

บทที่ 7

ความถี่และวงจรรขยาย

7.1 บทนำ

จากรายละเอียดในบทต่าง ๆ ที่ผ่านมา ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์วงจรรขยายโดยกำหนดใช้สัญญาณขนาดน้อย ๆ (ประมาณ 5 มิลลิโวลต์) และความถี่ต่ำ ซึ่งสามารถละทิ้งปริมาณความจุของตัวจุต่าง ๆ ในวงจรได้ แต่ถ้าสัญญาณมีความถี่สูง (หรือสูงมาก) จะละทิ้งปริมาณดังกล่าวไม่ได้ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์ที่ได้เสนอ เช่น ลักษณะการทำงานของทรานซิสเตอร์ในสภาวะต่าง ๆ ลักษณะสมบัติของวงจรรขยายทรานซิสเตอร์ ประสิทธิภาพและการออกแบบวงจรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของวงจรรขยายทรานซิสเตอร์ เป็นต้น สิ่งที่น่าสนใจในขอบเขตของสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์อีกสิ่งหนึ่ง คือ ความถี่ของสัญญาณมีความสัมพันธ์กับวงจรรขยายทรานซิสเตอร์อย่างไร ดังนั้น จึงเสนอรายละเอียดต่าง ๆ ไว้ในบทนี้

สัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์มีหลายชนิด และมีความซับซ้อนแตกต่างกันไป เช่น สัญญาณ VIDEO ในระบบโทรทัศน์ เป็นต้น ปัญหา คือ ข้อมูลที่ได้จากสัญญาณดังกล่าวนี้อาจเกิดความไม่แน่นอน (uncertainty) คำถาม คือ จะเลือกใช้วิธีการใดกำหนดคุณลักษณะของแต่ละสัญญาณในทางทฤษฎี ย่อมต้องใช้สมการคณิตศาสตร์เป็นตัวแทนสัญญาณเหล่านั้น ได้แก่ อนุกรมฟูเรียร์ (Fourier series) การย้ายหรือแปรค่าโดยวิธีการฟูเรียร์ (Fourier transform) และโดยวิธีการลาปลาซ (Laplace transform) เป็นต้น โดยถือว่าสัญญาณใด ๆ ก็ตาม เกิดจากคลื่นชายนี่หลายคลื่นมาซ้อนกัน ซึ่งก่อให้เกิดคลื่นลัพธ์เป็นไปตามพีชคณิต (คือ เสริมหรือหักล้างกัน)

อนุกรมฟูเรียร์ซึ่งใช้แทนคลื่นชายนี่ที่ซ้อนกัน ได้แก่

$$v(t) = V_1 \cos(\omega_1 t + \phi_1) + V_2 \cos(2\omega_1 t + \phi_2) + \dots \quad (7.1)$$

แต่ถ้าสัญญาณไม่เป็นคลื่นชายนี่จะแก้ปัญหอย่างไร? คำตอบคือ อนุโลมให้มีลักษณะการซ้อนกันเช่นเดียวกับคลื่นชายนี่ แต่เป็นค่าโดยประมาณ ซึ่งในกรณีเช่นนี้ คลื่นชายนี่อาจมีส่วนสัมพันธ์กันในลักษณะไม่เป็นฮาร์โมนิก (harmonic) เพื่อความเข้าใจ นี้ถึงสภาพของคลื่นเสียงจำนวนหนึ่งซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ของคลื่นชายนี่ที่มีความถี่ต่างกัน โดยทั่วไป สัญญาณลักษณะดังกล่าวนี้เขียนได้เป็นอนุกรมฟูเรียร์ ดังนี้

$$v(t) = V_1 \cos(\omega_1 t + \phi_1) + V_2 \cos(\omega_2 t + \phi_2) + \dots \quad \dots\dots\dots(7.2)$$

ซึ่งแต่ละส่วน ไม่จำเป็นต้องมีความถี่สัมพันธ์กันแบบฮาร์โมนิกก็ได้

จุดประสงค์ของบทนี้คือ เพื่อ

- (1) อธิบายกฎเกณฑ์การหาอัตราขยายในหน่วยเดซิเบล (decibel) เขียนย่อเป็น dB
- (2) ศึกษาคุณสมบัติหรือลักษณะที่วงจรขยายมีต่อค่าความถี่ใด ๆ ของสัญญาณที่ป้อน

เข้าในวงจร

7.2 เดซิเบล หน่วยใช้วัดอัตราขยาย

ถ้าลองสังเกตการได้ยินของหู (มนุษย์) จะเห็นได้ว่า หูมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มของเสียงที่มีระดับต่ำมากกว่าระดับสูง เช่น ถ้าเสียงจากลำโพง 2 วัตต์ เพิ่มเป็น 3 วัตต์ มีปริมาณความเข้มเพิ่มขึ้น 1 วัตต์ ผู้ฟังจะรู้สึกว่าเสียงดังมากขึ้น แต่ถ้าเสียงจากลำโพง 10 วัตต์ เพิ่มเป็น 11 วัตต์ ผู้ฟังจะรู้สึกดังขึ้นเล็กน้อย (บางครั้งอาจไม่สามารถสังเกตได้) ความดัง ที่ผู้ฟังได้ยินนั้น ขึ้นกับอัตราส่วนของ กำลัง ทั้งสองค่า

อัตราส่วนของ 3 วัตต์ ต่อ 2 วัตต์ คือ 1.5 (เพิ่มขึ้น 50%) และอัตราส่วนของ 11 วัตต์ ต่อ 10 วัตต์ คือ 1.1 (เพิ่มขึ้นประมาณ 10%) ดังนั้น กำหนดหน่วยเดซิเบล มีค่าขึ้นกับอัตราส่วนของระดับกำลัง และใช้ค่าล็อกการิทึม (logarithm) ของอัตราส่วนกำลัง โดยใช้เฉพาะลอการิทึมฐาน 10 เท่านั้น ทั้งนี้ เพื่อแปลงผลต่างระหว่างค่ามากกับค่าน้อย ให้มีปริมาณน้อย ๆ เช่น ถ้าอัตราส่วนของกำลังมีค่าเป็น 1000 ค่าล็อกฐาน 10 ของปริมาณ 1000 คือ 3 หน่วยเดซิเบลจึงแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในวงจรอินพุตกับวงจรเอาต์พุต จากค่าจำกัดความ

$$\text{bel} = \log(P_2/P_1) \quad \dots\dots\dots(7.3)$$

$$\text{decibel} = \text{dB} = 10 \log(P_2/P_1) \quad \dots\dots\dots(7.4)$$

ขั้นตอนในการหาค่าเป็นหน่วยเดซิเบล สรุปได้ดังนี้

- (1) หาอัตราส่วน P_2/P_1 โดยทำให้ค่าทั้งสองมีหน่วยเดียวกัน เช่น $P_2 = 1 \text{ W}$ และ $P_1 = 1 \text{ mW}$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1000 \text{ mW}}{1 \text{ mW}} = 1000$$

(2) เลือกให้ P_2 มีค่าสูงกว่า P_1 เสมอ เพื่อจะได้ค่าผลลัพธ์มากกว่า 1 เสมอ เป็นการขจัดปัญหาสำหรับค่าล็อกเป็นลบ

- (3) หาค่าล็อกของผลลัพธ์ในข้อ (1) ซึ่งจากตัวอย่างนั้นได้ผล คือ

$$1000 = 10^3 = 3 \log 10 = 3$$

$$\begin{aligned}
&= 10 \log \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 \left(\frac{Z_1}{Z_2} \right) \\
&= 20 \log \frac{V_2}{V_1} + 10 \log \frac{Z_1}{Z_2} \quad \dots\dots\dots(7.5)
\end{aligned}$$

และมีบ่อยครั้งที่ถือว่า $Z_1 = Z_2$ ดังนั้น ปริมาณที่สองด้านขวาของสมการ (7.5) จึงมีค่าเป็นศูนย์

7.2.2 เกนกระแสในหน่วยเดซิเบล

ในทำนองเดียวกับตอน 7.2.1 แทนค่าของกำลังให้อยู่ในรูปของกระแสและความขัด

$$\begin{aligned}
\text{dB} &= 10 \log \frac{I_2^2 R_2}{I_1^2 R_1} \\
&= 20 \log \frac{I_2}{I_1} + 10 \log \frac{Z_2}{Z_1} \quad \dots\dots(7.6)
\end{aligned}$$

ซึ่งมักถือว่า $Z_1 = Z_2$ และปริมาณหลังในสมการ (7.6) มีค่าเป็นศูนย์

ตัวอย่าง 7.1 เครื่องขยายหนึ่ง มีความขัดอินพุท 2 K และสัญญาณอินพุทมีค่า 0.2 v ผลเกิดที่ โหลดขนาด 10 โอห์ม คือ กำลัง 5 วัตต์ จงหาหน่วยเดซิเบลของ (ก) เกนกำลัง (ข) เกนแรงดัน ไฟฟ้า และเกนกระแส โดยถือว่า $Z_o = Z_i$ (ค) เกนกำลังซึ่งคำนวณโดยอาศัยค่าของแรงดัน ไฟฟ้าอินพุทและเอาต์พุท

