

บทที่ 1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ยานความถี่สูง

อุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้งานในย่านความถี่สูง (300 kHz-300 MHz) ได้แก่ ชอตต์กีไอดีโอด, พินไอดีโอด, วาริแคปไอดีโอด, ทรานซิสเตอร์ และเฟต, ก่อนนำไปใช้งาน หรือออกแบบวงจรจำเป็นจะต้องทราบรายละเอียดของอุปกรณ์ ได้แก่ ค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุด, คุณลักษณะทางความร้อน, คุณลักษณะทางไฟฟ้า, วงจรสมมูลความถี่สูงของชอตต์กีไอดีโอด, พินไอดีโอด, วาริแคปไอดีโอด, แบบจำลองไซบริด-ไฟของทรานซิสเตอร์ และเฟต

บทนี้มีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ รายละเอียดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ก่อนนำไปใช้ วิเคราะห์ หรือออกแบบ จึงขอให้ผู้เรียนกรุณาเพิ่มความตั้งใจ ในการศึกษาในบทนี้ ให้มากยิ่งขึ้น

1.1 ชอตต์กีไอดีโอด

ชอตต์กีไอดีโอด หรือ “ชอตแครร์เรียร์ไอดีโอด” (Schottky or Hot Carrier Diode) เป็นไอดีโอดที่สามารถทำงานในย่านความถี่สูง จะถูกใช้งานเกี่ยวกับ การเรียงกระแส, การรวมสัญญาณ, การมดเลต และการดีมอดูลেต ได้แก่ เบอร์ D0520-HT3 และ MMBD352LT1



รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะและภาพเหมือนของชอตต์กีไอดีโอด

1.1.1 ค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุดของชอตต์กีไอดีโอด

ค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุด เป็นค่าสูงสุดที่ไอดีโอดสามารถทนได้ที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C ได้แก่ แรงดันกลับทางกระแสตรง, ค่ายอดซ้ำสูงสุดของแรงดันกลับทาง, กระแสตรงไปหน้า, กระแสเฉลี่ยไปหน้าของการเรียงกระแส และค่ายอดกระแสเสิร์ฟไปหน้า เป็นต้น

1.1.1.1 แรงดันกลับทางกระแสตรง

แรงดันกลับทางกระแสตรง เป็นค่าแรงดันกลับทาง ของไฟฟ้ากระแสตรง ตกคร่อมไอดีโอด

1. ຖຸມສນມັດຕິກາງໄຟຟ້າແລະພາຣາມີເຫດອົບຢ່ານຄວາມອື່ສູງ

ຈາກຕາຮາງທີ່ 1.1 $V_R = 20 \text{ V}$

ການໃຊ້ຈານ ໄດ້ໂອດຕ້ອງມີຄໍາແຮງດັນ $V_R \leq 20 \text{ V}$

ຕາຮາງທີ່ 1.1 ແສດງຄໍາສັນນູຽນພຶກັດສູງສຸດຂອງໂອດຕິໄດ້ໂອດ

ຄໍາສັນນູຽນພຶກັດສູງສຸດທີ່ອຸນຫກູມໂດຍຮອນ 25°C ($T_A = 25^\circ\text{C}$)				
ພາຣາມີເຫດອົບ	ສັນລັກຍົນ	ຄໍາ	ໜ່ວຍ	
ແຮງດັນກັບທາງກະແສຕຽງ (DC Reverse Voltage)	V_R	20	V	
ຄໍາຍອດໜ້າສູງສຸດຂອງແຮງດັນກັບທາງ (Maximum Repetitive Peak Reverse Voltage)	V_{RRM}	20	V	
ກະແສຕຽງໄປໜ້າ (DC Forward Current)	I_F	500	mA	
ກະແສເຄລື່ອໄປໜ້າຂອງກະແສຕຽງ (Average Forward Rectified Current ($T_C = 115^\circ\text{C}$))	$I_{F(AV)}$	500	mA	
ຄໍາຍອດກະແສເຕີຣີໄປໜ້າ (Peak Forward Surge Current (8.3 ms Single half sine-wave) ($T_L = 25^\circ\text{C}$))	I_{FSM}	5.5	A	

ໝາຍເຫດ ຕົວເລີກໃນຕາຮາງເປັນຄໍາຍອດຕ້ວອ່ານໃນກາຮອິນຍາຍ

1.1.1.2 ຄໍາຍອດໜ້າສູງສຸດຂອງແຮງດັນກັບທາງ (V_{RRM})

ຄໍາຍອດໜ້າສູງສຸດຂອງແຮງດັນກັບທາງ ເປັນຄໍາຍອດໜ້າສູງສຸດຂອງແຮງດັນ ກະ-ແສສັນຕິພາບຮ່ວມໄດ້ໂອດ ໃນໜ້າໄປແອສກັບທາງ ທີ່ໄດ້ໂອດທຸນໄດ້

ຈາກຕາຮາງທີ່ 1.1 $V_{RRM} = 20 \text{ V}$

ການໃຊ້ຈານ ໄດ້ໂອດຕ້ອງມີຄໍາແຮງດັນ $V_{RRM} \leq 20 \text{ V}$

1.1.1.3 ກະແສຕຽງໄປໜ້າ (I_F)

ກະແສຕຽງໄປໜ້າ ເປັນຄໍາໄຟຟ້າກະແສຕຽງສູງສຸດທີ່ໄຫລຜ່ານໄດ້ໂອດ ເມື່ອໄດ້ຮັບໄປແອສໄປໜ້າ

ຈາກຕາຮາງທີ່ 1.1 $I_F = 500 \text{ mA}$

ການໃຊ້ຈານ ໄດ້ໂອດຈະຕ້ອງມີຄໍາກະແສ $I_F \leq 500 \text{ mA}$

1.1.1.4 ກະແສເຄລື່ອໄປໜ້າຂອງກະແສຕຽງ ($I_{F(AV)}$)

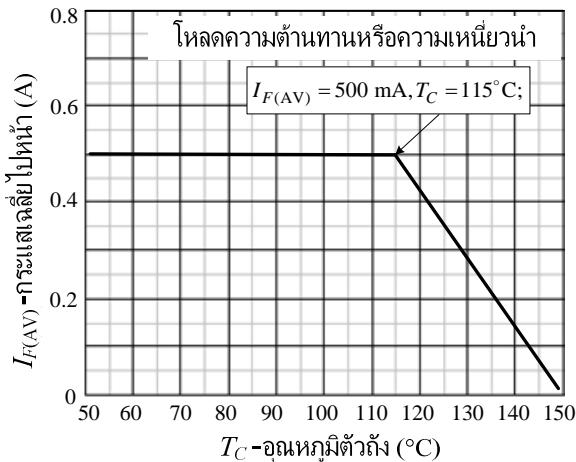
ກະແສເຄລື່ອໄປໜ້າຂອງກະແສຕຽງ ເປັນຄໍາກະແສທີ່ໄຫລຜ່ານໄດ້ໂອດ ຂະນະເຮີຍກະແສແບບຄົງຄົ່ນ ໂດຍບໍ່ໄມ້ໄດ້ຮັບກາງກරອງກະແສໃຫ້ເຮີຍ

ຈາກຕາຮາງທີ່ 1.1 ແລະຈາກຮູບທີ່ 1.2 $I_{F(AV)} = 500 \text{ mA}$ ຂະນະອຸນຫກູມທີ່ຕັ້ງໄດ້ໂອດ 115°C

ການໃຊ້ຈານ ໄດ້ໂອດຈະຕ້ອງມີຄໍາກະແສ $I_{F(AV)} \leq 500 \text{ mA}$

ການວິຄະຮ່ວງຈະກຳລັກກອນນິກສົກວາມອື່ສູງ

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่งานความถี่สูง



รูปที่ 1.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส $I_{F(AV)}$ กับอุณหภูมิตัวถัง (T_C)

1.1.1.5 ค่ายอดกระแสเสริร์จไปหน้า (I_{FSM})

ค่ายอดกระแสเสริร์จไปหน้า เป็นค่ายอดกระแสแรก ที่ไอล์ฟผ่านได้โดยสูงสุด ช่วงใบแอลอสไปหน้า

จากตารางที่ 1.1 $I_{FSM} = 5.5 \text{ A}$ โดยทดสอบ ที่สัญญาณไซน์ 120 Hz แบบ

ครึ่งคลื่น

1.1.2 คุณลักษณะทางความร้อนของชอตติกไดโอด
ตารางที่ 1.2 แสดงคุณลักษณะทางความร้อนของชอตติกไดโอด

คุณลักษณะทางความร้อนที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C			
พารามิเตอร์	เดซัลกัมเปี้ยน	ค่า	หน่วย
ความต้านทานความร้อนรอยต่อถึงอุณหภูมิโดยรอบ	$R_{\theta JA}$	500	$^\circ \text{C}/\text{W}$
อุณหภูมิร้อยต่อขณะทำงาน	T_j	150	$^\circ \text{C}$
พิสัยอุณหภูมิสะสม	T_{stg}	-65 ถึง +150	$^\circ \text{C}$

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่ากดตัวอย่างในการอธิบาย

1.1.2.1 ความต้านทานความร้อนรอยต่อถึงอุณหภูมิโดยรอบ ($R_{\theta JA}$)

จากตารางที่ 1.2 $R_{\theta JA} = 500 \text{ }^\circ \text{C}/\text{W}$

1.1.2.2 อุณหภูมิร้อยต่อขณะทำงาน (T_j)

ค่าอุณหภูมิร้อยต่อของไดโอด จากตารางที่ 1.2 $T_j = 150 \text{ }^\circ \text{C}$

1.1.2.3 พิสัยอุณหภูมิสะสม (T_{stg})

ค่าช่วงอุณหภูมิสะสม ของไดโอด จากตารางที่ 1.2 $T_{stg} = -65 \text{ ถึง } +150 \text{ }^\circ \text{C}$

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ยานความถี่สูง

1.1.3 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของชอตติกไ/doide

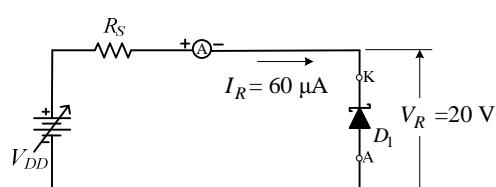
ตารางที่ 1.3 แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของชอตติกไ/doide

คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C						
คุณลักษณะ	เงื่อนไขทดสอบ	สัญลักษณ์	ต่ำสุด	ตัวอย่าง	สูงสุด	หน่วย
แรงดันกลับทางกระแสตรง (DC Reverse Voltage)	$I_R = 60 \mu\text{A}$	V_R	20	-	-	V
กระแสตรงกลับทาง (DC Reverse Current)	$V_R = 16 \text{ V}$	I_R	-	-	30	μA
ค่าช้าของแรงดันไปหน้า (Instantaneous Forward Voltage) (Pulse test 300 ms pulse width, 1% duty cycle)	$I_F = 10 \text{ mA}, T_A = 25^\circ\text{C};$	V_F	-	-	220	mV
	$I_F = 100 \text{ mA}, T_A = 25^\circ\text{C};$		-	-	300	
	$I_F = 10 \text{ mA}, T_A = 100^\circ\text{C};$		-	-	180	
เวลาฟื้นตัวกลับทางของไ/doide (Diode Reverse Recovery Time)	$I_F = I_R = 100 \text{ mA};$	t_{rr}	-	32	-	ns
ความจุไ/doide (Diode Capacitance)	$V_R = 0, f = 1 \text{ MHz};$	C_D	-	0.88	1	pF

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่ายกตัวอย่างในการอธิบาย

1.1.3.1 แรงดันกลับทางกระแสตรง (V_R)

เช่นเดียวกับ หัวข้อ 1.1.1.1 ดังแสดงในรูปที่ 1.3



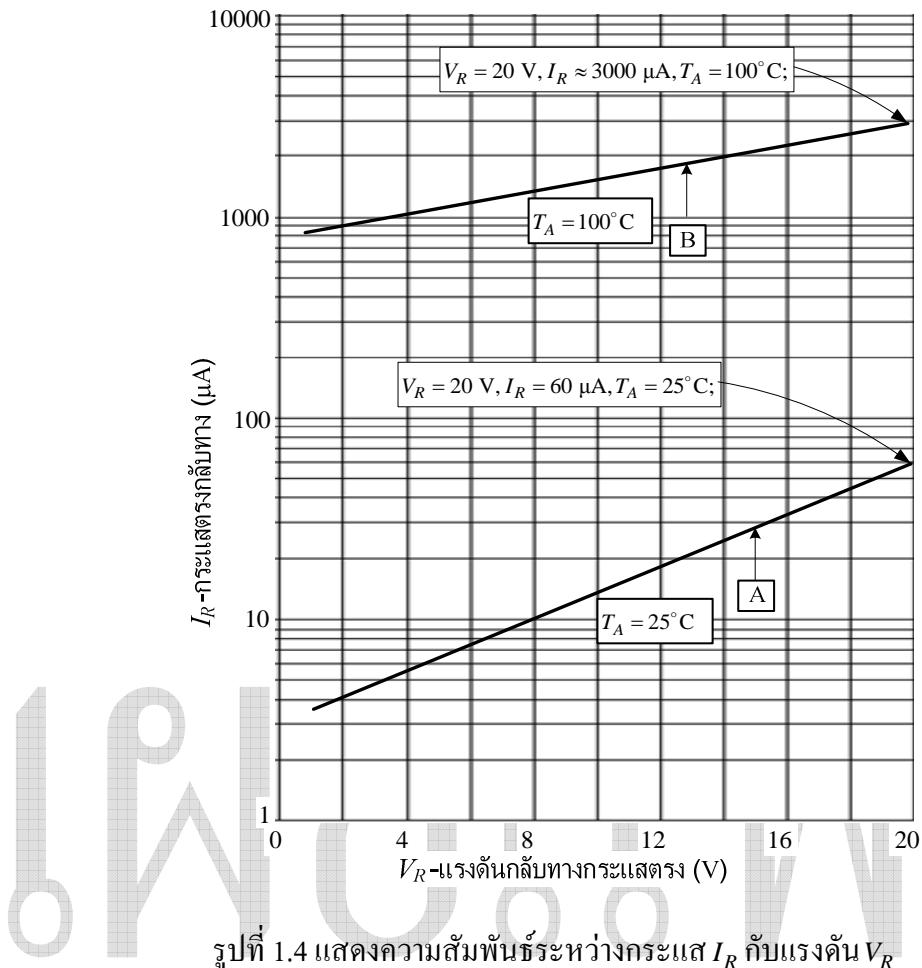
รูปที่ 1.3 แสดงการใบเอกสารลับทางและการวัดแรงดัน V_R ของชอตติกไ/doide

จากตารางที่ 1.3 $V_R = 20 \text{ V}$

จากรูปที่ 1.4 มีรายละเอียด ดังนี้ :-

- เส้นกราฟ [A] $T_A = 25^\circ\text{C}, V_R = 20 \text{ V}, I_R = 60 \mu\text{A};$
- เส้นกราฟ [B] $T_A = 100^\circ\text{C}, V_R = 20 \text{ V}, I_R \approx 3000 \mu\text{A};$
- การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะปรับผันต่าง กับกระแส I_R

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่บ่งบอกความถี่สูง



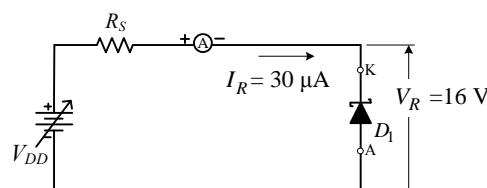
การใช้งานค่าแรงดัน $V_R \leq 20\text{ V}$ และต้องคำนึงถึงค่าอุณหภูมิโดยรอบด้วย
ซึ่งมีผลต่อกระแสกลับทาง

1.1.3.2 กระแสตรงกลับทาง (I_R)

กระแสตรงกลับทาง เป็นค่ากระแสตรง ให้ผ่านไอดิโอด ขณะได้รับไบแอส
กลับทาง ดังแสดงในรูปที่ 1.5

จากตารางที่ 1.3 $I_R = 30\text{ }\mu\text{A}$

การใช้งานเช่นเดียวกับแรงดัน V_R



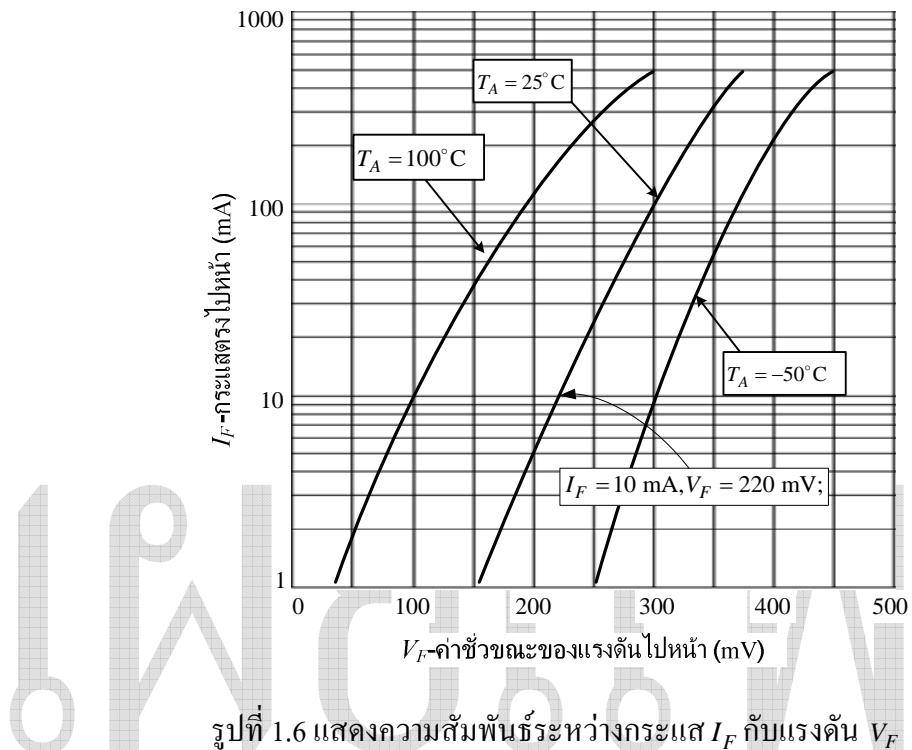
รูปที่ 1.5 แสดงการไบแอสกลับทาง และการวัดกระแส I_R ของชอต基ไอดิโอด

การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ยานความถี่สูง

1.1.3.3 ค่าชี้วัดของแรงดันไฟฟ้า (V_F)

ค่าชั่วขณะของแรงดันไฟฟ้า เป็นค่าแรงดันชั่วขณะต่อกรุ่มได้โดย ขณะได้รับไบแอสไฟฟ้า โดยการป้อนพลังงานด้วย 300 ms วัภจกรหน้าที่ 1% (Duty Cycle)



จากตารางที่ 1.3 มีรายละเอียดเกี่ยวกับ V_F ดังนี้ :-

- $V_F = 220$ mV, $I_F = 10$ mA, $T_A = 25^\circ\text{C}$;
 - $V_F = 300$ mV, $I_F = 100$ mA, $T_A = 25^\circ\text{C}$;
 - $V_F = 180$ mV, $I_F = 100$ mA, $T_A = 100^\circ\text{C}$;

จากรูปที่ 1.6 มีรายละเอียด ดังนี้ :-

- เส้นกราฟ $T_A = 25^\circ\text{C}, I_F = 10 \text{ mA}, V_F = 220 \text{ mV};$
 - เส้นกราฟ $T_A = 100^\circ\text{C}, I_F = 10 \text{ mA}, V_F = 100 \text{ mV};$
 - เส้นกราฟ $T_A = -50^\circ\text{C}, I_F = 10 \text{ mA}, V_F = 300 \text{ mV};$

1.1.3.4 เวลาฟื้นตัวกลับทางของไคໂອด (t_{rr})

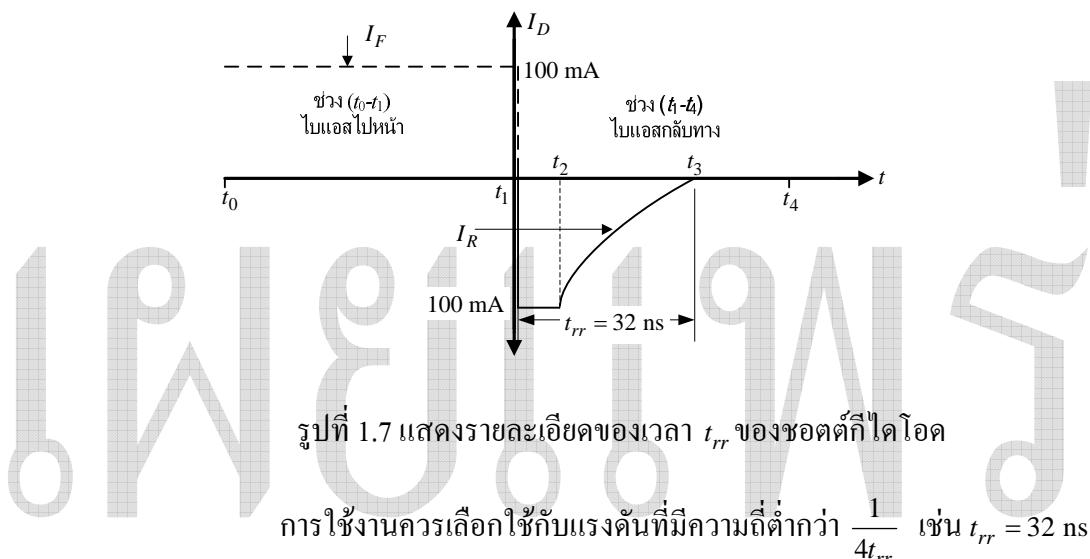
เวลาฟื้นตัวกลับทางของไ/do/ โอด เป็นช่วงเวลาที่มีกระแส ไ/do/ หล่อผ่านไ/do/ โอด
ขณะได้รับแรงดันกลับทาง หรือเป็นช่วงเวลาดึงอิเล็กตรอนอิสระ จากสารกึ่งตัวนำชนิดพี กลับสู่สาร
กึ่งตัวนำชนิดเอ็น ไ/do/ โอดที่ทำงานในย่านความถี่สูงจะมีค่า t_{rr} ต่ำมาก

จากตารางที่ 1.3 $t_{rr} = 32$ ns

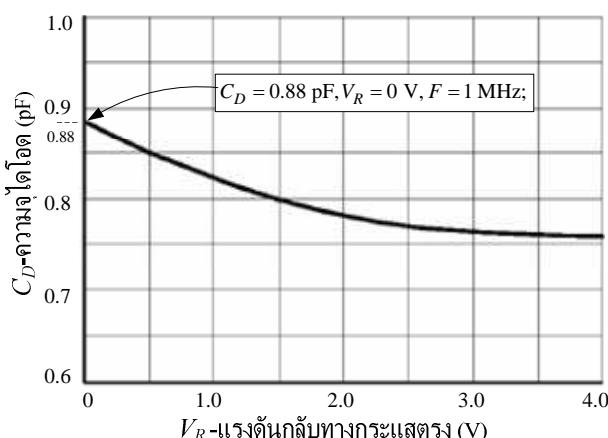
1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่บ่งบอกความถี่สูง

จากรูปที่ 1.7 มีรายละเอียด ดังนี้ :-

- $I_F = 100 \text{ mA}$
- ช่วง $(t_0 - t_1)$ ได้รับไบแอสไปหน้ามีกระแสไฟล์ผ่านไคโอด 100 mA
- ช่วง $(t_1 - t_4)$ ได้รับไบแอสกลับทาง ไคโอดในอุบัติ ไม่มีกระแสไฟล์
- ช่วง $(t_1 - t_2)$ ได้รับไบแอสกลับทาง มีกระแส I_R ไฟล์ประมาณ 100 mA
- ช่วง $(t_2 - t_3)$ กระแส I_R จะลดปริมาณลงจนเป็นศูนย์
- ดังนั้นช่วง $(t_1 - t_3)$ เรียกว่า “ช่วงเวลา t_{rr} ”



ควรเลือกใช้กับแรงดันที่มีความถี่ต่ำกว่า $\frac{1}{4 \times 32 \times 10^{-9}} = 7.8 \text{ MHz}$



รูปที่ 1.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_D กับแรงดัน V_R

1. ຖຸນສນບັດທາງໄຟຟ້າແລະພາຣາມີເຕອຮ່ານຄວາມຄືສູງ

1.1.3.5 ຄວາມຈຸໄດໂອດ (C_D)

ຄວາມຈຸໄດໂອດ ເປັນຄ່າຄວາມຈຸໄຟຟ້າທີ່ຮອຍຕ່ອຂອງໄດໂອດ ຂະໜະໄດ້ຮັບໄປແລສ
ກລັບທາງ ເຮັດວຽກຢ່າງວ່າ “ຄວາມຈຸທຽບຕິຫັນ”

ຈາກຕາරາງທີ່ 1.3 $C_D = 0.88 \text{ pF}$ ແລະ ຄ່າມາກສຸດ 1 pF ທົດສອບທີ່ $V_R = 0$

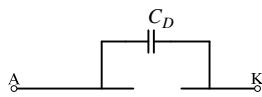
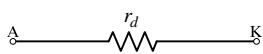
ຈາກຮູປທີ່ 1.8 ເມື່ອແຮງດັນ V_R ມີຄ່າເພີ່ມຂຶ້ນ C_D ຈະມີຄ່າລົດລົງ C_D ແປຣພົກຜັນ

ກັບແຮງດັນ V_R

1.1.4 ວົງຈະສາມມູລຄວາມຄືສູງຂອງຂອຕຕົກໄດໂອດ



ກ. ແສດງສັບລັກຍົມ



ຂ. ແສດງຈະສາມມູລຄວາມຄືສູງ ຂະໜະໄປແລສໄປໜ້າ

ຄ. ແສດງຈະສາມມູລຄວາມຄືສູງ ຂະໜະໄປແລສກລັບທາງ

ຮູປທີ່ 1.9 ແສດງສັບລັກຍົມແລະ ວົງຈະສາມມູລຄວາມຄືສູງຂອງຂອຕຕົກໄດໂອດ

1.1.4.1 ຄວາມຕ້ານທານຮອຍຕ່ອໄດໂອດ (r_d)

ຄວາມຕ້ານທານຮອຍຕ່ອໄດໂອດ ເປັນຄ່າຄວາມຕ້ານທານທີ່ຈຸດທຳງານຂອງໄດໂອດ
ປະມານຄ່າໄດ້ຈາກສາມກາຮ

$$r_d = \frac{(k_B T / q)}{I_D} \quad (1.1)$$

ໂດຍທີ່ I_D ອື່ນ ຄ່າໄຟຟ້າຮະແສຕຽງທີ່ກຳນົດຈຸດທຳງານຂອງໄດໂອດ

$$k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}, T = (273 + T_A) \text{ K}, q = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C};$$

1.1.4.2 ຄວາມຈຸໄດໂອດ

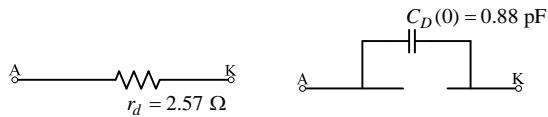
ຄວາມຈຸໄດໂອດ ໄດ້ກຳລ່າວແດ້ວໃນຫ້ວ້ອ 1.1.3.5

ຕົວຢ່າງທີ່ 1.1 ຂອຕຕົກໄດໂອດ ມີຄ່າ $C_D(0) = 0.88 \text{ pF}$, $I_F = 10 \text{ mA}$, $T_A = 25^\circ \text{C}$; ຈະປະມານຄ່າ r_d ແລະ
ເປີນວົງຈະສາມມູລຄວາມຄືສູງຂອງໄດໂອດ

ວິທີທຳ ຈາກສາມກາ (1.1) $r_d = \frac{(k_B T / q)}{I_D}, I_D = I_F;$

$$r_d = \frac{25.7 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-3}} = 2.57 \Omega$$

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ยานความถี่สูง



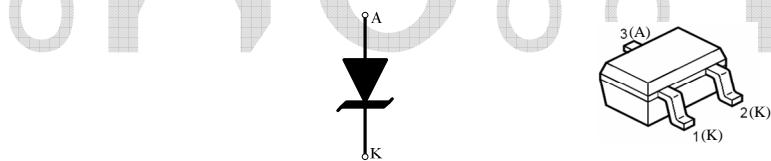
ตอบ $r_d = 2.57 \Omega$

สรุป

ชอตต์กีไดโอด เป็นไดโอด ที่มีค่าแรงดัน V_F ประมาณ 500 mV ขณะที่กระแส I_F เท่ากับ 150 mA มีค่า $C_D(0)$ ประมาณ 1 pF และเวลา t_{rr} เท่ากับ 32 ns จึงถูกใช้ในงาน การเรียงกระแส, การทดสอบสัญญาณ, การมอดูเลต และการดีมอดูเลต ในยานความถี่ไมโครเวฟ

1.2 พินไดโอด

พินไดโอด (Pin Diode) เป็นไดโอดที่มีคุณสมบัติ เมื่อนำกระแสจะมีความต้านทานระหว่างขาเออนิด กับขาแคนโทด์ต่ำมาก จึงถูกใช้ในงานสวิตช์ตัดต่อ หรือลดตอนสัญญาณในยานความถี่สูง ได้แก่ เบอร์ BAP51, BAR64 และ BAP70



รูปที่ 1.10 แสดงสัญลักษณ์และภาพเหมือนของพินไดโอด

1.2.1 ค่าสมบูรณ์พิกัดสูงสุดของพินไดโอด

ค่าสมบูรณ์พิกัดสูงสุด เป็นค่าสูงสุดที่สามารถทนไดโอดโดยไม่เกิดการชำรุดเสียหาย ที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C

1.2.1.1 แรงดันกลับทางกระแสตรง

จากตารางที่ 1.4 $V_R = 30 \text{ V}$

การใช้งานไดโอด จะต้องมีค่าแรงดัน $V_R \leq 30 \text{ V}$

1.2.1.2 กระแสตรงไปหน้า

จากตารางที่ 1.4 $I_F = 50 \text{ mA}$

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ยานความถี่สูง

การใช้งาน ไดโอดต้องมีค่ากระแส $I_F \leq 50 \text{ mA}$

ตารางที่ 1.4 แสดงค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุดของพินไดโอด

ค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุดที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C			
พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
แรงดันกลับทางกระแสตรง	V_R	30	V
กระแสตรงไปหน้า	I_F	50	mA
การสูญเสียกำลังเป็นความร้อนทั้งหมด ($T_S = 90^\circ\text{C}$)	P_D	500	mW

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่าปกติว่าแต่ในการอธิบาย

1.2.1.3 การสูญเสียกำลังเป็นความร้อนทั้งหมด

จากตารางที่ 1.4 $P_D = 500 \text{ mW}$

การใช้งาน ไดโอดต้องมีค่า $P_D \leq 500 \text{ mW}$

1.2.2 คุณลักษณะทางความร้อนของพินไดโอด

ตารางที่ 1.5 แสดงคุณลักษณะทางความร้อนของพินไดโอด

คุณลักษณะทางความร้อนที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C			
พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
อุณหภูมิroyต่อขณะทำงาน	T_j	150	$^\circ\text{C}$
พิสัยอุณหภูมิสะสม	T_{stg}	-65 ถึง +150	$^\circ\text{C}$
ความต้านทานความร้อนรอยต่อถึงจุดบัดกรี (Thermal Resistance From Junction to Soldering Point)	$R_{th j-s}$	120	$^\circ\text{C}/\text{W}$

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่าปกติว่าแต่ในการอธิบาย

1.2.2.1 อุณหภูมิroyต่อขณะทำงาน

จากตารางที่ 1.5 $T_j = 150^\circ\text{C}$

1.2.2.2 พิสัยอุณหภูมิสะสม

จากตารางที่ 1.5 $T_{stg} = -65 \text{ ถึง } +150^\circ\text{C}$

1.2.2.3 ความต้านทานความร้อนรอยต่อถึงจุดบัดกรี ($R_{th j-s}$)

ความต้านทานความร้อนรอยต่อถึงจุดบัดกรี เป็นการต้านทานการนำ หรือ การระบายความร้อนจากการอยู่ต่อถึงจุดบัดกรี จากตารางที่ 1.5 $R_{th j-s} = 120^\circ\text{C}/\text{W}$

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่บ่งบอกความถี่สูง

1.2.3 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของพินไอดีโอด

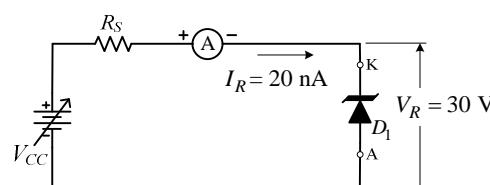
ตารางที่ 1.6 แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของพินไอดีโอด

คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C						
คุณลักษณะ	เงื่อนไขทดสอบ	ค่าณลักษณะ	ต่ำสุด	ตัวอย่าง	สูงสุด	หน่วย
กระแสตรงกลับทาง	$V_R = 30 \text{ V}$	I_R	-	-	20	nA
แรงดันไฟป้อนกระแสตรง	$I_F = 50 \text{ mA}$	V_F	-	0.9	1.1	V
ความจุไอดีโอด	$V_R = 0, f = 1 \text{ MHz};$	C_D	-	570	-	fF
	$V_R = 1 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz};$		-	400	-	
	$V_R = 5 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz};$		-	270	-	
	$V_R = 20 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz};$		-	200	-	
ความต้านทานไฟป้อนของไอดีโอด (Diode Forward Resistance)	$I_F = 0.5 \text{ mA}, f = 100 \text{ MHz};$	r_D	-	70	100	Ω
	$I_F = 1 \text{ mA}, f = 100 \text{ MHz};$		-	40	50	
	$I_F = 10 \text{ mA}, f = 100 \text{ MHz};$		-	5	7	
	$I_F = 100 \text{ mA}, f = 100 \text{ MHz};$		-	1.4	1.9	
เวลาฟื้นตัวกลับทางของไอดีโอด	$I_F = 10 \text{ mA}, I_R = 6 \text{ mA};$	t_{rr}	-	1.25	-	μs
ความเหนี่ยวนำอนุกรม (Series Inductance)	$I_F = 100 \text{ mA}, f = 100 \text{ MHz};$	L_S	-	1.5	-	nH

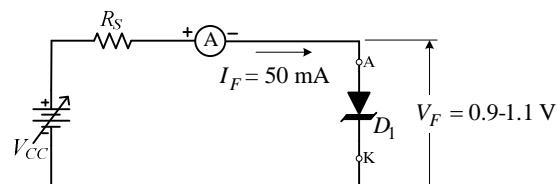
หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่ากตัวอย่างในการอธิบาย

1.2.3.1 กระแสตรงกลับทาง

จากตารางที่ 1.6 $I_R = 20 \text{ nA}$ ทดสอบที่ $V_R = 30 \text{ V}$ ดังแสดงในรูปที่ 1.11



รูปที่ 1.11 แสดงการไฟแอดอกลับทางและการวัดกระแส I_R ของพินไอดีโอด



รูปที่ 1.12 แสดงการไฟแอดส์ไฟป้อน และการวัดกระแส I_F ของพินไอดีโอด

1. ຖុយសមប័តិការងារដែលបានរាយការណ៍នឹងការងារទាំងអស់

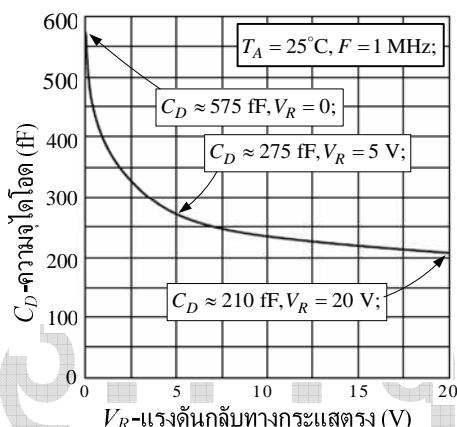
1.2.3.2 រោងចំណាំប្រព័ន្ធក្រសេត្រ

ពីតារាងទី 1.6 និងរូបទី 1.12 $V_F = 0.9\text{-}1.1 \text{ V}$ មិនគឺមានការស្វែងរកបានទៀត

1.2.3.3 ការងារទូទៅ

ពីតារាងទី 1.6 សេចក្តីថា C_D មិនអាចផ្តល់បន្ថែមការងារទូទៅ V_R បាន តើ C_D តួនាទី :-

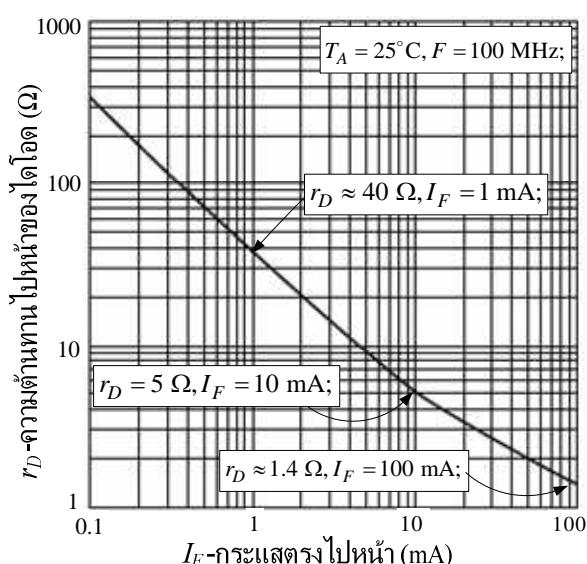
- $C_D = 570 \text{ fF}, V_R = 0; \text{ និង } C_D = 400 \text{ fF}, V_R = 1 \text{ V};$
- $C_D = 270 \text{ fF}, V_R = 5 \text{ V}; \text{ និង } C_D = 200 \text{ fF}, V_R = 20 \text{ V};$



រូបទី 1.13 សេចក្តីថា C_D មិនអាចផ្តល់បន្ថែមការងារទូទៅ V_R បាន

ពីរូបទី 1.13 មិនមែនត្រូវបានបញ្ជាក់ឡើង តួនាទី :-

- $C_D \approx 575 \text{ fF}, V_R = 0; \text{ និង } C_D \approx 210 \text{ fF}, V_R = 20 \text{ V};$
- $C_D \approx 275 \text{ fF}, V_R = 5 \text{ V};$



រូបទី 1.14 សេចក្តីថា r_D មិនអាចផ្តល់បន្ថែមការងារទូទៅ I_F (BAP51-03, 2006: 3)

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงความถี่สูง

1.2.3.4 ความต้านทานไปหน้าของไดโอด (Diode Forward Resistance; r_D)

ความต้านทานไปหน้าของไดโอด จะมีค่าที่ต่ำกว่า 1 mΩ และจะรับไฟฟ้าได้เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านไดโอด จึงเป็นค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับ

จากตารางที่ 1.6 และจากรูปที่ 1.14 ค่า r_D จะแปรผันกับค่ากระแส I_F มีรายละเอียดดังนี้ :-

$$- r_D = 70 \Omega, I_F = 0.5 \text{ mA}; \text{ และ } r_D \approx 40 \Omega, I_F = 1 \text{ mA};$$

$$- r_D = 5 \Omega, I_F = 10 \text{ mA}; \text{ และ } r_D \approx 1.4 \Omega, I_F = 100 \text{ mA};$$

1.2.3.5 เวลาเพื่อตัวกลับทางของไดโอด

จากตารางที่ 1.6 t_{rr} มีค่า $1.25 \mu\text{s}$ ทดสอบที่ $I_F = 10 \text{ mA}$ และ $I_R = 6 \text{ mA}$

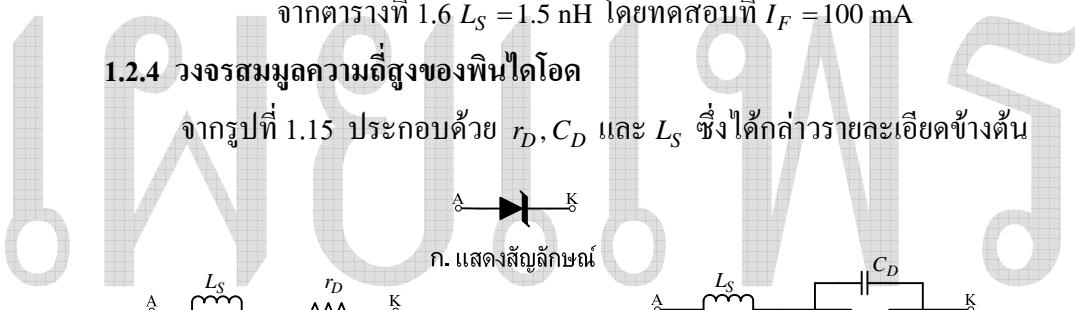
1.2.3.6 ความหนึ่ยวนนำอนุกรม (L_S)

ความหนึ่ยวนนำอนุกรม เป็นความหนึ่ยวนนำอนุกรมภายในของไดโอด

จากตารางที่ 1.6 $L_S = 1.5 \text{ nH}$ โดยทดสอบที่ $I_F = 100 \text{ mA}$

1.2.4 วงจรสมมูลความถี่สูงของพินไดโอด

จากรูปที่ 1.15 ประกอบด้วย r_D , C_D และ L_S ซึ่งได้กล่าวรายละเอียดข้างต้น



ก. แสดงวงจรสมมูลความถี่สูง ขณะไฟออกไปหน้า ค. แสดงวงจรสมมูลความถี่สูง ขณะไฟออกลับทาง

รูปที่ 1.15 แสดงสัญลักษณ์และวงจรสมมูลความถี่สูงของพินไดโอด (Boylestad, 2002: 891)

ตัวอย่างที่ 1.2 จงเขียนวงจรสมมูลความถี่สูงของพินไดโอด ใช้ข้อมูลจากตารางที่ 1.6

ก. ขณะไดร์บไฟฟ้า $I_F = 100 \text{ mA}$

ข. ขณะไดร์บไฟฟ้า $V_R = 20 \text{ V}$

วิธีทำ ก. ขณะไดร์บไฟฟ้า $I_F = 100 \text{ mA}$ จะได้ $r_D = 1.4 \Omega$ และ $L_S = 1.5 \text{ nH}$

ข. ขณะไดร์บไฟฟ้า $V_R = 20 \text{ V}$ จะได้ $C_D = 200 \text{ fF}$ และ $L_S = 1.5 \text{ nH}$

$$\begin{array}{l} L_S = 1.5 \text{ nH} \\ \text{---} \\ r_D = 1.4 \Omega \end{array}$$

$$\begin{array}{l} L_S = 1.5 \text{ nH} \\ \text{---} \\ C_D(20 \text{ V}) = 200 \text{ fF} \end{array}$$

ก. แสดงวงจรสมมูลความถี่สูง ขณะไฟออกไปหน้า ข. แสดงวงจรสมมูลความถี่สูง ขณะไฟออกลับทาง

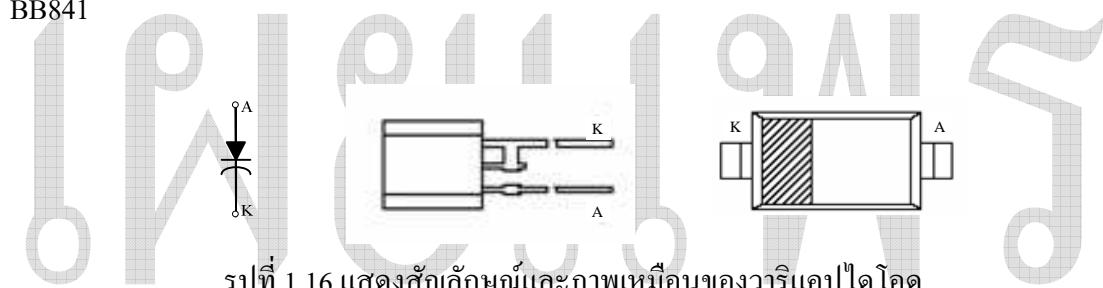
1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ยานความถี่สูง

๕๖

พินไดโอด เป็นไดโอดที่มีค่าแรงดัน V_F ต่ำสุด ประมาณ 1.1 mV และมีค่า r_D ประกณ์ กับค่ากระแส I_F สามารถเปลี่ยนสภาพ จากการนำกระแส เป็นการหยุดนำกระแสได้รวดเร็วมาก ใน สภาวะ ได้รับไฟและกลับทาง จะมีความต้านทานสูงมาก จึงถูกใช้งาน ในการเป็นสวิตช์ ตัดต่อ สัญญาณ หรือลดทอนความแรงสัญญาณในย่านความถี่สูง

1.3 ວາງີແຄນປໍາໄດໂອດ

วาริแคปไดโอด (Varicap Diode) เป็นไดโอดที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความจุอยู่ต่อ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันกลับทางระหว่างขาแอนoden กับขาแคปติก จะถูกใช้งานในวงจรจุนของวิทยุ เอฟเอ็ม และ โทรทัศน์ วงจรจุนสัชลิเดเตอร์ย่านความถี่สูง ได้แก่ เบอร์ BB130, BB134, BB204B และ BB841



รูปที่ 1.16 แสดงสัญลักษณ์และภาพเหมือนของวาริแครปป์ไดโอด

1.3.1 ค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุดของวาริแแคปໄດໂອດ

ค่าสมบูรณ์พิกัดสูงสุด เป็นค่าสูงสุดที่สามารถทนได้ โดยไม่เกิดการชำรุดเสียหาย ที่
อนุมัติโดยรอบ 25°C

1.3.1.1 แรงดันกอั้นทางกระถางช่อง

จากตารางที่ 1.7 $V_R = 18 \text{ V}$

การใช้งาน ไดโอดจะต้องมีค่าแรงดัน $V_D \leq 18$ V

ตารางที่ 1.7 แสดงค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุดของวาริแแคปปิดโอเด

ค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุดที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C				
พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย	
แรงดันกําลังทางกระแสตรง	V_R	18	V	
กระแสตรงไปหน้า	I_F	50	mA	

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่ายกตัวอย่างในการอธิบาย

การวิเคราะห์วงศ์จรรยาลีส์กิทรอนิกส์ความถี่สูง

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่น่าความมีสูง

1.3.1.2 กระแสตรงไปหน้า

จากตารางที่ 1.7 $I_F = 50 \text{ mA}$

การใช้งาน ได้ออเดียมต้อง มีค่ากระแส $I_F \leq 50 \text{ mA}$

1.3.2 คุณลักษณะทางความร้อนของวาริแคปไดโอด

ตารางที่ 1.8 แสดงคุณลักษณะทางความร้อนของวาริแคปไดโอด

คุณลักษณะทางความร้อนที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C			
พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
อุณหภูมิroyต่อขั้นตอนทำงาน	T_j	125	$^\circ\text{C}$
พิสัยอุณหภูมิสะสม	T_{stg}	-55 ถึง +150	$^\circ\text{C}$

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่ายกตัวอย่างในการอธิบาย

1.3.2.1 อุณหภูมิroyต่อขั้นตอนทำงาน

จากตารางที่ 1.8 $T_j = 125^\circ\text{C}$

1.3.2.2 พิสัยอุณหภูมิสะสม

จากตารางที่ 1.8 $T_{stg} = -55^\circ\text{C}$ ถึง $+150^\circ\text{C}$

1.3.3 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของวาริแคปไดโอด

ตารางที่ 1.9 แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของวาริแคปไดโอด

คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C						
คุณลักษณะ	เงื่อนไขทดสอบ	สัญลักษณ์	ต่ำสุด	ตัวอย่าง	สูงสุด	หน่วย
กระแสตรงกลับทาง	$V_R = 16 \text{ V}$	I_R	-	-	20	nA
	$V_R = 16 \text{ V}, T_A = 60^\circ\text{C};$		-	-	200	
ความจุไดโอด	$V_R = 2 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz};$	C_D	42	-	46.5	pF
ความด้านทานอนุกรมไดโอด (Diode Series Resistance)	$f = 100 \text{ MHz}$	r_s	-	0.2	-	Ω
อัตราส่วนความจุไฟฟ้า (Capacitance Ratio)	$f = 1 \text{ MHz}$	$\frac{C_D(2 \text{ V})}{C_D(8 \text{ V})}$	1.65	-	1.75	-

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่ายกตัวอย่างในการอธิบาย

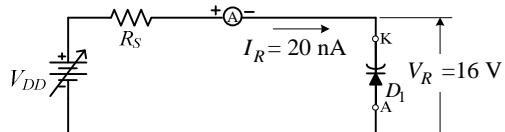
1.3.3.1 กระแสตรงกลับทาง

จากตารางที่ 1.9 มีรายละเอียดเกี่ยวกับ I_R ดังนี้ :-

- $I_R = 20 \text{ nA}, V_R = 16 \text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C};$

1. ຖຸນສນບັດທາງໄຟຟ້ານແລະພາຣາມີເຕອຮ່ານຄວາມຄືສູງ

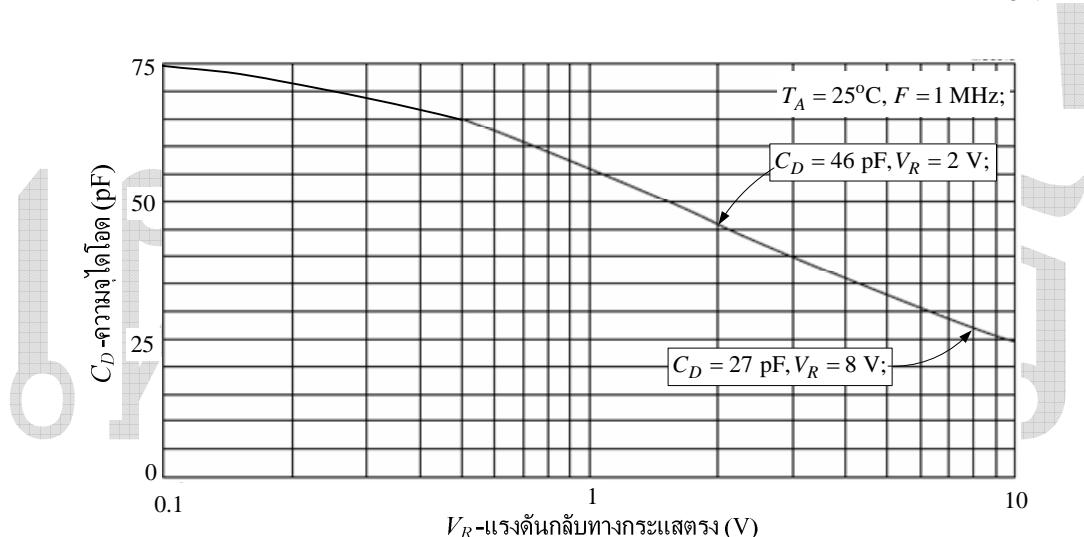
- $I_R = 200 \text{ nA}, V_R = 16 \text{ V}, T_A = 60^\circ \text{C};$



ຮູບທີ 1.17 ແສດການໄປແອສກລັບທາງ ແລະກາວັດກະຮັສ I_R ຂອງວາຣີແຄປໄໂດໂອດ

ຈາກຮູບທີ 1.17 ເປັນການໄປແອສກລັບທາງ ມີກະຮັສ I_R ໄຫດ ປະມານ 20 nA
ສາມາດຄະຫຼິກໄດ້

ການໃຊ້ຈານ ວາຣີແຄປໄໂດໂອດ ຈະຕ້ອງໄດ້ຮັບແຮງດັນກລັບທາງໄມ່ເກີນ 18 V



ຮູບທີ 1.18 ແສດຄວາມສົມພັນຂະໜາດວ່າງ C_D ກັບແຮງດັນ V_R

1.3.3.2 ຄວາມຈຸໄໂອດ

ຈາກຕາງທີ 1.9 C_D ມີຄ່າຕໍ່າສຸດ 42 pF ແລະສູງສຸດ 46.5 pF

ຈາກຮູບທີ 1.18 ມີຮາຍລະເອີຍດ ດັ່ງນີ້ :-

- $V_R = 2 \text{ V}, C_D = 46 \text{ pF};$
- $V_R = 8 \text{ V}, C_D = 27 \text{ pF};$

1.3.3.3 ຄວາມຕ້ານທານອນຸກຮົມໄໂດໂອດ (r_s)

ຄວາມຕ້ານທານອນຸກຮົມໄໂດໂອດ ເປັນຄວາມຕ້ານທານຂອງຈຸດຕ່ອ ແລະກ້ອນສາຮ

ຈາກຕາງທີ 1.9 $r_s = 0.2 \Omega, F = 100 \text{ MHz};$

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่บ่งบอกความถี่สูง

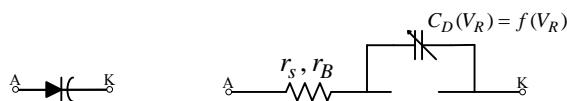
$$1.3.3.4 \frac{C_D(2 \text{ V})}{C_D(8 \text{ V})}$$

ค่าอัตราส่วนระหว่าง $C_D(2 \text{ V})$ ต่อ $C_D(8 \text{ V})$ โดยที่ $C_D(2 \text{ V}) = 46 \text{ pF}$ และ

$$C_D(8 \text{ V}) = 27 \text{ pF}$$

$$\text{จากรูปที่ } 1.18 \frac{C_D(2 \text{ V})}{C_D(8 \text{ V})} = \frac{46 \times 10^{-12}}{27 \times 10^{-12}} = 1.70$$

1.3.4 วงจรสมมูลความถี่สูงของวาริแคปปิดโอด



ก. แสดงสัญลักษณ์

ข. แสดงวงจรสมมูลความถี่สูง

รูปที่ 1.19 แสดงสัญลักษณ์และวงจรสมมูลความถี่สูงของวาริแคปปิดโอด

จากรูปที่ 1.19 ประกอบด้วย r_s หรือ r_B และ C_D โดย C_D สามารถประมาณค่าได้จากสมการ

$$C_D(V_R) = \frac{C_D(0)}{\left(1 + \left|\frac{V_R}{V_F}\right|^n\right)} \quad (1.2)$$

โดยที่ $C_D(V_R)$ คือ ค่า C_D ตามแรงดันไฟฟ้ากลับทางที่กำหนด

$C_D(0)$ คือ ค่า C_D ตามแรงดันไฟฟ้ากลับทาง 0 V

V_R คือ แรงดันกลับทางกระแสตรง และ V_F คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต่อกล่องไดโอด

เท่ากับ 0.6 V

n คือ ค่าคงที่ของไดโอด $\frac{1}{2}$ สำหรับแบบอัลลอย และ $\frac{1}{3}$ สำหรับแบบพลาzar

ตัวอย่างที่ 1.3 จงประมาณค่า C_D ที่ (-2 V) เมื่อกำหนด $C_D(0) = 75 \text{ pF}$, $V_F = 0.6 \text{ V}$, $n = \frac{1}{3}$;

$$\text{วิธีทำ จากสมการ (1.2)} \quad C_D(V_R) = \frac{C_D(0)}{\left(1 + \left|\frac{V_R}{V_F}\right|^n\right)} = \frac{75 \times 10^{-12}}{\left(1 + \left|\frac{-2}{0.6}\right|^{\frac{1}{3}}\right)^{\frac{1}{3}}}$$

$$C_D(-2 \text{ V}) = \frac{75 \times 10^{-12}}{(1 + 3.333)^{\frac{1}{3}}} = \frac{75 \times 10^{-12}}{1.63} = 46.012 \text{ pF}$$

ตอบ $C_D(-2 \text{ V}) = 46.012 \text{ pF}$

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ยานความถี่สูง

สรุป

วาริแคปไดโอด เป็นไดโอดที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้า ตามการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันกลับทางที่ต่อกลางไดโอด จึงถูกนำมาใช้งานเกี่ยวกับ การคัดเลือกสถานีของจุนเนอร์ในวิทยุ เอเอ็ม, เอฟเอ็ม, โทรทัศน์ และวงจรจูนอิน ฯ

พารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่ V_R , I_F และ C_D

1.4 ทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์มีมากหลายหลายชนิด หลายเบอร์ ซึ่งจะเหมาะสม กับงานที่ใช้แต่ละงาน เช่น งานขยายลักษณะความถี่เสียง, ขยายลักษณะย่านความถี่สูง และงานด้านสวิตช์ เป็นต้น ดังนี้ จึงจำเป็นต้องทราบคุณลักษณะทางไฟฟ้า และพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์เบอร์นั้น ก่อนการใช้งาน

1.4.1 ค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุดของทรานซิสเตอร์

ค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุด เป็นค่าสูงสุดที่ทรานซิสเตอร์ทนได้โดยไม่เกิดความเสียหายที่ อุณหภูมิโดยรอบ 25 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 1.10

ตารางที่ 1.10 แสดงค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุดของทรานซิสเตอร์

ค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุดที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C			
พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
แรงดันเบรกดาวน์คอลเล็กเตอร์เบส (Collector-Base Breakdown Voltage)	BV_{CBO}, V_{CBO}	20	V
แรงดันเบรกดาวน์คอลเล็กเตอร์อัมมิตเตอร์ (Collector-Emitter Breakdown Voltage)	BV_{CEO}, V_{CEO}	12	V
แรงดันเบรกดาวน์อัมมิตเตอร์เบส (Emitter-Base Breakdown Voltage)	BV_{EBO}, V_{EBO}	3	V
กระแสคอลเล็กเตอร์สูงสุด (Maximum Collector Current)	$I_{C(MAX)}$	100	mA
การสูญเสียกำลังเป็นความร้อนทั้งหมด (Total Power Dissipation)	P_T, P_D	600	mW
อุณหภูมิร้อยต่อขั้นตอนทำงาน (Operating Junction Temperature)	T_j	150	°C
พิสดารอุณหภูมิสะสม (Storage Temperature Range)	T_{stg}	-65 ถึง +150	°C

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่าปกติว่าอย่างในการอธิบาย

1.4.1.1 แรงดันเบรกดาวน์คอลเล็กเตอร์เบส (BV_{CBO}, V_{CBO})

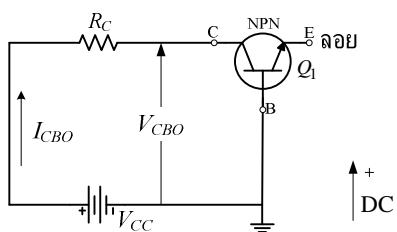
แรงดันเบรกดาวน์คอลเล็กเตอร์เบส เป็นค่าแรงดันกลับทางสูงสุด ระหว่าง

การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง

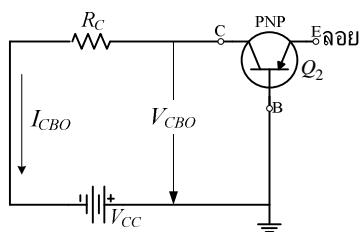
1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุด

ขาเบส (B) กับขาคอลเลกเตอร์ (C) โดยขาอิมิตเตอร์ (E) ถูกปล่อยไว้ดังแสดงในรูปที่ 1.20

จากตารางที่ 1.10 $V_{CBO} = 20 \text{ V}$ จากรูปที่ 1.20 ก. Q_1 ขาคอลเลกเตอร์ ได้รับแรงดันบวก (+) และขาเบสได้รับแรงดันลบ (-) ซึ่งเป็นการไนแอสคลัมทาง มีกระแส I_{CBO} ไหลน้อยมาก I_{CBO} จะเปลี่ยนตรง กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยรอบ ทรานซิสเตอร์ชนิดเดียวกันกระแส I_{CBO} เพิ่ม 2 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มทุก ๆ 6°C ทรานซิสเตอร์ชนิดเดียวกันเนี้ยมกระแส I_{CBO} เพิ่ม 2 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มทุก ๆ 10°C



รูป ก. ทรานซิสเตอร์แบบเอ็นพีเอ็น



รูป ข. ทรานซิสเตอร์แบบพีเอ็นพี

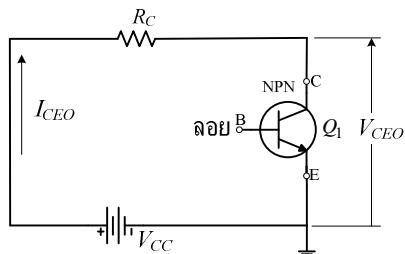
รูปที่ 1.20 แสดงแรงดัน V_{CBO} ของทรานซิสเตอร์

จากรูปที่ 1.20 ข. ข้อแรงดันไฟฟ้าจะตรงกันข้าม เนื่องจากเป็นแบบพีเอ็นพี (PNP) ผลกระทบกระแส I_{CBO} จะทำให้จุดทำงานของทรานซิสเตอร์ไม่คงที่ สามารถแก้ไขได้โดยการจัดไนแอสแบบใช้ R_E

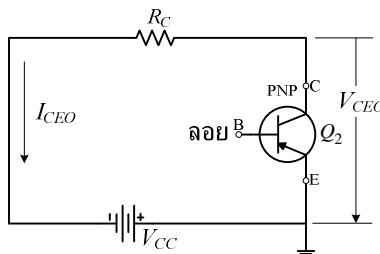
การใช้งานทรานซิสเตอร์ ในวงจรเรสร่วม $V_{CC} \leq V_{CBO}$

1.4.1.2 แรงดันเบรกดาวน์คอลเลกเตอร์อิมิตเตอร์ (BV_{CEO}, V_{CEO})

แรงดันเบรกดาวน์คอลเลกเตอร์อิมิตเตอร์ ค่าแรงดันกลับทางสูงสุด ระหว่างขาคอลเลกเตอร์ กับขาอิมิตเตอร์ โดยขาเบสปล่อยไว้มีกระแส I_{CEO} เป็นกระแสรั่วซึ่งไหลในวงจร ดังแสดงในรูปที่ 1.21



รูป ก. ทรานซิสเตอร์แบบเอ็นพีเอ็น



รูป ข. ทรานซิสเตอร์แบบพีเอ็นพี

รูปที่ 1.21 แสดงแรงดัน V_{CEO} ของทรานซิสเตอร์

จากตารางที่ 1.10 $V_{CEO} = 12 \text{ V}$ จากรูปที่ 1.21 ก. Q_1 ขาคอลเลกเตอร์ ได้รับ

การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ยานความถี่สูง

แรงดันบวก และขาอิมิตเตอร์ได้รับแรงดันลบ ซึ่งเป็นการไปแอกลับทางจะมีกระแส I_{CEO} ไหลในวงจร

$$I_{CEO} = I_{CBO}(\beta_F + 1)$$

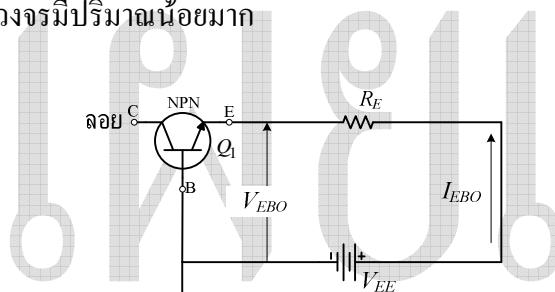
แบบ พีเอ็นพี จากรูปที่ 1.21 ข. ข้าวแรงดันไฟฟ้าตกรักน้ำข้าม ! น่องจากเป็นทราบซิสเตอร์

การใช้งานทรานซิสเตอร์ ในวงจร อimit เตอร์ร่วมแรงดัน $V_{CC} \leq V_{CEO}$

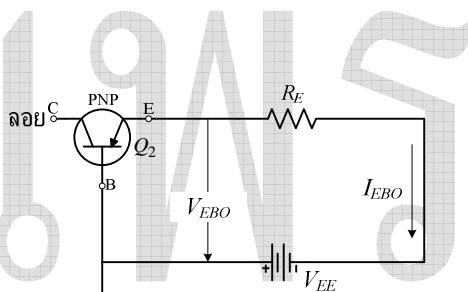
1.4.1.3 แรงดันแบรกด้านอิมิตเตอร์เบส (BV_{EBO} , V_{BEO})

แรงดันเบรกดาวน์อิมิตเตอร์เบส เป็นค่าแรงดันกลับทางสูงสุด ระหว่างขา
อิมิตเตอร์ กับขาเบส โดยหากอลลีกเตอร์ปัลอย่างไว ดังแสดงในรูปที่ 1.22

จากตารางที่ 1.10 $V_{EBO} = 3$ V จากรูปที่ 1.22 ก. Q_1 ขาอimitเตอร์ได้รับแรงดันบวก และขาเบสได้รับแรงดันลบซึ่งเป็นการไบแอคคลัมพิงมีกระแส I_{EBO} เป็นกระแสรั่วซึ่งไหลในวงจรเมื่อปริมาณน้อยมาก



รป. ก. ทรานซิสเตอร์แบบเอ็นพีเอ็น



รูปฯ. ทรายทิสเตอร์แบบพีโคนพี

รูปที่ 1.22 แสดงแรงดัน V_{EBO} ของทรานซิสเตอร์

จากรูปที่ 1.22 ข. ข้าวแรงดันไฟฟ้าจะตรงกับข้ามเนื่องจากเป็นทรานซิสเตอร์แบบพีเอ็นพี การใช้งานทรานซิสเตอร์ แรงดัน $V_{FE} \leq V_{FBO}$

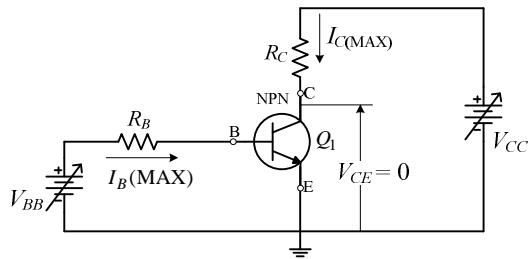
1.4.1.4 กระแสคอลเลิกเตอร์สูงสุด ($I_{C(MAX)}$)

กระแสคอลเล็กเตอร์สูงสุด เป็นค่ากระแสคอลเล็กเตอร์สูงสุด ขณะแรงดันระหว่างขาคอลเล็กเตอร์กับขาอิมิตเตอร์ (V_{CE}) มีค่าเป็นศูนย์ดังแสดงในรูปที่ 1.4

จากตารางที่ 1.10 $I_{C(\text{MAX})} = 100 \text{ mA}$

จากรูปที่ 1.23 ปรับแรงดัน V_{BB} ให้มีแรงดันเพิ่มมากขึ้นทำให้กระแส I_B เพิ่มมากขึ้น ขณะเดียวกันกระแส I_C ก็เพิ่มมากขึ้นด้วย แต่แรงดัน V_{CE} จะมีค่าลดลงเมื่อแรงดัน $V_{CE} = 0$ ทำให้กระแส I_C มีค่ามากที่สุด

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่บ่งบอกความถี่สูง



รูปที่ 1.23 แสดงกระแส $I_{C(\text{MAX})}$ ขณะที่กระแส $I_B(\text{MAX})$ และ $V_{CE} = 0$

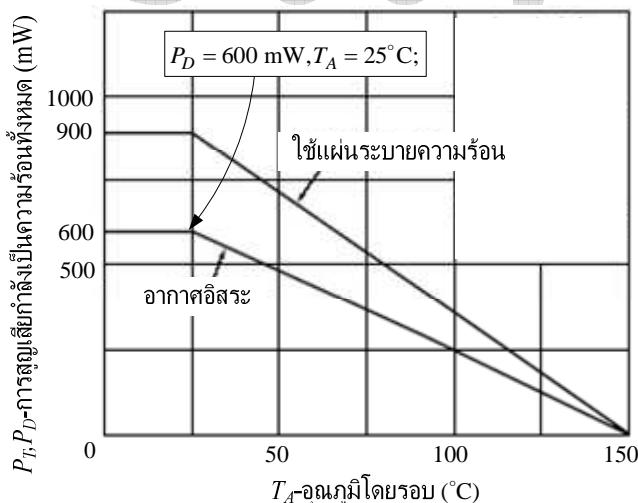
การใช้งานในวงจรขยายแรงดันนิยมใช้กระแส $I_{C(dc)} < 0.5I_{C(\text{MAX})}$ โดยไม่ต้องใช้แผ่นระบายความร้อน

1.4.1.5 การสูญเสียกำลังเป็นความร้อนทั้งหมด (P_T, P_D)

การสูญเสียกำลังเป็นความร้อนทั้งหมด เป็นค่ากำลังสูญเสียสูงสุด ที่รออยู่ต่อ kollektorter ขณะที่อุณหภูมิรอยต่อสูงสุด และอุณหภูมิโดยรอบ 25°C การประมาณค่า P_D จะทำขณะที่ยังไม่มีการป้อนสัญญาณ จะได้สมการ

$$P_D = I_C V_{CE} \quad (1.3)$$

จากตารางที่ 1.10 $P_D = 600 \text{ mW}$ ที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C



รูปที่ 1.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P_D กับอุณหภูมิโดยรอบ

จากรูปที่ 1.24 มีรายละเอียด ดังนี้ :-

- เส้นกราฟ ขณะที่ทราบชีสเตอร์อยู่ในอากาศอิสระ อุณหภูมิ $0-25^\circ\text{C}$ P_D มีค่า 600 mW

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ยานความถี่สูง

- เส้นกราฟ ขณะทรายนซิสเตอร์ติดตั้งแผ่นระบายความร้อน ช่วงอุณหภูมิ $0-25^{\circ}\text{C}$ P_D มีค่า 900 mW
- กรณีที่อุณหภูมิโดยรอบสูงกว่า 25°C P_D จะมีค่าลดลง

ตัวอย่างที่ 1.4 ทรานซิสเตอร์มีค่า $P_D = 600 \text{ mW}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{EBO} = 3 \text{ V}$, $V_{CBO} = 20 \text{ V}$,

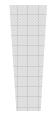
$V_{CEO} = 12 \text{ V}$, $I_{C(\text{MAX})} = 100 \text{ mA}$; ต้องการใช้งานภายใต้ $P_D = 250 \text{ mW}$, $V_{CC} = 12 \text{ V}$;
โดยไม่เกิดความเสียหาย (กำหนด $V_{CE} = 0.5V_{CC}$)

วิธีทำ จากสมการ (1.3)

$$P_D = I_C V_{CE}$$

$$I_C = \frac{P_D}{0.5V_{CE}} = \frac{250 \times 10^{-3}}{0.5 \times 12} = 41.666 \text{ mA}$$

ตอบ ภายใต้ $P_D = 250 \text{ mW}$ ต้องใช้ $I_C = 41.666 \text{ mA}$ และ $V_{CE} = 6 \text{ V}$



1.4.1.6 อุณหภูมิร้อยต่อขณะทำงาน (T_j)

อุณหภูมิร้อยต่อขณะทำงาน เป็นค่าอุณหภูมิที่ร้อยต่อคูลเด็กเตอร์สูงสุด ที่ทรานซิสเตอร์สามารถทนได้ จากตารางที่ 1.10 $T_j = 150^{\circ}\text{C}$

1.4.1.7 พลังอุณหภูมิสะสม (T_{stg})

พลังอุณหภูมิสะสม เป็นค่าของเขตอุณหภูมิสะสม ค่าต่ำสุด ถึงค่าสูงสุดที่ทรานซิสเตอร์สามารถทำงานได้โดยปลอดภัย

จากตารางที่ 1.10 $T_{stg} = -65$ ถึง $+150^{\circ}\text{C}$ ทรานซิสเตอร์ สามารถทำงานได้ตั้งแต่อุณหภูมิ -65°C ถึง 150°C

1.4.2 คุณลักษณะทางความร้อนของทรานซิสเตอร์

แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับ ความต้านทานความร้อนของทรานซิสเตอร์

ตารางที่ 1.11 แสดงคุณลักษณะทางความร้อนของทรานซิสเตอร์

คุณลักษณะทางความร้อนที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C			
พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
ความต้านทานความร้อนรอยต่อถึงตัวถัง (Thermal resistance Junction to Case)	$R_{\theta JC}$	58.3	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
ความต้านทานความร้อนรอยต่อถึงอุณหภูมิโดยรอบ (Thermal resistance Junction to Ambient)	$R_{\theta JA}$	219	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่าปกติของตัวอย่างในการอธิบาย

1.4.2.1 ความต้านทานความร้อนร้อยต่อถึงตัวถัง ($R_{\theta JC}$)

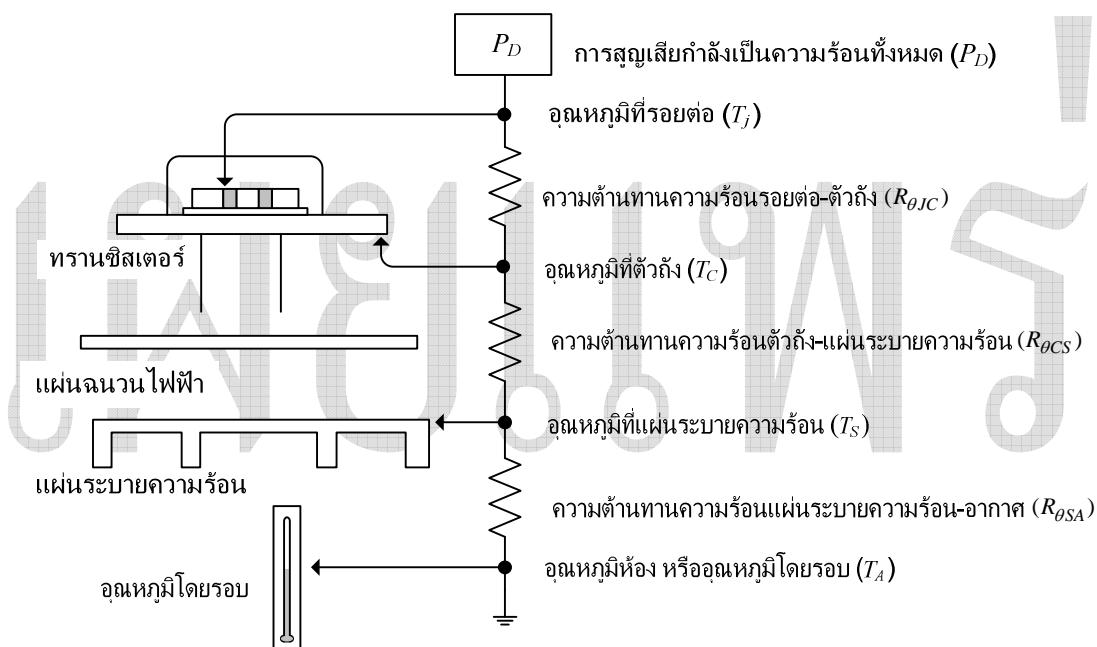
ความต้านทานความร้อนร้อยต่อถึงตัวถัง เป็นการต้านทาน การนำความร้อน จากรอยต่อไปยังตัวถังของทรานซิสเตอร์ โดยมีหน่วยเป็น ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

จากตารางที่ 1.11 $R_{\theta JC} = 53.8 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ทรานซิสเตอร์ตัวถังใหญ่ มีค่า $R_{\theta JC}$

ต่ำ สามารถบรรยายความร้อนได้ดี

1.4.2.2 ความต้านทานความร้อนร้อยต่อถึงอุณหภูมิโดยรอบ ($R_{\theta JA}$)

ความต้านทานความร้อนร้อยต่อถึงอุณหภูมิโดยรอบ เป็นการต้านทาน การนำความร้อน จากรอยต่อไปยังอากาศรอบตัว



รูปที่ 1.25 แสดงรายละเอียดของความต้านทานความร้อน

จากตารางที่ 1.11 $R_{\theta JA} = 219 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}$ จะสังเกตเห็นว่า ค่า $R_{\theta JC}$ มีค่าน้อยกว่า $R_{\theta JA}$ หมายความว่า ภายในตัวทรานซิสเตอร์ มีการระบายความร้อนจากรอยต่อไปยังตัวถังได้ดี แต่การระบายความร้อนจากตัวถังไปยังอากาศไม่ดี จากรูปที่ 1.25 สามารถแสดงสมการได้

$$P_D = \frac{T_j - T_A}{R_{\theta JA}}$$

โดยที่ $R_{\theta JA} = R_{\theta JC} + R_{\theta CS} + R_{\theta SA}$

ดังนั้น

$$P_D = \frac{T_j - T_A}{(R_{\theta JC} + R_{\theta CS} + R_{\theta SA})} \quad (1.4)$$

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ยานความถี่สูง

ตัวอย่างที่ 1.5 จากรูปที่ 1.25 จงประมาณค่า P_D เมื่อ $R_{\theta JA} = 219 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$, $T_j = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_A = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

$$\text{วิธีทำ จากสมการ (1.4)} \quad P_D = \frac{T_j - T_A}{(R_{\theta JC} + R_{\theta CS} + R_{\theta SA})}$$

$$P_D = \frac{T_j - T_A}{R_{\theta JA}} = \frac{(150 - 25)}{219} = 570.776 \text{ mW}$$

ตอบ $P_D = 570.776 \text{ mW}$

1.4.3 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์

แสดงรายละเอียด และเงื่อนไขทดสอบต่าง ๆ มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1.12 แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์

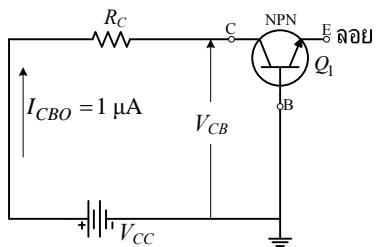
คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิโดยรอบ $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$						
คุณลักษณะ	เงื่อนไขทดสอบ	สัญลักษณ์	ต่ำสุด	ตัวอย่าง	สูงสุด	หน่วย
กระแสคอลเลกเตอร์คัตออฟ (Collector Cutoff Current)	$V_{CB} = 10 \text{ V}$, $I_E = 0$;	I_{CBO}	-	-	1	μA
กระแสอิมิตเตอร์คัตออฟ (Emitter Cutoff Current)	$V_{EB} = 1 \text{ V}$, $I_C = 0$;	I_{EBO}	-	-	1	μA
อัตราข่ายกระแสตรง ¹ (DC Current Gain)	$V_{CE} = 10 \text{ V}$, $I_C = 20 \text{ mA}$;	H_{FE}	50	120	300	
ผลคูณเกนกับแบบดิจิตที่ (Gain Bandwidth Product)	$V_{CE} = 10 \text{ V}$, $I_C = 20 \text{ mA}$;	F_T	-	6.5	-	GHz
ความจุด้านออก (Output Capacitance)	$V_{CB} = 10 \text{ V}$, $I_E = 0$, $f = 1 \text{ MHz}$;	C_{ob}	-	0.65	1	pF
น้อยส์ฟิกเกอร์ (Noise Figure)	$V_{CE} = 10 \text{ V}$, $I_C = 7 \text{ mA}$, $f = 1 \text{ GHz}$;	NF	-	1.1	-	dB
	$V_{CE} = 10 \text{ V}$, $I_C = 30 \text{ mA}$, $f = 1 \text{ GHz}$;	NF	-	1.5	3	dB
อินเซอร์ชันเพาเวอร์เกน (Insertion Power Gain)	$V_{CE} = 10 \text{ V}$, $I_C = 20 \text{ mA}$, $f = 1 \text{ GHz}$;	$ S_{21e} ^2$	-	10	-	dB

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่าปกติตัวอย่างในการอธิบาย

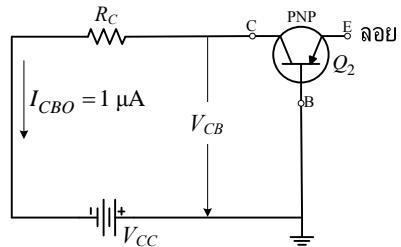
1.4.3.1 กระแสคอลเลกเตอร์คัตออฟ (I_{CBO})

กระแสคอลเลกเตอร์คัตออฟ เป็นค่ากระแสแกลบันททางของไฟฟ้ากระแสตรง ให้ผลผ่านขาคอลเลกเตอร์ กับขาเบส โดยขาอิมิตเตอร์ปัลล่อย่างไว้

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่บ่งบอกความถี่สูง



รูป ก. ทรานซิสเตอร์แบบอี็นพีอี็น



รูป ข. ทรานซิสเตอร์แบบพีอี็นพี

รูปที่ 1.26 แสดงกระแส I_{CBO} ของทรานซิสเตอร์

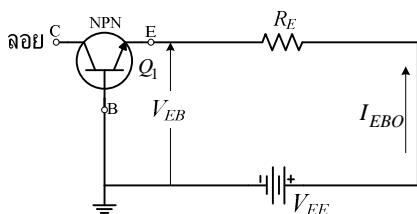
กระแสที่ไหลเป็นกระแสรั่ว มีชื่อเรียกว่า “กระแส I_{CBO} ” ให้ในวงจรโดยกระแส I_{CBO} จะเปลี่ยนแปลงค่าตามอุณหภูมิ โดยรอบมากกว่าการเปลี่ยนแปลงตามแรงดัน V_{CB} ทรานซิสเตอร์ชนิดซิลิกอน อุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก ๆ 6°C กระแส I_{CBO} จะเพิ่มเป็น 2 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 1.26 จากตารางที่ 1.12 มีรายละเอียดเกี่ยวกับกระแส I_{CBO} ดังนี้ :-

- $I_{CBO} = 1 \mu\text{A}, T_A = 25^{\circ}\text{C}$; (ค่าตามตารางที่ 1.12)
- $I_{CBO} = 2 \mu\text{A}, T_A = 31^{\circ}\text{C}$; (T_A เพิ่มขึ้น 6°C)
- $I_{CBO} = 4 \mu\text{A}, T_A = 37^{\circ}\text{C}$; (T_A เพิ่มขึ้น 12°C)

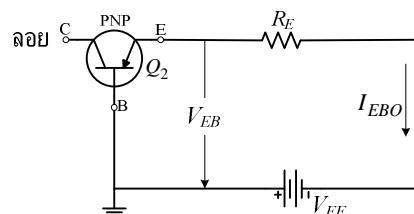
การใช้งานทรานซิสเตอร์ สามารถลดทิ้งกระแส I_{CBO} ได้ ในหัวข้อ 1.4.1.1 มีแรงดัน $V_{CC} \leq V_{CBO}$ เมื่อต้องการให้เกิดเสถียรภาพของจุดทำงาน ควรจัดไบแอสโดยใช้ R_E

1.4.3.2 กระแสอิมิटเตอร์คัตอฟ (I_{EBO})

กระแสอิมิटเตอร์คัตอฟ เป็นค่ากระแสกลับทางไฟฟ้ากระแสตรง ที่ไหลผ่านขาอิมิटเตอร์ กับขาเบส โดยขาคอลเลกเตอร์ถูกกรองไว้ มีการเปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับ กระแส I_{CBO} ดังแสดงในรูปที่ 1.27



รูป ก. ทรานซิสเตอร์แบบอี็นพีอี็น



รูป ข. ทรานซิสเตอร์แบบพีอี็นพี

รูปที่ 1.27 แสดงกระแส I_{EBO} ของทรานซิสเตอร์

จากตารางที่ 1.12 $I_{EBO} = 1 \mu\text{A}, T_A = 25^{\circ}\text{C}$; สามารถลดทิ้งได้

การใช้งานทรานซิสเตอร์ ในหัวข้อ 1.4.1.3 แรงดัน $V_{EE} \leq 3 \text{ V}$

1. ຖຸນສນບັດທາງໄຟຟ້ານແລະພາຣາມີເຕອຮ່ານຄວາມຄືສູງ

1.4.3.3 ອັຕຮາຍຍາຍກະຮະແສຕຮງ (H_{FE} , β_F)

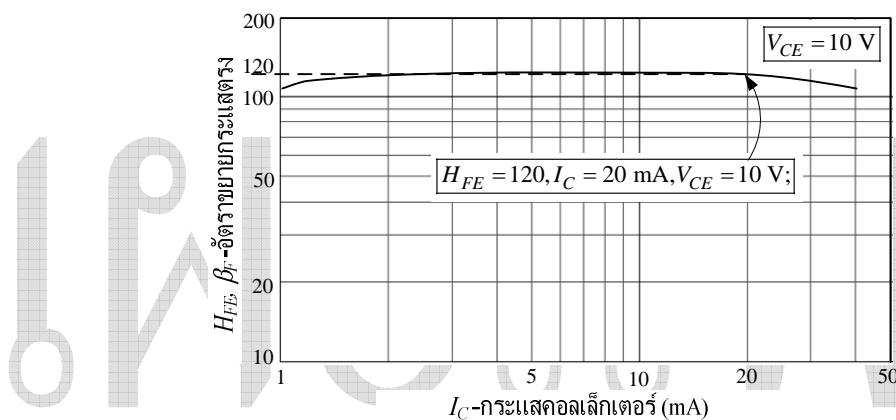
ອັຕຮາຍຍາຍກະຮະແສຕຮງ ເປັນຄ່າອັຕຮາສ່ວນ ຮະຫວ່າງກະແສຄອລເລື້ອກເຕອຮ່ານ ຕ່ອງ
ກະຮະແສບເບສ ທີ່ຈຶ່ງກະແສຄອລເລື້ອກເຕອຮ່ານແລະກະຮະແສບເບສ ຈະຕ້ອງເປັນໄຟຟ້າກະຮະແສຕຮງ

$$H_{FE} = \beta_F = \frac{I_C}{I_B}$$

ໂດຍທີ່ H_{FE} (ອ່ານວ່າ ເອຊ-ເອຟ-ອີ) ເປັນ ອັຕຮາຍຍາຍກະຮະແສຕຮງ ຂອງ ເອຊ ພາຣາມີເຕອຮ່ານ

β_F (ອ່ານວ່າ ເບ-ຕ້າ-ເອຟ) ເປັນ ອັຕຮາຍຍາຍກະຮະແສຕຮງ ຂອງໄໂບຣິດ-ໄຟ

ຈາກຕາຮາງທີ່ 1.12 $H_{FE} = 120$, H_{FE} (ຕໍ່າສຸດ) = 50, H_{FE} (ສູງສຸດ) = 300;
ແລະສາມາດແສດງອູ້ຢູ່ໃນຮູບຂອງກາຟ ດັ່ງແສດງໃນຮູບທີ່ 1.28



ຮູບທີ່ 1.28 ແສດງຄວາມສັນພັນຮ່າງວ່າງ H_{FE} , β_F ກັບກະຮະແສ I_C

ກາຮອກແບນຈຳເປັນຕ້ອງທຽບຄ່າຂອງ H_{FE} ໂດຍກາຮັດຈາກມີເຕອຮ່ານຄືຈົດອດ ໃຊ້
ມາຕັ H_{FE} ມີການວັດຕາມຮູບທີ່ 1.29 ຄ່າ H_{FE} ທີ່ໄດ້ຈາກແຜ່ນຂໍອມຸນນັກຈະເປັນຄ່າຕ້ວອຍ່າງ ທີ່ຈະໄມ່ຕຽງ
ກັບທຽບຈີສເຕອຮ່ານທີ່ມີອູ້ຢູ່ ຈາກຮູບທີ່ 1.29 ສາມາດປະມານຄ່າ H_{FE} ໄດ້ຈາກສາມາດ

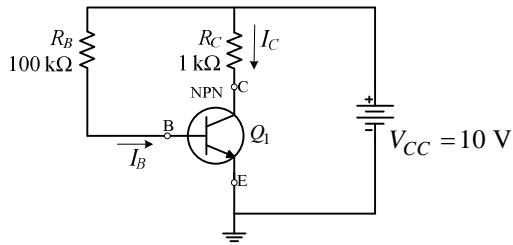
$$I_B = \frac{V_{R_B}}{R_B}, I_C = \frac{V_{R_C}}{R_C};$$

$$H_{FE} = \beta_F = \frac{I_C}{I_B} = \frac{V_{R_C}}{R_C} \times \frac{R_B}{V_{R_B}}$$

$$H_{FE} = \frac{V_{R_C}}{V_{R_B}} \times \frac{R_B}{R_C} = \frac{V_{R_C}}{V_{R_B}} \times \frac{100 \times 10^3}{1 \times 10^3}$$

$$H_{FE} = \frac{V_{R_C}}{V_{R_B}} \times 100$$

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่บ่งบอกความถี่สูง



รูปที่ 1.29 แสดงวงจรประมาณค่า H_{FE} ของทรานซิสเตอร์

ตัวอย่างที่ 1.6 จากรูปที่ 1.29 จงประมาณ H_{FE} เมื่อ $V_{R_C} = 6$ V, $V_{R_B} = 3$ V;

$$\text{วิธีทำ} \quad H_{FE} = \frac{V_{R_C}}{V_{R_B}} \times 100 = \frac{6}{3} \times 100 = 200$$

ตอบ $H_{FE} = 200$

1.4.3.4 ผลคุณเกณฑ์แบบด้วยวิธี (F_T)

ผลคุณเกณฑ์แบบด้วยวิธี หรือความถี่ทรานซิชัน เป็นผลคุณของอัตราขยายกระแสตรง กับแบบด้วยวิธี เป็นความถี่ที่ทำให้อัตราขยายกระแสลับลดลงเหลือเป็น 1 โดยจัดวงจรแบบอนิมิตเตอร์ร่วม และดูสมการได้

เนื่องจาก $B_W \approx F_\beta$

$$F_T = B_W \beta_F$$

$$F_T = F_\beta \beta_F$$

เนื่องจาก F_β เป็นค่าความถี่ที่ทำให้อัตราขยายกระแสลับลดลงเหลือเป็น 0.707 เท่าของอัตราขยายกระแสตรง จะได้สมการ

$$\beta_{o(F_\beta)} = 0.707 \beta_F$$

โดยที่ $\beta_{o(F_\beta)}$ คือ อัตราขยายกระแสลับของความถี่ F_β

ดังนั้น

$$\boxed{\begin{aligned} F_T &= F_\beta \beta_F \\ \beta_{o(F_\beta)} &= 0.707 \beta_F \end{aligned}} \quad (1.5)$$

ตัวอย่างที่ 1.7 ทรานซิสเตอร์มีค่า $F_T = 6.5$ GHz, $H_{FE} = 120$; จงประมาณค่าของ F_β และ $\beta_{o(F_\beta)}$

วิธีทำ

$$H_{FE} = \beta_F$$

จากสมการ (1.5)

$$F_\beta = \frac{F_T}{\beta_F} = \frac{6.5 \times 10^9}{120} = 54.166 \text{ MHz}$$

$$\beta_{o(F_\beta)} = (0.707) \beta_F = 0.707 \times 120 = 84.84 \cong 85$$

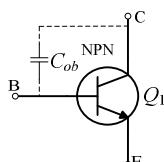
ตอบ $F_\beta = 54.166 \text{ MHz}$, $\beta_{o(F_\beta)} = 84.84 \cong 85$;

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ยานความถี่สูง

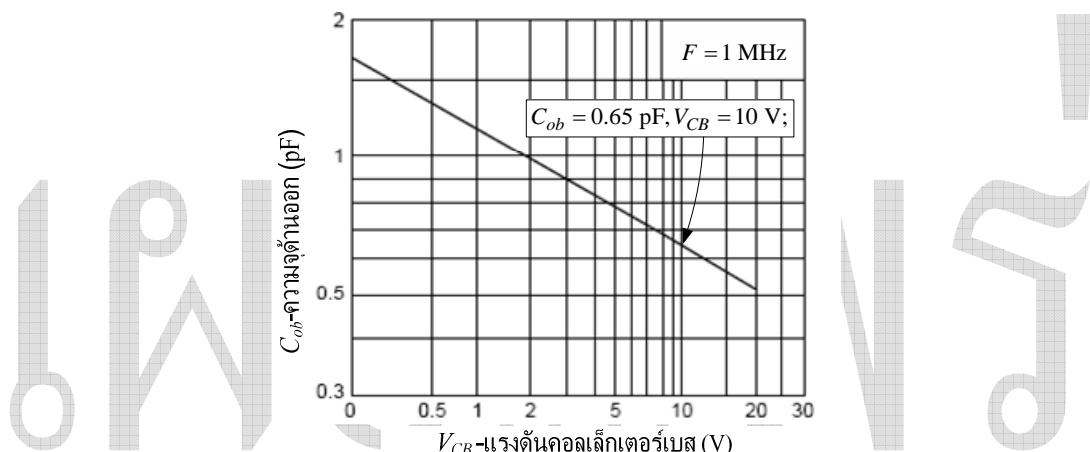
1.4.3.5 ความจุด้านออก (C_{ob})

ความจุด้านออก เป็นค่าความจุไฟฟ้าระหว่างขาคอมเพลกเตอร์ กับขาเบส โดย
ขาอิมิตเตอร์ปล่อยคลอยไว้ ดังแสดงในรูปที่ 1.30

จากตารางที่ 1.12 $C_{ob} = 0.65 \text{ pF}$



รูปที่ 1.30 แสดง C_{ob} ของทรานซิสเตอร์



รูปที่ 1.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_{ob} กับแรงดัน V_{CB}

จากรูปที่ 1.31 ค่า C_{ob} จะแปรผกผันกับแรงดัน V_{CB} เมื่อแรงดัน V_{CB} มีค่ามากขึ้นค่าของ C_{ob} จะมีค่าลดลง

1.4.3.6 នូយស៊ិកករី (NF)

นอยส์ฟิกเกอร์ เป็นค่าตัวเลขสัญญาณรบกวน ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการขยายสัญญาณรบกวนของทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์ที่ดีมีค่า NF ต่ำ ประมาณ 1 dB

จากตารางที่ 1.12 มีรายละเอียดเกี่ยวกับ NF ดังนี้ :-

- $NF = 1.1 \text{ dB}, I_C = 7 \text{ mA};$
 - $NF = 1.5 \text{ dB}, I_C = 30 \text{ mA};$

$$NF = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{si}}{P_{ni}} \times \frac{P_{no}}{P_{so}} \right) \text{ (dB)} \quad (1.6)$$

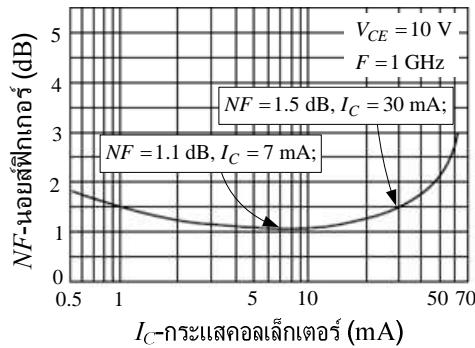
โดยที่ P_{v_i} คือ ค่ากำลังสัญญาณเข้า (W) P_{v_o} คือ ค่ากำลังสัญญาณออก (W)

การวิเคราะห์วงศ์จรอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่บ่งบอกความถี่สูง

P_{ni} คือ ค่ากำลังสัญญาณรบกวนเข้า (W) P_{so} คือ ค่ากำลังสัญญาณรบกวนออก (W)

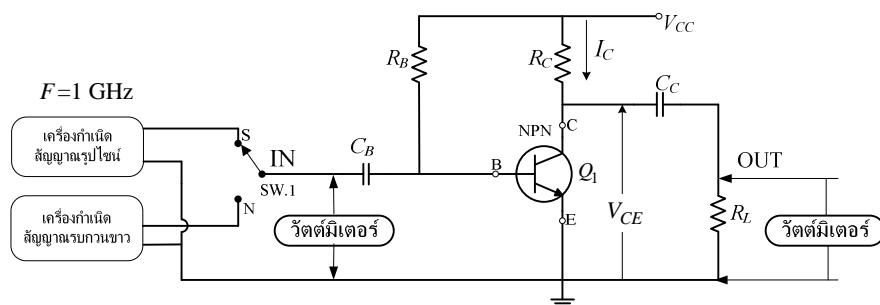
* หมายเหตุ (ทดสอบภายในต้องหกมโดยรอบเดียวกัน)



รูปที่ 1.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง NF กับกระแส I_C

จากรูปที่ 1.32 จะสังเกตเห็นว่า NF = 1.5 dB มี 2 จุดคือ จุดแรก $I_C = 1 \text{ mA}$ และจุดที่สอง $I_C = 30 \text{ mA}$ ดังนั้นจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุดคือ $I_C = 7 \text{ mA}, NF = 1.1 \text{ dB}$;

จากรูปที่ 1.33 การตรวจสอบค่า NF เมื่อ SW.1 อยู่ที่ (S) รับสัญญาณรูปไซน์ 1 GHz สัญญาณด้านเข้าแรงสูงสุด โดยสัญญาณด้านออกไม่ผิดเพี้ยน ให้วัด P_{si} และ P_{so} ลับ SW.1 ให้อยู่ที่ตำแหน่ง (N) เพื่อรับสัญญาณรบกวนขาว (White Noise) ให้วัด P_{ni} และ P_{no} ใช้สมการ (1.6) ประมาณค่า



โดยทดสอบที่ $V_{CE} = 10 \text{ V}, I_C = 7 \text{ mA}, F = 1 \text{ GHz}, NF = 1.1 \text{ dB}$;

รูปที่ 1.33 แสดงการประมาณค่า NF ของทรานซิสเตอร์

1.4.3.7 อินเชอร์ชันเพาเวอร์เกน ($|S_{12e}|^2$)

อินเชอร์ชันเพาเวอร์เกน เป็นค่าอัตราขยายกำลังไส้แทรก

จากตารางที่ 1.12 $|S_{21e}|^2 = 10 \text{ dB}, V_{CE} = 10 \text{ V}, I_C = 20 \text{ mA}, F = 1 \text{ GHz}$;

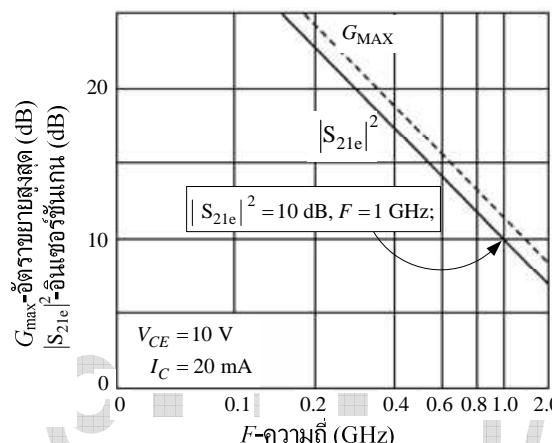
$$\boxed{|S_{21e}|^2_{(\text{dB})} = 10 \log |S_{21e}|^2_{(\text{W})}} \quad (1.7)$$

1. ຖុនសមប័តិការ ឲ្យផ្លានលេខរាស្ត្រមិនធ្វើឡាការណ៍អីទេ

$$\left| S_{21e} \right|_{(W)}^2 = 10 \frac{\left| S_{21e} \right|_{(dB)}^2}{10} \quad (1.8)$$

ឡើង សម្រាប់ $\left| S_{21} \right|_{(W)}^2 = 10 \text{ dB}$ ចង់ធ្វើឡើងវត្ថុ (W)

ពីការសម្រាប់ (1.8) $\left| S_{21e} \right|_{(W)}^2 = 10 \frac{\left| S_{21e} \right|_{(dB)}^2}{10} = 10^{10} = 10^1 = 10 \text{ W}$



រូបថត 1.34 ផែតការណ៍សម្រាប់រាស្ត្រមិនធ្វើឡាការណ៍អីទេ $|S_{21e}|^2$ ក្នុងរាស្ត្រ

ពីក្នុងរូបថត 1.34 មីរាយលេខដឹងតីនេះ :-

- $V_{CE} = 10 \text{ V}, I_C = 20 \text{ mA}, |S_{21e}|^2 = 22.5 \text{ dB}, F = 200 \text{ MHz};$
- $V_{CE} = 10 \text{ V}, I_C = 20 \text{ mA}, |S_{21e}|^2 = 10 \text{ dB}, F = 1 \text{ GHz};$
- អិនមេខ្មែរបានក្នុងរាស្ត្រក្នុងរាស្ត្រ

1.4.4 បណ្តុះបណ្តុះ ឲ្យបុរិគ-ឲ្យបុងទរានជិតៗ

បណ្តុះបណ្តុះ ឲ្យបុរិគ-ឲ្យបុងទរានជិតៗ មិនមានមិនទេ 8 ពារាមិនទេ គឺ គួរពនៃ តង់ផែតការណ៍សម្រាប់ (1.35)

1.4.4.1 ទរានស៊ុកនុកណែន (Transconductance; g_m)

ទរានស៊ុកនុកណែន គឺជាកំណត់រាល់នៅរវាងក្រោល $I_{C(dc)}$ តែងទៅរៀងគុណ V_T ឬទេរីករាង “ការណាំតាម ឯុទ្ធន៍” ត្រូវបានគិតឡើង តាមសម្រាប់

$$g_m = \frac{I_{C(dc)}}{V_T} = \frac{I_{C(dc)}}{(k_B T / q)} \quad (1.9)$$

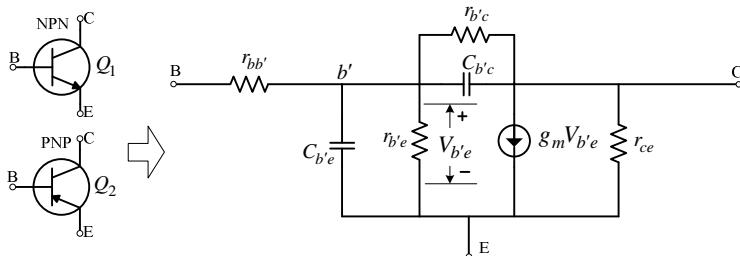
តើយើង $I_{C(dc)}$ គឺជាកំណត់រាល់នៅក្នុងរាស្ត្រ នៅក្នុងរាស្ត្រ

ការវិគ្រាងនៃរាស្ត្រ និងការរាយការណ៍សម្រាប់

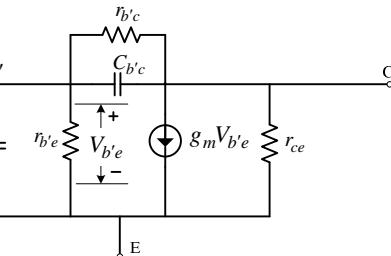
1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่บ่งบอกความถี่สูง

$$V_T = \frac{k_B T}{q} \text{ ซึ่งเป็นไปตามอุณหภูมิ และ } k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

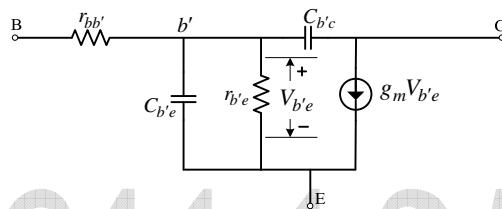
T คือ ค่าอุณหภูมิ เคลวิน (K) และ $q = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$



ก. แสดงสัญลักษณ์ทรานซิสเตอร์



ข. แสดงแบบจำลองไฮบริด-ไฟ



ค. แสดงแบบจำลองไฮบริด-ไฟโดยใช้ $r_b'c$ และ r_{ce}

รูปที่ 1.35 แสดงสัญลักษณ์และแบบจำลองไฮบริด-ไฟของทรานซิสเตอร์ อิมิตเตอร์ร่วม

ตัวอย่างที่ 1.8 งบประมาณค่า g_m ของทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่ง เมื่อกำหนด $I_{C(dc)} = 10 \text{ mA}$

ก. $T_A = 25^\circ\text{C}$ ข. $T_A = 40^\circ\text{C}$ ค. $T_A = -10^\circ\text{C}$

วิธีทำ จากสมการ (1.9)
$$g_m = \frac{I_{C(dc)}}{V_T} = \frac{I_{C(dc)}}{(k_B T / q)}$$

โดยที่ $I_{C(dc)} = 10 \text{ mA}, k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}, q = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C};$

ก. $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T = (273 + 25) = 298 \text{ K}$

$$\frac{k_B T}{q} = \frac{1.38 \times 10^{-23} \times 298}{1.60 \times 10^{-19}} = 25.70 \text{ mV}$$

$$g_m = \frac{10 \times 10^{-3}}{25.70 \times 10^{-3}} = 389.105 \text{ mS}$$

ตอบ ขณะที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C g_m มีค่า **389.105 mS**

ข. $T_A = 40^\circ\text{C}$ $T = (273 + 40) = 313 \text{ K}$

$$\frac{k_B T}{q} = \frac{1.38 \times 10^{-23} \times 313}{1.60 \times 10^{-19}} = 26.996 \text{ mV}$$

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ยานความถี่สูง

$$g_m = \frac{10 \times 10^{-3}}{26.996 \times 10^{-3}} = 370.425 \text{ mS}$$

ตอบ ขณะที่อุณหภูมิโดยรอบ 40°C g_m มีค่า **370.425 mS**

$$\text{Ans. } T_A = -10^\circ\text{C} \quad T = (273 - 10) = 263\text{ K}$$

$$\frac{k_B T}{q} = \frac{1.38 \times 10^{-23} \times 263}{1.60 \times 10^{-19}} = 22.683 \text{ mV}$$

$$g_m = \frac{10 \times 10^{-3}}{22.683 \times 10^{-3}} = 440.858 \text{ mS}$$

ตอบ ขณะที่อุณหภูมิโดยรอบ (-10°C) g_m มีค่า **440.858 mS**

1.4.4.2 ความต้านทานรอยต่ออิมิตเตอร์ ($r_{b'e}$)

ความต้านทานรอยต่ออิมิตเตอร์ เป็นค่าความต้านทานระหว่างขาเบส (b')

กับความต้องการที่จะได้รับค่าคงที่จากการคำนวณ

$$(1.10)$$

1.4.4.3 ความต้านทานจุดต่อและก้อนสาร ($r_{bb'}$)

ความต้านทานจุดต่อและก้อนสาร เป็นค่าความต้านทานรวม ของตัวนำ, จุดต่อ และก้อนสารที่ขาเบสบนเส้นทางรอยต่ออิมิตเตอร์ มีค่าประมาณ $2-200 \Omega$ ซึ่งประมาณได้จากสมการ

$$r_{bb'} = \frac{V_{be}}{I_b} - r_{b'e} \quad (1.11)$$

โดยที่ V_{be} คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับระหว่างขาเบส กับขาอิมิตเตอร์

1.4.4.4 แหล่งกำเนิดกระแสคลื่นเล็กเตอร์ ($g_m V_{b'e}$)

แหล่งกำเนิดกระแสคอลเล็กเตอร์ เป็นแหล่งกำเนิดกระแสที่ถูกควบคุมโดยแรงดัน $V_{b'e}$ เมื่อแรงดัน $V_{b'e}$ มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสคอลเล็กเตอร์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย จะได้สมการ

$$I_c = g_m V_{b'e} \quad (1.12)$$

โดยที่ $V_{b'e}$ คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าต่อกลุ่ม $r_{b'e}$ ขณะที่กระแส I_b ไหลผ่าน

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่งานความถี่สูง

ถ้าหากแรงดัน $V_{b'e}$ มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้กระแส I_c เพิ่มปริมาณมากขึ้น แทนค่า $V_{b'e} = I_b r_{b'e}$ ในสมการ (1.10) จะได้

$$I_C = g_m I_b r_{b'e}$$

แทนค่า $r_{b'e} = \frac{\beta_o}{g_m}$ ลงในสมการ $I_C = g_m I_b r_{b'e}$ จะได้

$$\boxed{I_c = \frac{g_m I_b \beta_o}{g_m} = I_b \beta_o} \quad (1.13)$$

$$\text{จากสมการ } (1.12) = (1.13) \quad \boxed{I_c = g_m V_{b'e} = \beta_o I_b} \quad (1.14)$$

สำหรับทิศทางการไหลของกระแส $g_m V_{b'e}$ ถ้าหากวงจรแบบอิมิตเตอร์ และคอลเล็กเตอร์ร่วม จะไหลออกทางขาอิมิตเตอร์ แต่ถ้าแบบเบสร่วม จะไหลออกทางขาคอลเล็กเตอร์

1.4.4.5 ความจุเบสคอลเล็กเตอร์ ($C_{b'e}$)

ความจุเบสคอลเล็กเตอร์ เป็นค่าความจุไฟฟ้าระหว่างขาเบส กับขาคอลเล็กเตอร์ สามารถหาค่าได้จากแผ่นข้อมูลทรานซิสเตอร์ โดย $C_{b'e}$ มีค่าใกล้เคียงกับ C_{ob}

1.4.4.6 ความจุเบสอิมิตเตอร์ ($C_{b'e}$)

ความจุเบสอิมิตเตอร์ เป็นค่าความจุไฟฟ้าระหว่างขาเบสกับขาอิมิตเตอร์ ซึ่งสามารถประมาณค่า จากข้อมูล 2 ข้อมูล ดังนี้

1.4.4.6.1 ทราบความถี่ F_β และ C_{ob} สามารถประมาณค่าจากสมการ

$$\boxed{C_{b'e} + C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi F_\beta \beta_o}; C_{b'e} \approx C_{ob}} \quad (1.15)$$

1.4.4.6.2 ทราบความถี่ F_T และ C_{ob} สามารถประมาณค่าจากสมการ

$$C_{b'e} + C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi F_T}; C_{b'e} \approx C_{ob}$$

$$\boxed{C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi F_T} - C_{ob}} \quad (1.16)$$

ตัวอย่างที่ 1.9 ทราบชิสเตอร์ตัวหนึ่งมีค่า $C_{ob} = 0.65 \text{ pF}$, $F_T = 6.5 \text{ GHz}$, $T_A = 25^\circ \text{C}$, $I_{C(dc)} = 2 \text{ mA}$;

จะประมาณค่า $C_{b'e}$

วิธีทำ จากสมการ (1.9)
$$g_m = \frac{I_{C(dc)}}{V_T} = \frac{I_{C(dc)}}{(k_B T/q)}$$

โดยที่ $I_{C(dc)} = 2 \text{ mA}$

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ยานความถี่สูง

$$g_m = \frac{I_{C(dc)}}{25.7 \times 10^{-3}} = \frac{2 \times 10^{-3}}{25.7 \times 10^{-3}} = 77.821 \text{ mS}$$

จากสมการ (1.16)

$$C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi F_T} - C_{ob}$$

$$C_{b'e} = \frac{77.821 \times 10^{-3}}{2 \times 3.14 \times 6.5 \times 10^9} - 0.65 \times 10^{-12} = 1.256 \text{ pF}$$

ตอบ $C_{b'e} = 1.256 \text{ pF}$

1.4.4.7 ความต้านทานเบสคอลเลกเตอร์ ($r_{b'c}$)

ความต้านทานเบสคอลเลกเตอร์เป็นค่าความต้านทานภายในระหว่างขาเบสกับขาคอลเลกเตอร์ โดยปกติทรานซิสเตอร์ชนิดซิลิโคน มีค่าความต้านทานสูงมาก เนื่องจากกระแส I_{CBO} มีค่าน้อยมากสามารถลดทิ้งได้ โดยเฉพาะใช้กับความถี่สูงค่ารีแอคเวนช์ของ $C_{b'c}$ จะมีค่าต่ำกว่า $r_{b'c}$ เนื่องจากห้องสองต่อนานกันอยู่สามารถลดทิ้ง $r_{b'c}$ ได้

1.4.4.8 ความต้านทานคอลเลกเตอร์อิมิตเตอร์ (r_{ce})

ความต้านทานคอลเลกเตอร์อิมิตเตอร์ เป็นค่าความต้านทานภายในระหว่างขาคอลเลกเตอร์ กับขาอิมิตเตอร์ โดยปกติมีค่าสูงมาก เนื่องจากมีกระแส I_{CEO} น้อยมาก โดยเฉพาะต่อกับโหลด 50 Ω หรือ 75 Ω จึงสามารถลดทิ้ง r_{ce} ได้

สรุป

การใช้งานทรานซิสเตอร์ ต้องคำนึงถึงค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุด ได้แก่ การกำหนดค่าแรงดัน V_{CC} ต้องไม่เกินค่าแรงดัน V_{CBO} ในเบสร่วม และไม่เกินค่าแรงดัน V_{CEO} ในอิมิตเตอร์ร่วม และนิยมใช้กระแส I_C ต่ำกว่า $0.5I_{C(\text{MAX})}$

การตอบสนองทางด้านความถี่สูงจะต้องเลือกทรานซิสเตอร์ที่มีค่าความถี่ F_T สูง ๆ เมื่อหารด้วย H_{FE} หรือ β_F จะต้องได้ผลลัพธ์ มีค่าสูงกว่าความถี่ที่ต้องการใช้งานและเลือกค่า C_{ob} มีค่าต่ำที่สุด

การประมาณค่า พารามิเตอร์ของแบบจำลองไอบริด-ไฟของทรานซิสเตอร์ จำเป็น จะต้องทราบค่า F_T , H_{FE} และ C_{ob}

1.5 ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า

ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า หรือเรียกว่า “เฟต” เฟตที่สามารถทำงานในย่านความถี่สูงได้นั้น ได้แก่เจเฟต (JFET) และดีเพลิชั่นمورสเฟต (Depletion MOSFET) ดังนั้นคำว่า “เฟต” หมายถึง เจเฟต

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สูง

และดีเพลีชั้น mosfet เฟตกีซึ่งเดียวกันกับทรานซิสเตอร์ จะต้องทราบคุณลักษณะทางไฟฟ้า และพารามิเตอร์ก่อนการใช้งาน

1.5.1 ค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุดของเฟต

ค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุด เป็นค่าสูงสุดที่เฟตสามารถทนได้ โดยไม่เกิดความเสียหาย ที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C ดังแสดงในตารางที่ 1.13

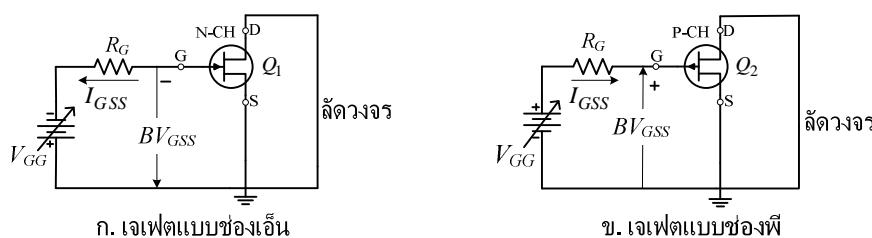
ตารางที่ 1.13 แสดงค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุดของเฟต

ค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุดที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C			
พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
แรงดันเบรกดาวน์เกตชอส (Gate-Source Breakdown Voltage)	BV_{GSS}	-30	V
กระแสเกตไปหน้า (Forward Gate Current)	I_{GF}	10	mA
การสูญเสียกำลังเป็นความร้อนทั้งหมด	P_D	300	mW
อุณหภูมิริบด้วยขณะทำงาน	T_j	-65 ถึง +160	$^{\circ}\text{C}$
พิสัยอุณหภูมิสะสม	T_{stg}	-65 ถึง +160	$^{\circ}\text{C}$

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่ายกตัวอย่างในการอธิบาย

1.5.1.1 แรงดันเบรกดาวน์เกตชอส (BV_{GSS})

แรงดันเบรกดาวน์เกตชอส เป็นค่าแรงดันกลับทางสูงสุดระหว่างขาเกต (G) กับขาชอส (S) ขณะที่ขาเดрен (D) ล็ัดวงจรกับขาชอส ดังแสดงในรูปที่ 1.36



รูปที่ 1.36 แสดงแรงดัน BV_{GSS} ของเฟต

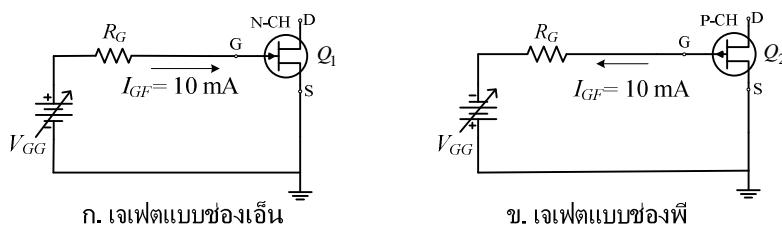
จากตารางที่ 1.13 $BV_{GSS} = -30 \text{ V}$ จากรูปที่ 1.36 ก. แรงดัน V_{GG} ข้อลบท่อผ่าน R_G เข้าขาเกต และข้อบกต่อขาชอส ขณะที่ขาเดренล็ัดวงจรกับขาชอส เป็นการไบเออร์สกัดลับทาง มีกระแส I_{GSS} ไหลในวงจรน้อยมาก ส่วนรูปที่ 1.36 ข. แรงดัน V_{GG} จะมีข้อตรงกันข้าม การใช้งานเฟต นิยมกำหนดแรงดัน $V_{DD} < BV_{GSS}$

1. ຖຸນສນມັດທາງໄຟຟ້າແລະພາຣາມີເຕອຮ່ານຄວາມຄືສູງ

1.5.1.2 ກະແສເກຕໄປໜ້າ (I_{GF})

ກະແສເກຕໄປໜ້າ ເປັນຄ່າກະແສໄຫລະຮວ່າງຂາເກຕກັບຂາຊອສ ເນື່ອໄດ້ຮັບໄປແອສໄປໜ້າ ແລະຂາເດຣນປ່ລ່ອຍວ່າງໄວ້ ດັ່ງແສດງໃນຮູບທີ 1.37

ຈາກຕາරັງທີ 1.13 $I_{GF} = 10 \text{ mA}$ ຈາກຮູບທີ 1.37 ກ. ແຮງດັນ V_{GG} ຂໍ້ວບວກຕ່ອຸ່ນ R_G ເຂົ້າຂາເກຕ ແລະຂໍ້ວລົບຕ່ອເຂົ້າຂາຊອສ ຂະໜາທີ່ຂາເດຣນປ່ລ່ອຍວ່າງໄວ້ ມີກະແສ I_{GF} ໄຫດໃນວົງຈາກສ່ວນຮູບທີ 1.37 ຂ. ແຮງດັນ V_{GG} ຈະມີຂໍ້ຕຽນກັນຂ້າມ



ຮູບທີ 1.37 ແສດງກະແສ I_{GF} ຂອງຝັກ

ການໃຊ້ຈານ ໂດຍປົກຕິ ເຝັກ ຈະໄປແອສກັບທາງຮວ່າງຂາເກຕ ກັບຂາຊອສ ແຕ່
ຄ້າຕ້ອງການໄປແອສໄປໜ້າ ຍອນໄຫມໍກະແສ $I_{GF} \leq 10 \text{ mA}$

1.5.1.3 ກາຮສູນເສີຍກຳລັງເປັນຄວາມຮ້ອນທັ້ງໝາດ

ກາຮສູນເສີຍກຳລັງເປັນຄວາມຮ້ອນທັ້ງໝາດ ເປັນຄ່າກຳລັງສູນເສີຍສູງສຸດຂອງຝັກ
ເຊັ່ນເຄີຍກັບຂອງທຣານຈີສເຕອຮ່າ ຈາກຕາරັງທີ 1.13 $P_D = 350 \text{ mW}$ ສາມາດປະມານຄ່າໄດ້ຈາກສົມກາຣ

$$P_D = I_D V_{DS} \quad (1.17)$$

ຕ້ວອຍ່າງທີ 1.10 ເຝັກມີຄ່າ $P_D = 350 \text{ mW}, T_A = 25^\circ\text{C}, BV_{GSS} = -25 \text{ V}, V_P = -3 \text{ V}, I_{DSS} = 30 \text{ mA};$ ຕ້ອງ

ການໃຊ້ຈານກາຍໃຫ້ຄ່າ $P_D = 250 \text{ mW}, V_{DD} = 20 \text{ V}, V_{DS} = 0.5V_{DD};$ ແລະ ໂດຍໄມ່ເສີຍຫາຍ

ວິທີ່ທຳ ຈາກສົມກາຣ (1.17) $P_D = I_D V_{DS}$

$$V_{DS} = 0.5V_{DD}$$

$$V_{DS} = 0.5 \times 20 = 10 \text{ V}$$

$$I_D = \frac{P_D}{V_{DS}} = \frac{250 \times 10^{-3}}{10} = 25 \text{ mA}$$

ຕອບ ກາຍໃຫ້ $P_D = 250 \text{ mW}$ ຕ້ອງໃໝ່ $I_D = 25 \text{ mA}, V_{DS} = 10 \text{ V}, V_{DD} = 20 \text{ V};$

1.5.1.4 ອຸນໜູນມີຮອຍຕ່ອບຄະທຳງານ

ອຸນໜູນມີຮອຍຕ່ອບຄະທຳງານ ເນື່ອງຈາກໂຄຮງສ້າງຂອງຝັກຮວ່າງຂາເດຣນກັບ
ຂາຊອສໄມ່ມີຮອຍຕ່ອບ ດັ່ງນັ້ນຄ່າ $T_j = T_{stg}$ ຈາກຕາරັງທີ 1.13 $T_j = -65^\circ\text{C}$ ປຶ້ງ $+160^\circ\text{C}$

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ร้านความถี่สูง

1.5.1.5 พิสัยอุณหภูมิสะสม

เช่นเดียวกับกับทรายซิสเตอร์ จากตารางที่ 1.13 $T_{stg} = -65^{\circ}\text{C}$ ถึง $+160^{\circ}\text{C}$

1.5.2 คุณลักษณะทางความร้อนของเฟต

1.5.2.1 ความต้านทานความร้อนรอยต่อถึงตัวถัง

จากตารางที่ 1.14 $R_{\theta JC} = 125^{\circ}\text{C}/\text{W}$

1.5.2.2 ความต้านทานความร้อนรอยต่อถึงอุณหภูมิโดยรอบ

เช่นเดียวกับกับทรายซิสเตอร์ จากตารางที่ 1.14 $R_{\theta JA} = 357^{\circ}\text{C}/\text{W}$

ตารางที่ 1.14 แสดงคุณลักษณะทางความร้อนของเฟต

คุณลักษณะทางความร้อนที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C			
พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
ความต้านทานความร้อนรอยต่อถึงตัวถัง	$R_{\theta JC}$	125	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
ความต้านทานความร้อนรอยต่อถึงอุณหภูมิโดยรอบ	$R_{\theta JA}$	357	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่าข่ายตัวอย่างในการอธิบาย

1.5.3 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเฟต

1.5.3.1 แรงดันเบรกดาวน์เกตชอส

เช่นเดียวกับข้อ 1.5.1.1

ตารางที่ 1.15 แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเฟต

คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C						
คุณลักษณะ	เงื่อนไขทดสอบ	สัญลักษณ์	ต่ำสุด	ตัวอย่าง	สูงสุด	หน่วย
แรงดันเบรกดาวน์เกตชอส (Gate-Source Breakdown Voltage)	$I_G = -1 \text{ V}, V_{DS} = 0;$	BV_{GSS}	-30	-36	-	V
กระแสเกตกลับทาง (Gate Reverse Current) (I_{GSS})	$V_{GS} = -20 \text{ V}, V_{DS} = 0,$ $T_A = 25^{\circ}\text{C};$	I_{GSS}	-	-2	-100	pA
	$V_{GS} = -0 \text{ V}, V_{DS} = 0,$ $T_A = 150^{\circ}\text{C};$		-	-4	-100	nA
แรงดันเกตชอสคัตอฟ (Gate-Source Cutoff Voltage)	$V_{DS} = 15 \text{ V}, I_D = 1 \text{nA};$	$V_{GS(off)}$	-	-3	-6	V
กระแสอิมตัวเครนชอส (D-S Saturation Current) (I_{DSS})	$V_{DS} = 15 \text{ V}, V_{GS} = 0;$	I_{DSS}	5	10	15	mA
กระแสเกตขณะทำงาน (Gate Operating Current) (I_G)	$V_{DS} = 10 \text{ V}, I_D = 1 \text{ mA};$	I_G	-	-20	-	pA

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ยานความถี่สูง

ตารางที่ 1.15 (ต่อ)

คุณลักษณะ	เงื่อนไขทดสอบ	สัญลักษณ์	ต่ำสุด	ตัวอย่าง	สูงสุด	หน่วย
กระแสเดรนกัตตอฟ (Drain Cutoff Current)	$V_{DS} = 10 \text{ V}$, $V_{GS} = -6 \text{ V}$;	$I_{D(off)}$	-	2	-	pA
ความต้านทานเดรนช่อส์ (Drain-Source On-Resistance)	$V_{GS} = 0$, $I_D = 1 \text{ mA}$;	$r_{DS(\text{ON})}$	-	150	-	Ω
ความจุค่านเข้า (Input Capacitance)	$V_{DS} = 10 \text{ V}$, $V_{GS} = 0$, $f = 1 \text{ MHz}$;	C_{iss}	-	2.2	3.8	pF
ความจุถ่ายโอนกลับทาง (Reverse Transfer Capacitance)	$V_{DS} = 10 \text{ V}$, $V_{GS} = 0$, $f = 1 \text{ MHz}$;	C_{rss}	-	1	2.1	pF
ทรานส์ค่อนดักแดนซ์ (Trans conductance) (PW ≤ 300 μs duty cycle ≤ 3%)	$V_{DS} = 10 \text{ V}$, $V_{GS} = 0$, $f = 1 \text{ kHz}$;	g_m, g_{fs}	4.5	6	7.5	mS
ทรานส์ค่อนดักแดนซ์ (Trans conductance)	$V_{DS} = 15 \text{ V}$, $V_{GS} = 0$, $f = 400 \text{ MHz}$;	g_m, g_{fs}	-	4	-	mS
นอยส์ฟิกเกอร์ (Noise Figure)		NF	-	1.7	-	
คุณมอนช้อส์ไฟเวอเริ่กน Common Source Power Gain	$V_{DS} = 15 \text{ V}$, $I_D = 5 \text{ mA}$, $R_G = 1 \text{ k}\Omega$, $f = 400 \text{ MHz}$;	G_{PS}	-	-	10	dB

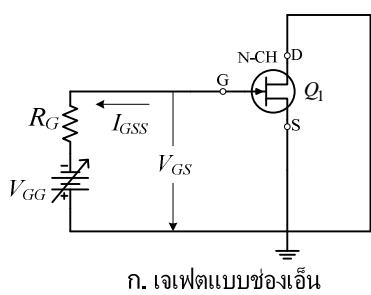
หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่ายกตัวอย่างในการอธิบาย

1.5.3.2 กระแสเกตกลับทาง (I_{GSS})

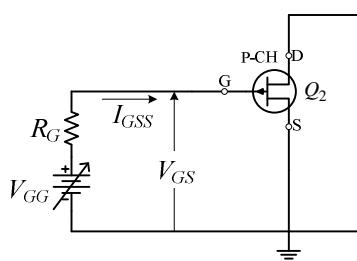
กระแทกกลับทาง เป็นค่ากระแทกไฟฟ้าที่ให้ผ่านขาเกตกับขาชอสแบบ
ไปแอกกลับทาง และขาเดรนลัดวงจรกับขาชอส ดังแสดงในรูปที่ 1.38

จากตารางที่ 1.15 $I_{GSS} = -2 \text{ pA}$ จากรูปที่ 1.38 ก. แรงดัน V_{GG} ขึ้นลงต่อผ่าน R_G | ข้ามเกต และขึ้นบวกต่อขาซອส ขณะที่ขาเดرنลดึงจรกับขาซອส เป็นการไปแอกลับทาง จะมีกระแส I_{GSS} ไหลในวงจรน้อยมาก ส่วนรูปที่ 1.38 ห. แรงดัน V_{GG} จะมีขั้วตรงกันข้าม

การใช้งาน เช่นเดียวกับข้อ 1.5.1.1



ก. เจเฟตแบบช่องເວັນ



ข. เจเฟตแบบช่องพี

รูปที่ 1.38 แสดงกราฟ I_{GSS} ของเฟต

การวิเคราะห์งบธุริเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ร้านความถี่สูง

1.5.3.3 แรงดันเกตของสัตตอฟ ($V_{GS(off)}$, V_P)

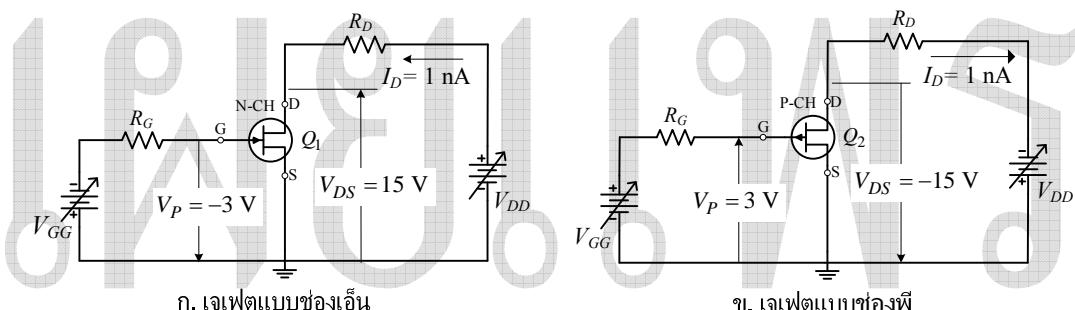
แรงดันเกตของสัตตอฟ เป็นค่าแรงดันกลับทางที่ป้อนให้ขาเกต กับขาซอส ทำให้กระแสเดรนมีค่าเป็นศูนย์ หรือเรียกอีกอย่างว่า “แรงดันพินช์อฟ” (Pinch off Voltage; V_P)

เจเฟตแบบช่องเอ็น (N-CH) จะมีแรงดัน $V_{GS(off)}$ เป็นลบ ส่วนเจเฟตแบบช่องพี (P-CH) จะมีแรงดัน $V_{GS(off)}$ เป็นบวก ดังแสดงในรูปที่ 1.39

จากตารางที่ 1.15 $V_{GS(off)}$ มีค่า -3 V เนื่องจากเป็นเฟตแบบช่องเอ็น

จากรูปที่ 1.39 ก. ปรับแรงดัน V_{GG} ให้ $V_{GS} = -3 \text{ V}$ จะทำให้ได้ $I_D = 1 \text{ nA}$ จากรูปที่ 1.39 ข. เช่นเดียวกับรูปที่ 1.39 ก. แต่แรงดัน $V_{GS(off)}$ มีค่า 3 V (ค่าเป็นบวก)

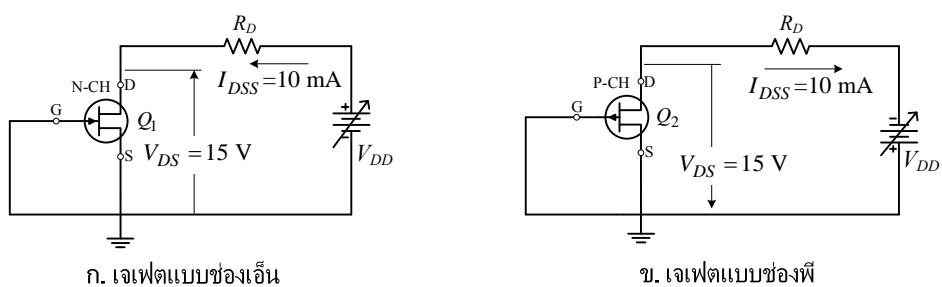
การใช้งานเฟตค่าแรงดัน $V_{GS(off)}$ จะต้องตั้งค่าแรงดัน BV_{GSS} มิฉะนั้นจะทำให้เฟตชำรุดเสียหาย



รูปที่ 1.39 แสดงแรงดัน $V_{GS(off)}$ หรือแรงดัน V_P ของเฟต

1.5.3.4 กระแสอิมตัวเดรนซอส (I_{DSS})

กระแสอิมตัวเดรนซอส เป็นค่ากระแสเดรนมากที่สุดที่ไหลผ่านขาเดรน กับขาซอส ขณะที่ขาเกตดักดวงจรกับขาซอส ดังแสดงในรูปที่ 1.40



รูปที่ 1.40 แสดงกระแส I_{DSS} ของเฟต

จากตารางที่ 1.15 $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ยานความถี่สูง

จากรูปที่ 1.40 ก. แรงดัน V_{DD} ต่อแบบไบแอสกลับทาง ให้แก่ขาเดренกับขาซอส ขาเกตลัดดวงจรกับขาซอส จะทำให้มีกระแสไฟ流ผ่านขาเดренกับขาซอส ในปริมาณมากที่สุด จึงเรียกว่า “กระแส I_{DSS} ” ส่วนรูปที่ 1.40 ข. เช่นเดียวกันกับ รูปที่ 1.40 ก. แต่แรงดัน V_{DD} มีขั้วตรงกันข้าม

การใช้งาน ในการออกแบบนิยมกำหนดให้ $I_D = 0.5I_{DSS}$

1.5.3.5 กระแสเกตขณะทำงาน (I_G)

กระแสเกตขณะทำงาน เป็นค่ากระแสไฟ流ผ่านขาเกตกับขาซอส ขณะที่เพตทำงานปกติ กระแส I_G มีค่าน้อยมาก จะใช้กระแส I_G ในการประมาณค่า R_{GG} ที่ต่ออยู่ระหว่างขาเกตกับขาซอส

จากตารางที่ 1.15 $I_G = -20 \text{ pA}$ การใช้งานเพต สามารถลดทึบค่านี้ได้ !

1.5.3.6 กระแสเดренคตตอฟ ($I_{D(off)}$)

กระแสเดренคตตอฟ เป็นค่ากระแสที่ไหลผ่านขาเดрен กับขาซอส ขณะที่ขาเกต และขาซอส ได้รับแรงดัน $V_{GS(off)}$ โดยปกติกระแส $I_{D(off)}$ มีค่าน้อยมาก

จากตารางที่ 1.15 $I_{D(off)} = 2 \text{ pA}$ การใช้งานเพต สามารถลดทึบค่านี้ได้ !

1.5.3.7 ความต้านทานเดренซอส ($r_{DS(ON)}$)

ความต้านทานเดренซอส เป็นค่าความต้านทานระหว่างขาเดрен กับขาซอส ขณะที่ขาเกตลัดดวงจร กับขาซอส ความต้านทาน $r_{DS(ON)}$ สามารถประมาณได้จากสมการ

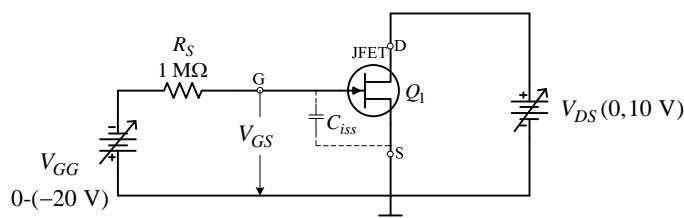
$$r_{DS(ON)} = \frac{V_{DS}}{I_D}$$

จากตารางที่ 1.15 $r_{DS(ON)} = 150 \Omega$

การใช้งานเพตเป็นสวิตช์ ต้องควบคุมปริมาณกระแส I_D ให้คงที่ตลอดเวลา

1.5.3.8 ความจุด้านเข้า (C_{iss})

ความจุด้านเข้า เป็นค่าความจุไฟฟาระหว่างขาเกต กับขาซอสขณะที่ขาเดрен กับขาซอส ได้รับแรงดัน 0 V หรือ 10 V ดังแสดงในรูปที่ 1.41



รูปที่ 1.41 แสดง C_{iss} ของเพต

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ยานความถี่สูง

จากตารางที่ 1.15 $C_{iss} = 2.2 \text{ pF}$, $V_{DS} = 10 \text{ V}$, $V_{GS} = 0$;

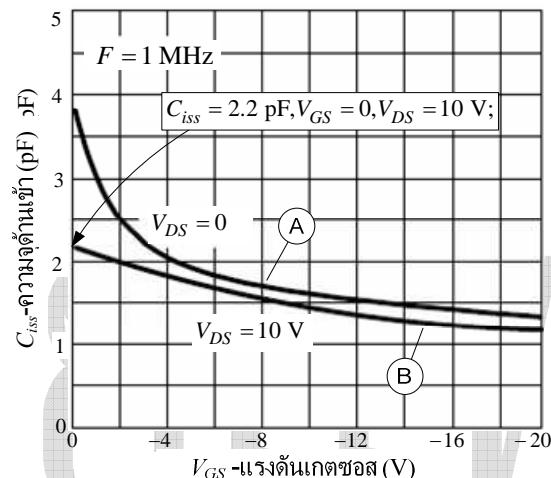
จากรูปที่ 1.42 มีรายละเอียด ดังนี้ :-

- เส้นกราฟ A แสดงค่า C_{iss} ขณะที่ขาเดренกับขาซอส ได้รับแรงดัน 0 V

โดยมีค่าสูงสุด 3.8 pF และต่ำสุด 1.3 pF โดยที่ C_{iss} จะแปรผกผันกับ แรงดัน V_{GS}

- เส้นกราฟ B แสดงค่า C_{iss} ขณะที่ขาเดрен กับขาซอส ได้รับแรงดัน 10 V

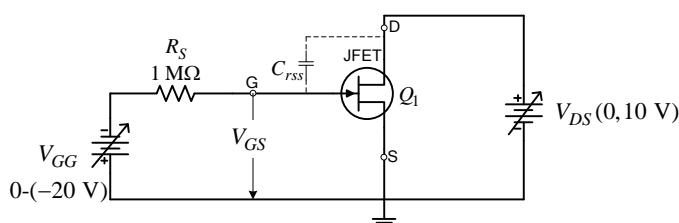
โดยมีค่าสูงสุด 2.2 pF และต่ำสุด 0.8 pF โดยที่ C_{iss} จะแปรผกผันกับแรงดัน V_{GS} การออกแบบวงจร ในยานความถี่สูง ควรเลือกใช้ค่า C_{iss} ตรงกับค่าแรงดัน V_{GS} ของเฟตในวงจร



รูปที่ 1.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_{iss} กับแรงดัน V_{GS} (2N4416A, 2006: 5)

1.5.3.9 ความจุถ่ายโอนกลับทาง (C_{rss})

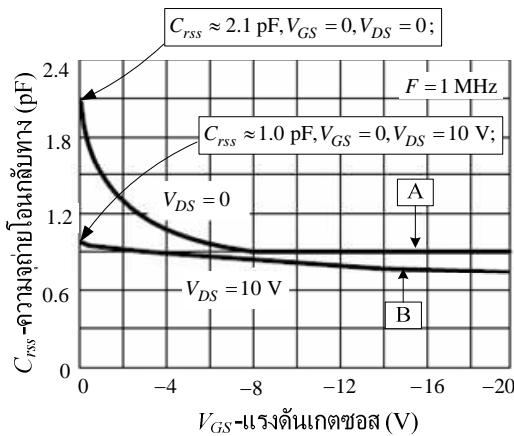
ความจุถ่ายโอนกลับทาง เป็นค่าความจุไฟฟ้าระหว่างขาเดренกับขาเกตขณะที่ขาเดрен กับขาซอส ได้รับแรงดัน 0 V หรือ 10 V ดังแสดงในรูปที่ 1.43



รูปที่ 1.43 แสดง C_{rss} ของเฟต

จากตารางที่ 1.15 $C_{rss} = 0.56 \text{ pF}$ โดยทดสอบที่ $V_{DS} = 10 \text{ V}$ (ซึ่งเป็นกรณีไม่ลัดวงจรขาเดрен กับขาซอส)

1. ຖຸນສນບັດທາງໄຟຟ້ານແລະພາຣາມີເຕອຮ່ານຄວາມຄືສູງ



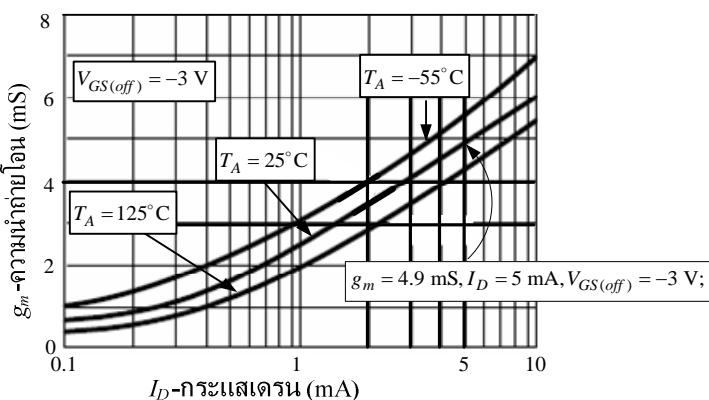
ຮູບທີ 1.44 ແສດຄວາມສັນພັນຮ່າຍວ່າງ C_{rss} ກັບແຮງດັນ V_{GS}

ຈາກຮູບທີ 1.44 ມີຮາຍລະເອີຍດີດັ່ງນີ້ :-

- ເສັນການ $\square A$ $V_{DS} = 0$ ພໍມາຍດື່ງ ຂາດຽນກັບບາຊອສ ໄດ້ຮັບແຮງດັນ 0 V ອ່ານຄ່າສູງສຸດ ໄດ້ $C_{rss} \approx 2.1 \text{ pF}, V_{GS} = 0, V_{DS} = 0;$
- ເສັນການ $\square B$ $V_{DS} = 10 \text{ V}$ ພໍມາຍດື່ງ ຂາດຽນກັບບາຊອສ ໄດ້ຮັບແຮງດັນ 10 V ອ່ານຄ່າສູງສຸດ ໄດ້ $C_{rss} \approx 1 \text{ pF}, V_{GS} = 0, V_{DS} = 10 \text{ V};$
- ການໃຊ້ຈານເຟ ໃນການອອກແນບ $V_{DS} = 0.5V_{DD}$ ເມື່ອໃຊ້ $V_{DD} = 20 \text{ V}$ ຈະໄດ້ $V_{DS} = 10 \text{ V}$ ດັ່ງນັ້ນຈຶ່ງສມຄວາມໃຊ້ຄ່າຈາກການເສັນ $\square B$ ມີຄ່າ C_{rss} ປະມານ 0.75-1 pF

1.5.3.10 ທຽນສົກອນດັກແຕນໜີ (g_m)

ທຽນສົກອນດັກແຕນໜີ ເປັນຄ່າອັດຕາສ່ວນຮ່າຍວ່າງກະແສເດຣນ ຕ່ອແຮງດັນ V_{GS} ເປັນຄ່າ g_m ທີ່ຈຸດທໍາງານຂອງເຟ (g_m ກະແສສຕຽງ) ມີຄ່າໄກລ໌ເຄີຍກັບຄ່າ g_m ທີ່ຄວາມຄື 1 kHz ນອກຈາກນີ້ຢັ້ງມີ g_m ກະແສສລັບ ສັງເກດ ໄດ້ຈາກເງື່ອນໄຂກາທົດສອບ ຈະມີການບອກຄ່າຄວາມຄືທີ່ໃຫ້ໃນກາທົດສອບ (ສູງກວ່າ 1 kHz)



ຮູບທີ 1.45 ແສດຄວາມສັນພັນຮ່າຍວ່າງ g_m ກັບກະແສ I_D

ການວິຄຣະຫ່ວງຈະອີເລີກກອນນິກສົກຄວາມຄືສູງ

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่บ่งบอกความถี่สูง

จากตารางที่ 1.15 g_m มีค่า 6 mS โดยทดสอบที่ $F = 1 \text{ kHz}$ หากทดสอบที่ $F = 400 \text{ MHz}$ จะได้ $g_m = 4 \text{ mS}$

จากรูปที่ 1.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง g_m กับกระแส I_D โดยค่า g_m แปรผันตรงกับกระแส I_D มีรายละเอียด ดังนี้ :-

- เส้นกราฟ $T_A = 25^\circ\text{C}$ มีค่าสูงสุด $g_m = 6 \text{ mS}, I_D = 10 \text{ mA}$; และมีค่าต่ำสุด $g_m = 0.6 \text{ mS}, I_D = 0.1 \text{ mA}$;
- เส้นกราฟ $T_A = 125^\circ\text{C}$ มีค่าสูงสุด $g_m = 5.4 \text{ mS}, I_D = 10 \text{ mA}$; และมีค่าต่ำสุด $g_m = 0.4 \text{ mS}, I_D = 0.1 \text{ mA}$;
- เส้นกราฟ $T_A = -55^\circ\text{C}$ มีค่าสูงสุด $g_m = 7 \text{ mS}, I_D = 10 \text{ mA}$; และมีค่าต่ำสุด $g_m = 1 \text{ mS}, I_D = 0.1 \text{ mA}$;

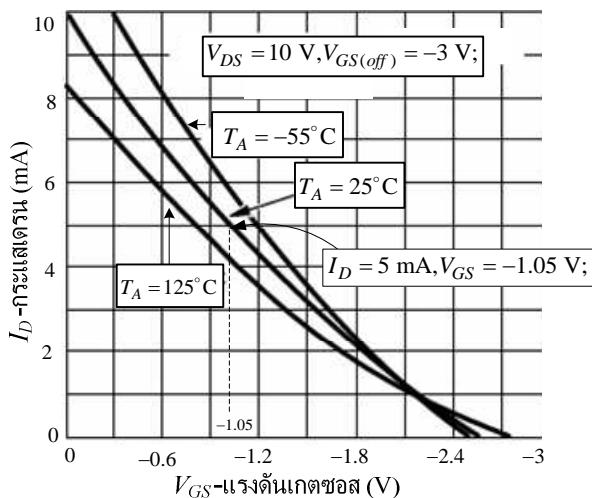
การวิเคราะห์และออกแบบจะใช้ g_m ที่จุดทำงานของเฟตสามารถประมาณค่าได้จากการ

$$\boxed{g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|}} \quad (1.18)$$

$$\boxed{g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)} \quad (1.19)$$

โดยที่ g_{m0} คือ ค่าทรานส์กอนดักแนนซ์สูงสุด ขณะที่ $V_{GS} = 0$

จากรูปที่ 1.46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส I_D กับแรงดัน V_{GS} เมื่อ กำหนด $I_D = 5 \text{ mA}$ จะได้จุดทำงาน มีรายละเอียด ดังนี้ :-



รูปที่ 1.46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส I_D กับแรงดัน V_{GS}

การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง

1. ຖຸມສນມັດທິກາງໄຟຟ້າແລະພາຣາມີເຕອຮ່ຍ່ານຄວາມຄືສູງ

– $T_A = 25^\circ\text{C}, I_D = 5 \text{ mA}, V_{GS} = -1.05 \text{ V}$;

– $T_A = -55^\circ\text{C}, I_D = 5 \text{ mA}, V_{GS} = -1.2 \text{ V}$;

ຈະສັງເກດເຫັນວ່າ ຄໍາອຸນຫກົມີເປີເລີຍນແປລົງຂ່ວງກວ້າງ ແຕ່ແຮງດັນ V_{GS} ເປີເລີຍນ
ແປລົງຄ່າ ປະມາມານ 0.15 V ເທົ່ານີ້ ຈະໄດ້ຈຸດທຳການທີ່ມີຄວາມເສົ່ຍຽກພາມນາກ

1.5.3.11 ນອຍສົຟຶກເກອຮ໌ (NF)

ນອຍສົຟຶກເກອຮ໌ ຄໍາຕັວເລີບສ້າງສາມານຮຽນກວນ ເຟີທີ່ດີກວານຄ່າ NF ຕໍ່ໄກລີ້ເຄີຍງ
1 dB ຈາກຕາරັງທີ່ $1.15 \text{ NF} = 1.7 \text{ dB}$

1.5.3.12 ຄອມມອນຂອສເພາວເວອ້າເກີນ (G_{PS})

ຄອມມອນຂອສເພາວເວອ້າເກີນ ເປັນຄໍາອັດຕາຍຍາຍກຳລັງ ຂອງເຟີ ວັງຈະຮອສຮ່ວມ
ຈາກຕາරັງທີ່ $1.15 \text{ G}_{PS} = 10 \text{ dB}$

ການໃຊ້ຈານເຟີ ໃນການອອກແບນວົງຈະຍາຍຍ່ານຄວາມຄືສູງ ເຟີສາມາຮຸ່າຍຍາຍ
ກຳລັງໄດ້ 10 dB ໂດຍຈັດວົງຈະແບນຂອສຮ່ວມ

1.5.4 ແບນຈຳລອງໄອບຣິດ-ໄຟຂອງເຟີ

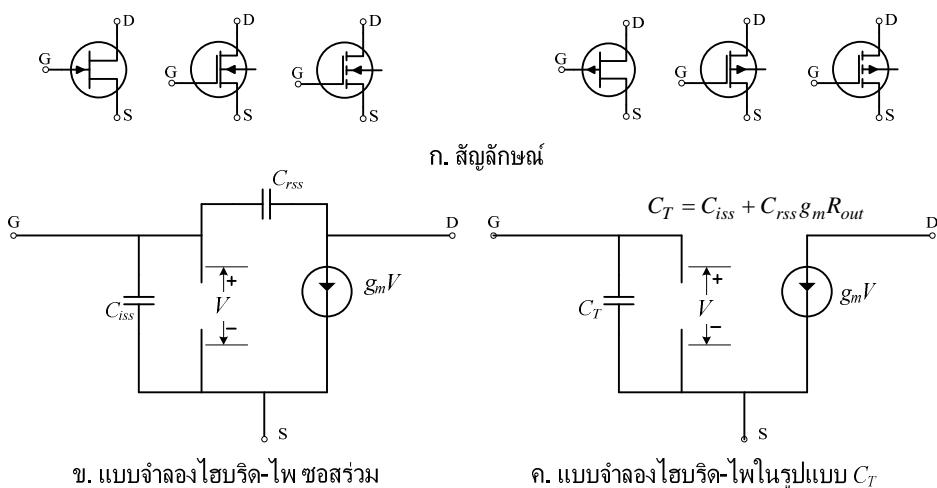
ມີພາຣາມີເຕອຮ່ຍ 5 ພາຣາມີເຕອຮ່ຍ ແລະມີຮາຍລະເອີຍດັ່ງແສດງໃນຮູ່ປີ່ 1.47

1.5.4.1 ກຣານສໍ່ຄອນດັກແຕນໜີ້ (g_m)

ດັ່ງໄດ້ກ່າວແລ້ວ ໃນຫັ້ງຂໍ້ 1.5.3.10

1.5.4.2 ແຮງດັນກຣະແສສລັບເກຕຊອສ (V)

ແຮງດັນກຣະແສສລັບເກຕຊອສ ເປັນຄໍາແຮງດັນກຣະແສສລັບຮວ່າງຫາເກຕ ກັບ
ຫາຊອສ ໂດຍຄ່າຄວາມຕ້ານທານຮວ່າງຫາເກຕ ກັບຫາຊອສສູງນາກ ຈຶ່ງຄື້ອວ່າງຈາກເປີດ



ຮູ່ປີ່ 1.47 ແສດງສ້າງລັກຍົດແລະແບນຈຳລອງໄອບຣິດ-ໄຟຂອງເຟີ ທອສຮ່ວມ

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ร้านความถี่สูง

1.5.4.3 แหล่งกำเนิดกระแสเดรน ($g_m V$)

แหล่งกำเนิดกระแสเดรน เป็นแหล่งกำเนิดกระแส ที่ถูกควบคุม โดยแรงดัน V การเพิ่ม หรือลดของแรงดัน V จะทำให้ปริมาณกระแส I_d ที่ไหลออกจาก $g_m V$ เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เช่น แรงดัน V มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้กระแส I_d ไหลเพิ่มมากขึ้น โดยมีทิศทางตามหัวลูกศร ค่า g_m ประมาณได้จากสมการ

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) \quad (1.20)$$

โดยที่ I_{DSS} คือ กระแสอิมตัวเครนซอส และ V_P คือ แรงดันเกตซอสคัตตอฟ V_{GS} คือ ค่าแรงดันระหว่างขาเกตกับขาซอส เพื่อกำหนดจุดทำงานของเฟต

1.5.4.4 ความจุอย่างโอนกลับทาง (C_{rss})

1.5.4.5 ความจุด้านเข้า (C_{iss})

ดังได้กล่าวไว้ว่าด้านต้นค่าของ C_{iss} และ C_{rss} สามารถหาได้จากการแบ่งข้อมูลของเฟต จากรูปที่ 1.47 ค. แบบจำลองไอบริด-ไฟของเฟต ขอสร่วมในรูปแบบ C_T โดยเปลี่ยนค่า C_{rss} ให้เป็น $(C_{rss} g_m R_{out})$ ต่อหนานกับ C_{iss} จะได้สมการ

$$C_T = C_{iss} + C_{rss} g_m R_{out} \quad (1.21)$$

ตัวอย่างที่ 1.11 จงเขียนแบบจำลองไอบริด-ไฟของเฟต ขอสร่วม จากค่า $C_{rss} = 1.5 \text{ pF}$, $C_{iss} = 5 \text{ pF}$,

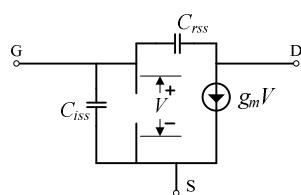
$$I_{DSS} = 15 \text{ mA}, V_P = -5 \text{ V}, V_{GS} = -1.5 \text{ V};$$

วิธีทำ จากสมการ (1.20)

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)$$

$$g_m = \frac{2 \times 15 \times 10^{-3}}{|-5|} \left(1 - \frac{(-1.5)}{(-5)} \right) = 4.2 \text{ mS}$$

ตอบ $g_m = 4.2 \text{ mS}, C_{rss} = 1.5 \text{ pF}, C_{iss} = 5 \text{ pF}$;



รูปที่ 1.48 แสดงแบบจำลองไอบริด-ไฟของเฟต

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ยานความถี่สูง

๗๖

พารามิเตอร์ ที่จำเป็นในการประมาณค่าโดยใช้แบบจำลอง ไอบริด-ไฟของเฟต ได้แก่ I_{DSS} ,

$V_{GS(off)}$, C_{rss} ແລະ C_{iss}

การใช้งานเฟต ต้องคำนึงถึงค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุด เพื่อป้องกันการเสียหายของเฟต โดยนิยมใช้กระแส I_D เท่ากับ $0.5I_{DSS}$ การตอบสนองความถี่สูง จะต้องเลือกเฟตมีค่า C_{rss} น้อยกว่า 1 pF

