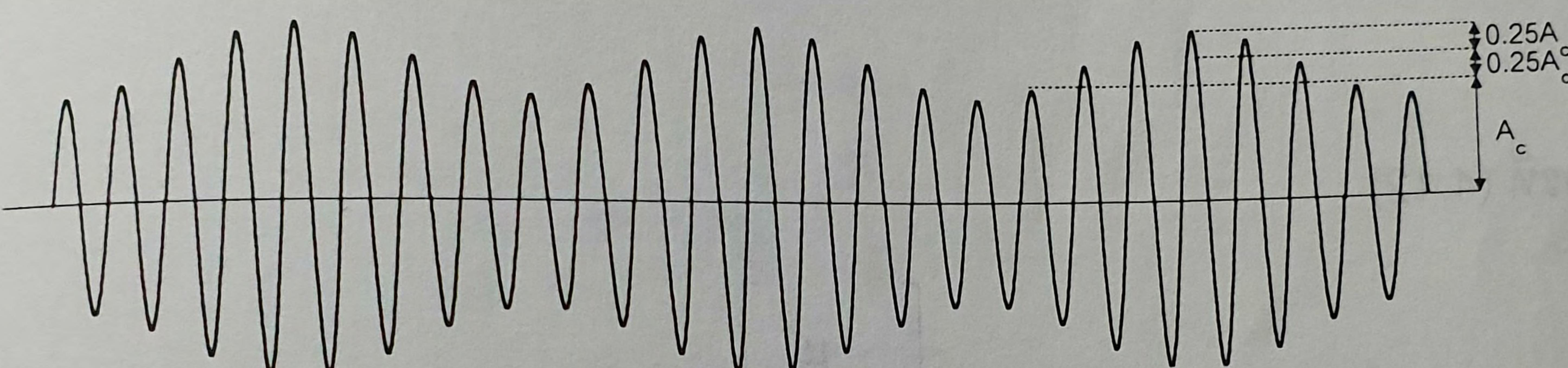


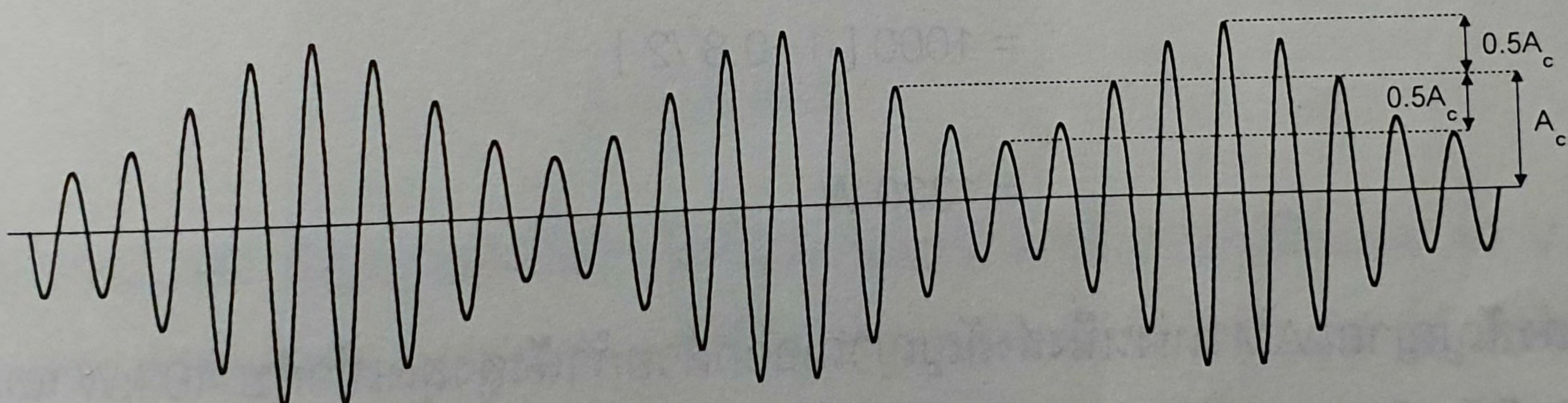
แบบฝึกหัดท้ายบท

- 4.1 จงวาดรูปสัญญาณ AM ที่ได้จากการมอดูเลตสัญญาณไซนัสโดยความถี่เดียวกันโดยใช้ดัชนีการมอดูเลต μ เท่ากับ 0.25, 0.5 และ 1 จากนั้นให้คำนวนหาประสิทธิภาพการใช้กำลังของ การมอดูเลตในแต่ละกรณี

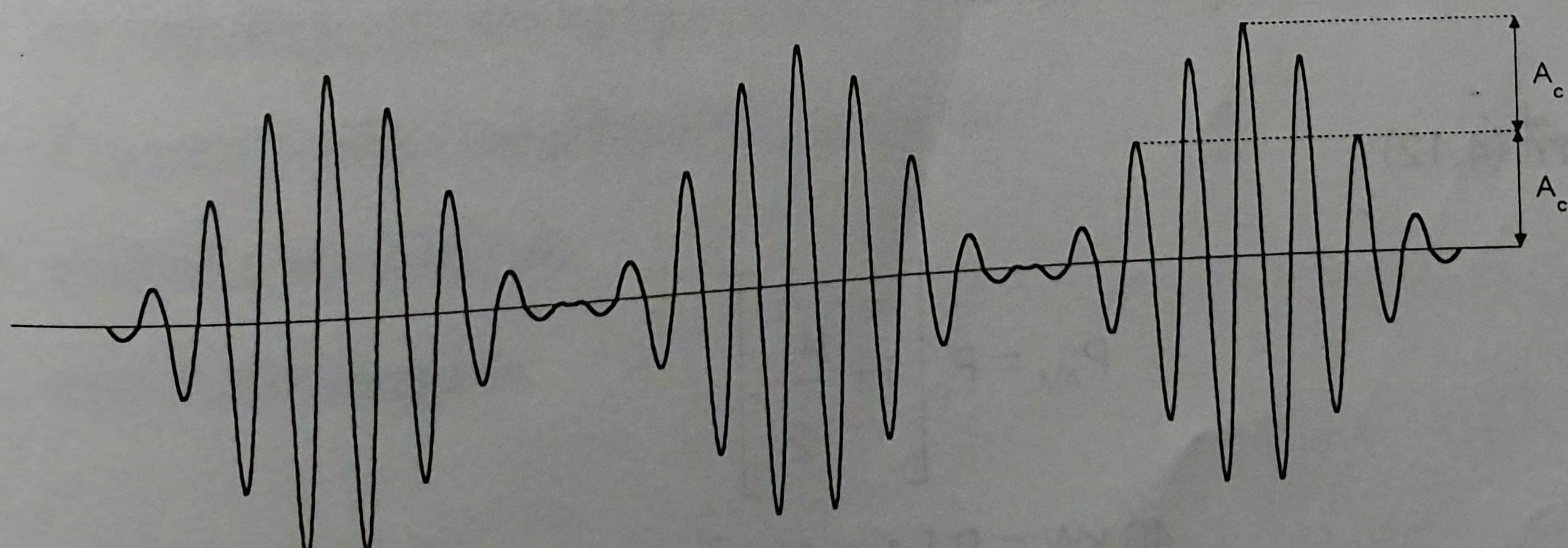
วิธีทำ



(ก) กรณี $\mu = 0.25$



(ข) กรณี $\mu = 0.5$



(ค) กรณี $\mu = 1$

รูปที่ 4P.1 สัญญาณ AM ที่ใช้ค่าดัชนีการมอดูเลตแตกต่างกัน

รูปสัญญาณ AM ที่ใช้ดิจิทัลนีก้าร์มอดูเลตเท่ากับ 0.25, 0.5 และ 1 มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4P.1

(ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ

สำหรับประสิทธิภาพการใช้กำลังของสัญญาณ AM สามารถหาได้จากสมการที่ (4.12) และได้ผลดังนี้คือ 3.03%, 11.11% และ 33.33% สำหรับระบบที่มีดิจิทัลนีก้าร์มอดูเลตเท่ากับ 0.25, 0.5 และ 1 ตามลำดับ

4.2 วงจรกำเนิดสัญญาณ AM หนึ่งแพร่สัญญาณออกด้วยคลื่นพาห์ที่มีกำลังสูงเท่ากับ 1 kW สมมติให้สัญญาณข้อมูลที่ส่งออกเป็นสัญญาณไซนุซอยด์ความถี่เดียวที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตเท่ากับ 80% จงหากำลังสูงของสัญญาณที่ส่งออกทั้งหมด

วิธีทำ

จากสมการที่ (4.12)

$$P_{AM} = P_c \left[1 + \frac{\mu^2}{2} \right]$$

$$= 1000 [1 + 0.8^2 / 2]$$

$$= 1320 \text{ W}$$

4.3 สถานีส่งสัญญาณ AM แห่งหนึ่งส่งสัญญาณออกด้วยกำลังสูงสุดเท่ากับ 40 kW และควบคุมมิให้เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตมีค่าเกิน 95% สำหรับสัญญาณเบสแบนด์ไซนุซอยด์ความถี่เดียว จงคำนวณหากำลังที่อยู่ในไซด์แบนด์

วิธีทำ

จากสมการที่ (4.12)

$$P_{AM} = P_c \left[1 + \frac{\mu^2}{2} \right]$$

$$40 \text{ kW} = P_c [1 + 0.95^2 / 2]$$

$$P_c = 27.56 \text{ kW}$$

เพราะจะนั่นกำลังที่อยู่ในไซด์แบนด์มีค่าเท่ากับ $P_{AM} - P_c = 40 - 27.56 = 12.44 \text{ kW}$

4.4 ถ้ายอดอากาศของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ AM หนึ่งมีกระแสในหลังผ่านเท่ากับ 10 A ในสภาวะที่ไม่มีการมอดูเลตของสัญญาณเบสแบนด์ และการให้ลงของกระแสเมื่อค่าเพิ่มขึ้นเป็น 12 A เมื่อมีการมอดูเลตด้วยสัญญาณไซนัสซอยด์ความถี่เดียวกัน คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต

วิธีทำ

จากสมการที่ (4.12)

$$P_{AM} = P_c \left[1 + \frac{\mu^2}{2} \right]$$

เราสามารถเขียนใหม่ในรูปของกระแสที่ไหลผ่านได้ดังนี้

$$I_{AM} = I_c \sqrt{1 + \frac{\mu^2}{2}}$$

$$12 = 10 \sqrt{1 + \frac{\mu^2}{2}}$$

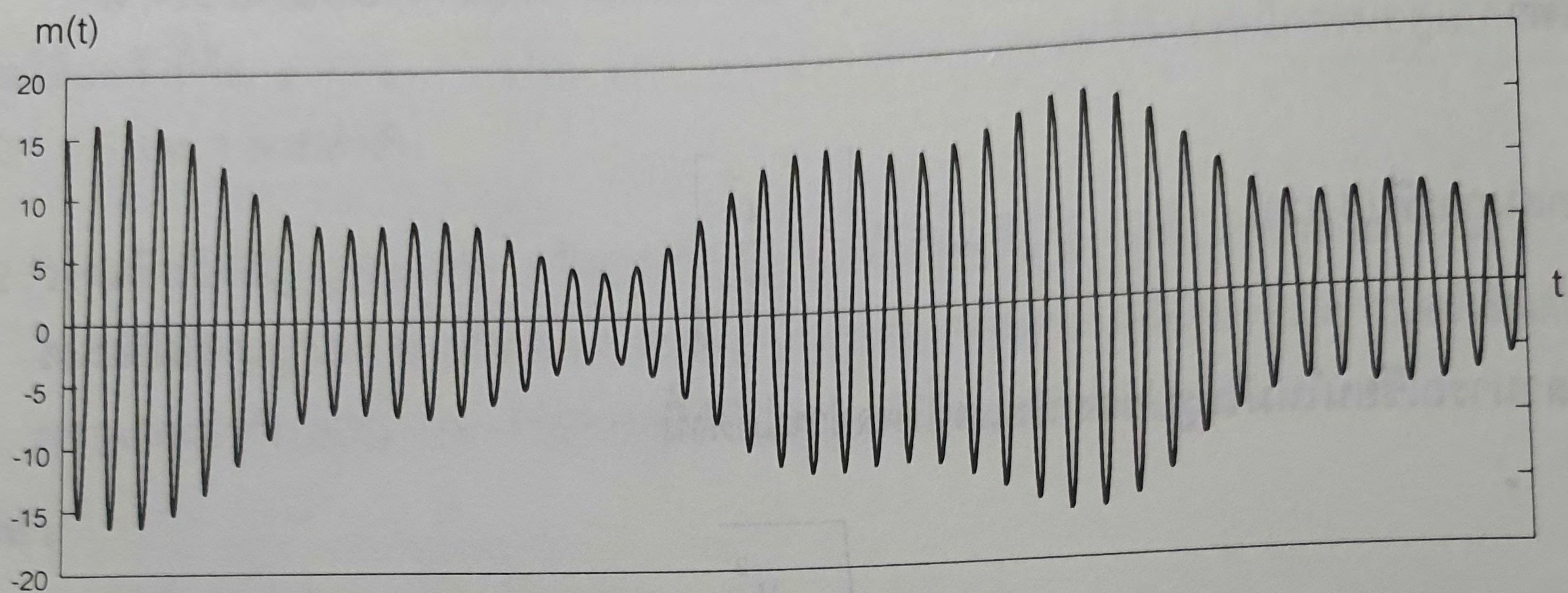
$$\mu = 93.81\%$$

4.5 สัญญาณ AM สัญญาณหนึ่งกำเนิดขึ้นจากสัญญาณคลื่นพาห์ที่มีขนาด 10 V และความถี่ 30 kHz ส่วนของสัญญาณเบสแบนด์นั้นประกอบด้วยสัญญาณไซนัสซอยด์ 2 ความถี่ดังนี้คือ $5 \cos(2\pi f_1 t)$ และ $2 \cos(2\pi f_2 t)$ โดย $f_1 = 1000 \text{ Hz}$ และ $f_2 = 3000 \text{ Hz}$

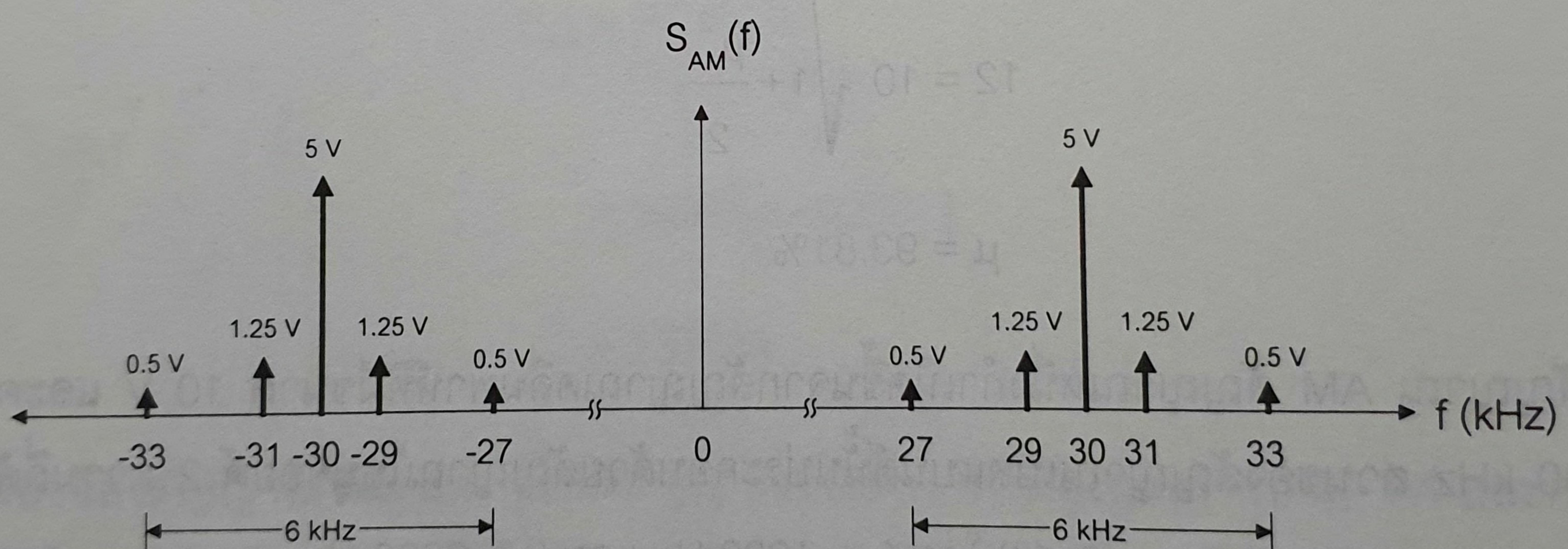
- (ก) จัดรูปสัญญาณ AM และสเปกตรัม
- (ข) คำนวณหากำลังส่งโดยเฉลี่ยของสัญญาณ AM
- (ค) ประสิทธิภาพการใช้กำลัง
- (ง) เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต

วิธีทำ

(ก)



(ก) สัญญาณ AM



(ข) สเปกตรัม

รูปที่ 4P.2

(ข) กำลังส่งโดยเฉลี่ยของสัญญาณ AM มีค่าเท่ากับ

$$P_{AM} = \frac{1}{2} A_c^2 [1 + P_{sb}]$$

$$= \frac{1}{2} \times 10^2 [1 + 0.5^2 + 0.2^2]$$

$$= 64.5 \text{ W}$$

(๑) จากโจทย์เราสามารถเขียนสัญญาณ $m(t)$ ได้ดังนี้

$$m(t) = 0.5 \cos(2\pi f_1 t) + 0.2 \cos(2\pi f_2 t)$$

แล้วคำนวณ

$$\langle m^2(t) \rangle = (0.5^2 + 0.2^2)/2 = 0.145$$

จากสมการที่ (4.13)

$$\eta = \frac{\langle m^2(t) \rangle}{1 + \langle m^2(t) \rangle} (100\%)$$

$$= \frac{0.145}{1 + 0.145} \times 100\%$$

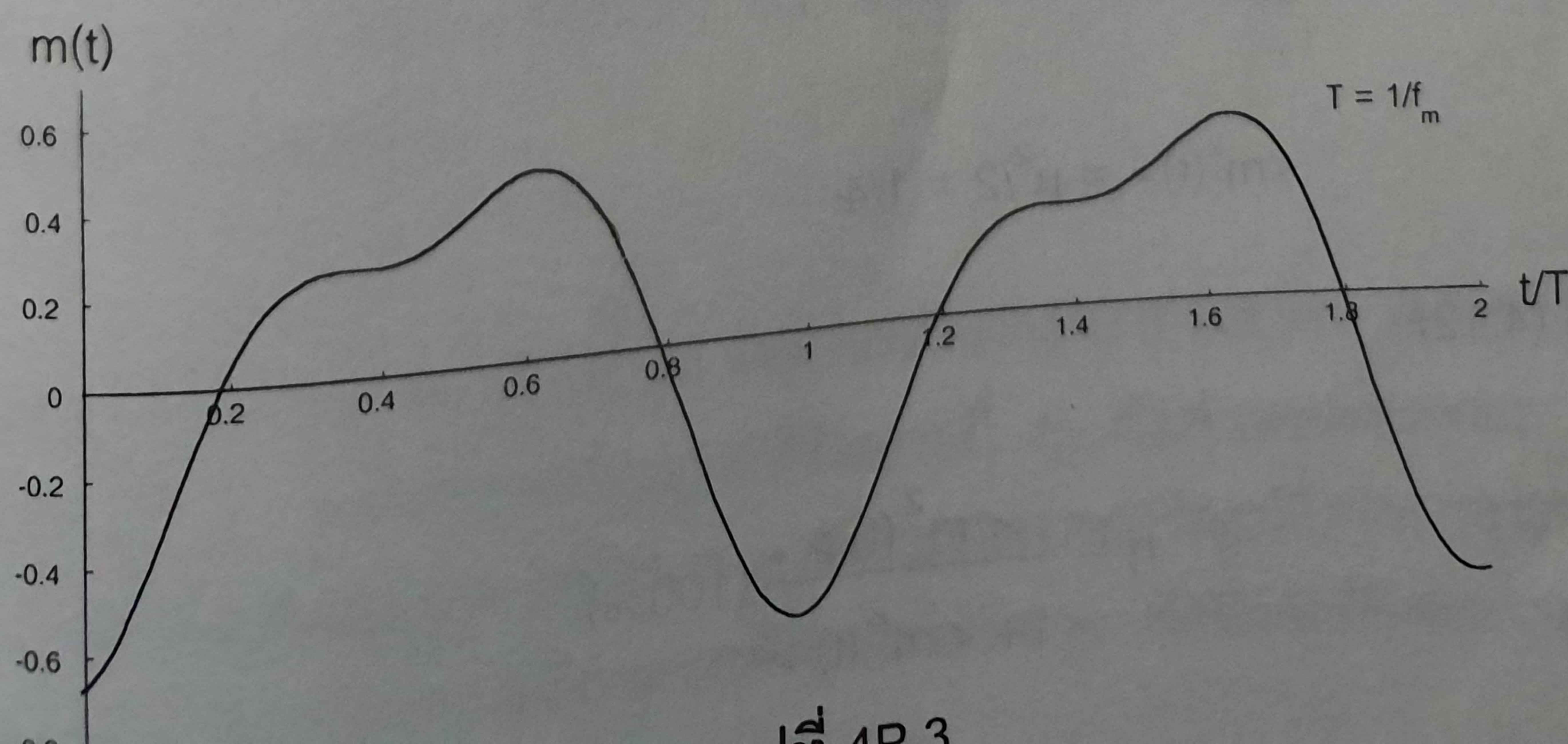
$$= 12.66\%$$

(๒) ค่าเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตพิจารณาจากค่าสูงสุดของสัญญาณ $|m(t)|$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.7 ที่เวลา $t = 0$

4.6 จงคำนวณหาดữรุนนีการมอดูเลตของระบบสื่อสาร AM ที่มีสัญญาณเบสแบนด์ $m(t)$ มีองค์ประกอบดังนี้

$$m(t) = -0.5 \cos(2\pi f_m t) + 0.2 \sin(4\pi f_m t - \pi/3)$$

วิธีทำ



แบบฝึกหัดท้ายบท

5.1 สมมติให้สัญญาณ FM สัญญาณนี้มีลักษณะดังนี้

$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + 2\pi k_f \left[\frac{\sin(2\pi f_m t)}{2\pi f_m t} + 2t \right])$$

- (ก) จงหาค่าของสัญญาณเบสแบนด์ $m(t)$
- (ข) ถ้าหากสัญญาณ $s(t)$ นี้เป็นสัญญาณ PM โดยที่ $k_p = k_f$ จงหาค่าของสัญญาณเบสแบนด์

5.2 พิจารณาจรวจมอดูเลตสัญญาณ FM ที่มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

- (ก) ถ้าสัญญาณเบสแบนด์ที่ป้อนเข้าวิเคราะห์มีความถี่เท่ากับ $f_m = 2 \text{ kHz}$ จะทำให้เกิดค่าเบี่ยงเบนความถี่สูงสุดเท่ากับ $\Delta f = 5 \text{ kHz}$ จงคำนวนหาด้วยนีการมอดูเลต β และประมาณแบนด์วิดท์ B_T ของสัญญาณ FM นี้
- (ข) ถ้าหากมีการลดแอลมพลิจูดของสัญญาณเบสแบนด์ลงครึ่งหนึ่งพร้อม ๆ กับเพิ่มความถี่ขึ้นเป็น $\pi \text{ kHz}$ จงคำนวนหาด้วยนีการมอดูเลต และประมาณแบนด์วิดท์ใหม่
- (ค) ถ้าหากเรานำสัญญาณเบสแบนด์ทั้งสองมารวมกันและป้อนเข้าวิเคราะห์มอดูเลตสัญญาณ FM จงหาค่าเบี่ยงเบนความถี่สูงสุด

5.3 สัญญาณ FM นี้มีลักษณะดังต่อไปนี้

$$s_{FM}(t) = 50 \cos[2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_{-\alpha}^t m(\eta) d\eta]$$

โดย $k_f = 30 \text{ Hz/V}$ และ $m(\eta) = 8 \operatorname{rect}\left(\frac{t-2}{4}\right)$ จงคำนวนค่าต่อไปนี้

- (ก) วาดรูปค่าเบี่ยงเบนเพสในหน่วยเรเดียน
- (ข) วาดรูปค่าเบี่ยงเบนความถี่
- (ค) ค่าเบี่ยงเบนเพสสูงสุด

(ก) ค่าเบี้ยงเบนความถี่สูงสุด

(จ) ค่ากำลังของสัญญาณ FM

5.4 สัญญาณ FM สัญญาณหนึ่งมีลักษณะดังต่อไปนี้

$$10 \sin[2\pi \times 10^8 t + 2 \sin(2\pi \times 5000 t)]$$

สัญญาณนี้ได้รับการป้อนเข้าสายอากาศที่มีความต้านทาน 50 Ω ม
จงคำนวณหาค่าต่อไปนี้

(ก) ความถี่กลาง

(ข) กำลังส่ง

(ค) บรรชนีการมอดูเลต β

(ง) ความถี่ของสัญญาณเบสแบนด์

(จ) แบนด์วิดท์

วิธีทำ

(ก) พิจารณาจากรูปสัญญาณความถี่กลางมีค่าเท่ากับ

$$f_c = 100 \text{ MHz}$$

(ข) กำลังส่งของสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$P = \frac{(10/\sqrt{2})^2}{50} = 1 \text{ W}$$

(ค) พิจารณาจากรูปสัญญาณบรรชนีการมอดูเลต

$$\beta = 2$$

(ง) พิจารณาจากรูปสัญญาณความถี่ของสัญญาณเบสแบนด์

$$f_m = 5 \text{ kHz}$$

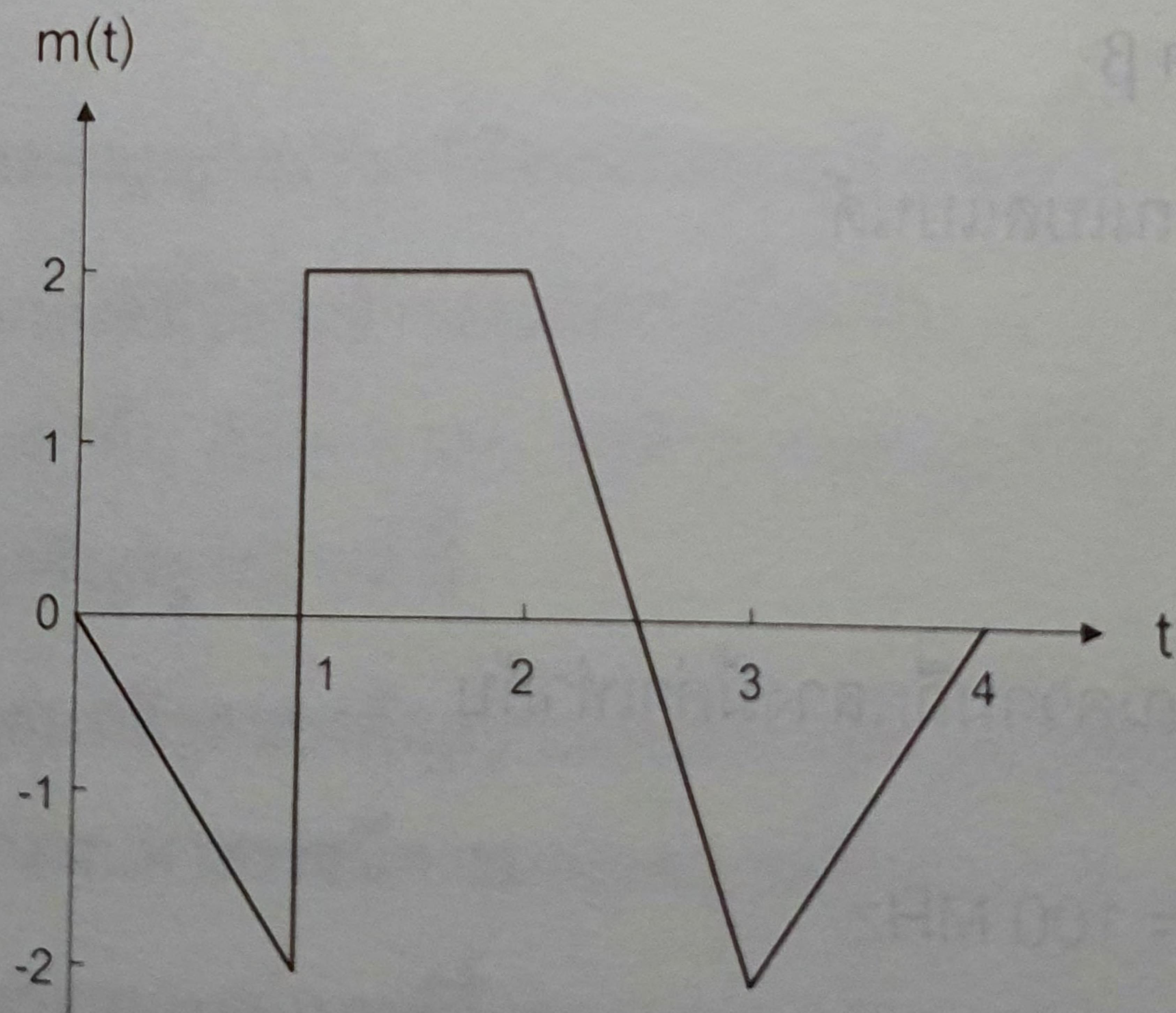
(จ) หากใช้หลักเกณฑ์ของคาร์สันจะได้แบบดิจิตที่มีค่าเท่ากับ

$$B_T = 2(\beta + 1) f_m = 2(2 + 1) 5 \text{ kHz} = 30 \text{ kHz}$$

หากใช้อัตราส่วนนี้คือพิจารณาจากค่าฟังก์ชันเบสเซลในตารางที่ 5.1 จะพบว่าไซร์แบบดิจิตที่ยังมีขนาดใหญ่อย่างมีนัยสำคัญคือ J_4 เพราะฉะนั้นแบบดิจิตของสัญญาณ FM มีค่าเท่ากับ

$$B_T = 2 \times 20 \text{ kHz} = 40 \text{ kHz}$$

5.5 วงจรกำเนิดสัญญาณ FM หนึ่งมีค่า $k_f = 25 \text{ Hz/V}$ ได้รับการ modulation ด้วยสัญญาณเบสแบบ $m(t)$ ดังที่แสดงในรูปที่ 5P.1 จงหาค่าเบี่ยงเบนความถี่และค่าเบี่ยงเบนเพล



รูปที่ 5P.1 สัญญาณเบสแบบ

5.6 วงจรกำเนิดสัญญาณ FM หนึ่งมีค่า $k_f = 15 \text{ Hz/V}$ ได้รับการ modulation ด้วยสัญญาณเบสแบบ $m(t)$ ดังที่แสดงในรูปที่ 5P.2 จงหาค่าเบี่ยงเบนความถี่และค่าเบี่ยงเบนเพล

5.9 วงจรกำเนิดสัญญาณ FM หนึ่งใช้สัญญาณคลื่นพาห์ความถี่เท่ากับ $f_c = 100 \text{ MHz}$ และมีแรงดันสูงสุดเท่ากับ 5 V สัญญาณเบสแบนด์ที่ใช้ในการmodulate เป็นสัญญาณไซนัสอยู่ด้วยความถี่เดียวกันที่มีความถี่เท่ากับ $f_m = 2 \text{ kHz}$ ผลจากการmodulate ได้สัญญาณที่มีค่าเบี่ยงเบนความถี่สูงสุดเท่ากับ $\Delta f = 75 \text{ kHz}$

- (ก) จงเขียนสมการของสัญญาณ FM
- (ข) จงวาดสเปกตรัมของสัญญาณ FM
- (ค) จงประมาณค่าเบนดิวิดท์ของสัญญาณ FM

วิธีทำ

สัญญาณ FM มีสมการเป็น

$$s(t) = 5 \cos[2\pi 10^8 t + 37.5 \sin(2\pi 2000t)]$$

5.10 สัญญาณ FM หนึ่งใช้คลื่นพาห์ที่มีความถี่ $f_c = 10 \text{ kHz}$ และ $k_f = 12.5 \text{ Hz/V}$ สัญญาณเบสแบนด์ที่ใช้ในการmodulate มีค่าเป็น $m(t) = 40 \cos(2\pi \times 100t)$ จงคำนวณหาค่าต่อไปนี้

- (ก) ค่าดารูชนีการmodulate
- (ข) วาดสเปกตรัมของสัญญาณ FM
- (ค) สัญญาณนี้จัดเป็นสัญญาณ FM แบบใดบ้าง หรือไม่ จงให้เหตุผลประกอบ
- (ง) ถ้านำสัญญาณ $m(t)$ นี้ไปmodulate ในวงจร PM จงหาค่า k_p ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ดารูชนีการmodulate เท่าเดิม

5.11 สัญญาณเบสแบนด์หนึ่งมีค่า $|m(t)|$ สูงสุดเท่ากับ 5 V และมีแบนดิวิดท์กว้าง $W = 25 \text{ kHz}$ เมื่อนำไปmodulate สัญญาณแบบ FM ที่มีค่า k_f ต่าง ๆ กันดังนี้คือ

- (ก) 20 Hz/V
- (ข) 200 Hz/V
- (ค) 2 kHz/V
- (ง) 20 kHz/V

จงประมาณค่าแบนดิวิดท์ของสัญญาณในแต่ละกรณีโดยใช้กฎของคาร์สัน

วิธีทำ

(๑) จากโจทย์ $\Delta f = 5 \times k_f = 5 \times 20 = 100 \text{ Hz}$

$$D = \frac{\Delta f}{W} = \frac{100 \text{ Hz}}{25 \text{ kHz}} = 0.004$$

$$B_T = 2(D+1)W = 2 \times (0.004+1) \times 25 \text{ kHz} = 50.02 \text{ kHz}$$

(๒) จากโจทย์ $\Delta f = 5 \times k_f = 5 \times 200 = 1000 \text{ Hz}$

$$D = \frac{\Delta f}{W} = \frac{1000 \text{ Hz}}{25 \text{ kHz}} = 0.04$$

$$B_T = 2(D+1)W = 2 \times (0.04+1) \times 25 \text{ kHz} = 52 \text{ kHz}$$

(๓) จากโจทย์ $\Delta f = 5 \times k_f = 5 \times 2 \text{ kHz} = 10 \text{ kHz}$

$$D = \frac{\Delta f}{W} = \frac{10 \text{ kHz}}{25 \text{ kHz}} = 0.4$$

$$B_T = 2(D+1)W = 2 \times (0.4+1) \times 25 \text{ kHz} = 70 \text{ kHz}$$

(๔) จากโจทย์ $\Delta f = 5 \times k_f = 5 \times 20 \text{ kHz} = 100 \text{ kHz}$

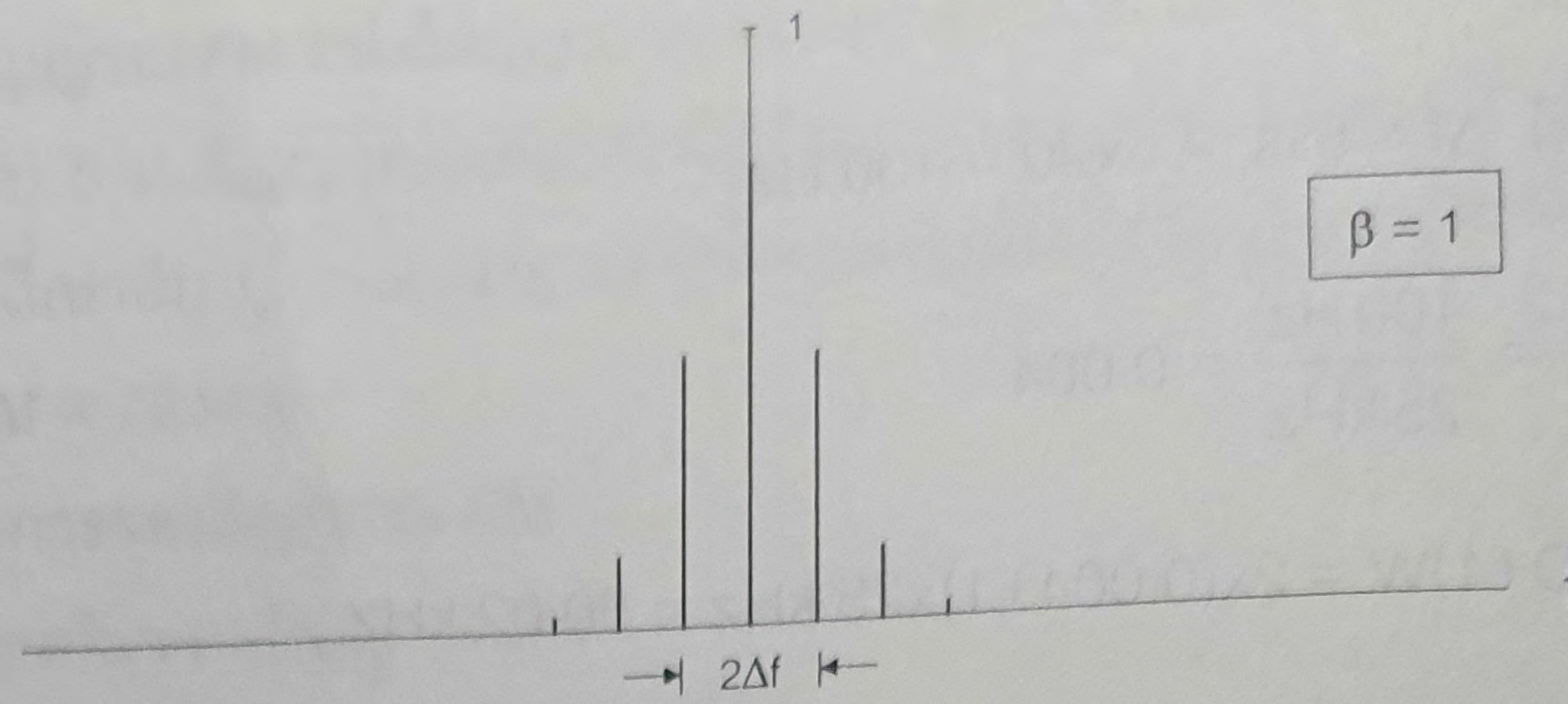
$$D = \frac{\Delta f}{W} = \frac{100 \text{ kHz}}{25 \text{ kHz}} = 4$$

$$B_T = 2(D+1)W = 2 \times (4+1) \times 25 \text{ kHz} = 250 \text{ kHz}$$

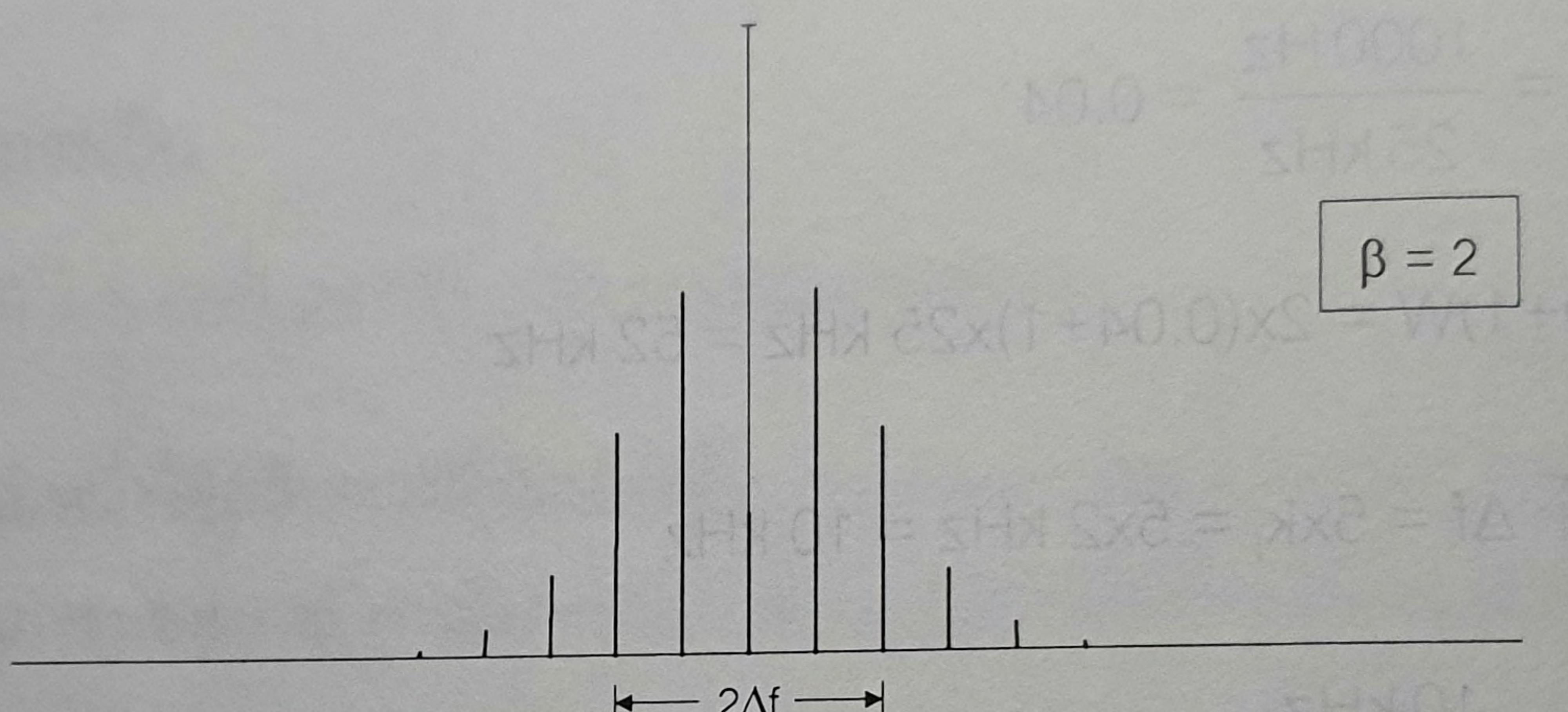
5.12 จงวัดและเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณ FM ที่ถูกมอดูเลตจากสัญญาณเบสแบนด์ ใช้ชุดอย์ความถี่เดียว 3 กรณีคือ สัญญาณที่มีธรรมชาติการมอดูเลตต่างกัน 3 ค่าคือ $\beta = 1, 2$ และ 5 โดยอาศัยการปรับเปลี่ยนแอมพลิจูดของสัญญาณเบสแบนด์ ทั้งนี้กำหนดให้ สัญญาณเบสแบนด์มีความถี่คงที่เท่ากันทั้ง 3 กรณี

วิธีทำ

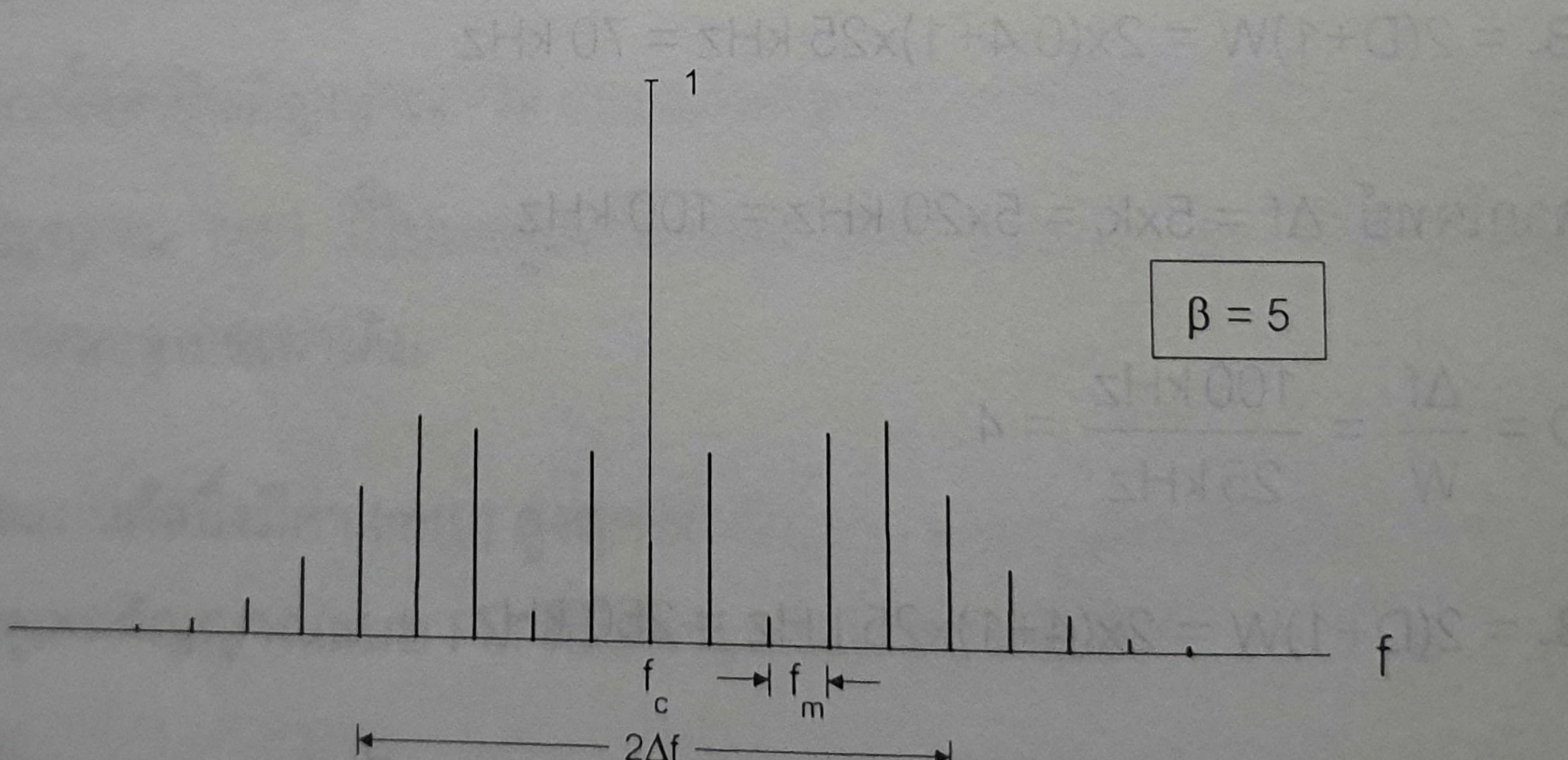
จากโจทย์เรารสามารถแสดงสเปกตรัมของสัญญาณ FM ที่มีค่า β แตกต่างกันได้ดังในรูปที่ 5P.4 จากรูปจะเห็นว่าค่าเบี่ยงเบนความถี่สูงสุดมีขนาดเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของธรรมชาติการมอดูเลต β



(η)



(ω)



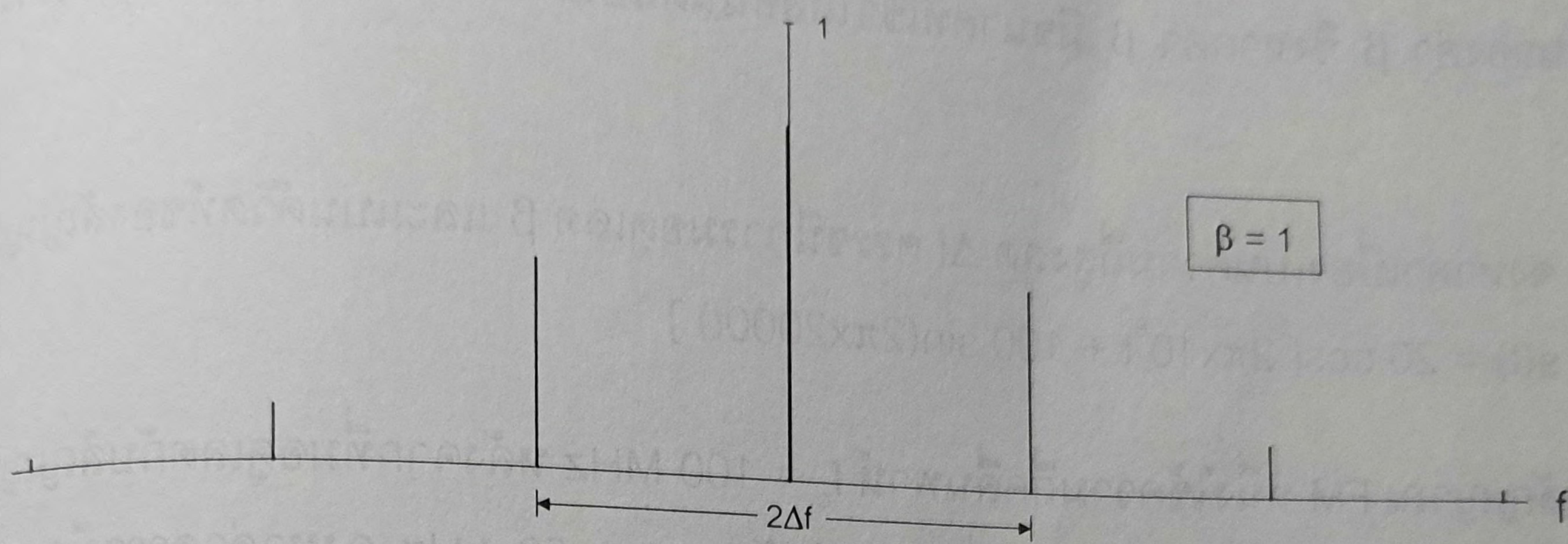
(κ)

รูปที่ 5P.4 สเปกตรัมของสัญญาณ FM ที่มีค่า β ต่างกัน (แสดงสเปกตรัมเพียงด้านเดียว)

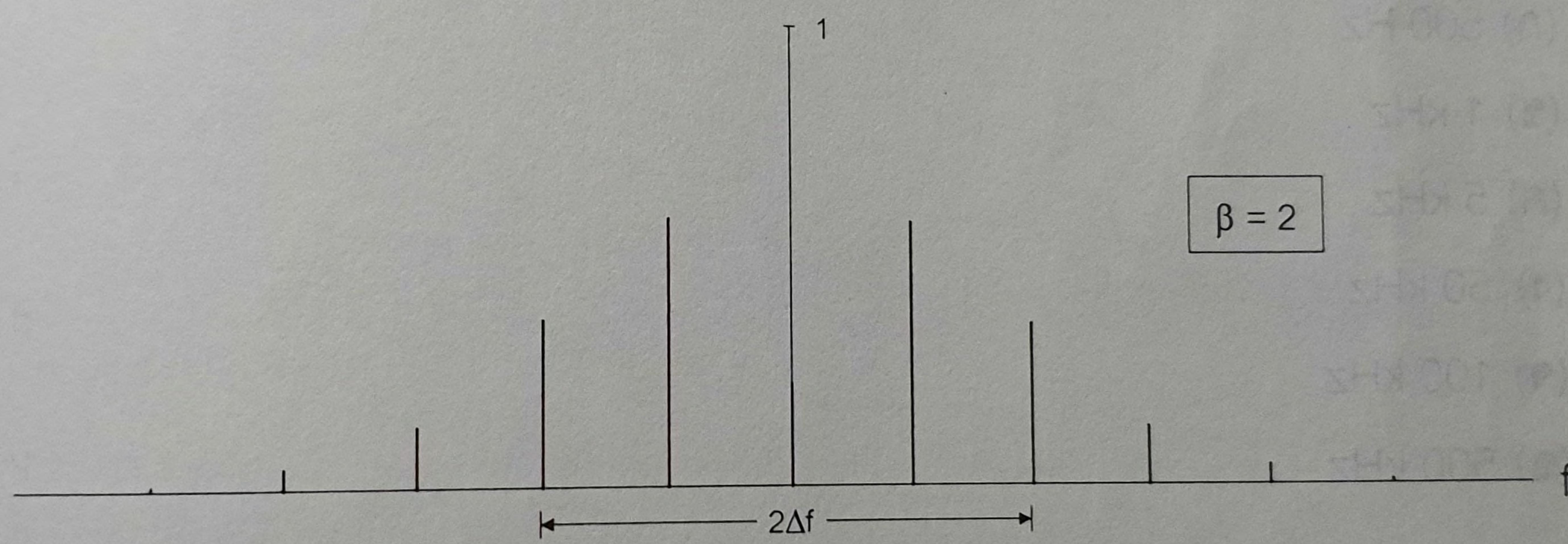
- 5.13 จงหาดและเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณ FM ที่ถูก modulation จากสัญญาณเบสแบนด์ ใช้ชุดของค่า β ที่เดียว 3 กรณีคือ สัญญาณที่มี modulation ต่างกัน 3 ค่าคือ $\beta = 1, 2$ และ 5 โดยอาศัยการปรับเปลี่ยนค่า β ของสัญญาณเบสแบนด์ ทั้งนี้กำหนดให้ Δf

จุดของสัญญาณเบสแนดมีค่าคงที่เท่ากันทั้ง 3 กรณี ซึ่งก็คือการกำหนดให้ค่าเบียงเบนความถี่สูงสุด Δf คงที่นั่นเอง

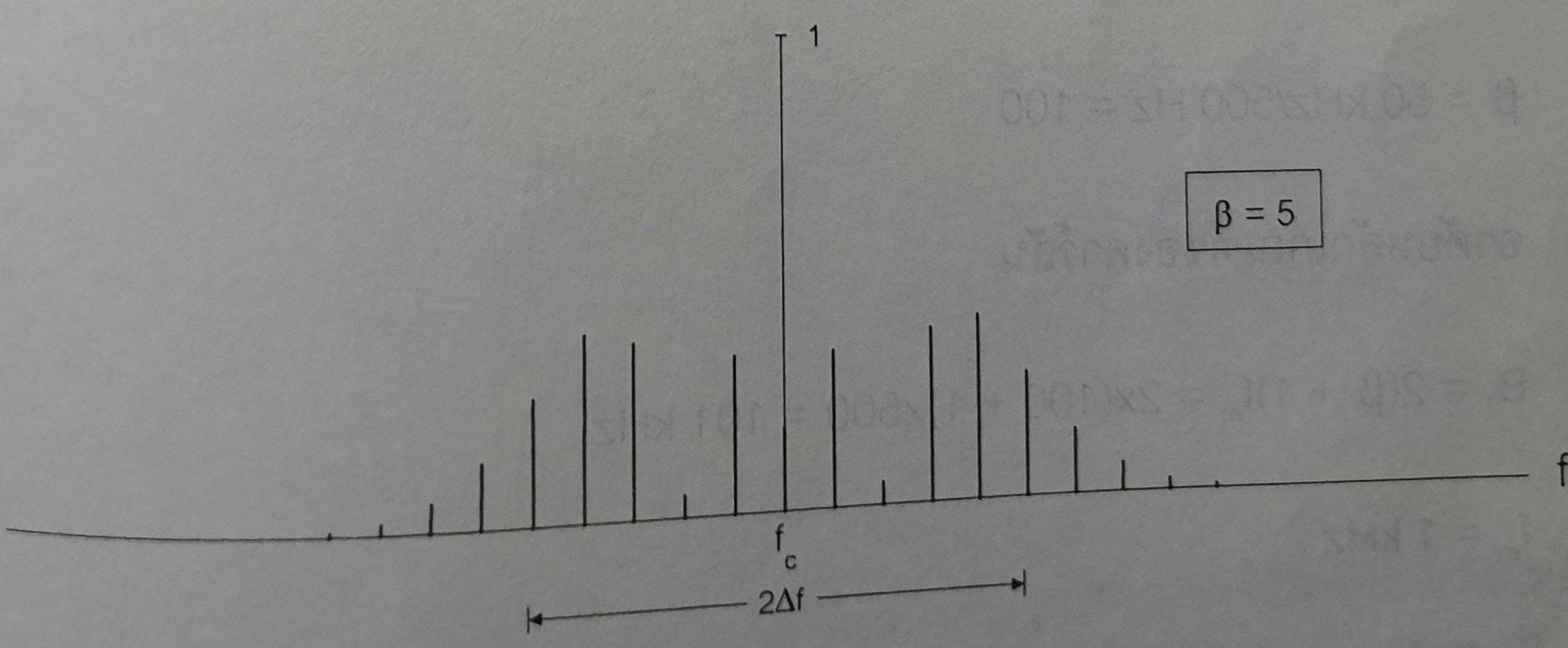
วิธีที่



(η)



(ω)



(κ)

ข้อที่ 5P.5 สเปกตรัมของสัญญาณ FM ที่มีค่า β ต่างกัน (แสดงสเปกตรัมเพียงด้านเดียว)

จากโจทย์เรารสามารถแสดงสเปกตรัมของสัญญาณ FM ที่มีค่า β แตกต่างกันได้ดังในรูปที่ 5P.5 จากรูปจะเห็นว่าเมื่อเรากำหนดให้ค่าเบี่ยงเบนความถี่สูงสุด Δf มีค่าคงที่และเปลี่ยนค่าธรรมนี การมอดูเลตไป จำนวนของเส้นสเปกตรัมที่อยู่ภายใต้ $f_c - \Delta f < |f| < f_c + \Delta f$ มีมากขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่า β ซึ่งหากค่า β มีขนาดที่เข้าใกล้กับ 1 แบบดิจิตอลท์ของสัญญาณ FM ก็จะเข้าใกล้ $2\Delta f$

5.14 จงหาค่าเบี่ยงเบนความถี่สูงสุด Δf ธรรมนีการมอดูเลต β และแบบดิจิตอลท์ของสัญญาณ FM

$$s(t) = 20 \cos[2\pi \times 10^8 t + 100 \sin(2\pi \times 2000t)]$$

5.15 สัญญาณ FM หนึ่งใช้ความถี่คลื่นพาก $f_c = 100 \text{ MHz}$ หลังจากที่มอดูเลตกับสัญญาณเบส-แบบดิจิตอลท์ได้ค่าเบี่ยงเบนความถี่สูงสุดเท่ากับ $\Delta f = 50 \text{ kHz}$ จงหาค่าธรรมนีการมอดูเลต และแบบดิจิตอลท์ของสัญญาณโดยที่สัญญาณเบสแบบดิจิตอลท์มีความถี่ f_m ต่างกันดังนี้

(ก) 500 Hz

(ข) 1 kHz

(ค) 5 kHz

(ง) 50 kHz

(จ) 100 kHz

(ฉ) 500 kHz

วิธีทำ

$$(ก) f_m = 500 \text{ Hz}$$

$$\beta = 50 \text{ kHz} / 500 \text{ Hz} = 100$$

อาศัยหลักเกณฑ์ของคาร์สัน

$$B_T = 2(\beta + 1)f_m = 2 \times (100 + 1) \times 500 = 101 \text{ kHz}$$

$$(ข) f_m = 1 \text{ kHz}$$

$$\beta = 50 \text{ kHz} / 1 \text{ kHz} = 50$$

$$B_T = 2 \times (50 + 1) \times 1 \text{ kHz} = 102 \text{ kHz}$$

$$(ก) f_m = 5 \text{ kHz}$$

$$\beta = 50 \text{ kHz}/5 \text{ kHz} = 10$$

$$B_T = 2 \times (10 + 1) \times 5 \text{ kHz} = 110 \text{ kHz}$$

$$(ก) f_m = 50 \text{ kHz}$$

$$\beta = 50 \text{ kHz}/50 \text{ kHz} = 1$$

$$B_T = 2 \times (1 + 1) \times 50 \text{ kHz} = 200 \text{ kHz}$$

$$(ก) f_m = 100 \text{ kHz}$$

$$\beta = 50 \text{ kHz}/100 \text{ kHz} = 0.5$$

$$B_T = 2 \times (0.5 + 1) \times 100 \text{ kHz} = 300 \text{ kHz}$$

แต่ถ้าพิจารณาว่า β ที่มีค่าขนาดนี้ก็คือสัญญาณ FM แบบความถี่แคบ

$$B_T = 2 \times f_m = 2 \times 100 \text{ kHz} = 200 \text{ kHz}$$

$$(ก) f_m = 500 \text{ kHz}$$

$$\beta = 50 \text{ kHz}/500 \text{ kHz} = 0.1$$

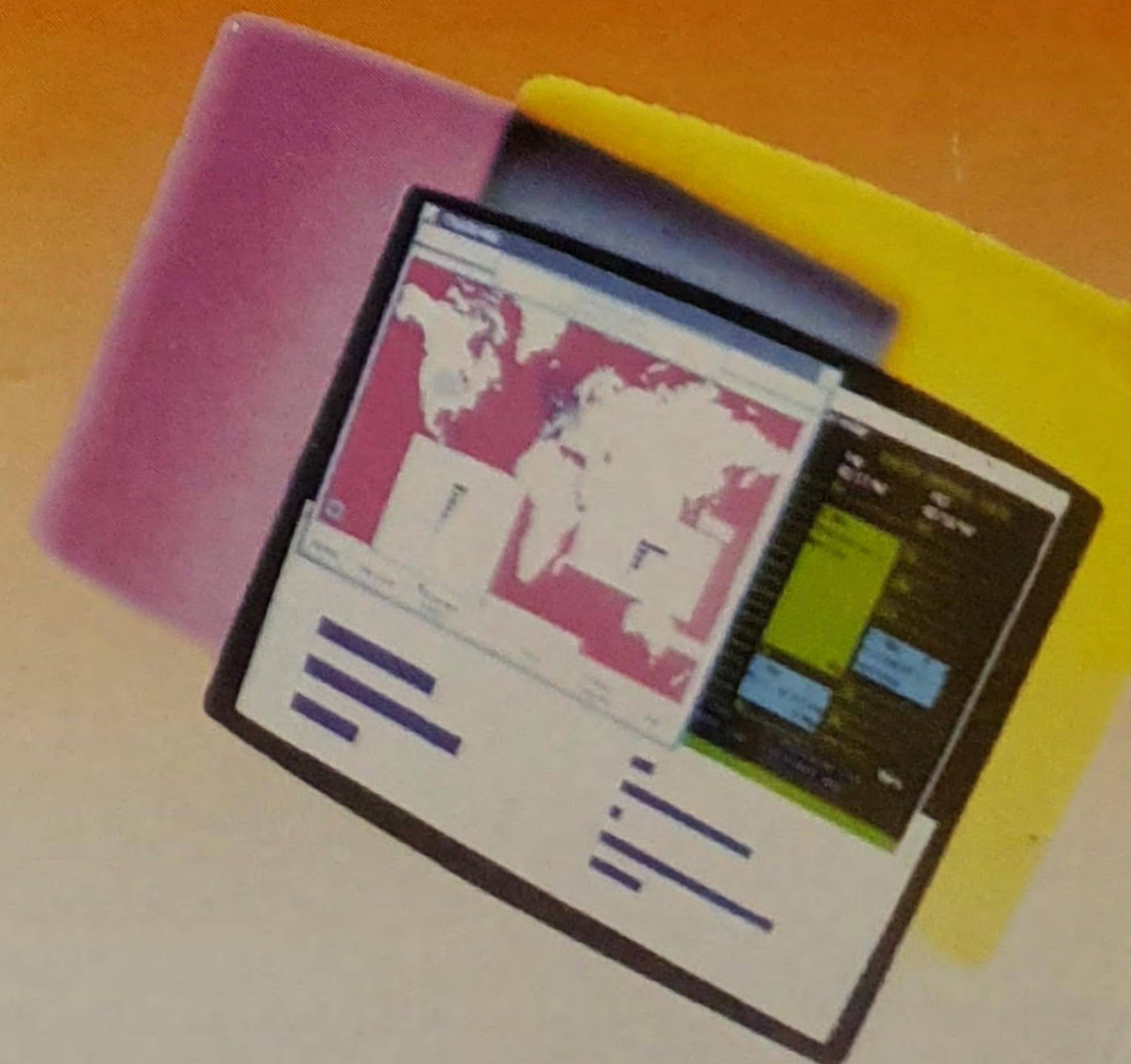
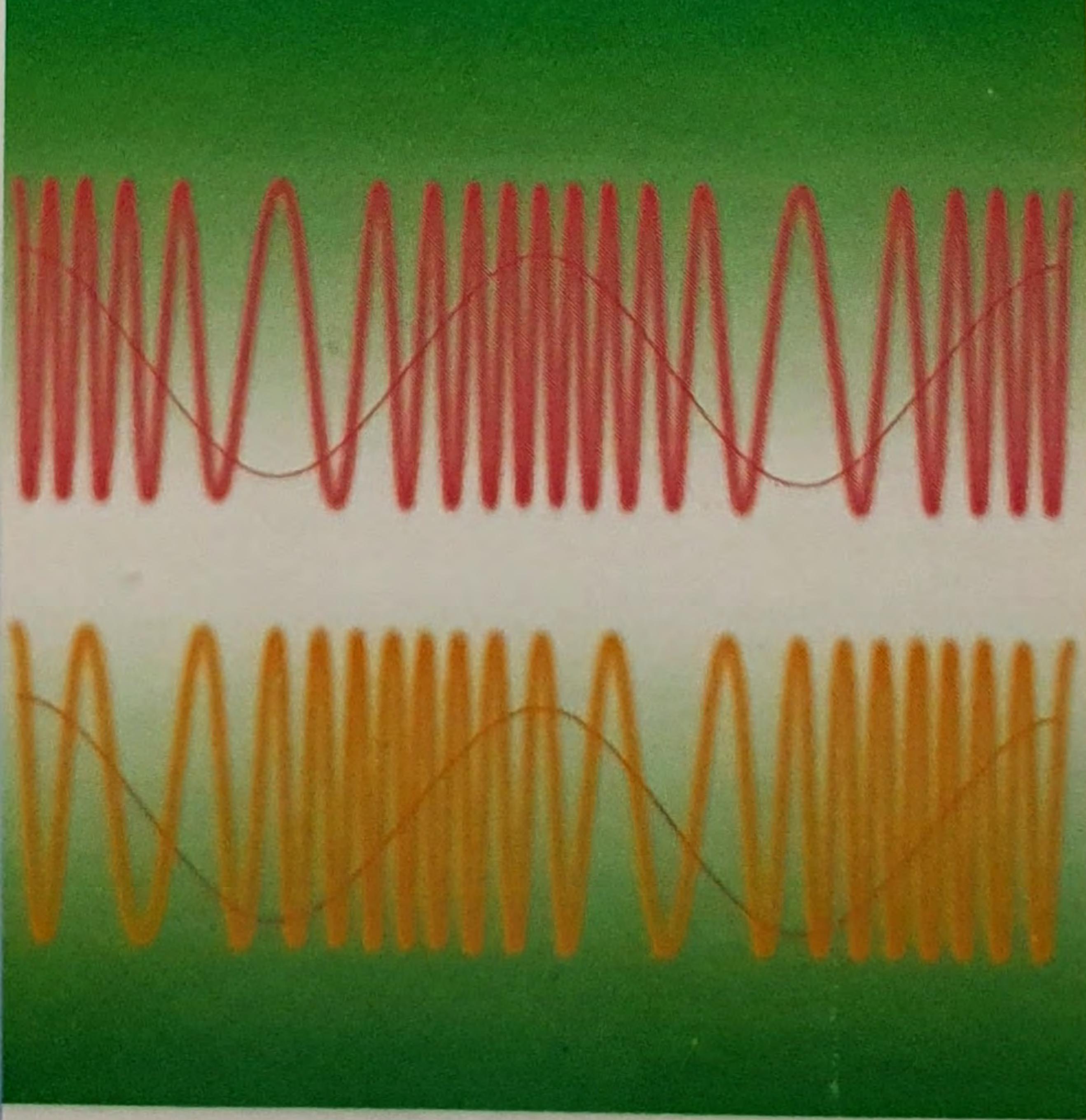
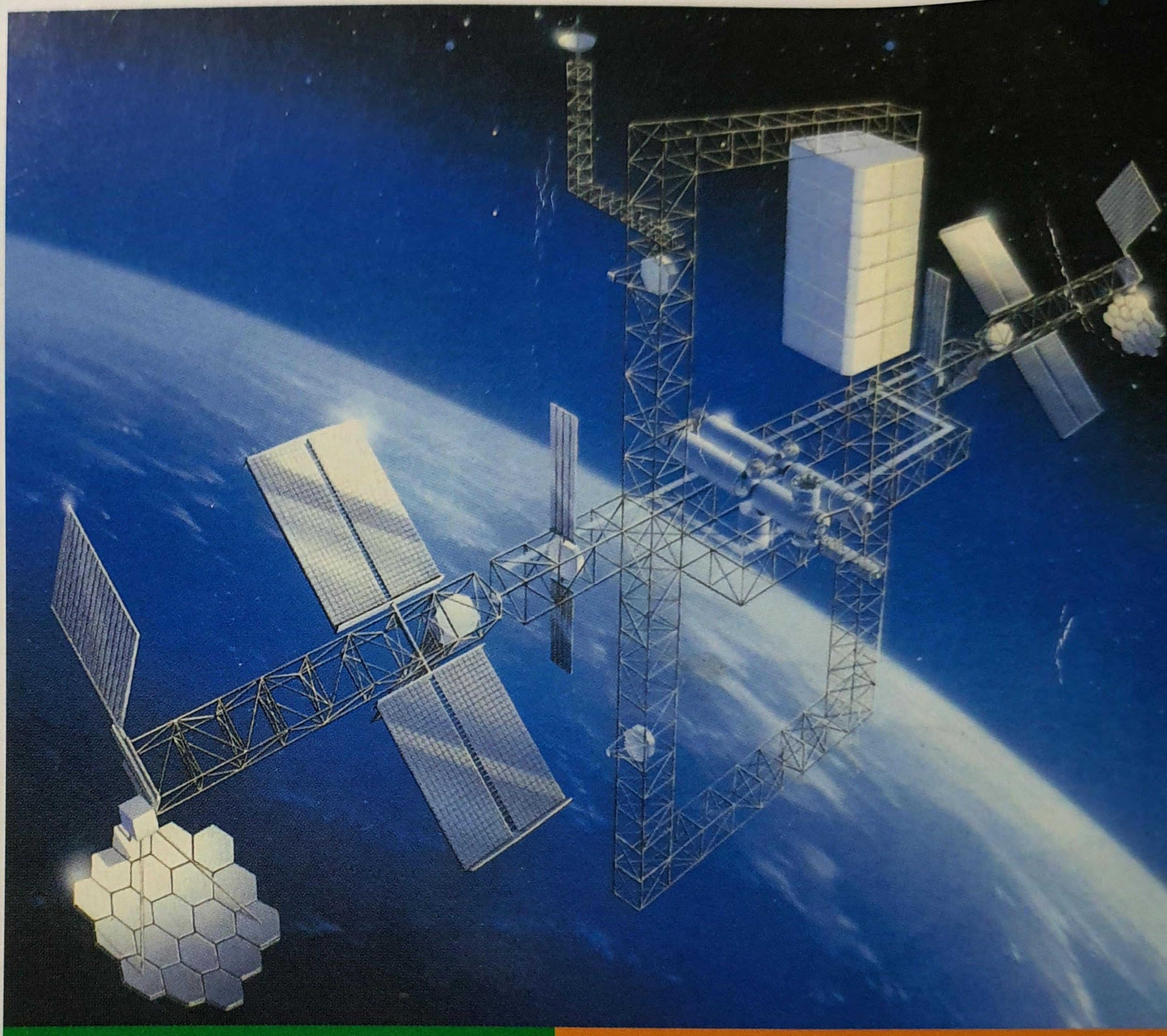
$$B_T = 2 \times (0.1 + 1) \times 500 \text{ kHz} = 1.1 \text{ MHz}$$

แต่ถ้าพิจารณาว่า β ที่มีค่าขนาดนี้ก็คือสัญญาณ FM แบบความถี่แคบ

$$B_T = 2 \times f_m = 2 \times 500 \text{ kHz} = 1 \text{ MHz}$$

- 5.16 สัญญาณ FM หนึ่งถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณเบสแบนด์ที่มีความถี่ $f_m = 3 \text{ kHz}$ และทำให้มีค่าเบี่ยงเบนความถี่สูงสุด $\Delta f = 30 \text{ kHz}$ จงหาแบนด์วิดท์ของสัญญาณ FM นี้ และถ้าหาก

ศูนย์สื่อสารมวลชน



ลังกาส วูฒิสิทธิกุลกิจ