



## ใบความรู้เสริมขั้นสูง: ผ่าวงจรเจาะลึก การเดินทางของกระแสไฟฟ้า (Advanced Circuit Analysis)



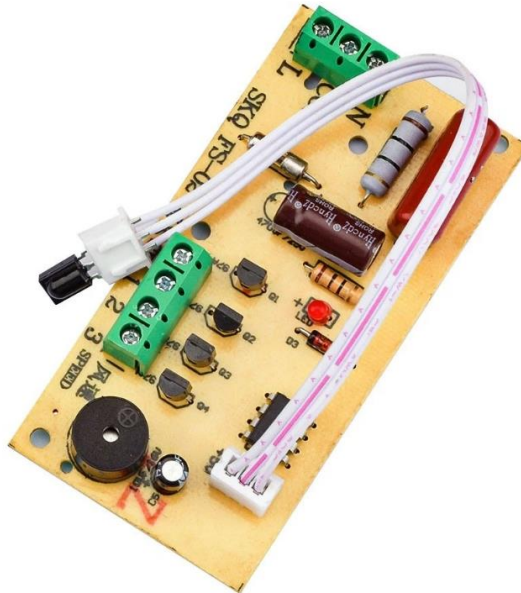
รายวิชา: อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร

หัวข้อ: ทฤษฎีการทำงานของ Transformerless Power Supply และ TRIAC Switching



### สถานีที่ 1: การลดแรงดันไฟฟ้าด้วยรีแอคแตนซ์ (Capacitive Dropper) ⚡

ในระบบที่ไม่มีหม้อแปลง การดรอปปิง 220V AC จะใช้เทคนิคที่เรียกว่า Capacitive Dropper ซึ่งประกอบด้วยอะไหล่ 3 ตัวหลักทำงานร่วมกัน:



**คำอธิบายภาพ:** มุมมองด้านบนบอร์ด จะเห็นฮีโร่หลักของภาคจ่ายไฟ คือ C-Drop (ตัวสีแดง) และ R-Bleed ที่ทำหน้าที่จัดการกับไฟ 220V ในด้านแรก



#### 1. R-Limit (ตัวต้านทานจำกัดกระแสกระชาก):

- **สเปคทั่วไป:** 47 ถึง 100 โอห์ม (ทนกำลังวัตต์ 1W หรือ 2W)
- **หน้าที่เชิงลึก:** เสียวินาทีแรกที่เรเสียบปลั๊ก ตัวเก็บประจุจะยังมีสถานะเหมือน "ลัดวงจร (Short)" กระแสไฟกระชาก (Inrush Current) จะพุ่งสูงมาก R-Limit จะทำหน้าที่เป็นกันชนรับแรงกระแทกนี้ไว้เพื่อไม่ให้วงจรพัง และยังทำหน้าที่เป็นเหมือน "ฟิวส์" ในตัว หากวงจรช็อตหนัก R ตัวนี้จะไหม้ขาดเพื่อตัดกระแสไฟ



#### 2. C-Drop (ตัวเก็บประจุลดแรงดัน):

- **สเปคทั่วไป:** 1.0uF ถึง 1.5uF 400V (ชนิด Metallized Polyester Film ตัวสีแดง)
- **หน้าที่เชิงลึก:** ทำหน้าที่เหมือนตัวต้านทานขนาดใหญ่ แต่ใช้คุณสมบัติ "ค่าความต้านทานเชิงความจุ" (Capacitive Reactance) ซึ่งคำนวณได้จากสูตร:

$$X_c = 1 / (2 \times \pi \times f \times C)$$

(โดยที่  $\pi$  คือ 3.14,  $f$  คือความถี่ไฟฟ้าบ้าน 50Hz,  $C$  คือค่าความจุฟารัด)

(ตัวอย่าง: หากใช้  $C$  ขนาด 1uF ในระบบไฟฟ้าบ้าน 50Hz เมื่อกดเครื่องคิดเลข จะมีค่าต้านกระแสไฟสลั้อยู่ที่ประมาณ 3,183 โอห์ม)

- **ข้อดี:** การใช้  $C$  ดรอปปิง จะไม่เกิดความร้อนสะสมเหมือนการใช้ตัวต้านทาน (Resistor) โดยตรง เพราะไม่ได้เผาผลาญพลังงานทั้งเป็นความร้อน



#### 3. R-Bleed (ตัวต้านทานคายประจุ):

- **สเปคทั่วไป:** 470k ถึง 1M โอห์ม (ต่อขนานคร่อม C-Drop ไว้)
- **หน้าที่เชิงลึก:** เมื่อเราถอดปลั๊ก ไฟ 220V จะยังค้างอยู่ใน C-Drop หากช่างไปเผลอจับขาปลั๊กจะถูกไฟดูดเสดุ้งได้ R-Bleed จะทำหน้าที่ค่อยๆ ดูดกระแสไฟที่ค้างอยู่มาเผาทิ้งให้หมดภายใน 1 ถึง 2 วินาที เพื่อความปลอดภัย

## 🔧 สถานีที่ 2: การแปลงกระแสและลือกแรงดัน (Rectification & Regulation) 📌

กระแสไฟ AC ที่ถูกจำกัดกระแสจนอ่อนแรงลงแล้ว จะเข้าสู่กระบวนการสร้างไฟ DC 5V:

### 🚦 1. D1 (ไดโอดเรกติไฟเออร์):

- **สเปคทั่วไป:** เบอร์ 1N4007
- **หน้าที่เชิงลึก:** ทำการเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half-Wave Rectification) ยอมให้ไฟไหลผ่านได้ทางเดียว ตัดซิกคลื่นไฟสลับทิ้งไปครึ่งหนึ่ง ทำให้ได้กระแสไฟตรงแบบกระเพื่อมๆ

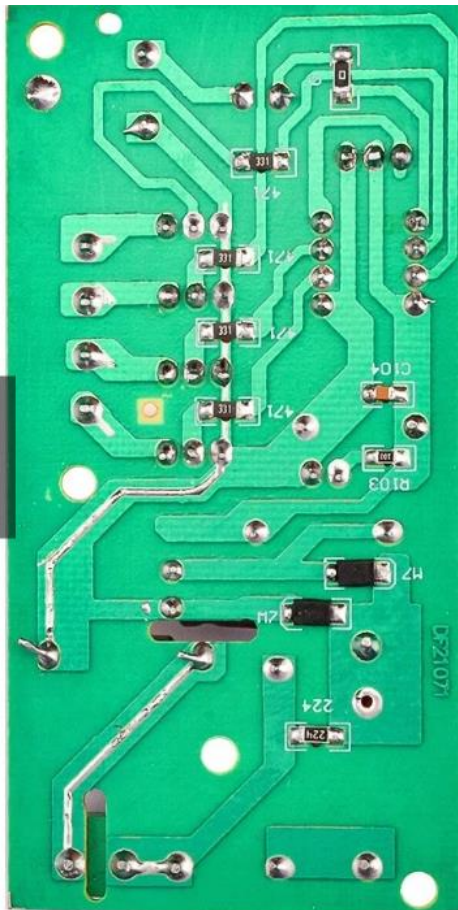
### 🔴 2. ZD1 (ซีเนอร์ไดโอด):

- **สเปคทั่วไป:** 5.1V 1W (เบอร์ 1N4733A)
- **หน้าที่เชิงลึก:** เป็นหัวใจสำคัญในการ "ลือกแรงดัน" มันจะถูกต่อแบบไบอัสกลับ (Reverse Bias) เมื่อแรงดันไฟเกิน 5.1V โครงสร้างของมันจะพังทลาย ยอมให้กระแสที่เกินมาไหลทิ้งลงเส้นกราวด์ (GND) ทำให้แรงดันที่คร่อมตัวมันนิ่งอยู่ที่ 5.1V เสมอ เพื่อปกป้องสมองกล

### 📊 3. C-Filter (ตัวเก็บประจุกรองกระแส):

- **สเปคทั่วไป:** 470uF 16V (ชนิด Electrolytic ตัวกระบอกกลม)
- **หน้าที่เชิงลึก:** ไฟ 5V ที่ผ่านซีเนอร์มายังมีรอยหยัก ตัว C-Filter จะทำหน้าที่ชาร์จประจุเก็บไว้ และจ่ายออกไปชดเชยในช่วงที่ไฟตก ทำให้เส้นกราฟไฟ DC 5V ราบเรียบเนียนสนิท

## 💡 สถานีที่ 3: การประมวลผลของสมองกล (MCU & IR Demodulation) 📡



💡 **คำอธิบายภาพ:** ด้านหลังบอร์ดเป็นลายปริ้นท์เชื่อมต่อวงจร (PCB Traces)

และรีโมทคอนโทรลที่ใช้สัญญาณแสงอินฟราเรดความถี่สูงไปสั่งงานไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์

### 🎯 1. IR Receiver (โมดูลรับสัญญาณอินฟราเรด):

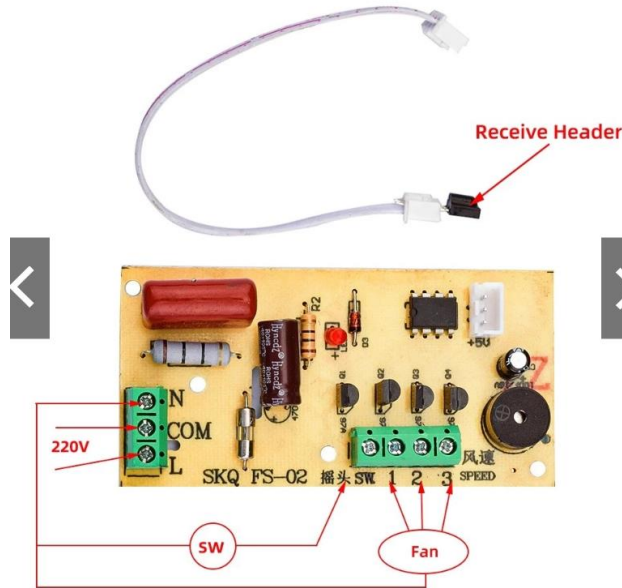
- **หน้าที่เชิงลึก:** แสงอินฟราเรดจากรีโมทจะถูกสับกระพริบด้วยความถี่สูงถึง 38,000 ครั้งต่อวินาที (38kHz) เพื่อป้องกันแสงไฟรบกวน ตัวรับสัญญาณจะกรองเฉพาะความถี่นี้ ลอกเปลือกคลื่นออก ให้เหลือเพียงรหัสดิจิทัล (0 และ 1) ส่งเข้าไอซี

## 2. MCU (ไมโครคอนโทรลเลอร์):

- **หน้าที่เชิงลึก:** ไอซีจะนำรหัส 0 และ 1 มาเทียบกับคำสั่ง (เช่น เบอร์ 1, 2, 3) จากนั้นจะปล่อยแรงดันไฟ +5V ออกไปทางขา Output เพื่อไปสั่งงานสวิตช์

## 🔧 สถานีที่ 4: กลไกการจุดชนวนไตรแอด (TRIAC Gate Triggering) 🖨️

นี่คือจุดที่กระแสไฟต่ำ 5V ข้ามไปคุมไฟบ้าน 220V:



💡 **คำอธิบายภาพ:** ไตรแอด (ตัวสีดำ 3 ขา) ที่เรียงกันอยู่ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ รอร์บคำสั่งจากไอซีเพื่อปล่อยไฟ 220V ออกไปยังขั้วเทอร์มินอลพัดลมเบอร์ต่างๆ

## 🔧 1. โครงสร้างของ TRIAC (เช่นเบอร์ MAC97A8):

- มี 3 ขา คือ MT1 (Main Terminal 1), MT2 (Main Terminal 2) และ Gate (ขาเกต)
- การที่ไฟ 220V จะทะลุจาก MT2 ไป MT1 ได้ สวิตช์ภายในต้องถูก "เปิด" ด้วยการกระตุ้นที่ขา Gate

## 🔥 2. จังหวะการทริกเกอร์ (Triggering Action):

- ไอซีสมองกล จะส่งกระแสไฟตรง (DC) อ่อนๆ ประมาณ 5 ถึง 10 มิลลิแอมป์ วิ่งเข้าไปที่ขา Gate
- กระแสเพียงนิดเดียวนี้นำไปสู่ปฏิกิริยาถูกใช้ภายในรอยต่อสารกึ่งตัวนำ ทำให้ตัวมันสูญเสียความเป็นฉนวนและ "นำกระแสอย่างสมบูรณ์" ยอมให้ไฟบ้าน 220V วิ่งทะลุไปหามอเตอร์

## 🔄 3. พฤติกรรมในระบบไฟสลับ (Zero-Crossing Behavior):

- สิ่งที่เราต้องรู้คือ TRIAC เมื่อถูกทริกเกอร์แล้ว มันจะค้างสถานะนำกระแสไปตลอด แม้เราจะหยุดจ่ายไฟที่ขา Gate ไปแล้วก็ตาม!
- แต่มันจะหยุดทำงาน (ปิดตัวเอง) ก็ต่อเมื่อ แรงดันไฟฟ้าบ้านตกลงมาเหลือ 0 โวลต์ (เกิดจุดแรงดันตก 0 โวลต์ จำนวน 100 ครั้งใน 1 วินาที สำหรับไฟบ้าน 50Hz)
- ดังนั้น ตลอดเวลาที่พัดลมหมุน ไอซีจะต้องเขียนโปรแกรมให้ส่งไฟ 5V แห่ค้างไว้ที่ขา Gate ตลอดเวลา เพื่อให้ทุกๆ ครั้งที่ไฟบ้านสวิงผ่าน 0 โวลต์แล้วไตรแอดดับ มันจะถูกเตะให้ติดขึ้นมาใหม่ทันทีอย่างต่อเนื่องนั่นเอง