

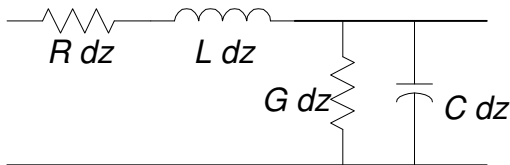
1 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและทำความเข้าใจในทฤษฎีของสายนำสัญญาณ
2. สามารถหาค่า Characteristic Impedance ของสายนำสัญญาณ อัตราการลดทอนสัญญาณ และหลักการใส่ Loading Coil

2 ทฤษฎี

2.1 คุณสมบัติของสายนำสัญญาณ

โดยทั่วไป วงจรสมมูลของสายนำสัญญาณ สามารถแสดงได้ดังรูปดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 สายนำสัญญาณ

โดยที่

R = ความต้านทานในสายต่อหนึ่งหน่วยความยาว (Ω/m)

L = ความเหนี่ยวนำในสายต่อหนึ่งหน่วยความยาว (H/m)

G = ความนำไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยความยาว (S/m)

C = ความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วต่อหนึ่งหน่วยความยาว (F/m)

จากรูป เราสามารถหาค่าต่างๆ ของวงจร ได้ดังนี้

$$\text{Characteristic Impedance } Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (1)$$

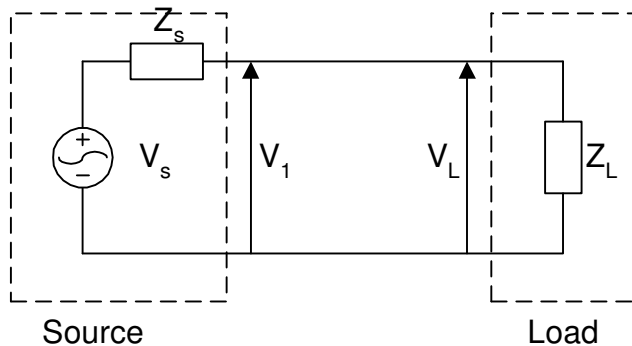
$$\text{Propagation Constant } \gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (2)$$

Attenuation Constant α , Phase Constant β :

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (3)$$

2.2 การหาการสูญเสียในสายนำสัญญาณ และ Loading Coil

พิจารณาระบบดังรูป Source จ่าย Power เข้าสู่สายนำสัญญาณ และผ่านไปยังโหลด Z_L ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ระบบสายนำสัญญาณ

ค่า Voltage Attenuation สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$a = 20 \log \left(\frac{V_1}{V_L} \right) \quad (4)$$

เมื่อพิจารณาที่ Attenuation Constant α จากสมการที่ 3 จะได้

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (5)$$

G ของสายนำสัญญาณทั่วไป จะมีค่าน้อยมาก ดังนั้น เราสามารถประมาณค่า α ดังสมการต่อไปนี้

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (6)$$

จะเห็นได้ว่า ถ้าเราเพิ่มค่า L แล้ว ค่า α จะลดลง ซึ่งหมายถึง การลดทอนสัญญาณจะลดลง ในสายนำสัญญาณ การเพิ่มค่า L อาจทำได้โดยทางอ้อม คือ ต่อตัวเหนี่ยวนำที่เหมาะสมเข้าไปในสายส่งทุกๆระยะที่สมควร ซึ่งเราเรียกว่า **Loading Coil**

3 คำถามก่อนการทดลอง

1. จงอธิบายเกี่ยวกับการวิเคราะห์โดยใช้สายส่งโดยสังเขป เกี่ยวกับความจำเป็น ค่า Characteristic Impedance ค่าคุณลักษณะต่างๆ (R, G, L, C)
2. จงอธิบายวิธีการคำนวณหาค่า Input Impedance และพิสูจน์สมการ (10)

4 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Oscilloscope
2. Function Generator
3. Transmission Line Model I 73637 2 ชุด มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้
 $R = 57.8 \Omega/\text{km}$ $L = 0.7 \text{ mH}/\text{km}$
 $C = 34 \text{ nF}/\text{km}$ $G = 1 \mu\text{S}/\text{km}$
4. Transmission Line Model II 73638 ชุด มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้
 $R = 262 \Omega/\text{km}$ $L = 0.7 \text{ mH}/\text{km}$
 $C = 40 \text{ nF}/\text{km}$ $G = 1 \mu\text{S}/\text{km}$
5. Compensation Coil 73639
6. Resistor 300 Ω 57713 2 อัน
7. Resistor 600 Ω 57714
8. Connection Lead

5 การทดลอง

การทดลองที่ 1 การวัดค่า Characteristic Impedance

ศึกษาการวัดค่า Characteristic Impedance โดยการวัดค่า Input Current และ Input Voltage เมื่อ Open Circuit และ Short Circuit แล้วนำมาคำนวณค่า Characteristic Impedance และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Characteristic Impedance กับความถี่ และพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Characteristic Impedance กับความยาวของสายส่ง

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อดังรูปที่ 3
2. เริ่มต้นให้เทอร์มินอล 2-2' เป็น Open-Circuit
3. ป้อนสัญญาณให้ V_G มีขนาด $4 V_{pp}$ และมีความถี่ตามกำหนดในตาราง
4. วัดค่า V_e และ V_R แล้วนำมาคำนวณหาค่า Z_{OC} ตามสมการต่อไปนี้

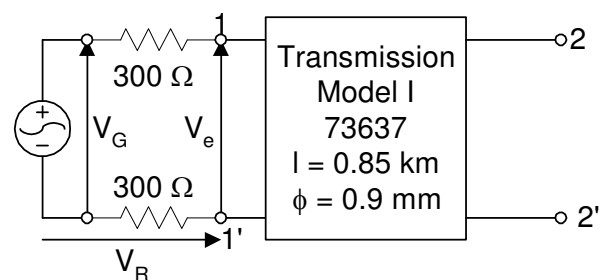
$$Z_{OC} = \frac{V_e}{I_e} \quad (7)$$

$$I_e = \frac{V_R}{300} \quad (8)$$

จากสมการที่ 7 และ 8 จะได้

$$Z_{OC} = 300 \frac{V_e}{V_R} \quad (9)$$

5. ทำการเปลี่ยนความถี่ตั้งแต่ 100 Hz - 10 kHz แล้ววัดค่า V_e และ V_R (วัดทั้งขนาดและเฟส)



รูปที่ 3 การหาค่า Characteristic Impedance (1)

6. ปรับเทอร์มินอล 2-2' ให้เป็น Short-Circuit แล้วทำตามข้อ 3-5 จากนั้น ทำการคำนวณหาค่า Z_{sc} ตามขั้นตอนในข้อ 4 แล้วทำการคำนวณหาค่า Z_0 ตามสมการต่อไปนี้

$$Z_0 = \sqrt{Z_{oc} \cdot Z_{sc}} \quad (10)$$

7. เปลี่ยนสายนำสัญญาณเป็น Transmission Model I ความยาว 1.7 km แล้วทำการทดลองตามข้อ 2-6

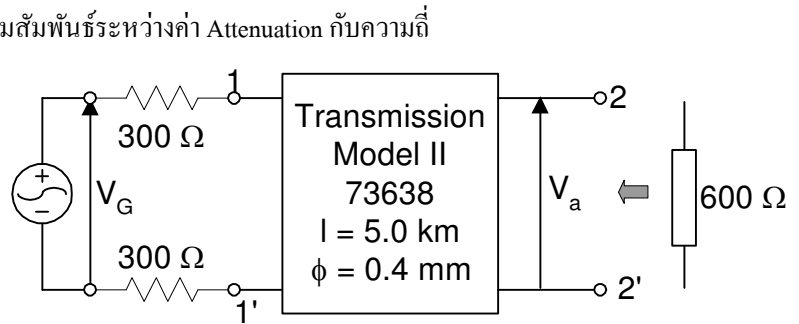
8. เปลี่ยนสายนำสัญญาณเป็น Transmission Model II ความยาว 5.0 km แล้วทำการทดลองตามข้อ 2-6

การสรุปผลการทดลอง เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Characteristic Impedance กับความถี่ โดยใช้ Semi-Log Graph และทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยทำการเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี

การทดลองที่ 2 การวัดค่าการสูญเสียของสายนำสัญญาณ

เพื่อศึกษาวิธีการวัดค่าการสูญเสียของสายนำสัญญาณ โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Attenuation กับความถี่
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อดังรูปที่ 4 โดยเริ่มต้น ไม่ต้องต่อโหลด
2. ป้อนสัญญาณ ให้ V_G มีขนาด 4 V_{pp}
3. ทำการเปลี่ยนความถี่ตั้งแต่ 100 Hz - 10 kHz แล้ววัดค่า V_a
4. ต่อโหลด 600 Ω แล้วทำการทดลองตามข้อ 3-4



รูปที่ 4 การวัดค่าการสูญเสียของสายนำสัญญาณ

5. หาค่า Attenuation ตามสมการ

$$a = 20 \log (V_G / V_a) \quad (11)$$

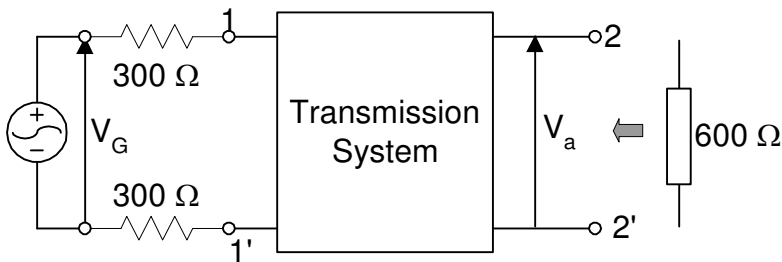
6. เขียนกราฟและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 3 การใช้ Loading Coil

เพื่อศึกษาการใช้ Loading Coil ในการลดค่า Attenuation

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อดังรูปที่ 6 โดยให้ Transmission System ประกอบด้วย 73637 0.85 km , 73637 1.7 km , 73637 0.85 km ต่ออนุกรมกัน



รูปที่ 6 วงจรสำหรับการทดลองที่ 3,4

2. เริ่มต้น ไม่ต้องต่อโหลด
3. ป้อนสัญญาณ ให้ V_G มีขนาด 4 V_{pp}
4. ทำการเปลี่ยนความถี่ตั้งแต่ 100 Hz - 10 kHz แล้ววัดค่า V_a
5. ต่อโหลด 600 Ω แล้วทำการทดลองตามข้อ 3-4
6. เปลี่ยน Transmission System เป็น 73637 0.85 km, 73639, 73637 1.7 km, 73639, 73637 0.85 km ต่ออนุกรมกัน แล้วทำการทดลองตามข้อ 2-5

7. หาค่า Attenuation ตามสมการที่ 11

8. เขียนกราฟและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 4 การวัดค่า Attenuation ของสายส่งที่มี Subdistribution

เพื่อศึกษาการลดทอนสัญญาณในกรณีที่มีสายนำสัญญาณมาต่อเพิ่มเติม
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อดังรูปที่ 6 โดยให้ Transmission System เป็น 73637 0.85 km, 73639, 73637 1.7 km, 73639, 73637 0.85 km, 73638 0.2 km ต่อกัน
2. เริ่มต้น ไม่ต้องต่อโหลด
3. ป้อนสัญญาณ ให้ V_G มีขนาด 4 V_{pp}
4. ทำการเปลี่ยนความถี่ตั้งแต่ 100 Hz - 10 kHz แล้ววัดค่า V_u
5. ต่อโหลด 600 Ω แล้วทำการทดลองตามข้อ 3-4
6. หาค่า Attenuation ตามสมการที่ 11
7. เขียนกราฟ วิเคราะห์ผลการทดลอง และทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ 3

6 คำถามท้ายการทดลอง

1. Characteristic Impedance คืออะไร และสำหรับสายนำสัญญาณที่ใช้กันทั่วไป ค่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่มากน้อยอย่างไร ให้เหตุผลและวาดภาพประกอบคำอธิบาย โดยพิจารณาผลการทดลองประกอบด้วย
2. จงอธิบายที่มาของสมการที่ 10 ที่ใช้ในการวัดค่า Z_0 ในการทดลองที่ 1
3. ศึกษาสายนำสัญญาณที่ใช้ในระบบโทรศัพท์และระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับสายนำสัญญาณที่ใช้ในการทดลองนี้
4. การที่สายนำสัญญาณยาวเป็นอนันต์ แล้วไม่มีคลื่นสะท้อนกลับไปที่ต้นทางนั้น ให้พิจารณาว่าในทางปฏิบัติจะเป็นไปได้หรือไม่อย่างไร
5. ในระบบส่งสัญญาณที่ความถี่สูง เช่น อยู่ในช่วงของไมโครเวฟ (> 300 MHz) การนำสายสัญญาณมาใช้ส่งสัญญาณมีความเหมาะสมหรือไม่ พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ

การทดลองที่ 1 ตารางที่

f[Hz]	Open-circuit			Short-circuit			$Z_0[\Omega]$
	$V_e[V]$	$V_R[V]$	$Z_{oc}[\Omega]$	$V_e[V]$	$V_R[V]$	$Z_{sc}[\Omega]$	
100							
200							
300							
400							
500							
600							
800							
1k							
2k							
3k							
4k							
5k							
6k							
8k							
10k							

การทดลองที่ 1 ตารางที่

f[Hz]	Open-circuit			Short-circuit			$Z_0[\Omega]$
	$V_e[V]$	$V_R[V]$	$Z_{oc}[\Omega]$	$V_e[V]$	$V_R[V]$	$Z_{sc}[\Omega]$	
100							
200							
300							
400							
500							
600							
800							
1k							
2k							
3k							
4k							
5k							
6k							
8k							
10k							

การทดลองที่ 1 ตารางที่

f[Hz]	Open-circuit			Short-circuit			$Z_0[\Omega]$
	$V_e[V]$	$V_R[V]$	$Z_{oc}[\Omega]$	$V_e[V]$	$V_R[V]$	$Z_{sc}[\Omega]$	
100							
200							
300							
400							
500							
600							
800							
1k							
2k							
3k							
4k							
5k							
6k							
8k							
10k							

การทดลองที่ 2 ตารางที่

f[Hz]	No-load		600 Ω Load		f[Hz]	No-load		600 Ω Load	
	$V_a[V]$	a[dB]	$V_a[V]$	a[dB]		$V_a[V]$	a[dB]	$V_a[V]$	a[dB]
100					2k				
200					3k				
300					4k				
400					5k				
500					6k				
600					8k				
800					10k				
1k									

การทดลองที่ 3 ตารางที่

f[Hz]	No-load		600 Ω Load		f[Hz]	No-load		600 Ω Load	
	$V_a[V]$	a[dB]	$V_a[V]$	a[dB]		$V_a[V]$	a[dB]	$V_a[V]$	a[dB]
100					2k				
200					3k				
300					4k				
400					5k				
500					6k				
600					8k				
800					10k				
1k									

การทดลองที่ 3 ตารางที่

f[Hz]	No-load		600 Ω Load		f[Hz]	No-load		600 Ω Load	
	V_a [V]	a [dB]	V_a [V]	a [dB]		V_a [V]	a [dB]	V_a [V]	a [dB]
100					2k				
200					3k				
300					4k				
400					5k				
500					6k				
600					8k				
800					10k				
1k									

การทดลองที่ 4 ตารางที่

f[Hz]	No-load		600 Ω Load		f[Hz]	No-load		600 Ω Load	
	V_a [V]	a [dB]	V_a [V]	a [dB]		V_a [V]	a [dB]	V_a [V]	a [dB]
100					2k				
200					3k				
300					4k				
400					5k				
500					6k				
600					8k				
800					10k				
1k									