

ЦАП

аналогово-цифрові перетворювачі

**Цифро -аналоговий перетворювач ( ЦАП ) призначений для перетворення числа(у вигляді двійкового коду) в напругу або струм , пропорційні значенням цифрового коду.**

## **ЦАП класифікація**

### **Вид вихідного сигналу**

- з струмовим виходом
- виходом у вигляді напруги

### **Тип цифрового інтерфейсу:**

- з послідовним введенням вхідного коду
- з паралельним введенням вхідного коду

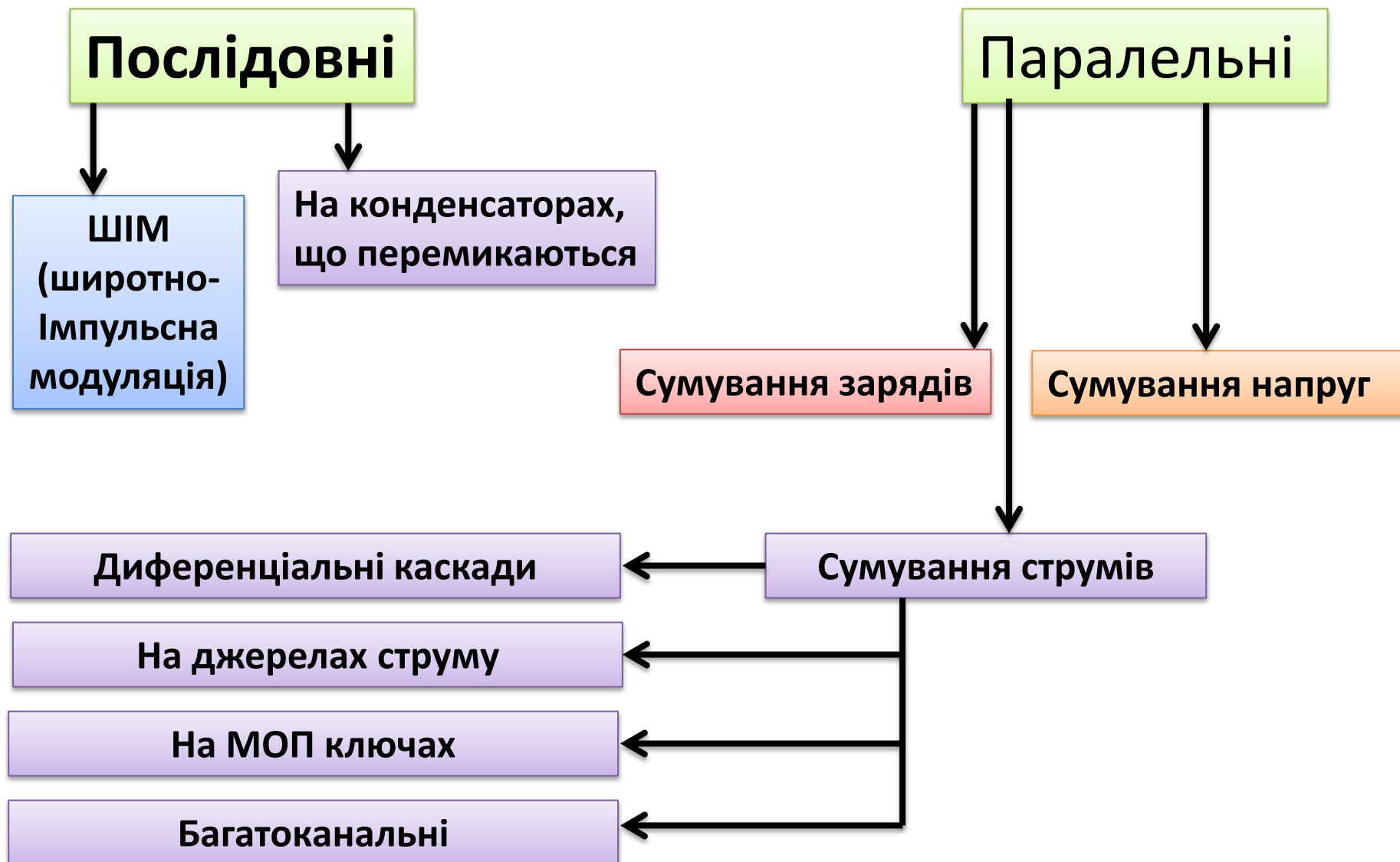
### **За кількістю ЦАП на кристалі:**

- Одноканальні
- Багатоканальні

### **По швидкодії :**

- помірної швидкодії
- високої швидкодії

# Види ЦАП



# Широтно-імпульсна модуляція

Періодична послідовність імпульсів характеризується такими параметрами:

- тривалістю  $\tau$
- періодом слідування  $T$  чи тактовою частотою  $F=1/T$
- Амплітудою  $U_0$
- положенням (фазою) імпульсів  $\varphi$
- скважністю  $Q=T/\tau$  ( $Q= \tau/T$ )

В залежності від вибраного модулюючого параметра розрізняють наступні види

- імпульсної модуляції:
- амплітудно-імпульсна (AIM)
- широтно-імпульсна (ШИМ)
- часову імпульсна (різновиди: фазо-імпульсна (ФІМ), частотно-імпульсна (ЧІМ) модуляції)

Можливі дискретні види ФІМ (ДФІМ) і ЧІМ (ДЧІМ)

До складних видів імпульсної модуляції відносяться дельта-модуляція (ДМ) та імпульсно-кодова модуляція (ІКМ).

# ШИМ

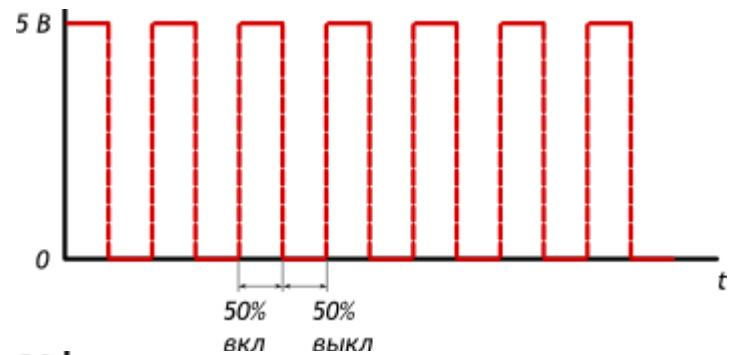
Мікроконтролери  
зазвичай не можуть  
видавати довільне  
напруга. Вони можуть  
видати або напругу  
живлення

(наприклад, 5 В), або  
землю (тобто 0 В)

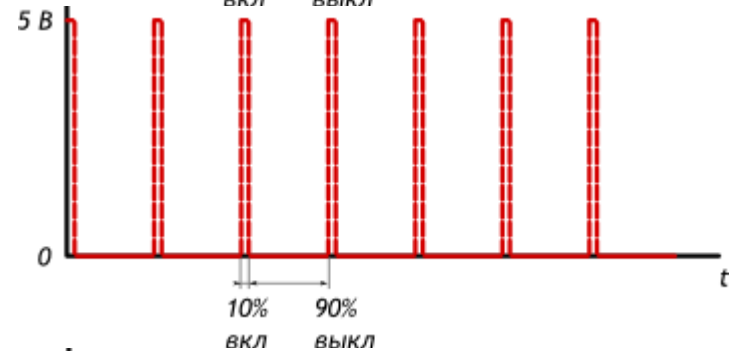
Для отримання  
проміжних значень  
напруг (0..V..Vmax)  
використовується

ШИМ

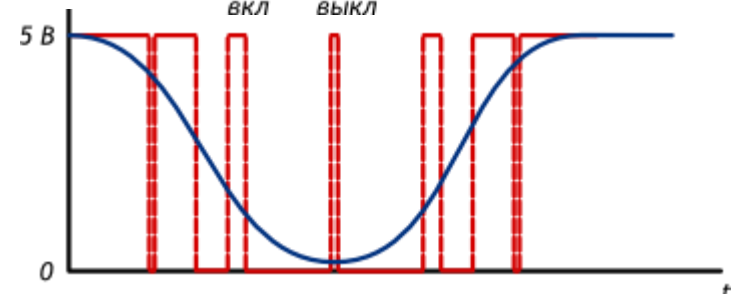
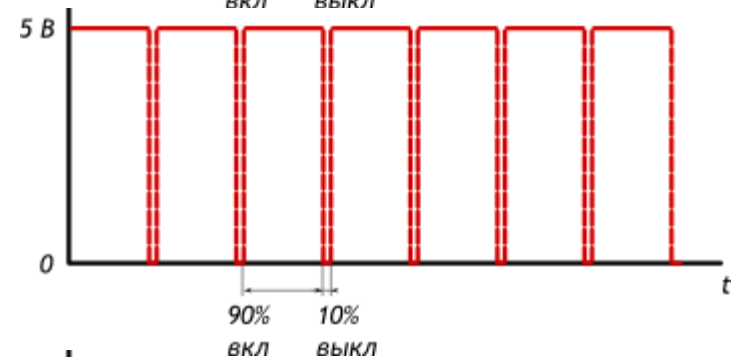
Скважність 50%  
 $V_{out}=2.5\text{ В}$



Скважність 10%  
 $V_{out}=0.5\text{ В}$

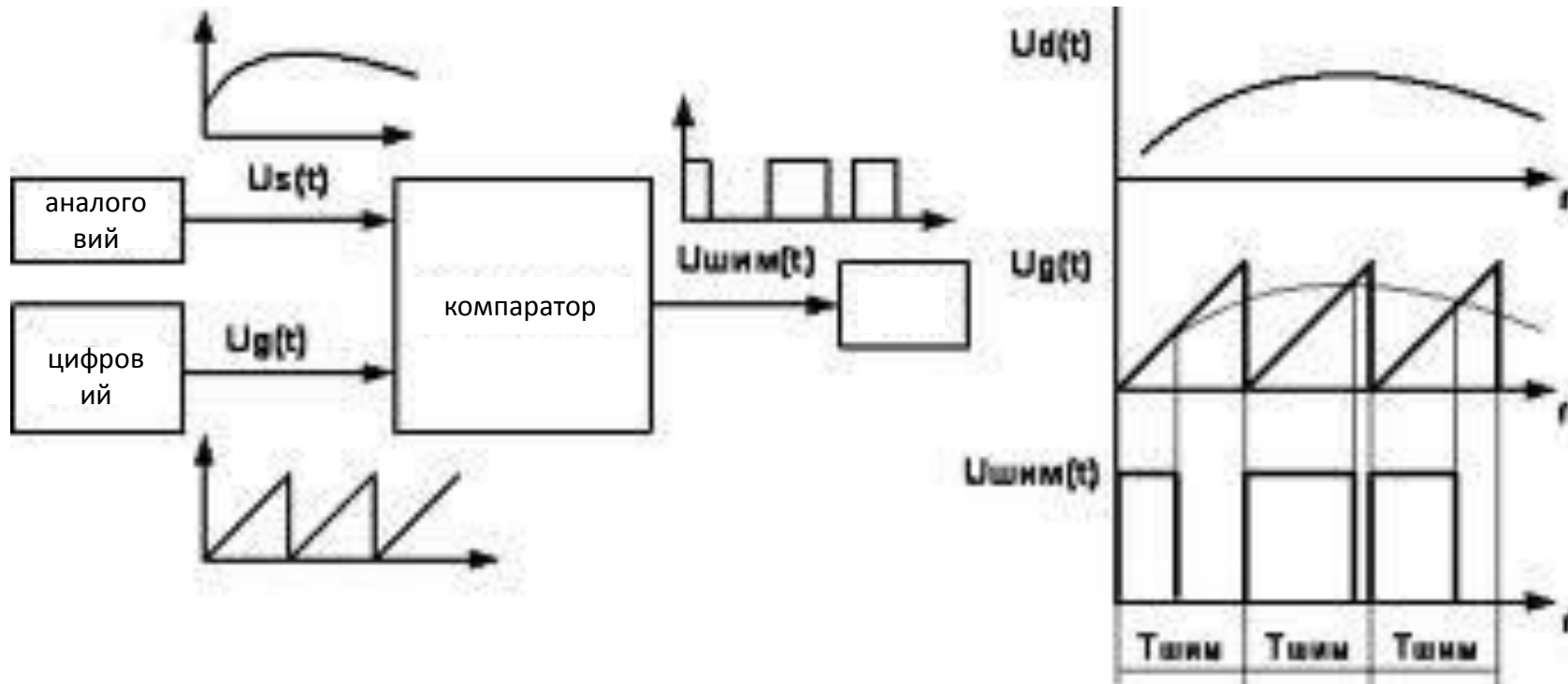


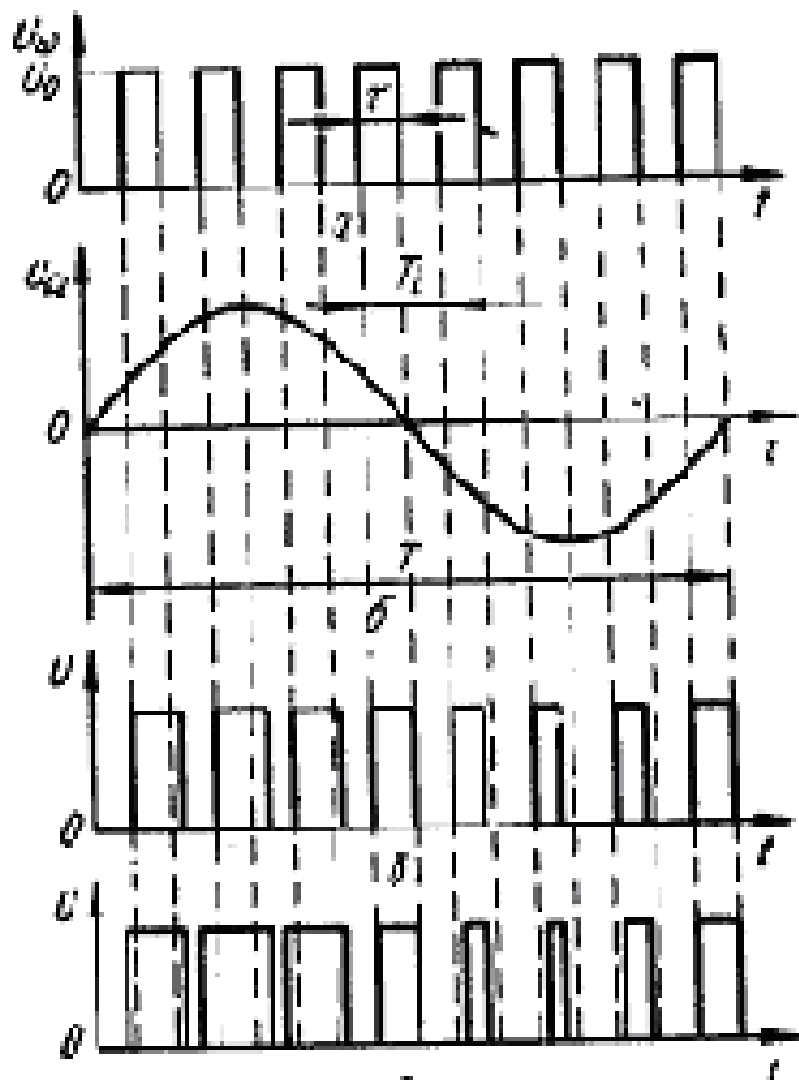
Скважність 90%  
 $V_{out}=2.5\text{ В}$



- ШИМ
- Аналоговий сигнал
- Після згладжування імпульсів ШИМ

# Формування ШІМ

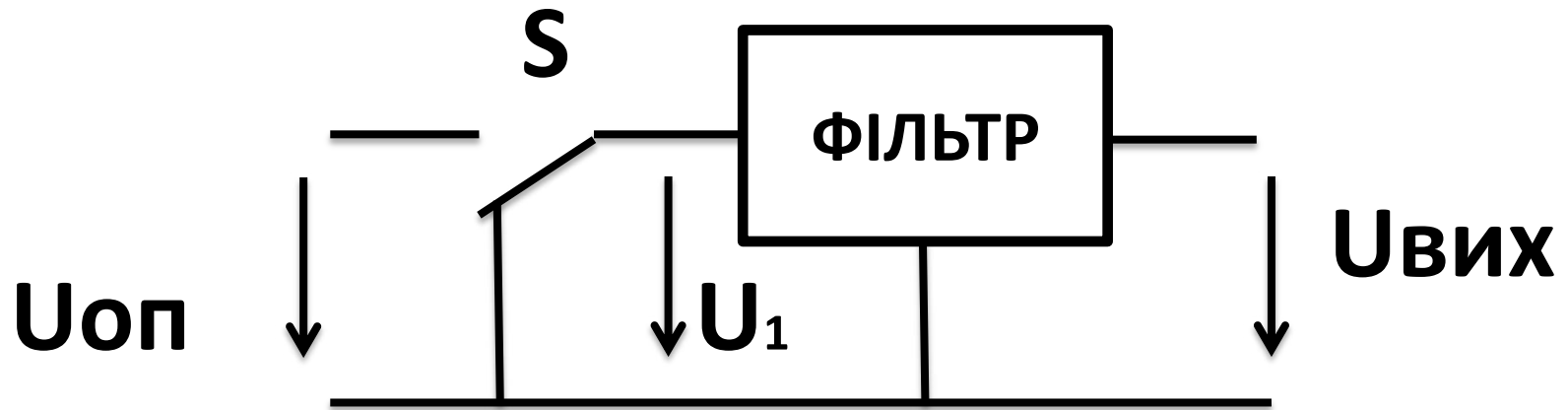




однобічна (ОШІМ) широтно-імпульсна модуляція

Двобічна (ДШІМ) широтно-імпульсна модуляція

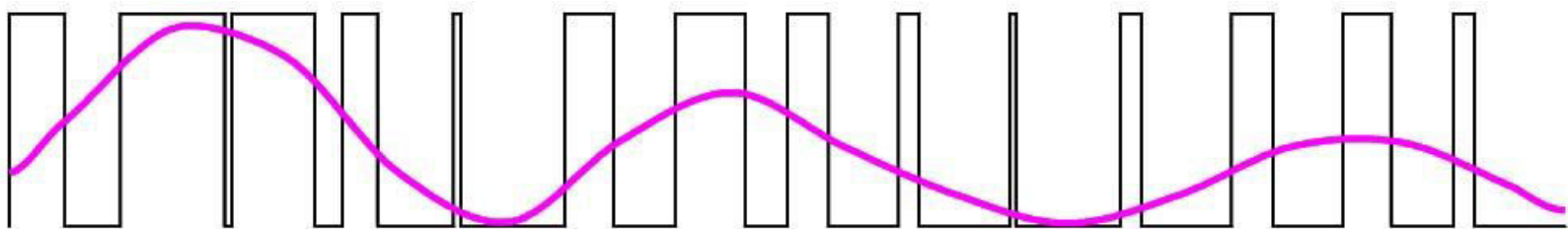
# Послідовне АЦП з широтно-імпульсною модуляцією



При ШІМ **тривалість імпульсів несучої частоти** змінюється за законом інформаційного сигналу при незмінних інших параметрах імпульсів

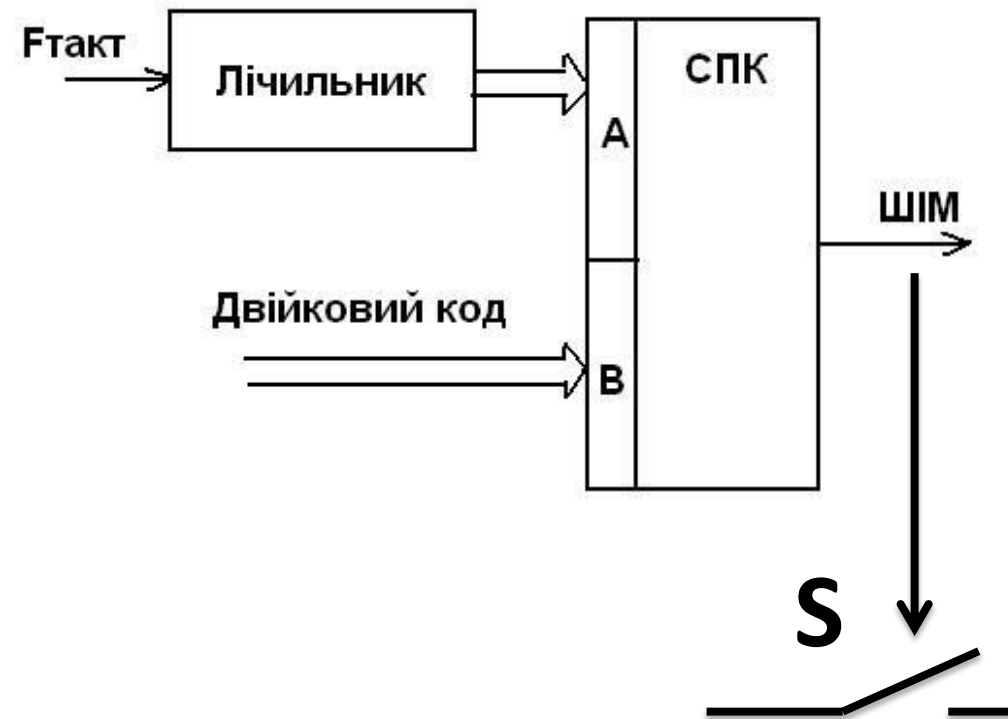
Або навпаки

**Аналоговий сигнал формується на основі імпульсів з ШІМ**





# ШІМ модулятор



Вихід ШІМ-модулятора керує роботою ключа S.

В залежності від коду формується імпульс ШІМ, тривалість  $\sim$  значенню цифрового коду.

Код на виході лічильника лінійно зростає з кожним імпульсом тактової частоти  $F_{\text{такт}}$ . Поки цей код менший за двійковий код, на виході схеми порівняння кодів (СПК) буде сигнал логічної одиниці. Як тільки код лічильника зрівнюється з двійковим кодом, на виході СПК встановлюється логічний нуль. Цей імпульс керує ключем S.

Максимально потрібно  $2^N$  тактів імпульсів синхронізації.

# Формуються імпульси відносної тривалості $\gamma$

$$\gamma = \tau_i / T = D / 2^N$$

$\tau$  – тривалість імпульса

$T$ - час формування вихідної напруги

$D$  – код, що перетворюється в аналогове значення

$N$  – Розрядність перетворення

$$U_{\text{вих}} = \gamma \cdot U_{\text{оп}} = \gamma \cdot D / 2^N$$

**Переваги:**

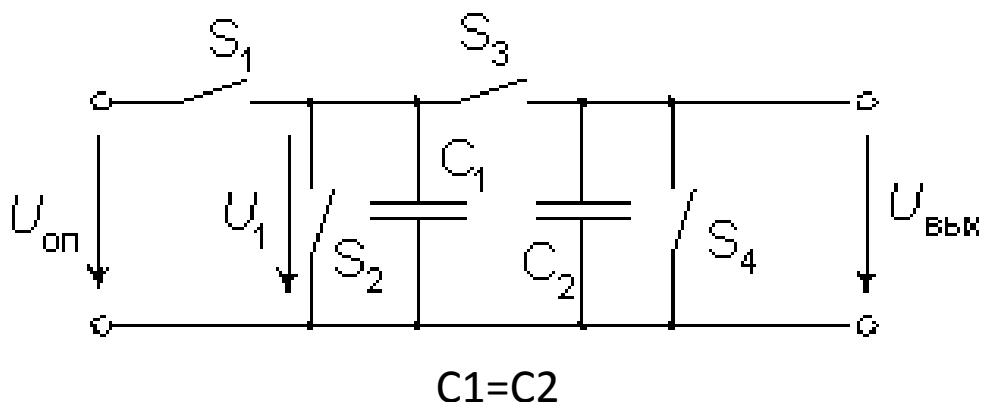
- лінійність перетворення
- мала кількість прецизійних елементів

**Недоліки:**

- низька швидкодія

Схема перетворює цифровий код в часовий інтервал, який формується за допомогою двійкового лічильника квант за квантом, тому для отримання  $N$ -розрядного перетворення необхідні  $2^N$  часових квантів (тактів)

# Послідовний ЦАП на конденсаторах, що перемикаються



Вхідне слово – послідовний код  
Код подається біт за бітом послідовно  
Код подається з молодшого розряду  $d0$   
Кожен такт перетворення = 2 напів такти

$d0=1$

$d0=0$

C2 розряджається ключем S4 (S4 - ON)

C2 розряджається ключем S4 (S4 - ON)

**C1 заряджається ключем S1 (S1 - ON) до  $U_{оп}$**

**C1 розряджається ключем S2 (S2 - ON) до 0**

S1, S2, S4 – розімкнуті (OFF)

S3 – замикається (S3 - ON)=>

напруга ділиться між C1 і C2

Доки на конденсаторі C2 зберігається заряд, процедура заряджання конденсатора C1 повинна бути повторна для наступного розряду  $d1$  вхідного слова.

## Максимальний Код 1111111

№	№	Макс Код	Uоп	U на C1 (після заряду)	U на C2	C1 після поділу	C2 після поділу
1	0	1	10	10	0	5	5
2	1	1	10	10	5	7,5	7,5
3	2	1	10	10	7,5	8,75	8,75
4	3	1	10	10	8,75	9,375	9,375
5	4	1	10	10	9,375	9,6875	9,6875
6	5	1	10	10	9,6875	9,84375	9,84375
7	6	1	10	10	9,84375	9,921875	9,921875
8	7	1	10	10	9,921875	9,9609375	9,9609375

## “Мінімальний” Код 0000001

№	№	Мін код	Uоп	U на C1 (після заряд)	U на C2	C1 після поділу	C2 після поділу
1	0	1	10	10	0	5	5
2	1	0	10	0	5	2,5	2,5
3	2	0	10	0	2,5	1,25	1,25
4	3	0	10	0	1,25	0,625	0,625
5	4	0	10	0	0,625	0,3125	0,3125
6	5	0	10	0	0,3125	0,15625	0,15625
7	6	0	10	0	0,15625	0,078125	0,078125
8	7	0	10	0	0,078125	0,0390625	0,0390625

Після такту № 0

$$U_1(0) = U_{\text{вих}}(0) = (d_0/2)U_{\text{оп}}$$

Після такту № 1

$$U_{\text{вих}}(1) = U_1(1) = \frac{(d_1 + d_0/2)U_{\text{оп}}}{2} = \frac{(2d_1 + d_0)U_{\text{оп}}}{4}$$

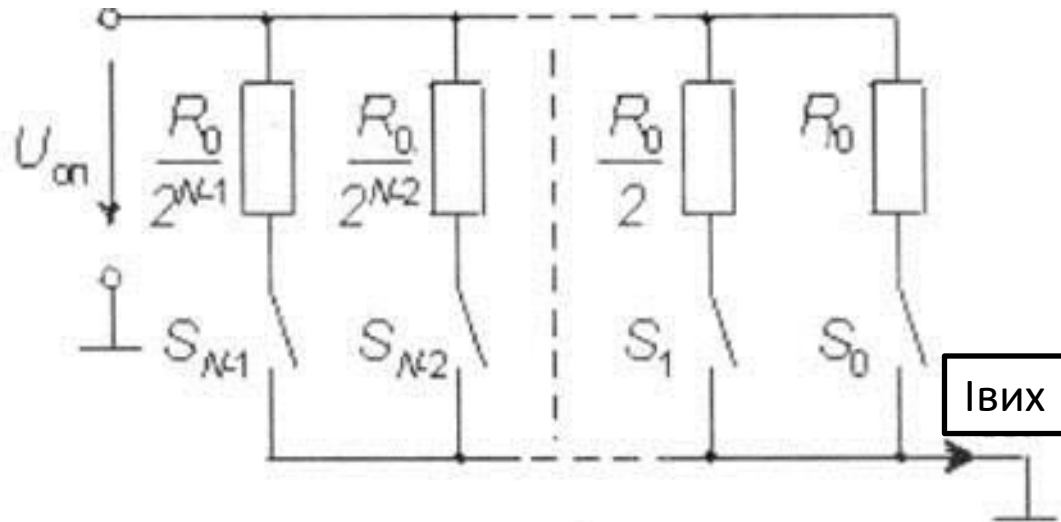
Для N-розрядного ЦАП

$$U_{\text{вих}}(N-1) = U_1(N-1) = \frac{U_{\text{оп}}}{2^N} \sum_{k=0}^{N-1} d_k 2^k = \frac{U_{\text{оп}}}{2^N} D$$

N	k	2 <sup>k</sup>	Макс Код	U <sub>оп</sub>	2 <sup>N</sup>	U <sub>оп</sub> /2 <sup>N</sup> =10/2 <sup>8</sup> =10/256	U <sub>i</sub>	
8	0	1	1	10	256	0,0390625	0,0390625	
8	1	2	1	10	256	0,0390625	0,078125	
8	2	4	1	10	256	0,0390625	0,15625	
8	3	8	1	10	256	0,0390625	0,3125	
8	4	16	1	10	256	0,0390625	0,625	
8	5	32	1	10	256	0,0390625	1,25	
8	6	64	1	10	256	0,0390625	2,5	
8	7	128	1	10	256	0,0390625	5	
							9,9609375	Усумарне

# Паралельні ЦАП

## ЦАП з сумуванням вагових струмів



$$I_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{оп}}}{R_0} \sum_{k=0}^{N-1} d_k 2^k = \frac{U_{\text{оп}}}{R_0} D$$

Розкид опорів не повинен перевищувати  $\Delta R / R = 2^{-k}$

4-й розряд 3%

10-й разряд – 0,05%