

# 地上デジタル放送ミニミニ講座

## 第二章

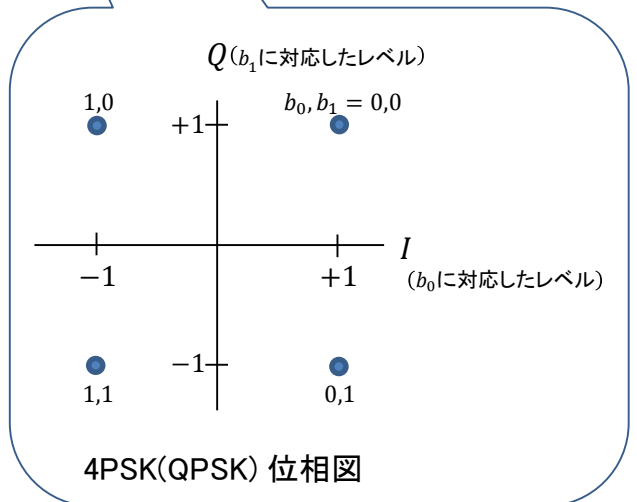
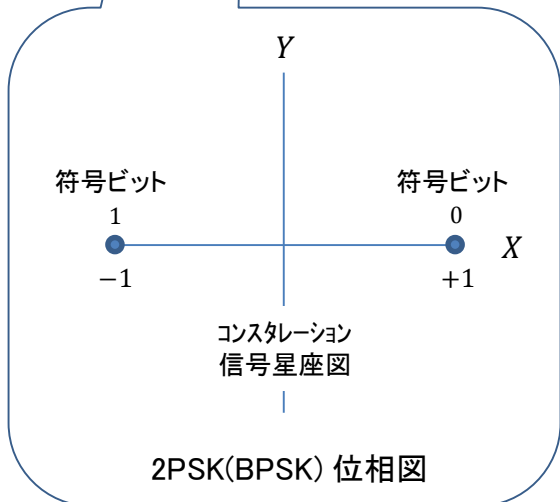
### 「変調方式について」

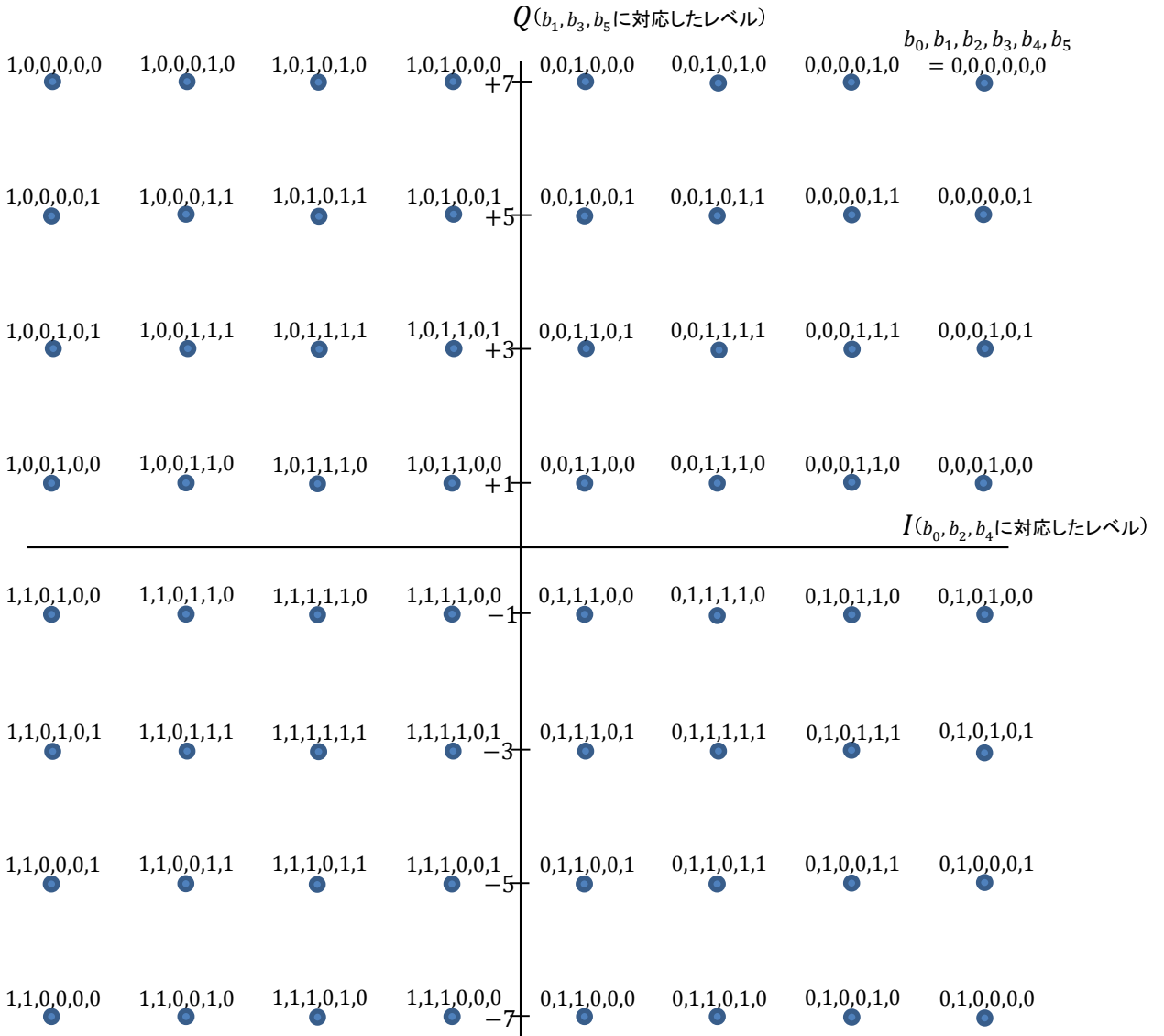
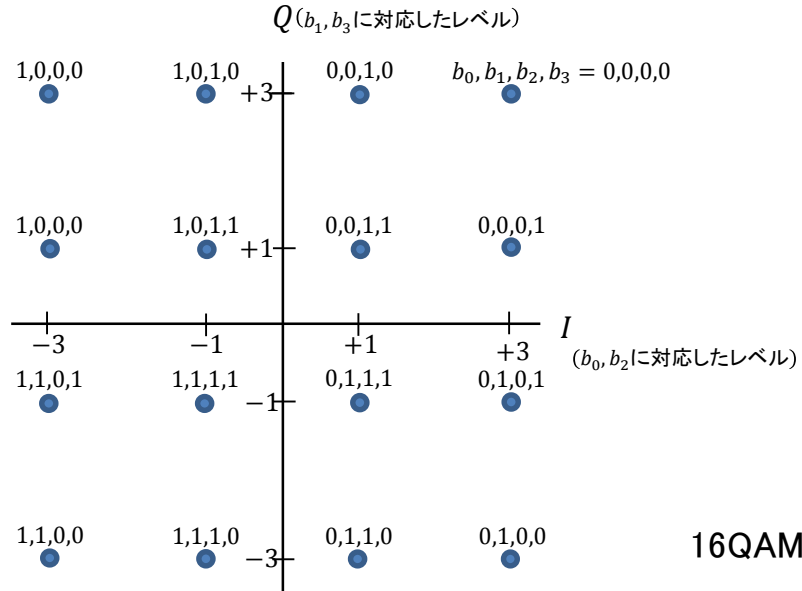
フロードネッツ株式会社

原 善 男

- デジタル変調方式の種類 -

	2PSK (BPSK) Binary Phase Shift Keying (位相偏移変調)	4PSK (QPSK) Quadrature Phase Shift Keying (位相偏移変調)	8PSK  8 Phase Shift Keying (位相偏移変調)	16QAM  16 Quadrature Amplitude Modulation (直交振幅変調)	64QAM  64 Quadrature Amplitude Modulation (直交振幅変調)
bit	1	2	3	4	6
	1回の変調(1シンボル)で伝送できるビット数(情報量)				
$2^{bit}$	$2^1 = 2$ 状態の変化数	$2^2 = 4$	$2^3 = 8$	$2^4 = 16$	$2^6 = 64$
状態	0 1 $b_0$	00 01 10 11 $b_1 b_0$	000 001 010 011 100 101 110 111 $b_2 b_1 b_0$	0000 0001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 1000 1001 1010 1011 1100 1101 1110 1111 $b_3 b_2 b_1 b_0$	000000 000001 000010 000011 000100 000101 000110 000111 001000 001001 001010 001011 001100 001101 001110 001111 ∫ 111111 $b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0$ (情報量)



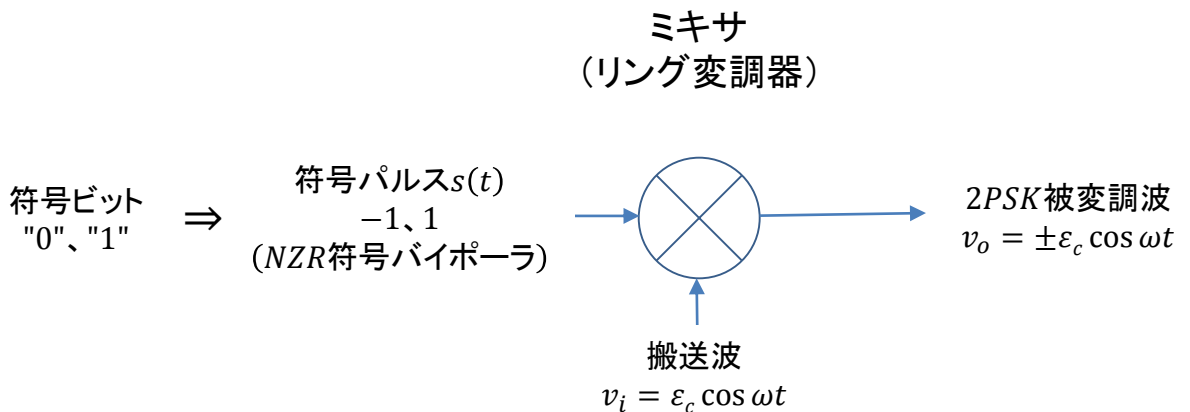


64QAM位相図

## - 2PSK(BPSK)変調 -

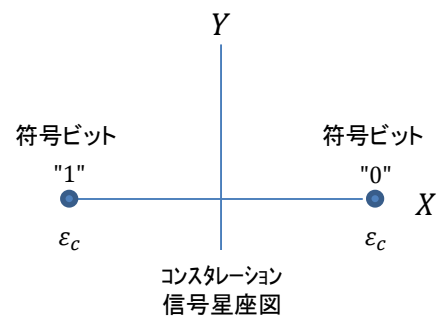
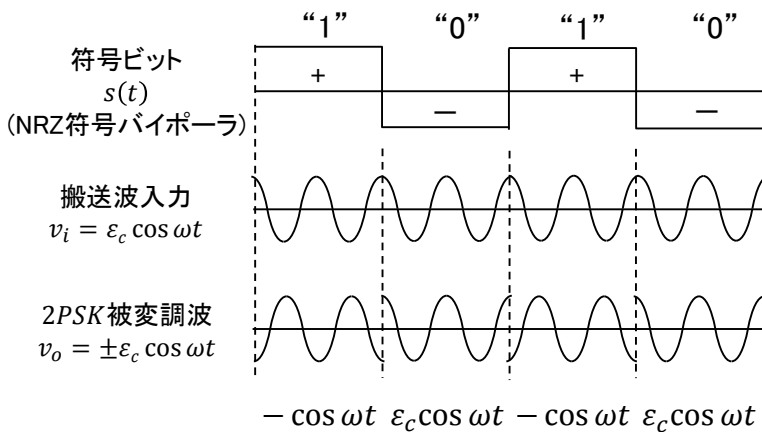
2PSK (BPSK)変調器は、情報信号(符号ビット“0”、“1”)をNRZ符号バイポーラ信号にレベル変換(-1、1)し、この信号と搬送波をミキサで乗算するもので、変調器にはリング変調器が用いられる。

このリング変調器の2PSK被変調波出力 $v_o$ は、符号ビット“0”、“1”により $\pi$ だけ変化する。以上をまとめると下図のようになる。



符号ビット	符号パルス $s(t)$	搬送波	2PSK被変調波
0	-1	$v_i = \varepsilon_c \cos \omega t$	$\varepsilon_c \cos \omega t$
1	1		$-\varepsilon_c \cos \omega t$

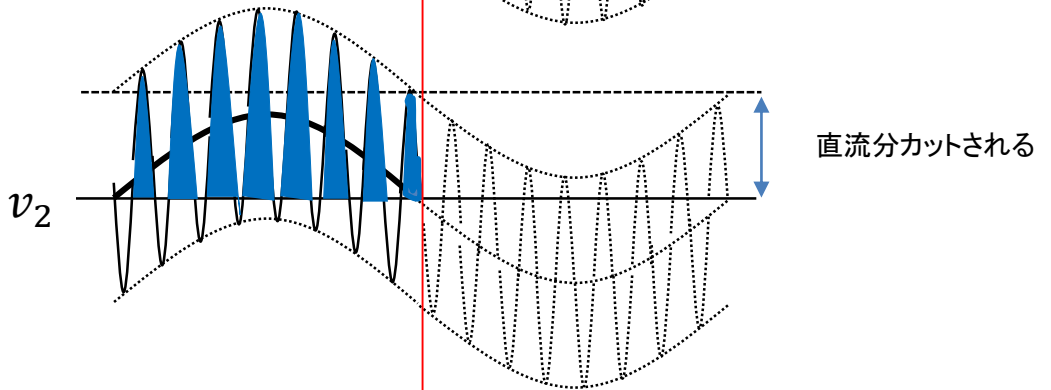
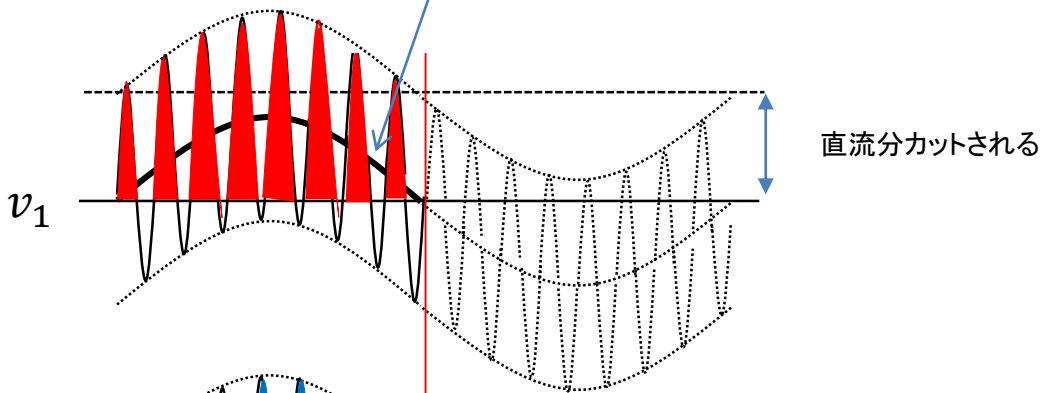
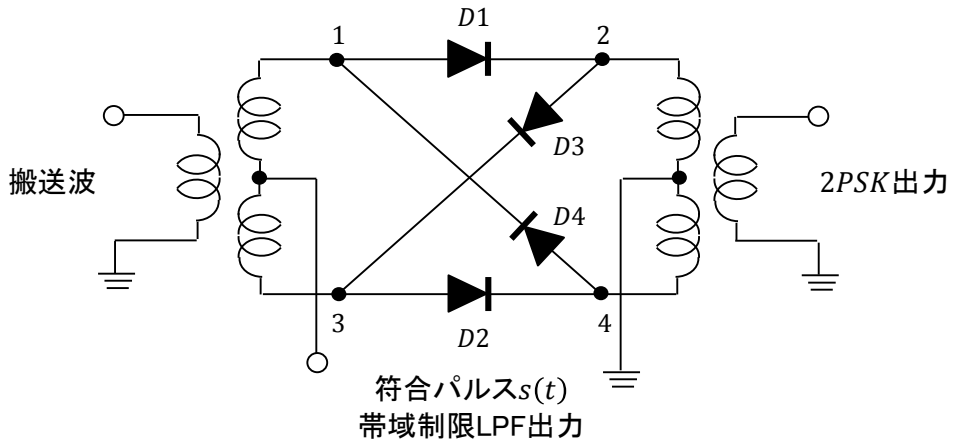
反転 ↗



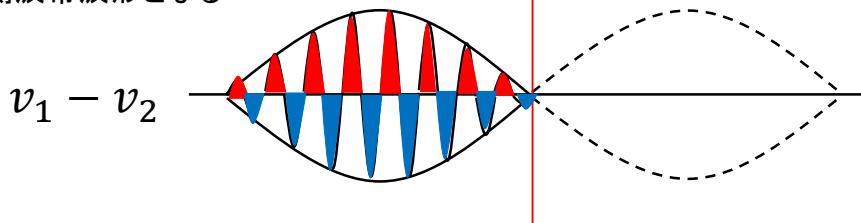
2PSK(BPSK)位相図

# - リング変調器 -

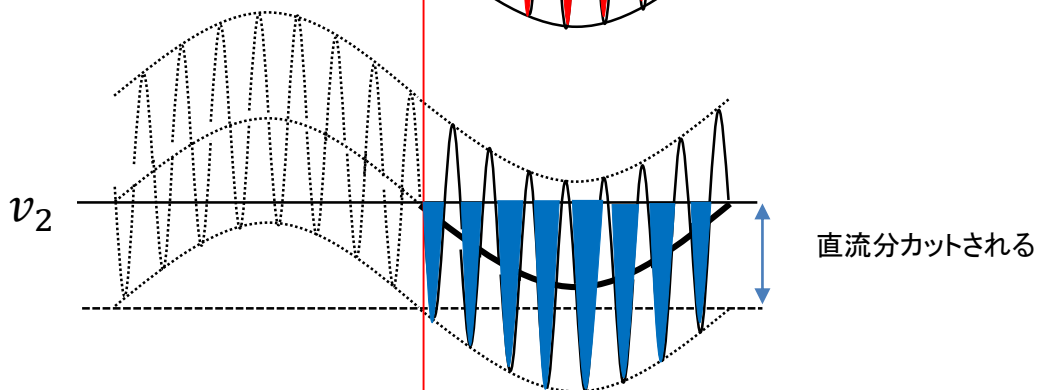
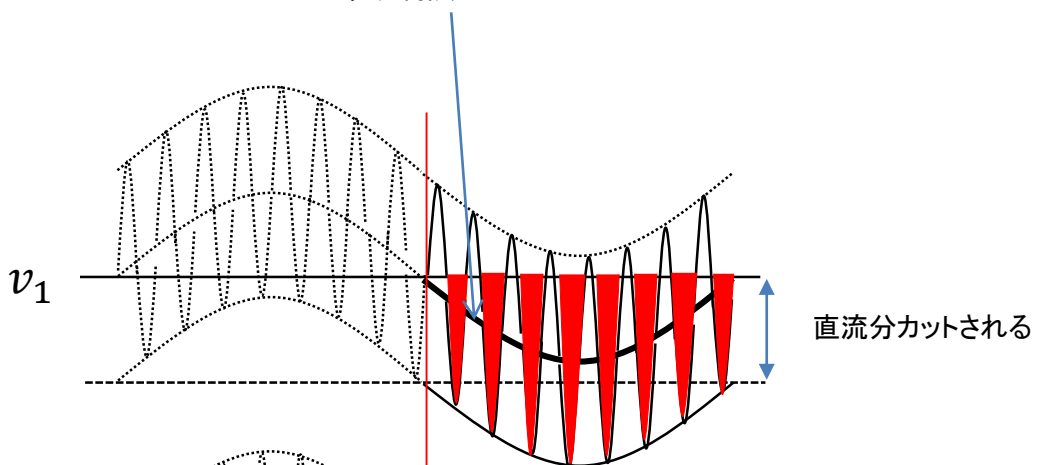
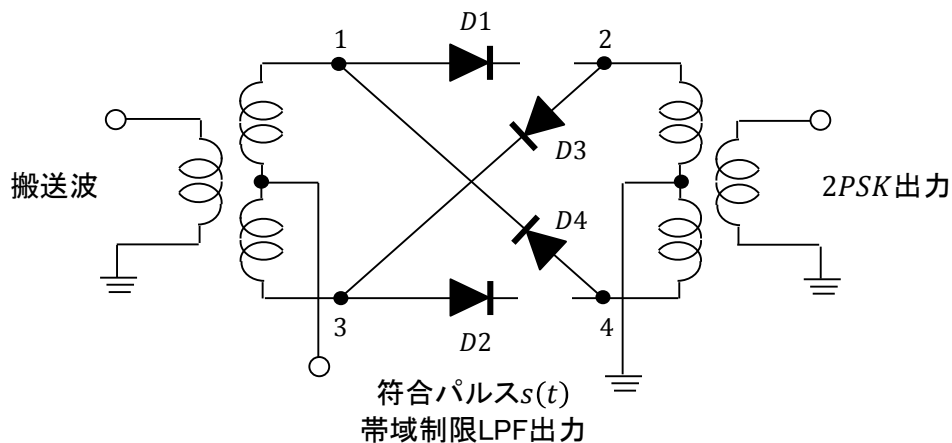
符合パルス: 正の半サイクル



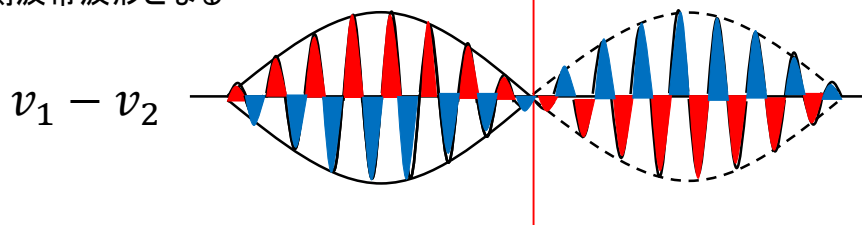
両側波帯波形となる



符合パルス: 負の半サイクル



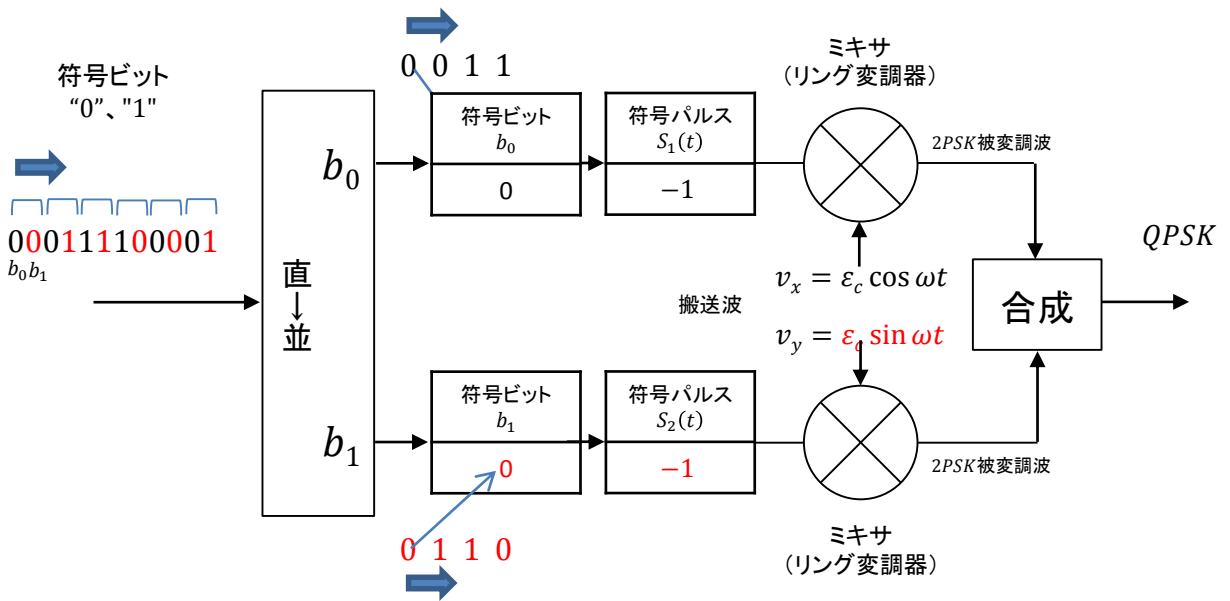
両側波帯波形となる



# - 4PSK(QPSK)変調 -

4PSK変調器は2PSK変調器を2個組み合わせ構成する。

それには下図のように、それぞれのリング変調器に $\pi$ の位相差をもつ搬送波を加え、2系列の符号パルスでリング変調し、被変調波を合成すれば、4PSK変調波が得られる。



符号ビット	
$b_0$	$b_1$
0	0
0	1
1	1
1	0

符号ビット	符号パルス	搬送波	2PSK 被変調波
$b_0$	$S_1(t)$	$v_x$	
0	-1	$\epsilon_c \cos \omega t$	$\epsilon_c \cos \omega t$
0	-1		$\epsilon_c \cos \omega t$
1	1		$-\epsilon_c \cos \omega t$
1	1		$-\epsilon_c \cos \omega t$

符号ビット	符号パルス	搬送波	2PSK 被変調波
$b_1$	$S_2(t)$	$v_y$	
0	-1	$\epsilon_c \sin \omega t$	$\epsilon_c \sin \omega t$
1	1		$-\epsilon_c \sin \omega t$
1	1		$-\epsilon_c \sin \omega t$
0	-1		$\epsilon_c \sin \omega t$

$a \cos \theta$

↓

合成

↑

$b \sin \theta$

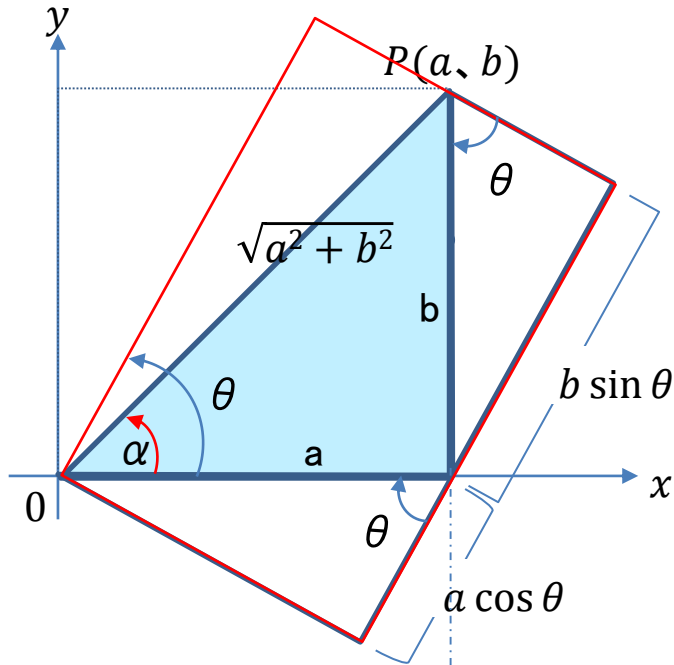
→  $v_o$

$$v_o = \sqrt{a^2 + b^2} \cos(\theta - \alpha)$$

## - 三角関数の合成 -

前図より、合成波 $v_o$ は次のように求めることができる。

証明



$$v_o = a \cos \theta + b \sin \theta$$

$$= \sqrt{a^2 + b^2} \left( \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \cos \theta + \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \sin \theta \right)$$

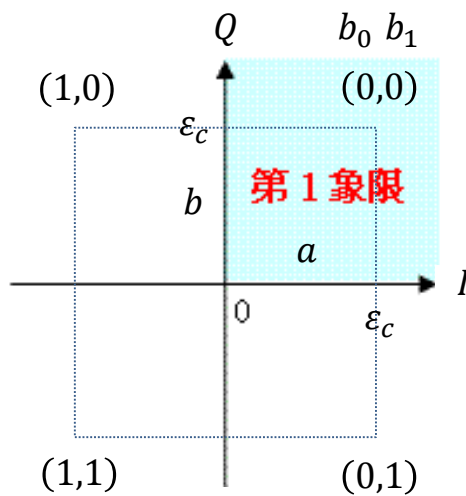
$$\text{ここで、} \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \cos \alpha \quad \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \sin \alpha \quad \text{とおくと}$$

$$= \sqrt{a^2 + b^2} (\cos \theta \cos \alpha + \sin \alpha \sin \theta)$$

$$= \sqrt{a^2 + b^2} \cos(\theta - \alpha) \quad \text{ただし } \alpha = \tan^{-1} \frac{b}{a}$$



これより、 $v_o = \sqrt{a^2 + b^2} \cos(\theta - \alpha)$  を求めると以下のとおりである。

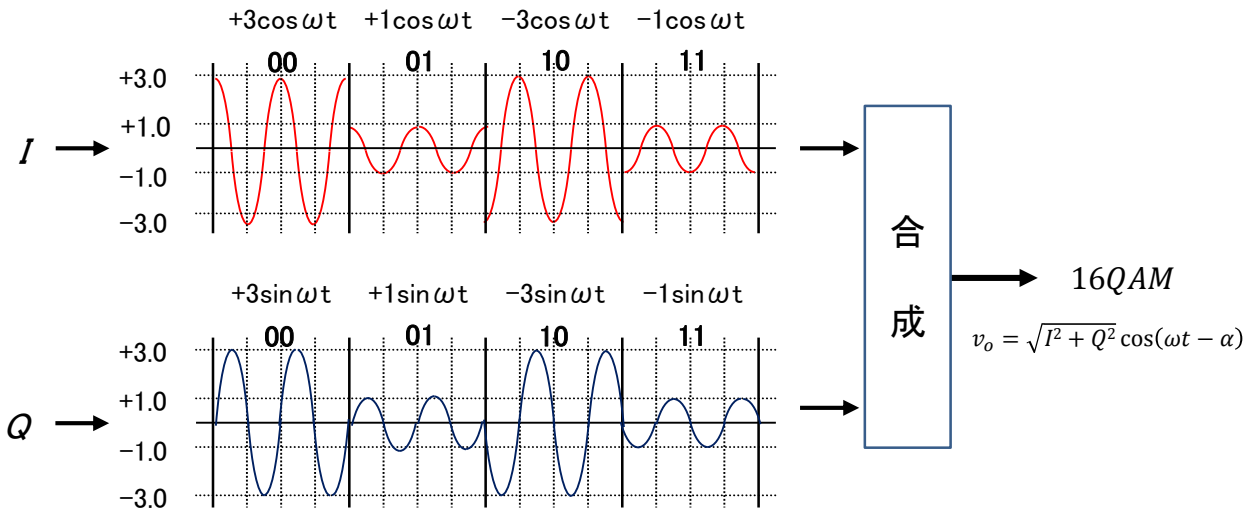
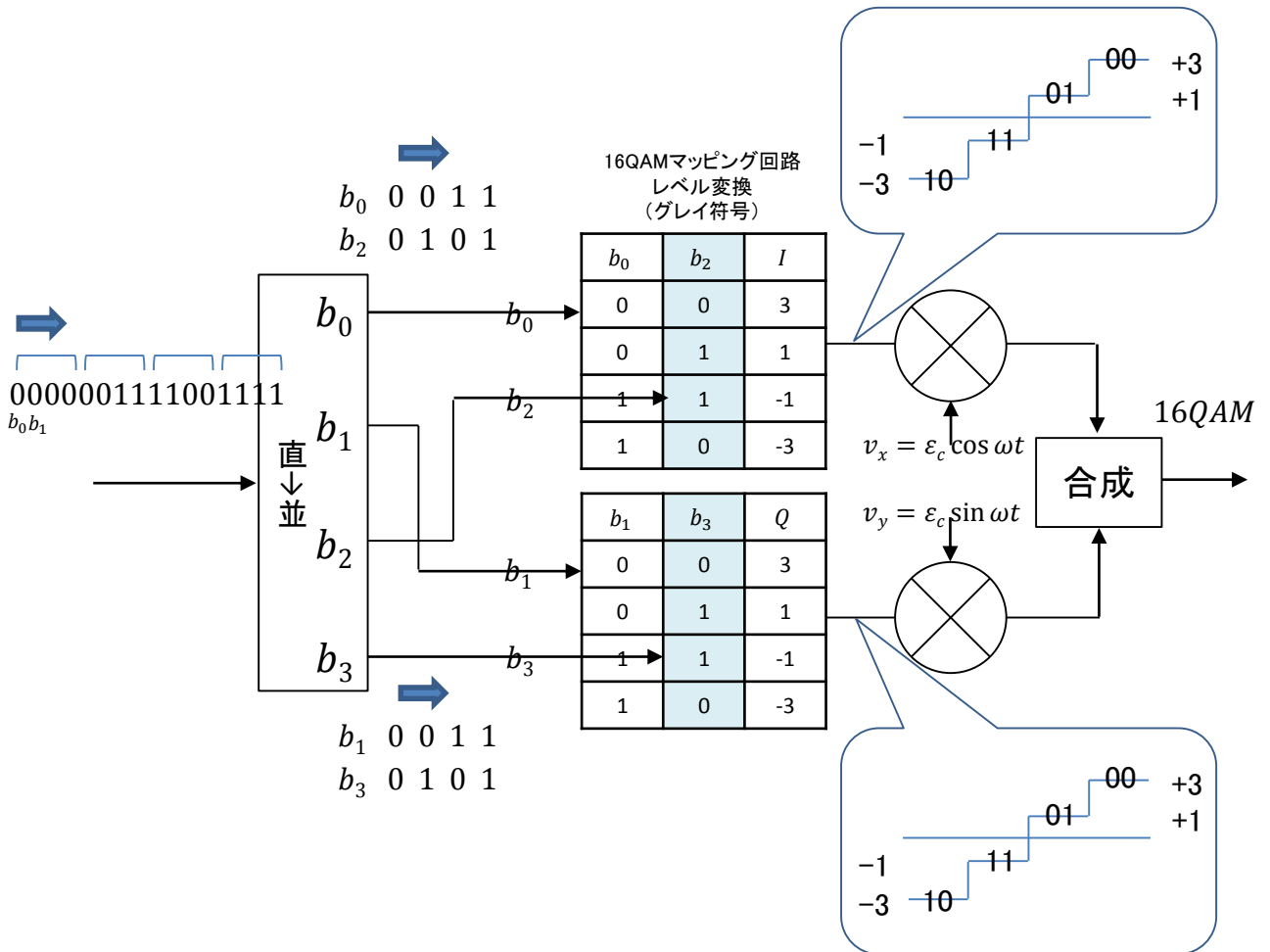


$b_0$	$b_1$	$s_1(t)$	$s_2(t)$	$I$	$Q$	$\sqrt{I^2 + Q^2}$
0	0	1	1	$\varepsilon_c$	$\varepsilon_c$	$\sqrt{2}\varepsilon_c$
0	1	1	-1	$\varepsilon_c$	$-\varepsilon_c$	$\sqrt{2}\varepsilon_c$
1	1	-1	-1	$-\varepsilon_c$	$-\varepsilon_c$	$\sqrt{2}\varepsilon_c$
1	0	-1	1	$-\varepsilon_c$	$\varepsilon_c$	$\sqrt{2}\varepsilon_c$

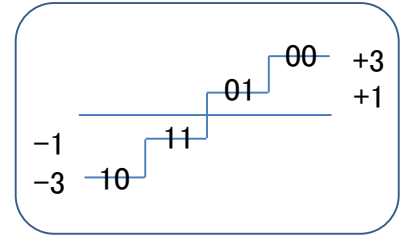
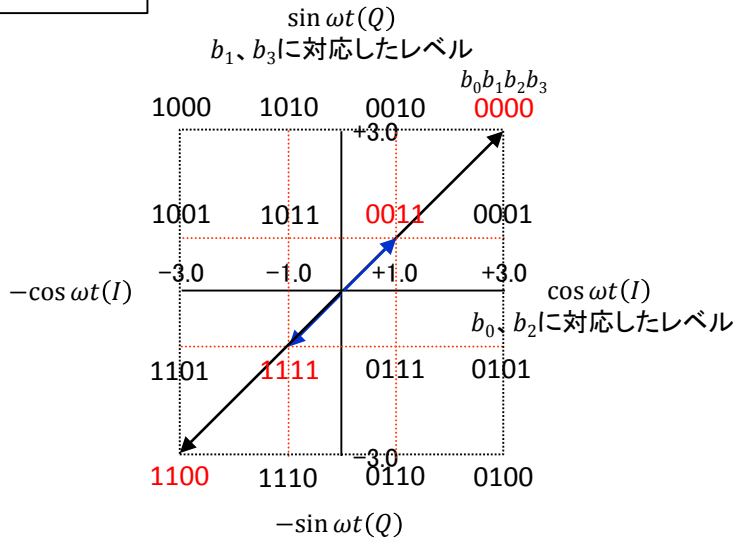
$\alpha$	合成波 $\sqrt{I^2 + Q^2} \cos(\omega t - \alpha)$
第一象限 $45^\circ \left(\frac{\pi}{4}\right)$	$\sqrt{2}\varepsilon_c \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) \quad t = 0 \quad \sqrt{2}\varepsilon_c \cos\frac{\pi}{4}$
第四象限 $315^\circ \left(\frac{7\pi}{4}\right)$	$\sqrt{2}\varepsilon_c \cos\left(\omega t - \frac{7\pi}{4}\right) \quad t = 0 \quad \sqrt{2}\varepsilon_c \cos\frac{7\pi}{4}$
第三象限 $225^\circ \left(\frac{5\pi}{4}\right)$	$\sqrt{2}\varepsilon_c \cos\left(\omega t - \frac{5\pi}{4}\right) \quad t = 0 \quad \sqrt{2}\varepsilon_c \cos\frac{5\pi}{4}$
第二象限 $135^\circ \left(\frac{3\pi}{4}\right)$	$\sqrt{2}\varepsilon_c \cos\left(\omega t - \frac{3\pi}{4}\right) \quad t = 0 \quad \sqrt{2}\varepsilon_c \cos\frac{3\pi}{4}$

# - 16QAM変調器 -

以下に16QAM変調器の原理図を示す。



16QAM位相図

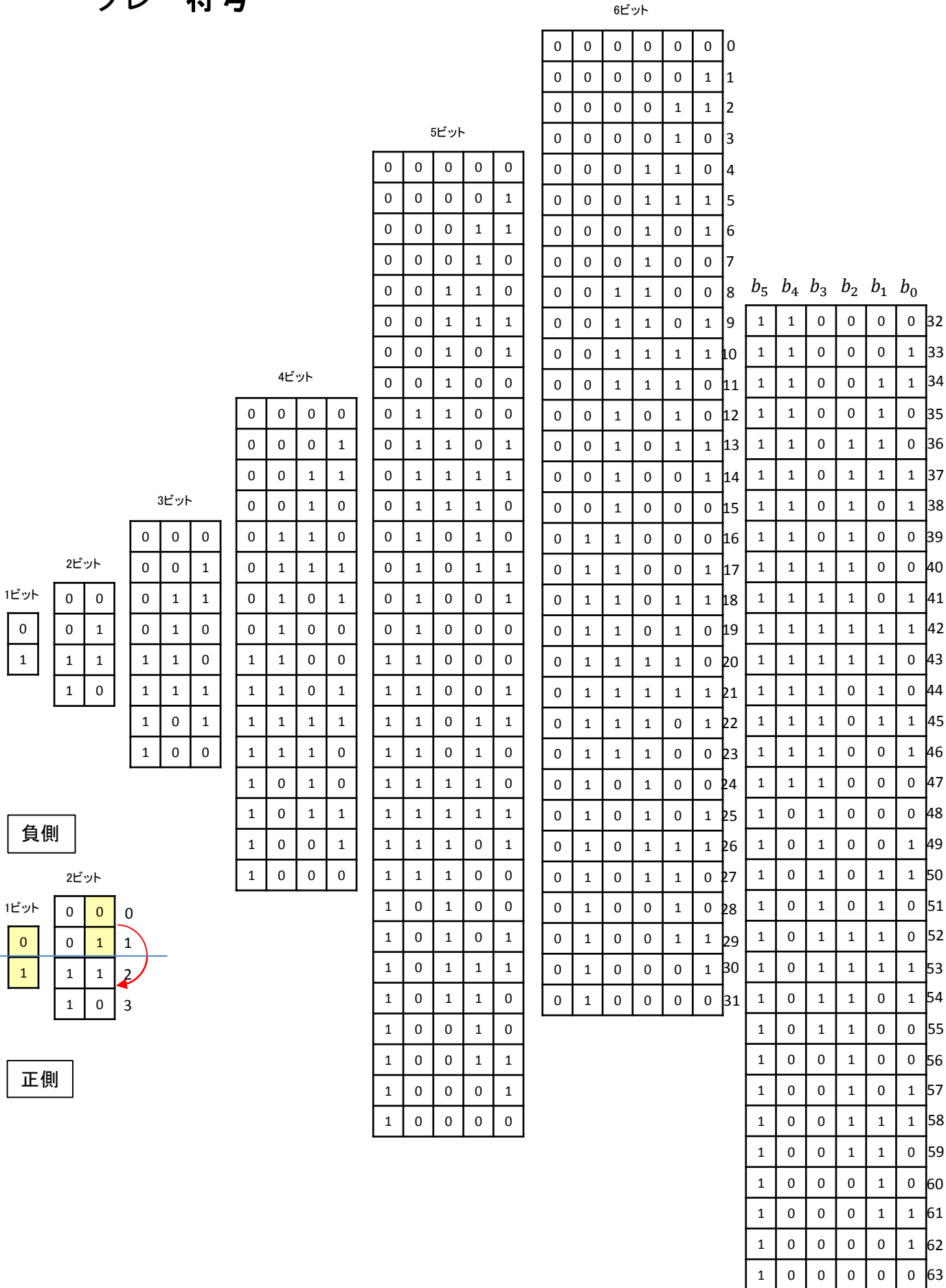


まず、4ビットのグレイを作る。 QAM変調器へ振分ける。

16QAM位相図表示  
表示がこうなる。

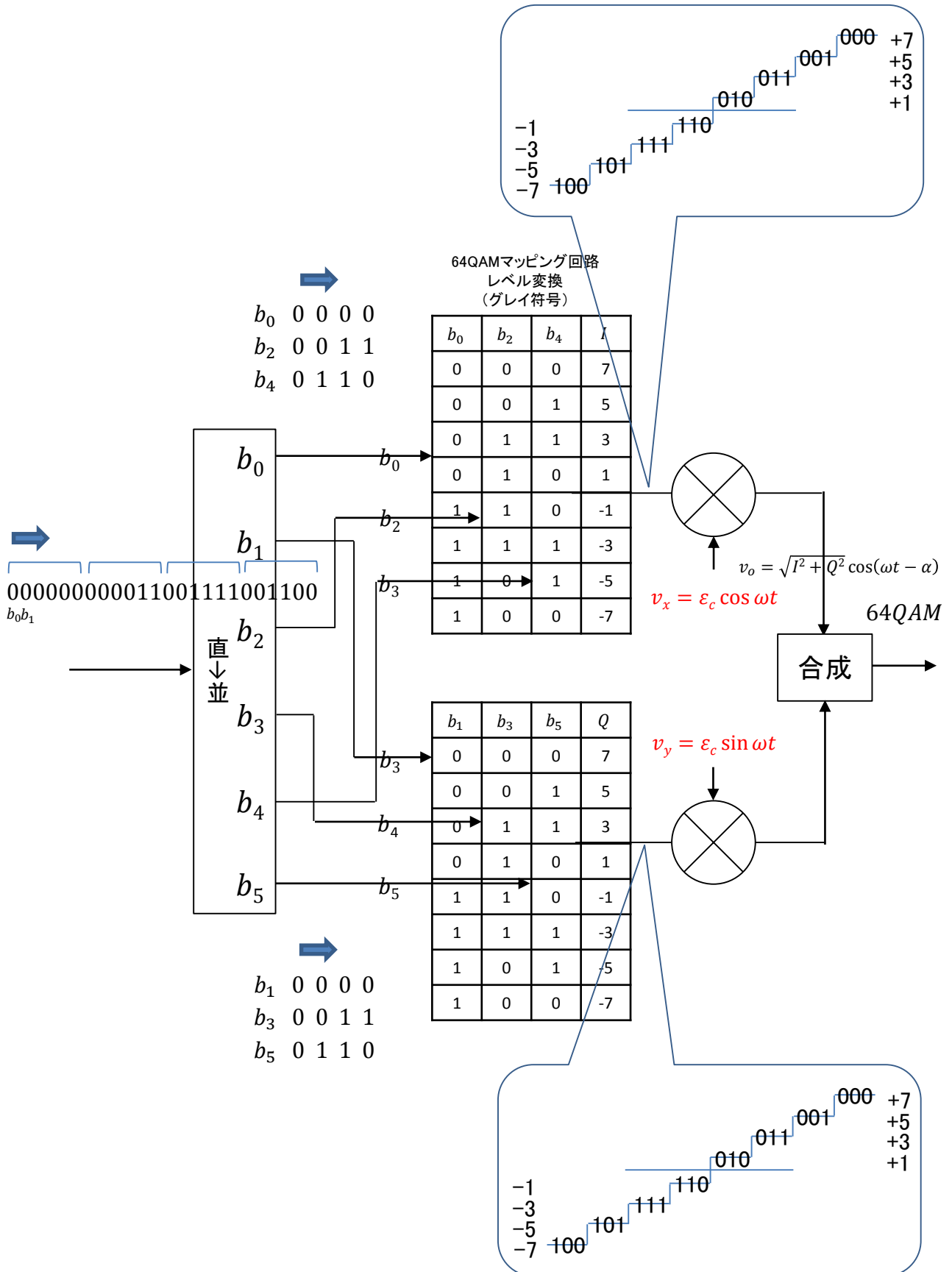
10進	バイナリ $b_3b_2b_1b_0$	グレイ $b_3b_2b_1b_0$	I $b_0b_2$	Q $b_1b_3$	$\sqrt{I^2 + Q^2}$	位相角	位相図データ(グレイ) $b_0b_1b_2b_3$
0	0000	0000	00 +3	00 +3	$3\sqrt{2}$	第一象限 45°	0000
1	0001	0001	10 -3	00 +3	$3\sqrt{2}$	第二象限 135°	1000
2	0010	0011	10 -3	10 -3	$3\sqrt{2}$	第三象限 225°	1100
3	0011	0010	00 +3	10 -3	$3\sqrt{2}$	第四象限 315°	0100
4	0100	0110	01 +1	10 -3	$\sqrt{10}$	第四象限 288°	0110
5	0101	0111	11 -1	10 -3	$\sqrt{10}$	第三象限 262°	1110
6	0110	0101	11 -1	00 +3	$\sqrt{10}$	第二象限 108°	1010
7	0111	0100	01 +1	00 +3	$\sqrt{10}$	第一象限 72°	0010
8	1000	1100	01 +1	01 +1	$\sqrt{2}$	第一象限 45°	0011
9	1001	1101	11 -1	01 +1	$\sqrt{2}$	第二象限 135°	1011
10	1010	1111	11 -1	11 -1	$\sqrt{2}$	第三象限 225°	1111
11	1011	1110	01 +1	11 -1	$\sqrt{2}$	第四象限 315°	0111
12	1100	1010	00 +3	11 -1	$\sqrt{10}$	第四象限 342°	0101
13	1101	1011	10 -3	11 -1	$\sqrt{10}$	第三象限 198°	1101
14	1110	1001	10 -3	01 +1	$\sqrt{10}$	第二象限 168°	1001
15	1111	1000	00 +3	01 +1	$\sqrt{10}$	第一象限 18°	0001

- グレー符号 -

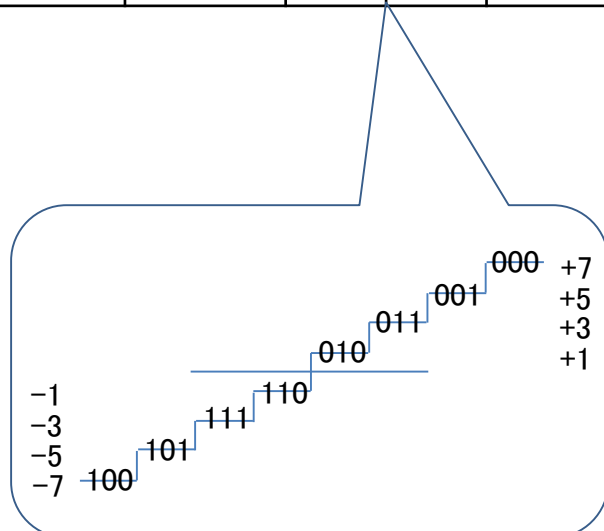


# - 64QAM変調器 -

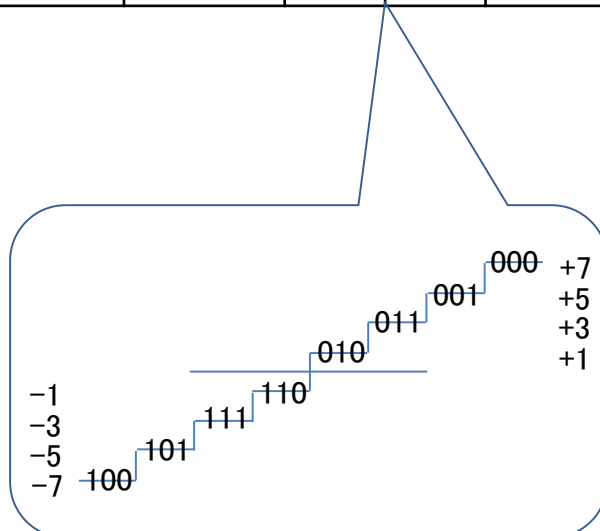
以下に64QAM変調器の原理図を示す。



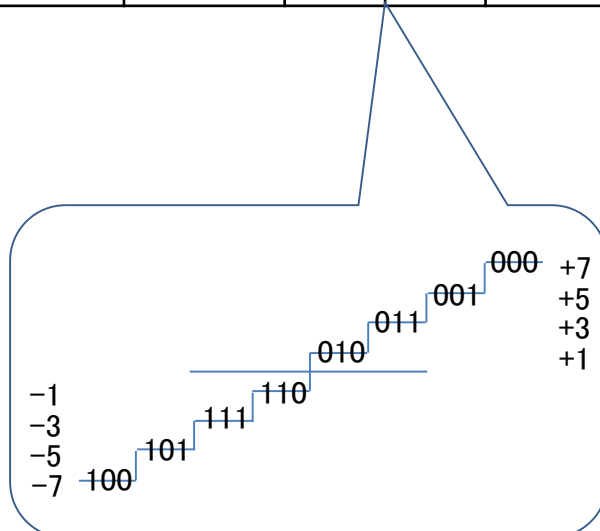
10進	バイナリ $b_5b_4b_3b_2b_1b_0$	グレイ $b_5b_4b_3b_2b_1b_0$	I $b_0b_2b_4$	Q $b_1b_3b_5$	位相図 グレイ $b_0b_1b_2b_3b_4b_5$
0	000000	000000	000 +7	000 +7	000000
1	000001	000001	100 -7	000 +7	100000
2	000010	000011	100 -7	100 -7	110000
3	000011	000010	000 +7	100 -7	010000
4	000100	000110	010 +1	100 -7	011000
5	000101	000111	110 -1	100 -7	111000
6	000110	000101	110 -1	000 +7	101000
7	000111	000100	010 +1	000 +7	001000
8	001000	001100	010 +1	010 +1	001100
9	001001	001101	110 -1	010 +1	101100
10	001010	001111	110 -1	110 -1	111100
11	001011	001110	010 +1	110 -1	011100
12	001100	001010	000 +7	110 -1	010100
13	001101	001011	100 -7	110 -1	110100
14	001110	001001	100 -7	010 +1	100100
15	001111	001000	000 +7	010 +1	000100



10進	バイナリ $b_5b_4b_3b_2b_1b_0$	グレイ $b_5b_4b_3b_2b_1b_0$	I $b_0b_2b_4$	Q $b_1b_3b_5$	位相図 グレイ $b_0b_1b_2b_3b_4b_5$
16	010000	011000	001 +5	010 +1	000110
17	0100001	011001	101 -5	010 +1	100110
18	010010	011011	101 -5	110 -1	110110
19	010011	011010	001 +5	110 -1	010110
20	010100	011110	011 +3	110 -1	011110
21	010101	011111	111 -3	110 -1	111110
22	010110	011101	111 -3	010 +1	101110
23	010111	011100	011 +3	010 +1	001110
24	011000	010100	011 +3	000 +7	001010
25	011001	010101	111 -3	000 +7	101010
26	011010	010111	111 -3	100 -7	111010
27	011011	010110	011 +3	100 -7	011010
28	011100	010010	001 +5	100 -7	010010
29	011101	010011	101 -5	100 -7	110010
30	011110	010001	101 -5	000 +7	100010
31	011111	010000	001 +5	000 +7	000010

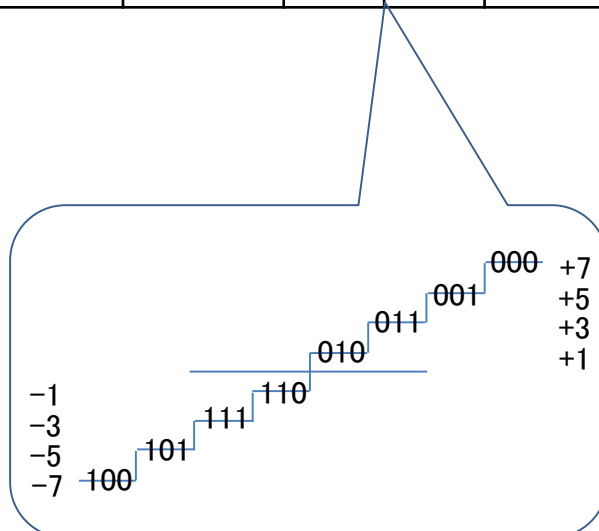


10進	バイナリ $b_5b_4b_3b_2b_1b_0$	グレイ $b_5b_4b_3b_2b_1b_0$	I $b_0b_2b_4$	Q $b_1b_3b_5$	位相図 グレイ $b_0b_1b_2b_3b_4b_5$
16	010000	011000	001 +5	010 +1	000110
17	0100001	011001	101 -5	010 +1	100110
18	010010	011011	101 -5	110 -1	110110
19	010011	011010	001 +5	110 -1	010110
20	010100	011110	011 +3	110 -1	011110
21	010101	011111	111 -3	110 -1	111110
22	010110	011101	111 -3	010 +1	101110
23	010111	011100	011 +3	010 +1	001110
24	011000	010100	011 +3	000 +7	001010
25	011001	010101	111 -3	000 +7	101010
26	011010	010111	111 -3	100 -7	111010
27	011011	010110	011 +3	100 -7	011010
28	011100	010010	001 +5	100 -7	010010
29	011101	010011	101 -5	100 -7	110010
30	011110	010001	101 -5	000 +7	100010
31	011111	010000	001 +5	000 +7	000010

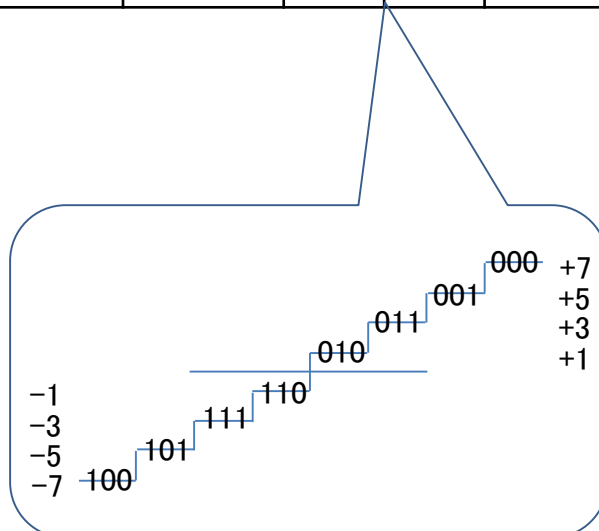




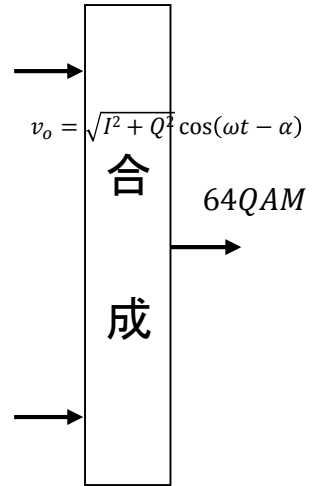
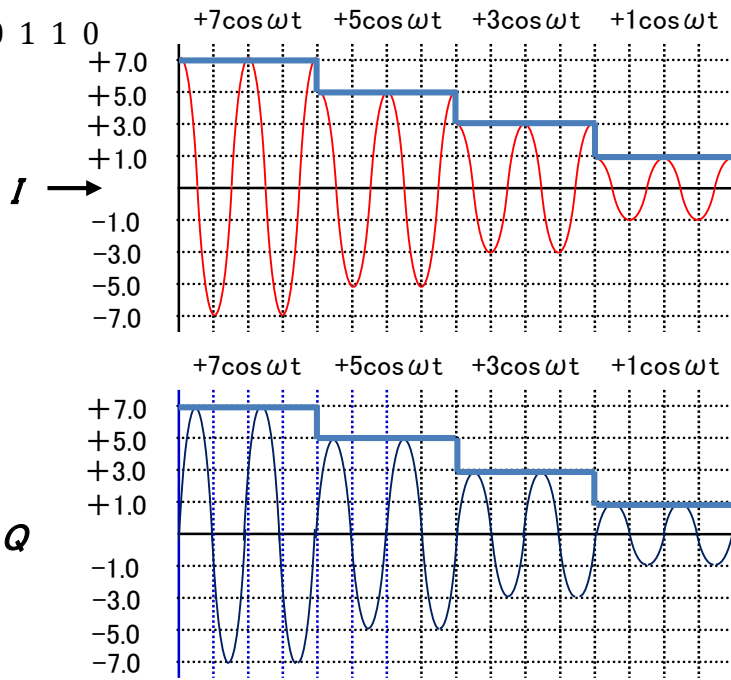
10進	バイナリ $b_5b_4b_3b_2b_1b_0$	グレイ $b_5b_4b_3b_2b_1b_0$	$b_0b_2b_4$ I	$b_1b_3b_5$ Q	位相図 グレイ $B_0b_1b_2b_3b_4b_5$
32	100000	110000	001 +5	001 +5	000011
33	100001	110001	101 -5	001 +5	100011
34	100010	110011	101 -5	101 -5	110011
35	100011	110010	001 +5	101 -5	010011
36	100100	110110	011 +3	101 -5	011011
37	100101	110111	111 -3	101 -5	111011
38	100110	110101	111 -3	001 +5	101011
39	100111	110100	011 +3	001 +5	001011
40	101000	111100	011 +3	011 +3	001111
41	101001	111101	111 -3	011 +3	101111
42	101010	111111	111 -3	111 -3	111111
43	101011	111110	011 +3	111 -3	011111
44	101100	111010	001 +5	111 -3	010111
45	101101	111011	101 -5	111 -3	110111
46	101110	111001	101 -5	011 +3	100111
47	101111	111000	001 +5	011 +3	000111



10進	バイナリ $b_5b_4b_3b_2b_1b_0$	グレイ $b_5b_4b_3b_2b_1b_0$	$b_0b_2b_4$ I	$b_1b_3b_5$ Q	位相図 グレイ $B_0b_1b_2b_3b_4b_5$
48	110000	101000	000 +7	011 +3	000101
49	110001	101001	100 -7	011 +3	100101
50	110010	101011	100 -7	111 -3	110101
51	110011	101010	000 +7	111 -3	010101
52	110100	101110	010 +1	111 -3	011101
53	110101	101111	110 -1	111 -3	111101
54	110110	101101	110 -1	011 +3	101101
55	110111	101100	010 +1	011 +1	001101
56	111000	100100	010 +1	001 +5	001001
57	111001	100101	110 -1	001 +5	101001
58	111010	100111	110 -1	101 -5	111001
59	111011	100110	010 +1	101 -5	011001
60	111100	100010	000 +7	101 -5	010001
61	111101	100011	100 -7	101 -5	110001
62	111110	100001	100 -7	001 +5	100001
63	111111	100000	000 +7	001 +5	000001

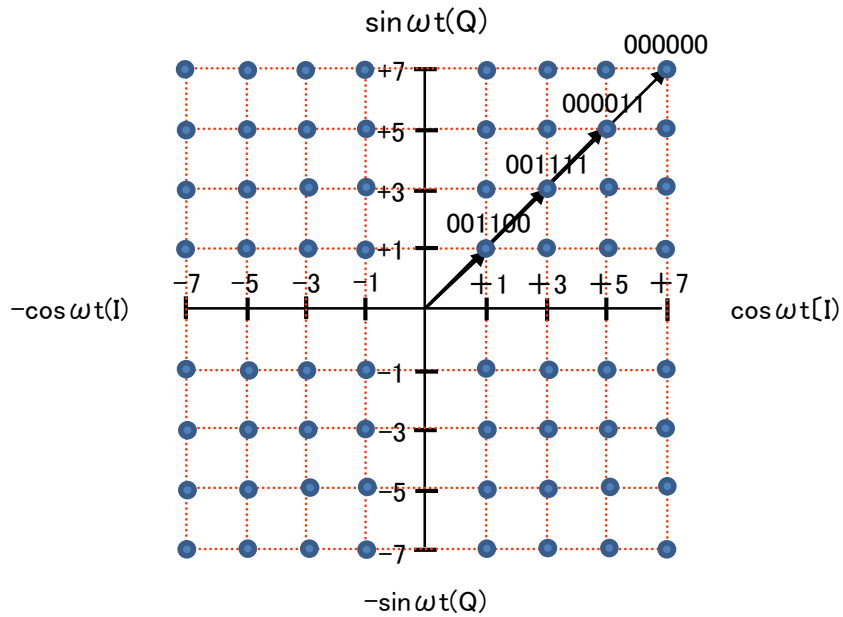


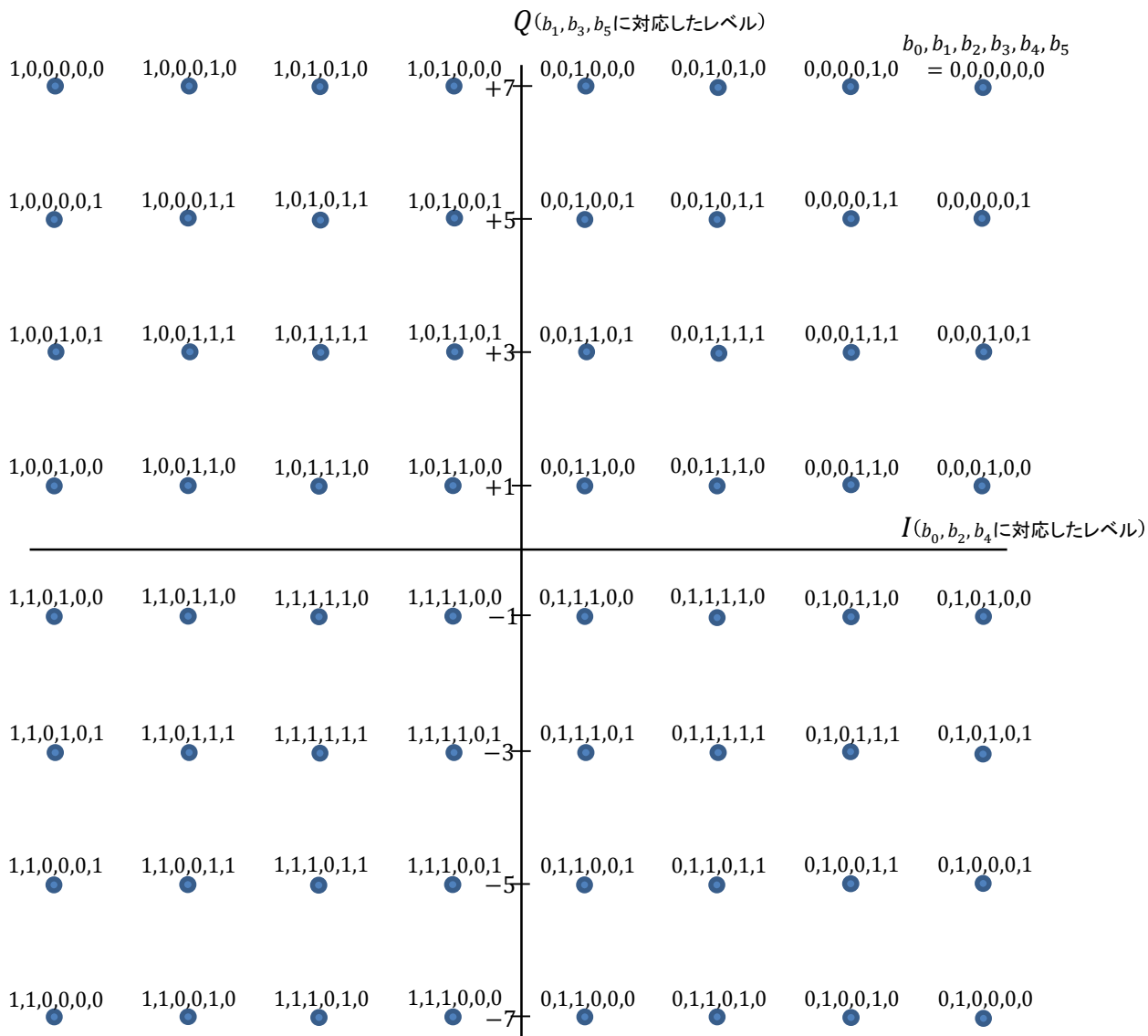
$b_0$  0 0 0 0  
 $b_2$  0 0 1 1  
 $b_4$  0 1 1 0



$b_1$  0 0 0 0  
 $b_3$  0 0 1 1  
 $b_5$  0 1 1 0

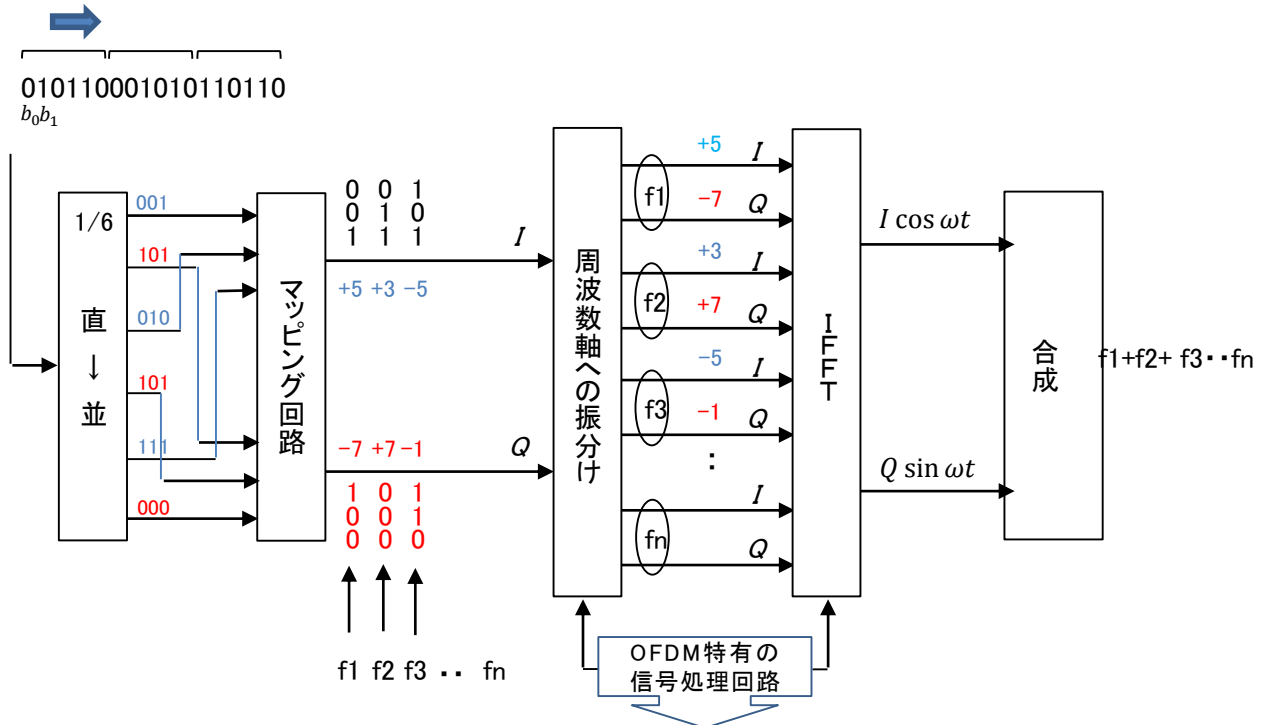
合成ベクトル図





64QAM位相図

- 64QAM-OFDM変調器 -



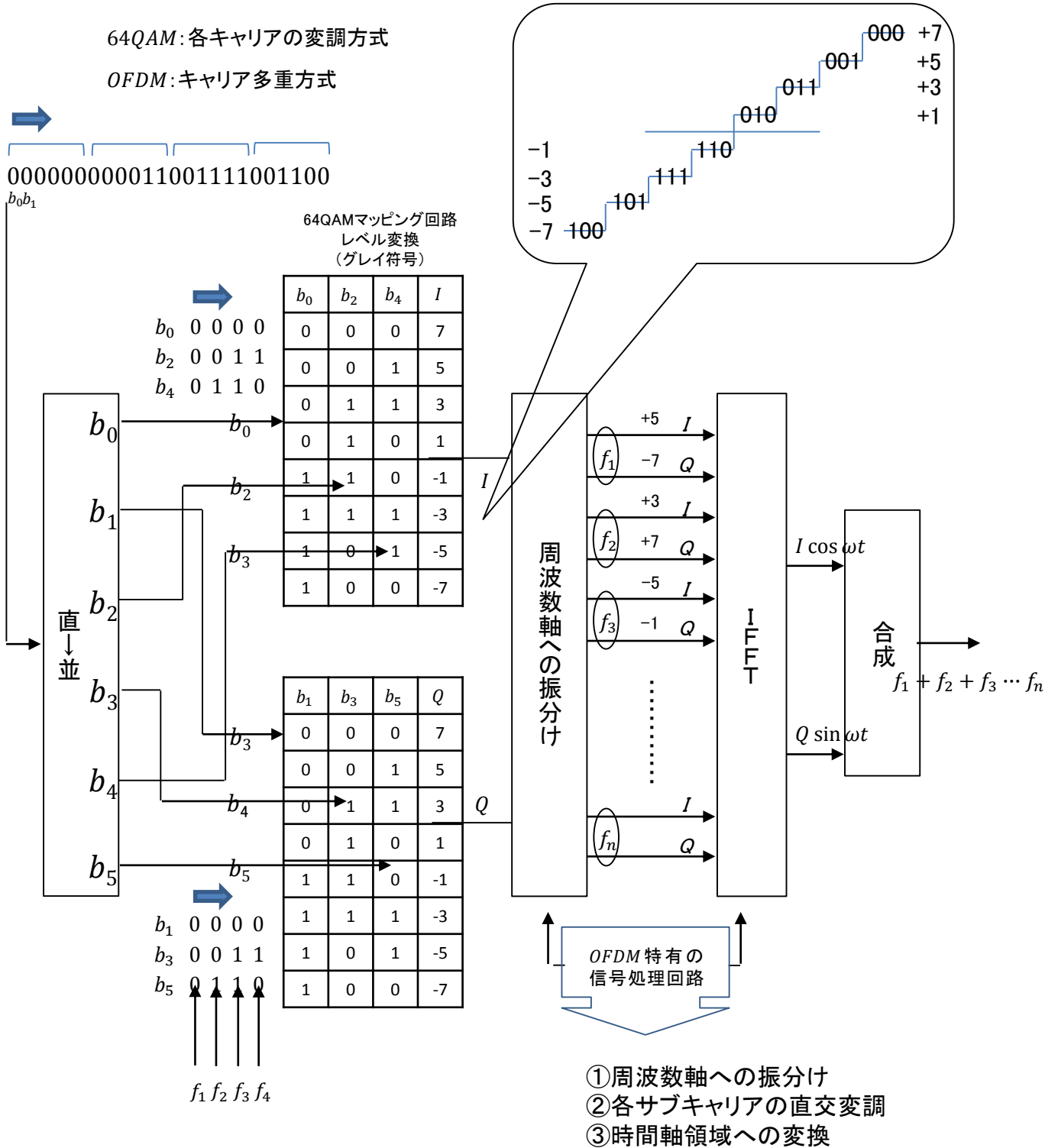
**64QAM - OFDM**  
各キャリアの変調方式    キャリア多重方式

- 役割**
- ①周波数軸への振分け
  - ②各サブキャリアの直交変調
  - ③時間軸領域への変換

☆①～③の処理はIFFT・LSIの中で行われる。  
 ☆変調はIFFT(Inverse Fast Fourier Transform: 逆高速フーリエ変換)、復調はFFT  
 ☆各キャリアはQPSK、QAMなど特定の変調方式によりよりデジタル変調される。  
 ☆OFDM信号は多数キャリアの合成となる。

# - 64QAM-OFDM変調器 -

以下に64QAM - OFDM変調器の原理図を示す。



☆①~③の処理はIFFT・LSIの中で行われる。

☆変調はIFFT(Inverse Fast Fourier Transform: 逆高速フーリエ変換)、復調はFFT

☆各キャリアはQPSK、QAMなど特定の変調方式によりよりデジタル変調される。

☆OFDM信号は多数キャリアの合成となる。