.965	0.534	12	
	15	0.072	1.828	5,178	2.673	-	-	-	2.352	0.673	13	
7/22	16	0.064	1.625	4,107	2.112	15	20	165	1.864	0.850	14	3/18
	17	0.056	1.422	3,257	1.617	-	-	-	1.479	1.070	15	3/20
	-	-	-	2,583	-	6	10	-	1.173	1.350	16	3/22
	18	0.048	1.219	2,048	1.188	-	-	107	0.93	1.703	17	
	19	0.04	1.061	1,624	0.825	3	5	-	0.738	2.148	18	
	20	0.036	0.914	1,288	0.668	-	-	70	0.585	2.706	19	
	21	0.032	0.812	1,022	0.527	-	-	-	0.464	3.412	20	
	22	0.028	0.711	810.1	0.404	-	-	48	0.368	4.303	21	
	23	0.024	0.61	624.4	0.297	-	-	-	0.292	5.425	22	
	24	0.022	0.553	509.5	0.249	-	-	33.4	0.231	6.847	23	
	25	0.02	0.506	404.0	0.206	-	-	-	0.183	8.630	24	
	26	0.018	0.457	320.4	0.167	-	-	24.7	0.145	10.89	25	
	27	0.016	0.406	254.1	0.131	-	-	-	0.115	13.728	26	
	28	0.0148	0.376	201.5	0.113	-	-	18.4	0.09	17.292	27	
	29	0.0136	0.345	184.9	0.095	-	-	-	-	-	-	
	30	0.012	0.304	159.8	0.073	-	-	14.1	0.073	21.783	28	
	31	0.011	0.29	126.7	0.067	-	-	-	0.057	27.522	29	
	32	0.0102	0.274	116.6	0.06	-	-	11.5	-	-	-	
	33	0.01	0.254	100.5	0.051	-	-	-	0.045	34.782	30	
	34	0.009	0.228	81.0	0.041	-	-	9.0	-	-	-	
	35	0.008	0.203	79.1	0.032	-	-	-	0.036	43.758	31	

ตารางเทียบขนาดลวดสายไฟฟ้า (ต่อ)

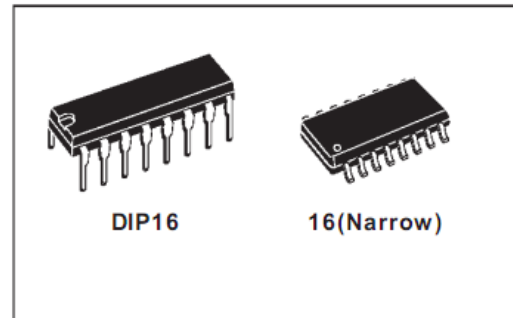
เบอร์ S.W.G	เส้นผ่านศูนย์กลาง		เนื้อที่หน้าตัด		ทหระแสได้		ใช้เป็นฟิวส์ ทหระแสได้ (A)	น้ำหนักต่อ ความยาว 100 ม. (กก.)	ค.ค.ท. ต่อ ความยาว 100ม. ( $\Omega$ )	เบอร์ A W G
	นิ้ว	มิลลิเมตร	เซอร์กิตามิถ	ตาราง มิลลิเมตร	หุ้มยาง	สลักปลั๊ก				
-	-	-	63.21	-	-	-	-	0.029	55.176	32
36	0.0076	0.193	50.15	0.029	-	-	6.8	0.023	69.564	33
37	0.0068	0.172	39.75	0.023	-	-	-	0.018	87.714	34
38	0.0061	0.155	31.52	0.018	-	-	4.7	0.014	110.714	35
39	0.0052	0.132	25.0	0.013	-	-	-	0.011	139.59	36
40	0.0048	0.121	-	0.011	-	-	3.4	-	-	-
41	0.0044	0.111	19.8	0.0098	-	-	-	0.009	175.89	37
42	0.004	0.1	15.72	0.008	-	-	0.6	0.007	222.09	38
43	0.0036	0.0914	12.72	0.0066	-	-	-	0.005	279.51	39
44	0.0032	0.0812	9.89	0.0052	-	-	1.85	0.004	352.44	40
45	0.0028									
46	0.0024	มาตรฐาน	มาตรฐาน	มาตรฐาน	มาตรฐาน	มาตรฐาน	มาตรฐาน	มาตรฐาน	มาตรฐาน	มาตรฐาน
47	0.002									
48	0.00166	S.W.G	A.W.G	S.W.G	A.W.G	A.W.G	S.W.G	A.W.G	A.W.G	A.W.G





## REGULATING PULSE WIDTH MODULATORS

- 8 TO 35 V OPERATION
- 5.1 V REFERENCE TRIMMED TO  $\pm 1\%$
- 100 Hz TO 500 KHz OSCILLATOR RANGE
- SEPARATE OSCILLATOR SYNC TERMINAL
- ADJUSTABLE DEADTIME CONTROL
- INTERNAL SOFT-START
- PULSE-BY-PULSE SHUTDOWN
- INPUT UNDERVOLTAGE LOCKOUT WITH HYSTERESIS
- LATCHING PWM TO PREVENT MULTIPLE PULSES
- DUAL SOURCE/SINK OUTPUT DRIVERS

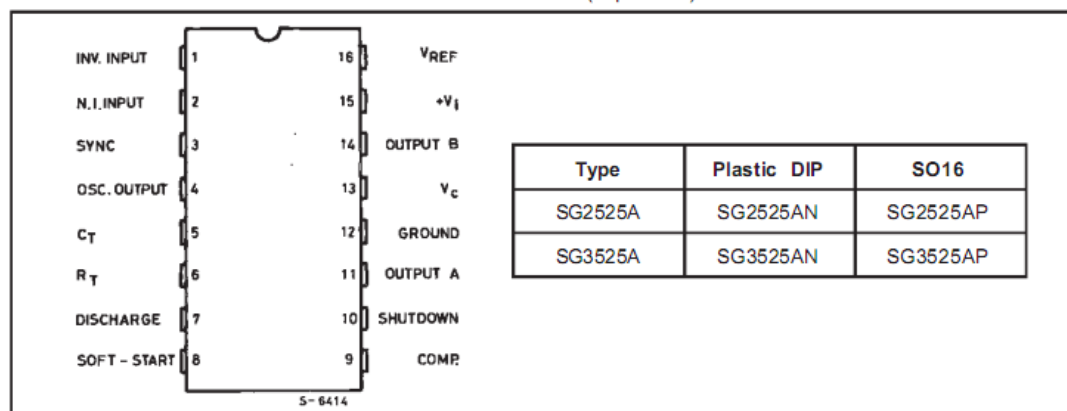


### DESCRIPTION

The SG3525A series of pulse width modulator integrated circuits are designed to offer improved performance and lowered external parts count when used in designing all types of switching power supplies. The on-chip +5.1 V reference is trimmed to  $\pm 1\%$  and the input common-mode range of the error amplifier includes the reference voltage eliminating external resistors. A sync input to the oscillator allows multiple units to be slaved or a single unit to be synchronized to an external system clock. A single resistor between the  $C_T$  and the discharge terminals provide a wide range of dead time adjustment. These devices also feature built-in soft-start circuitry with only an external timing capacitor required. A shutdown terminal controls both the soft-start circuitry and the output stages, providing instantaneous

turn off through the PWM latch with pulsed shutdown, as well as soft-start recycle with longer shutdown commands. These functions are also controlled by an undervoltage lockout which keeps the outputs off and the soft-start capacitor discharged for sub-normal input voltages. This lockout circuitry includes approximately 500 mV of hysteresis for jitter-free operation. Another feature of these PWM circuits is a latch following the comparator. Once a PWM pulse has been terminated for any reason, the outputs will remain off for the duration of the period. The latch is reset with each clock pulse. The output stages are totem-pole designs capable of sourcing or sinking in excess of 200 mA. The SG3525A output stage features NOR logic, giving a LOW output for an OFF state.

### PIN CONNECTIONS AND ORDERING NUMBERS (top view)



## SG2525A-SG3525A

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

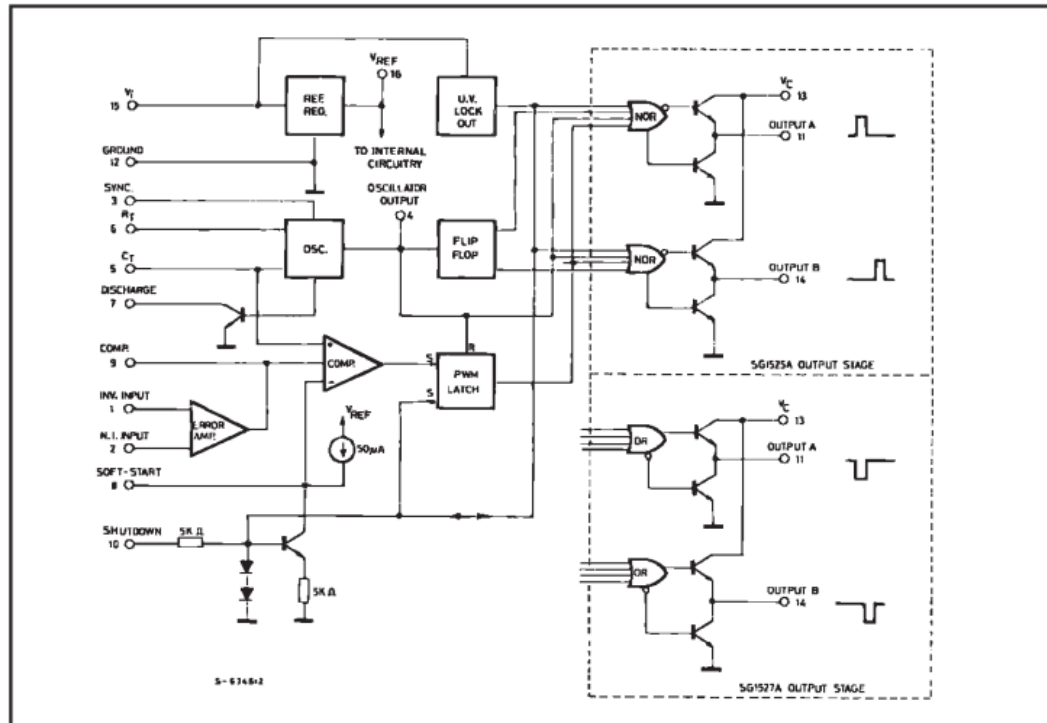
Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_i$	Supply Voltage	40	V
$V_C$	Collector Supply Voltage	40	V
$I_{OSC}$	Oscillator Charging Current	5	mA
$I_o$	Output Current, Source or Sink	500	mA
$I_R$	Reference Output Current	50	mA
$I_T$	Current through $C_T$ Terminal	5	mA
	Logic Inputs	- 0.3 to + 5.5	V
	Analog Inputs	- 0.3 to $V_i$	V
$P_{tot}$	Total Power Dissipation at $T_{amb} = 70^\circ\text{C}$	1000	mW
$T_j$	Junction Temperature Range	- 55 to 150	$^\circ\text{C}$
$T_{stg}$	Storage Temperature Range	- 65 to 150	$^\circ\text{C}$
$T_{op}$	Operating Ambient Temperature : <b>SG2525A</b> <b>SG3525A</b>	- 25 to 85 0 to 70	$^\circ\text{C}$ $^\circ\text{C}$

### THERMAL DATA

Symbol	Parameter	SO16	DIP16	Unit
$R_{th\ j-pins}$	Thermal Resistance Junction-pins	Max	50	$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{th\ j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max	80	$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{th\ j-alumina}$	Thermal Resistance Junction-alumina (*)	Max	50	$^\circ\text{C}/\text{W}$

\* Thermal resistance junction-alumina with the device soldered on the middle of an alumina supporting substrate measuring  $15 \times 20\text{ mm}$ ;  $0.65\text{ mm}$  thickness with infinite heatsink.

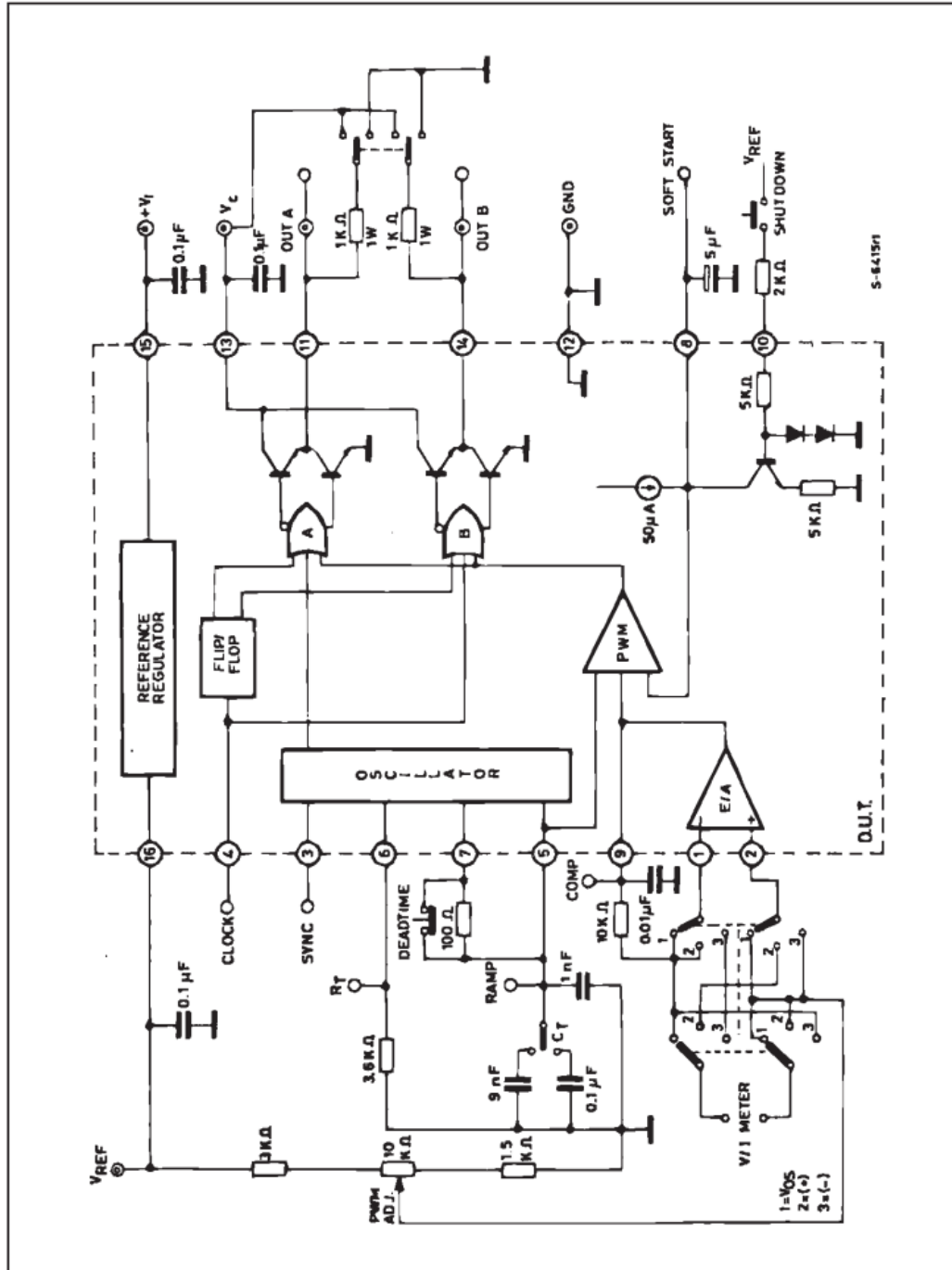
### BLOCK DIAGRAM



**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**(V<sub>i</sub> = 20 V, and over operating temperature, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	SG2525A			SG3525A			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
<b>REFERENCE SECTION</b>									
V <sub>REF</sub>	Output Voltage	T <sub>J</sub> = 25 °C	5.05	5.1	5.15	5	5.1	5.2	V
ΔV <sub>REF</sub>	Line Regulation	V <sub>i</sub> = 8 to 35 V		10	20		10	20	mV
ΔV <sub>REF</sub>	Load Regulation	I <sub>L</sub> = 0 to 20 mA		20	50		20	50	mV
ΔV <sub>REF</sub> /ΔT*	Temp. Stability	Over Operating Range		20	50		20	50	mV
*	Total Output Variation	Line, Load and Temperature	5		5.2	4.95		5.25	V
	Short Circuit Current	V <sub>REF</sub> = 0 T <sub>J</sub> = 25 °C		80	100		80	100	mA
*	Output Noise Voltage	10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz, T <sub>J</sub> = 25 °C		40	200		40	200	μVrms
ΔV <sub>REF</sub> *	Long Term Stability	T <sub>J</sub> = 125 °C, 1000 hrs		20	50		20	50	mV
<b>OSCILLATOR SECTION **</b>									
*, •	Initial Accuracy	T <sub>J</sub> = 25 °C		± 2	± 6		± 2	± 6	%
*, •	Voltage Stability	V <sub>i</sub> = 8 to 35 V		± 0.3	± 1		± 1	± 2	%
Δf/ΔT*	Temperature Stability	Over Operating Range		± 3	± 6		± 3	± 6	%
f <sub>MIN</sub>	Minimum Frequency	R <sub>T</sub> = 200 KΩ C <sub>T</sub> = 0.1 μF			120			120	Hz
f <sub>MAX</sub>	Maximum Frequency	R <sub>T</sub> = 2 KΩ C <sub>T</sub> = 470 pF	400			400			KHz
	Current Mirror	I <sub>RT</sub> = 2 mA	1.7	2	2.2	1.7	2	2.2	mA
*, •	Clock Amplitude		3	3.5		3	3.5		V
*, •	Clock Width	T <sub>J</sub> = 25 °C	0.3	0.5	1	0.3	0.5	1	μs
	Sync Threshold		1.2	2	2.8	1.2	2	2.8	V
	Sync Input Current	Sync Voltage = 3.5 V		1	2.5		1	2.5	mA
<b>ERROR AMPLIFIER SECTION (V<sub>CM</sub> = 5.1 V)</b>									
V <sub>OS</sub>	Input Offset Voltage			0.5	5		2	10	mV
I <sub>b</sub>	Input Bias Current			1	10		1	10	μA
I <sub>os</sub>	Input Offset Current				1			1	μA
	DC Open Loop Gain	R <sub>L</sub> ≥ 10 MΩ	60	75		60	75		dB
*	Gain Bandwidth Product	G <sub>v</sub> = 0 dB T <sub>J</sub> = 25 °C	1	2		1	2		MHz
*, ■	DC Transconduct.	30 KΩ ≤ R <sub>L</sub> ≤ 1 MΩ T <sub>J</sub> = 25 °C	1.1	1.5		1.1	1.5		ms
	Output Low Level			0.2	0.5		0.2	0.5	V
	Output High Level		3.8	5.6		3.8	5.6		V
CMR	Comm. Mode Reject.	V <sub>CM</sub> = 1.5 to 5.2 V	60	75		60	75		dB
PSR	Supply Voltage Rejection	V <sub>i</sub> = 8 to 35 V	50	60		50	60		dB

TEST CIRCUIT



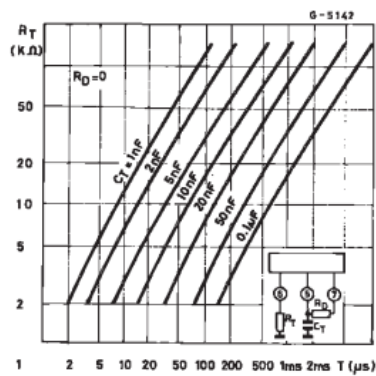
## SG2525A-SG3525A

### RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS (\*)

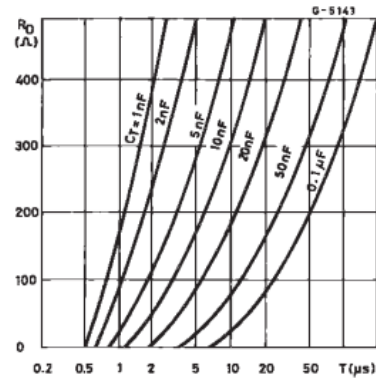
Parameter	Value
Input Voltage ( $V_i$ )	8 to 35 V
Collector Supply Voltage ( $V_c$ )	4.5 to 35 V
Sink/Source Load Current (steady state)	0 to 100 mA
Sink/Source Load Current (peak)	0 to 400 mA
Reference Load Current	0 to 20 mA
Oscillator Frequency Range	100 Hz to 400 KHz
Oscillator Timing Resistor	2 K $\Omega$ to 150 K $\Omega$
Oscillator Timing Capacitor	0.001 $\mu$ F to 0.1 $\mu$ F
Dead Time Resistor Range	0 to 500 $\Omega$

(\*) Range over which the device is functional and parameter limits are guaranteed.

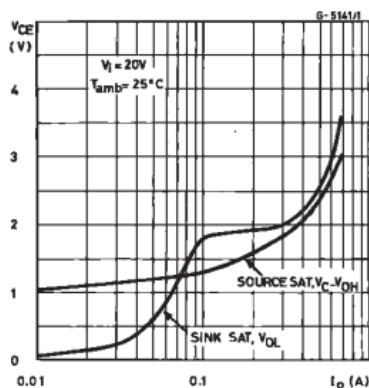
**Figure 1 :** Oscillator Charge Time vs.  $R_T$  and  $C_T$ .



**Figure 2 :** Oscillator Discharge Time vs.  $R_D$  and  $C_T$ .



**Figure 3 :** Output Saturation Characteristics.



**Figure 4 :** Error Amplifier Voltage Gain and Phase vs. Frequency.

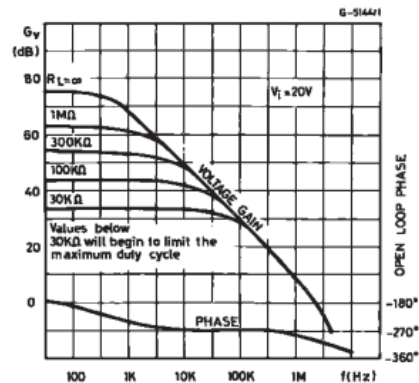
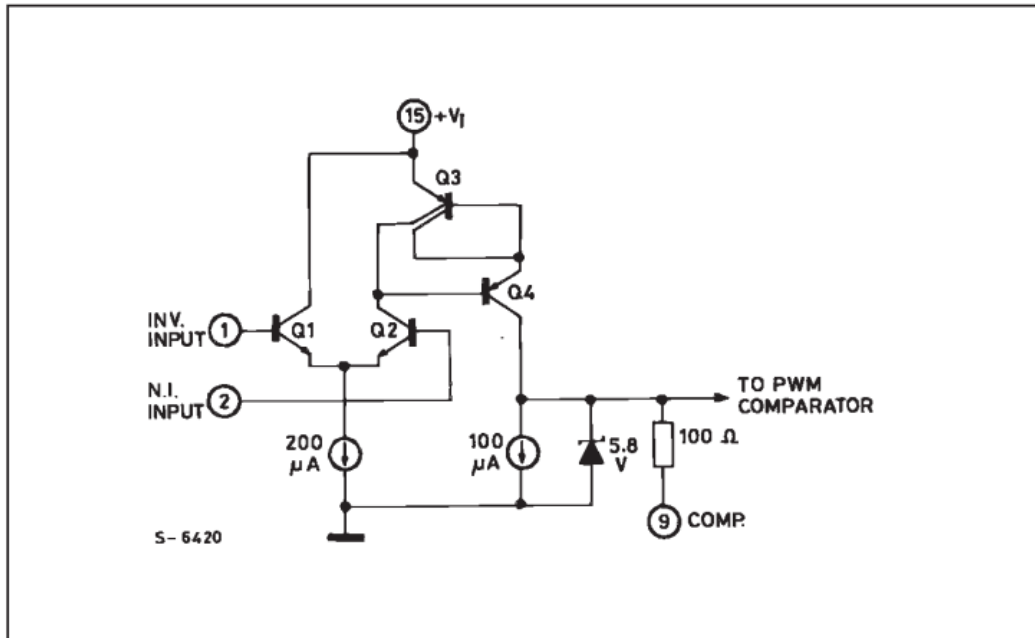


Figure 5 : Error Amplifier.



### PRINCIPLES OF OPERATION

#### SHUTDOWN OPTIONS (see Block Diagram)

Since both the compensation and soft-start terminals (Pins 9 and 8) have current source pull-ups, either can readily accept a pull-down signal which only has to sink a maximum of 100  $\mu\text{A}$  to turn off the outputs. This is subject to the added requirement of discharging whatever external capacitance may be attached to these pins.

An alternate approach is the use of the shutdown circuitry of Pin 10 which has been improved to enhance the available shutdown options. Activating this circuit by applying a positive signal on Pin 10 performs two functions : the PWM latch is immedi-

ately set providing the fastest turn-off signal to the outputs ; and a 150  $\mu\text{A}$  current sink begins to discharge the external soft-start capacitor. If the shutdown command is short, the PWM signal is terminated without significant discharge of the soft-start capacitor, thus, allowing, for example, a convenient implementation of pulse-by-pulse current limiting. Holding Pin 10 high for a longer duration, however, will ultimately discharge this external capacitor, recycling slow turn-on upon release.

Pin 10 should not be left floating as noise pickup could conceivably interrupt normal operation.

SG2525A-SG3525A

Figure 6 : Oscillator Schematic.

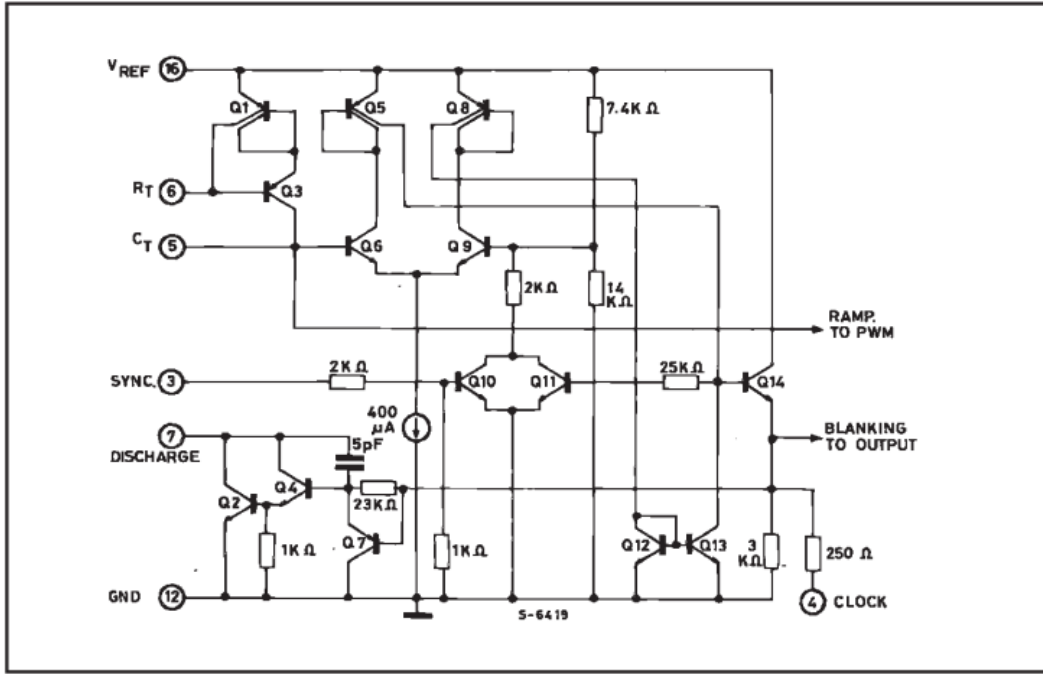


Figure 7 : Output Circuit (1/2 circuit shown).

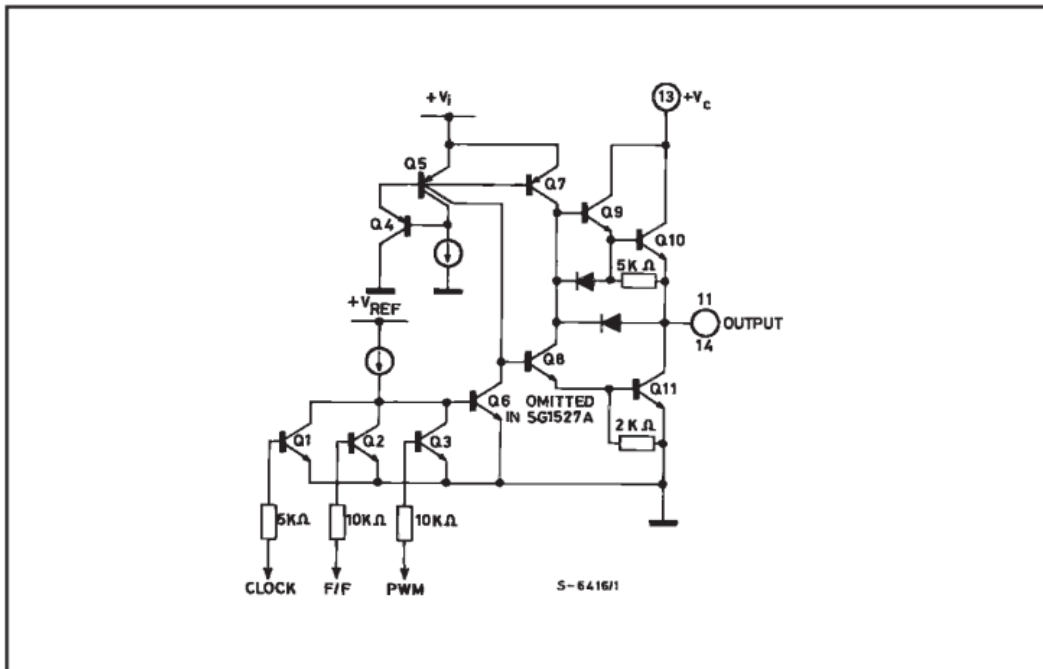
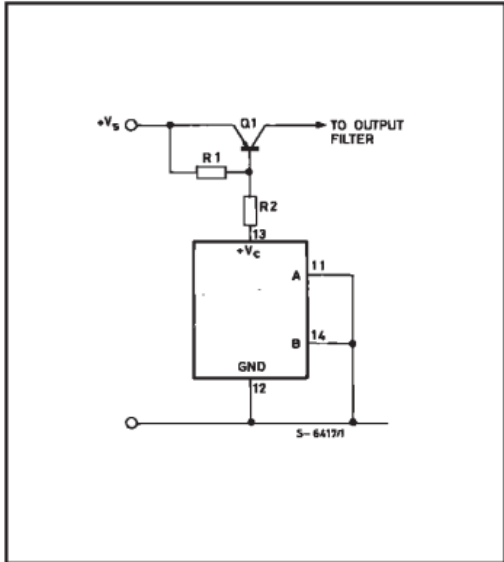
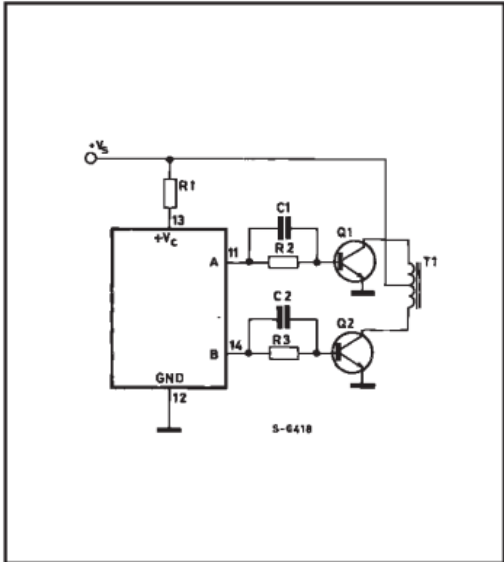


Figure 8.



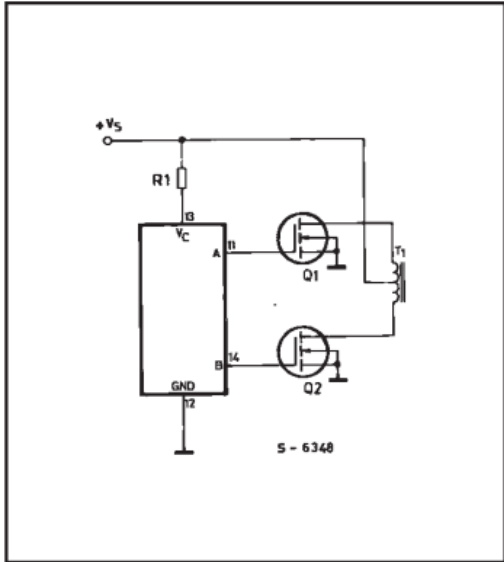
For single-ended supplies, the driver outputs are grounded. The  $V_C$  terminal is switched to ground by the totem-pole source transistors on alternate oscillator cycles.

Figure 9.



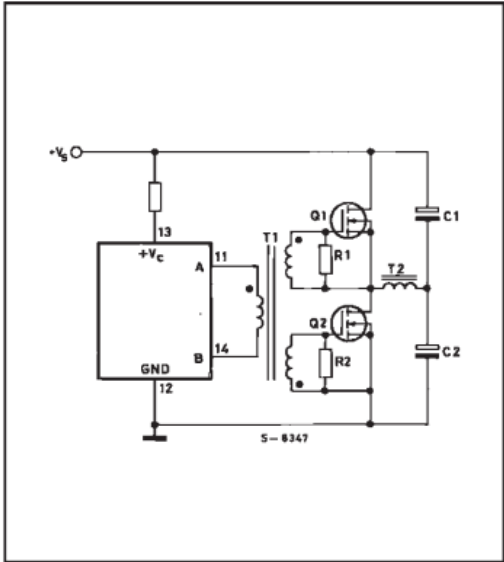
In conventional push-pull bipolar designs, forward base drive is controlled by  $R_1 - R_3$ . Rapid turn-off times for the power devices are achieved with speed-up capacitors  $C_1$  and  $C_2$ .

Figure 10.



The low source impedance of the output drivers provides rapid charging of Power Mos input capacitance while minimizing external components.

Figure 11.



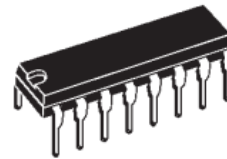
Low power transformers can be driven directly. Automatic reset occurs during dead time, when both ends of the primary winding are switched to ground.



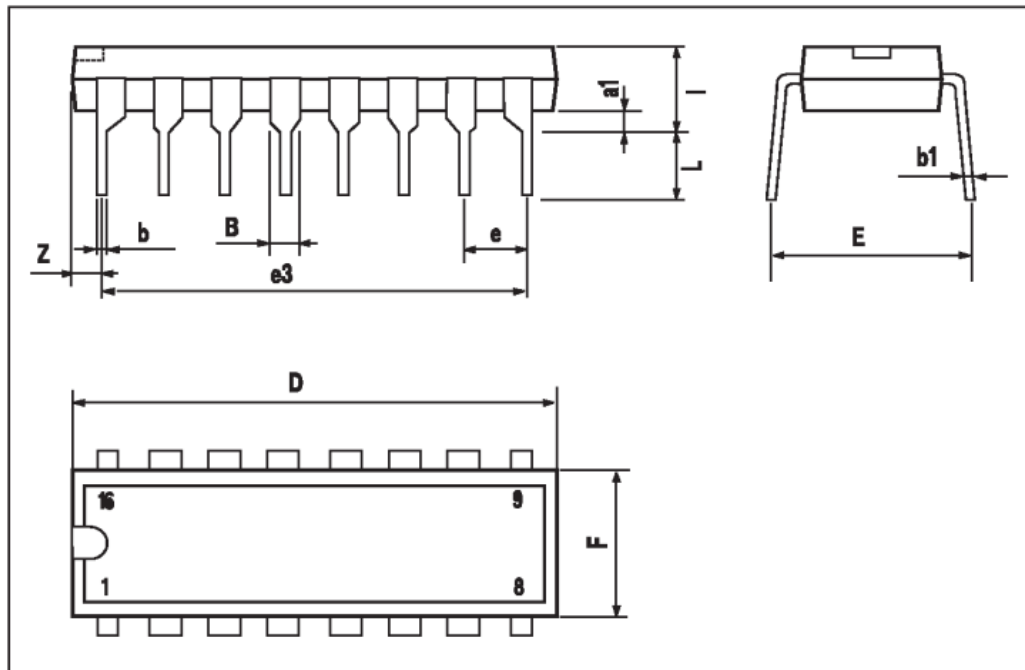
SG2525A-SG3525A

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	0.77		1.65	0.030		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		17.78			0.700	
F			7.1			0.280
I			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z			1.27			0.050

OUTLINE AND  
MECHANICAL DATA

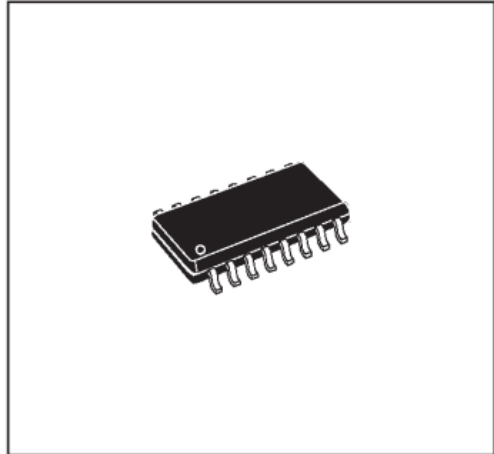


DIP16



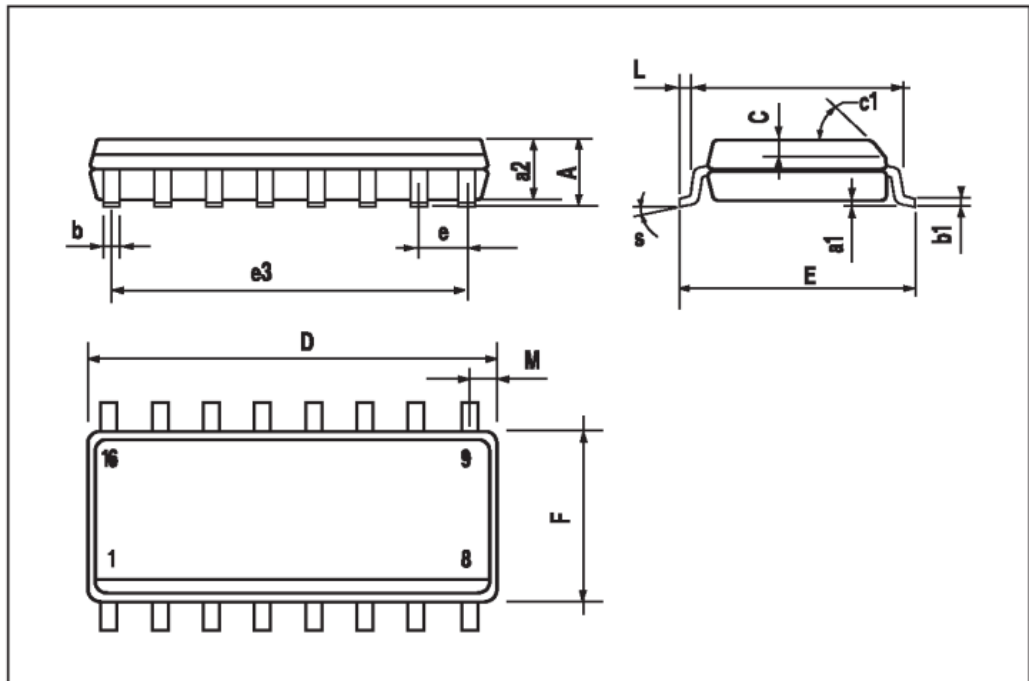
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.009
a2			1.6			0.063
b	0.35		0.46	0.014		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.020	
c1	45° (typ.)					
D (1)	9.8		10	0.386		0.394
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		8.89			0.350	
F (1)	3.8		4	0.150		0.157
G	4.6		5.3	0.181		0.209
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.62			0.024
S	8°(max.)					

**OUTLINE AND MECHANICAL DATA**



**SO16 Narrow**

(1) D and F do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15mm (.006inch).



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics  
© 2000 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved  
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES  
Australia • Brazil • China • Finland • France • Germany • Hong Kong • India • Italy • Japan • Malaysia • Malta • Morocco •  
Singapore • Spain • Sweden • Switzerland • United Kingdom • U.S.A.  
<http://www.st.com>

This datasheet has been downloaded from:

[www.DatasheetCatalog.com](http://www.DatasheetCatalog.com)

Datasheets for electronic components.

**20A, 500V, 0.270 Ohm, N-Channel Power MOSFET**

This N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistor is an advanced power MOSFET designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching convertors, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17465.

**Ordering Information**

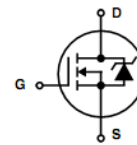
PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRFP460	TO-247	IRFP460

NOTE: When ordering, use the entire part number.

**Features**

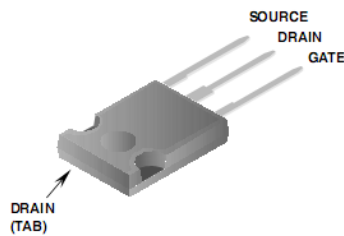
- 20A, 500V
- $r_{DS(ON)} = 0.270\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
  - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

**Symbol**



**Packaging**

JEDEC STYLE TO-247



## IRFP460

### Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

	IRFP460	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1) .....	500	V
Drain to Gate Voltage ( $R_{GS} = 20\text{k}\Omega$ ) (Note 1) .....	500	V
Continuous Drain Current .....	20	A
$T_C = 100^\circ\text{C}$ .....	12	A
Pulsed Drain Current (Note 3) .....	80	A
Gate to Source Voltage .....	$\pm 20$	V
Maximum Power Dissipation .....	250	W
Linear Derating Factor .....	2.0	$\text{W}/^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4) .....	960	mJ
Operating and Storage Temperature .....	-55 to 150	$^\circ\text{C}$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s. ....	300	$^\circ\text{C}$
Package Body for 10s, See Techbrief 334 .....	260	$^\circ\text{C}$

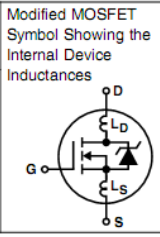
**CAUTION:** Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

**NOTE:**

- $T_J = 25^\circ\text{C}$  to  $T_J = 125^\circ\text{C}$ .

### Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage	$BV_{DSS}$	$I_D = 250\mu\text{A}$ , $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 10)	500	-	-	V
Gate Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}$ , $I_D = 250\mu\text{A}$	2	-	4	V
Zero Gate Voltage Drain Current	$I_{DSS}$	$V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}$ , $V_{GS} = 0\text{V}$	-	-	25	$\mu\text{A}$
		$V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}$ , $V_{GS} = 0\text{V}$ , $T_J = 125^\circ\text{C}$	-	-	250	$\mu\text{A}$
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}$ , $V_{GS} = 10\text{V}$	20	-	-	A
Gate to Source Leakage Current	$I_{GSS}$	$V_{GS} = \pm 20\text{V}$	-	-	$\pm 100$	nA
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	$I_D = 11\text{A}$ , $V_{GS} = 10\text{V}$ (Figures 8, 9)	-	0.24	0.27	$\Omega$
Forward Transconductance (Note 2)	$g_{fs}$	$V_{DS} \geq 50\text{V}$ , $I_{DS} > 11\text{A}$ (Figure 12)	13	19	-	S
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$V_{DD} = 250\text{V}$ , $I_D = 21\text{A}$ , $R_{GS} = 4.3\Omega$ , $R_D = 12\Omega$ , $V_{GS} = 10\text{V}$ MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature	-	23	35	ns
Rise Time	$t_r$		-	81	120	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	85	130	ns
Fall Time	$t_f$		-	65	98	ns
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate-Drain)	$Q_g(\text{TOT})$	$V_{GS} = 10\text{V}$ , $I_D = 21\text{A}$ , $V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}$ , $I_{G(\text{REF})} = 1.5\text{mA}$ (Figure 14). Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature	-	120	190	nC
Gate to Source Charge	$Q_{gs}$		-	18	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	$Q_{gd}$		-	62	-	nC
Input Capacitance	$C_{ISS}$	$V_{DS} = 25\text{V}$ , $V_{GS} = 0\text{V}$ , $f = 1\text{MHz}$ (Figure 10)	-	4100	-	pF
Output Capacitance	$C_{OSS}$		-	480	-	pF
Reverse Transfer Capacitance	$C_{RSS}$		-	84	-	pF
Internal Drain Inductance	$L_D$	Measured from the Drain Lead, 6mm (0.25in) from Package to Center of Die	-	5.0	-	nH
Internal Source Inductance	$L_S$	Measured from the Source Lead, 6mm (0.25in) from Header to Source Bonding Pad	-	13	-	nH
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	0.50	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free Air Operation	-	-	30	$^\circ\text{C}/\text{W}$



## IRFP460

### Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Continuous Source to Drain Current	$I_{SD}$	Modified MOSFET	-	-	20	A
Pulse Source to Drain Current (Note 3)	$I_{SDM}$	Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Rectifier	-	-	80	A
Source to Drain Diode Voltage (Note 2)	$V_{SD}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_{SD} = 21\text{A}$ , $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 13)	-	-	1.8	V
Reverse Recovery Time	$t_{rr}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_{SD} = 21\text{A}$ , $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	280	580	1200	ns
Reverse Recovery Charge	$Q_{RR}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_{SD} = 21\text{A}$ , $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	3.8	8.1	18	$\mu\text{C}$

**NOTES:**

2. Pulse test: pulse width  $\leq 300\mu\text{s}$ , duty cycle  $\leq 2\%$ .
3. Repetitive rating: pulse width limited by Max junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
4.  $V_{DD} = 50\text{V}$ , starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 4.3\text{mH}$ ,  $R_{GS} = 25\Omega$ , Peak  $I_{AS} = 20\text{A}$ .

### Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

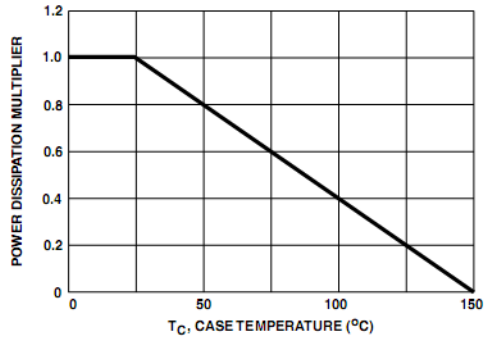


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

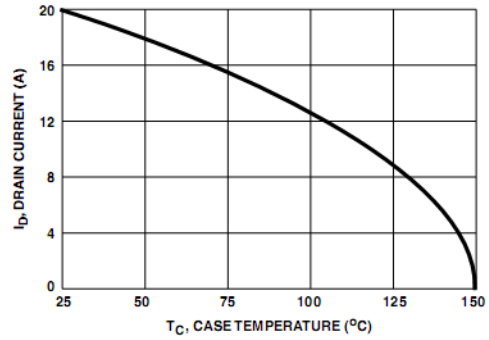


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

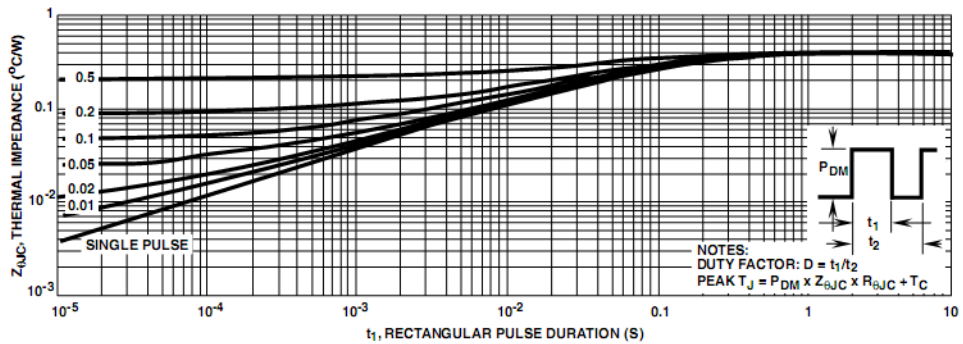


FIGURE 3. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

IRFP460

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

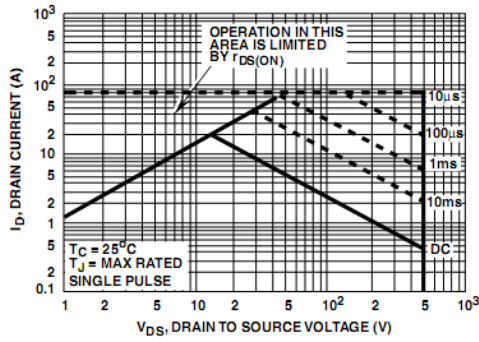


FIGURE 4. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA

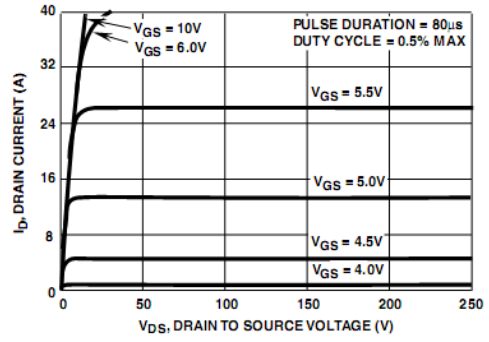


FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS

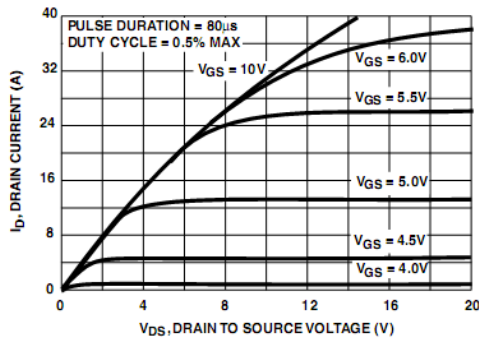


FIGURE 6. SATURATION CHARACTERISTICS

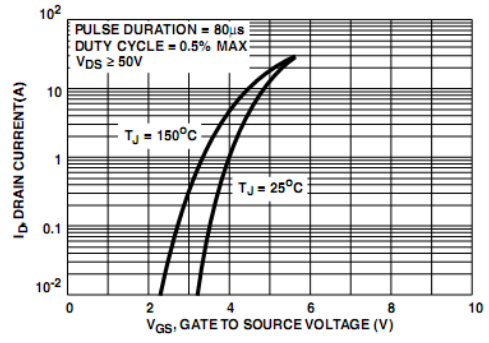


FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS

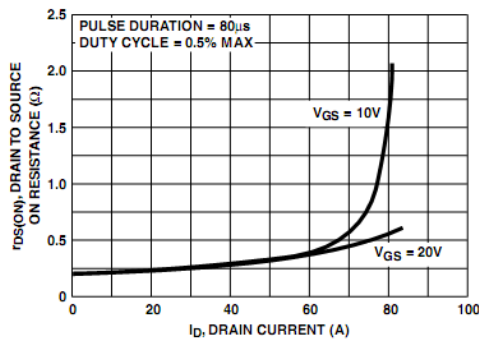


FIGURE 8. DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs GATE VOLTAGE AND DRAIN CURRENT

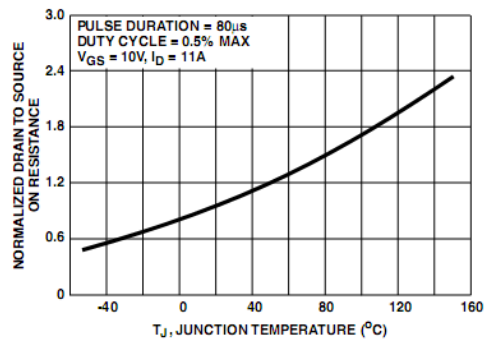


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs JUNCTION TEMPERATURE



IRFP460

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

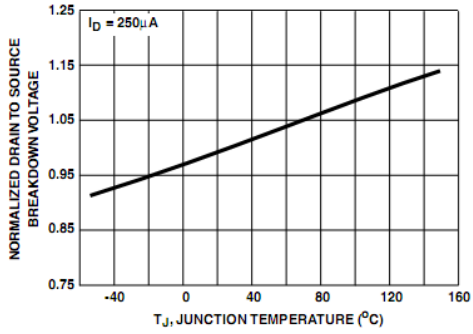


FIGURE 10. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

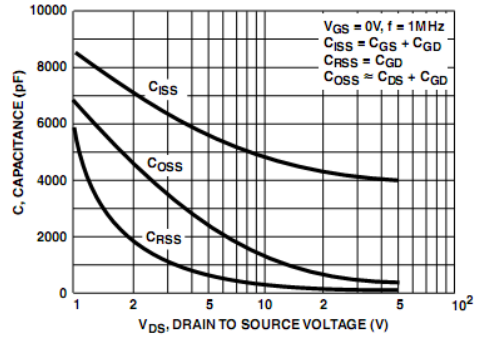


FIGURE 11. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE

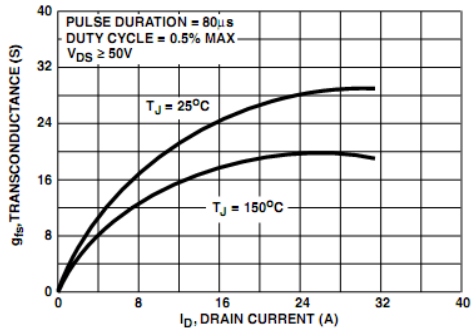


FIGURE 12. TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

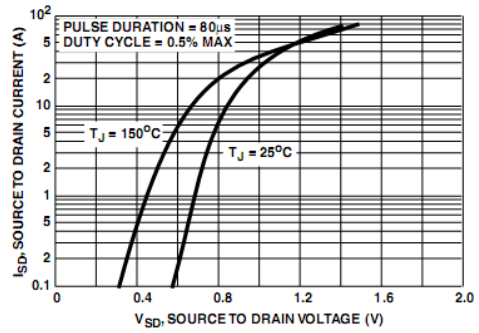


FIGURE 13. SOURCE TO DRAIN DIODE VOLTAGE

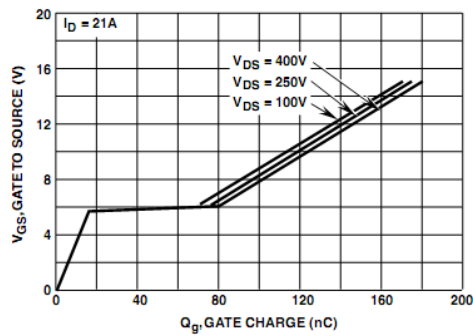


FIGURE 14. GATE TO SOURCE VOLTAGE vs GATE CHARGE

Test Circuits and Waveforms

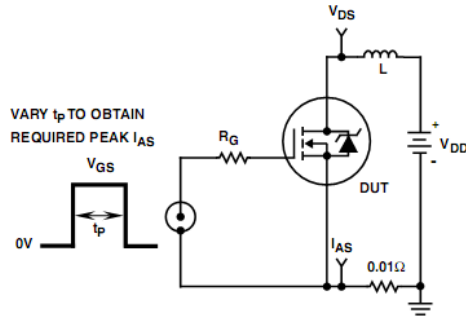


FIGURE 15. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

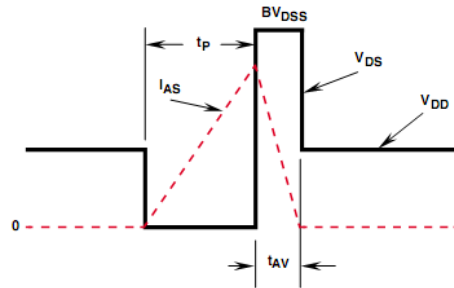


FIGURE 16. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

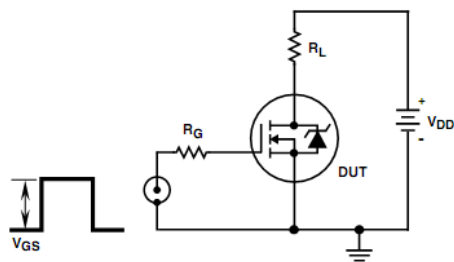


FIGURE 17. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

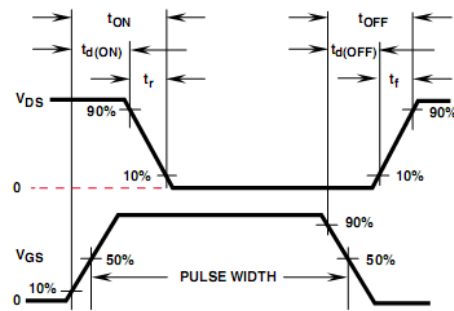


FIGURE 18. RESISTIVE SWITCHING WAVEFORMS

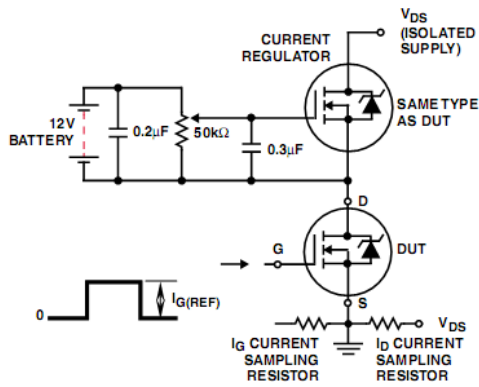


FIGURE 19. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

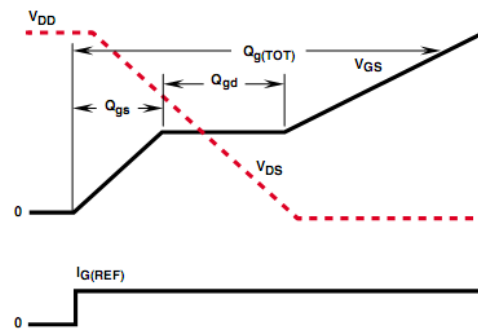


FIGURE 20. GATE CHARGE WAVEFORMS

## TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE <sub>x</sub> <sup>™</sup>	FAST <sup>®</sup>	OPTOLOGIC <sup>™</sup>	SMART START <sup>™</sup>	VCX <sup>™</sup>
Bottomless <sup>™</sup>	FAST <sub>r</sub> <sup>™</sup>	OPTOPLANAR <sup>™</sup>	STAR*POWER <sup>™</sup>	
CoolFET <sup>™</sup>	FRFET <sup>™</sup>	PACMAN <sup>™</sup>	Stealth <sup>™</sup>	
CROSSVOLT <sup>™</sup>	GlobalOptoisolator <sup>™</sup>	POP <sup>™</sup>	SuperSOT <sup>™</sup> -3	
DenseTrench <sup>™</sup>	GTO <sup>™</sup>	Power247 <sup>™</sup>	SuperSOT <sup>™</sup> -6	
DO <sub>M</sub> E <sup>™</sup>	HiSeC <sup>™</sup>	PowerTrench <sup>®</sup>	SuperSOT <sup>™</sup> -8	
EcoSPARK <sup>™</sup>	ISOPLANAR <sup>™</sup>	QFET <sup>™</sup>	SyncFET <sup>™</sup>	
E <sup>2</sup> CMOS <sup>™</sup>	LittleFET <sup>™</sup>	QS <sup>™</sup>	TinyLogic <sup>™</sup>	
EnSigna <sup>™</sup>	MicroFET <sup>™</sup>	QT Optoelectronics <sup>™</sup>	TruTranslation <sup>™</sup>	
FACT <sup>™</sup>	MicroPak <sup>™</sup>	Quiet Series <sup>™</sup>	UHC <sup>™</sup>	
FACT Quiet Series <sup>™</sup>	MICROWIRE <sup>™</sup>	SILENT SWITCHER <sup>®</sup>	UltraFET <sup>®</sup>	

STAR\*POWER is used under license

## DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

## LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

## PRODUCT STATUS DEFINITIONS

### Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

This datasheet has been download from:

[www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com)

Datasheets for electronics components.

# TLP250

Transistor Inverter  
 Inverter For Air Conditioner  
 IGBT Gate Drive  
 Power MOS FET Gate Drive

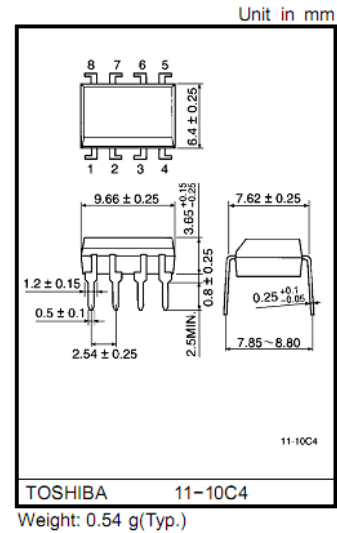
The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.  
 This unit is 8-lead DIP package.  
 TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current:  $I_F=5\text{mA}(\text{max.})$
- Supply current ( $I_{CC}$ ):  $11\text{mA}(\text{max.})$
- Supply voltage ( $V_{CC}$ ):  $10\text{--}35\text{V}$
- Output current ( $I_O$ ):  $\pm 1.5\text{A}(\text{max.})$
- Switching time ( $t_{pLH}/t_{pHL}$ ):  $0.5\mu\text{s}(\text{max.})$
- Isolation voltage:  $2500V_{RMS}(\text{min.})$
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option(D4)  
 VDE Approved : DIN EN60747-5-2  
 Maximum Operating Insulation Voltage :  $890V_{PK}$   
 Highest Permissible Over Voltage :  $4000V_{PK}$

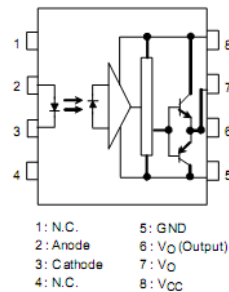
**(Note):When a EN60747-5-2 approved type is needed, Please designate "Option(D4)"**

**Truth Table**

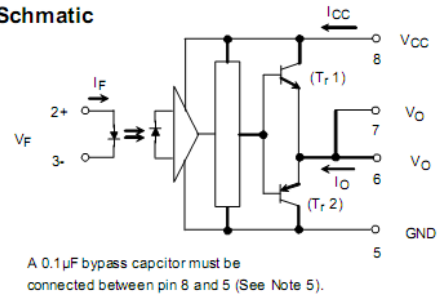
		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On



**Pin Configuration (top view)**



**Schematic**



**Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)**

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	$I_F$	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	$I_{FPT}$	1	A	
	Reverse voltage	$V_R$	5	V	
	Junction temperature	$T_J$	125	°C	
Detector	"H" peak output current ( $P_{WV} \leq 2.5\mu s, f \leq 15kHz$ ) (Note 2)	$I_{OPH}$	-1.5	A	
	"L" peak output current ( $P_{WV} \leq 2.5\mu s, f \leq 15kHz$ ) (Note 2)	$I_{OPL}$	+1.5	A	
	Output voltage	$V_O$	(Ta ≤ 70°C)	35	V
			(Ta = 85°C)	24	
	Supply voltage	$V_{CC}$	(Ta ≤ 70°C)	35	V
			(Ta = 85°C)	24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Junction temperature	$T_J$	125	°C	
Operating frequency (Note 3)	$f$	25	kHz		
Operating temperature range	$T_{opr}$	-20~85			°C
Storage temperature range	$T_{stg}$	-55~125			°C
Lead soldering temperature (10 s)	$T_{sol}$	260	°C		
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. ≤ 60%) (Note 4)	$BV_S$	2500	Vrms		

Note: Using continuously under heavy loads (e.g. the application of high temperature/current/voltage and the significant change in temperature, etc.) may cause this product to decrease in the reliability significantly even if the operating conditions (i.e. operating temperature/current/voltage, etc.) are within the absolute maximum ratings.

Please design the appropriate reliability upon reviewing the Toshiba Semiconductor Reliability Handbook ("Handling Precautions"/"Derating Concept and Methods") and individual reliability data (i.e. reliability test report and estimated failure rate, etc).

Note 1: Pulse width  $P_{WV} \leq 1\mu s$ , 300pps

Note 2: Exponential waveform

Note 3: Exponential waveform,  $I_{OPH} \leq -1.0A$  ( $\leq 2.5\mu s$ ),  $I_{OPL} \leq +1.0A$  ( $\leq 2.5\mu s$ )

Note 4: Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Note 5: A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

**Recommended Operating Conditions**

Characteristic	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Input current, on (Note6)	$I_{F(ON)}$	7	8	10	mA
Input voltage, off	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8	V
Supply voltage	$V_{CC}$	15	—	30   20	V
Peak output current	$I_{OPH}/I_{OPL}$	—	—	±0.5	A
Operating temperature	$T_{opr}$	-20	25	70   85	°C

Note: Recommended operating conditions are given as a design guideline to obtain expected performance of the device. Additionally, each item is an independent guideline respectively. In developing designs using this product, please confirm specified characteristics shown in this document.

Note 6: Input signal rise time(fall time)<0.5μs.

**Electrical Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)**

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min	Typ.*	Max	Unit
Input forward voltage		$V_F$	—	$I_F = 10 \text{ mA}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		$\Delta V_F / \Delta T_a$	—	$I_F = 10 \text{ mA}$	—	-2.0	—	mV / °C
Input reverse current		$I_R$	—	$V_R = 5\text{V}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	—	10	$\mu\text{A}$
Input capacitance		$C_T$	—	$V = 0$ , $f = 1\text{MHz}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	45	250	pF
Output current	"H" level	$I_{OPH}$	1	$V_{CC} = 30\text{V}$ (*1)	$I_F = 10 \text{ mA}$ $V_{8-6} = 4\text{V}$	-0.5	-1.5	—
	"L" level	$I_{OPL}$	2		$I_F = 0$ $V_{8-5} = 2.5\text{V}$	0.5	2	—
Output voltage	"H" level	$V_{OH}$	3	$V_{CC1} = +15\text{V}$ , $V_{EE1} = -15\text{V}$ $R_L = 200\Omega$ , $I_F = 5\text{mA}$	11	12.8	—	V
	"L" level	$V_{OL}$	4	$V_{CC1} = +15\text{V}$ , $V_{EE1} = -15\text{V}$ $R_L = 200\Omega$ , $V_F = 0.8\text{V}$	—	-14.2	-12.5	
Supply current	"H" level	$I_{CCH}$	—	$V_{CC} = 30\text{V}$ , $I_F = 10\text{mA}$ $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	7	—	mA
				$V_{CC} = 30\text{V}$ , $I_F = 10\text{mA}$	—	—	11	
	"L" level	$I_{CCL}$	—	$V_{CC} = 30\text{V}$ , $I_F = 0\text{mA}$ $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	7.5	—	
				$V_{CC} = 30\text{V}$ , $I_F = 0\text{mA}$	—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	$I_{FLH}$	—	$V_{CC1} = +15\text{V}$ , $V_{EE1} = -15\text{V}$ $R_L = 200\Omega$ , $V_O > 0\text{V}$	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	$V_{FHL}$	—	$V_{CC1} = +15\text{V}$ , $V_{EE1} = -15\text{V}$ $R_L = 200\Omega$ , $V_O < 0\text{V}$	0.8	—	—	V
Supply voltage		$V_{CC}$	—		10	—	35	V
Capacitance (input-output)		$C_S$	—	$V_S = 0$ , $f = 1\text{MHz}$ $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	1.0	2.0	pF
Resistance (input-output)		$R_S$	—	$V_S = 500\text{V}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$ $R.H. \leq 60\%$	$1 \times 10^{12}$	$10^{14}$	—	$\Omega$

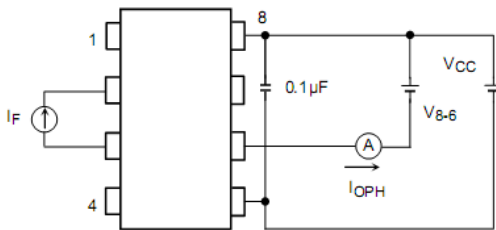
\* All typical values are at  $T_a = 25^\circ\text{C}$  (\*1): Duration of  $I_O$  time  $\leq 50\mu\text{s}$

**Switching Characteristics (Ta = -20~70°C , unless otherwise specified)**

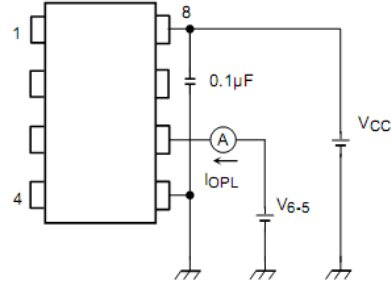
Characteristic	Symbol	Test Cir-cuit	Test Condition	Min	Typ.*	Max	Unit
Propagation delay time	L→H	$t_{pLH}$	$I_F = 8mA$ $V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = -15V$ $R_L = 200\Omega$	—	0.15	0.5	$\mu s$
	H→L	$t_{pHL}$		—	0.15	0.5	
Output rise time	$t_r$	5		—	—	—	
Output fall time	$t_f$			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output	$C_{MH}$	6	$V_{CM} = 600V, I_F = 8mA$ $V_{CC} = 30V, T_a = 25^\circ C$	-5000	—	—	$V / \mu s$
Common mode transient immunity at low level output	$C_{ML}$		$V_{CM} = 600V, I_F = 0mA$ $V_{CC} = 30V, T_a = 25^\circ C$	5000	—	—	$V / \mu s$

All typical values are at Ta = 25°C

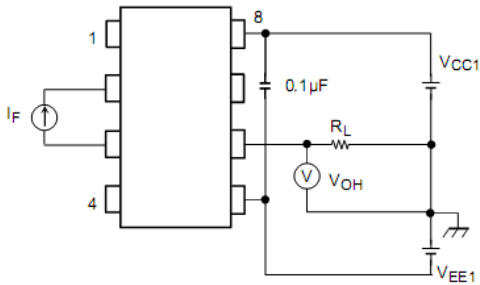
Test Circuit 1 :  $I_{OPH}$



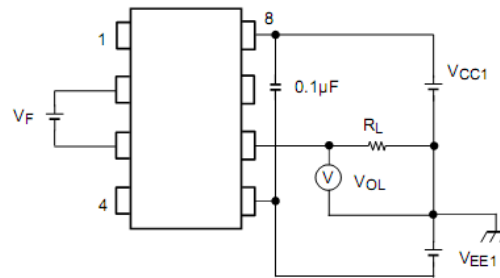
Test Circuit 2 :  $I_{OPL}$



Test Circuit 3 :  $V_{OH}$

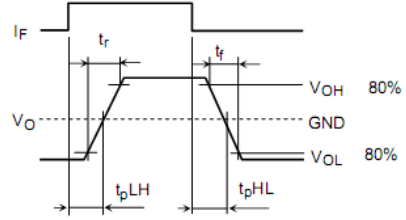
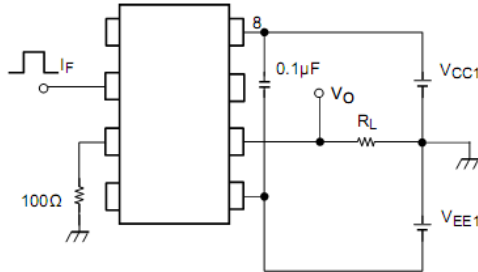


Test Circuit 4 :  $V_{OL}$

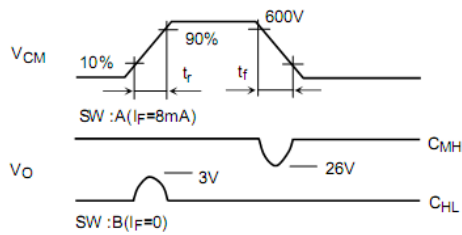
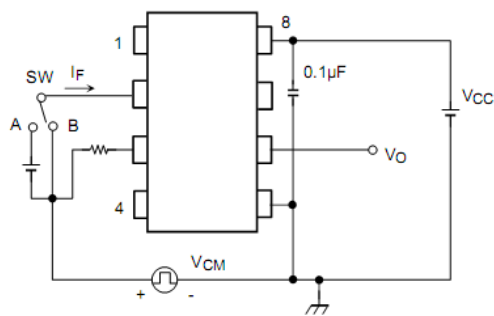




Test Circuit 5:  $t_{pLH}$ ,  $t_{pHL}$ ,  $t_r$ ,  $t_f$



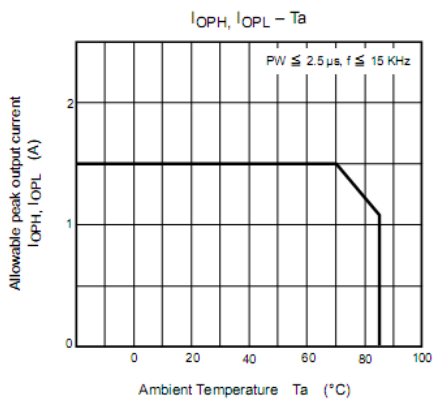
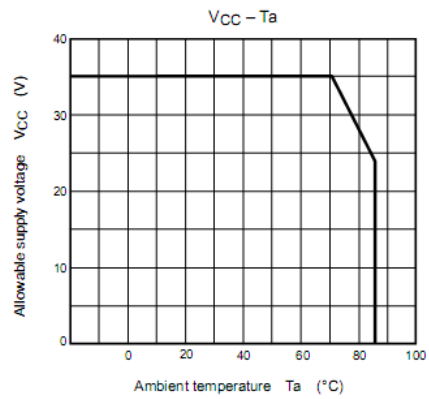
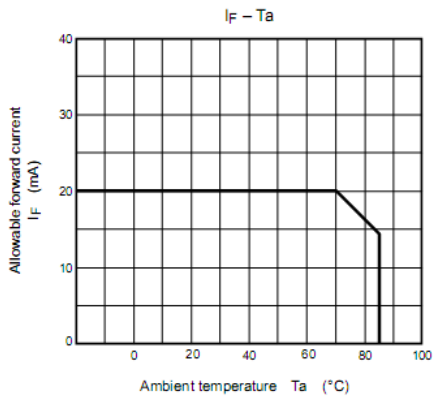
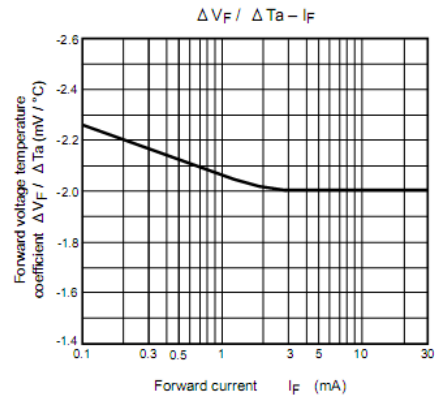
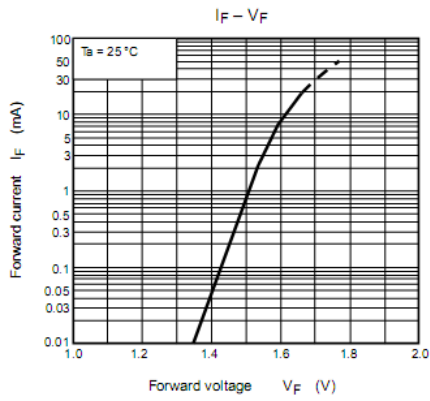
Test Circuit 6:  $C_{MH}$ ,  $C_{ML}$



$$C_{ML} = \frac{480 (V)}{t_r (\mu s)}$$

$$C_{MH} = \frac{480 (V)}{t_f (\mu s)}$$

$C_{ML}(C_{MH})$  is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.



**RESTRICTIONS ON PRODUCT USE**

20070701-EN

- The information contained herein is subject to change without notice.
- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property.  
In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" etc.
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronics applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage include atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc.. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- The products described in this document shall not be used or embedded to any downstream products of which manufacture, use and/or sale are prohibited under any applicable laws and regulations.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA for any infringements of patents or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patents or other rights of TOSHIBA or the third parties.
- GaAs(Gallium Arsenide) is used in this product. The dust or vapor is harmful to the human body. Do not break, cut, crush or dissolve chemically.
- Please contact your sales representative for product-by-product details in this document regarding RoHS compatibility. Please use these products in this document in compliance with all applicable laws and regulations that regulate the inclusion or use of controlled substances. Toshiba assumes no liability for damage or losses occurring as a result of noncompliance with applicable laws and regulations.