

職業訓練教材  
真-解題-特色-  
MOSFET

編號：PEN-PET0603

編者：賴世雄

審稿者：唐錫惠

主辦單位：行政院勞工委員會職業訓練局

刊製單位：中華人民職業訓練研究發展中心

印製日期：九十一年一月

## 單元 PEN-PET0603 學習指引

在你學習本單元之前，你應該先了解 PN 半導體、電晶體的特性，並且對三用電表（或稱萬用電表）、電源供應器、信號產生器及示波器有著基本操作的認識。

如果你自認自己的程度尚可的話，請翻到下一頁開始學習。但如果你認為自己仍有不夠熟悉之處，請將本教材放回原位，並取出編號 PEB0140（辨認及選用場效電晶體）、PEB0407（使用示波器觀察電路波形）、PEB0408（使用示波器測量波形電壓）、PEB0409（使用示波器測量波形頻率）、PEB0410（使用示波器觀測波形相位）、PEB0411（使用電源供應器以提供電子電路適當電源）及 PEB0414（使用函數信號產生器檢修電路）教材開始學習，或是請教你的老師。

## 引言

電力電子技術是結合功率半導體元件的開關控制電路、拓樸結構的設計與系統控制的一門綜合性科目。其目的就是利用功率半導體元件對電源加以轉換與控制，以符合各種負載的需求。近年來，電力電子技術的進步得以實現，元件的快速發展乃是主要的關鍵。

目前電源供應所需的電壓，不斷地下降，如 CPU 用電源約 2~3V，如果使用傳統的二極體整流，則效率較低；因此，以 BJT 或 MOSFET 來取代，利用 BJT 的低飽和導通電壓  $V_{CE(SAT)}$  與 MOSFET 的低導通電阻  $R_{DS(ON)}$  來完成，故從事電力電子相關技術的研究與產品的開發設計工程師，都必須能夠對這些元件的特性做深入的瞭解，方能掌握電路的現象與控制。如此，才能設計出符合客戶要求的電路特性與規格。

本單元將讓你實習 MOSFET 功率半導體元件，並使你學會這些電力電子元件的特性，以作為設計電力電子電路時，所需的開關元件之選擇。

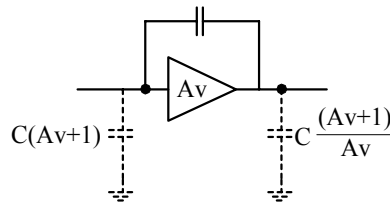
## 定義

### 寄生現象：

- (一) 所謂的寄生 (Parasitic)，是指由於某些不期望的原因，如溫度或組成的不均等，在電路中引起的信號 (如電流)。
- (二) 也可以指在電子電路中，不期望的高頻或低頻信號。

### 密勒效應 (Miller Effect)：

- (一) 由於汲極經由汲閘極電容，將電荷感應至閘極上，使得 MOSFET 的有效閘源極電容增加的現象，稱之為密勒效應。
- (二) 延伸運用於高頻電路下，主動元件內部電容成份之分析：



1.  $A_v$ ：是中間頻率下放大器的電壓增益值。
2. 內部電容  $C$ ，可視為輸入到地的電容：

$$C_{\text{in(Miller)}} = C \cdot (A_v + 1)$$

3. 內部電容  $C$ ，也可視為輸出到地的電容：

$$C_{\text{out(Miller)}} = C \cdot \frac{A_v + 1}{A_v}$$

## 學習目標

- 一、在不參考任何書籍及資料下，你能夠正確地說出 MOSFET 的基本原理。
- 二、在不參考任何書籍及資料下，你能夠正確地量測 MOSFET 的特性。

## 學習活動

本單元之學習活動包括相關知識及實際量測。在實際量測之前，我們必須先學習電力電子元件特性之相關知識。而你對於電力電子元件特性之認識與學習上，可以由下列兩條路徑選擇一途徑去學習。

一、 閱讀本教材之第 6 頁至第 24 頁。

二、 閱讀下列參考書籍：

(一) 張 立、林清一 87 年 現代電力電子技術 全華科技圖書股份有限公司

### 本教材的第一個學習目標是

在不參考任何書籍及資料下，你能夠正確地說出 MOSFET 的基本原理。

---

假如你認為勝任上述目標之要求，請翻到第 10 頁做學習評量，如你需要多學點的話，請翻到下一頁或閱讀參考書籍。

## 相關知識

場效電晶體 (Field-Effect-Transistor, 簡稱 FET) 是單極性電晶體, 流經其中的多數載子, 僅為電子(N 通道)或僅為電洞(P 通道)它具有高輸入阻抗, 與一般常用之低輸入阻抗雙極性電晶體 (BJT) 差異性相當大, FET 是電壓控制型而雙極性電晶體是電流控制型。

### 一、關於 MOSFET :

- (一) FET 系列有兩種族群, 接面場效電晶體 (JFET) 與金氧半場效電晶體 (MOSFET)。
- (二) MOSFET 是多數載子元件 (Majority Carrier Device) 導通, 驅動方式為電壓控制, 其閘極與源極間必須持續存在適當的電壓才能使 MOSFET 維持 turn on 狀態。
- (三) MOSFET 為一種電壓控制型元件, 它僅需要極小的輸入電流。其切換速度相當快速約為幾個 ns 到幾百個 ns 左右, 視元件形式而定。MOSFET 在低功率高頻轉換器方面的應用越來越廣。MOSFET 並沒有如 BJT 一般具有二度崩潰的問題; 不過, MOSFET 卻有靜電放電的問題, 所以在處理上必須特別小心。除此之外, 它在短路故障情況下的保護也比較困難。
- (四) MOSFET 作為開關控制時, 欲導通開關必須使加於閘-源極之偏壓大於其臨界值  $V_{GS(th)}$  (Threshold Value), 且須持續才能維持其導通。閘極只有在切換時, 對閘極接面電容充放電, 才有電流通。
- (五) MOSFET 導通電阻  $R_{DS(on)}$  隨其耐壓容量之增加而增加, 其關係可以表示為:

$$R_{DS(on)} = K \cdot BV_{DS}^{2.5-2.7} \quad (1.1)$$

其中  $BV_{DS}$  為耐壓容量;  $K$  為一常數, 與元件之幾何形狀有關。因此耐壓較小的元件, 其導通損較小; 反之, 則較大。然而, 由於 MOSFET 之切換速度很快, 可知其切換損很小, 以 300~400V 的 MOSFET 與 BJT 相較, MOSFET 切換頻率較 BJT 高出 30~100KHz 時, 才會得到相當的切換損失。

### 二、基本結構:

- (一) 功率型場效電晶體 (Power MOSFET) 也是一種功率集成元件, 它由成千上萬個小型場效電晶體單元並聯而成。如圖 1.1 所示, 為 N 通道(N-channel) 場效電晶體的單元結構剖面示意圖。
  1. 上下兩個  $N^+$  區分別作為該元件的源極 (Source) 和汲極 (Drain), 分別引出源極 S 和汲極 D。
  2. 夾在兩個  $N^+$  ( $N^-$ ) 區之間的 P 區隔著一層  $SiO_2$  的介質作為閘極 (Gate)。



3. 因此閘極與兩個  $N^+$  區和 P 區均為絕緣結構。由於這一特點，金屬氧化層(MOS)結構的場效電晶體又稱絕緣閘極場效電晶體(Insulation Gate Field Effect Transistor)。

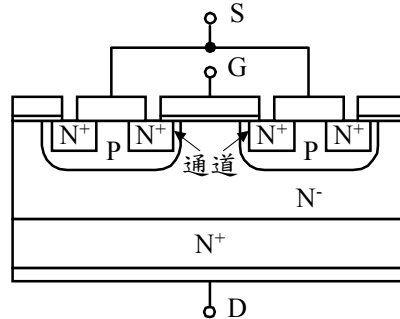


圖 1.1 功率型場效電晶體單元結構

- (二) 由圖 1.1 可知，功率型場效電晶體的基本結構仍為  $N^+(N^-)PN^+$  形式，其中摻雜較輕的  $N^-$  區為漂移區，用以提高元件的耐壓能力。
- (三) 在這種元件中，汲源極之間有兩個背靠背的 PN 接面存在，在閘極未加電壓信號之前，無論汲源極之間加正電壓或負電壓，該元件總處於截止狀態。為使汲源極之間流過可控的電流，必須具備可控的導通通道時，才能實現。

### 三、工作原理：

- (一) 金屬氧化層 (MOS) 結構的導通通道是由絕緣閘極施加電壓之後感應而產生的。如圖 1.1 所示結構中，若在閘-源極之間施加一定大小的正電壓，這時閘極相對於 P 區則為正電壓。由於夾在兩者之間的  $SiO_2$  層不導通，集聚在電極上的正電荷就會往  $SiO_2$  層下的半導體表面感應出等量的負電荷來，從而使 P 型材料變成 N 材料，進而形成感應通道。若閘極電壓夠高，由此感應而生的 N 型層同汲極與源極兩個  $N^+$  區構成同型接觸，使常態中存在的兩個背靠背 PN 接面不復存在，這就是該元件的導通通道。
1. N 通道功率型場效電晶體 (N-Channel MOSFET)：以 P 型材料為基底，閘-源極之間要加正電壓。
  2. P 通道功率型場效電晶體 (P-Channel MOSFET)：以 N 型材料為基底，閘-源極之間要加負電壓。
- (二) 功率型場效電晶體 (Power MOSFET) 從結構上看，含有一個寄生電晶體 T。該寄生電晶體的射極和集極分別是場效電晶體的源極和汲極，其基極就是元件的 P 型基體區。

- 雖然，基體區已與源極短路（如圖 1.1 所示），但短路時仍會有一定的電阻，這個電阻就是寄生電晶體的基極至射極分流電阻  $R_{BE}$ ，其等效電路如圖 1.2 所示。

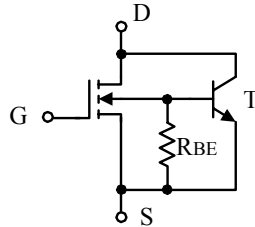
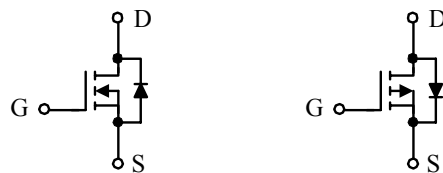


圖 1.2 寄生電晶體等效電路

- 若將  $R_{BE}$  電阻忽略則可以看到，源極金屬電極將 N 區和 P 區連接在一起，因此源極與汲極之間就形成了一個寄生二極體，它與場效電晶體構成一個不可分割的整體。
- 由於寄生二極體與場效電晶體組成一個整體，因此它對場效電晶體的特性與動態參數的影響必須充份注意。
- 如圖 1.3 所示為功率型場效電晶體的圖形符號。根據導通載子的類型不同，功率型場效電晶體可分為 N 通道和 P 通道兩種：



(a) N 通道

(b) P 通道

圖 1.3 功率型場效電晶體符號

- 符號中的箭頭表示：在通道中電子移動的方向。
    - 圖 1.3 (a) 表示 N 通道，其電流方向是從汲極出發，經過 N 通道流入  $N^+$  區，最後從源極流出。
    - 圖 1.3 (b) 表示 P 通道，其電流方向是從源極出發，經過 P 通道流入  $P^+$  區，最後從汲極流出。
    - 不論是 N 通道或 P 通道的場效電晶體都只有一種載子導通。而電路圖符號中並聯之二極體即表示前述之寄生二極體。
- (三) 由於功率型場效電晶體只有一種載子導通，故稱為單極型元件。這種元件不存在像雙極性元件那樣的電導調制效應，也不存在少數載子復合問題，所以它的開關速度較快，安全工作區較寬且不存在二次擊穿問題。

- (四) 功率型場效電晶體的導通電阻具有正溫度係數，因此它的汲極電流具有負溫度係數，這一特性使該元件易於並聯應用。
- (五) 功率型場效電晶體之導通電阻較大，導通壓降較高，隨著元件耐壓的升高，導通電阻也增大。此一特性，限制了它的高電壓、大電流方向的發展。目前，功率型場效電晶體多用於 10KW 以下的電力電子設備中。

**學習評量一**

請不要參閱資料或書籍，在下列各題前之空格寫出正確的答案。

## 一、是非題：

- ( ) 1. MOSFET 為一種電壓控制元件，它僅需要極小的輸入電流。
- ( ) 2. 功率型場效電晶體只有一種載子導通，故稱為單極性元件。
- ( ) 3. N 通道功率型場效電晶體，欲使其導通時，則閘-源極之間應加負電壓。
- ( ) 4. MOSFET 導通電阻  $R_{DS(ON)}$  隨其耐壓容量之增加而增加。
- ( ) 5. 功率型場效電晶體之導通電阻具負溫度係數，故該元件較易於並聯使用。

## 筆記欄

### 學習評量一答案

一、是非題：

1. (○)

2. (○)

3. (×) 閘-源極應加正電壓。

4. (○)

5. (×) 導通電阻具正溫度係數。

### 本教材的第二個學習目標是

在不參考任何書籍及資料下，你能夠正確地量測 MOSFET 的特性。

---

假如你認為勝任上述目標之要求，請翻到第 23 頁做學習評量，如你需要多學點的話，請翻到下一頁或閱讀參考書籍。

## 相關知識

### 一、MOSFET 之靜態特性：

主要是指場效電晶體之輸出特性及轉移特性。

#### (一) 輸出特性：

N 通道的場效電晶體，閘-源極電壓  $V_{GS}$  愈大，感應通道愈厚，則通道截面積愈大，汲極電流  $I_D$  也愈大。輸出特性可以分為三個區域，如圖 2.1 中(a)可變電阻區、(b)飽和區、(c)崩潰區：

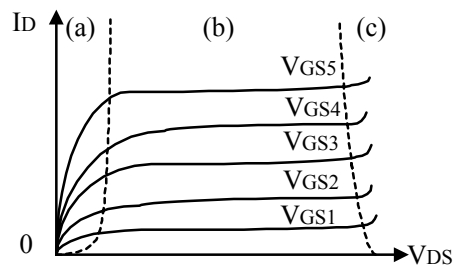


圖 2.1 輸出特性

#### 1. 可變電阻區：

$V_{GS}$  固定時，汲極電流  $I_D$  與汲源極電壓  $V_{DS}$ ，幾乎呈線性關係，這是由於汲源電壓較小時，它對通道的影響可以忽略不計，因而通道寬度和通道載子的遷移率幾乎不變。固定的閘極電壓對應固定的通道亦對應固定的電阻，若閘極電壓改變，則元件的電阻值也隨之改變。

#### 2. 飽和區：

通道載子的漂移速度不再受通道電場的影響，汲源電壓  $V_{DS}$  增加時，汲極電流  $I_D$  保持恆定。

#### 3. 崩潰區：

PN 接面的逆向偏壓  $V_{DS}$  過高，使汲極 PN 接面發生崩潰擊穿，汲極電流  $I_D$  突然增加。在使用元件時應避免出現這種情況，否則會使元件損壞。

#### (二) 轉移特性：

以汲-源極電壓  $V_{DS}$  為常數，汲極電流  $I_D$  和閘-源極電壓  $V_{GS}$  間之關係，稱為轉移特性。如圖 2.2 所示為功率型場效電晶體在輸出特性飽和區的轉移特性。



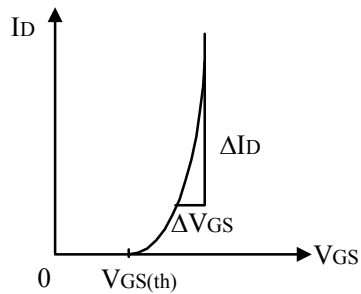


圖 2.2 轉移特性

1. 該特性表示功率型場效電晶體閘-源電壓  $V_{GS}$  對汲極電流  $I_D$  的控制能力。
2. 圖中之  $V_{GS(th)}$  是功率型場效電晶體的開啟電壓，是功率型場效電晶體的一個重要參數。

## 二、MOSFET 之動態特性：

功率型場效電晶體是一個近似理想的開關，具有很高的增益和極快的開關速度。動態特性是指：影響功率型場效電晶體的開關暫態過程。

### (一) 開關特性：

探討功率型場效電晶體開關特性的電路，如圖 2.3 所示。

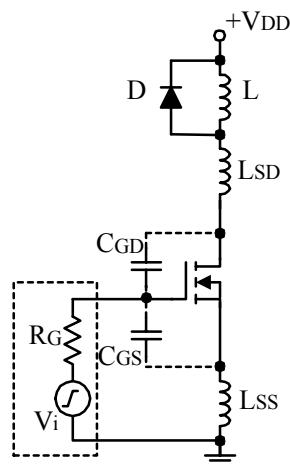


圖 2.3 探討開關特性的電路

1. 信號源電壓  $V_i$  脈衝上升緣波形， $R_G$  是信號源內電阻，該信號源應能提供一定的功率。
2.  $L$  是電感負載， $D$  是續流二極體，以供截止時釋放負載  $L$  中的儲能，以避免汲極遭受過電壓而損毀。

3.  $L_{SD}$  和  $L_{SS}$  分別是汲極和源極外引線電感，在導通和截止過程中，分佈電感的影響不可忽略。
4.  $C_{GD}$  和  $C_{GS}$  分別是閘汲極間和閘源極間的電容。

(二) 導通過程：

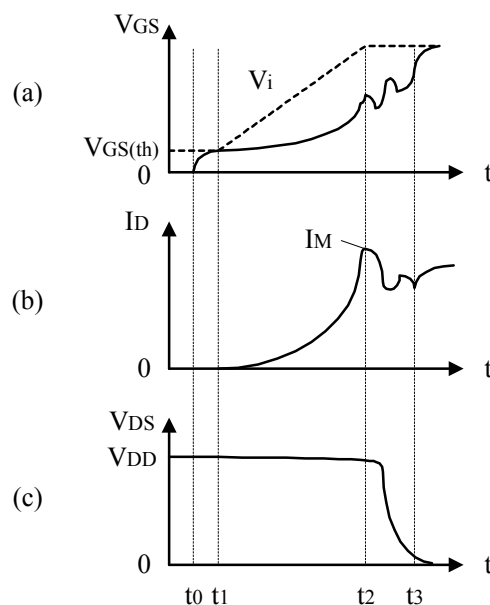


圖 2.4 導通過程之電壓、電流波形

1. 圖 2.4 (a)中之虛線，是代表信號源電壓  $V_i$  在無載時之波形。
2. 在  $t_0$  時刻，信號源電壓  $V_i$  開始上升。 $t_1$  時達到功率型 MOSFET 之額定電壓，汲極電流開始增大，這時有兩個原因使閘-源電壓波形偏離信號源波形軌跡：
  - (1) 由於源極電流的變化和源極串聯的電感產生一個感應電壓，此電壓使閘源間電壓  $V_{GS}$  減小，並使其上升率降低，這又使源極電流的上升速率降低。
  - (2) 另一因素為所謂“密勒效應 (Miller Effect)”，在  $t_1$  到  $t_2$  期間，一部份電壓會降在和汲極串聯且不被箝位的電路雜散電感  $L_{SD}$  上，汲極電壓即開始下降。汲極電壓的下降使閘極電容  $C_{GD}$  產生一放電電流，此電流流過信號源內阻  $R_G$ ，並使其上的壓降增大，從而降低了閘-源極間電壓  $V_{GS}$  的上升率。顯然，信號源的內阻  $R_G$  愈小，這種效應愈弱。
  - (3)  $t_1$  時刻，功率型 MOSFET 已開始導通，但續流二極體尚未恢復截止，即  $t_1$  至  $t_2$  期間汲極電流反向流過續流二極體 D (即續流二極體的恢復電流)。隨著閘-源電壓  $V_{GS}$  上升，反向通過續流二極體的漏電電流一直上升，至續流二極體恢復電流的峰值  $I_M$ 。

- (4) 在  $t_1$  至  $t_2$  階段，由於續流二極體有恢復電流流過，負載  $L$  被旁路，故場效電晶體的汲極負載阻抗很低，負載壓降很小，MOSFET 壓降較高，故汲源電壓  $V_{DS}$  波形只隨著  $I_D$  的上升而略有減小，如圖 2.4 (c) 所示。
- (5) 從  $t_2$  時刻開始，續流二極體開始承受反向電壓，恢復反向截止，汲極電流從續流二極體  $D$  轉移到負載電感  $L$ 。由於負載阻抗增大，汲源電壓  $V_{DS}$  迅速減小，到  $t_3$  時刻，MOSFET 進入完全導通狀態。 $t_2$  至  $t_3$  時間通常僅數十 ns。在如此短暫時間內，汲極電位急劇降低，將會激發極際電容、電路電感和信號源電路阻抗形成衰減振盪過程，如圖 2.4 (a) 所示。工作電源電壓  $V_{DD}$  越高，初始振盪幅度也越大。汲極電流  $I_D$  亦有相應的振盪過程，如圖 2.4 (b) 所示。
- (6) 在  $t_3$  時刻，MOSFET 完全導通，閘源電壓迅速上升到信號源  $V_i$  的穩態值。
- (7) 從  $t_0$  至  $t_2$  是圖 2.4 所示電路中，功率型 MOSFET 的導通時間。顯然，此導通時間不完全決定於元件，而與外界電路參數有關，特別是與信號源之內阻  $R_G$  有關， $R_G$  愈小，導通時間愈短。

(三) 關斷過程：

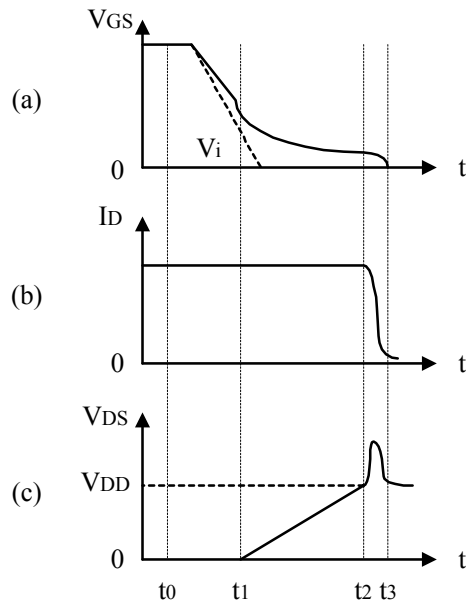


圖 2.5 關閉過程之電壓、電流波形

1. 圖 2.5 (a) 中的虛斜線，代表的是關斷時，驅動信號源  $V_i$  波形。
2.  $t_1$  時，元件進入線性工作模式，汲源電壓開始上升，如圖 2.5 (c) 所示。由於汲極電位升高，極際電容  $C_{GD}$  將通過信號源被充電，充電電流在信號源內阻  $R_G$  上的壓降使閘源電壓下降緩慢，如圖 2.5 (a) 所示。
3. 在  $t_2$  時刻，汲極電位上升到與電源相同。
4.  $t_2$  之後，負載電感  $L$  及  $L_{SS}$  和  $L_{SD}$  將釋放儲能， $L$  通過續流二極體  $D$  釋放能量。 $L_{SS}$  和  $L_{SD}$  釋放儲能時產生的感應電動勢使汲極電壓  $V_{DS} > V_{DD}$ ，如圖 2.5 (c) 所示。因引線電感  $L_{SS}$  和  $L_{SD}$  都很小，儲能釋放極快，故汲源電壓迅速回復到  $V_{DD}$ 。
5.  $t_2$  至  $t_3$  時間極短，在此期間，汲極電流  $I_D$  也迅速下降到零。在此階段， $V_{DS}$  的尖峰過電壓也會通過閘汲間電容  $C_{GD}$  耦合到閘極。但因閘源間電容  $C_{GS}$  比  $C_{GD}$  大得多，所以，閘源電壓  $V_{GS}$  不會出現相同的尖峰電壓。閘源間電容在此期間可以經過信號源放電，在  $t_3$  時， $V_{GS}=0$ 。

#### (四) 開關時間：

功率型 MOSFET 的開關時間包括導通時間  $t_{ON}$  和截止時間  $t_{OFF}$ 。

1.  $t_{ON}$  由導通延遲時間  $t_d$  和上升時間  $t_r$  構成。

##### (1) 導通時間 $t_{on}$ 定義為：

從輸入電壓波形上升至幅度為  $10\%V_{im}$  (輸入之最大電壓值) 的時刻開始，到輸出電壓下降至幅度為  $90\%V_{om}$  (輸出之最大電壓值) 的時刻為止的時間。

##### (2) 導通延遲時間 $t_d$ ：

對應著輸入電壓信號上升至幅度為  $10\%V_{im}$  到輸出電壓信號下降至幅度  $10\%V_{om}$  的時間間隔。

##### (3) 上升時間 $t_r$ ：

對應著輸出電壓幅度由  $10\%V_{om}$  變化到  $90\%V_{om}$  的時間。

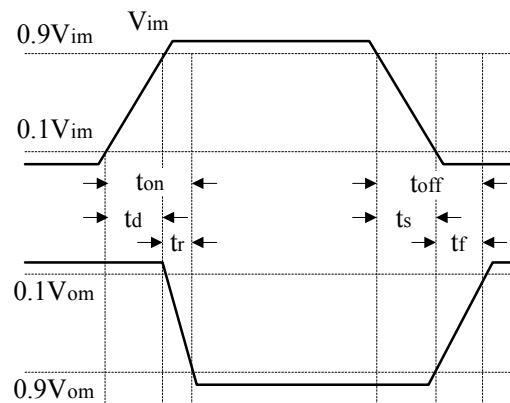


圖 2.6 開關時間示意圖

2.  $t_{off}$  由關斷儲存時間  $t_s$  和下降時間  $t_f$  構成。
  - (1) 關斷儲存時間  $t_s$  定義為：  
從  $V_{im}$  下降到  $90\%V_{im}$  時至  $V_0$  回升到  $10\%V_{om}$  時止的時間間隔。
  - (2) 下降時間  $t_f$  定義為：  
從  $V_0$  回升  $10\%V_{om}$  到  $90\%V_{om}$  兩個時刻的間隔。
3. 開關時間與元件的極間電容和寄生電感有關，它們之間的關係都是非線性。

### 三、MOSFET 之導通電阻 $R_{ON}$ ：

- (一) 導通電阻  $R_{ON}$  是與輸出特性有密切相關的參數。通常規定在確定的閘源壓  $V_{GS}$  下，功率型 MOSFET 由可變電阻區進入飽和區時的直流電阻為導通電阻。它是影響最大輸出功率的重要參數。
- (二) 功率型 MOSFET 的導通電阻比雙極電晶體要大，而且元件耐壓越高，導通電阻越大，這就是此種元件耐壓等級難以提高的主要原因。
- (三) 導通電阻，也隨著接面溫升和導通電流的增大而增加。

## 實際量測

### 一、實習電路：

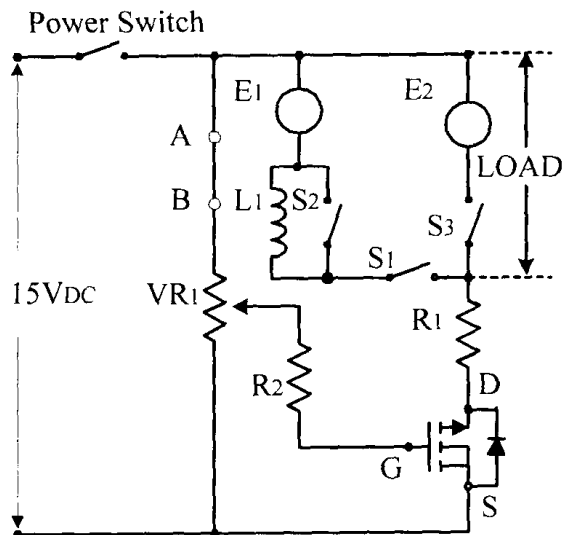


圖 2.7 電路圖

## 二、實習材料及儀器設備：

表 2.1 材料表

項次	名稱	規格	單位	數量	備註
1	電源開關		只	1	Power Switch
2	搖頭開關	單投雙極	只	3	S1、S2、S3
3	燈泡	12V, 10W	個	2	E1、E2
4	電阻器	0.1Ω	只	1	R1
5	電阻器	500Ω	只	1	R2
6	可變電阻器	5KΩ	只	1	VR1
7	電感器	50mH	只	1	L1
8	MOSFET	IRF3710	只	1	
9	麵包板		只	1	

表 2.2 儀器設備表

項次	名稱	規格	單位	數量	備註
1	MOSFET/IGBT 元件模組	PE1188-1F	組	1	已裝置圖 2.7 電路之模組
2	直流電源供應器	3A, ±30V	台	1	
3	信號產生器	2MHz 以上	台	1	方波
4	數位萬用表	AC/DC	台	1	
5	示波器	2 CH 以上	台	1	
6	連接線		條	若干	

## 三、實習步驟：

- (一) 將直流電源供應器及 MOSFET/IGBT 元件模組架設於實驗機架上或按表 2.1 材料表之元件裝置於麵包板上。
- (二) 依圖 2.7 所示之電路圖完成接線。
- (三) 量測 MOSFET 特性曲線：

- 將電源開關 ON 再將  $S_3$  ON 調整  $VR_1$  以示波器記錄閘-源極( $V_{GS}$ )電壓及相對應之汲-源極( $I_{DS}$ )電流。

$V_{GS}$ (V)	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
$I_{DS}$ (mA)	12	55	720	800	810	810	810	810	810	810

- 利用步驟 1 之結果畫出 MOSFET 之控制特性  $I_{DS} = f(V_{GS})$  於圖 2.8。

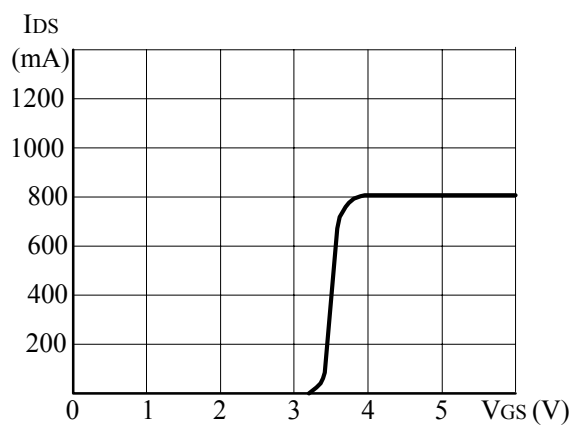


圖 2.8 MOSFET 特性圖

- 當閘-源極電壓為 3.4 V 時，MOSFET 開始導通。
- 當閘-源極電壓為 4.0 V 時，MOSFET 完全導通。
- 閘-源極之觸發電流為多少？ 0 A。
- 這種觸發導通方式為電流控制型或電壓控制型？ 電壓控制。

(四) 量測 MOSFET 之導通響應圖：

- 將電路圖之 A、B 兩點予以開路，同時取一信號產生器，將波形選擇開關設定在“方波”，頻率設定於“1KHz”，電壓值調整為“10V”，輸入至  $VR_1$  側，調整  $VR_1$  使輸入之電壓最大，示波器 X 輸入端 (CH1) 量測閘-源極電壓，示波器 Y 輸入端 (CH2) 量測汲-源極電壓，畫出 MOSFET 導通之響應圖。

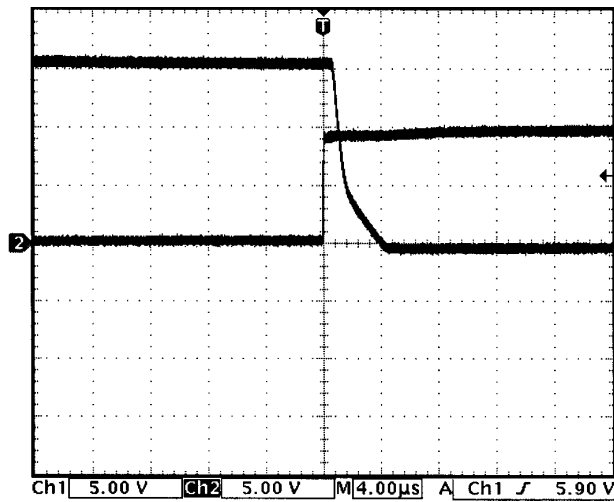


圖 2.9 MOSFET 導通響應圖

2. MOSFET 之導通時間約為 3 us。

(五) 量測 MOSFET 之截止響應圖：

1. 同步驟(四)之 1，畫出 MOSFET 截止響應圖。

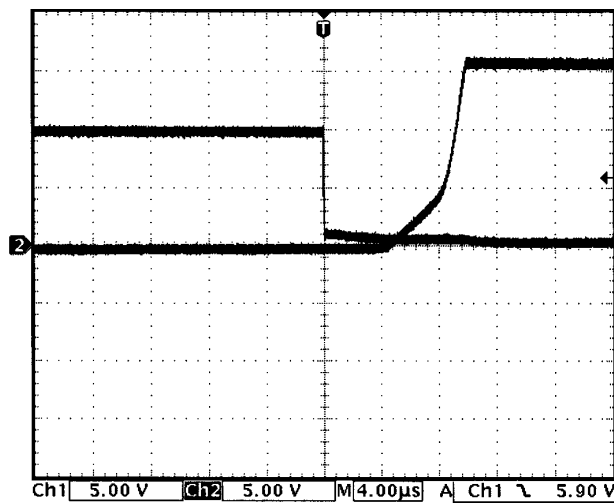


圖 2.10 MOSFET 截止響應圖

2. MOSFET 之截止時間約為 10 us。

(六) 在 MOSFET 完全導通下：

1. 量測  $V_{DS}$  之電壓為 4.2 mV， $I_{DS}$  之電流為 0.8 A。

2. 計算 MOSFET 之功率損耗  $P = I_{DS} \times V_{DS} =$  34 mW。



## 學習評量二

請不要參閱資料或書籍，在下面的空白處寫出正確的答案。

### 一、填充題：

- (一) 先將實習電路（圖 2.7）之電源開關 ON，再將  $S_1$ 、 $S_2$  及  $S_3$  ON 同第 21 頁之步驟(四)、(五)，將負載加倍，則 MOSFET 之導通時間約為\_\_\_\_\_us，而 MOSFET 之截止時間約為\_\_\_\_\_us。

### 學習評量二答案

一、填充題：

(一) 導通時間約為 3 us。

截止時間約為 10 us。

## 學後評量

在無人幫助的情況下，你能在二十分鐘內，根據下述要求完成量測工作。在工作之前，請你先填好工作計劃，送給教師認可後，再予執行與量測。

- 一、依電路圖 E. 1，將電源開關 ON，再將  $S_1$  及  $S_3$  ON，同第 21 頁之步驟(四)、(五)，在 R-L 負載下 MOSFET 之導通時間約為 \_\_\_\_\_ us，而 MOSFET 之截止時間約為 \_\_\_\_\_ us。

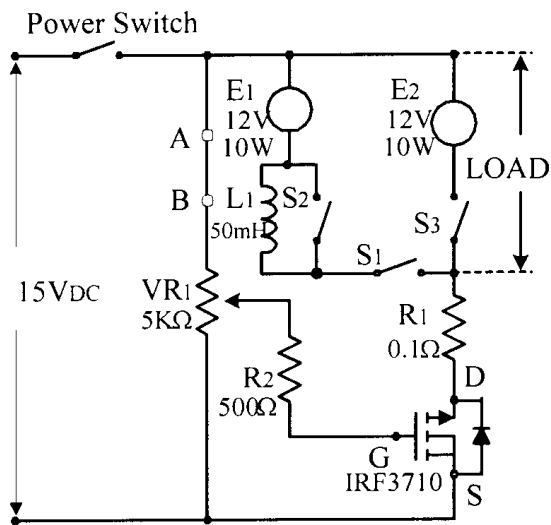


圖 E. 1 MOSFET 測試線路

**我的工作計畫**

作業名稱： \_\_\_\_\_

工作開始日期： \_\_\_\_\_ 完成日期： \_\_\_\_\_

工作時間： \_\_\_\_\_ 小時 教師認可： \_\_\_\_\_

**我製作上列工作時，所需用之工具及儀器：**

1 _____	5 _____	9 _____
2 _____	6 _____	10 _____
3 _____	7 _____	11 _____
4 _____	8 _____	12 _____

**我所需要的材料及消耗品：**

名 稱	說 明	規 格	數 量	估 價

**我計畫如何做我的作業**

工 作 步 驟	安 全 注 意 事 項	工 作 時 注 意 事 項

注意： (1)現在你已完成你的作業計畫，請不要馬上工作，你先檢討一下，有沒有其他更好的方法呢？有沒有遺漏呢？將你的計畫送給你的老師認可；然後再開始工作，工作時間為二十分鐘。

(2)當你做好了作業，請自我評價 (Self-evaluation)，然後送交老師評分。

## 一、我對我作業的評分

	項目	配分	得分	評分標準
1.	接線		20%	每處缺漏者扣 5%，完整者給予滿分
2.	信號產生器 使用操作	波形：方波 波幅：10V	20%	
3.	示波器使用操作	X 軸 (CH1) Y 軸 (CH2)	20%	
4.	是否會讀值	$t_{on}$ 、 $t_{off}$	20%	
5.	時間	20 分鐘	20%	

我的作業評分：\_\_\_\_\_分，屬於\_\_\_\_\_等。

A=100 分      B=75 分      C=50 分

D=25 分      E=25 分以下

二、我的工作計畫得分：\_\_\_\_\_分，屬於\_\_\_\_\_等。

三、我的安全習慣得分：\_\_\_\_\_分，屬於\_\_\_\_\_等。

四、學習態度得分：\_\_\_\_\_分，屬於\_\_\_\_\_等。

五、教師評分：

(一) 作業得分：\_\_\_\_\_分      (三) 安全習慣：\_\_\_\_\_分

(二) 工作計畫：\_\_\_\_\_分      (四) 學習態度：\_\_\_\_\_分

總得分：\_\_\_\_\_分，屬於\_\_\_\_\_等。

六、時間：


## 參考書目

- 一、張立、林清一 87年 現代電力電子技術 全華科技圖書股份有限公司