

## Chương 9

### Ví dụ bổ sung 1

#### Thế hở mạch và công suất chiếu sáng

Một pin mặt trời được chiếu sáng với công suất  $500 \text{ W m}^{-2}$ , có dòng ngắn mạch  $I_{sc} = 150 \text{ mA}$ , và thế hở mạch là  $V_{oc} = 0.530 \text{ V}$ . Tính giá trị dòng ngắn mạch và thế hở mạch khi cường độ ánh sáng tăng gấp đôi. Giả sử rằng hệ số lý tưởng  $\eta = 1.5$ , là giá trị điển hình của pin mặt trời Si chuyển tiếp  $pn$ .

*Lời giải:*

Đặc trưng  $I$ - $V$  tổng quát khi chiếu sáng của pin mặt trời:

$$I = -I_{ph} + I_0 \left[ \exp\left(\frac{eV_{oc}}{\eta kT}\right) - 1 \right] = 0$$

Giả sử  $V_{oc} \gg \eta kT/e$ , biến đổi phương trình trên thu được:

$$V_{oc} = \frac{\eta kT}{e} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0}\right)$$

Dòng quang điện  $I_{ph}$  phụ thuộc cường độ ánh sáng  $I$  theo phương trình  $I_{ph} = KI$ , trong đó  $K$  là một hằng số. Vì vậy, ở nhiệt độ không đổi, sự thay đổi của  $V_{oc}$  là:

$$V_{oc2} - V_{oc1} = \frac{\eta kT}{e} \ln\left(\frac{I_{ph2}}{I_{ph1}}\right) = \frac{\eta kT}{e} \ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right)$$

Dòng ngắn mạch chính là dòng quang điện, vì vậy tại cường độ ánh sáng gấp đôi thì:

$$I_{sc2} = I_{sc1} \left(\frac{I_2}{I_1}\right) = (150 \text{ mA})(2) = 300 \text{ mA}$$

Giả sử  $\eta = 1.5$ , giá trị mới của thế hở mạch là:

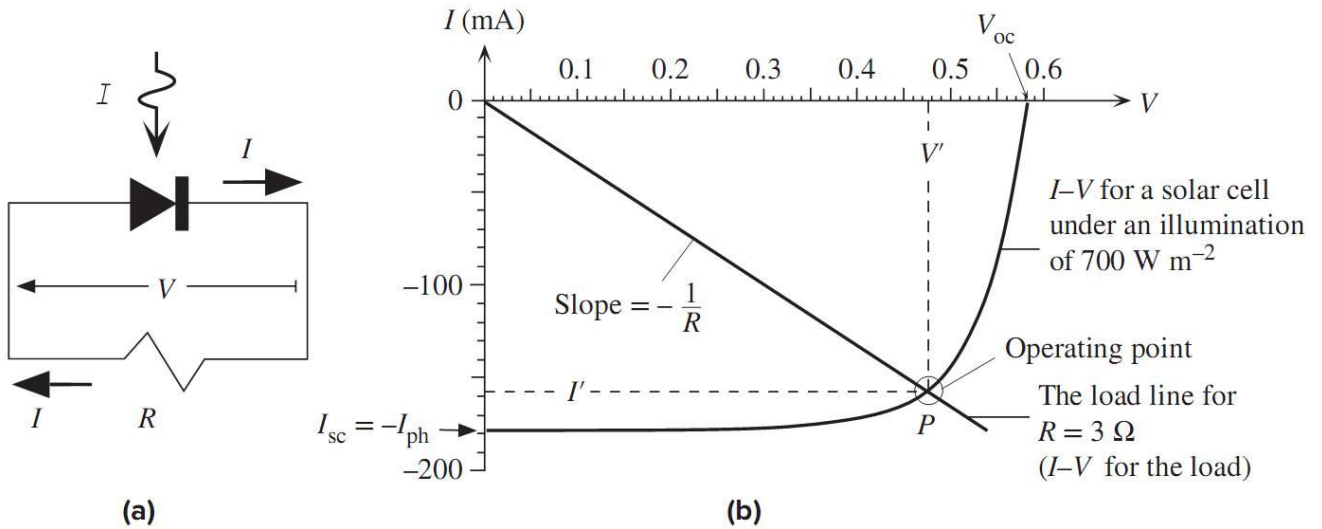
$$V_{oc2} = V_{oc1} + \frac{\eta kT}{e} \ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right) = 0.530 + (1.5)(0.02585) \ln(2) = 0.557 \text{ V}$$

Như vậy  $V_{oc}$  tăng thêm 5% khi cường độ ánh sáng và dòng ngắn mạch tăng thêm 100%.

## Bài 1

### Pin mặt trời có nối tải

- Một pin mặt trời Si có diện tích phơi sáng là  $2.5 \times 2.5 \text{ cm}^2$ , được nối với tải trở  $R = 2 \Omega$ . Nó có đường đặc trưng  $I$ - $V$  như trong Hình vẽ. Giả sử pin được chiếu ánh sáng có cường độ  $800 \text{ W/m}^2$ . Tính giá trị dòng điện và điện thế trong mạch. Tính công suất truyền cho tải? Tính hiệu suất của pin trong mạch này?
- Cần sử dụng tải có điện trở bao nhiêu để thu được công suất cực đại cung cấp bởi pin ở cường độ chiếu sáng là  $800 \text{ W/m}^2$ . Giá trị của tải trở ở cường độ chiếu sáng là  $400 \text{ W/m}^2$ .
- Bạn hãy sử dụng một số pin mặt trời nói trên để nuôi một máy tính bỏ túi. Máy tính này cần hiệu điện thế tối thiểu là  $3 \text{ V}$ , và dòng điện tối thiểu  $3 \text{ mA}$  ở  $3\text{--}4 \text{ V}$ . Pin được sử dụng ở cường độ chiếu sáng là  $400 \text{ W/m}^2$ . Bạn cần bao nhiêu pin, và nối chúng với nhau thế nào?



## Bài 2

### Công suất cực đại từ một pin mặt trời

Giả sử công suất thu được từ một pin mặt trời,  $P = IV$ , đạt cực đại khi  $I = I_m$  và  $V = V_m$ . Chúng ta định nghĩa điện thế và dòng điện chuẩn hóa tại công suất cực đại là:

$$v_m = \frac{V_m}{\eta V_T} \text{ và } i_m = \frac{I_m}{I_{sc}}$$

trong đó  $\eta$  là hệ số lý tưởng,  $V_T = kT/e$  là điện thế nhiệt (bằng  $0.026 \text{ V}$  tại  $300 \text{ K}$ ), và  $I_{sc} = -I_{ph}$ . Giả sử rằng  $v_{oc} = V_{oc}/(\eta V_T)$  là thế hở mạch chuẩn hóa. Khi được chiếu sáng, pin mặt trời cung cấp công suất là:

$$P = IV = \left[ -I_{ph} + I_0 \exp\left(\frac{V}{\eta V_T}\right) \right] V$$

Chúng ta có thể lấy đạo hàm của  $P = IV$  theo  $V$ , đặt nó bằng 0 tại điểm công suất cực đại, và tìm biểu thức của  $I_m$  và  $V_m$ . Sau đó sử dụng điều kiện tại thế hở mạch ( $I = 0$ ) để tìm mối liên hệ giữa  $V_{oc}$  và  $I_0$ . Chứng minh rằng công suất cực đại đạt được khi:

$$v_m = v_{oc} - \ln(v_m + 1) \text{ và } i_m = 1 - \exp[-(v_{oc} - v_m)]$$

Xét một pin mặt trời với  $\eta = 1.5$ ,  $V_{oc} = 0.6$  V, và  $I_{ph} = 35$  mA, với diện tích là  $1 \text{ cm}^2$ . Tìm giá trị của  $i_m$  và  $v_m$ , và sau đó là giá trị của  $I_m$  và  $V_m$  tại điểm công suất cực đại. *Gợi ý: giải phương trình đầu tiên bằng phương pháp số hoặc đồ thị để tìm ra  $v_m = 12.76$ . Hệ số điền đầy là bao nhiêu?*

### Bài 3

#### Điện trở nối tiếp

Điện trở nối tiếp  $R_s$  gây ra sự sụt thế khi dòng điện được đưa ra khỏi pin mặt trời. Thông thường, một dòng điện dương được cho chạy vào linh kiện (nếu tính toán cho giá trị âm, nghĩa là về mặt vật lý, dòng điện chạy ra ngoài, đó là trường hợp thực tế khi pin được chiếu sáng). Nếu  $V$  là điện thế thực tế thu được từ cực ngoài của pin (thu được bởi người sử dụng), thì điện thế dọc theo đi-ốt là  $V - IR_s$ . Phương trình pin mặt trời trở thành:

$$I = -I_{ph} + I_d = -I_{ph} + I_0 \exp\left(\frac{e(V - IR_s)}{\eta kT}\right)$$

Hãy vẽ đồ thị của  $I$  theo  $V$  đối với một pin mặt trời Si có  $\eta = 1.5$  và  $I_0 = 3 \times 10^{-6}$  mA, khi được chiếu sáng sao cho  $I_{ph} = 10$  mA, đối với các giá trị của điện trở nối tiếp là  $R_s = 0, 20$ , và  $50 \Omega$ . Kết luận của bạn là gì?

### Bài 4

#### Điện trở song song

Xét điện trở song song  $R_p$  đối với một pin mặt trời. Mỗi khi có một điện thế  $V$  ở 2 cực của pin, điện trở song song ra dòng điện  $V/R_p$ . Như vậy, tổng dòng điện tại hai cực là:

$$I = -I_{ph} + I_d + \frac{V}{R_p} = -I_{ph} + I_0 \exp\left(\frac{eV}{\eta kT}\right) + \frac{V}{R_p}$$

Hãy vẽ đồ thị của  $I$  theo  $V$  đối với một pin mặt trời Si có  $\eta = 1.5$  và  $I_0 = 3 \times 10^{-6}$  mA, khi được chiếu sáng sao cho  $I_{ph} = 10$  mA, đối với các giá trị của điện trở song song là  $R_s = \infty$ , 1000, và 100  $\Omega$ . Kết luận của bạn là gì?

## Bài 5

### Pin mặt trời mắc nối tiếp

Hai pin mặt trời giống hệt nhau được mắc nối tiếp, khi đó hai điện trở  $R_s$  và hai chuyển tiếp  $p-n$  được mắc nối tiếp. Nếu  $I$  là tổng dòng chạy qua các linh kiện, thì điện thế chạy qua một chuyển tiếp  $p-n$  là  $V_d = \frac{1}{2} [V - I(2R_s)]$  sao cho dòng điện chạy qua hệ pin mặt trời là:

$$I \approx -I_{ph} + I_0 \exp \left[ \frac{V - I(2R_s)}{2\eta V_T} \right], \text{ với } V_d > \eta \left( \frac{kT}{e} \right)$$

trong đó  $V_T = kT/e$  là điện thế nhiệt. Qua biến đổi thu được với hai pin mặt trời nối tiếp:

$$V_d = 2\eta V_T \ln \left( \frac{I + I_{ph}}{I_0} \right) + 2R_s I$$

trong khi đó với 1 pin:

$$V_d = \eta V_T \ln \left( \frac{I + I_{ph}}{I_0} \right) + R_s I$$

Giả sử rằng các pin có cùng giá trị đặc trưng  $I_0 = 25 \times 10^{-6}$  mA,  $\eta = 1.5$ ,  $R_s = 20$   $\Omega$ , và cả hai được chiếu bằng cùng nguồn sáng sao cho dòng quang điện là  $I_{ph} = 10$  mA. Hãy vẽ đặc trưng  $I-V$  của từng pin, và của hai pin khi mắc nối tiếp. Tìm công suất cực đại có thể thu được từ từng pin và hai pin mắc nối tiếp. Tìm điện thế và dòng điện tương ứng tại điểm công suất cực đại.

## Bài 6

### Pin mặt trời sử dụng tại điểm Eskimo

Cường độ ánh sáng ( $LI$ ) tới một điểm trên Trái Đất, nơi có vĩ độ Mặt Trời là  $\alpha$  có thể tính toán gần đúng bằng phương trình Meinel và Meinel:

$$I = 1.353 (0.7)^{(\csc \alpha)^{0.678}} \text{ kW m}^{-2}$$

trong đó  $\csc \alpha = 1/(\sin \alpha)$ . Vĩ độ Mặt Trời là góc tạo bởi tia Mặt Trời và đường chân trời. Vào khoảng 23 tháng Chín và 22 tháng 3, tia Mặt Trời song song với mặt phẳng xích đạo. Hỏi công suất

cực đại của một tấm pin quang điện với diện tích  $1 \text{ m}^2$  nếu hiệu suất chuyển đổi năng lượng của nó là 10%.

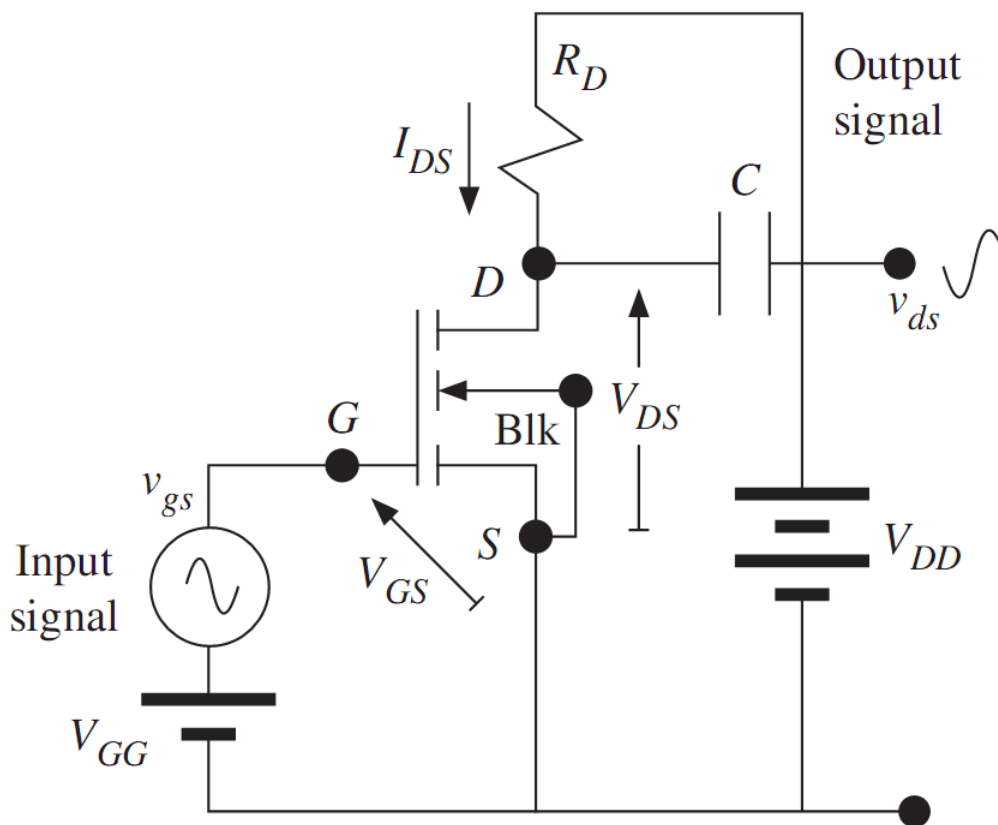
Một thử nghiệm của nhà sản xuất trên một pin mặt trời Si cấu trúc chuyển tiếp  $p-n$  tại nhiệt độ  $27^\circ\text{C}$  cho kết quả thế hở mạch là  $0.45 \text{ V}$ , dòng ngắn mạch là  $400 \text{ mA}$  khi được chiếu sáng vuông góc với ánh sáng cường độ  $1 \text{ kW m}^{-2}$ . Hệ số điền đầy của pin là  $0.73$ . Pin này được sử dụng cho một thiết bị cầm tay ở gần điểm Eskimo (Canada) tại vĩ độ địa lý ( $\phi$ ) là  $63^\circ$ . Hãy tính thế hở mạch và công suất cực đại khi pin mặt trời được sử dụng vào giữa trưa ngày 23 tháng Chín khi nhiệt độ vào khoảng  $-10^\circ\text{C}$ . Giá trị cực đại của dòng điện mà pin này có thể cung cấp cho một thiết bị điện tử là bao nhiêu? Kết luận của bạn là gì? (Chú ý là  $\alpha + \phi = \pi/2$ , và giả sử rằng  $\eta = 1$  và  $I_0 \propto n_i^2$ ).

## Chương 10

## Đặc tính khuếch đại của NMOSFET

Xét transistor NMOS Si kênh  $n$  có bề rộng kênh  $Z = 150 \text{ }\mu\text{m}$ , độ dài kênh  $L = 10 \text{ }\mu\text{m}$ , và độ dày của lớp ô-xít là  $t_{\text{ox}} = 500 \text{ \AA}$ . Điện tử trong kênh có độ linh động  $\mu_e = 700 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , và điện thế ngưỡng  $V_{\text{th}} = 2 \text{ V}$  ( $\epsilon_r = 3.9$  đối với  $\text{SiO}_2$ ).

- a) Tính dòng  $I_{DS}$  khi  $V_{GS} = 5 \text{ V}$  và  $V_{DS} = 5 \text{ V}$  và giả sử  $\lambda = 0.01$ .
- b) Hệ số khuếch đại điện thế tín hiệu nhỏ nếu NMOSFET được sử dụng trong mạch khuếch đại (Hình vẽ), với điện trở cực máng  $R_D = 2.2 \text{ k}\Omega$ , cực cổng được đặt thế  $5 \text{ V}$  so với cực nguồn ( $V_{GG} = 5$ ), và  $V_{DD}$  sao cho  $V_{DS} = 5$ . Giá trị của  $V_{DD}$  là bao nhiêu? Điều gì xảy ra nếu điện thế cấp của cực máng thấp hơn?
- c) Đánh giá giá trị dương nhất và âm nhất của tín hiệu điện thế vào mà có thể được khuếch đại nếu  $V_{DD}$  được giữ cố định lớn hơn giá trị của câu (b).
- d) Yếu tố nào dẫn đến hệ số khuếch đại điện thế lớn hơn?



Lời giải:

a) Dòng  $I_{DS}$  được xác định qua công thức:

$$I_{DS} = K (V_{GS} - V_{th})^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

Với hệ số  $K$  là:

$$K = \frac{Z \mu_e \epsilon_0 \epsilon_r}{2 L t_{ox}} = \frac{(150 \times 10^{-6})(700 \times 10^{-4})(3.9 \times 8.85 \times 10^{-12})}{2(10 \times 10^{-6})(500 \times 10^{-10})} = 0.0003624 \text{ A V}^{-2}$$

Với  $V_{th} = 2 \text{ V}$ ,  $V_{GS} = 5 \text{ V}$ , thu được:  $V_{DS(sat)} = V_{GS} - V_{th} = 3 \text{ V}$ . Như vậy khi  $V_{GS} = 5 \text{ V}$  và  $V_{DS(sat)} = 5 \text{ V} > V_{DS(sat)}$ , ta có:

$$\begin{aligned} I_{DS} &= K (V_{GS} - V_{th})^2 (1 + \lambda V_{DS}) \\ &= (3.624 \times 10^{-4} \text{ A V}^{-2})(5 \text{ V} - 2 \text{ V})(1 + 0.01 \text{ V}^{-1} \times 5 \text{ V}) \\ &= 3.42 \times 10^{-3} \text{ A hay } 3.4 \text{ mA} \end{aligned}$$

b) Độ dẫn truyền là:

$$\begin{aligned} g_m &= 2K (V_{GS} - V_{th})(1 + \lambda V_{DS}) \\ &= 2(0.3624 \times 10^{-3} \text{ A V}^{-2})(5 \text{ V} - 2 \text{ V})(1 + 0.01 \text{ V}^{-1} \times 5 \text{ V}) = 2.28 \times 10^{-3} \text{ A V}^{-1} \end{aligned}$$

Hệ số khuếch đại tín hiệu điện áp nhỏ là:

$$A_v = \frac{v_{ds}}{v_{gs}} = \frac{-R_D i_d}{v_{gs}} = -\frac{R_D \delta I_{DS}}{\delta V_{GS}} = \pm g_m R_D, \text{ thu được } A_v = -5.05.$$

Do  $V_{DS} = V_{DD} - I_{DS} R_D$  nên  $V_{DD} = V_{DS} + I_{DS} R_D = 12.5 \text{ V}$ . Giá trị nhỏ hơn của nguồn máng sẽ làm giảm hệ số khuếch đại và giới hạn biên độ của điện thế.

c) Tín hiệu ra  $V_{DS}$  chỉ có thể thay đổi giữa 0 và  $V_{DD}$ . Rõ ràng là,  $V_{DS} = V_{DD}$  khi  $I_D = 0$ , tương ứng với  $V_{GS-\min} = V_{th}$ . Điều đó có nghĩa giá trị âm nhất của tín hiệu vào  $v_{gs}$  phải là  $v_{gs-\min} = -(V_{GS} - V_{th}) = -3 \text{ V}$ . Khi tín hiệu vào  $v_{gs}$  và  $V_{GS}$  tăng, dòng máng  $I_{DS}$  cũng tăng và  $V_{DS}$  giảm. Ngay khi . Ta có thể giả sử rằng một khi  $V_{DS} < V_{DS(sat)}$ , sự khuếch đại của MOSFET trở nên không tuyến tính mạnh và hoạt động ở chế độ không mong muốn, nghĩa là tiếp tục tăng  $V_{GS}$  sẽ khiến cho  $V_{DS}$  thay đổi một lượng nhỏ. Giả sử rằng  $V_{GS-\max}$  là giá trị cực đại của thế phân cực GS để  $V_{DS}$  tiến tới  $V_{DS(sat)}$ , sao cho kênh bị đóng lại. Khi đó ngay tại điểm đóng:

$$V_{GS-\max} - V_{DS(sat)} = V_{th}$$

và  $I_{DS} = \frac{V_{DD} - V_{DS(sat)}}{R_D} \approx K(V_{GS-\max} - V_{th})^2$

Kết hợp hai phương trình thu được một phương trình bậc 2 của  $V_{GS-\max}$

$$(KR_D)V_{GS-\max}^2 + (1 - 2KR_DV_{th})V_{GS-\max} + (KR_DV_{th}^2 - V_{DD} - V_{th}) = 0$$

Thay các giá trị đã tìm được ở trên thu được phương trình bậc 2:

$$(0.7977)V_{GS-\max}^2 + (-2.19)V_{GS-\max} + (-11.31) = 0, \text{ tìm được nghiệm } V_{GS-\max} \approx 5.38 \text{ V}.$$

Tương ứng với tính hiệu vào cực đại là:  $v_{gs-\max} = V_{GS-\max} - V_{GG} = 5.38 \text{ V} - 5 \text{ V} = 0.38 \text{ V}.$

d) Nếu ta đặt  $V_{DS} = \frac{1}{2}V_{DD}$ , thì  $I_{DS} = V_{DD}/(2R_D)$ , và độ lớn của hệ số khuếch đại điện áp là:

$$A_V = g_m R_D \propto [KI_{DS}]^{1/2} R_D = \left[ K \frac{V_{DD}}{2R_D} \right]^{1/2} R_D = \left[ \frac{KR_D V_{DD}}{2} \right]^{1/2}$$

Như vậy ta có thể tăng hệ số khuếch đại bằng cách tăng  $R_D$ ,  $V_{DD}$ , hay hằng số  $K$ . Để thu được hằng số  $K$  lớn, cần sử dụng cực cổng rộng hơn ( $Z$  lớn hơn), kênh hẹp hơn ( $L$  nhỏ hơn), hay lớp ô-xít mỏng hơn ( $t_{ox}$  nhỏ hơn).