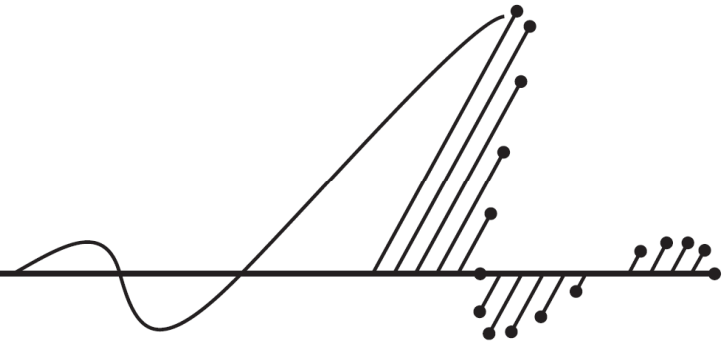




Digital Signal Processing



Chương 2

Lượng tử và mã hóa

TS. Nguyễn Thanh Tuấn
Bộ môn Viễn thông (112-114B3)
Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG TP HCM
Email: nttuan@hcmut.edu.vn



Nội dung

- Quá trình DAC
- Quá trình ADC
- Giải thuật kiểm tra bit
- Đánh giá bộ lượng tử
- Lấy mẫu dư và định dạng nhiễu
- Dither
- Đặc tuyến lượng tử



Khái niệm

- Lượng tử hóa là gì?
- Mã hóa là gì?
- Giá trị lượng tử là gì?
- Từ mã là gì?
- Bit là gì?
- ADC là gì?
- DAC là gì?



Khái niệm (đáp án)

- Lượng tử hóa (quantization) là quá trình **xấp xỉ** một tập đại lượng có nhiều giá trị (thường **vô hạn/thay đổi liên tục**) bằng một tập đại lượng có ít giá trị hơn (thường **hữu hạn/thay đổi rời rạc**).
- Mã hóa là quá trình **chuyển đổi** thứ này thành thứ khác (thường dưới dạng ký hiệu) theo quy tắc định trước.
- Giá trị lượng tử là giá trị sau lượng tử hóa.
- Từ mã là kết quả sau mã hóa.
- Bit là ký hiệu dạng **nhị phân (0 và 1)**.
- ADC (Analog to Digital Converter) là quá trình chuyển đổi tín hiệu tương tự sang tín hiệu số.
- DAC (Digital to Analog Converter) là quá trình chuyển đổi tín hiệu số sang tín hiệu tương tự.



Mã hóa nhị phân

- Số bit mã hóa: B (chiều dài từ mã)
- Số lượng từ mã: 2^B
- Giá trị biểu diễn của từ mã:
 - Nhị phân: $b_1b_2\dots b_B$ với $b_i \in \{0/1\}$
 - Thập phân: m_{10}
- Mỗi từ mã tương ứng với 1 giá trị lượng tử.
- Giá trị lượng tử (điện áp) của từ mã: $x_Q \in \mathcal{R}$



Lượng tử đều

- Bước lượng tử Q (khoảng lượng tử, độ rộng lượng tử, độ phân giải lượng tử): khoảng cách giữa 2 giá trị lượng tử liên kề bất kì là không đổi.
- Tầm đo toàn thang R ($[x_{\min} \div x_{\max}]$): phạm vi giá trị cho phép của tín hiệu ngõ vào bộ lượng tử.
- Câu hỏi: Xây dựng bộ lượng tử (liệt kê tất cả giá trị lượng tử) đều có số bit $B=3$, tầm đo toàn thang 10 ($[0 \div 10]$)?



Xây dựng bộ lượng tử

- 1) Bước lượng tử
- 2) Các giá trị lượng tử
- 3) Nguyên tắc mã hóa
- 4) Nguyên tắc lượng tử



Quá trình DAC

- Nguyên lý hoạt động: từ mã \rightarrow giá trị lượng tử

- Thông số:

- Tầm đo toàn thang: R

- Số bit mã hóa: B

- Bước lượng tử: $Q = \frac{R}{2^B}$

- Nguyên tắc mã hóa:

$0 \leq x_Q < R$ • Đơn cực tự nhiên:

$$x_Q = R(b_1 2^{-1} + b_2 2^{-2} + \dots + b_B 2^{-B}) = Qm$$

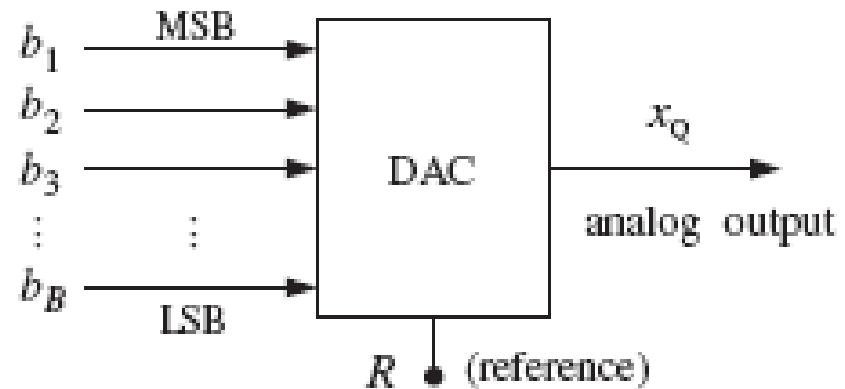
- Lượng cực tự nhiên (offset):

$$-\frac{R}{2} \leq x_Q < \frac{R}{2}$$

$$x_Q = R(b_1 2^{-1} + b_2 2^{-2} + \dots + b_B 2^{-B}) - 0.5R = Qm - 0.5R$$

- Lượng cực bù 2:

$$x_Q = R(\bar{b}_1 2^{-1} + b_2 2^{-2} + \dots + b_B 2^{-B}) - 0.5R_8$$





Ví dụ 1

- Cho bộ DAC-3 bit đơn cực có tầm toàn thang 10.
 - 1) Xác định bước (khoảng, độ phân giải) lượng tử.
 - 2) Xác định số giá trị lượng tử và số từ mã.
 - 3) Liệt kê các từ mã và giá trị lượng tử tương ứng.
 - 4) Xác định giá trị lượng tử nhỏ nhất và từ mã tương ứng.
 - 5) Xác định giá trị lượng tử lớn nhất và từ mã tương ứng.
 - 6) Kiểm tra xem 2.5 và 3.5 có là giá trị lượng tử không. Nếu có, hãy xác định từ mã tương ứng. Nếu không, hãy xác định giá trị lượng tử gần nhất.
 - 7) Xác định giá trị lượng tử của từ mã 100, 010 và 110.



Ví dụ 1 (đáp án)

- Cho bộ DAC-3 bit đơn cực có tầm toàn thang 10.
 - 1) Xác định bước (khoảng, độ phân giải) lượng tử.
 $Q = 10/2^3 = 5/4 = 1.25$
 - 2) Xác định số giá trị lượng tử và số từ mã. **8 và 8**
 - 3) Liệt kê các từ mã và giá trị lượng tử tương ứng.
 - 4) Xác định giá trị lượng tử nhỏ nhất và từ mã tương ứng. **0 và 000**
 - 5) Xác định giá trị lượng tử lớn nhất và từ mã tương ứng. **8.75 và 111**
 - 6) Kiểm tra xem 2.5 và 3.5 có là giá trị lượng tử không. Nếu có, hãy xác định từ mã tương ứng. Nếu không, hãy xác định giá trị lượng tử gần nhất. **2.5 (có, 010) và 3.5 (không, 3.75)**
 - 7) Xác định giá trị lượng tử của từ mã 100, 010 và 110. **5, 2.5 và 7.5**

Giá trị lượng tử (x_Q)	Từ mã ($b_1b_2b_3$)
8.75	111
7.5	110
6.25	101
5	100
3.75	011
2.5	010
1.25	001
0	000

Có thể trả lời không cần bảng liệt kê ở câu 3 không?



Ví dụ 2

- Cho bộ DAC-8 bit đơn cực có tầm toàn thang 10.
 - 1) Xác định bước (khoảng, độ phân giải) lượng tử.
 - 2) Xác định số giá trị lượng tử và số từ mã.
 - 3) Xác định giá trị lượng tử nhỏ nhất và từ mã tương ứng.
 - 4) Xác định giá trị lượng tử lớn nhất và từ mã tương ứng.
 - 5) Kiểm tra xem 2.5 và 3.5 có là giá trị lượng tử không. Nếu có, hãy xác định từ mã tương ứng. Nếu không, hãy xác định giá trị lượng tử gần nhất.
 - 6) Xác định giá trị lượng tử của từ mã 10000000, 01010101 và 11010101.



Ví dụ 3

- Cho bộ DAC-3 bit lưỡng cực offset có tầm toàn thang 10.
 - 1) Xác định bước (khoảng, độ phân giải) lượng tử.
 - 2) Xác định số giá trị lượng tử và số từ mã.
 - 3) Liệt kê các từ mã và giá trị lượng tử tương ứng.
 - 4) Xác định giá trị lượng tử nhỏ nhất và từ mã tương ứng.
 - 5) Xác định giá trị lượng tử lớn nhất và từ mã tương ứng.
 - 6) Kiểm tra xem 2.5 và 3.5 có là giá trị lượng tử không. Nếu có, hãy xác định từ mã tương ứng. Nếu không, hãy xác định giá trị lượng tử gần nhất.
 - 7) Xác định giá trị lượng tử của từ mã 100, 010 và 110.



Ví dụ 3 (đáp án)

- Cho bộ DAC-3 bit lưỡng cực offset có tầm toàn thang 10.
 - Xác định bước (khoảng, độ phân giải) lượng tử.
 $Q = 10/2^3 = 5/4 = 1.25$
 - Xác định số giá trị lượng tử và số từ mã. **8 và 8**
 - Liệt kê các từ mã và giá trị lượng tử tương ứng.
 - Xác định giá trị lượng tử nhỏ nhất và từ mã tương ứng. **-5 và 000**
 - Xác định giá trị lượng tử lớn nhất và từ mã tương ứng. **3.75 và 111**
 - Kiểm tra xem 2.5 và 3.5 có là giá trị lượng tử không. Nếu có, hãy xác định từ mã tương ứng. Nếu không, hãy xác định giá trị lượng tử gần nhất. **2.5 (có, 110) và 3.5 (không, 3.75)**
 - Xác định giá trị lượng tử của từ mã 100, 010 và 110. **0, -2.5 và 2.5**

Giá trị lượng tử (x_Q)	Từ mã ($b_1b_2b_3$)
3.75	111
2.5	110
1.25	101
0	100
-1.25	011
-2.5	010
-3.75	001
-5	000

Có thể trả lời không cần bảng liệt kê ở câu 3 không?



Ví dụ 4

- Cho bộ DAC-8 bit lưỡng cực offset có tầm toàn thang 10.
 - 1) Xác định bước (khoảng, độ phân giải) lượng tử.
 - 2) Xác định số giá trị lượng tử và số từ mã.
 - 3) Xác định giá trị lượng tử nhỏ nhất và từ mã tương ứng.
 - 4) Xác định giá trị lượng tử lớn nhất và từ mã tương ứng.
 - 5) Kiểm tra xem 2.5 và 3.5 có là giá trị lượng tử không. Nếu có, hãy xác định từ mã tương ứng. Nếu không, hãy xác định giá trị lượng tử gần nhất.
 - 6) Xác định giá trị lượng tử của từ mã 10000000, 01010101 và 11010101.



Ví dụ 5

- Cho bộ DAC-3 bit lưỡng cực bù 2 có tầm toàn thang 10.
 - 1) Xác định bước (khoảng, độ phân giải) lượng tử.
 - 2) Xác định số giá trị lượng tử và số từ mã.
 - 3) Liệt kê các từ mã và giá trị lượng tử tương ứng.
 - 4) Xác định giá trị lượng tử nhỏ nhất và từ mã tương ứng.
 - 5) Xác định giá trị lượng tử lớn nhất và từ mã tương ứng.
 - 6) Kiểm tra xem 2.5 và 3.5 có là giá trị lượng tử không. Nếu có, hãy xác định từ mã tương ứng. Nếu không, hãy xác định giá trị lượng tử gần nhất.
 - 7) Xác định giá trị lượng tử của từ mã 100, 010 và 110.



Ví dụ 5 (đáp án)

- Cho bộ DAC-3 bit lưỡng cực bù 2 có tầm toàn thang 10.
 - Xác định bước (khoảng, độ phân giải) lượng tử.
 $Q = 10/23 = 5/4 = 1.25$
 - Xác định số giá trị lượng tử và số từ mã. **8 và 8**
 - Liệt kê các từ mã và giá trị lượng tử tương ứng.
 - Xác định giá trị lượng tử nhỏ nhất và từ mã tương ứng. **-5 và 100**
 - Xác định giá trị lượng tử lớn nhất và từ mã tương ứng. **3.75 và 011**
 - Kiểm tra xem 2.5 và 3.5 có là giá trị lượng tử không. Nếu có, hãy xác định từ mã tương ứng. Nếu không, hãy xác định giá trị lượng tử gần nhất. **2.5 (có, 010) và 3.5 (không, 3.75)**
 - Xác định giá trị lượng tử của từ mã 100, 010 và 110. **-5, 2.5 và -2.5**

Giá trị lượng tử (x_Q)	Từ mã ($b_1b_2b_3$)
3.75	011
2.5	010
1.25	001
0	000
-1.25	111
-2.5	110
-3.75	101
-5	100

Có thể trả lời không cần bảng liệt kê ở câu 3 không?



Ví dụ 6

- Cho bộ DAC-8 bit lưỡng cực bù 2 có tầm toàn thang 10.
 - 1) Xác định bước (khoảng, độ phân giải) lượng tử.
 - 2) Xác định số giá trị lượng tử và số từ mã.
 - 3) Xác định giá trị lượng tử nhỏ nhất và từ mã tương ứng.
 - 4) Xác định giá trị lượng tử lớn nhất và từ mã tương ứng.
 - 5) Kiểm tra xem 2.5 và 3.5 có là giá trị lượng tử không. Nếu có, hãy xác định từ mã tương ứng. Nếu không, hãy xác định giá trị lượng tử gần nhất.
 - 6) Xác định giá trị lượng tử của từ mã 10000000, 01010101 và 11010101.



Ví dụ 7

- Cho bộ DAC-3 bit có tầm toàn thang 10. Xây dựng bảng lượng tử đầy đủ (tất cả giá trị lượng tử và từ mã) cho các trường hợp sau:
 - 1) Mã hóa đơn cực.
 - 2) Mã hóa offset.
 - 3) Mã hóa bù 2.
 - 4) Trình bày mối liên hệ giữa các bảng lượng tử.



Ví dụ 7 (đáp án)

- Cho bộ DAC-3 bit có tầm toàn thang 10. Xây dựng bảng lượng tử đầy đủ (tất cả giá trị lượng tử và từ mã) và mối liên hệ.

1) Mã hóa đơn cực.

Giá trị lượng tử (x_Q)	Từ mã ($b_1b_2b_3$)
8.75	111
7.5	110
6.25	101
5	100
3.75	011
2.5	010
1.25	001
0	000

2) Mã hóa offset.

Giá trị lượng tử (x_Q)	Từ mã ($b_1b_2b_3$)
3.75	111
2.5	110
1.25	101
0	100
-1.25	011
-2.5	010
-3.75	001
-5	000

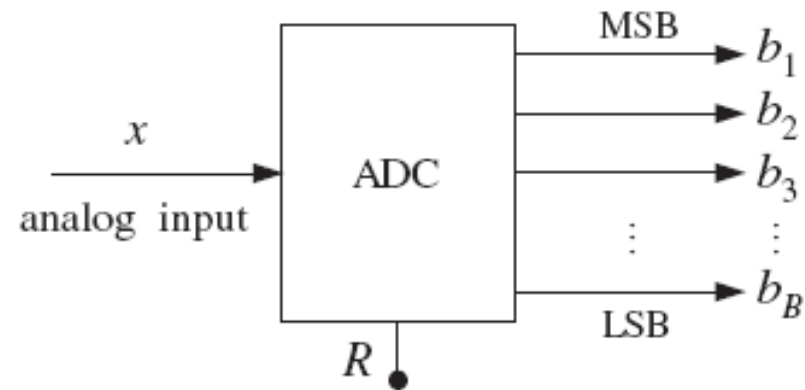
3) Mã hóa bù 2.

Giá trị lượng tử (x_Q)	Từ mã ($b_1b_2b_3$)
3.75	011
2.5	010
1.25	001
0	000
-1.25	111
-2.5	110
-3.75	101
-5	100



Quá trình ADC (lượng tử và mã hóa)

- Xây dựng theo bộ DAC
 - Tầm đo toàn thang
 - Số bit mã hóa
 - Bước lượng tử
 - Nguyên tắc mã hóa
- Nguyên lý hoạt động: giá trị mẫu \rightarrow từ mã
- Nguyên tắc lượng tử:
 - Làm tròn tự nhiên: gần nhất (chính giữa lên trên)
 - Làm tròn xuống (rút bớt): gần nhất nhưng không lớn hơn giá trị ngõ vào





Ví dụ 8

- Cho bộ ADC-3 bit đơn cực có tầm toàn thang 10. Xác định giá trị lượng tử và từ mã tương ứng với các ngõ vào $x_1=2.5$, $x_2=2.9$, $x_3=3.125$ và $x_4=3.5$ trong các trường hợp sau:
 - 1) Làm tròn gần nhất
 - 2) Làm tròn xuống (rút bớt)



Ví dụ 8 (đáp án)

- Cho bộ ADC-3 bit đơn cực có tầm toàn thang 10. Xác định giá trị lượng tử và từ mã tương ứng với các ngõ vào $x_1=2.5$, $x_2=2.9$, $x_3=3.125$ và $x_4=3.5$ trong các trường hợp sau:

- 1) Làm tròn gần nhất
- 2) Làm tròn xuống (rút bớt)

Giá trị ngõ vào	Gần nhất		Rút bớt	
	x_Q	$b_1b_2b_3$	x_Q	$b_1b_2b_3$
2.5	2.5		2.5	
2.9	2.5		2.5	
3.125	3.75 (2.5)		2.5	
3.5	3.75		2.5	

Giá trị lượng tử (x_Q)	Từ mã ($b_1b_2b_3$)
8.75	111
7.5	110
6.25	101
5	100
3.75	011
2.5	010
1.25	001
0	000

Có thể trả lời không cần bảng liệt kê trên không?



Ví dụ 9

- Cho bộ ADC-8 bit đơn cực có tầm toàn thang 10. Xác định giá trị lượng tử và từ mã tương ứng với các ngõ vào $x_1=2.5$, $x_2=2.9$, $x_3=3.125$ và $x_4=3.5$ trong các trường hợp sau:
 - 1) Làm tròn gần nhất
 - 2) Làm tròn xuống (rút bớt)



Ví dụ 10

- Cho bộ ADC-3 bit offset có tầm toàn thang 10. Xác định giá trị lượng tử và từ mã tương ứng với các ngõ vào $x_1 = -2.5$, $x_2 = -2.9$, $x_3 = 3.125$ và $x_4 = 3.5$ trong các trường hợp sau:
 - 1) Làm tròn gần nhất
 - 2) Làm tròn xuống (rút bớt)



Ví dụ 10 (đáp án)

- Cho bộ ADC-3 bit offset có tầm toàn thang 10. Xác định giá trị lượng tử và từ mã tương ứng với các ngõ vào $x_1 = -2.5$, $x_2 = -2.9$, $x_3 = 3.125$ và $x_4 = 3.5$ trong các trường hợp sau:

- 1) Làm tròn gần nhất
- 2) Làm tròn xuống (rút bớt)

Giá trị ngõ vào	Gần nhất		Rút bớt	
	x_Q	$b_1b_2b_3$	x_Q	$b_1b_2b_3$
-2.5	-2.5		-2.5	
-2.9	-2.5		-3.75	
3.125	3.75 (2.5)		2.5	
3.5	3.75		2.5	

Giá trị lượng tử (x_Q)	Từ mã ($b_1b_2b_3$)
3.75	111
2.5	110
1.25	101
0	100
-1.25	011
-2.5	010
-3.75	001
-5	000

Có thể trả lời không cần bảng liệt kê trên không?



Ví dụ 11

- Cho bộ ADC-8 bit offset có tầm toàn thang 10. Xác định giá trị lượng tử và từ mã tương ứng với các ngõ vào $x_1 = -2.5$, $x_2 = -2.9$, $x_3 = 3.125$ và $x_4 = 3.5$ trong các trường hợp sau:
 - 1) Làm tròn gần nhất
 - 2) Làm tròn xuống (rút bớt)



Ví dụ 12

- Cho bộ ADC-3 bit bù 2 có tầm toàn thang 10. Xác định giá trị lượng tử và từ mã tương ứng với các ngõ vào $x_1 = -2.5$, $x_2 = -2.9$, $x_3 = 3.125$ và $x_4 = 3.5$ trong các trường hợp sau:
 - 1) Làm tròn gần nhất
 - 2) Làm tròn xuống (rút bớt)



Ví dụ 12 (đáp án)

- Cho bộ ADC-3 bit bù 2 có tầm toàn thang 10. Xác định giá trị lượng tử và từ mã tương ứng với các ngõ vào $x_1 = -2.5$, $x_2 = -2.9$, $x_3 = 3.125$ và $x_4 = 3.5$ trong các trường hợp sau:
 - 1) Làm tròn gần nhất
 - 2) Làm tròn xuống (rút bớt)

Giá trị ngõ vào	Gần nhất		Rút bớt	
	x_Q	$b_1b_2b_3$	x_Q	$b_1b_2b_3$
-2.5	-2.5		-2.5	
-2.9	-2.5		-3.75	
3.125	3.75 (2.5)		2.5	
3.5	3.75		2.5	

Giá trị lượng tử (x_Q)	Từ mã ($b_1b_2b_3$)
3.75	011
2.5	010
1.25	001
0	000
-1.25	111
-2.5	110
-3.75	101
-5	100

Có thể trả lời không cần bảng liệt kê trên không?

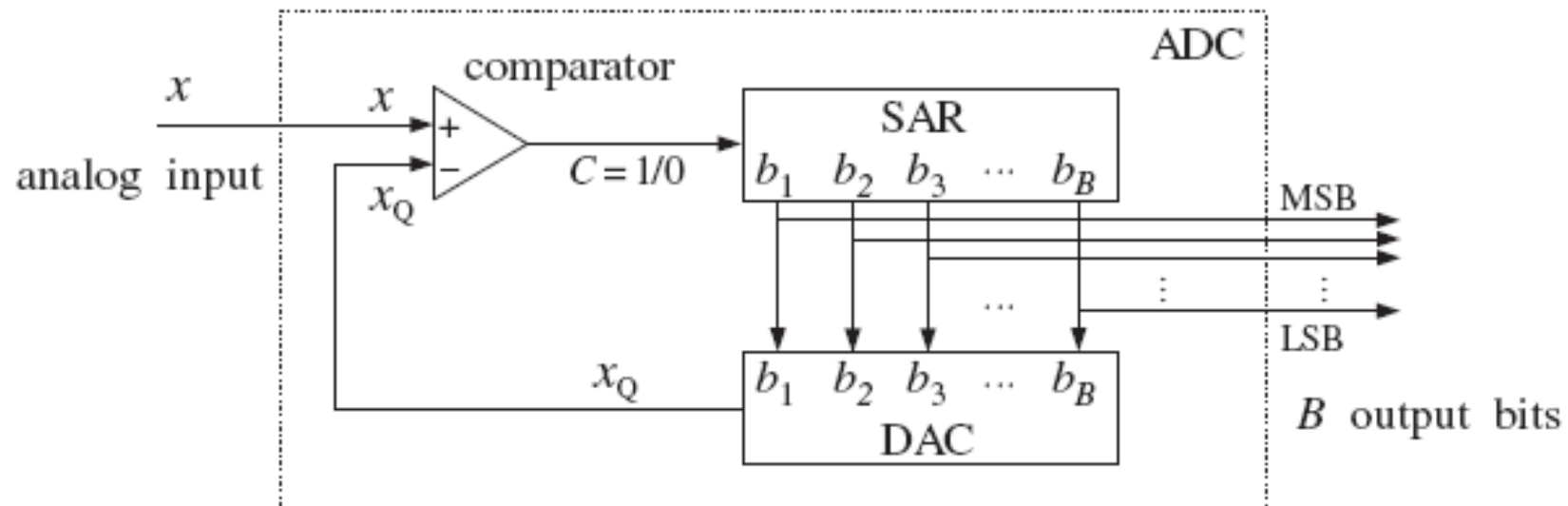


Ví dụ 13

- Cho bộ ADC-8 bit bù 2 có tầm toàn thang 10. Xác định giá trị lượng tử và từ mã tương ứng với các ngõ vào $x_1 = -2.5$, $x_2 = -2.9$, $x_3 = 3.125$ và $x_4 = 3.5$ trong các trường hợp sau:
 - 1) Làm tròn gần nhất
 - 2) Làm tròn xuống (rút bớt)



Giải thuật kiểm tra bit (xấp xỉ liên tiếp)



- Thực hiện B bước kiểm tra cho từng bit.



Ví dụ 14

- Cho bộ ADC-4 bit với tầm toàn thang $R=10$.
Lập bảng giải thuật xấp xỉ liên tiếp để xác định từ mã $b_1b_2b_3b_4$ và giá trị lượng tử x_Q cho giá trị ngõ vào $x=3.5$ dùng nguyên tắc làm tròn xuống (rút bớt) và mã hóa offset.

Test	$b_1b_2b_3b_4$	x_Q	$C = u(x - x_Q)$
b_1			
b_2			
b_3			
b_4			
KQ			



Ví dụ 14 (đáp án)

- Cho bộ ADC-4 bit với tầm toàn thang $R=10$.
Lập bảng giải thuật xấp xỉ liên tiếp để xác định từ mã $b_1b_2b_3b_4$ và giá trị lượng tử x_Q cho giá trị ngõ vào $x=3.5$ dùng nguyên tắc làm tròn xuống (rút bớt) và mã hóa offset.

Test	$b_1b_2b_3b_4$	x_Q	$C = u(x - x_Q)$
b_1	1000	0,000	1
b_2	1100	2,500	1
b_3	1110	3,750	0
b_4	1101	3,125	1
KQ	1101	3,125	



Ví dụ 15

- Cho bộ ADC-3 bit đơn cực có tầm toàn thang 10. Lập bảng giải thuật kiểm tra bit để xác định giá trị lượng tử và từ mã tương ứng với các ngõ vào $x_1=2.5$, $x_2=2.9$, $x_3=3.125$ và $x_4=3.5$ trong các trường hợp sau:
 - 1) Làm tròn gần nhất
 - 2) Làm tròn xuống (rút bớt)
 - 3) So sánh đánh giá kết quả của giải thuật



Ví dụ 16

- Cho bộ ADC-3 bit offset có tầm toàn thang 10.
Lập bảng giải thuật kiểm tra bit để xác định giá trị lượng tử và từ mã tương ứng với các ngõ vào $x_1=2.5$, $x_2=2.9$, $x_3=3.125$ và $x_4=3.5$ trong các trường hợp sau:
 - 1) Làm tròn gần nhất
 - 2) Làm tròn xuống (rút bớt)
 - 3) So sánh đánh giá kết quả của giải thuật

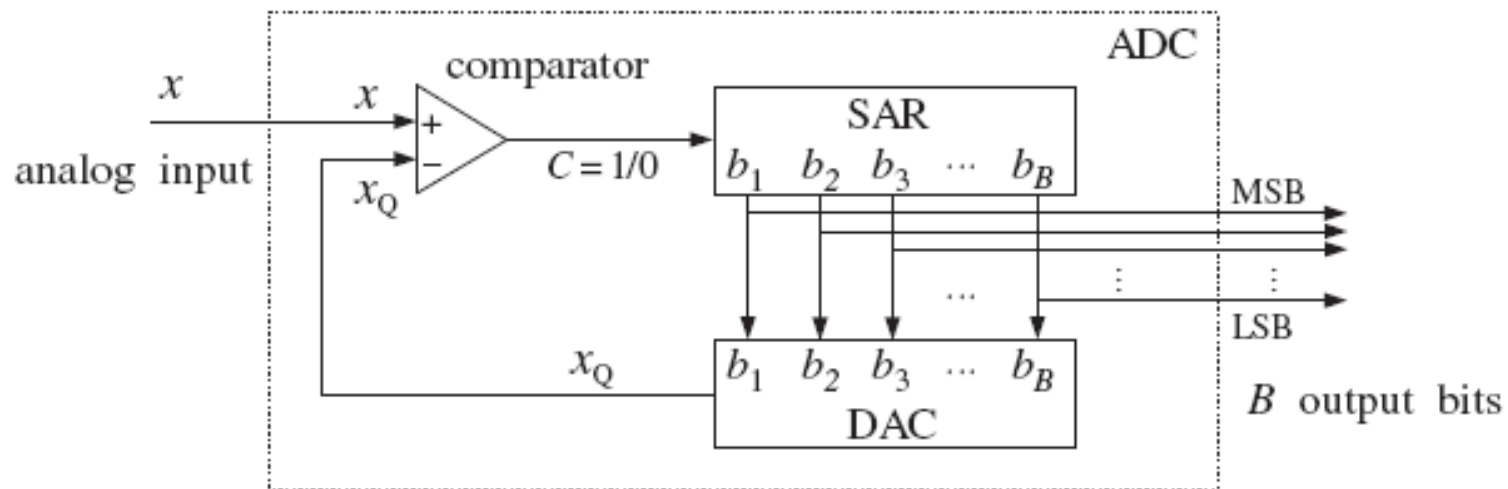


Ví dụ 17

- Cho bộ ADC-3 bit bù 2 có tầm toàn thang 10.
Lập bảng giải thuật kiểm tra bit để xác định giá trị lượng tử và từ mã tương ứng với các ngõ vào $x_1=2.5$, $x_2=2.9$, $x_3=3.125$ và $x_4=3.5$ trong các trường hợp sau:
 - 1) Làm tròn gần nhất
 - 2) Làm tròn xuống (rút bớt)
 - 3) So sánh đánh giá kết quả của giải thuật



Hiệu chỉnh giải thuật kiểm tra bit



- Giải thuật gốc: chỉ đúng với làm tròn xuống và mã hóa tự nhiên.
- Hiệu chỉnh:
 - Làm tròn gần nhất: cộng thêm $Q/2$
 - Mã hóa bù 2: xét riêng bit trọng số cao nhất MSB



Ví dụ 18

- Cho bộ ADC-3 bit đơn cực có tầm toàn thang 10. Lập bảng giải thuật kiểm tra bit để xác định chính xác giá trị lượng tử và từ mã tương ứng với các ngõ vào $x_1=2.5$, $x_2=2.9$, $x_3=3.125$ và $x_4=3.5$ trong các trường hợp sau:
 - 1) Làm tròn gần nhất
 - 2) Làm tròn xuống (rút bớt)



Ví dụ 19

- Cho bộ ADC-3 bit offset có tầm toàn thang 10. Lập bảng giải thuật kiểm tra bit để xác định chính xác giá trị lượng tử và từ mã tương ứng với các ngõ vào $x_1=2.5$, $x_2=2.9$, $x_3=3.125$ và $x_4=3.5$ trong các trường hợp sau:
 - 1) Làm tròn gần nhất
 - 2) Làm tròn xuống (rút bớt)



Ví dụ 20

- Cho bộ ADC-3 bit bù 2 có tầm toàn thang 10. Lập bảng giải thuật kiểm tra bit để xác định chính xác giá trị lượng tử và từ mã tương ứng với các ngõ vào $x_1=2.5$, $x_2=2.9$, $x_3=3.125$ và $x_4=3.5$ trong các trường hợp sau:
 - 1) Làm tròn gần nhất
 - 2) Làm tròn xuống (rút bớt)



Sai số lượng tử

- Sai số lượng tử: $e = x_q - x$ xem như có phân bố đều trong đoạn Q
 - Làm tròn gần nhất: $e \in (-Q/2 \div Q/2]$
 - Làm tròn xuống: $e \in (-Q \div 0]$
- Giá trị trung bình phân bố đều $[a \div b]$?
- Phương sai phân bố đều $[a \div b]$?



Đánh giá bộ lượng tử

- Sai số lượng tử hiệu dụng: $e_{rms} = \sigma_q = Q / \sqrt{12}$
- Sai số lượng tử trung bình bình phương: $\sigma_q^2 = \overline{e^2}$
- Tỉ số tín hiệu trên nhiễu (sai số) lượng tử: SNR

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{\sigma_x^2}{\sigma_q^2} \right)$$

- Khi tín hiệu ngõ vào phân bố đều trong tầm R

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{R^2 / 12}{\sigma_q^2} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{R}{Q} \right) = 20 \log_{10} (2^B) \approx 6B \text{ dB}$$



Ví dụ 21

- Trong ứng dụng âm thanh số, tín hiệu được lấy mẫu ở tốc độ xấp xỉ 44 KHz và mỗi mẫu được lượng tử dùng bộ ADC có tầm toàn thang 10 V.
- 1) Xác định số lượng bit B cần sử dụng để đảm bảo sai số lượng tử hiệu dụng thấp hơn 50 μV .
 - 2) Xác định sai số lượng tử hiệu dụng thực sự.
 - 3) Xác định tốc độ bit (bps).
 - 4) Xác định tỉ số tín hiệu trên nhiễu theo dB.



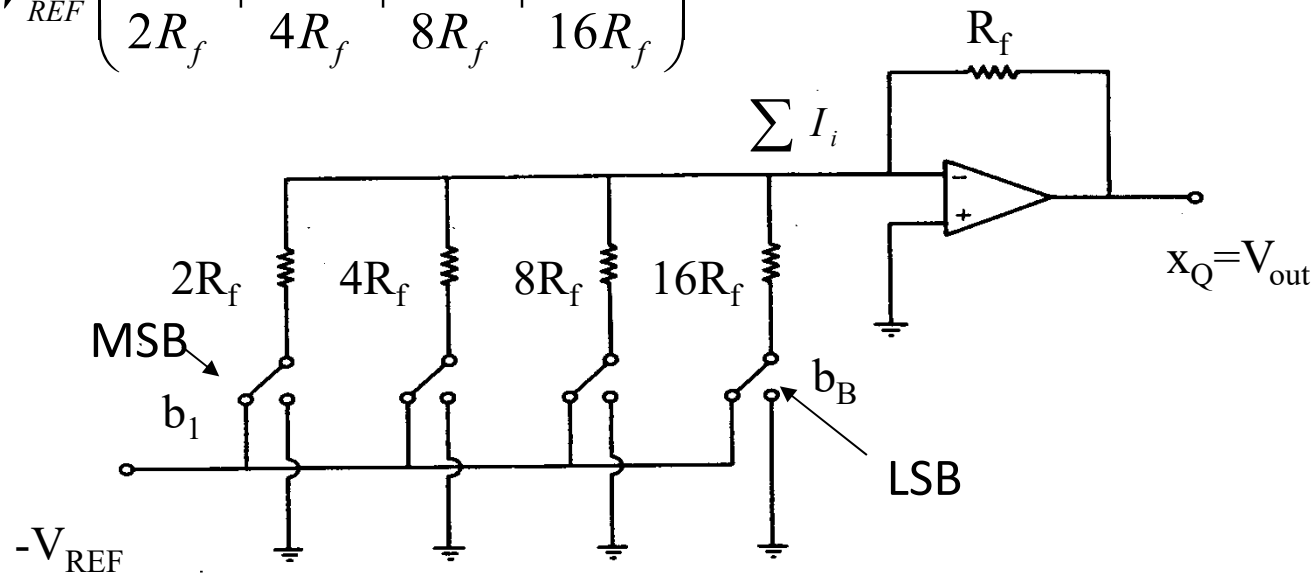
Ví dụ 21 (đáp án)

- Trong ứng dụng âm thanh số, tín hiệu được lấy mẫu ở tốc độ xấp xỉ 44 KHz và mỗi mẫu được lượng tử dùng bộ ADC có tầm toàn thang 10 V.
 - 1) Xác định số lượng bit B cần sử dụng để đảm bảo sai số lượng tử hiệu dụng thấp hơn 50 μV . **16**
 - 2) Xác định sai số lượng tử hiệu dụng thực sự. **44.05 μV**
 - 3) Xác định tốc độ bit (bps). **704000**
 - 4) Xác định tỉ số tín hiệu trên nhiễu theo dB. **96.33 (96)**



Mạch DAC

$$\sum I_i = V_{REF} \left(\frac{b_1}{2R_f} + \frac{b_2}{4R_f} + \frac{b_3}{8R_f} + \frac{b_4}{16R_f} \right)$$

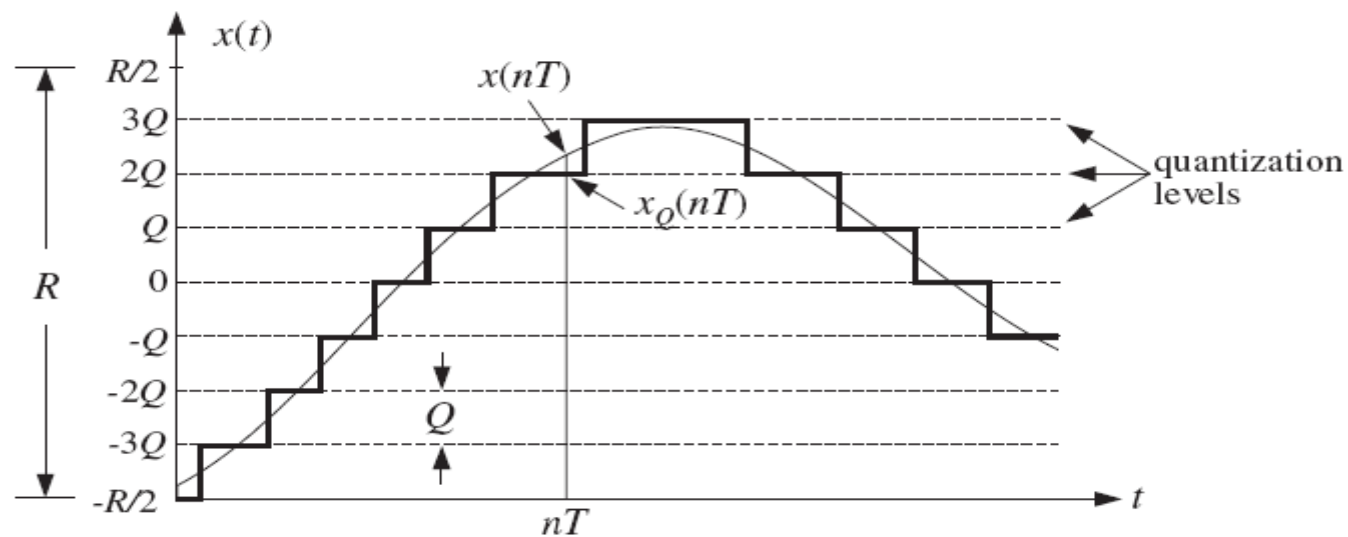
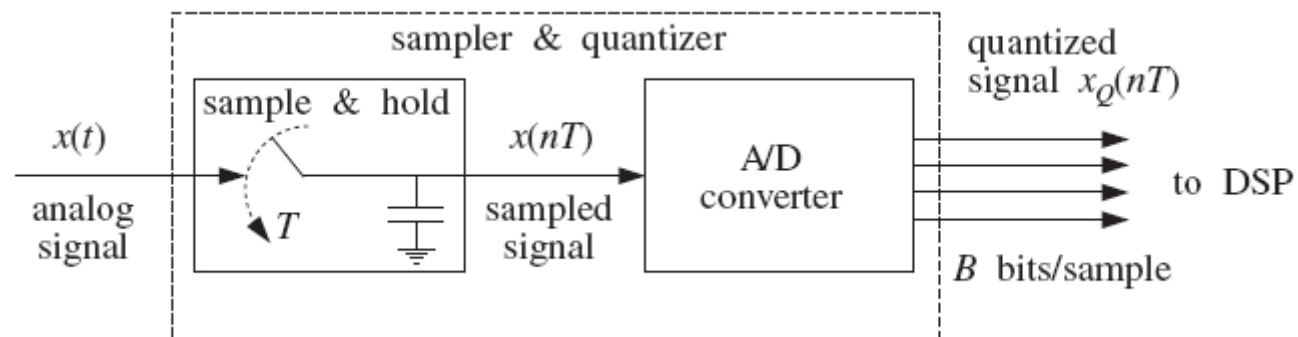


$$x_Q = V_{OUT} = \sum I_i \cdot R_f = V_{REF} \left(\frac{b_1}{2} + \frac{b_2}{4} + \frac{b_3}{8} + \frac{b_4}{16} \right)$$

$$x_Q = R2^{-4} (b_1 2^3 + b_2 2^2 + b_3 2^1 + b_4 2^0) = Q(b_1 2^3 + b_2 2^2 + b_3 2^1 + b_4 2^0)$$

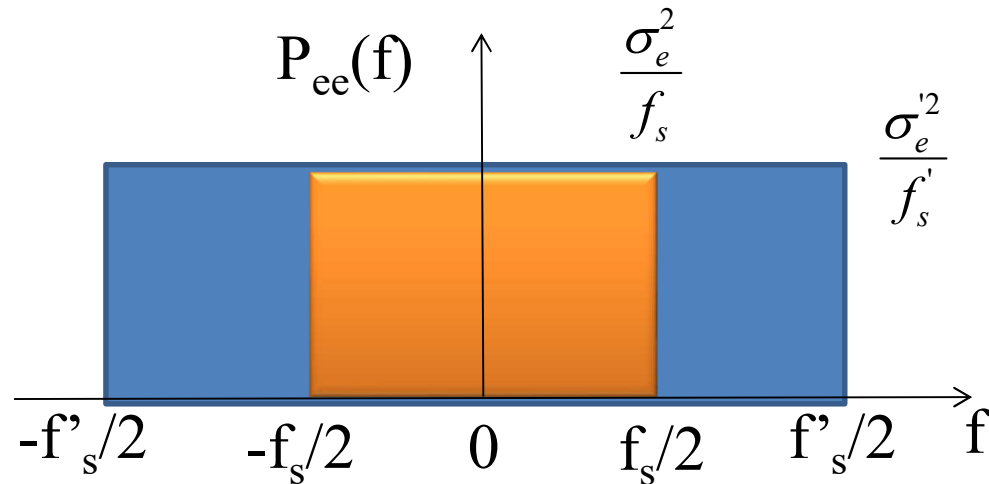


ADC tổng quát



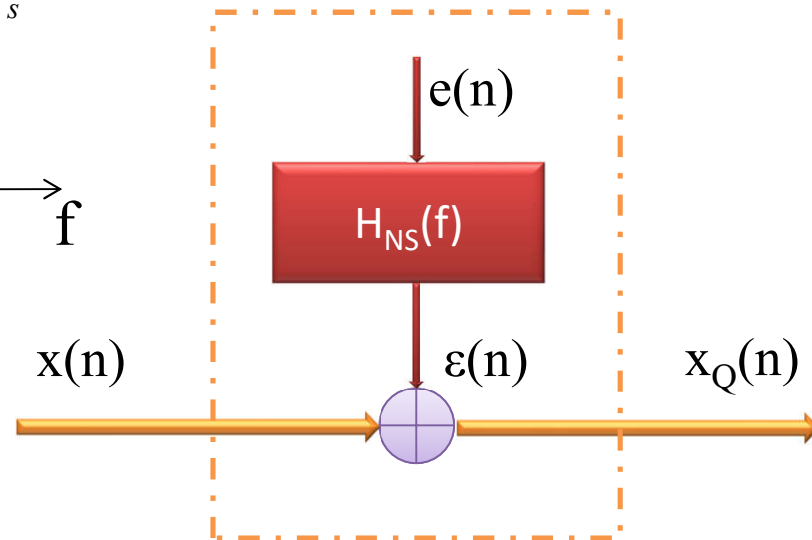


Lấy mẫu dư và định dạng nhiễu



- Lấy mẫu dư: $L=F'_s/F_s$
- Định dạng nhiễu: bậc p

$$\frac{\sigma_e^2}{f_s} = \frac{\sigma_e'^2}{f'_s} \Rightarrow \sigma_e^2 = f_s \frac{\sigma_e'^2}{f'_s}$$



$$|H_{NS}(f)|^2 = \left| 2 \sin \left(\frac{\pi f}{f'_s} \right) \right|^{2p}, \quad \text{for } -\frac{f'_s}{2} \leq f \leq \frac{f'_s}{2}$$



Hiệu quả của lấy mẫu dư và định dạng nhiễu

- Số bit giảm thiểu (vẫn cùng chất lượng SNR):

$$\Delta B = (p + 0.5) \log_2 L - 0.5 \log_2 \left(\frac{\pi^{2p}}{2p + 1} \right)$$

p	L	4	8	16	32	64	128
0	$\Delta B = 0.5 \log_2 L$	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
1	$\Delta B = 1.5 \log_2 L - 0.86$	2.1	3.6	5.1	6.6	8.1	9.6
2	$\Delta B = 2.5 \log_2 L - 2.14$	2.9	5.4	7.9	10.4	12.9	15.4
3	$\Delta B = 3.5 \log_2 L - 3.55$	3.5	7.0	10.5	14.0	17.5	21.0
4	$\Delta B = 4.5 \log_2 L - 5.02$	4.0	8.5	13.0	17.5	22.0	26.5
5	$\Delta B = 5.5 \log_2 L - 6.53$	4.5	10.0	15.5	21.0	26.5	32.0



Dither

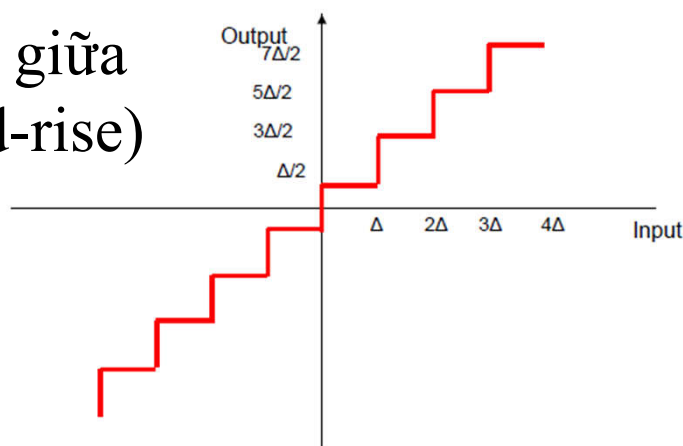
- Tạo thêm nhiễu $\varepsilon(t)$ để cải thiện chất lượng tín hiệu (âm thanh) trong trường hợp tín hiệu thay đổi nhỏ trong phạm vi khoảng lượng tử.

$$\sigma_{\varepsilon}^2 = \begin{cases} Q^2/12, & \text{undithered} \\ 2Q^2/12, & \text{rectangular dither} \\ 3Q^2/12, & \text{triangular dither} \\ 4Q^2/12, & \text{Gaussian dither} \end{cases}$$

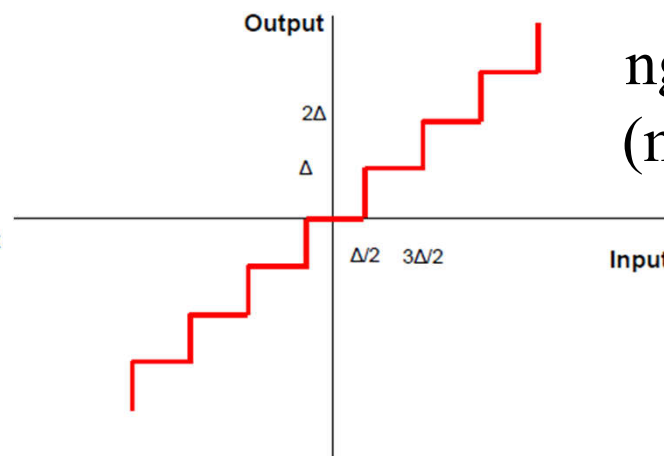


Đặc tuyến lượng tử

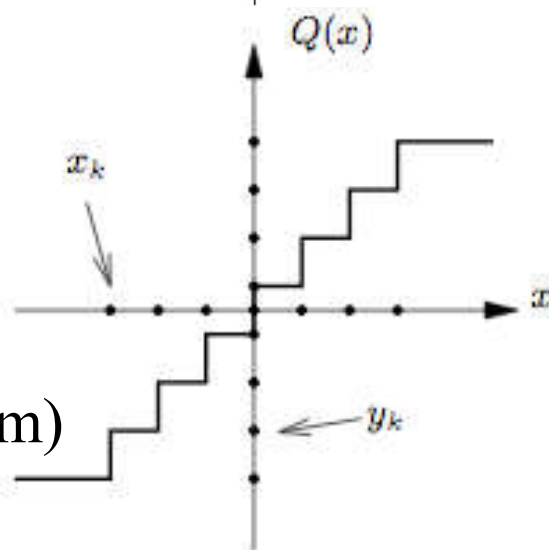
dọc giữa
(mid-rise)



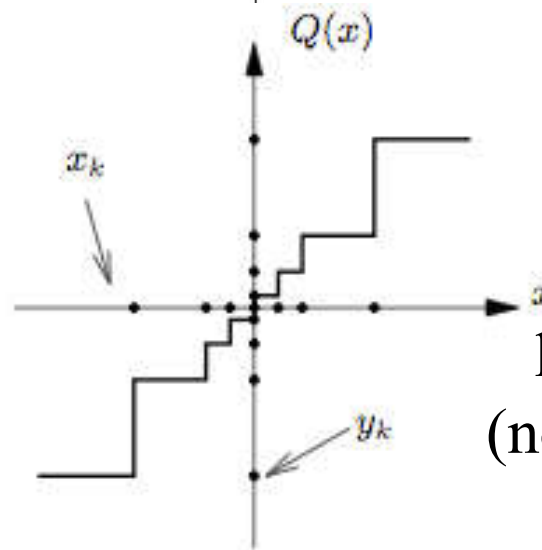
ngang giữa
(mid-tread)



đều
(uniform)



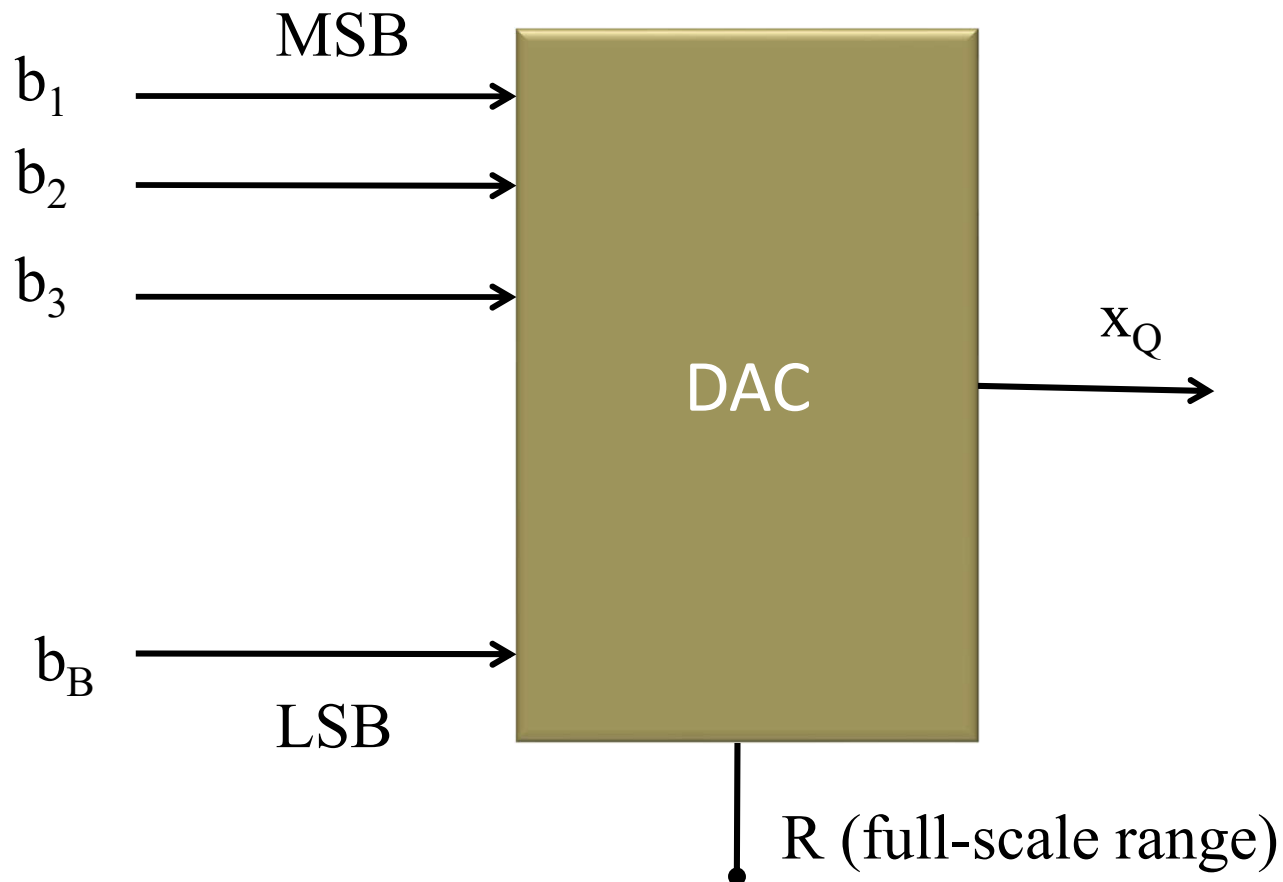
không đều
(non-uniform)





Điểm thưởng 1

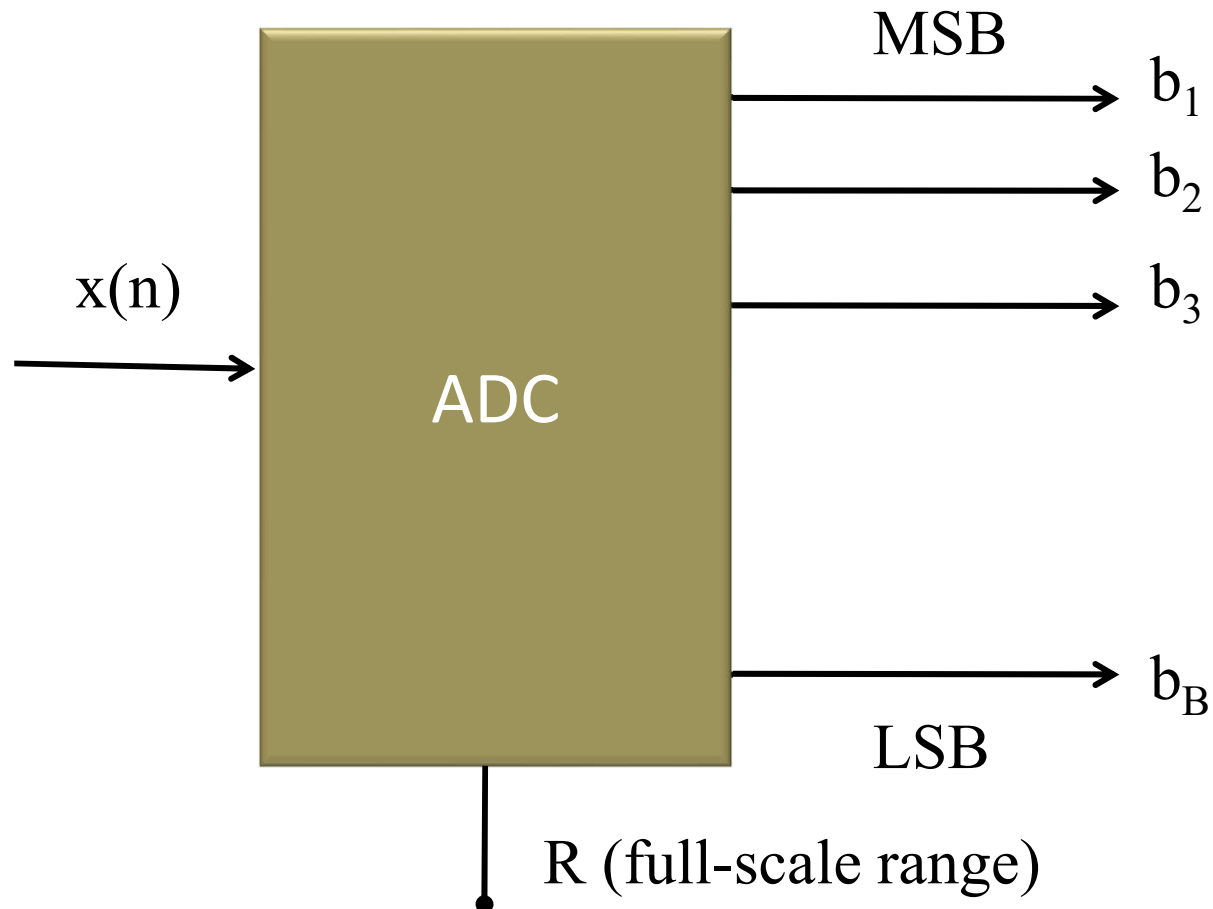
- Viết chương trình mô phỏng bộ DAC.





Điểm thưởng 2

- Viết chương trình mô phỏng bộ ADC.





Tóm tắt

- ❖ Các thông số cơ bản của quá trình lượng tử hóa?
- ❖ Quan hệ giữa các nguyên tắc lượng tử?
- ❖ Quan hệ giữa các nguyên tắc mã hóa?
- ❖ Tính chất của sai số lượng tử?
- ❖ Hiệu quả của lấy mẫu dư và định dạng nhiều?
- ❖ Hiệu quả của dither?
- ❖ Giải thuật test bit?
- ❖ Xác định mức lượng tử và các bit lượng tử?
- ❖ Xác định dung lượng cần lưu trữ?
- ❖ Xác định tốc độ xử lý yêu cầu của chip DSP?



Bài tập 1

- ❖ Cho bộ lượng tử và mã hóa nhị phân tự nhiên $B = 5$ bit với khoảng lượng tử đều $Q = 1.1@$ (biết 0 là giá trị lượng tử nhỏ nhất).
 - a) Xác định giá trị lượng tử lớn nhất?
 - b) Kiểm tra xem liệu giá trị 20.10 có là giá trị lượng tử hay không? Nếu có hãy xác định từ mã tương ứng. Nếu không hãy tìm giá trị lượng tử gần nhất?
 - c) Xác định giá trị lượng tử tương ứng với từ mã 10011?
 - d) Xác định từ mã của mẫu tín hiệu ngõ vào 20.10 biết bộ lượng tử hoạt động theo nguyên tắc làm tròn gần nhất (rounding)?
 - e) Làm lại câu d) trong trường hợp $B = 8$ bit và khoảng lượng tử không đổi?
 - f) Làm lại câu d) trong trường hợp $B = 8$ bit và tầm đo toàn thang không đổi?



Bài tập 2

- ❖ Cho bộ lượng tử và mã hóa nhị phân tự nhiên 8 bit với khoảng lượng tử đều $Q = 0.4@$ (biết 0 là giá trị lượng tử nhỏ nhất).
 - a) Xác định giá trị lượng tử lớn nhất?
 - b) Kiểm tra xem liệu giá trị 24.04 có là giá trị lượng tử hay không? Nếu có hãy xác định từ mã tương ứng. Nếu không hãy tìm giá trị lượng tử gần nhất?
 - c) Xác định giá trị lượng tử tương ứng với từ mã 00111101?
 - d) Xác định từ mã của mẫu tín hiệu ngõ vào 20.13 biết bộ lượng tử hoạt động theo nguyên tắc làm tròn?
 - e) Dùng giải thuật test bit, xác định từ mã của mẫu tín hiệu ngõ vào 25.03?
 - f) Đề xuất 1 giải pháp để thực hiện lượng tử theo nguyên tắc rút bớt (làm tròn xuống) trong trường hợp vẫn sử dụng bộ lượng tử và mã hóa hoạt động theo nguyên tắc làm tròn trên?



Bài tập 3

- ❖ Cho bộ lượng tử và mã hóa nhị phân tự nhiên 8 bit với khoảng lượng tử đều $Q = 0.1@$ (biết 0 là giá trị lượng tử nhỏ nhất).
- Xác định giá trị lượng tử lớn nhất?
 - Xác định giá trị lượng tử tương ứng với từ mã 11100011?
 - Xác định từ mã của mẫu tín hiệu ngõ vào 22.07 biết bộ lượng tử hoạt động theo nguyên tắc làm tròn gần nhất?
 - Dùng giải thuật test bit, xác định từ mã của mẫu tín hiệu ngõ vào 9.05?
 - Giả sử tín hiệu phân bố đều trong tầm hoạt động, tính tỉ số công suất tín hiệu trên nhiễu SNR của bộ lượng tử trên?



Bài tập 4

- ❖ Cho bộ lượng tử lưỡng cực đối xứng với khoảng lượng tử đều $Q = 0.1@$ (biết 0 là một giá trị lượng tử) và mã hóa nhị phân 5 bit dạng tự nhiên (offset).
 - a) Xác định giá trị lượng tử lớn nhất và nhỏ nhất?
 - b) Xác định giá trị lượng tử tương ứng với từ mã 10001?
 - c) Kiểm tra xem liệu 0 và 1.56 có là giá trị lượng tử hay không? Nếu có, xác định từ mã tương ứng? Nếu không hãy tìm giá trị lượng tử gần nhất?
 - d) Xác định từ mã của mẫu tín hiệu ngõ vào 1.64 và -1.64 biết bộ lượng tử hoạt động theo nguyên tắc làm tròn?
 - e) Dùng giải thuật test bit, xác định giá trị lượng tử của mẫu tín hiệu ngõ vào 1.64 và -1.64?
 - f) Làm lại các câu trên cho trường hợp mã hóa bù 2?



Bài tập 5

- ❖ Cho bộ lượng tử lưỡng cực đối xứng với khoảng lượng tử đều $Q = 0.2@$ (biết 0 là một giá trị lượng tử) và mã hóa nhị phân 5 bit dạng tự nhiên (offset).
 - a) Xác định giá trị lượng tử lớn nhất và nhỏ nhất?
 - b) Xác định giá trị lượng tử tương ứng với từ mã 10001?
 - c) Kiểm tra xem liệu 0 và 1.56 có là giá trị lượng tử hay không? Nếu có, xác định từ mã tương ứng? Nếu không hãy tìm giá trị lượng tử gần nhất?
 - d) Xác định từ mã của mẫu tín hiệu ngõ vào 1.64 và -1.64 biết bộ lượng tử hoạt động theo nguyên tắc làm tròn?
 - e) Dùng giải thuật test bit, xác định giá trị lượng tử của mẫu tín hiệu ngõ vào 1.64 và -1.64?
 - f) Làm lại các câu trên cho trường hợp mã hóa bù 2?



Bài tập 6

- ❖ Một tín hiệu rời rạc được lượng tử và mã hóa bằng bộ chuyển đổi A/D 4 bit có tầm toàn thang $R=1 @ V$ dùng giải thuật xấp xỉ liên tiếp làm tròn xuống (truncation).
- Hãy xác định khoảng lượng tử Q ?
 - Tìm giá trị lượng tử x_Q cho giá trị rời rạc $x=2.75 V$ và từ mã $b=[b_1 b_2 b_3 b_4]$ tương ứng cho mã lưỡng cực offset?
 - Lặp lại câu b) cho giá trị rời rạc $x= -2.75 V$.
 - Lặp lại câu b) và c) cho mã bù hai?
 - Vẽ đặc tuyến lượng tử?
 - Tính sai số lượng tử hiệu dụng?
 - Tính tỉ số tín hiệu trên nhiễu theo dB?



Bài tập 7

- ❖ Cho bộ lượng tử lưỡng cực đối xứng với khoảng lượng tử đều $Q = 0.5@$ (biết 0 là một giá trị lượng tử) và mã hóa nhị phân 3 bit dạng bù 2.
 - a) Xác định giá trị lượng tử lớn nhất và nhỏ nhất?
 - b) Xác định giá trị lượng tử tương ứng với từ mã 101 và 010?
 - c) Xác định từ mã của các mẫu tín hiệu ngõ vào 1; 1.23; 1.25; 1.27; -1.23; -1.25; -1.27 biết bộ lượng tử hoạt động theo nguyên tắc làm tròn gần nhất?
 - d) Dùng giải thuật test bit, xác định giá trị lượng tử của các mẫu tín hiệu ngõ vào ở câu c?
 - e) Vẽ đặc tuyến lượng tử?
 - f) Trong trường hợp tầm toàn thang không đổi, để sai số lượng tử hiệu dụng giảm 100 lần thì số bit cần dùng là bao nhiêu?