

Sintetizzatori di frequenza

Sistemi analogici

- Sistemi in grado di fornire oscillazioni a frequenza regolabile su più decenni a partire da una (o poche) oscillazioni a frequenza fissa con risoluzione anche inferiore all'Hertz.
- Basati su oscillatore al quarzo (ottima stabilità a lungo termine).

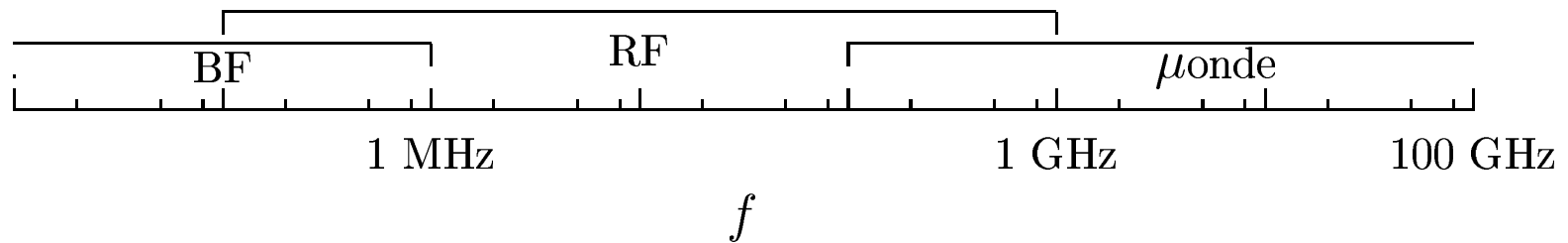
Recentemente sostituiti sempre più con sistemi digitali.

Principali applicazioni:

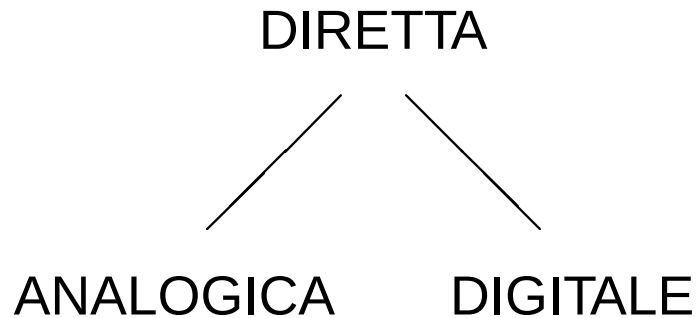
- Freq. di riferimento per misure di frequenza.
- Generazione di forme d'onda.

Generatori di forme d'onda

- Generatori sinusoidali (sintetizzatori di frequenza)



- Sintesi di frequenza

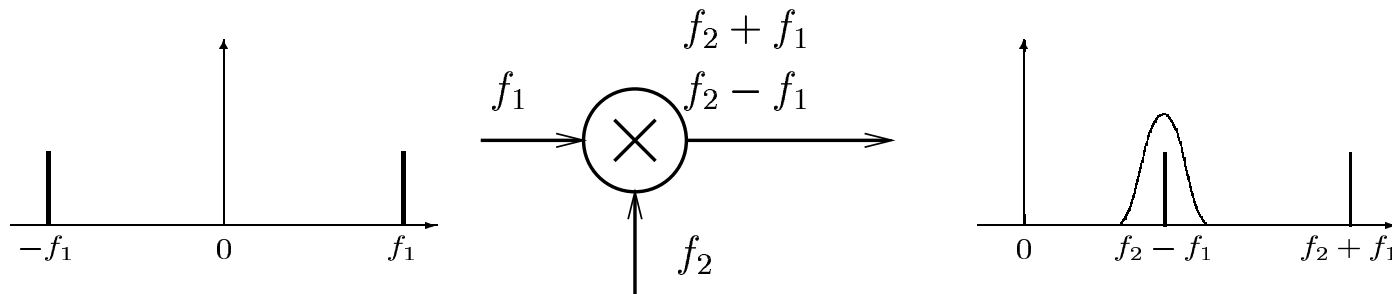


Sintesi analogica diretta

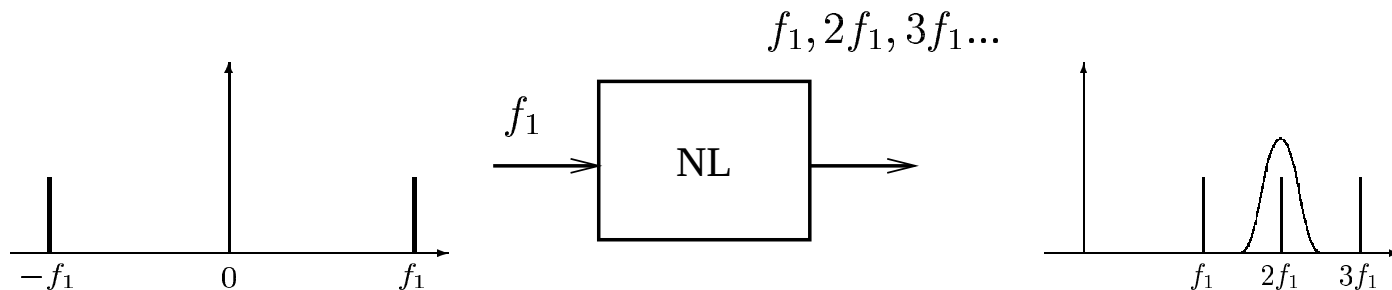
Operazioni elementari sulle frequenze:

$f_1 \pm f_2$:

$$\sin(2\pi f_1 t) \sin(2\pi f_2 t) = \frac{1}{2} [\cos 2\pi(f_2 - f_1)t - \cos 2\pi(f_1 + f_2)t]$$



$f_1 \times N$:

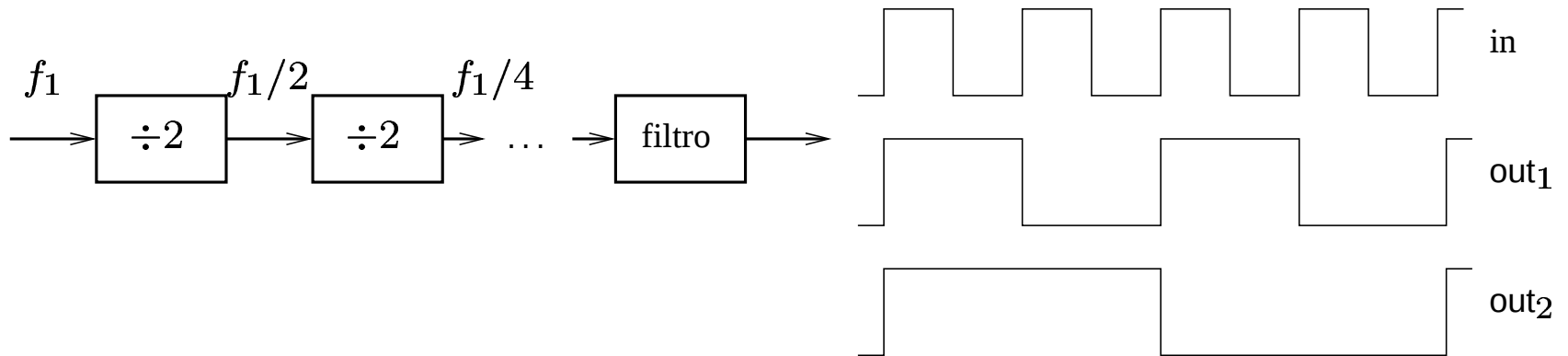


$\triangle!$: ampiezza delle armoniche, selettività dei filtri

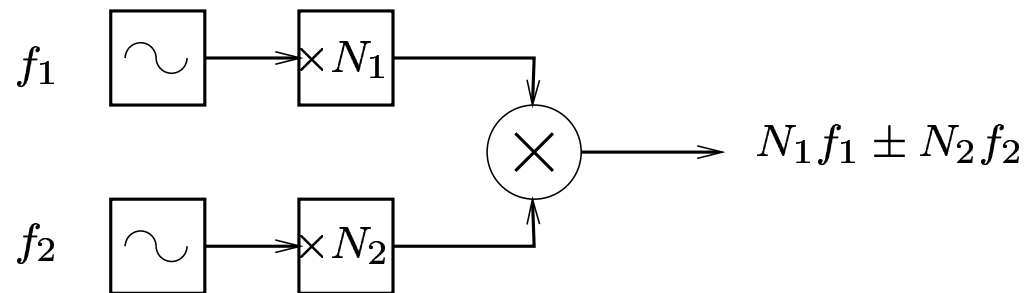
Sintesi analogica diretta

Operazioni elementari sulle frequenze (2):

$f_1 \div M$:



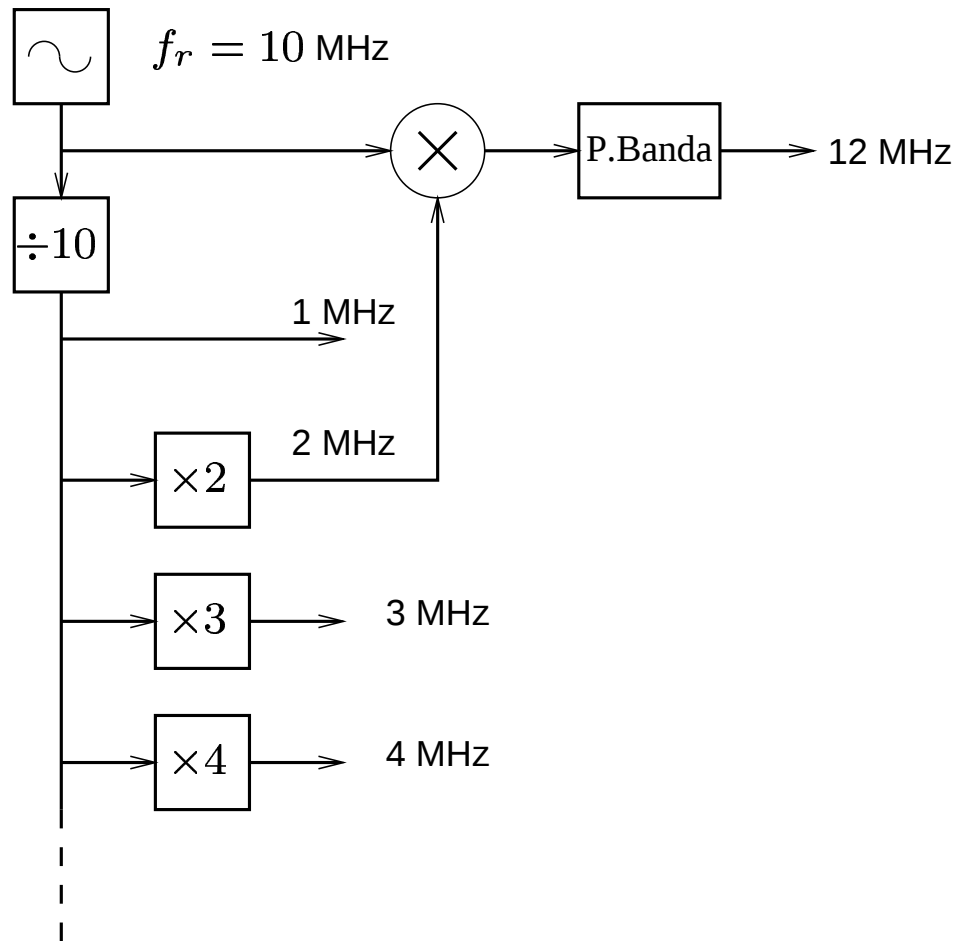
combinazione lineare:



Es.: $f_1 = 1$ MHz, $f_2 = 10$ MHz, $f_o = N_1 + 10N_2$ MHz.

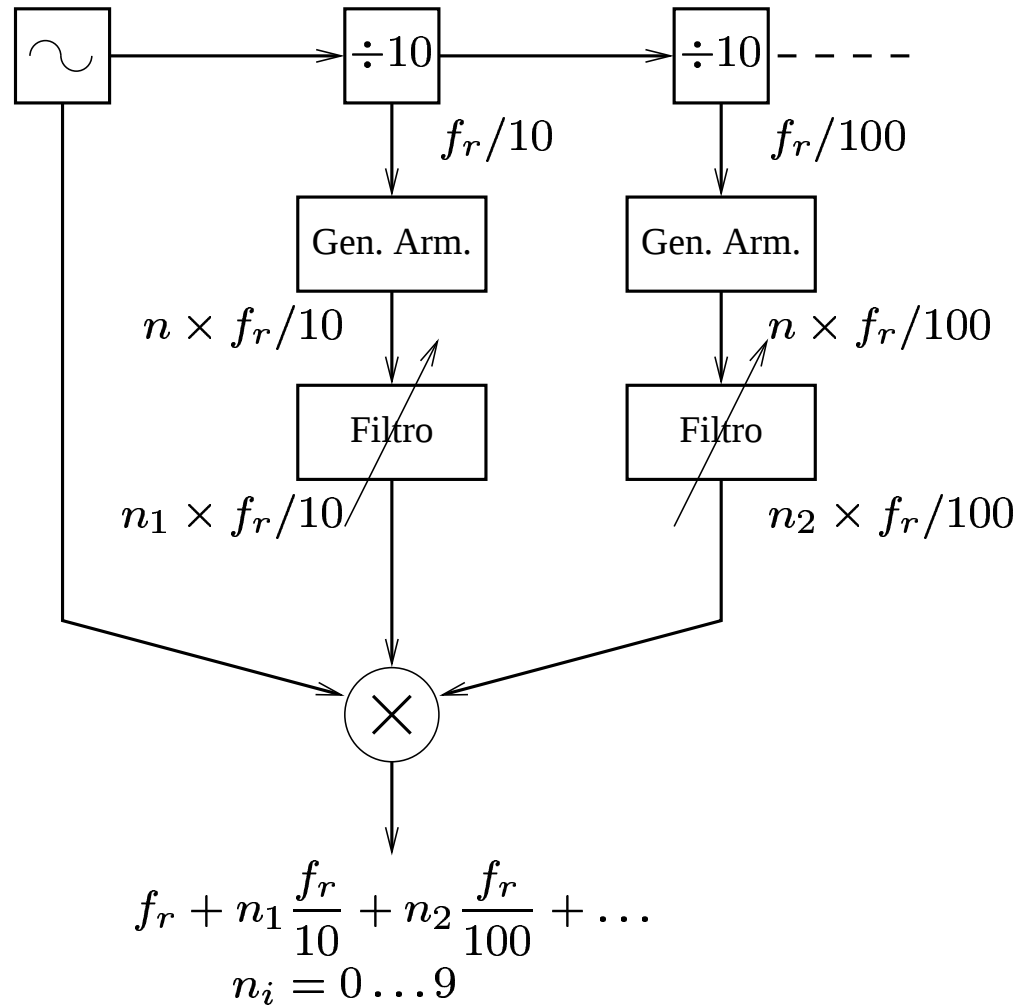
⚠ : ampiezza delle armoniche, selettività dei filtri

Sintesi analogica diretta

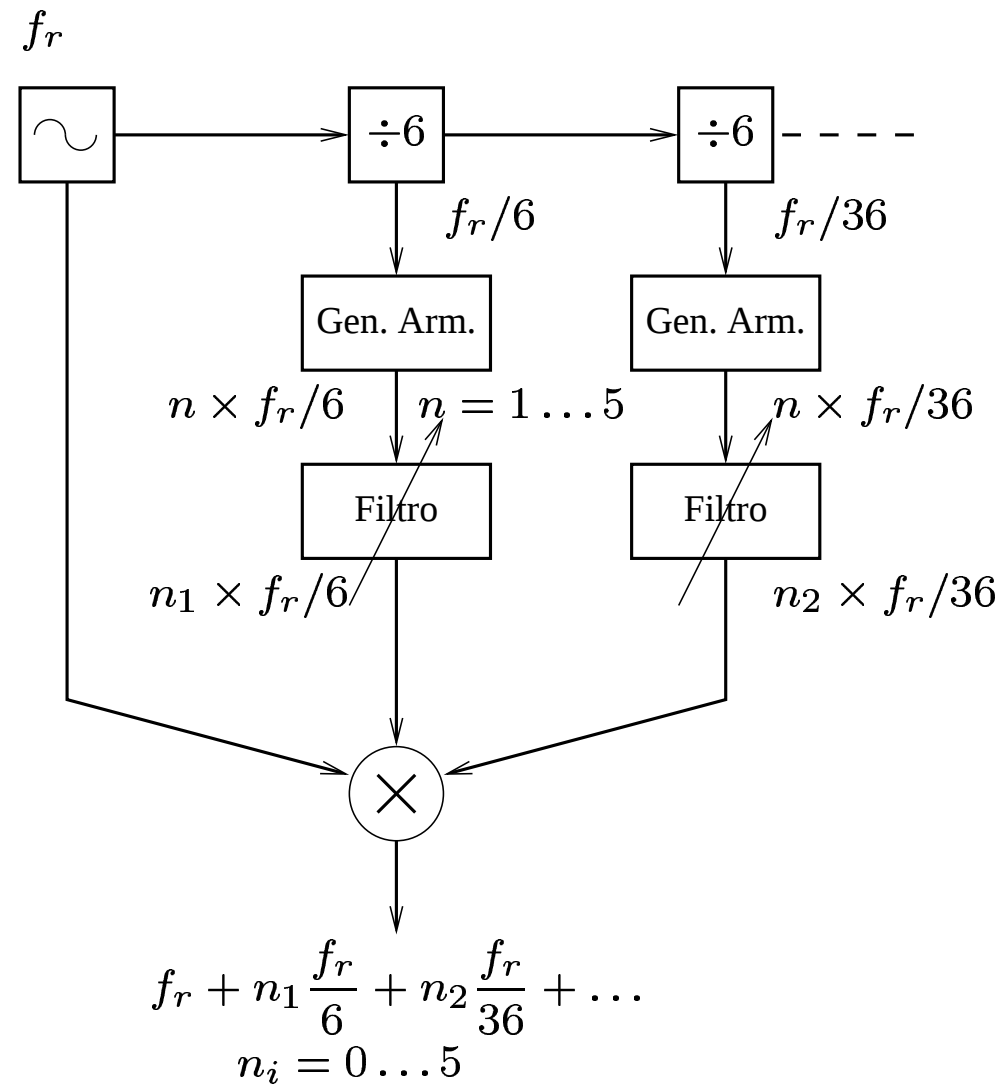


Generazione di Gruppi Spettrali

$$f_r = 10 \text{ MHz}$$

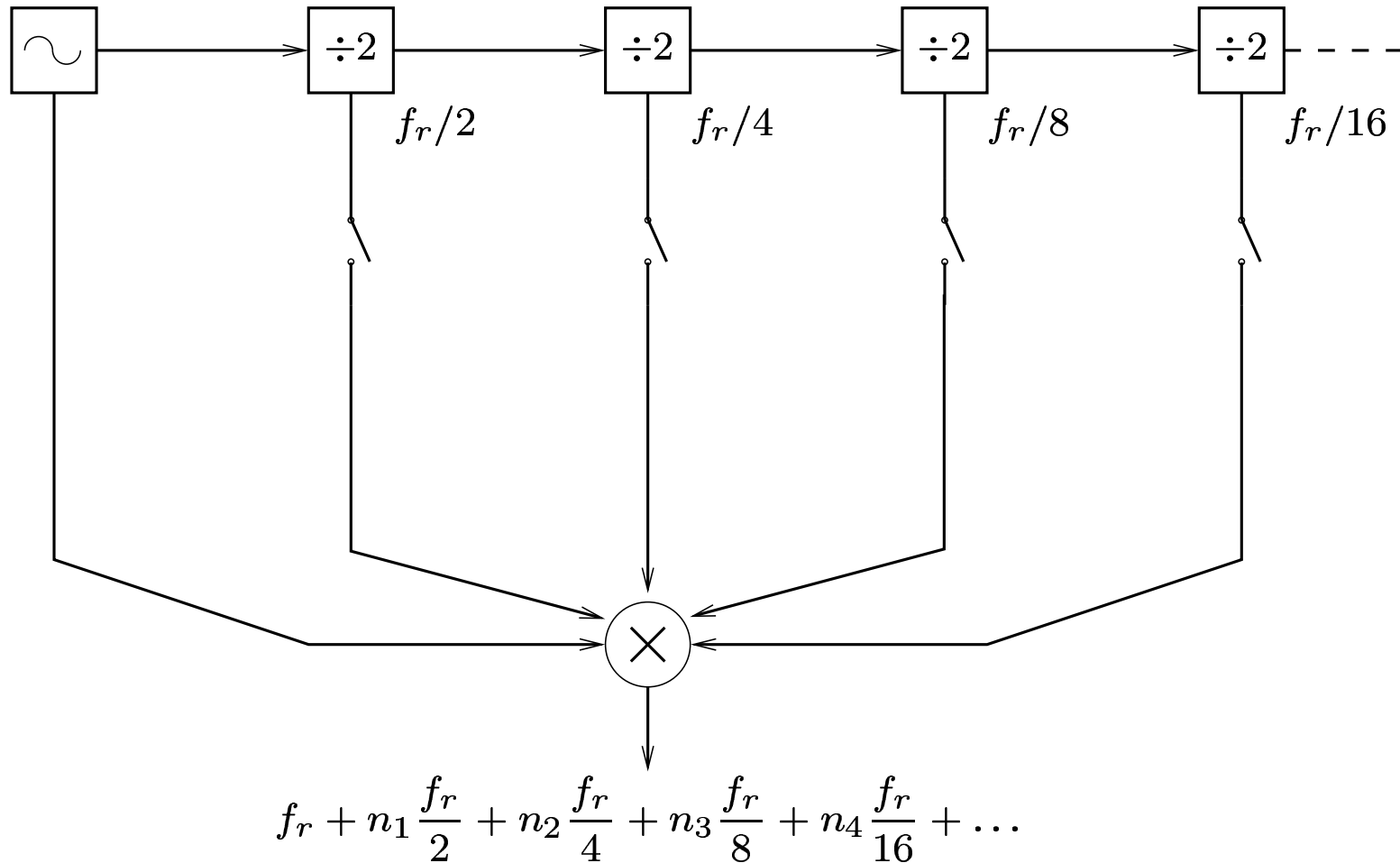


Generazione di Gruppi Spettrali (2)



Generazione di Gruppi Spettrali (3)

$$f_r = 16 \text{ MHz}$$

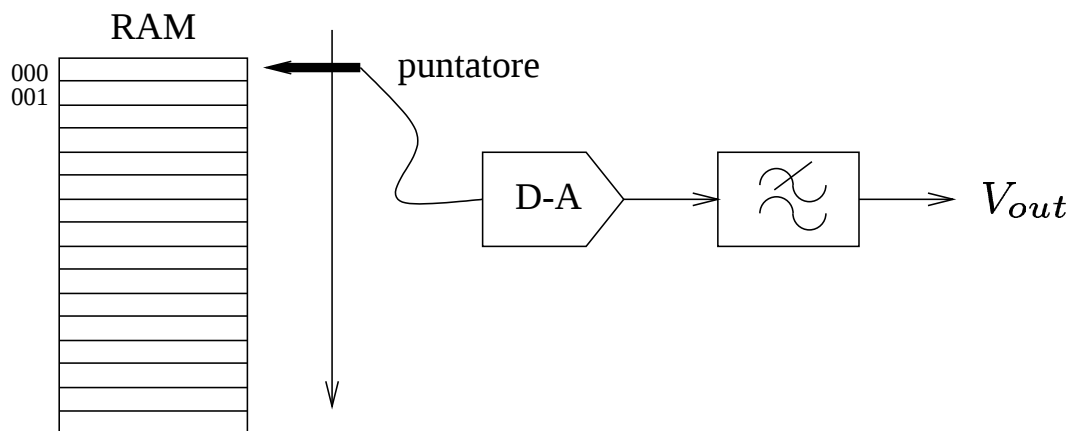


$$n_i = 0 \dots 1$$

Sintesi Digitale Diretta (DDS)

- Principio di funzionamento:

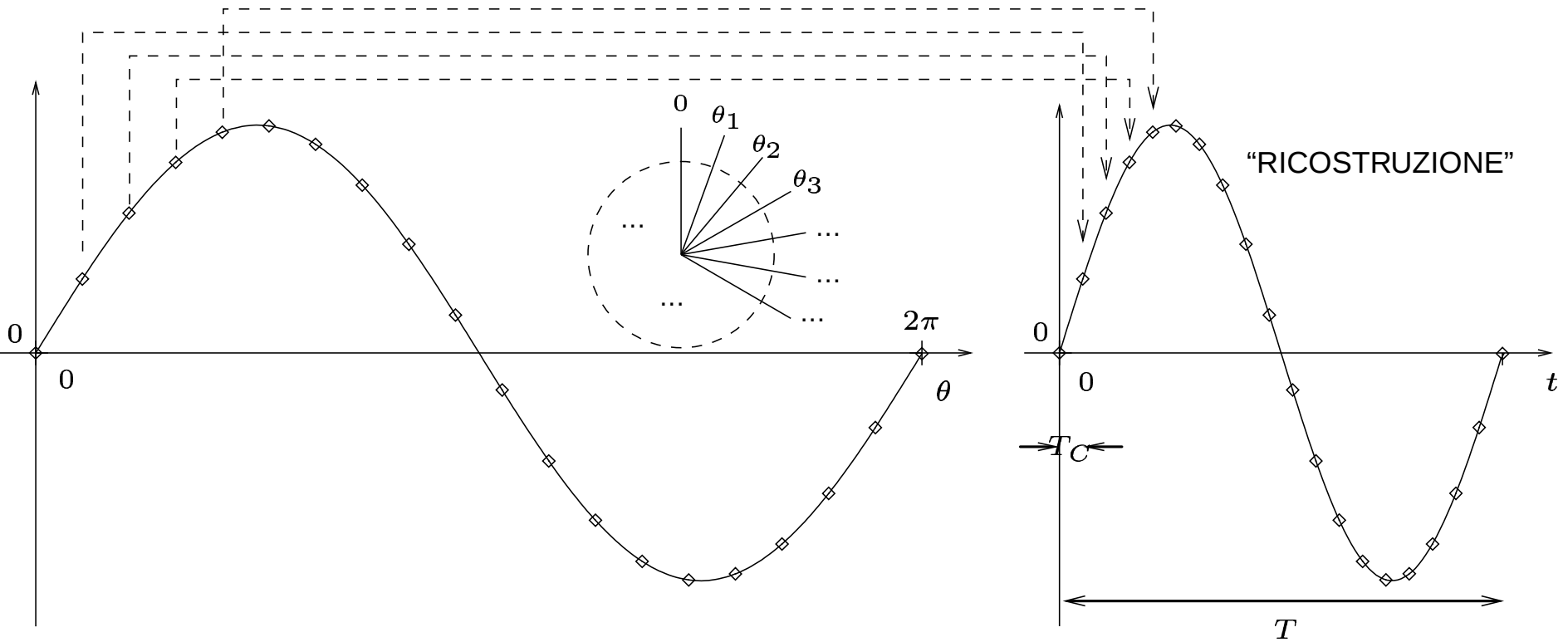
Campioni del segnale richiesto sono periodicamente estratti da una memoria e presentati in uscita.



Anche per tensioni non sinusoidali:

(o. quadra, o. triangolare, tens. impulsive, tensioni definite dall'operatore)

Sintesi digitale diretta (DDS)



es: $v(\theta) = V_M \sin \theta$

n campioni/periodo $\rightarrow$ RAM

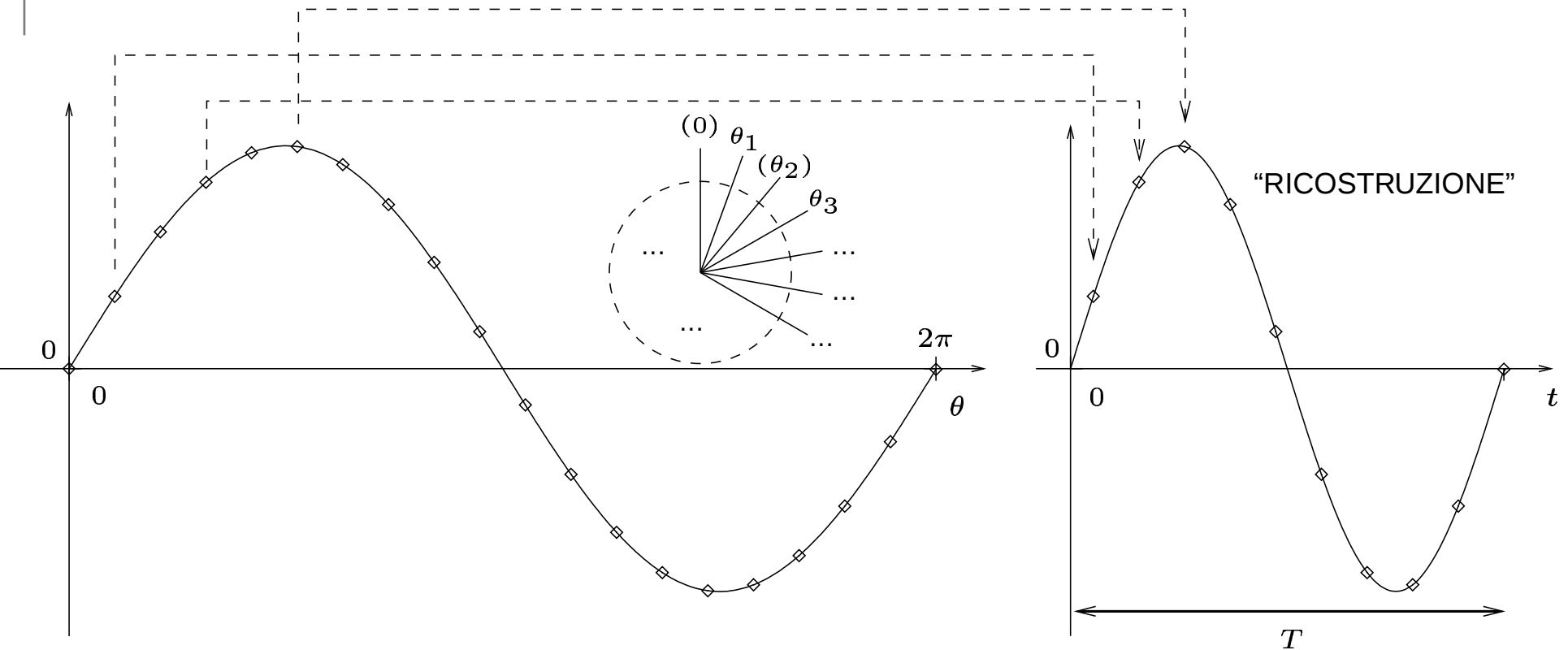
campioni sfasati di $\Delta\theta = 2\pi/n$

n campioni/periodo

$$T = nT_C = n/f_{clock}$$

$$f = f_{clock}/n$$

Sintesi digitale diretta (DDS)



es: $v(\theta) = V_M \sin \theta$

n campioni/periodo $\rightarrow$ RAM

campioni sfasati di $\Delta\theta = 2\pi/n$

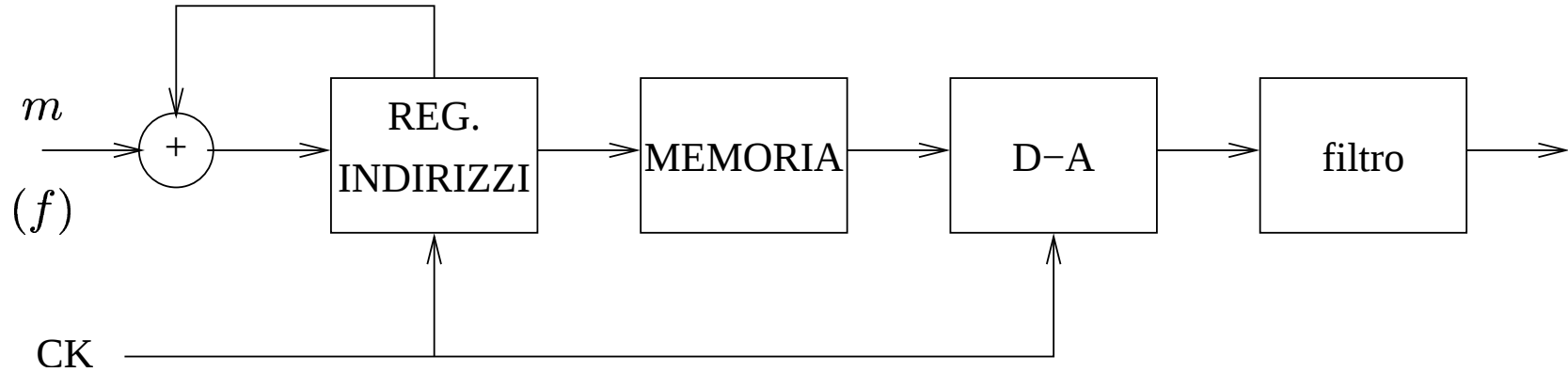
n/m campioni/periodo (p. es. $n/2$)

$$T = n/mT_C = n/(mf_{clock})$$

(p. es. $n/(2f_{clock})$)

$$f = mf_{clock}/n \quad (\text{p. es. } 2f_{clock}/n)$$

Sintesi digitale diretta (DDS)



Sintesi digitale diretta (DDS)

- minima frequenza sintetizzabile: $f_{min} = f_{out}|_{m=1} = \frac{1}{nT_C}$
- risoluzione in frequenza $\Delta f = f_{min} = f_{out}|_{m=1} = \frac{1}{nT_C}$
- massima frequenza sintetizzabile
($\triangle!$ hp: min 4 campioni/periodo): $f_{max} = \frac{m}{nT_C} = \frac{1}{4T_C}$
- range: $\frac{f_{max}}{f_{min}} = \frac{n}{4}$

A.W.G.

Arbitrary Waveform Generator

- Forniscono (previa memorizzazione):
 - forme d'onda definite dall'utente
 - forme d'onda prodotte da altri sistemi (digitalizzazione)
 - forme d'onda definite per via analitica (discrete)
 - forme d'onda risultato di simulazioni
 - forme d'onda ottenute mettendo insieme spezzoni di altri segnali (editing grafico o mediante programma)
 - . . .

Agilent 33220A

Function/Arbitrary Waveform Generator:

$f_{CK} = 40 \text{ MHz}$:

frequency range

$1 \mu\text{Hz}^{(*)} - 20 \text{ MHz}$ sin

$1 \mu\text{Hz}^{(*)} - 200 \text{ kHz}$ ramp, triang.

Arbitrary

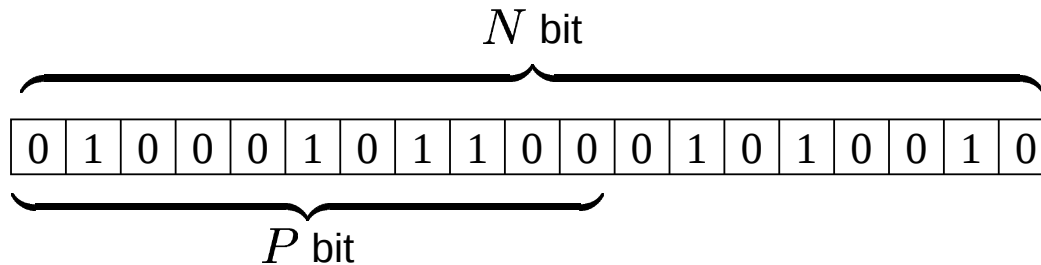
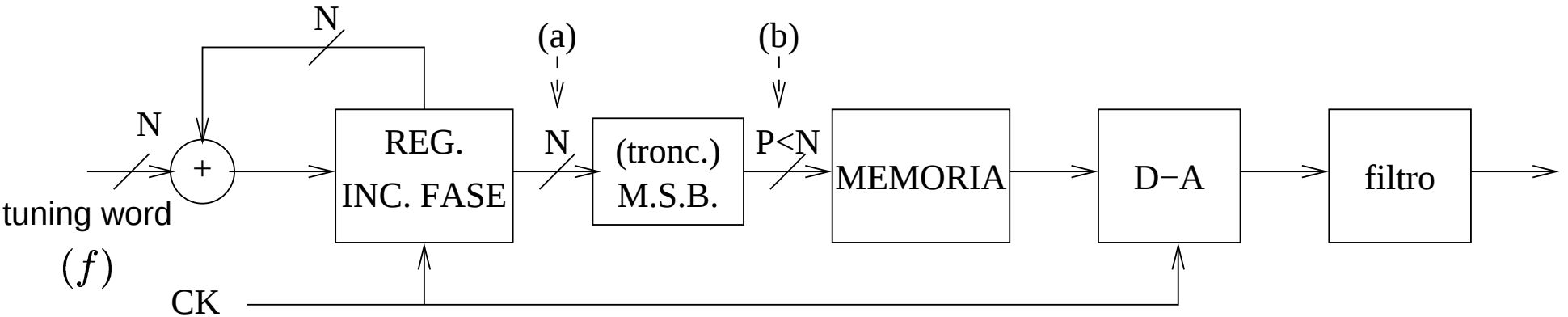
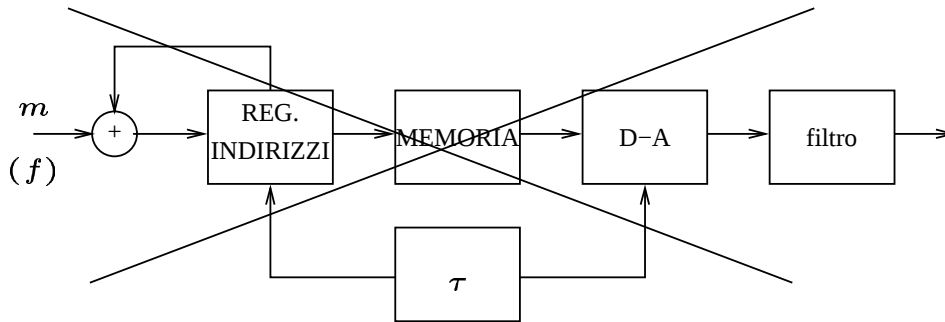
freq. range: $1 \mu\text{Hz} - 20 \text{ MHz}$

waveform length: 2 to 64k pts.

ampl. resolution: 14 bit

* $40 \text{ MHz}/64k \gg 1 \mu\text{Hz}!?!?!?$

Accumulo di fase



Accumulo di fase

N = 4, P = 2

CK	
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111

tuning word = 1									
1		2		3		4		5	
(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
0000	00	0000	00	0000	00	0000	00	0000	00
0001	00	0010	00	0011	00	0100	01	0101	01
0010	00	0100	01	0110	01	1000	10	1010	10
0011	00	0110	01	1001	10	1100	11	1111	11
0100	01	1000	10	1100	11	0000	00	0100	01
0101	01	1010	10	1111	11	0100	01	1001	10
0110	01	1100	11	0010	00	1000	10	1110	11
0111	01	1110	11	0101	01	1100	11	0011	00
1000	10	0000	00	1000	10	0000	00	1000	10
1001	10	0010	00	1011	10	0100	01	1101	11
1010	10	0100	01	1110	11	1000	10	0010	00
1011	10	0110	01	0001	00	1100	11	0111	01
1100	11	1000	10	0100	01	0000	00	1100	11
1101	11	1010	10	0111	01	0100	01	0001	00
1110	11	1100	11	1010	10	1000	10	0110	01
1111	11	1110	11	1101	11	1100	11	1011	10

Accumulo di fase

N = 4, P = 2

CK		tuning word = 2									
		1		2		3		4		5	
		(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
0	0000	0000	00	0000	00	0000	00	0000	00	0000	00
	0001	0001	00	0010	00	0011	00	0100	01	0101	01
1	0010	0010	00	0100	01	0110	01	1000	10	1010	10
	0011	0011	00	0110	01	1001	10	1100	11	1111	11
2	0100	0100	01	1000	10	1100	11	0000	00	0100	01
	0101	0101	01	1010	10	1111	11	0100	01	1001	10
3	0110	0110	01	1100	11	0010	00	1000	10	1110	11
	0111	0111	01	1110	11	0101	01	1100	11	0011	00
4	1000	1000	10	0000	00	1000	10	0000	00	1000	10
	1001	1001	10	0010	00	1011	10	0100	01	1101	11
5	1010	1010	10	0100	01	1110	11	1000	10	0010	00
	1011	1011	10	0110	01	0001	00	1100	11	0111	01
6	1100	1100	11	1000	10	0100	01	0000	00	1100	11
	1101	1101	11	1010	10	0111	01	0100	01	0001	00
7	1110	1110	11	1100	11	1010	10	1000	10	0110	01
	1111	1111	11	1110	11	1101	11	1100	11	1011	10

Accumulo di fase

N = 4, P = 2

CK		tuning word = 3									
		1		2		3		4		5	
		(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
0	0000	0000	00	0000	00	0000	00	0000	00	0000	00
	0001	0001	00	0010	00	0011	00	0100	01	0101	01
	0010	0010	00	0100	01	0110	01	1000	10	1010	10
1	0011	0011	00	0110	01	1001	10	1100	11	1111	11
	0100	0100	01	1000	10	1100	11	0000	00	0100	01
	0101	0101	01	1010	10	1111	11	0100	01	1001	10
2	0110	0110	01	1100	11	0010	00	1000	10	1110	11
	0111	0111	01	1110	11	0101	01	1100	11	0011	00
	1000	1000	10	0000	00	1000	10	0000	00	1000	10
3	1001	1001	10	0010	00	1011	10	0100	01	1101	11
	1010	1010	10	0100	01	1110	11	1000	10	0010	00
	1011	1011	10	0110	01	0001	00	1100	11	0111	01
4	1100	1100	11	1000	10	0100	01	0000	00	1100	11
	1101	1101	11	1010	10	0111	01	0100	01	0001	00
	1110	1110	11	1100	11	1010	10	1000	10	0110	01
5	1111	1111	11	1110	11	1101	11	1100	11	1011	10

Accumulo di fase

N = 4, P = 2

CK		tuning word = 4									
		1		2		3		4		5	
		(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
0	0000	0000	00	0000	00	0000	00	0000	00	0000	00
	0001	0001	00	0010	00	0011	00	0100	01	0101	01
	0010	0010	00	0100	01	0110	01	1000	10	1010	10
	0011	0011	00	0110	01	1001	10	1100	11	1111	11
1	0100	0100	01	1000	10	1100	11	0000	00	0100	01
	0101	0101	01	1010	10	1111	11	0100	01	1001	10
	0110	0110	01	1100	11	0010	00	1000	10	1110	11
	0111	0111	01	1110	11	0101	01	1100	11	0011	00
2	1000	1000	10	0000	00	1000	10	0000	00	1000	10
	1001	1001	10	0010	00	1011	10	0100	01	1101	11
	1010	1010	10	0100	01	1110	11	1000	10	0010	00
	1011	1011	10	0110	01	0001	00	1100	11	0111	01
3	1100	1100	11	1000	10	0100	01	0000	00	1100	11
	1101	1101	11	1010	10	0111	01	0100	01	0001	00
	1110	1110	11	1100	11	1010	10	1000	10	0110	01
	1111	1111	11	1110	11	1101	11	1100	11	1011	10

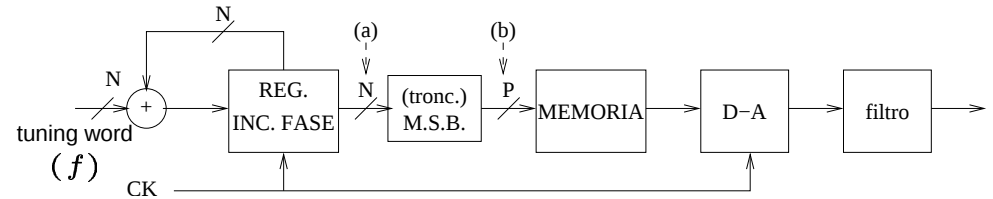
Accumulo di fase

N = 4, P = 2

CK		tuning word = 5									
		1		2		3		4		5	
		(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
0	0000	0000	00	0000	00	0000	00	0000	00	0000	00
	0001	0001	00	0010	00	0011	00	0100	01	0101	01
	0010	0010	00	0100	01	0110	01	1000	10	1010	10
	0011	0011	00	0110	01	1001	10	1100	11	1111	11
	0100	0100	01	1000	10	1100	11	0000	00	0100	01
1	0101	0101	01	1010	10	1111	11	0100	01	1001	10
	0110	0110	01	1100	11	0010	00	1000	10	1110	11
	0111	0111	01	1110	11	0101	01	1100	11	0011	00
	1000	1000	10	0000	00	1000	10	0000	00	1000	10
	1001	1001	10	0010	00	1011	10	0100	01	1101	11
2	1010	1010	10	0100	01	1110	11	1000	10	0010	00
	1011	1011	10	0110	01	0001	00	1100	11	0111	01
	1100	1100	11	1000	10	0100	01	0000	00	1100	11
	1101	1101	11	1010	10	0111	01	0100	01	0001	00
	1110	1110	11	1100	11	1010	10	1000	10	0110	01
3	1111	1111	11	1110	11	1101	11	1100	11	1011	10

Accumulo di fase (N=4, P=2)

		tuning word=				
CK		1	2	3	4	5
0		00	00	00	00	00
1		00	00	00	01	01
2		00	01	01	10	10
3		00	01	10	11	11
4		01	10	11	00	01
5		01	10	11	01	10
6		01	11	00	10	11
7		01	11	01	11	00
8		10	00	10	00	10
9		10	00	10	01	11
10		10	01	11	10	00
11		10	01	00	11	01
12		11	10	00	00	11
13		11	10	01	01	00
14		11	11	10	10	01
15		11	11	11	11	10



$t.w.$	f_o
1	$\frac{f_{CK}}{16}$
2	$\frac{f_{CK}}{8}$
3	$3 \frac{f_{CK}}{16}$
4	$\frac{f_{CK}}{4}$
5	$5 \frac{f_{CK}}{16}$
...	...

$$\min \Delta f = f_{CK} / 2^N$$

Agilent 33220A

- $f_{CK} = 40 \text{ MHz}$
- $N = 48 \text{ bit} \Rightarrow \min \Delta f = f_{CK}/2^{48} \simeq 142 \text{ nHz} \rightarrow 1 \mu\text{Hz}$
- $P = 14 \text{ bit}$ (16k locazioni di memoria)
- ampl. res.: 14 bit
- $R_{out} = 50 \Omega$ (+ hi-Z)

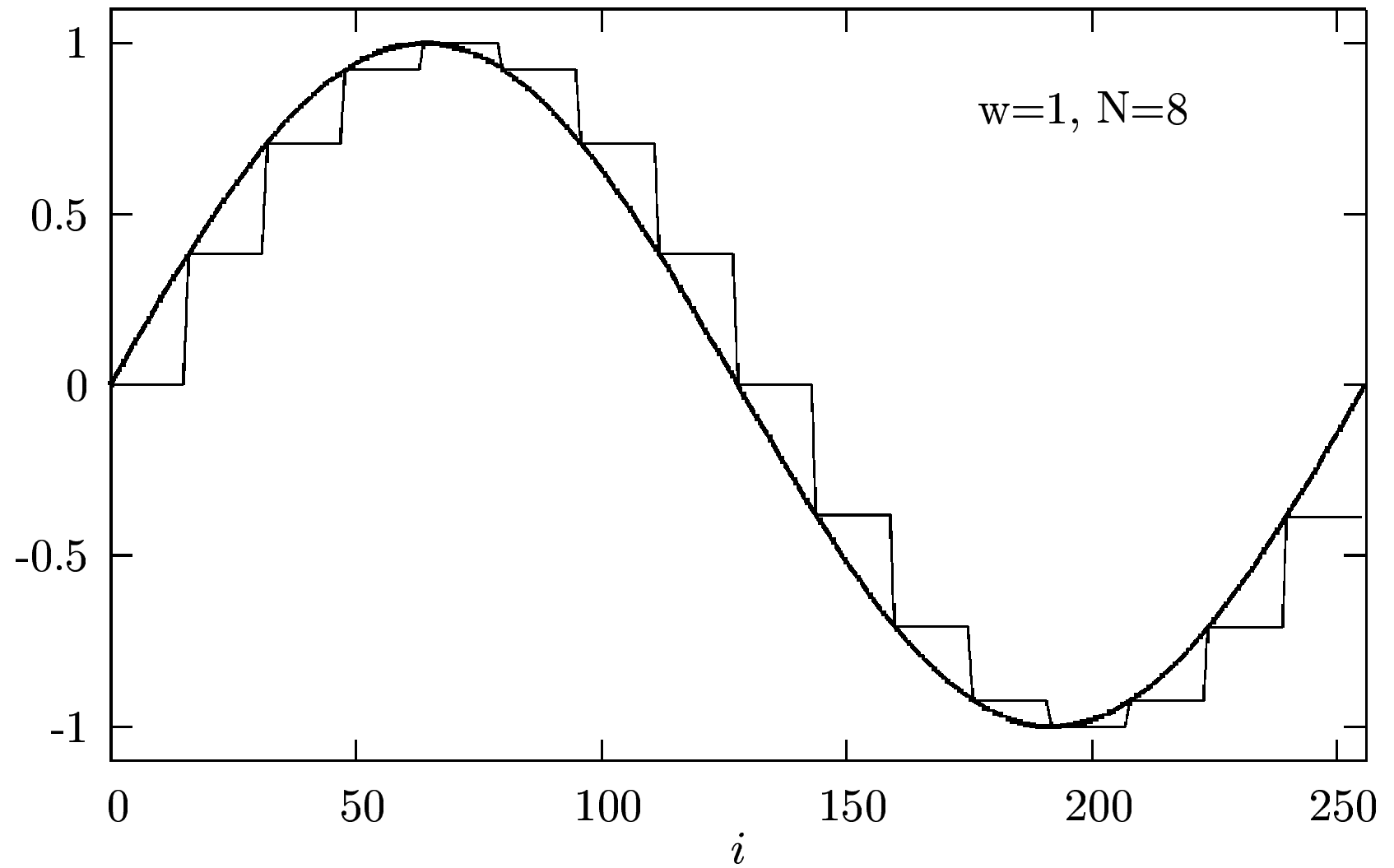
Sintetizzatori di frequenza - Specifiche

- Range di frequenza
- Forme d'onda
- Forme d'onda "personalizzate"
- Purezza spettrale
 - Rumore di fase (δf)
 - Distorsione armonica ($n f_0$)
 - Subarmoniche e spurie
- Uscita:
 - ampiezza
 - impedenza (50Ω , 75Ω , $600 \Omega \dots$)
- Modulazione: AM, FM, PM, PWM, ...

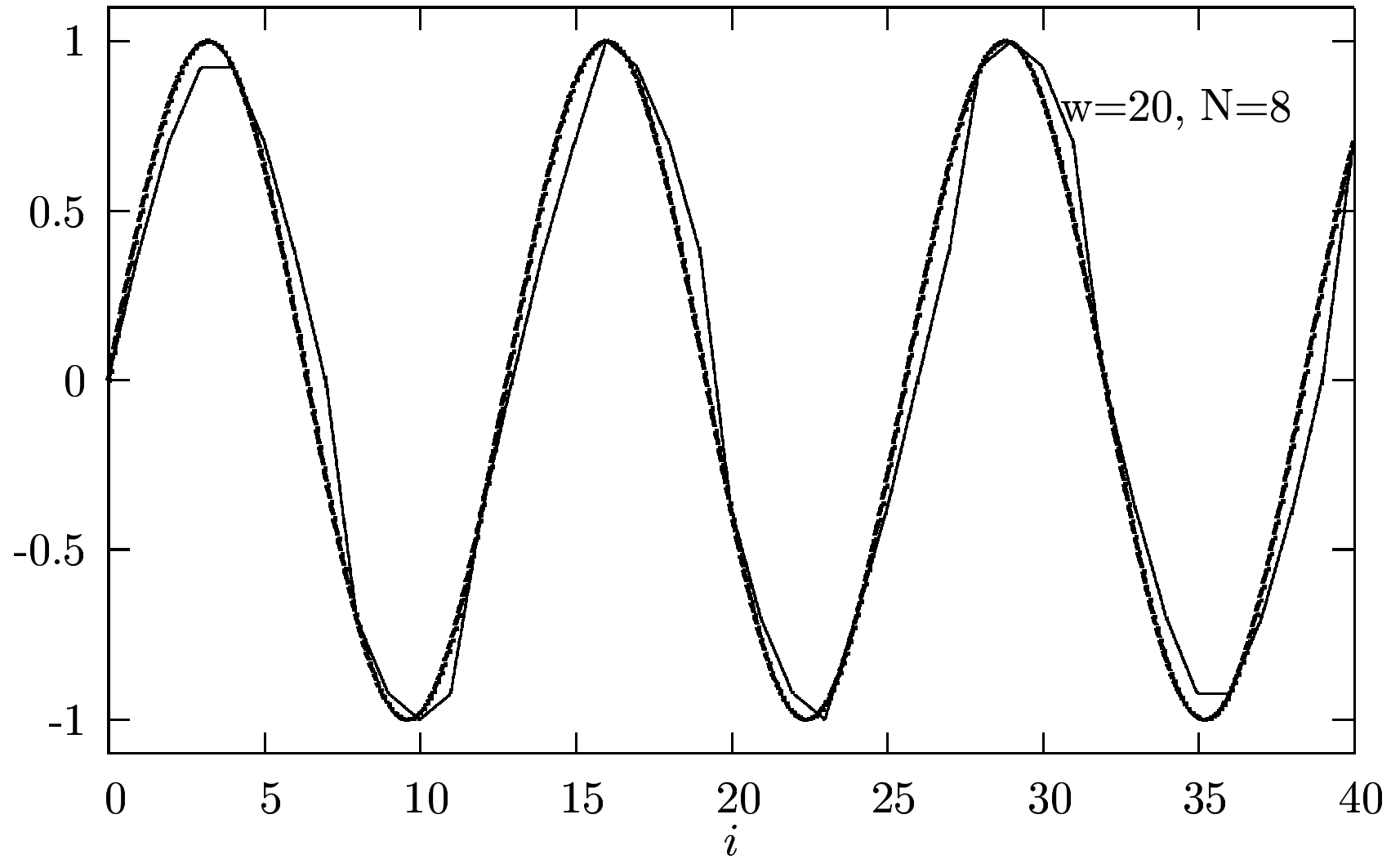
Sintetizzatori di frequenza - Specifiche (2)

- Modi:
 - continuo
 - triggered (da segnale esterno o pulsante)
 - burst (= triggered $\times n$ cicli)
 - gated (= triggered da t_1 a t_2)
 - modulato (da segnale esterno o interno)
 - f sweep (f_{min} , f_{max} , ΔT , lin/log)
- Rapidità di impostazione:
 - sintesi diretta: fino ai μs (regime dei filtri)
 - sintesi indiretta: almeno 10÷100 volte superiore (aggancio dei PLL)
- Generazione di impulsi

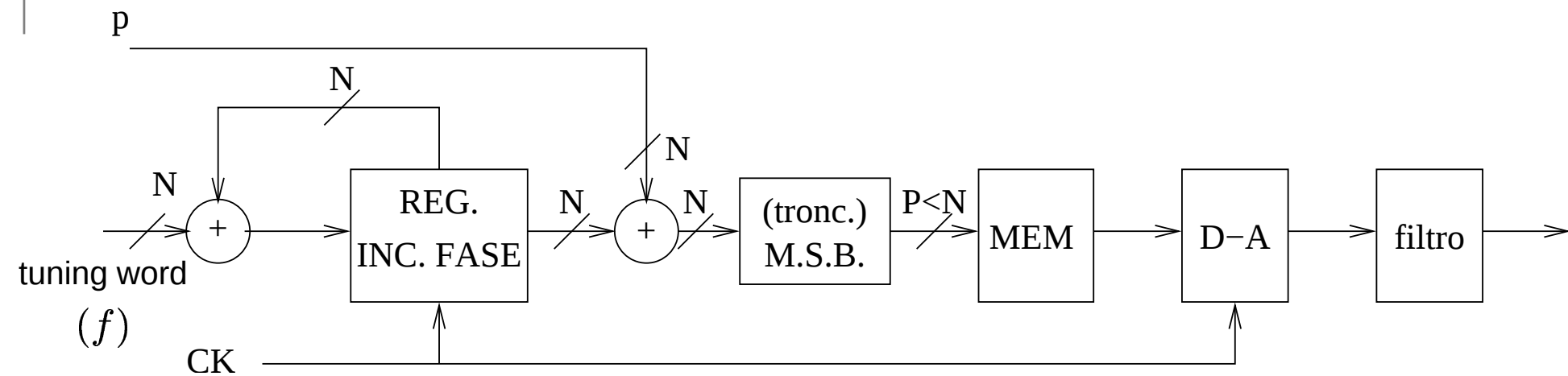
Esempi



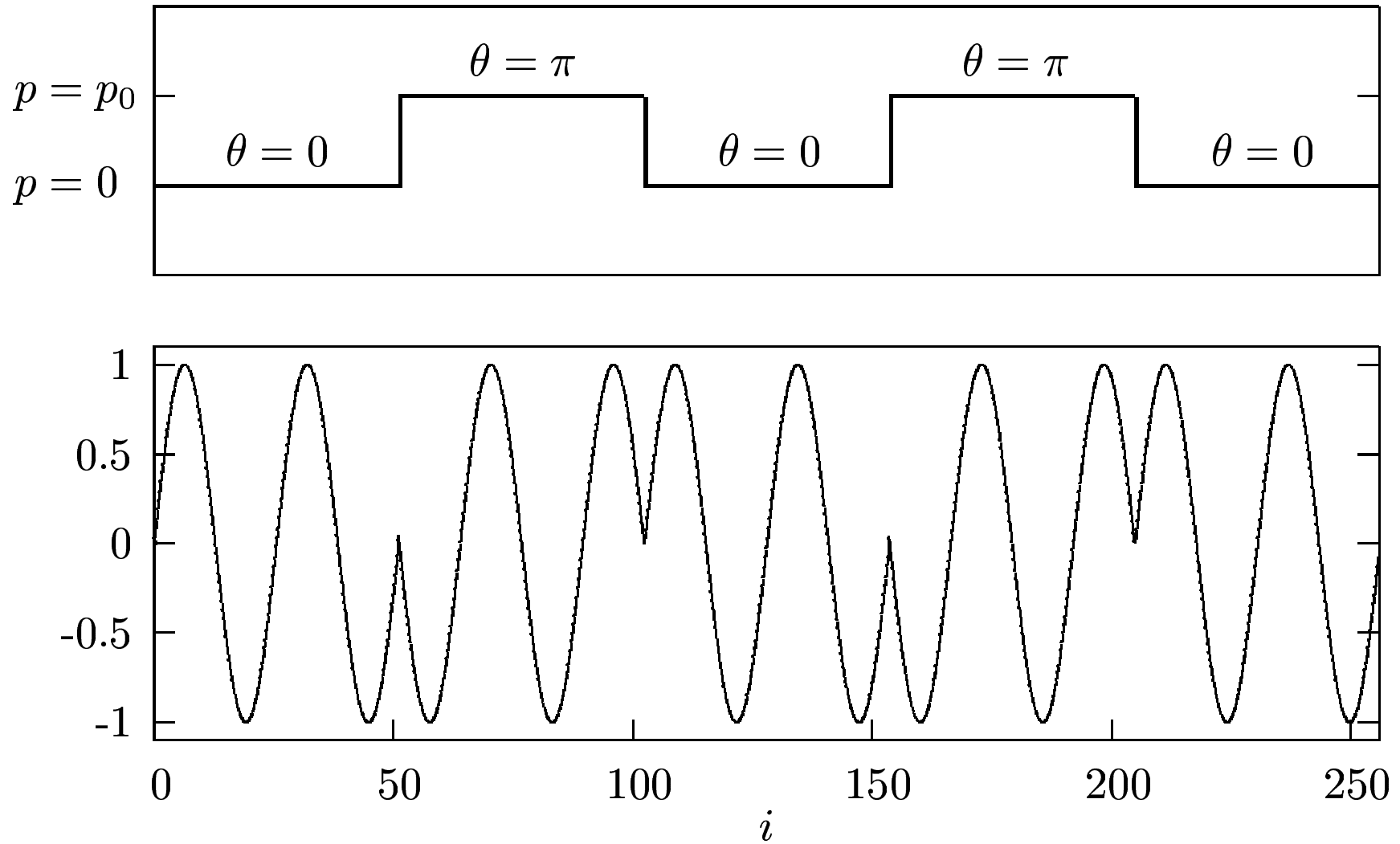
Esempi



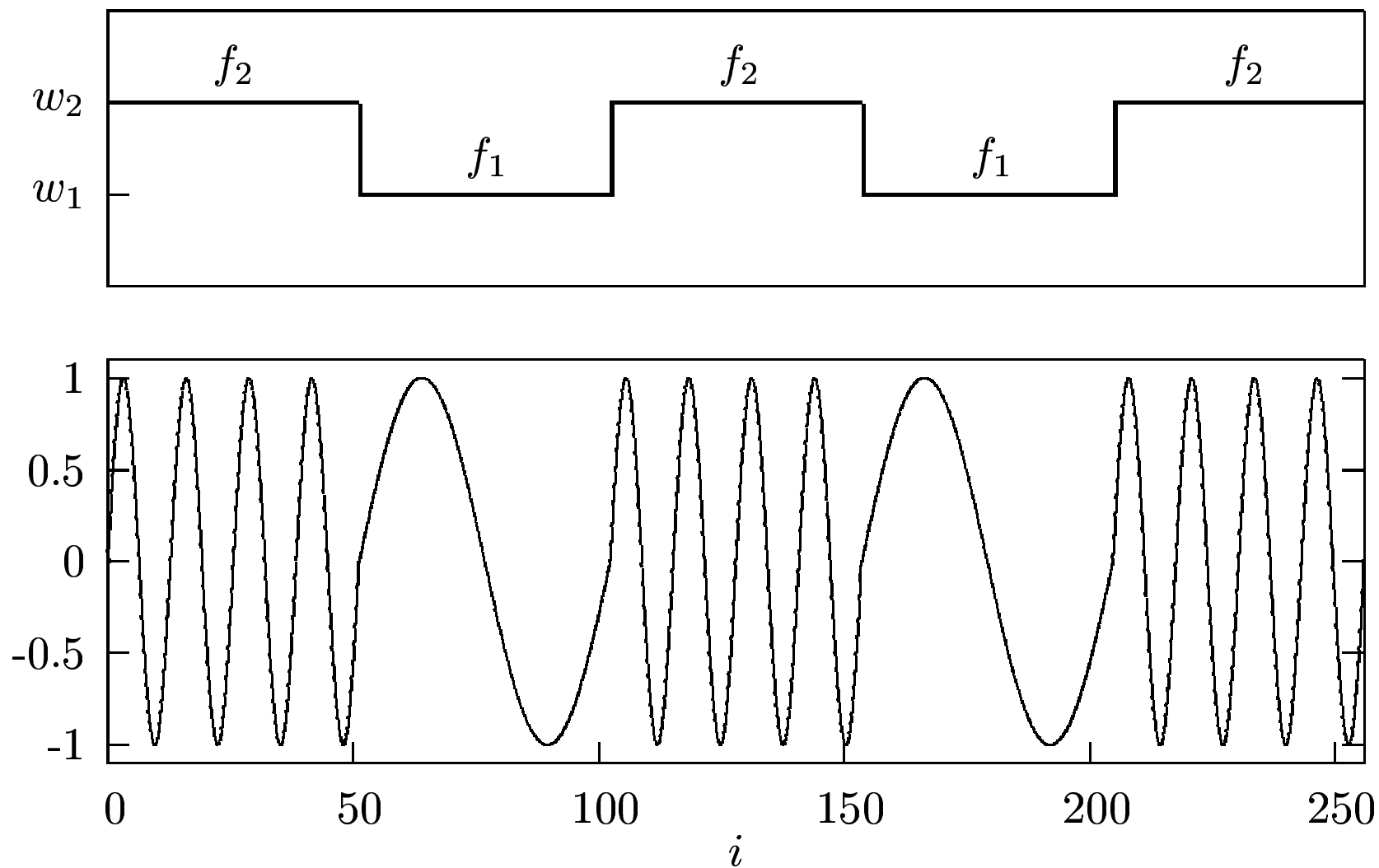
Controllo della fase



Modulazioni: PSK



Modulazioni: FSK



Sintesi di frequenza - Stabilità/Accuratezza in frequenza

$$f_{out} = k f_R$$

$$\Delta f_{out} = k \Delta f_R$$

$$\frac{\Delta f_{out}}{f_{out}} = k \frac{\Delta f_R}{f_{out}} = \frac{\Delta f_R}{f_R}$$

⇒ la frequenza prodotta è (percentualmente) accurata tanto quanto la frequenza di riferimento.

$$\frac{\Delta f_R}{f_R} = 10 \text{ p.p.m.} \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta f_{out}}{f_{out}} = 10 \text{ p.p.m.}$$