

บทนำ

ก่อนศึกษาเอกสารประกอบการเรียน วิชาการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง เล่มนี้ ขอให้ผู้เรียนได้ ศึกษารายละเอียดของบทนำนี้ก่อน เพื่อเตรียมความพร้อมให้มีความรู้ เกี่ยวกับหน่วย ในระบบ SI, คำอุปสรรค, คำจำกัดความของปริมาณต่าง ๆ และสัญลักษณ์ต่าง ๆ ก่อนศึกษาในบทต่อไป

1. หน่วยในระบบ SI

ตารางที่ (1) แสดงหน่วยในระบบ SI (The International System of Units (SI) 8th edition 2006, 2006: 116-119)

ปริมาณ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์	หน่วยอื่น
ความยาว (Length)	เมตร (meter)	m	-
มวล (Mass)	กิโลกรัม (kilogram)	kg	-
เวลา (Time)	วินาที (second)	s	-
อุณหภูมิ (Temperature)	เคลวิน (Kelvin)	K	-
กระแสไฟฟ้า (Electric Current)	แอมแปร์ (Ampere)	A	-
ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity)	แคนเดลา (Candela)	cd	-
ความถี่	เฮิรตซ์ (Hertz)	Hz	-
แรง	นิวตัน (Newton)	N	-
ความดัน	ปาสคาล (Pascal)	Pa	N/m ²
งาน, พลังงาน, ปริมาณความร้อน	จูล (Joule)	J	Nm
กำลัง	วัตต์ (Watt)	W	J/s
ประจุไฟฟ้า	คูลอมบ์ (Coulomb)	C	-
ความต่างศักย์, แรงดันไฟฟ้า	โวลต์ (Volt)	V	W/A
ความจุไฟฟ้า, คาปาซิแตนซ์ (Capacitance)	ฟารัด (Farad)	F	C/V
ความต้านทานไฟฟ้า (Resistance)	โอห์ม (Ohm)	Ω	V/A
ความนำ (Conductance)	ซีเมนส์ (Siemens)	S	A/V
ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux)	เวเบอร์ (Weber)	Wb	Vs
ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก	เทสลา (Tesla)	T	Wb/m ²
ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า, อินดักแตนซ์ (Inductance)	เฮนรี (Henry)	H	Wb/A

2. คำอุปสรรค (Prefixes)

ตารางที่ (2) แสดงคำอุปสรรค (The International System of Units (SI) 8th edition 2006, 2006: 121)

คำอุปสรรค	สัญลักษณ์	ค่าที่คูณกับหน่วยหลัก
เอกซะ (exa-)	E	$\times 10^{18}$
เพตะ (peta-)	P	$\times 10^{15}$
เทระ (tera-)	T	$\times 10^{12}$
จิกะ (giga-)	G	$\times 10^9$
เมกะ (mega-)	M	$\times 10^6$
กิโล (kilo-)	k	$\times 10^3$
เฮกโต (hector-)	h	$\times 10^2$
เดคา (deca-)	da	$\times 10^1$
เดซี (deci-)	d	$\times 10^{-1}$
เซนติ (centi-)	c	$\times 10^{-2}$
มิลลิ (milli-)	m	$\times 10^{-3}$
ไมโคร (micro-)	μ	$\times 10^{-6}$
นาโน (nano-)	n	$\times 10^{-9}$
พิโก (pico-)	p	$\times 10^{-12}$
เฟมโต (femto-)	f	$\times 10^{-15}$
อัตโต (atto-)	a	$\times 10^{-18}$

ตัวอย่าง $1 \text{ mA} = 1 \times 10^{-3} \text{ A}$, $1 \text{ pF} = 1 \times 10^{-12} \text{ F}$ และ $1 \text{ kHz} = 1 \times 10^3 \text{ Hz}$

3. คำจำกัดความของปริมาณต่าง ๆ

3.1 ประจุไฟฟ้า (Electric Charge; q)

ประจุไฟฟ้าแบ่งออกเป็น ประจุไฟฟ้าบวก และประจุไฟฟ้าลบ ประจุไฟฟ้าบวก ก็คือ โปรตอน ประจุไฟฟ้าลบ คือ อิเล็กตรอน ประจุเหมือนกันจะผลักกัน ประจุต่างกันจะดูดกัน

ประจุไฟฟ้ามีหน่วย คือ คูลอมบ์ (C)

$$1 \text{ C} = 6.25 \times 10^{18} \text{ electron (e)}$$

บทนำ

$$1 e = \frac{1}{6.25 \times 10^{18}} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

ดังนั้น

$$q = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

3.2 กระแสไฟฟ้า (Electric Current)

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับตัวนำ ปรากฏในตัวนำ ก็คือ อิเล็กตรอน เกิดการเคลื่อนที่ เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า โดยมีทิศทางจากขั้วลบไปยังขั้วบวก การไหลของกระแส นิยมใช้ในการกำหนดทิศทางของกระแส ใน การประมาณค่าต่าง ๆ ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ กระแสไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

3.2.1 กระแสตรง (Direct Current)

มีทิศทางการไหลของกระแสทิศทางเดียว ใช้สัญลักษณ์ I และชั้บสกริปตัวใหญ่ ได้แก่ $I_B, I_C, I_E, I_1, I_2, I_{DSS}$ และอื่น ๆ

3.2.2 กระแสสลับ (Alternating Current)

มีทิศทางการไหลของกระแส สลับไปมา การวัดปริมาณของไฟฟ้ากระแสสลับ แบ่งออกได้ 4 แบบ

3.2.2.1 ค่าอาร์เอ็มเอส (rms) ใช้สัญลักษณ์ I และชั้บสกริปตัวเล็ก ได้แก่ I_b, I_c, I_e, I_i และอื่น ๆ

3.2.2.2 ค่ายอดหรือสูงสุด (Peak, MAX) ใช้สัญลักษณ์ I และชั้บสกริปตัวเล็ก ตามด้วย $p, (Peak), m$ และ (MAX) ได้แก่ $I_{bp}, I_{b(peak)}, I_{cm}, I_{c(MAX)}, I_{e(MAX)}$ และอื่น ๆ

3.2.2.3 ค่าชั่วขณะใช้สัญลักษณ์ i และชั้บสกริปตัวเล็ก ได้แก่ i_b, i_c, i_e และอื่น ๆ

3.2.2.4 ค่าชั่วขณะทั้งหมด ใช้สัญลักษณ์ i และชั้บสกริปตัวใหญ่ ได้แก่ $i_B, i_C, i_E, i_C = I_C + I_{C(peak)} \sin \omega t$ และอื่น ๆ

หน่วยของกระแสทั้งกระแสตรง และกระแสสลับ ได้แก่ แอมแปร์ (A), มิลลิแอมแปร์ (mA), ไมโครแอมแปร์ (μA) และนาโนแอมแปร์ (nA)

$$1 \text{ mA} = 1 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$1 \text{ } \mu\text{A} = 1 \times 10^{-6} \text{ A}$$

$$1 \text{ nA} = 1 \times 10^{-9} \text{ A}$$

3.3 แรงดันไฟฟ้า (Voltage)

3.3.1 แรงดันกระแสตรง (Direct Current Voltage)

ใช้สัญลักษณ์ V และชั้บสกริปตัวใหญ่ ได้แก่ V_{BE}, V_{CE}, V_{DS} และอื่น ๆ

บทนำ

3.3.2 แรงดันกระแสสลับ (Alternating Current Voltage)

การวัดปริมาณแรงดันกระแสสลับ แบ่งออกได้ 4 แบบ

3.3.2.1 ค่าอาร์เอ็มเอส ใช้สัญลักษณ์ V, E และซักระยะตัวเล็ก ได้แก่ V_{be}, V_o, E_i, E_g และอื่น ๆ

3.3.2.2 ค่ายอดหรือสูงสุด ใช้สัญลักษณ์ V, E และซักระยะตัวเล็กตามด้วย $p, (Peak), m$ และ (MAX) ได้แก่ $V_{bp}, V_{b(Peak)}, V_{cm}, V_{c(MAX)}, E_{i(MAX)}$ และอื่น ๆ

3.3.2.3 ค่าชั่วขณะ ใช้สัญลักษณ์ v และซักระยะตัวเล็ก ได้แก่ v_b, v_c, v_e, v_i และอื่น ๆ

3.3.2.4 ค่าชั่วขณะทั้งหมด ใช้สัญลักษณ์ v และซักระยะตัวใหญ่ ได้แก่ $v_B, v_C, v_E, v_{CE} = V_{CE} + V_{ce(Peak)} \sin \omega t$ และอื่น ๆ

หน่วยของแรงดัน ได้แก่ โวลต์ (V), กิโลโวลต์ (kV) และมิลลิโวลต์ (mV)

$$1 \text{ mV} = 1 \times 10^{-3} \text{ V}$$

$$1 \text{ } \mu\text{V} = 1 \times 10^{-6} \text{ V}$$

$$1 \text{ nV} = 1 \times 10^{-9} \text{ V}$$

3.4 ตัวต้านทาน (Resistor; R)

ตัวต้านทาน ทำหน้าที่ ด้านทานการไหลของกระแสตรง และกระแสสลับ

ตัวต้านทาน ใช้สัญลักษณ์ R ได้แก่ $R_{BB}, R_C, R_E, R_{TH}, R_{in}$ และอื่น ๆ

หน่วยของตัวต้านทาน ได้แก่ มิลลิโอห์ม (m Ω), โอห์ม (Ω), กิโลโอห์ม (k Ω) และเมกะ-โอห์ม (M Ω)

$$1 \text{ m}\Omega = 1 \times 10^{-3} \Omega$$

$$1 \text{ k}\Omega = 1 \times 10^3 \Omega$$

$$1 \text{ M}\Omega = 1 \times 10^6 \Omega$$

$$1 \text{ G}\Omega = 1 \times 10^9 \Omega$$

3.5 ตัวเก็บประจุ (Capacitor; C)

ตัวเก็บประจุ ทำหน้าที่ ด้านทานการไหลกระแสสลับ, เชื่อมต่อสัญญาณ, บายพาสส์ (Bypass) สัญญาณที่ไม่ต้องการลงกราวด์ทิ้ง และไม่ยอมให้กระแสตรงไหลผ่าน

ตัวเก็บประจุ ใช้สัญลักษณ์ C ได้แก่ C_B, C_C, C_E, C_1, C_T และอื่น ๆ

หน่วยของตัวเก็บประจุ ได้แก่ ฟารัด (F), ไมโครฟารัด (μF), นาโนฟารัด (nF), พิโกฟารัด (pF) และเฟมโตฟารัด (fF)

บทนำ

$$1 \text{ fF} = 1 \times 10^{-15} \text{ F}$$

$$1 \text{ pF} = 1 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$1 \text{ nF} = 1 \times 10^{-9} \text{ F}$$

$$1 \text{ }\mu\text{F} = 1 \times 10^{-6} \text{ F}$$

3.6 ความจุไฟฟ้า (Capacitance)

ความจุไฟฟ้า คือ ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ

$C_1 = 1 \text{ F}$ มีความหมาย C_1 สามารถสะสมประจุได้ 1 คูลอมบ์ มีแรงดันระหว่างขั้ว 1 V

3.7 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor; L)

ตัวเหนี่ยวนำ ทำหน้าที่ต้านทานการไหลของกระแสสลับ สร้างขึ้นจากลวดทองแดง หุ้มฉนวนพันเป็นขดหลาย ๆ ขด มีขั้ว (ขา) ต่อกันมาใช้งานอย่างน้อย 2 ขั้ว

อาร์เอฟไจค์ (RFC) เป็นตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในย่านความถี่วิทยุ ตัวเหนี่ยวนำส่วนมากจะมีค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสตรงน้อยมาก เนื่องจากลวดทองแดงมีความต้านต่ำ

ตัวเหนี่ยวนำ ใช้สัญลักษณ์ L ได้แก่ L_1, L_2, L_T และอื่น ๆ

หน่วยของตัวเหนี่ยวนำ ได้แก่ เฮนรี (H), มิลลิเฮนรี (mH), ไมโครเฮนรี (μH), และนาโนเฮนรี (nH)

$$1 \text{ mH} = 1 \times 10^{-3} \text{ H}$$

$$1 \text{ }\mu\text{H} = 1 \times 10^{-6} \text{ H}$$

$$1 \text{ nH} = 1 \times 10^{-9} \text{ H}$$

$$1 \text{ pH} = 1 \times 10^{-12} \text{ H}$$

3.8 ความเหนี่ยวนำ (Inductance)

ความเหนี่ยวนำ หมายถึง ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำ

$L_1 = 1 \text{ H}$ มีความหมายว่า L_1 สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ตกคร่อมขดลวดได้ 1 V เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 1 A ในเวลา 1 วินาที

3.9 รีแอกแตนซ์ (Reactance; X)

รีแอกแตนซ์ คือ การต้านทานการไหลของกระแสสลับของตัวเหนี่ยวนำ หรือตัวเก็บประจุ หน่วยของรีแอกแตนซ์ เช่นเดียวกับตัวต้านทาน รีแอกแตนซ์ ยังแบ่งออกได้ 2 แบบ ดังนี้

3.9.1 รีแอกแตนซ์แบบความจุ (Capacitive Reactance; X_C)

รีแอกแตนซ์แบบความจุ ใช้สัญลักษณ์ X_C ได้แก่ $X_{C_B}, X_{C_C}, X_{C_E}$ และอื่น ๆ

3.9.2 รีแอกแตนซ์แบบความเหนี่ยวนำ (Inductive Reactance; X_L)

รีแอกแตนซ์แบบความเหนี่ยวนำ ใช้สัญลักษณ์ X_L ได้แก่ X_{L_1}, X_{L_2} และอื่น ๆ

3.10 อิมพีแดนซ์ (Impedance; Z)

อิมพีแดนซ์ คือ ผลรวมของค่าความต้านทาน กับค่ารีแอคแตนซ์ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเชิงขั้ว (Polar Form) $Z = 141.421 \angle 45^\circ \Omega$ และเขียนอยู่ในรูปแบบแกนมุมฉาก (Rectangular-Form) $Z = (100 + j100) \Omega$

อิมพีแดนซ์ ใช้สัญลักษณ์ Z ได้แก่ $Z_i, Z_{in}, Z_o, Z_{out}$ และอื่น ๆ

หน่วยของอิมพีแดนซ์ เช่นเดียวกับตัวต้านทาน

3.11 แอดมิตแตนซ์ (Admittance; Y)

แอดมิตแตนซ์หรือความนำ คือ เป็นส่วนกลับของอิมพีแดนซ์

แอดมิตแตนซ์ ใช้สัญลักษณ์ Y ได้แก่ $Y_i, Y_{in}, Y_o, Y_{out}$ และอื่น ๆ

หน่วยของแอดมิตแตนซ์ ได้แก่ ซีเมนส์ (S) และมิลลิซีเมนส์ (mS)

3.12 ความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance; F_R)

ความถี่เรโซแนนซ์ คือ ค่าความถี่ที่ทำให้ค่า X_L เท่ากับค่า X_C และหักล้างกันหมด จะเหลือเพียง ค่าความต้านทานเท่านั้น

ความถี่เรโซแนนซ์ ใช้สัญลักษณ์ F_R หรือ f_r ในเอกสารเล่มนี้ขอใช้ F_R

หน่วยความถี่เรโซแนนซ์เช่นเดียวกับความถี่ทั่วไป ได้แก่ เฮิร์ตซ์ (Hz), กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz), เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) และจิกะเฮิร์ตซ์ (GHz)

3.13 แบนด์วิดท์ (Band Width; B_W)

แบนด์วิดท์ คือ ความกว้างแถบความถี่ ซึ่งเป็นแถบความถี่ระหว่างความถี่ตัดด้านสูง กับความถี่ตัดด้านต่ำ

แบนด์วิดท์ ใช้สัญลักษณ์ B_W หรือ BW ซึ่งในเอกสารเล่มนี้ขอใช้ B_W

หน่วยของแบนด์วิดท์ เช่นเดียวกับความถี่

3.14 อุณหภูมิ (Temperature; T)

หน่วยของอุณหภูมิ ได้แก่ เคลวิน (K) และองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

$$K = (273 + ^{\circ}\text{C})$$

3.15 ค่าคงที่ของโบลต์ซมันน์ (Boltzmann's Constant; k_B)

ค่าคงที่ของโบลต์ซมันน์ ใช้สัญลักษณ์ k_B หรือ k ซึ่งในเอกสารเล่มนี้ขอใช้ k_B

$$k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

4. สัญลักษณ์ต่างๆ

A_i	: อัตราขยายกระแส
$A_{i(F_{Mid})}$: อัตราขยายกระแสความถี่กลาง
A_V	: อัตราขยายแรงดัน
$A_{V(F_{Mid})}$: อัตราขยายแรงดันความถี่กลาง
$A_{V(F_L)}$: อัตราขยายแรงดันความถี่ตัดด้านต่ำ
$A_{V(F_H)}$: อัตราขยายแรงดันความถี่ตัดด้านสูง
$A_{V(F_R)}$: อัตราขยายแรงดันความถี่เรโซแนนซ์
$B_{W(L_{12})}$: แบนด์วิดท์ที่ตำแหน่ง L_{12}
$B_{W(L_{21})}$: แบนด์วิดท์ที่ตำแหน่ง L_{21}
$B_{W(L_{43})}$: แบนด์วิดท์ที่ตำแหน่ง L_{43}
B_{Win}	: แบนด์วิดท์ด้านเข้า
B_{Wout}	: แบนด์วิดท์ด้านออก
C_{ob}	: ค่าความจุไฟฟ้าระหว่างขาคอลเล็กเตอร์ กับขาเบส โดยขาคอนเนกต์เตอร์ลอย
$C_{CT(ab)}$: ค่าความจุของ C_{CT} ที่ตำแหน่ง (ab)
dB	: เดซิเบล
E	: แหล่งกำเนิดแรงดันกระแสสลับ
E_i	: แหล่งกำเนิดแรงดันกระแสสลับด้านเข้า ความต้านทานภายใน 0Ω
E_g	: แหล่งกำเนิดแรงดันกระแสสลับ มีความต้านทานภายใน
E_S	: แหล่งกำเนิดแรงดันกระแสสลับ เช่นเดียวกับ E_i
F, f	: ความถี่
F_H	: ความถี่ตัดด้านสูง (-3 dB)
F_L	: ความถี่ตัดด้านต่ำ (-3 dB)
$F_{L(C_B)}$: ความถี่ตัดด้านต่ำควบคุมโดย C_B ที่ขาเบส
$F_{L(C_C)}$: ความถี่ตัดด้านต่ำควบคุมโดย C_C ที่ขาคอลเล็กเตอร์
$F_{L(C_E)}$: ความถี่ตัดด้านต่ำควบคุมโดย C_E ที่ขาคอนเนกต์เตอร์
$F_{L(C_G)}$: ความถี่ตัดด้านต่ำควบคุมโดย C_G ที่ขาเกต
$F_{L(C_D)}$: ความถี่ตัดด้านต่ำควบคุมโดย C_D ที่ขาเดรน
$F_{L(C_S)}$: ความถี่ตัดด้านต่ำควบคุมโดย C_S ที่ขาซอร์ส

บทนำ

F_{Mid}	: ความถี่กลาง
F_o	: ความถี่ที่เกิดจากการออสซิลเลต ของวงจรออสซิลเลเตอร์
F_{OS}	: ความถี่เรโซแนนซ์แบบอนุกรมของชั้นผลึก
F_{OP}	: ความถี่เรโซแนนซ์แบบขนานของชั้นผลึก
$F_{R(L_{11})}$: ความถี่เรโซแนนซ์ที่ตำแหน่ง L_{11}
$F_{R(L_{12})}$: ความถี่เรโซแนนซ์ที่ตำแหน่ง L_{12}
$F_{R(L_{43})}$: ความถี่เรโซแนนซ์ที่ตำแหน่ง L_{43}
F_T	: ความถี่ทรานซิชัน
F_β	: ความถี่เบต้าคัตออฟ
G	: ความนำ
GND	: กราวด์, ดิน
g_m	: ทรานส์คอนดักแตนซ์, ความนำถ่ายโอน
$g_m V_{b'e}$: แหล่งกำเนิดกระแสคอลเล็กเตอร์ไม่เป็นอิสระ ถูกควบคุมโดยแรงดัน $V_{b'e}$
HF	: ความถี่สูง
h_{fe}	: อัตราขยายกระแสสลับระหว่าง $\frac{I_c}{I_b}$ ของเอช พารามิเตอร์
H_{FE}	: อัตราขยายกระแสตรงระหว่าง $\frac{I_C}{I_B}$ ของเอช พารามิเตอร์
IF	: ความถี่ปานกลาง
IFT	: หม้อแปลงที่ใช้กับความถี่ปานกลาง
M	: ความเหนี่ยวนำร่วม
MOS	: สารกึ่งตัวนำชนิดที่เป็นออกไซด์ของโลหะ
N	: จำนวนรอบ
N-Type	: สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น
P	: กำลัง มีหน่วย วัตต์, มิลลิวัตต์ (W, mW)
P_G	: อัตราขยายกำลัง
P-Type	: สารกึ่งตัวนำชนิดพี
Q	: ค่าตัวประกอบคุณภาพของตัวเหนี่ยวนำ
R_i	: ความต้านทานด้านเข้าที่ตำแหน่ง R_i
R_{in}	: ความต้านทานด้านเข้าที่ตำแหน่ง R_{in}
R_L	: ตัวต้านทานโหลด

บทนำ

- $R_{L(ab)}$: ตัวต้านทาน โหลดที่ตำแหน่ง (ab)
 R_n, C_n : ตัวต้านทาน, ตัวเก็บประจุ ของวงจรทำให้เป็นกลาง (นิวตรอนไลเซชัน)
 R_o : ความต้านทานด้านออกที่ตำแหน่ง R_o
 R_{out} : ความต้านทานด้านออกที่ตำแหน่ง R_{out}
 r : ความต้านทานภายใน
 $r_{bb'}$: ความต้านทานของตัวนำขา และก๊อนสารที่ขาเบส บนเส้นทางรอยต่อ
 อิมิตเตอร์ มีค่าประมาณ 2-200 Ω
 $r_{b'e}$: ความต้านทานระหว่างขาเบส (b') กับขาอิมิตเตอร์ หรือที่รอยต่ออิมิตเตอร์
 RF : ความถี่วิทยุ
 RFC : ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้กับความถี่สูง
 Si : สารซิลิคอน
 T : อุณหภูมิ, ทรานสเฟอร์เมอร์, หม้อแปลง
 t : เวลา
 V_o : แรงดันกระแสสลับด้านออก
 $V_{o(0-\pi)}$: แรงดันกระแสสลับด้านออกช่วง $0-\pi$
 $V_{o(\pi-2\pi)}$: แรงดันกระแสสลับด้านออกช่วง $\pi-2\pi$
 V_{BE} : แรงดันกระแสตรงระหว่างขาเบส กับขาอิมิตเตอร์
 V_T : แรงดันเทอร์มอล
 X-TAL : ซึ้นผลึก
 y_{fs} : ความนำถ่ายไออน หรือ ทรานส์คอนดักแตนซ์
 Z_i : อิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ตำแหน่ง Z_i
 Z_{in} : อิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ตำแหน่ง Z_{in}
 Z_o : อิมพีแดนซ์ด้านออกที่ตำแหน่ง Z_o
 Z_{out} : อิมพีแดนซ์ด้านออกที่ตำแหน่ง Z_{out}
 α : อัตราขยายกระแสระหว่าง $\frac{I_C}{I_E}$ ของเบสรวม
 β, β_F : อัตราขยายกระแสตรงระหว่าง $\frac{I_C}{I_B}$ ของอิมิตเตอร์รวม
 β_o : อัตราขยายกระแสสลับระหว่าง $\frac{I_c}{I_b}$
 $\beta_{o(F\beta)}$: อัตราขยายกระแสสลับความถี่เบต้าคัตออฟระหว่าง $\frac{I_c}{I_b}$

บทนำ

- γ : อัตราขยายกระแสระหว่าง $\frac{I_E}{I_B}$ ของคอลเล็กเตอร์ร่วม
- θ : มุม
- μ, μ : ไมโคร, ค่าความซาบซึมได้ของวงจรมแม่เหล็กไฟฟ้า
- π : ตัวเลขค่า π (3.141592654) หรือประมาณ 3.14
- ω : ความเร็วเชิงมุม (Rad/s)

เพียแแพร์ !