

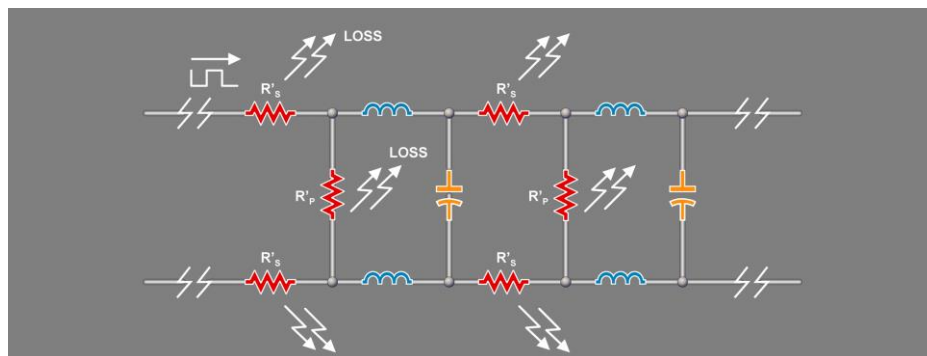
### การทดลองที่ 3 การเพี้ยนและการลดทอนในสายส่งสัญญาณ

#### 3.1. จุดประสงค์การทดลอง

1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจคุณลักษณะการลดทอนของสัญญาณในสายส่ง
2. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจคุณลักษณะการเพี้ยนของสัญญาณในสายส่ง

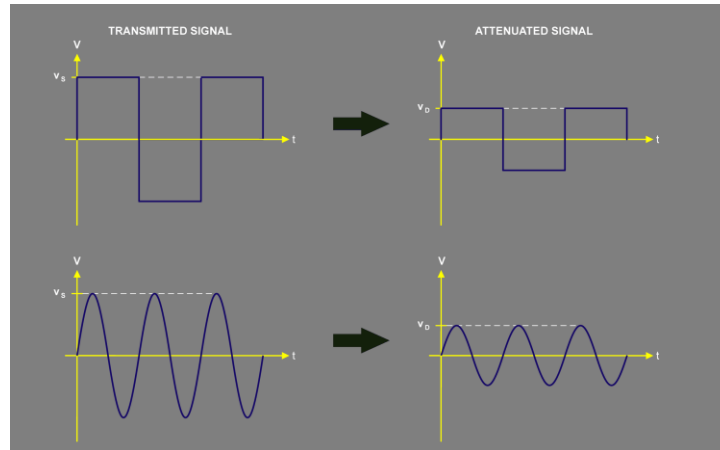
#### 3.2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การลดทอนในสายส่งคือสัญญาณที่ถูกส่งผ่านไปตามสายส่งเกิดการสูญเสียพลังงานเป็นบางส่วนของสายส่งที่มีค่าการลดทอนแปรผันตามความยาวของสายส่ง เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นเนื่องจากพลังงานที่ค่อยๆ กระจายในความต้านทานแต่ละจุด  $R'_s$  และความต้านทานต่อขนาน  $R'_p$  ต่อหน่วยความยาวของสายส่งสัญญาณ พลังงานสูญเสียในแต่ละ  $R'_s$  เป็นการสูญเสียในรูปของความร้อนในตัวนำ (การสูญเสีย  $I^2R$ ) และพลังงานที่สูญเสียในแต่ละ  $R'_p$  เป็นการสูญเสียเชิงความร้อนของวัสดุที่เป็นฉนวนที่ใช้ในการสร้างสายส่ง (การสูญเสียของไดอิเล็กทริกหรือการสูญเสียแบบขนาน) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การสูญเสียพลังงานบางส่วนในแต่ละ  $R'_s$  และ  $R'_p$

การสูญเสียพลังงานทำให้ระดับของสัญญาณที่ส่งจะค่อยๆ ลดลงขณะที่สัญญาณเดินทางไปตามสายส่ง ดังรูปที่ 2 การลดลงของระดับสัญญาณตามระยะทาง เรียกว่าการลดทอน ซึ่งการลดทอนจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของสายส่งที่เพิ่มมากขึ้น



## รูปที่ 2 การลดทอนของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมและสัญญาณรูปไซน์

การลดทอนของสัญญาณโดยปกติจะแสดงในรูปของเดซิเบล (dB) ซึ่งสูตรในการคำนวณหาการลดทอนกำลังงานของสัญญาณต่อระยะทาง เช่น จากจุดส่ง W ถึงจุดรับ D คือ

$$A = 10 \log \frac{P_D}{P_S}$$

เมื่อ

**A** คือ การลดทอนกำลังของสัญญาณ (dB)

**Log** คือ ล็อกการิทึมฐาน 10

**$P_D$**  คือ กำลังของสัญญาณที่ระยะห่าง D จากจุดส่ง (W)

**$P_S$**  คือ กำลังของสัญญาณที่จุดส่ง (W)

**ตารางที่ 1** แสดงอัตราการลดทอน (dB) ที่สัมพันธ์กับอัตราส่วนของ  $P_D / P_S$

อัตราส่วนของ $P_D / P_S$	กำลังลดทอน (dB)
1	0
0.5	-3
0.25	-6
0.125	-9

สำหรับสูตรคำนวณหาการลดทอนในรูปของแรงดันที่มีระยะทาง D คือ

$$A = 10 \log \frac{V_D^2}{V_S^2} = 20 \log \frac{V_D}{V_S}$$

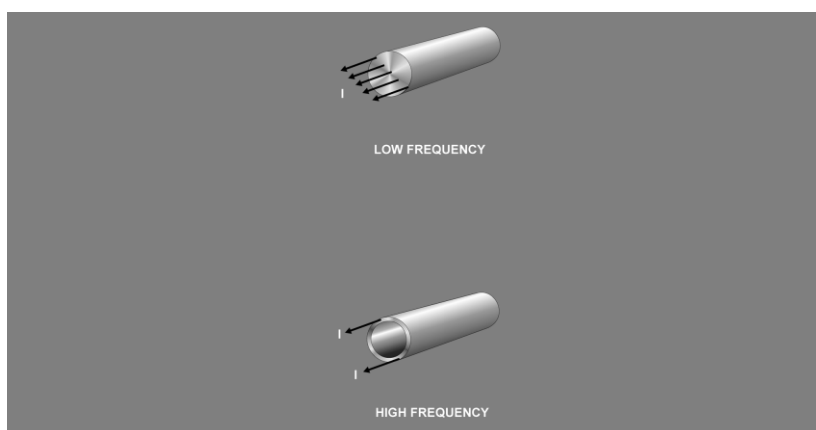
เมื่อ **A** คือ การลดทอนกำลังของสัญญาณ (dB)

**Log** คือ ล็อกการิทึมฐาน 10

$V_D$  คือ แรงดันของสัญญาณที่จุดรับ  $D$

$V_S$  คือ แรงดันของสัญญาณที่จุดส่ง  $W$

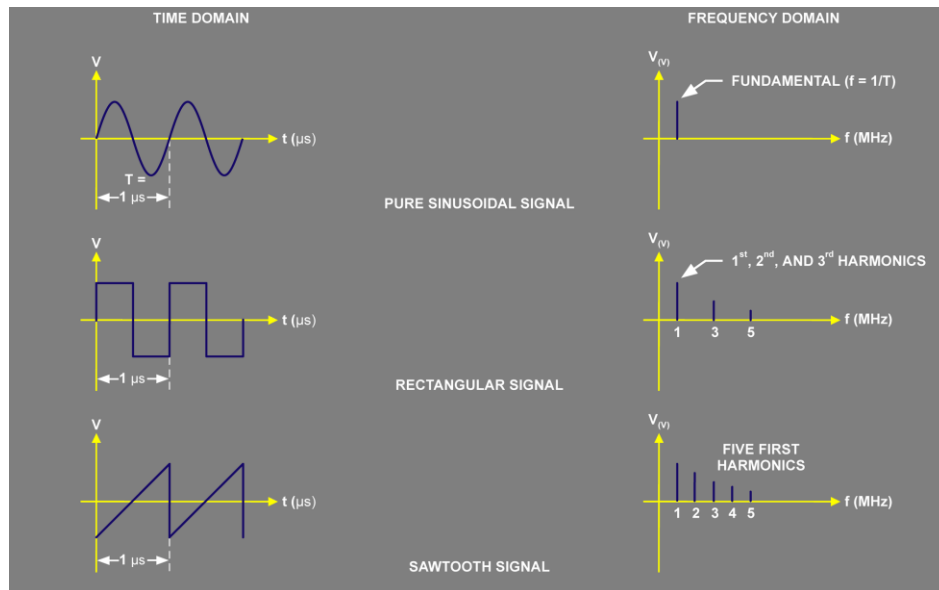
ตัวอย่าง เช่น การลดทอนของสัญญาณที่ระยะทาง  $D$  จะเท่ากับ  $-2.5$  dB ถ้าอัตราส่วน  $V_D/V_S$  คือ  $0.75$  ผู้ผลิตสายมักจะให้กราฟการลดทอนของสายต่อหน่วยความยาว ( $\alpha$ ) นอกจากนั้นการลดทอนของสายยังเป็นฟังก์ชันตามความถี่ของสัญญาณอีกด้วย เพราะที่ความถี่สูง การลดทอนต่อหน่วยความยาวแทนที่จะเป็นค่าคงที่กลับมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์ทางผิว (Skin effect) ดังแสดงในรูปที่ 3 ถ้าสัญญาณที่ส่งเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง (DC) หรือสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ต่ำ ความหนาแน่นของกระแสจะเต็มพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ แต่ที่ความถี่สูงความหนาแน่นของกระแสมีแนวโน้มจะอยู่ใกล้พื้นผิวของตัวนำ ซึ่งจะเพิ่มค่าความต้านทานการไหลของกระแสในสายส่ง



รูปที่ 3 ปรากฏการณ์ทางผิว (skin effect)

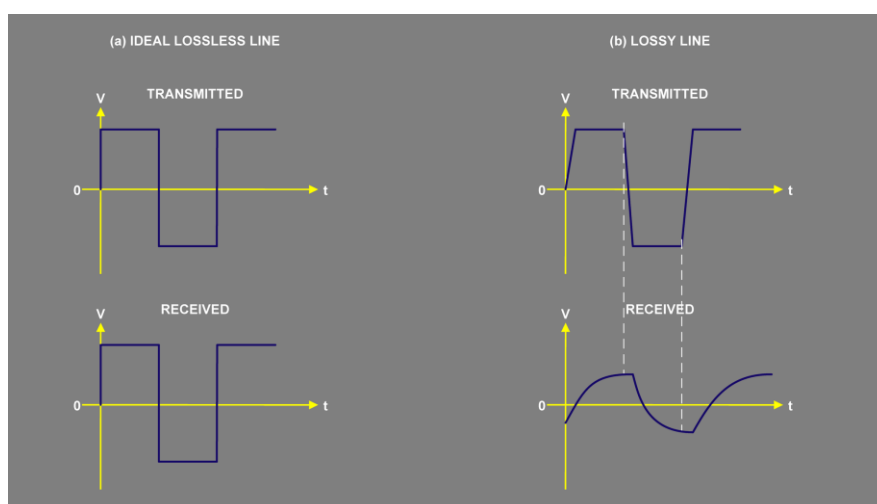
### องค์ประกอบความถี่ของสัญญาณ

สัญญาณที่แสดงในคาบเวลา เราสามารถขยายได้เป็นผลรวมอนันต์ของสัญญาณไซน์และโคไซน์ที่มีขนาดของสัญญาณและความถี่ที่แตกต่างกันที่เรียกว่าอนุกรมฟูรีเยร์ เมื่อเราใช้สเปกตรัมวิเคราะห์ห่องค์ประกอบความถี่ของสัญญาณ จะแสดงได้ดังในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างของสัญญาณที่ประกอบด้วยองค์ประกอบความถี่ต่างๆ

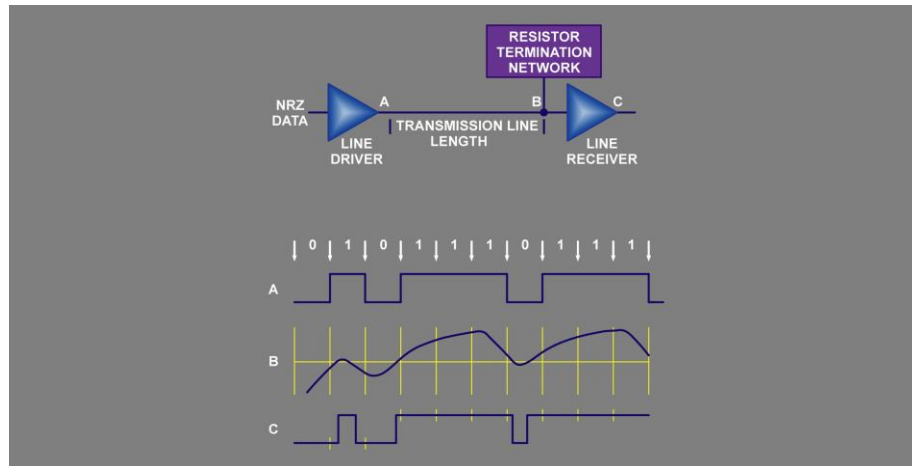
ความเร็วของการแพร่กระจายคลื่นในสายส่ง ที่ประกอบด้วยความถี่พื้นฐานและองค์ประกอบความถี่ต่างๆ จะถูกกำหนดโดยสภาพยอมของวัสดุที่เป็นฉนวนในสายส่งที่มีการสูญเสียน้อยหรือแทบจะไม่มี การสูญเสีย สภาพยอมสัมพัทธ์จะมีค่าคงและไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ ดังนั้นความถี่พื้นฐานและองค์ประกอบความถี่ของสัญญาณที่ส่งทั้งหมด จะแพร่กระจายที่ความเร็วเดียวกันในสายส่ง เป็นผลให้สัญญาณที่ปลายสายเหมือนกันกับสัญญาณที่ส่ง ดังแสดงในรูปที่ 5 (a) ส่วนในสายส่งที่มีการสูญเสีย ดังแสดงในรูปที่ 5 (b) ความถี่พื้นฐานและองค์ประกอบความถี่บางส่วนของสัญญาณที่ส่ง จะขาดหายไป เป็นผลทำให้เกิดความเพี้ยนขึ้น



รูปที่ 5 (a) สัญญาณที่ไม่มีความผิดเพี้ยน

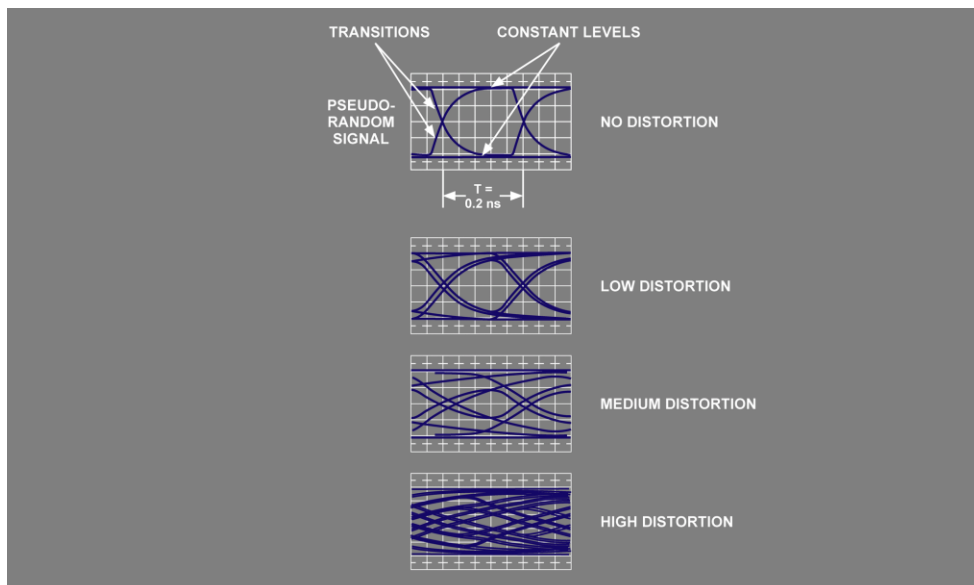
(b) สัญญาณที่มีความผิดเพี้ยน

การลดทอนและความเพี้ยนจะเป็นปัญหาที่สำคัญในระบบการส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูงดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การลดทอนและความเพี้ยนมีผลต่อการกู้สัญญาณเดิมกลับคืนมาที่ด้านรับ

วิธีการที่นิยมใช้ในการพิสูจน์คุณภาพของสัญญาณในระบบสื่อสารดิจิทัล คือ วิธีแผนภาพดวงตา (eye-pattern method) วิธีการนี้ต้องการ สัญญาณเลขฐานสองแบบสุ่มเทียม (pseudo-random binary, PRBS) เพื่อป้อนเข้าในแนวตั้งของ Oscilloscope ส่วนสัญญาณกวาดในแนวนอนของ Oscilloscope จะถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณเลขฐานสองที่มีความถี่เดียวกัน และปรับ time base เพื่อให้ได้สัญญาณ PRBS ที่จอแสดงภาพ หนึ่งลูกคลื่นดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนภาพดวงตาตา (The eye-pattern)