



Analog Transmission:

Modulation of Analog Signals

Paramate Horkaew

School of Computer Engineering
Institute of Engineering, Suranaree University of Technology



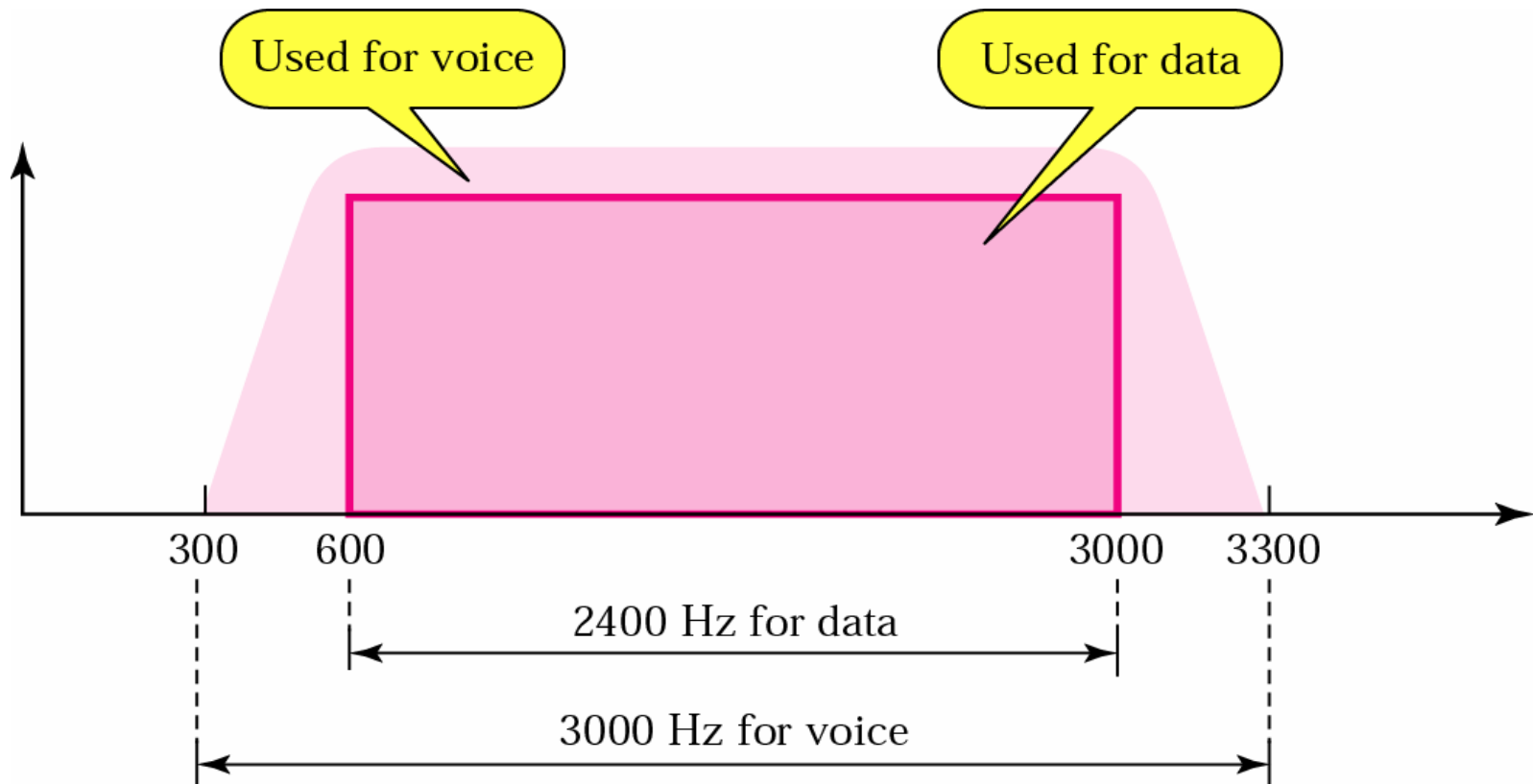
Lecture Outline

- Modulations of Digital Data
 - Digital to Analog Conversions
 - ASK, FSK, PSK and QAM Techniques
 - Bit and Baud Comparison
- Telephone Modems
 - Modem Standards
- Modulation of Analog Signals
 - Amplitude Modulation (AM)
 - Frequency Modulation (FM)
 - Phase Modulation (PM)
- Summary



Telephones for Digital TX

สัญญาณเสียง Analog ยอมรับความผิดเพี้ยนได้สูง หากยังสามารถสื่อสารเข้าใจ
การส่งข้อมูล Digital ต้องการความบริบูรณ์ (Integrity) ดังนั้น BW ของสัญญาณ
ต้อง แคบกว่าของตัวกลาง เพื่อป้องกันการผิดเพี้ยนของสัญญาณ และการรบกวน



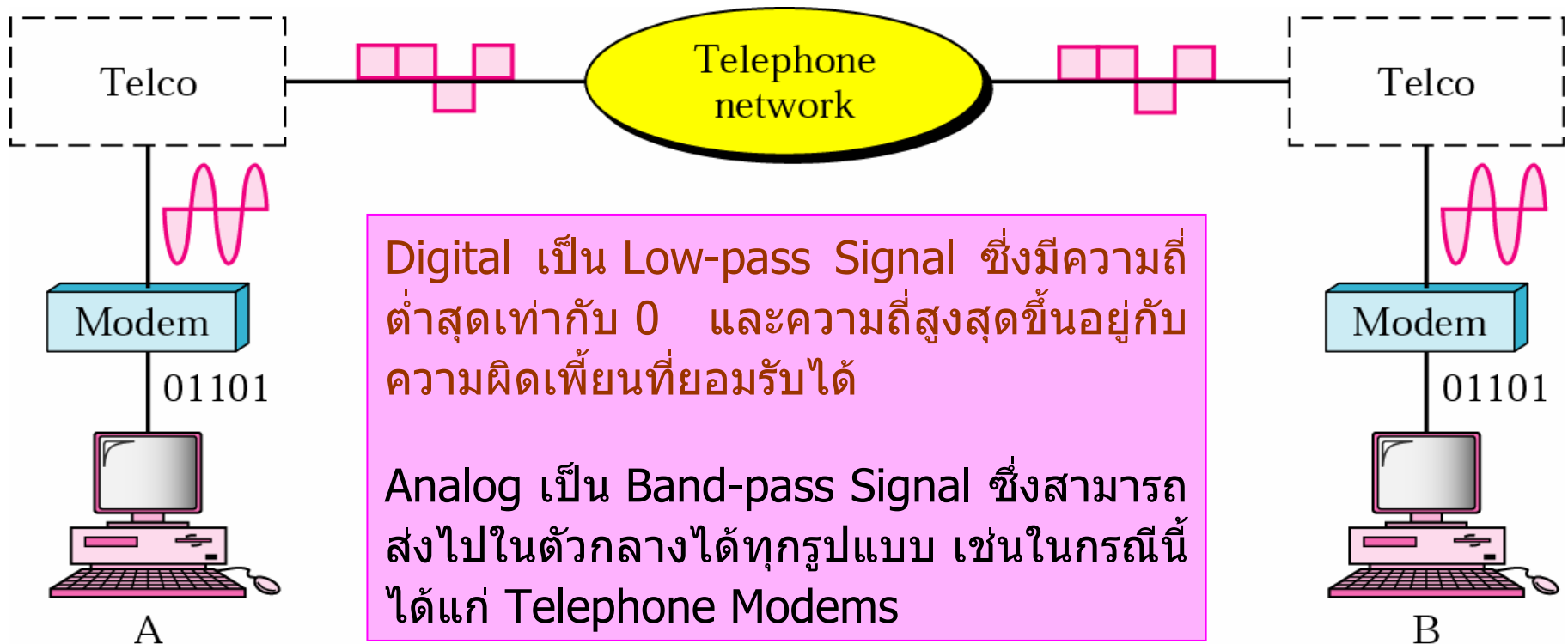


Telephone Modems

MODEM ย่อมาจาก

Modulation หมายถึง การสร้าง Band-pass Analog Signal จาก Digital Data

Demodulation หมายถึง การกู้ Digital Data คืนจาก Modulated Signal

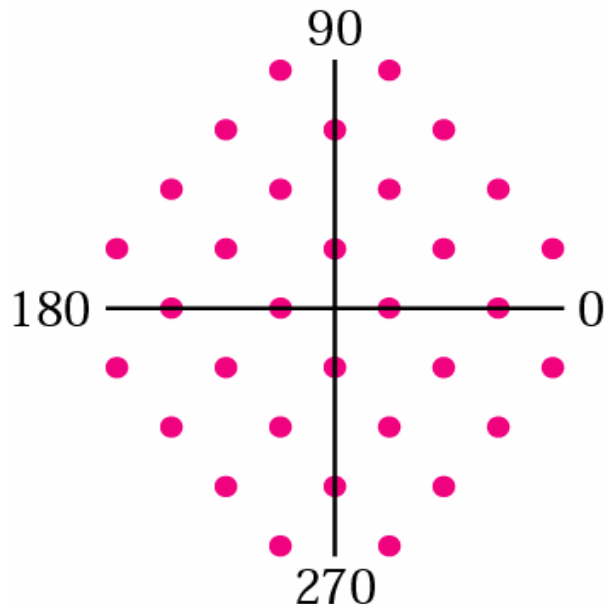


Modem Standards (I)

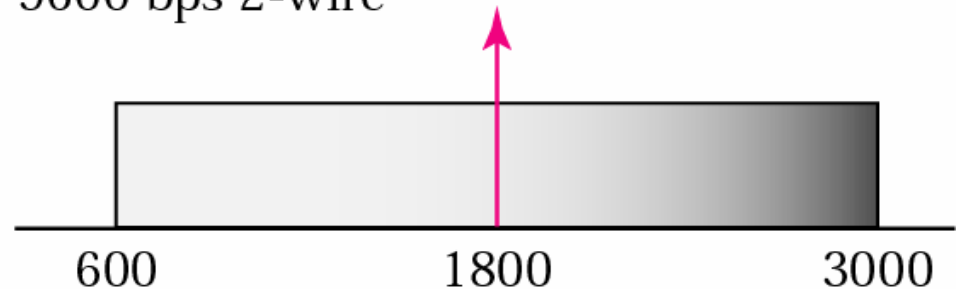
ตามข้อกำหนดของ ITU-T มาตรฐานของ MODEM อยู่บนพื้นฐานของ V-Series

V.32 ใช้การเข้ารหัสแบบ Trellis Coded Modulation

- สัญญาณมีขนาด 5 บิต ประกอบด้วยข้อมูล 4 บิต และ Redundant 1 บิต
- เข้ารหัสสัญญาณด้วย 32-QAM ด้วยความเร็ว 2 400 Baud (**9 600** bps)



FDX 2400 baud
9600 bps 2-wire



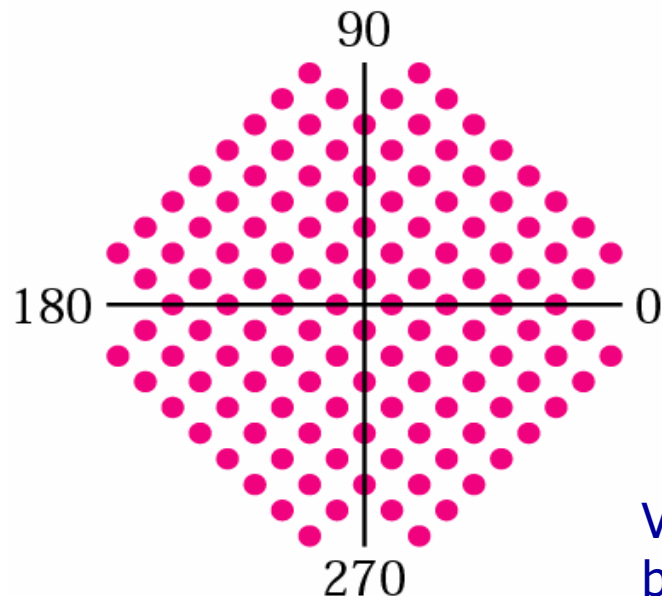
Redundant บิต ใช้สำหรับลดความน่าจะเป็นใน
การถอดรหัสข้อมูลผิดพลาด

Modem Standards (II)

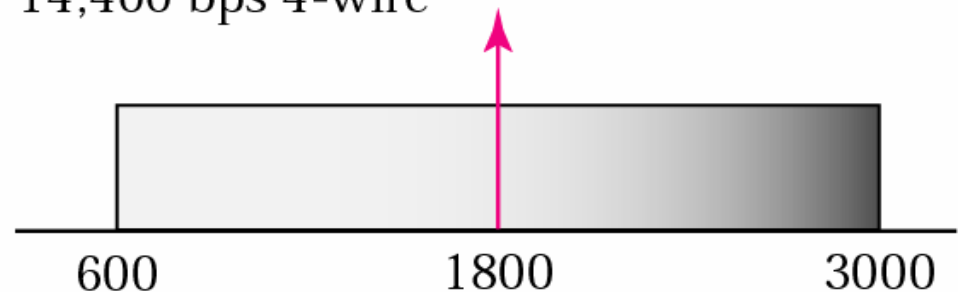
V.32bis สามารถปรับความเร็วการส่งให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ตามคุณภาพของตัวกลาง

V.32bis ใช้การเข้ารหัสแบบ **Trellis Coded Modulation**

- สัญญาณมีขนาด 7 บิต ประกอบด้วยข้อมูล 6 บิต และ Redundant 1 บิต
- เข้ารหัสสัญญาณด้วย 128-QAM ด้วยความเร็ว 2 400 Baud (**14 400** bps)



FDX, 2400 baud
14,400 bps 4-wire



V.34bis มีความเร็ว 28 800 bps (960-QAM) ถึง 33 600 bps (1664-QAM)



V.90 Modem

จากทฤษฎีของ Shannon Modem ทั่วไปจะมีความเร็วสูงสุด ไม่เกิน 33.6 kbps

Traditional Modem

- ข้อมูลดิจิทัล Modulate กับสัญญาณ Analog (เสียง)
- ที่สถานีแยกวงจร (Switch) สัญญาณ Analog จะถูกทำ PCM (Pulse Coded Modulation) เพื่อส่งไปยังเครือข่ายดิจิทัล
- Shannon Capacity จำกัดอัตราข้อมูลสูงสุด 33.6 kbps

V.90 ใช้เทคนิคพิเศษในการ Modulate สามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 56 kbps

- ใช้ได้ ก็ต่อเมื่อ อย่างน้อยด้านหนึ่งของการสื่อสาร ใช้ระบบสัญญาณดิจิทัล
- Asymmetric: Upload (33.6 kbps) และ Download (56 kbps)

หมายเหตุ V.92 ปรึบความเร็ว Upload ได้ และรับสารโทรศัพท์ซ้อนได้



Traditional Modems

33.6 Kbps Limit

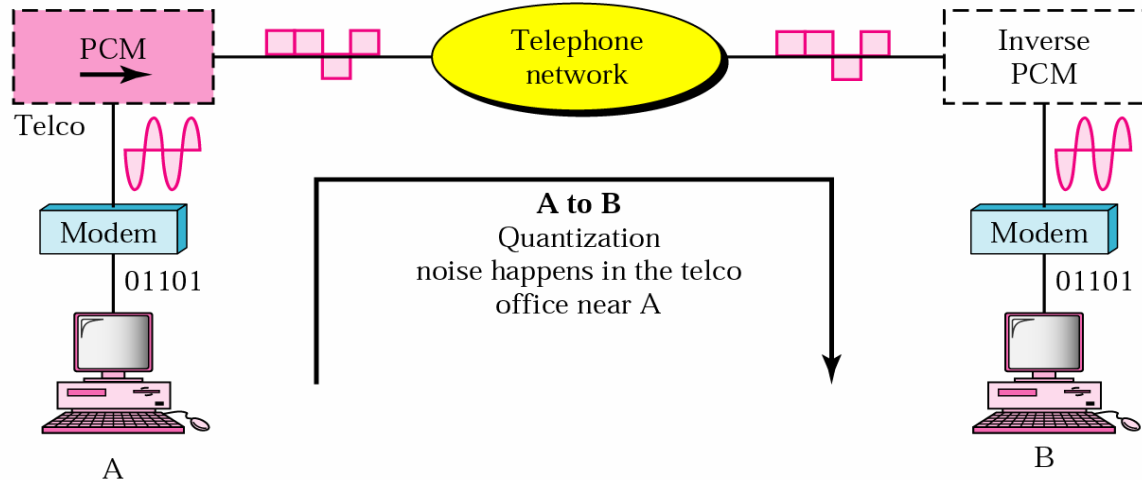
เพราะ

Quantization Noise

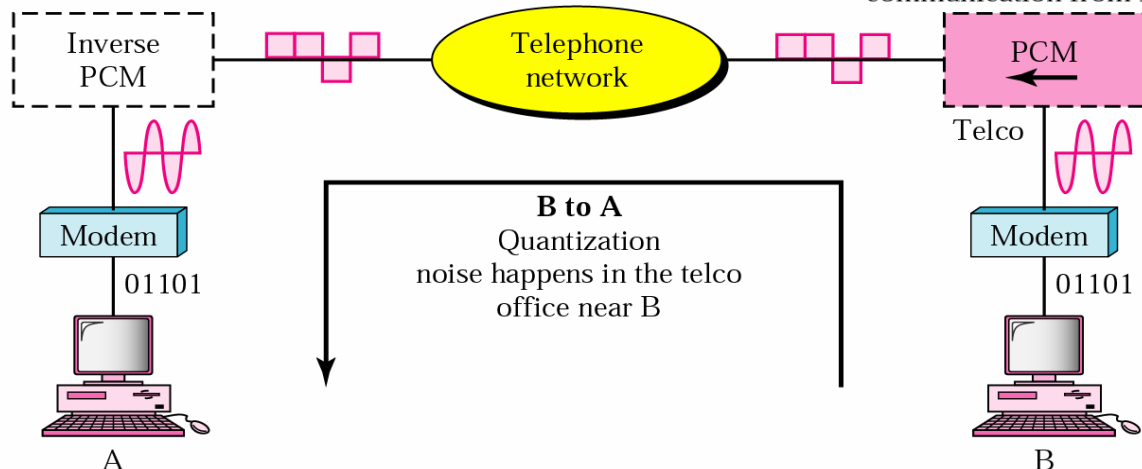
Quantization Noise

คือ สัญญาณรบกวน ที่
เกิดจากกระบวนการ
สุ่มสัญญาณ และแบ่ง
ระดับสัญญาณ ที่
ต่อเนื่องออกเป็นช่วงๆ
ซึ่งทำให้รูปสัญญาณ
ผิดเพี้ยนไป

Sampling and noise here limits
communication from A to B



Sampling and noise here limits
communication from B to A



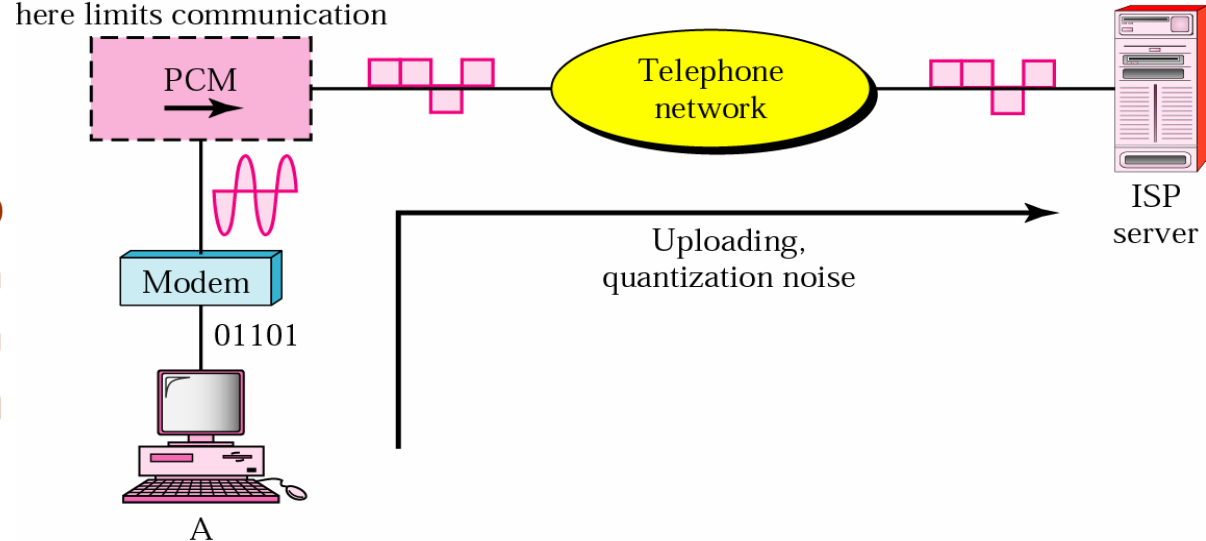


56K (V.90, 92) Modems

Sampling and noise
here limits communication

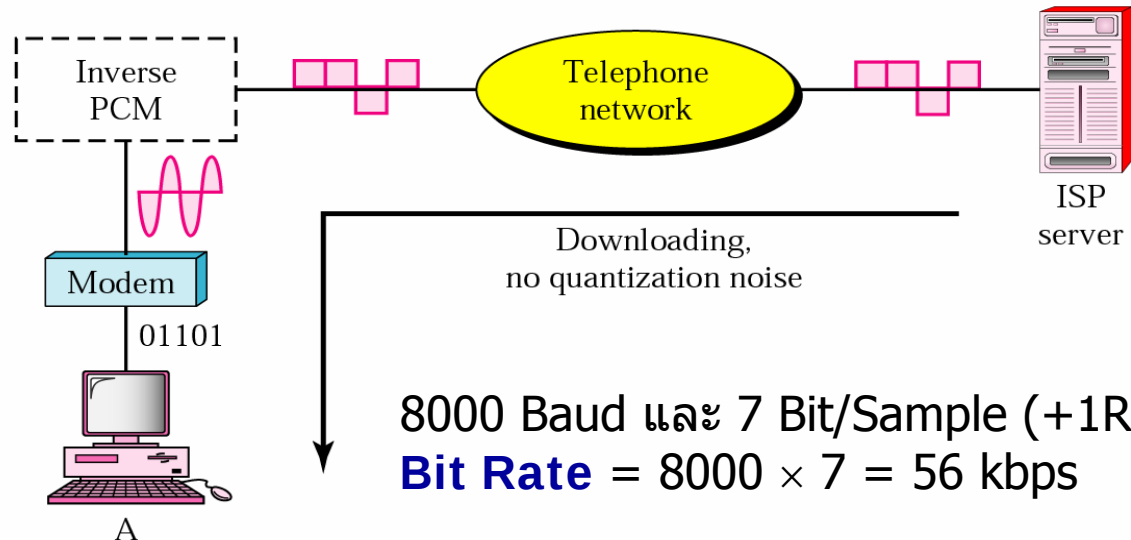
Uploading

ข้อมูล Digital จะถูก MOD
กับสัญญาณ Analog แล้ว
ผ่านกระบวนการ PCM ซึ่ง
จำกัดความเร็วในการส่งที่
33.6 kbps



Downloading

ข้อมูล Digital จาก ISP ไม่
ผ่านการ MOD และ PCM
จะถูกส่งไปในเครือข่ายได้
โดยตรง ด้วยความเร็วสูงถึง
56 kbps

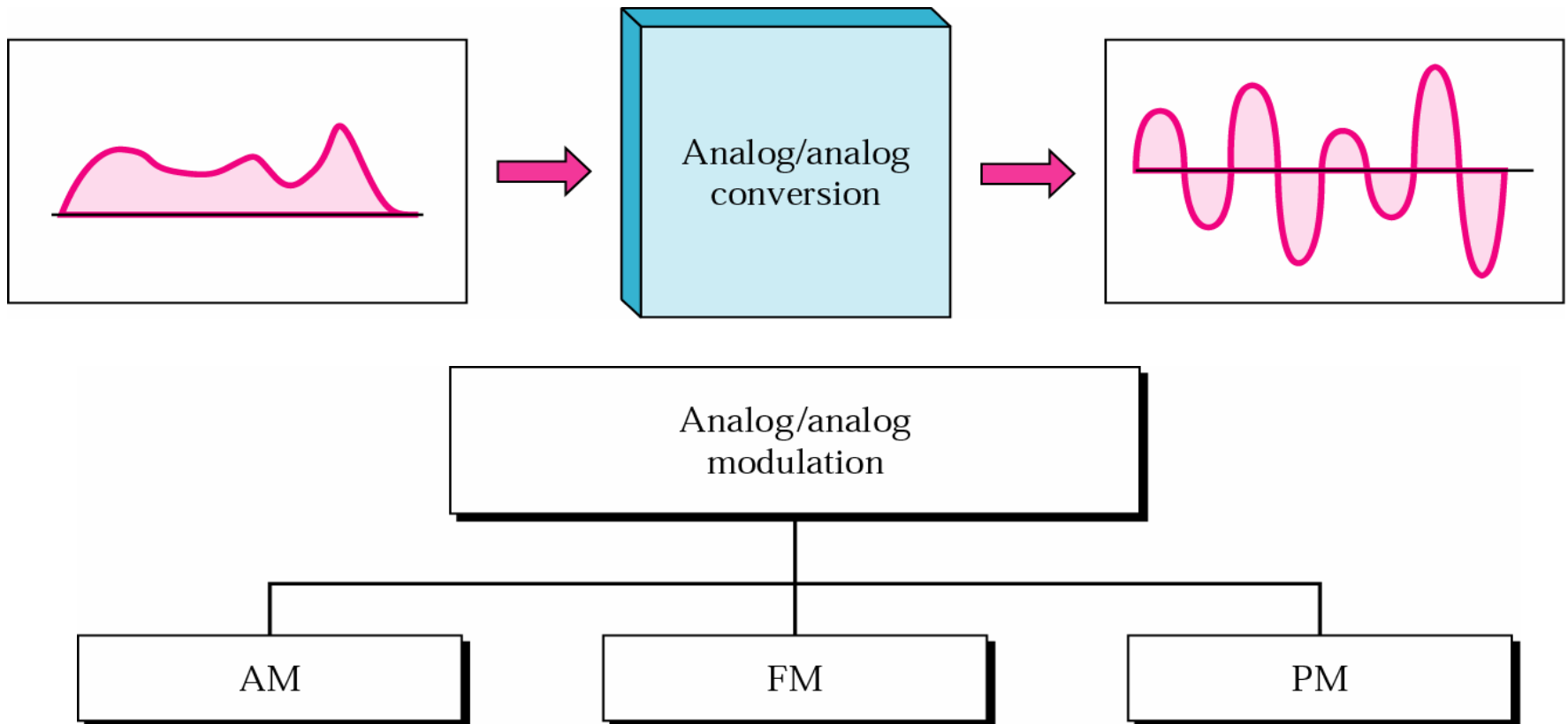


8000 Baud และ 7 Bit/Sample (+1R)
Bit Rate = $8000 \times 7 = 56 \text{ kbps}$



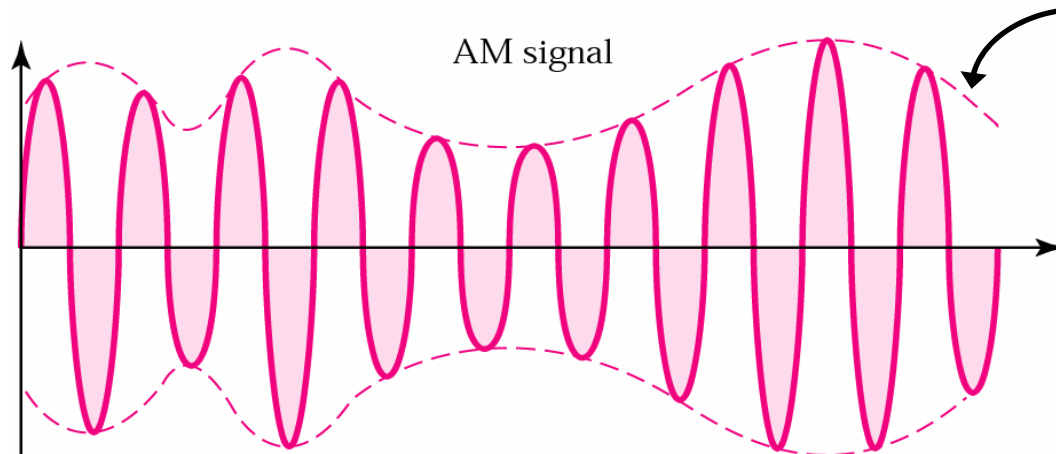
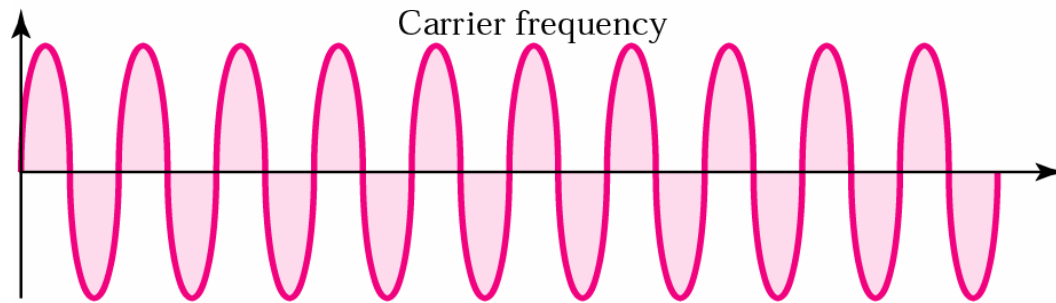
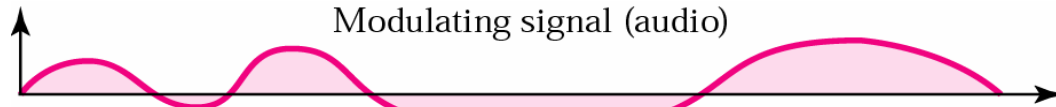
Modulation of Analog Signals

เพื่อแปลงสัญญาณ ที่มี Spectrum แบบ Low-pass หรือ Band-pass ช่วงหนึ่ง ให้เหมาะสมกับช่วง Band-pass ที่ตัวกลางสามารถรองรับได้ (**Freq. Shifting**)





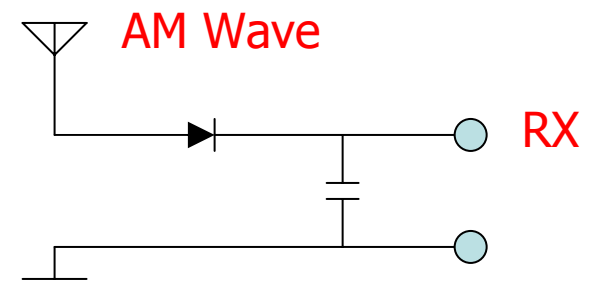
Amplitude Modulation (AM)



AM คือการ MOD ที่ความสูงของสัญญาณพาหะ (Carrier Signal) เปลี่ยนตามความสูงของสัญญาณข่าวสารที่นำมา MOD

ความถี่ และเฟส ของ Carrier คงที่

สัญญาณข่าวสารจะกลายเป็น Envelop บนสัญญาณ Carrier





AM Bandwidth

Bandwidth ของ AM มีค่าเป็น 2 เท่าของสัญญาณข่าวสารที่นำมา Modulate (Modulation Index = 1)

FCC ระบุข้อกำหนด
ของการส่งคลื่นวิทยุ
AM ไว้ดังนี้

BW ของสัญญาณ 5
kHz

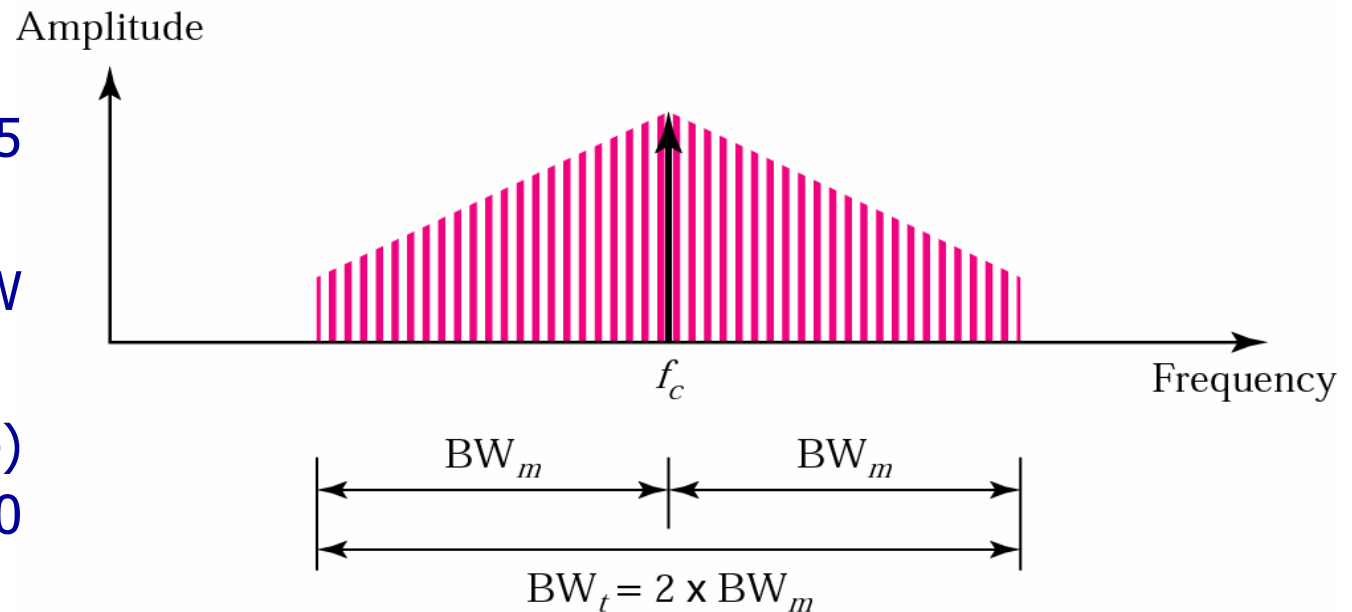
แต่ละสถานีมี BW
10 kHz

เว้นช่องว่าง (Gap)
ระหว่างสถานี 10
kHz

BW_m = bandwidth of the modulating signal (audio)

BW_t = total bandwidth (radio)

f_c = frequency of the carrier



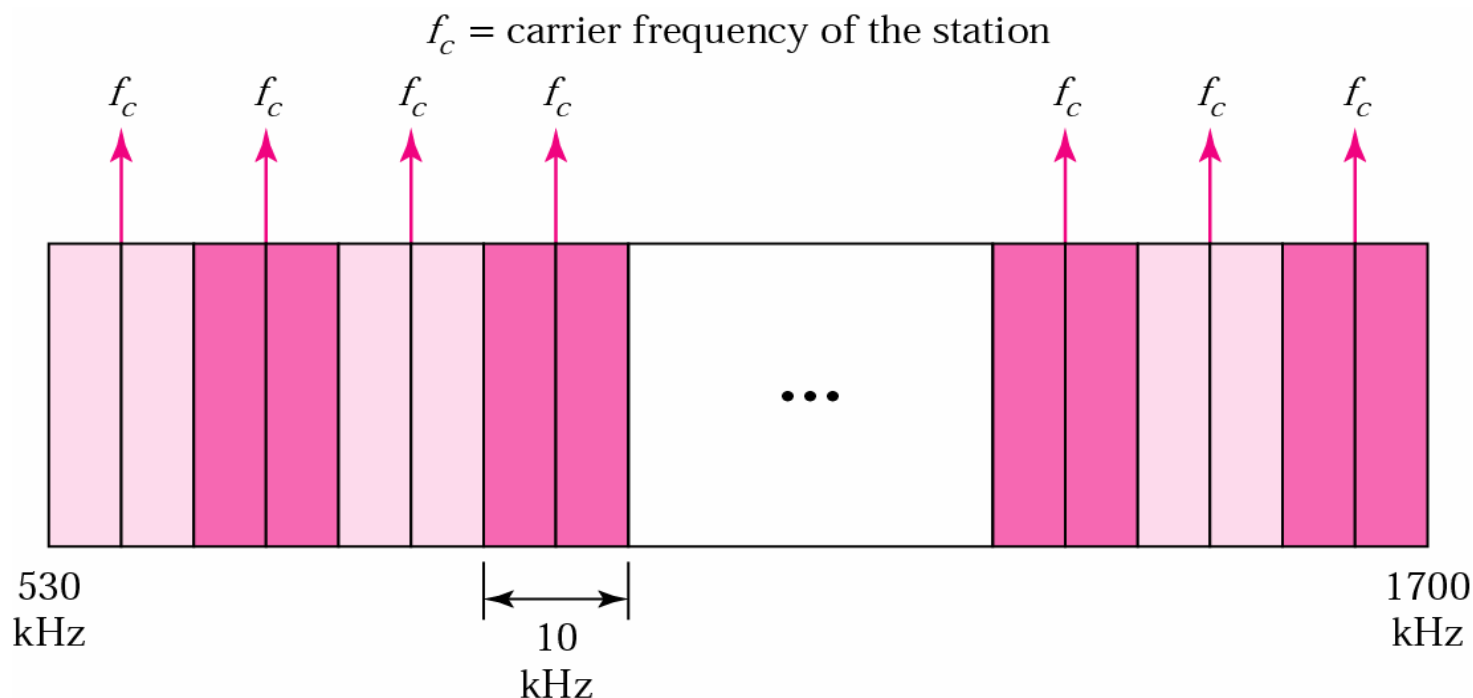


FCC: AM Band Allocation

สัญญาณพาหะของระบบวิทยุ AM อยู่ในช่วง 530 – 1 700 kHz

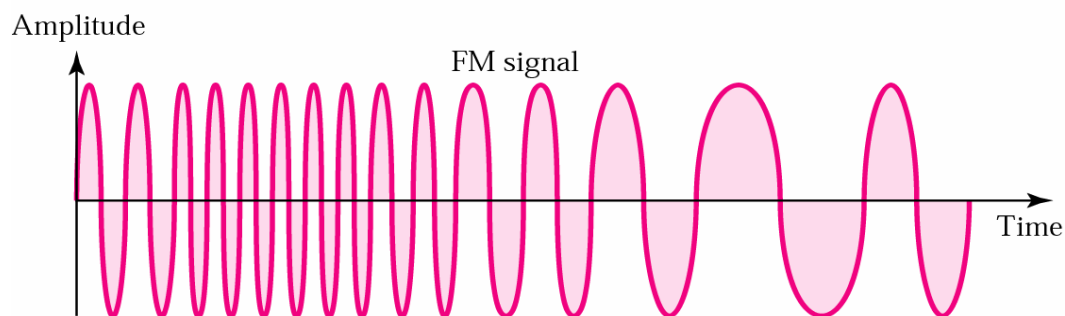
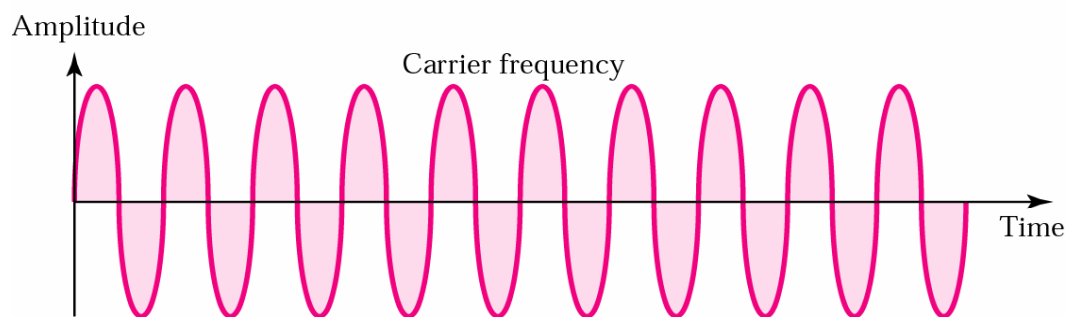
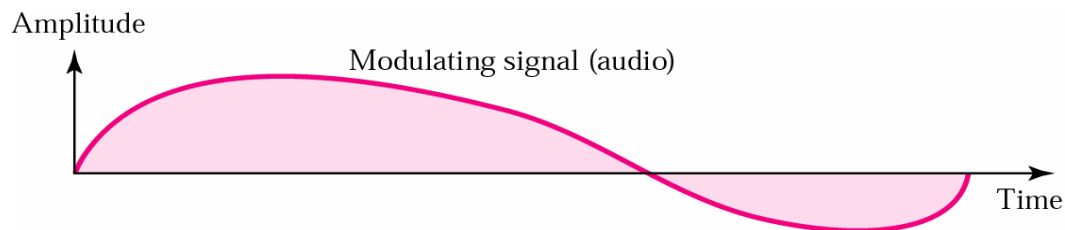
BW ระหว่างสถานีต้องเว้นไว้อย่างน้อย 10 kHz เพื่อป้องกันการรบกวน

Example ถ้า Carrier สถานีหนึ่ง มีความถี่ 1 000 kHz สถานีข้างเคียงต้องมีความถี่ 1010 และ 990 kHz ตามลำดับ

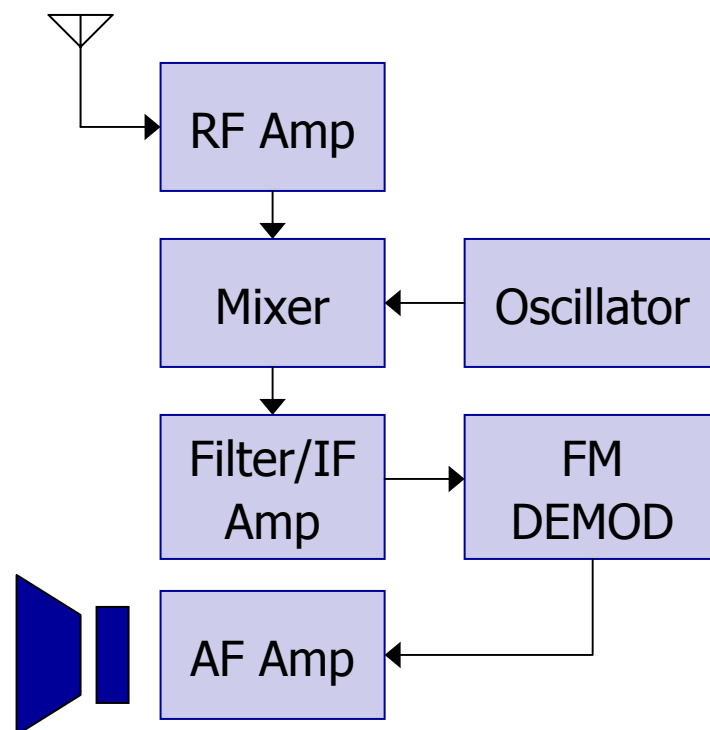




Frequency Modulation (FM)



FM คือการ MOD ที่ความถี่ของสัญญาณพาหะ (Carrier Signal) เปลี่ยนตามความสูงของสัญญาณข่าวสารที่นำมา MOD ความสูงและเฟสของ Carrier คงที่





FM Bandwidth

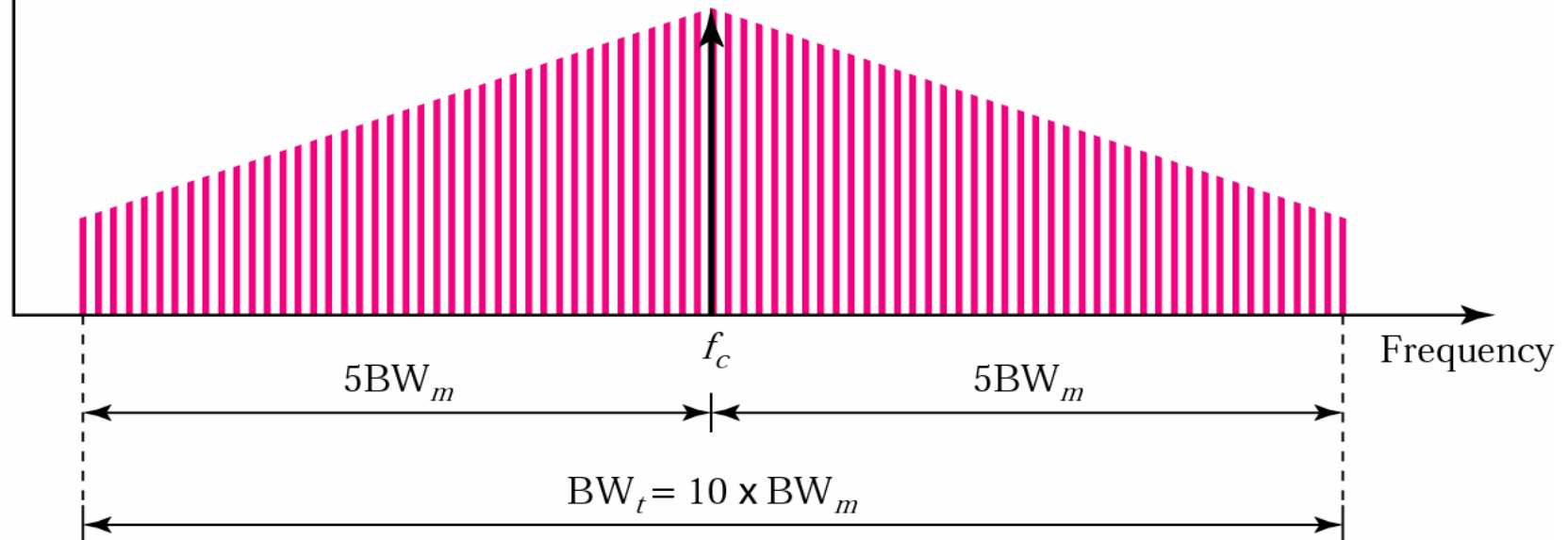
Bandwidth ของ FM มีค่าเป็น 10 เท่าของสัญญาณข่าวสารที่นำมา Modulate (สามารถวิเคราะห์ Bandwidth โดยละเอียด ด้วย Jacobi's Equations)

Amplitude

BW_m = bandwidth of the modulating signal (audio)

BW_t = total bandwidth (radio)

f_c = frequency of the carrier





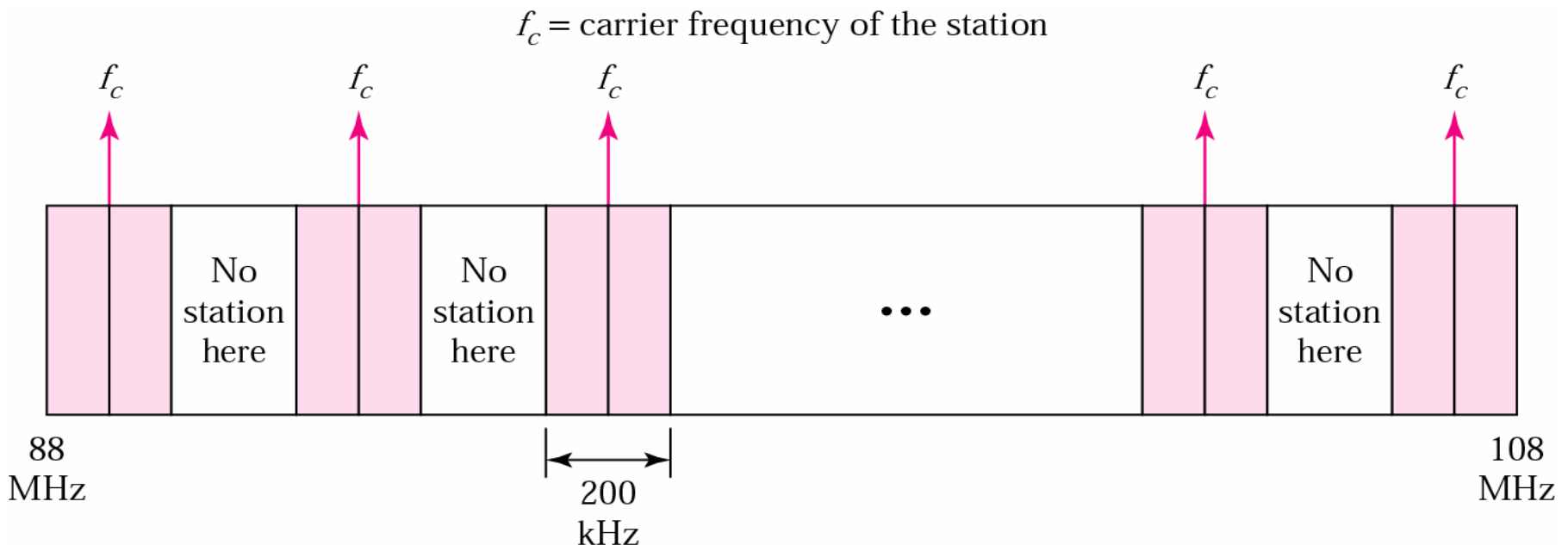
FCC: FM Band Allocation

สัญญาณพาหะของระบบวิทยุ FM อยู่ในช่วง 88 – 108 MHz

BW ของแต่ละสถานี = BW สัญญาณ FM 15×10 kHz + Guard Band 50 kHz

เพื่อความเป็นส่วนตัว จะต้องมีสถานีว่าง (200 kHz) ระหว่าง 2 สถานีติดกัน

Example ถ้า Carrier สถานีหนึ่ง มีความถี่ 106.5 MHz สถานีข้างเคียงต้องมีความถี่ $106.5 \text{ MHz} \pm 400 \text{ kHz}$





Conclusions

- Modulations of Digital Data
 - Digital to Analog Conversions
 - ASK, FSK, PSK and QAM Techniques
 - Bit and Baud Comparison
- Telephone Modems
 - Modem Standards
- Modulation of Analog Signals
 - Amplitude Modulation (AM)
 - Frequency Modulation (FM)
 - Phase Modulation (PM)
- Summary