

## หน่วยที่ 13

### เจเฟต

#### สาระสำคัญ

เจเฟต (Junction field effect transistor ; JFET) ถูกนำมาใช้ในการขยายสัญญาณแทนทรานซิสเตอร์เนื่องจากมันทนต่อความร้อนได้มากกว่าและควบคุมการไหลของกระแสเดรนได้ด้วยสนามไฟฟ้า มีขาสำหรับต่อใช้งาน 3 ขาคือ ซอร์ส (Source , S) ,เดรน(Drain , D) และเกต (Gate , G) ถูกแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เจเฟต ชนิด N – Channel และ ชนิด P - Channel

#### เรื่องที่จะศึกษา

- 13.1 บทนำ
- 13.2 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเจเฟต
- 13.3 การไบแอสและคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเจเฟต
- 13.4 การตรวจสอบเจเฟต

#### จุดประสงค์การสอน

##### 1. จุดประสงค์ทั่วไป

- 1.1 เพื่อให้ นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและสัญลักษณ์ของเจเฟต
- 1.2 เพื่อให้ นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคุณลักษณะของเจเฟต
- 1.3 เพื่อให้ นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการตรวจสอบเจเฟต
- 1.4 เพื่อให้ นักเรียน มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการต่อวงจรเพื่อหาคุณลักษณะของเจเฟต
- 1.5 เพื่อให้ นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนที่เกี่ยวกับเรื่องของเจเฟต ทั้งในด้านการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม ความมีวินัย ความรับผิดชอบ การใช้วัสดุอุปกรณ์อย่างประหยัดและรู้คุณค่า

## 2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อเรียนจบบทเรียนหน่วยนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

- 2.1 บอกโครงสร้างและสัญลักษณ์ของเจฟตชนิดต่าง ๆ ได้
- 2.2 บอกวิธีการไปแอสเจฟตได้
- 2.3 บอกคุณลักษณะของเจฟตชนิดต่าง ๆ ได้
- 2.4 บอกวิธีการตรวจสอบเจฟตได้
- 2.5 สามารถต่อวงจรทดลองหาคุณลักษณะของเจฟตได้

## คุณธรรมและจริยธรรมที่มุ่งเน้น

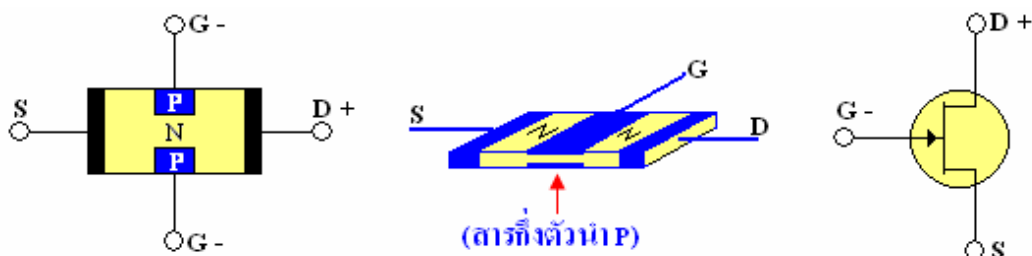
1. ความมีวินัย
2. ความรับผิดชอบ
3. ความมีมนุษยสัมพันธ์
4. ความสนใจใฝ่รู้
5. ความเชื่อมั่นในตนเอง

### 13.1 บทนำ

ฟิลด์เอฟเฟกทรานซิสเตอร์หรือเฟต (Field effect transistor ; FET) จัดเป็นอุปกรณ์ที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้ขยายสัญญาณแทนทรานซิสเตอร์ โดยวิธีการใช้สนามไฟฟ้าไปควบคุมการไหลของกระแสแทนการใช้กระแสควบคุมกระแสอย่างทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ โดยทั่วไปแล้วเฟตถูกแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ เจเฟต และ มอสเฟต สำหรับหน่วยนี้จะกล่าวถึงเจเฟต

### 13.2 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเจเฟต

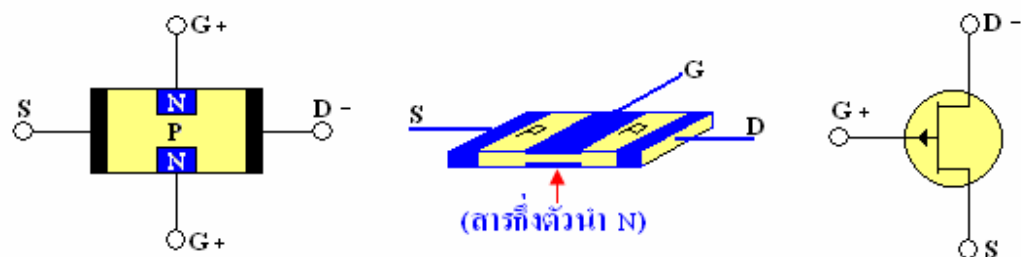
เจเฟตถูกแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิด N – Channel และ P – Channel แต่ทั้ง 2 ชนิด จะมี 3 ขาเหมือนกัน คือ ขาซอร์ส (Source ; S ) ขาเดรน (Drain ; D) และขาเกต (Gate ; G)



ก) โครงสร้าง

ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 13.1 โครงสร้าง และสัญลักษณ์ ของเจเฟต ชนิด N-Channel



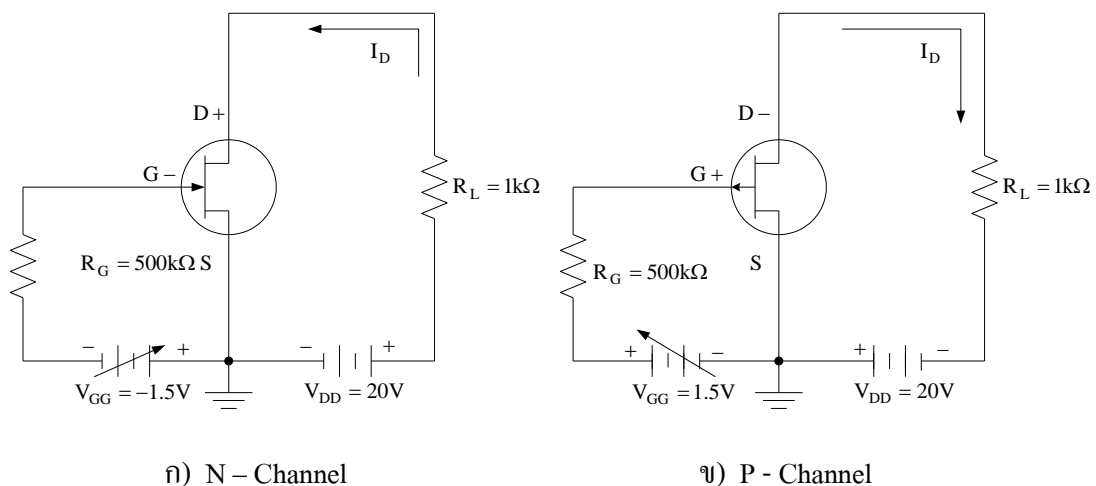
ก) โครงสร้าง

ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 13.2 โครงสร้าง และสัญลักษณ์ ของเจเฟต ชนิด P-Channel

จากรูปที่ 13.1 และ 13.2 จะเห็นว่าลักษณะโครงสร้างของเจฟfetทั้งชนิด N-Channel และชนิด P-Channel จะมีลักษณะโครงสร้างคล้ายกัน โดยชนิด N-Channel ดังในรูปที่ 13.1 จะมีเนื้อสารหลักเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N แล้วทำการแพร่สารเจือปนบริเวณส่วนกลางให้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด P และให้ล้อมรอบสารกึ่งตัวนำชนิด N ไว้ แต่จะเว้นช่องว่างไว้ไม่ให้สารกึ่งตัวนำชนิด P ต่อถึงกันทั้งหมด ส่วนสัญลักษณ์ที่ขาเดรน (D) จะมีลักษณะของหัวลูกศรชี้เข้าด้านใน ส่วนในรูปที่ 13.2 นั้นจะเป็นเจฟfetชนิด P-Channel จะมีเนื้อสารหลักเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด P แล้วทำการแพร่สารเจือปนบริเวณส่วนกลางให้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N และให้ล้อมรอบสารกึ่งตัวนำชนิด P ไว้เช่นกัน และจะเว้นช่องว่างไว้ไม่ให้สารกึ่งตัวนำชนิด N ต่อถึงกันทั้งหมด ในส่วนของสัญลักษณ์ที่ขาเดรน (D) จะมีลักษณะของหัวลูกศรชี้ออกด้านนอก

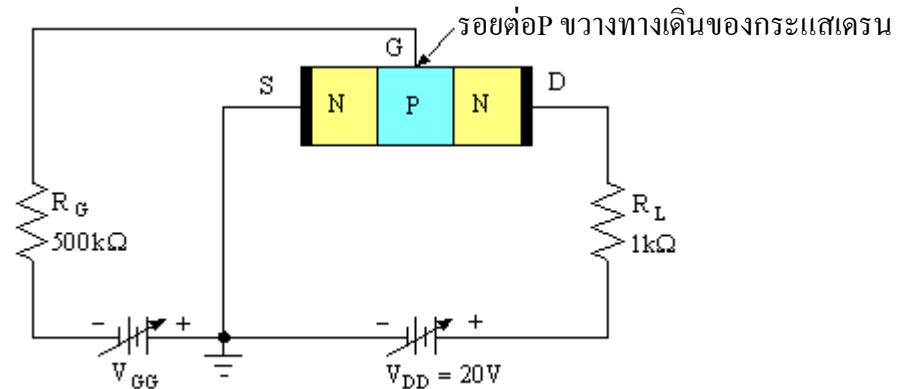
### 13.3 การไบแอสและคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเจฟfet



รูปที่ 13.3 การไบแอสเจฟfetชนิด N - Channel และ P - Channel

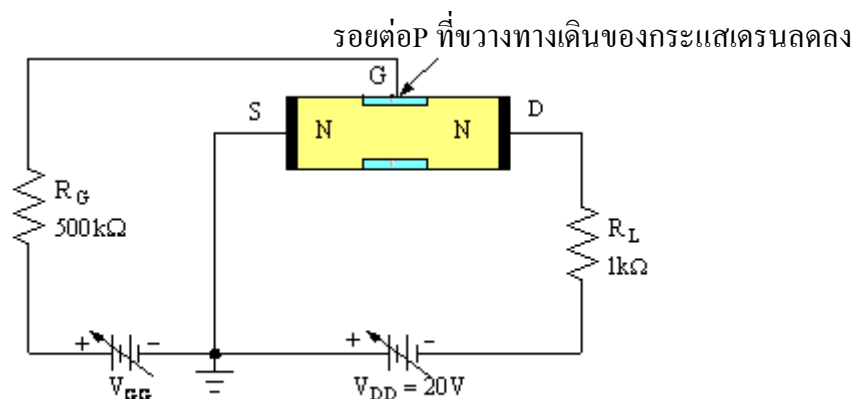
ในการจัดไบแอสเจฟfetไม่ว่าจะเป็นชนิด N - Channel หรือ P - Channel มีข้อสังเกตว่า จะต้องไบแอสกลับให้กับ ขา G กับ S ซึ่งถ้าพิจารณารูปที่ 13.3 ก) เป็นการไบแอสเจฟfetชนิด N - Channel สมมุติว่า  $V_{GG}$  เป็นศูนย์ แต่  $V_{DD} = 20\text{ V}$  จะมีกระแสเดรน ( $I_D$ ) ไหลจากขา D มาได้ เนื่องจากว่าถ้าพิจารณาตามโครงสร้างแล้วขาหรือ ขั้ว D กับ S เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N เท่าเดียวกัน จึงเสมือนว่าเป็นตัวต้านทานตัวหนึ่ง แต่ถ้าเราต้องการควบคุมปริมาณการไหลของกระแสเดรนให้มากหรือน้อย ก็สามารถกระทำได้โดยการปรับค่าแรงดัน  $V_{GG}$  เช่นถ้าปรับเพิ่มค่าแรงดัน  $V_{GG}$  จากศูนย์ให้เพิ่มขึ้น ขา G จะมีสนามไฟฟ้าเป็นลบเพิ่มมากขึ้น และสิ่งที่เกิดขึ้นตามมาก็คือ อิเล็กตรอน

ส่วนหนึ่งที่มีอยู่ในสารชนิด P จะถูกผลักให้ห่างออกไป จึงเสมือนว่าเกิดพื้นที่ว่างหรือเกิดโฮล (Hole) ขยายวงกว้างออกไป จึงทำให้พื้นที่ของสารชนิด P ขยายใหญ่ขึ้น ยิ่งถ้าเพิ่มค่า  $V_{GG}$  ให้มากขึ้น ขา G ก็จะมีอำนาจสนามไฟฟ้าลบมากขึ้น ผลักดันอิเล็กตรอนออกไปมากขึ้น ช่องว่างทางเดินของกระแสที่ไหลจากขา D มา S จะแคบลง ปริมาณกระแสที่ไหลจะน้อยลงจนไม่สามารถไหลจาก D มา S ได้ เนื่องจาก  $V_{GG}$  ถูกปรับเพิ่มจนขา G เป็นลบมากถึงขั้นทำให้เสมือนว่ามีสาร P ไปขวางทางเดินของกระแสเกิดการแบ่งสาร N ออกเป็น 2 ด้าน ดังรูปที่ 13.4



รูปที่ 13.4 การเพิ่มค่า  $V_{GG}$  ทำให้เสมือนเกิดสาร P ขวางทาง  $I_D$

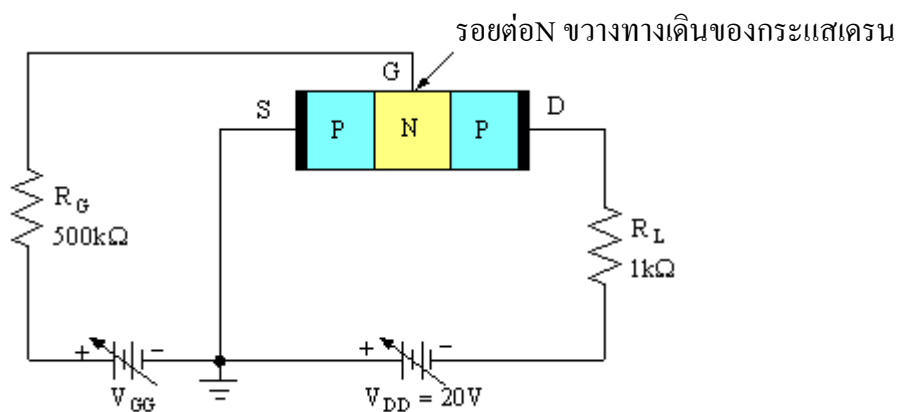
ต่อไปถ้าทำการสลับขั้ว  $V_{GG}$  ให้ขั้วบวกไปอยู่ด้าน G หรือทำให้ขา G เป็นบวก ถ้าเพิ่มค่าแรงดัน  $V_{GG}$  เพื่อให้ G มีสนามไฟฟ้าเป็นบวกมากขึ้น อำนาจไฟฟ้าบวกจะไปดึงอิเล็กตรอนให้เข้ามาอยู่ที่สาร P ทำให้พื้นที่ของ P ลดลงจนหมดไป ช่องทางเดินของกระแส  $I_D$  จากขา D มาขา S จะกว้างขึ้นกระแส  $I_D$  ก็จะไหลได้สะดวกและมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัวในที่สุดพิจารณาได้ดังรูปที่ 13.5



รูปที่ 13.5 การทำให้ขา G เป็นบวกและเพิ่มค่าแรงดัน  $V_{GG}$  ให้เป็นบวกมากขึ้น

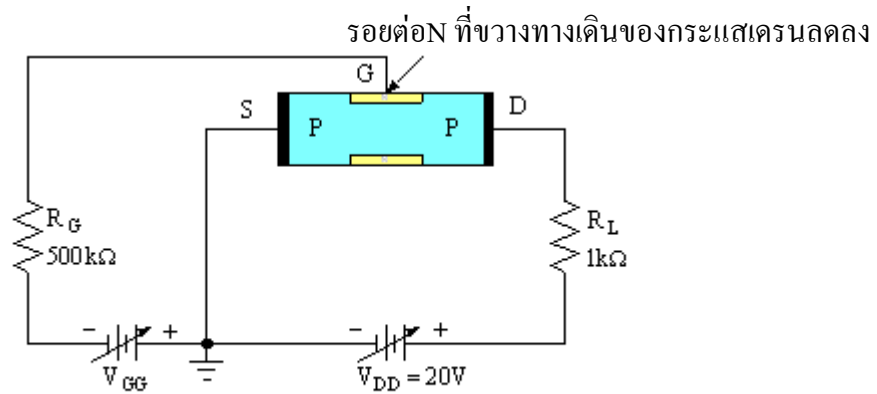
จึงสรุปได้ว่าการควบคุมแรงดันที่ขาเกต ( $V_{GS}$ ) จะควบคุมการไหลของกระแสเดรน ( $I_D$ ) และแรงดันที่เกิดสามารถควบคุมได้ตั้งแต่ช่วงแรงดันเป็นลบไปจนถึงแรงดันเป็นบวก ในส่วนของเจฟต ชนิด P – Channel ก็มีการทำงาน เช่นเดียวกับชนิด N – Channel เพียงแต่ขั้วการไบแอสจะกลับกันเท่านั้นเองตามวงจรในรูปที่ 13.3 ข)

พิจารณารูปที่ 13.3 ข) เป็นการไบแอสเจฟตชนิด P – Channel สมมุติว่า  $V_{GG}$  เป็นศูนย์ แต่  $V_{DD} = 20\text{ V}$  จะมีกระแสเดรน ( $I_D$ ) ไหลจากขา D มาได้ ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่าถ้าหากเราพิจารณาตามโครงสร้างแล้วขาหรือ ขั้ว D กับ S เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด P แท่งเดียวกันจึงเสมือนว่าเป็นตัวต้านทานตัวหนึ่ง แต่ถ้าเราต้องการควบคุมปริมาณการไหลของกระแสเดรนให้มากหรือน้อย ก็สามารถกระทำได้โดยการปรับค่าแรงดัน  $V_{GG}$  เช่นถ้าปรับเพิ่มค่าแรงดัน  $V_{GG}$  จากศูนย์ให้เพิ่มขึ้น ขา G จะมีสนามไฟฟ้าเป็นบวกเพิ่มมากขึ้น และสิ่งที่เกิดขึ้นตามมาก็คือ อิเล็กตรอนส่วนหนึ่งที่มีอยู่ในสารชนิด P จะถูกดึงดูดเข้ามา จึงเสมือนว่าเกิดพื้นที่ของอิเล็กตรอนมากขึ้น จึงทำให้พื้นที่ของสารชนิด N ขยายใหญ่ขึ้น ยิ่งถ้าเพิ่มค่า  $V_{GG}$  ให้มากขึ้น ขา G ก็จะมีอำนาจสนามไฟฟ้าบวกมากขึ้น และดึงดูดอิเล็กตรอนให้เข้ามารวมตัวกันมากขึ้น ช่องว่างทางเดินของกระแสเดรน ที่ไหลจากขา D มา S จะแคบลง ปริมาณกระแสเดรน ก็จะน้อยลงจนไม่สามารถไหลจาก D มา S ได้ เนื่องจาก  $V_{GG}$  ถูกปรับเพิ่มจนขา G เป็นบวกมากถึงขั้นทำให้เสมือนว่ามีสาร N ไปขวางทางเดินของกระแสเกิดการแบ่งสาร P ออกเป็น 2 ด้าน ดังรูปที่ 13.6



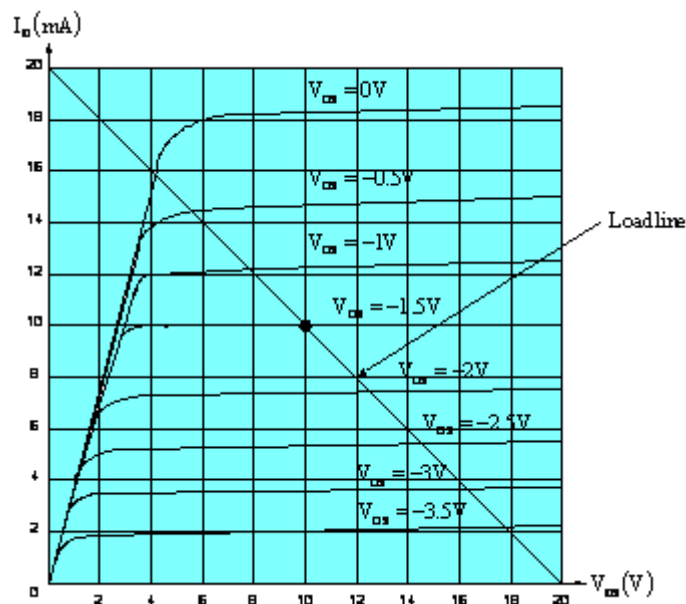
รูปที่ 13.6 การเพิ่มค่า  $V_{GG}$  ทำให้เสมือนเกิดสาร N ขวางทาง  $I_D$

ต่อไปถ้าทำการสลับขั้ว  $V_{GG}$  ให้ขั้วลบไปอยู่ด้าน G หรือทำให้ขา G เป็นบวก ถ้าเพิ่มค่าแรงดัน  $V_{GG}$  เพื่อให้ G มีสนามไฟฟ้าเป็นลบเพิ่มมากขึ้น อำนาจไฟฟ้าลบจะไปผลักอิเล็กตรอนให้ห่างจากขา G ทำให้พื้นที่ของ N ลดลงจนหมดไป ช่องทางเดินของกระแส  $I_D$  จากขา D มาขา S จะกว้างขึ้น กระแส  $I_D$  ก็จะสามารรถไหลได้สะดวกและมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัวในที่สุด พิจารณาได้ดังรูปที่ 13.7



รูปที่ 13.7 การทำให้ขา G เป็นลบและเพิ่มค่าแรงดัน  $V_{GG}$  ให้เป็นลบมากขึ้น

จากคุณลักษณะของเจฟेटดังกล่าวข้างต้น เราสามารถนำมาสรุปเป็นกราฟคุณลักษณะของเจฟेटได้ดังรูปที่ 13.8



รูปที่ 13.8 กราฟคุณลักษณะของเจฟेटและเส้นสมการโหลด

จากกราฟคุณลักษณะของเจเฟตในรูปที่ 13.8 จะเห็นได้ว่าถ้า  $V_{DD}$  คงที่ที่ 20 V แล้วปรับค่า  $V_{GG}$  ระหว่างช่วงแรงดันเป็นลบถึงแรงดันเป็นบวก โดยถ้าแรงดัน  $V_{GG}$  ที่ทำให้ขา G มีค่าเป็นลบมาก แรงดันตกคร่อม  $V_{DS}$  จะมีค่ามาก แต่กระแส  $I_D$  จะน้อยลงจนถึงขั้นไม่มีกระแส  $I_D$  แต่ถ้าเพิ่ม  $V_{GG}$  ที่ทำให้ขา G เป็นบวกมากขึ้น  $V_{DS}$  จะลดลงแต่  $I_D$  จะเพิ่มขึ้น

ในส่วนของเส้นสมการโหลด หาได้จากกรณีที่  $I_D = 0$  แต่  $V_{DS} = V_{DD} = 20$  V ดังนั้นจะทำการพล็อตจุดแกนแรงดัน  $V_{DS}$  ที่ 20 V ครั้นต่อมาถ้าเกิดการนำกระแส  $I_D$  เดิมที่เสมือนว่า  $V_{DS} = 0$  V แต่แรงดันตกคร่อมโหลด ( $R_L$ ) จะมีค่าประมาณเท่ากับ  $V_{DD}$  คือ 20 V

$$\begin{aligned} \therefore I_D &= \frac{V_{RL}}{R_L} \\ &= \frac{20 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} \\ &= 20 \text{ mA} \end{aligned}$$

นำค่า  $I_D = 20$  mA ไปพล็อตลงบนแกน  $I_D$  จากนั้นลากเส้นตรงจาก  $V_{DS} = 20$  V ไปหาแกน  $I_D = 20$  mA เส้นตรงที่ได้เรียกว่าเส้นสมการโหลด

อย่างไรก็ตามในขณะที่  $V_{GS} = 0$  ค่ากระแส  $I_D$  ในขณะนี้ถูกเรียกว่า “กระแสอิ่มตัวระหว่างเดรน กับ ซอร์ส” ( $I_{DSS}$ ) เป็นค่ากระแสคงที่ค่าหนึ่ง และเมื่อใดก็ตามที่  $I_D = 0$  ค่าแรงดัน  $V_{DS}$  ที่ทำให้  $I_D = 0$  นี้ เรียกว่า “แรงดันพินช์ออฟ” (Pinch off voltage ;  $V_P$ ) ดังนั้นเราจึงสามารถหาค่า  $I_D$  ที่  $V_{GS}$  ค่าต่าง ๆ ได้จากสมการต่อไปนี้คือ

$$I_D = I_{DSS} \left[ 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right]^2 \dots\dots\dots(13.1)$$

- เมื่อ  $I_{DSS}$  = กระแสคงที่ค่าหนึ่ง ที่  $V_{GS} = 0$   
 $V_{GS}$  = แรงดันระหว่างเกตกับซอร์สที่ตำแหน่งต่างๆ  
 $V_P$  = แรงดันพินช์ออฟที่ทำให้  $I_D = 0$

ต่อไปถ้าเพิ่มค่าแรงดัน  $V_{DS}$  จนกระทั่ง  $I_D$  ไม่เพิ่มขึ้นอีกคือ  $I_D$  อิ่มตัวหรือคงที่ เจเฟตจะทำงานอยู่ในย่านอิ่มตัว ค่าแรงดัน  $V_{DS}$  ขณะนี้คือ  $V_{DS(sat)}$  สามารถหาได้จาก

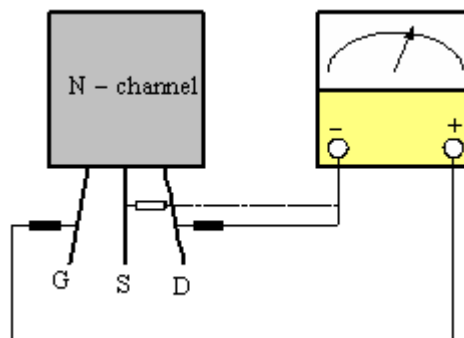
$$V_{DS(sat)} = V_{GS} - V_P \dots\dots\dots(13.2)$$



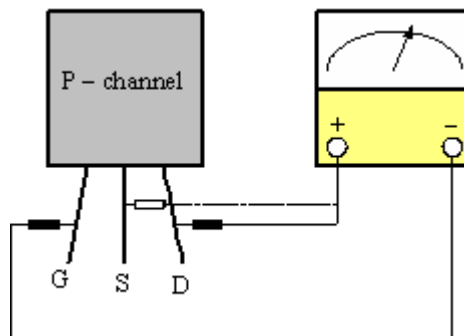
### 13.4 การตรวจสอบเจเฟต

การตรวจสอบว่าเจเฟตดีหรือเสีย (กรณีทราบขาต่าง ๆ ของเจเฟต)

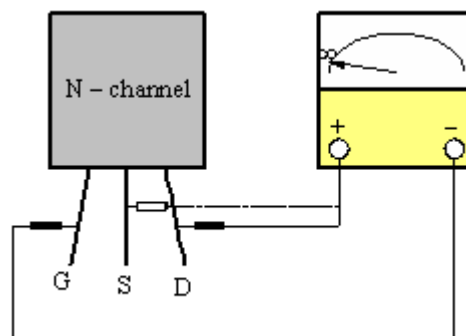
- 1) ตั้งมิเตอร์ที่ย่าน  $R \times 10$
- 2) วัดหาขา G โดยถ้าทำการวัดความต้านทานที่ G กับ S และ G กับ D อย่างละ 2 ครั้ง โดยสลับขั้วของมิเตอร์ จะได้ค่าความต้านทานสูงค่าหนึ่งและต่ำอีกค่าหนึ่ง ดังรูปที่ 13.9



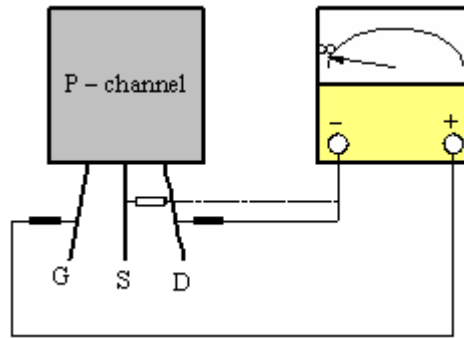
- ก) กรณี N-channel ขั้ว + อยู่ที่ขา G และขั้ว - อยู่ที่ขา D กับขา S จะได้ค่าความต้านทานต่ำ



- ข) กรณี P-channel ขั้ว - อยู่ที่ขา G และขั้ว + อยู่ที่ขา D กับขา S จะได้ค่าความต้านทานต่ำ



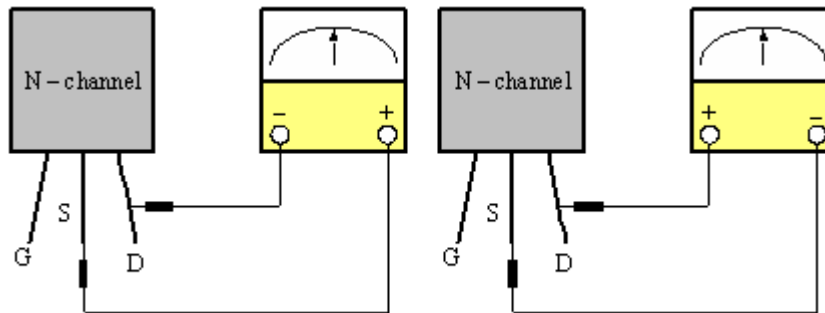
- ค) กรณี N-channel ขั้ว - อยู่ที่ขา G และขั้ว + อยู่ที่ขา D กับขา S จะได้ค่าความต้านทานสูง



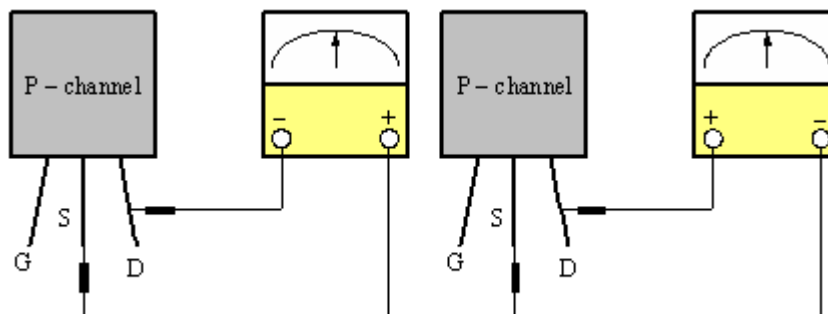
ง) กรณี P-channel ขั้ว + อยู่ที่ขา G และขั้ว - อยู่ที่ขา D กับขา S จะได้ค่าความต้านทานสูง

รูปที่ 13.9 การวัดหาค่า G ของเจฟต N-channel และ P-channel

3) วัดความต้านทานระหว่าง D กับ S โดยสลับขั้วของมิเตอร์ 2 ครั้ง จะได้ค่าความต้านทานเท่ากันทั้ง 2 ครั้ง ดังรูปที่ 13.10



ก) กรณีวัดความต้านทานระหว่าง D กับ S ของเจฟต N-channel



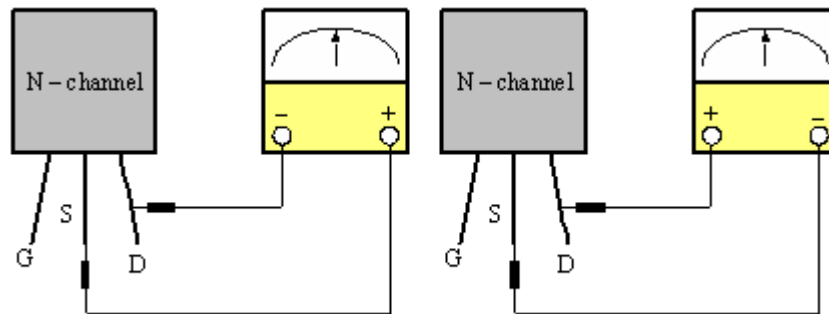
ข) กรณีวัดความต้านทานระหว่าง D กับ S ของเจฟต P-channel

รูปที่ 13.10 การวัดค่า D กับ S ของเจฟต N-channel และ P-channel

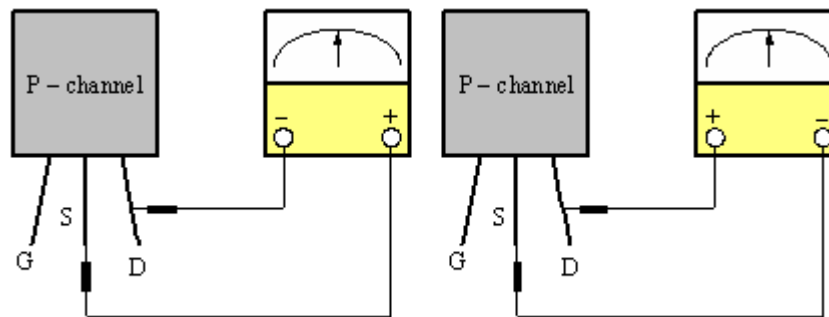
การตรวจสอบเจเฟต (กรณีไม่ทราบขาต่าง ๆ)

1. ตั้งมิเตอร์สเกล R x 10

2. วัดหาขา D กับ S โดยสลับขั้วของมิเตอร์ 2 ครั้ง ขาของเจเฟตคู่ใดวัด 2 ครั้ง แล้วได้ความต้านทานเท่ากันแสดงว่าเป็นขา D กับ S ขาที่เหลือคือขา G ดังรูปที่ 13.11



ก) วัดความต้านทานระหว่าง D กับ S ของเจเฟต N-channel ความต้านทานจะเท่ากัน 2 ครั้ง



ข) วัดความต้านทานระหว่าง D กับ S ของเจเฟต P-channel ความต้านทานจะเท่ากัน 2 ครั้ง

รูปที่ 13.11 การวัดขา D กับ S ของเจเฟต N-channel และ P-channel กรณีไม่ทราบขา

หมายเหตุ ขา D กับ S อาจต้องทำการเปิดคู่มือเฟตเพื่อดูว่าเฟตเบอร์ใดมีขาต่าง ๆ อยู่ ณ ที่ตำแหน่งใดบ้างเนื่องจากว่าขา D กับ S วัดความต้านทานได้เท่ากัน 2 ครั้ง ดังนั้นเฟตบางเบอร์จะใช้ขา D กับ S สลับแทนกันได้แต่เฟตบางเบอร์ไม่สามารถใช้แทนกันได้ตามลักษณะ โครงสร้างของเฟตเบอร์นั้น ๆ