



מערכות משולבות חיישנים

ממשק ממוחשב

זיקה לממשק ממוחשב - שמירת נתונים, העברה אמינה של נתונים, עיבוד נתונים (דוגמה - אנליזה ספקטראלית).

ממשק ממוחשב

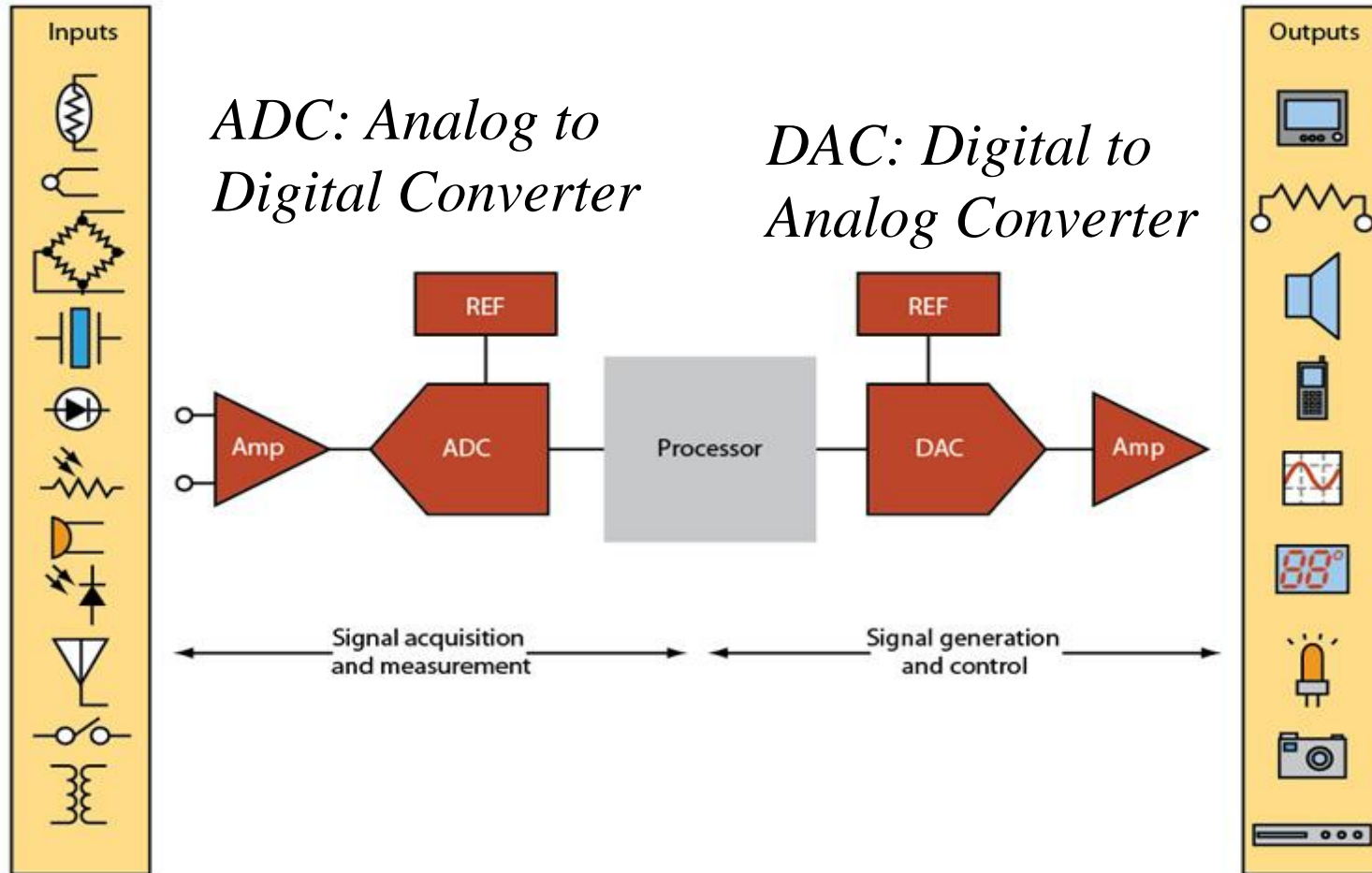
דגימה

ממשק אנלוגי דיגיטלי

אנליזת תדר ממוחשבת



מערכות משולבות חיישנים - ממשק ממוחשב



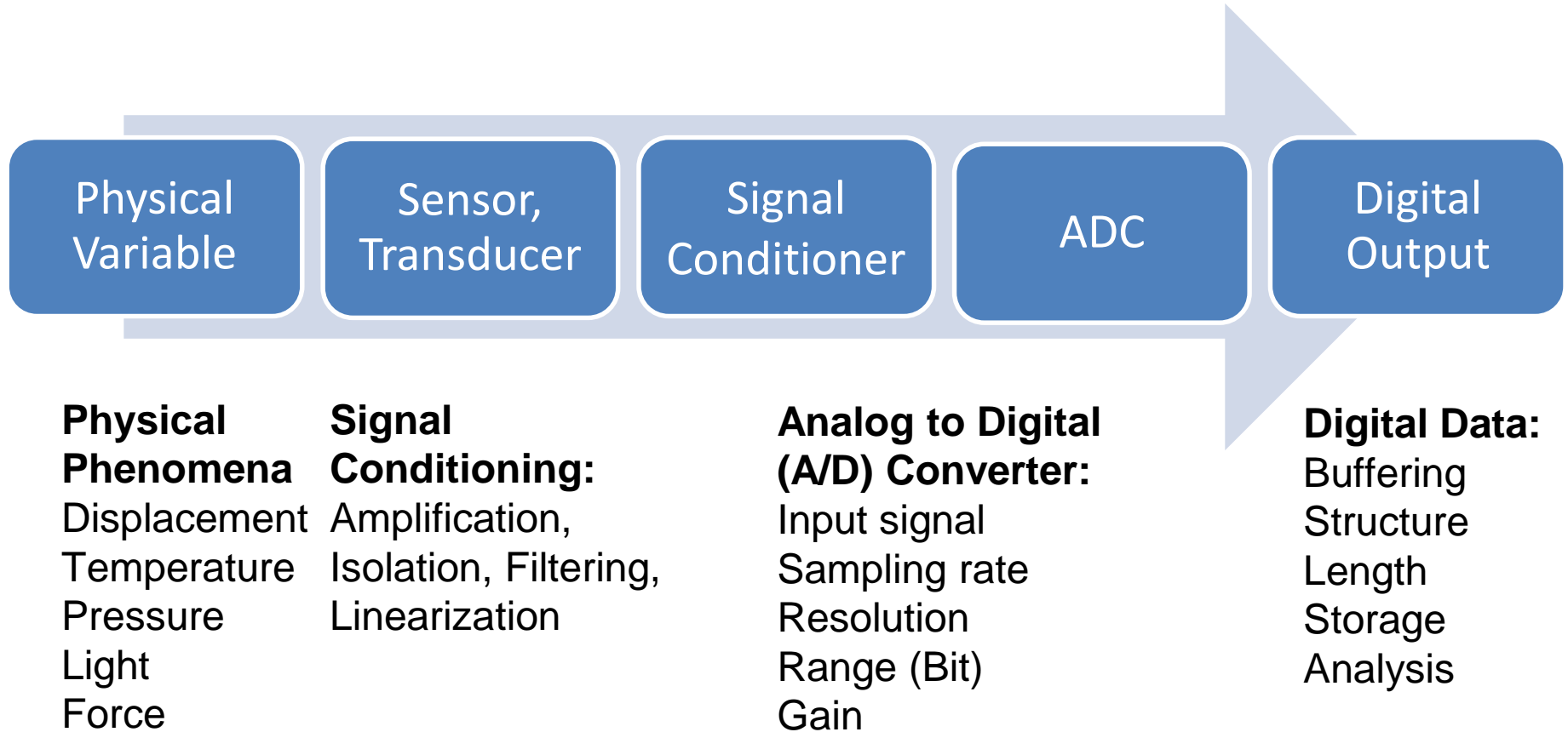
This signal-chain block diagram can apply to almost any system that measures or controls physical parameters. The sensors on the left side provide the input signals, and outputs go to actuators, displays, or other transducers.



מערכת מדידה ממוחשבת

ממשק ממוחשב - אולוגי דיגיטלי ADC

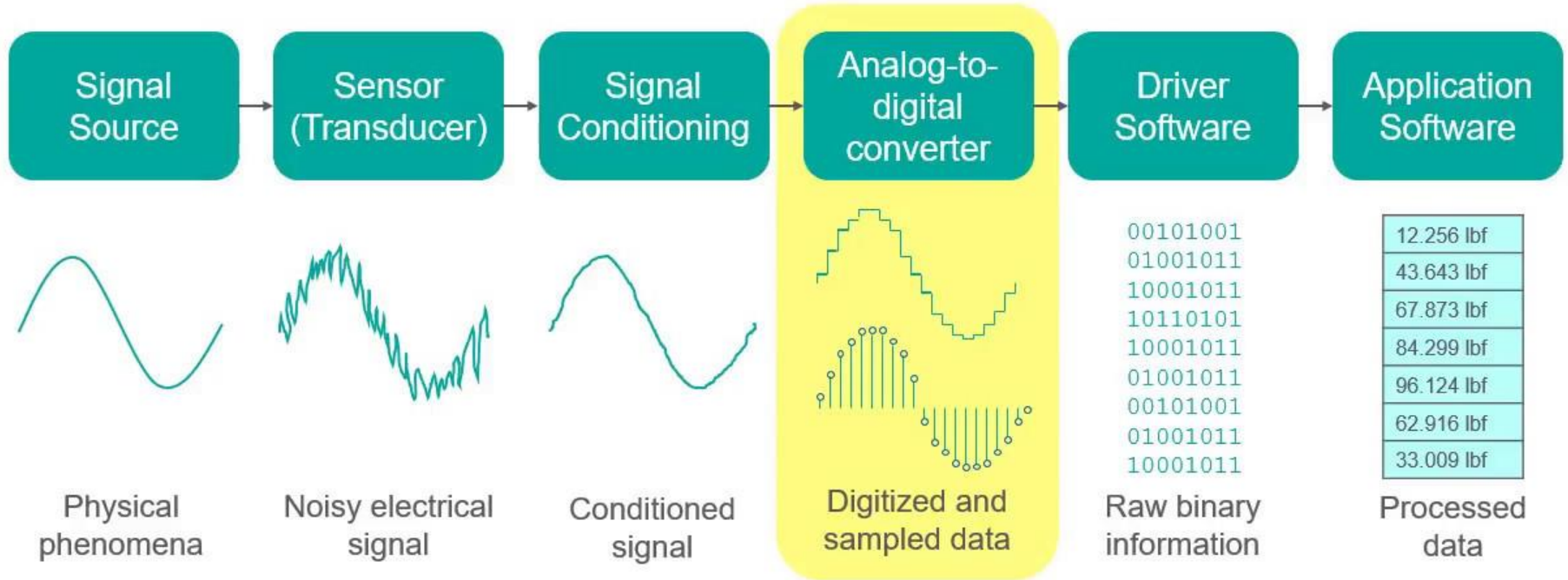
Data acquisition is the sampling of the real world to generate data that can be manipulated by a computer. **Data acquisition** begins with the physical phenomenon or physical property of an object (under investigation) to be measured.





מערכת מדידה ממוחשבת

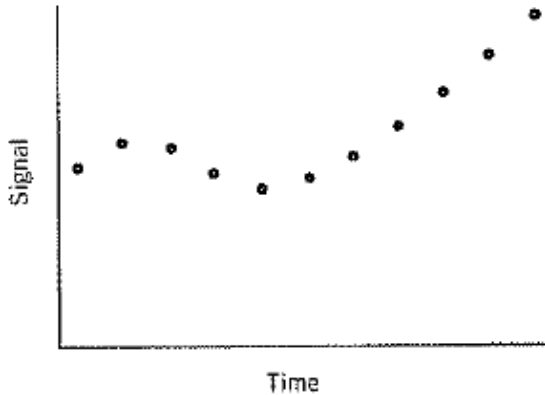
ממשק ממוחשב - אנלוגי דיגיטלי ADC



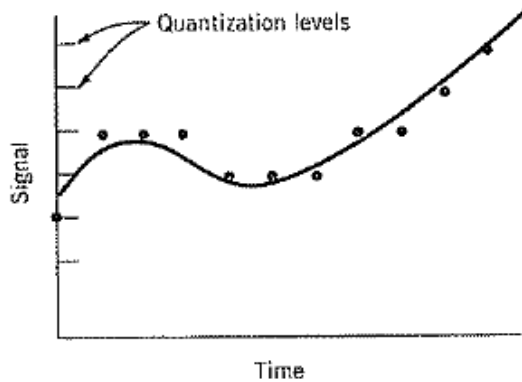


סוגי אותות

אנלוגיים, בדידים ודיגיטליים



(a) Discrete time signal



(a) Digital signal

- אותות אנלוגיים: רציפים בזמן ובגודל

- אותות בדידים (דיסקרטיים)
Discrete time: בדיד בזמן

ADC

– דגימה

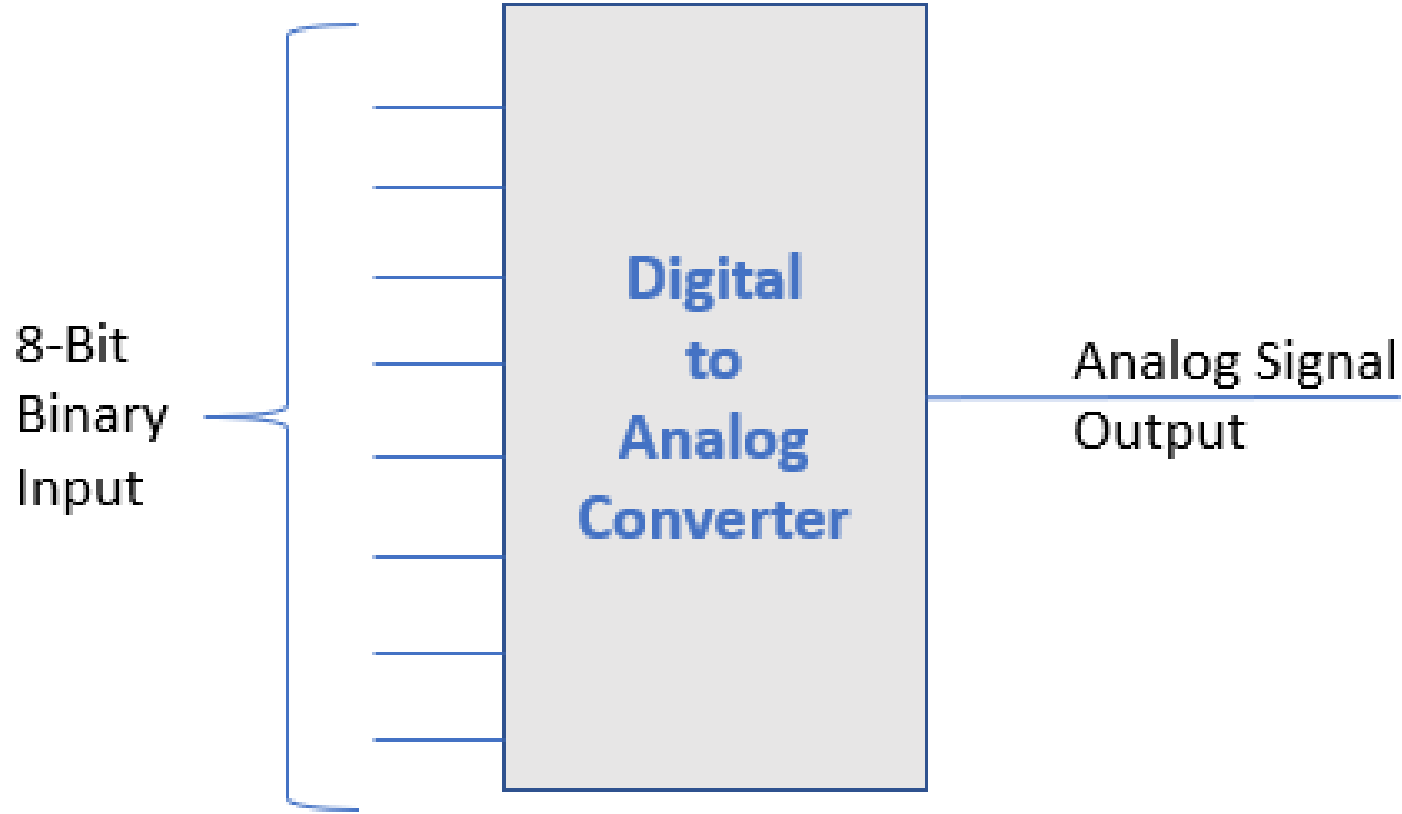
ממיר אנלוגי דיגיטלי

- אותות דיגיטליים Digital:
אותות בדידים שמקבלים ערכים דיסקרטיים



מערכת מדידה ממוחשבת

ממשק דיגיטלי אנלוגי DAC

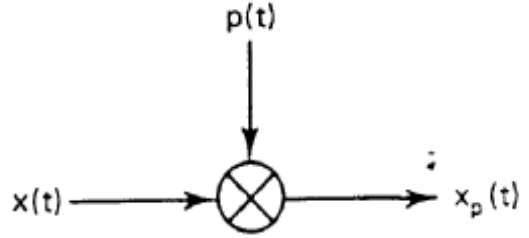




ייצוג בדיד של אותות רציפים - דגימה

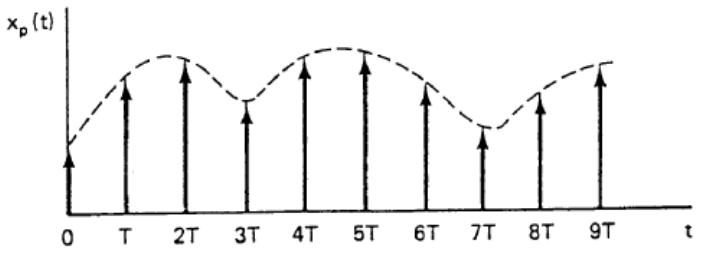
דגימה:

– הכפלת האות במסרק הלמים



הייצוג הבדיד שונה מהאות הרציף אבל המידע החשוב:

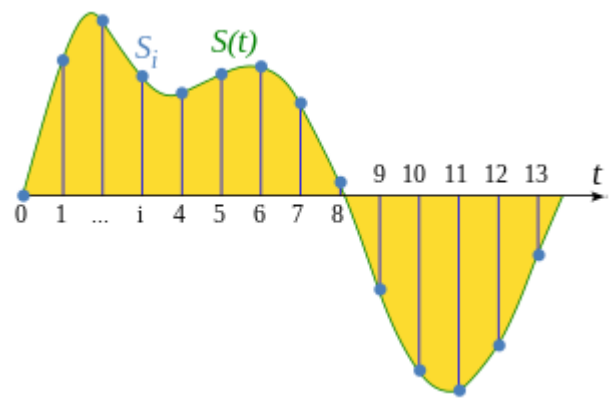
– אמפליטודה ותדר



נשמר אם:

– קצב הדגימה מתאים לתדירות האות (משפט הדגימה)

– זמן הדגימה ארוך מספיק

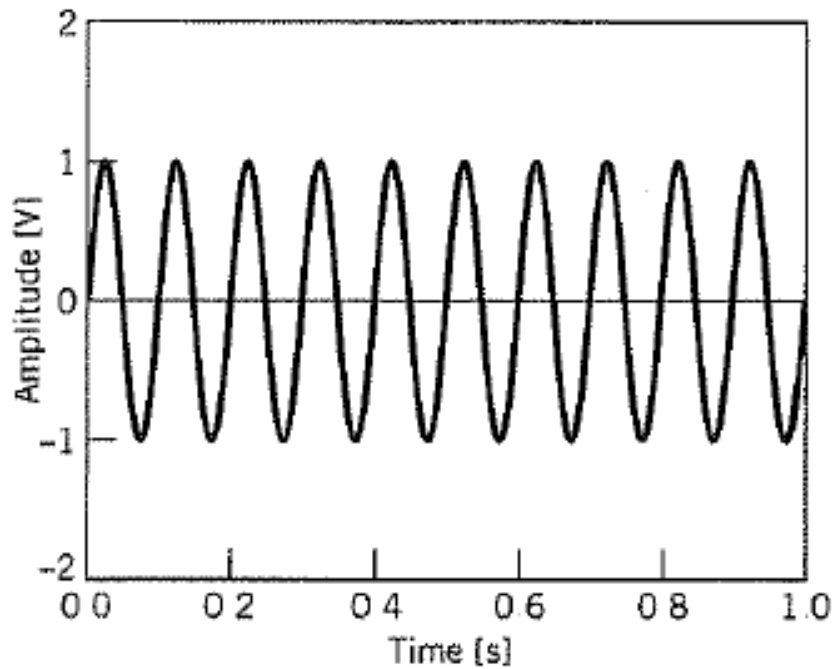




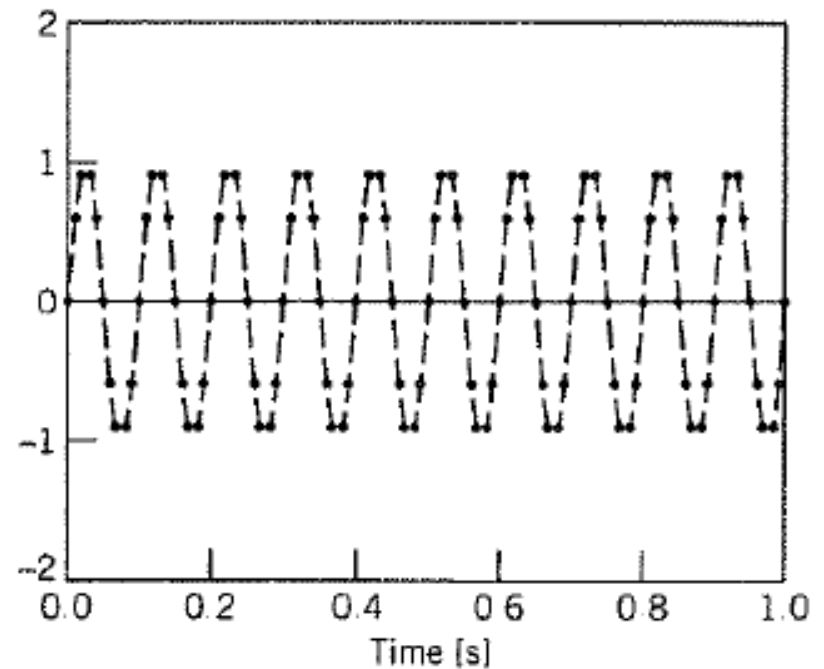
קצב הדגימה

$$f_s = 1 / \Delta t$$

• קצב הדגימה (קבוע)



(a) Original 10-Hz sine wave analog signal

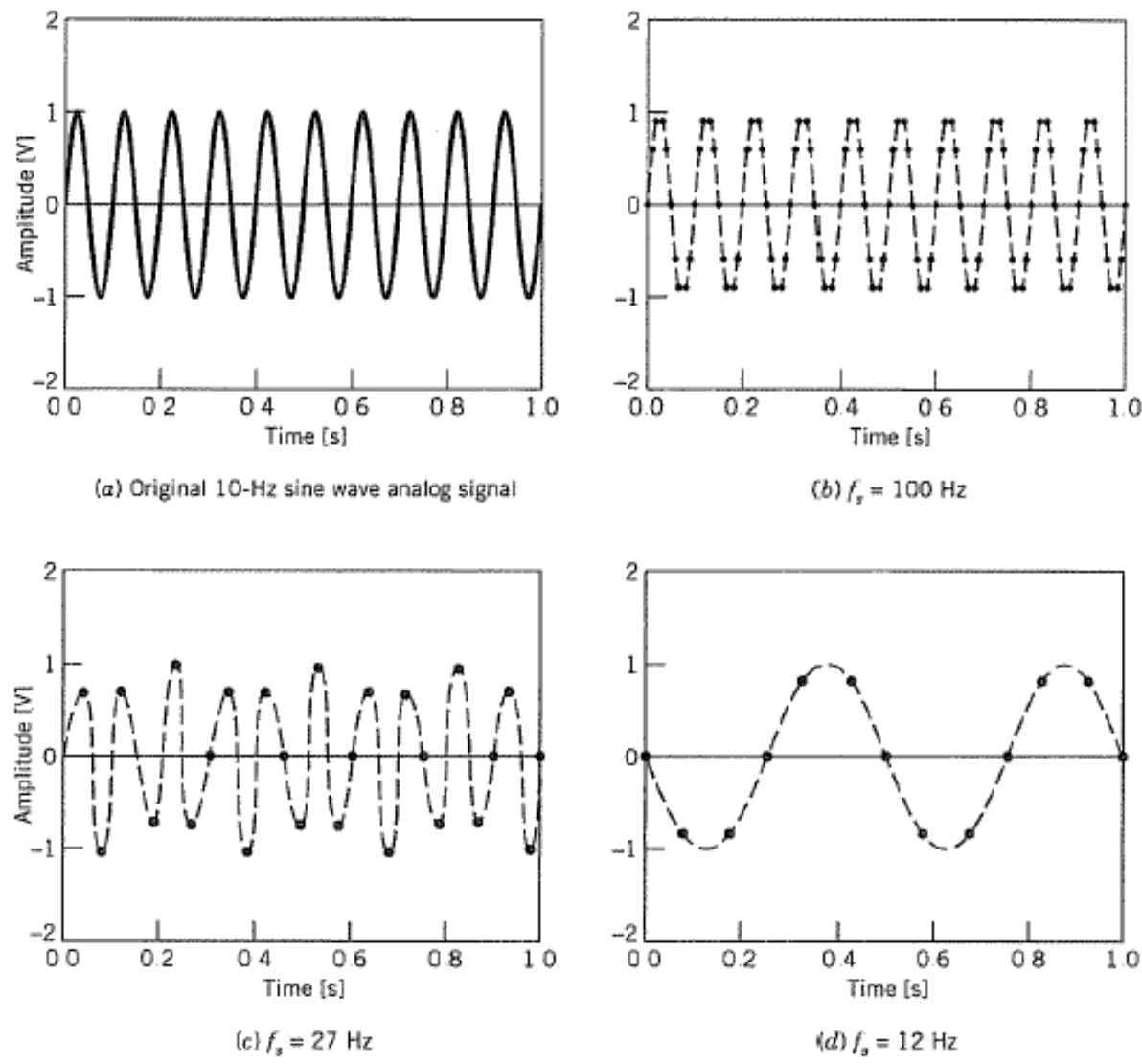


(b) $f_s = 100$ Hz



השפעת קצב הדגימה על שחזור האות

התחזות



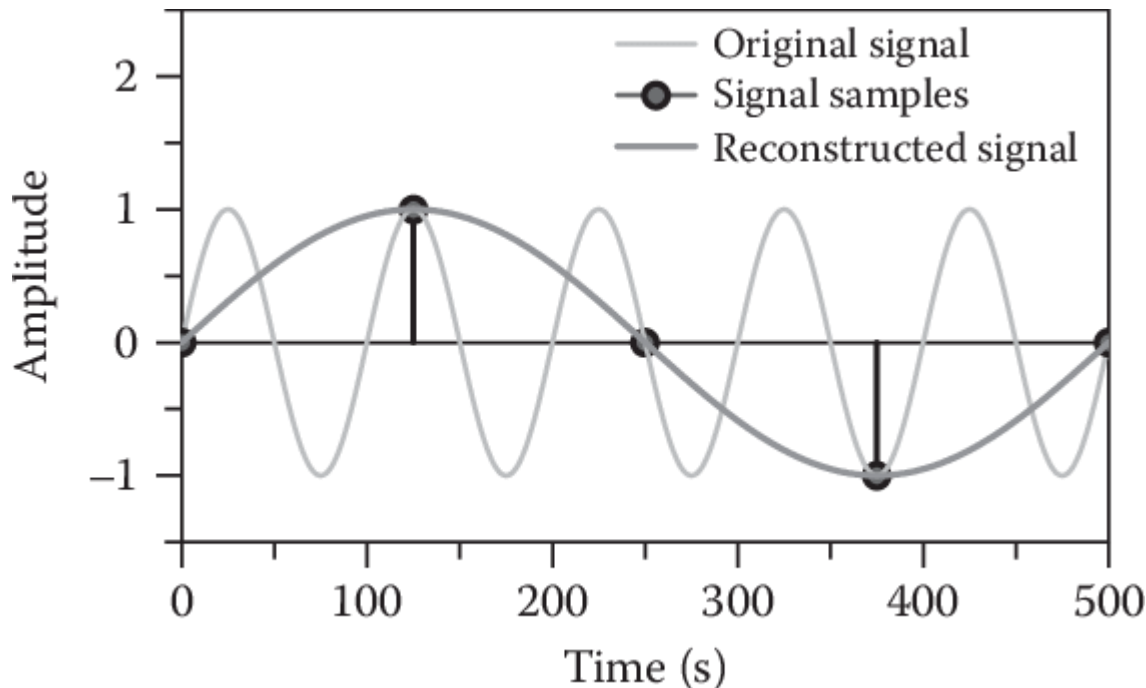
13 June 2023

Figure 7.2 The effect of sample rate on signal frequency and amplitude interpretation.



משפט הדגימה

- משפט הדגימה: לשחזור התדר של האות הדגום קצב הדגימה צריך להיות יותר מפעמיים התדר המקסימאלי באות: $f_s > 2f_m$
- תדירויות התחזות: אותות בתדירות יותר גבוהה ממחצית תדר הדגימה יתחזו כאותות בתדירויות יותר נמוכות ממחצית תדר הדגימה, Alias frequency.



If frequency is: $f_m = \frac{f_s}{2} + \varepsilon$

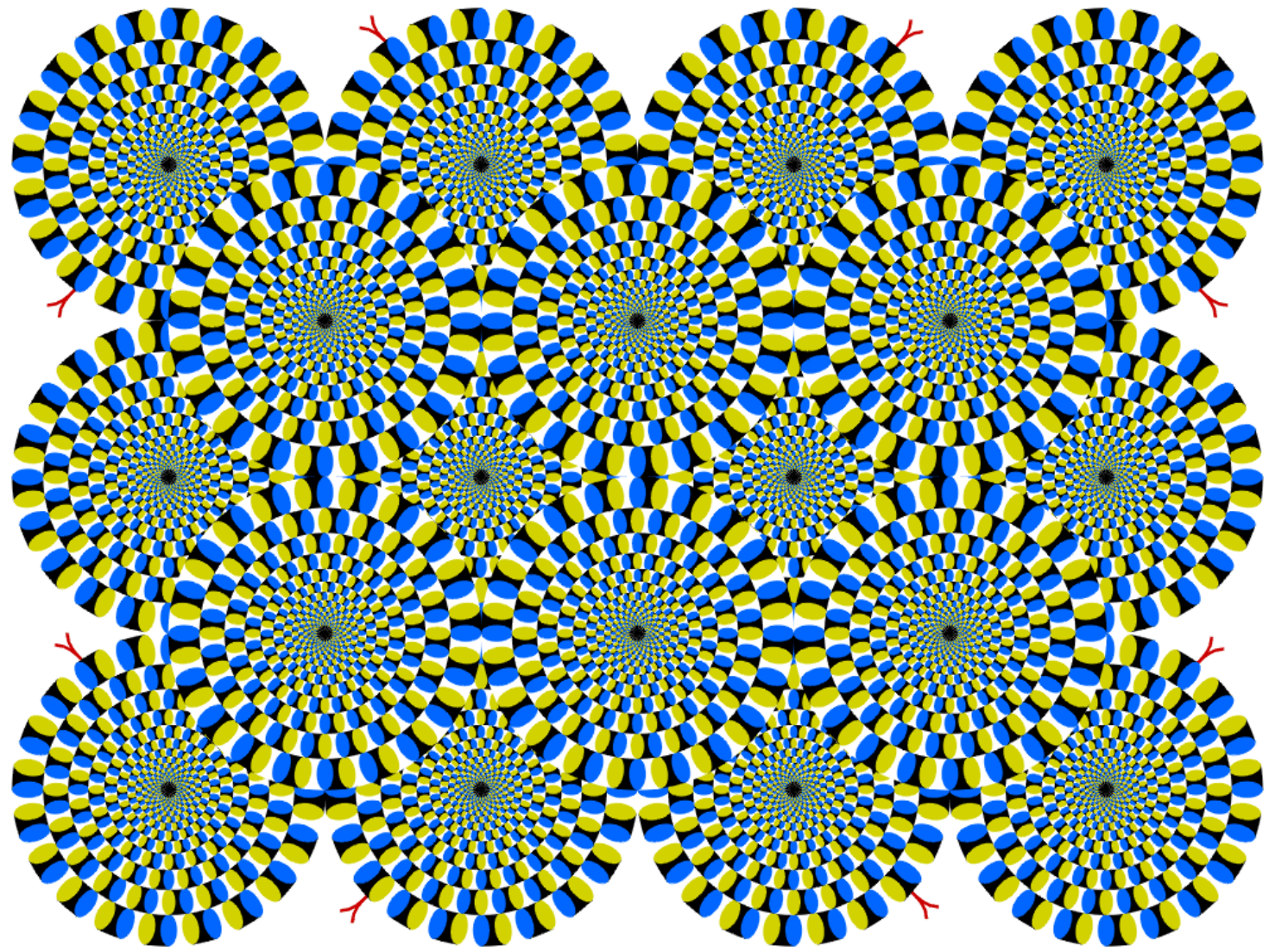
The aliased frequency is:

$$f_a = \frac{f_s}{2} - \varepsilon \quad \text{for } \varepsilon \leq \frac{f_s}{2}$$

This phenomenon is called "folding", since f_a is a mirror image of f_m around $\frac{f_s}{2}$.

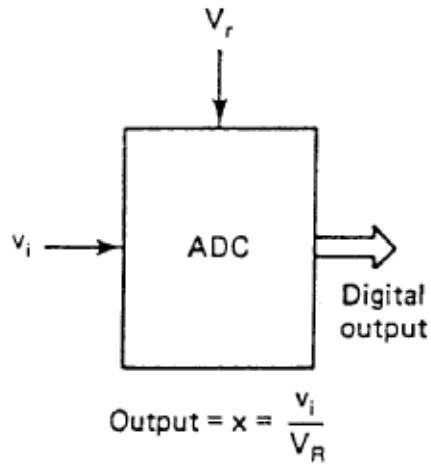


The Peripheral Drift Illusion - Aliasing

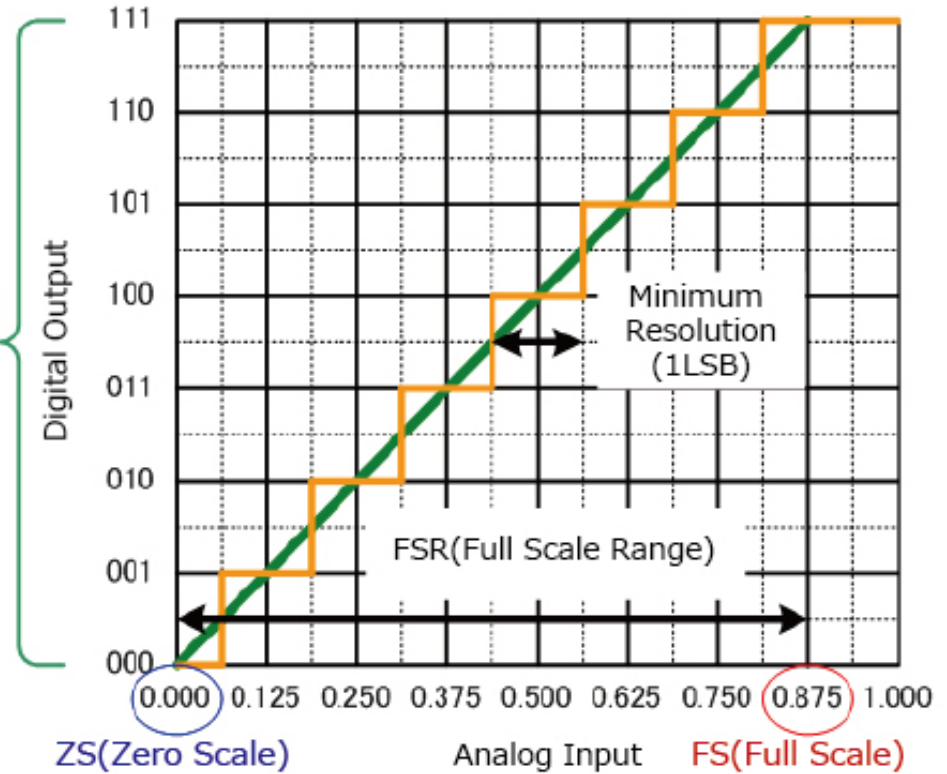




ממשק אנלוגי דיגיטלי – דיגיטציה (קוונטיזציה)



Quantization
No. of Steps
 $2^3-1=7$



• שגיאת רזולוציה: $\pm 1/2 \text{ LSB}$

• גודל המדרגה – חד-פולרי:

$$\Delta V \equiv Q = \text{LSB} = \frac{FS}{2^n}$$

• גודל המדרגה – בי-פולרי:

$$\Delta V \equiv Q = \text{LSB} = \frac{FS}{2^{n-1}}$$

Quantization Error



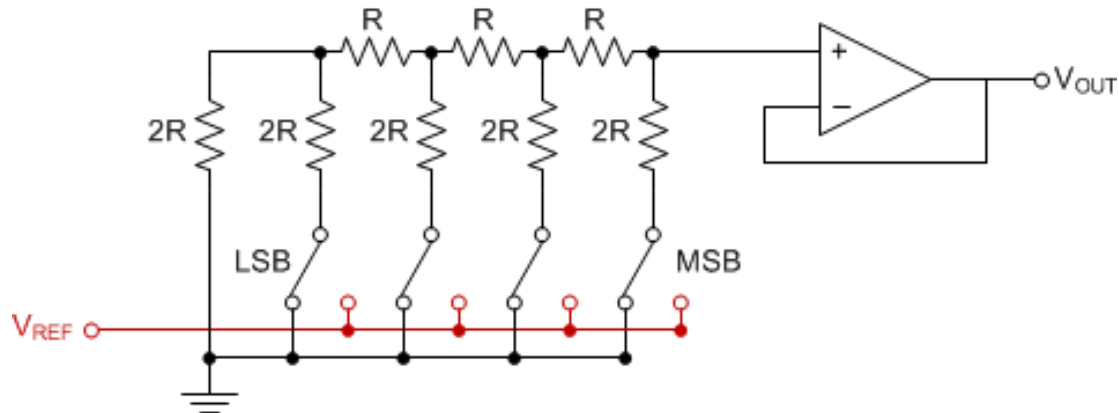
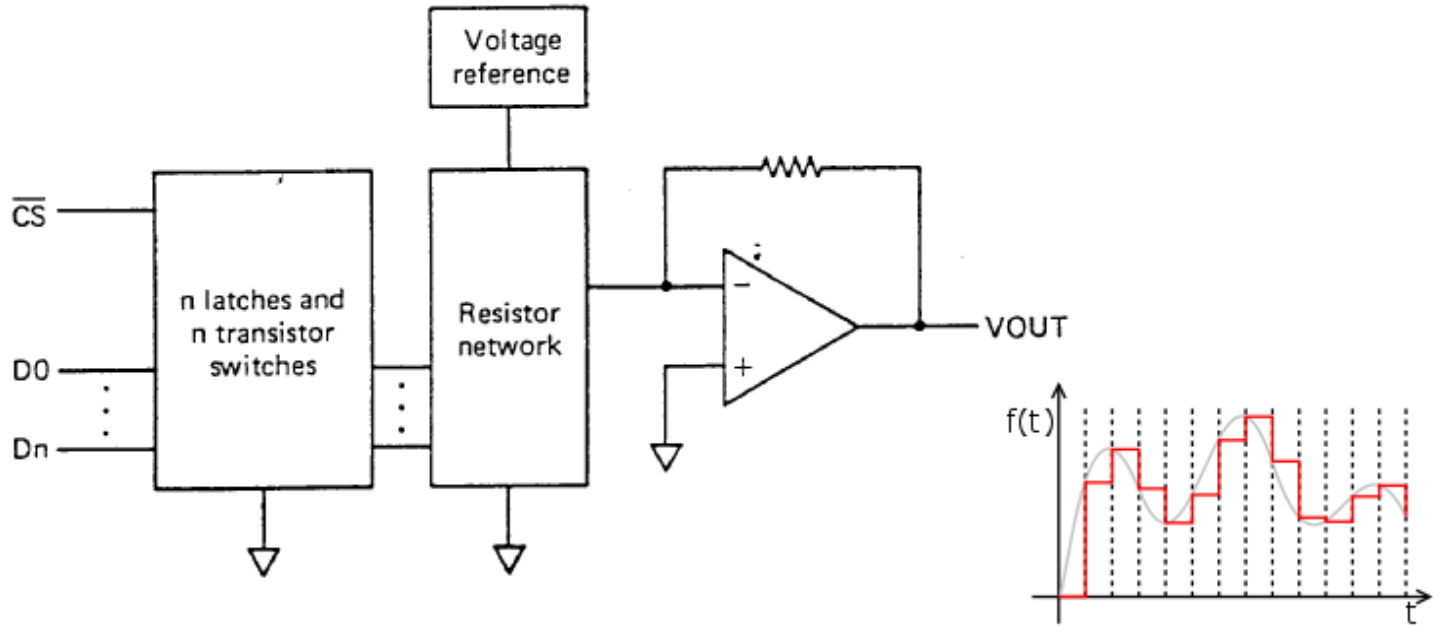


ממשק דיגיטלי אנלוגי – DAC

הפעולה של ADC מבוססת על DAC, לכן נדון קודם בפעולה של DAC

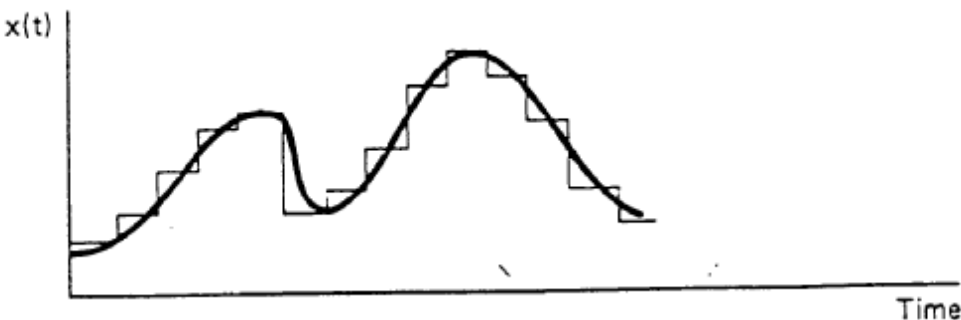
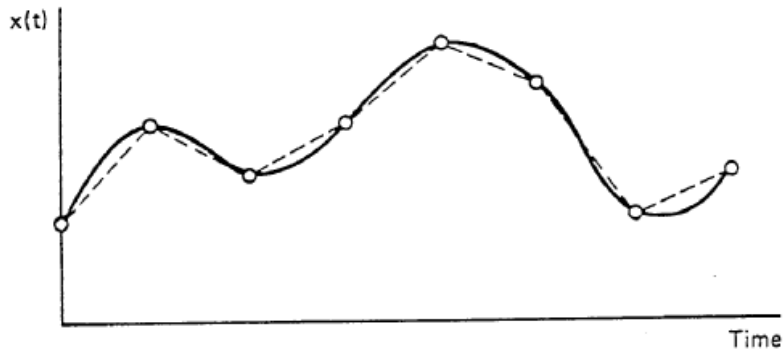
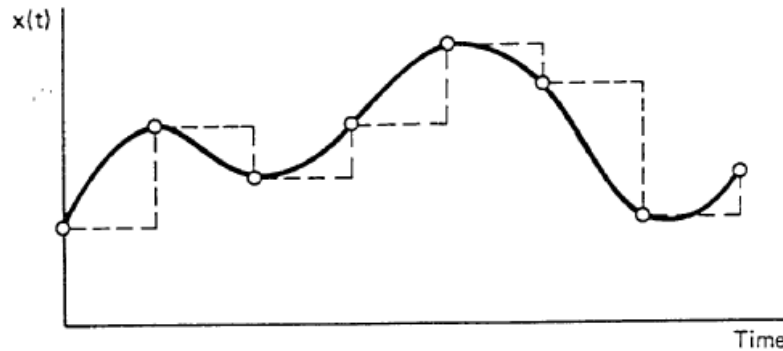
אות בקרה

"ביטים" של
אות דיגיטלי





ממשק דיגיטלי אנלוגי – DAC אינטרפולציה



• אינטרפולציה:

– מסדר אפס Zero order hold

• חיסרון: לא רציף

– לינארי Linear Interpolation

• חיסרון: השהיה

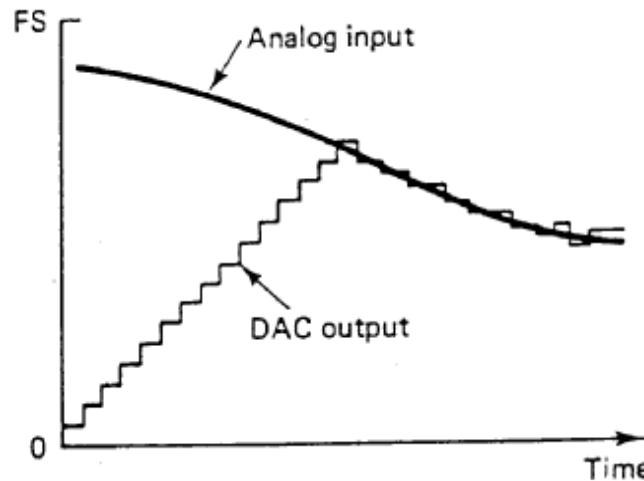
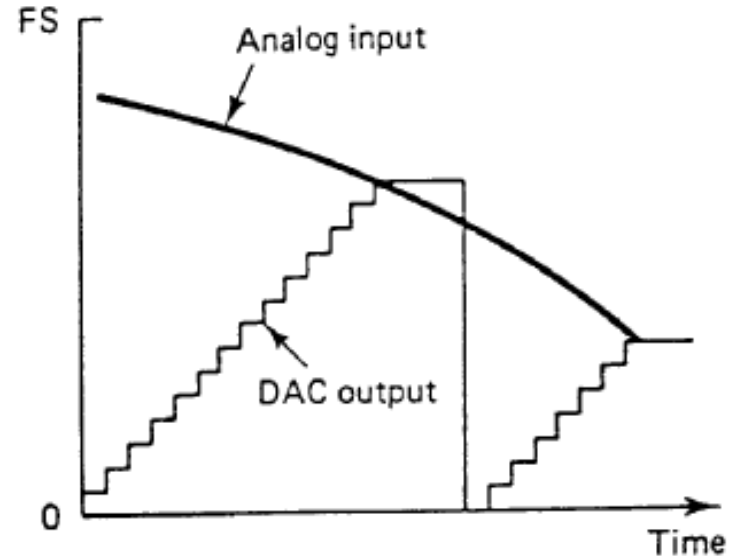
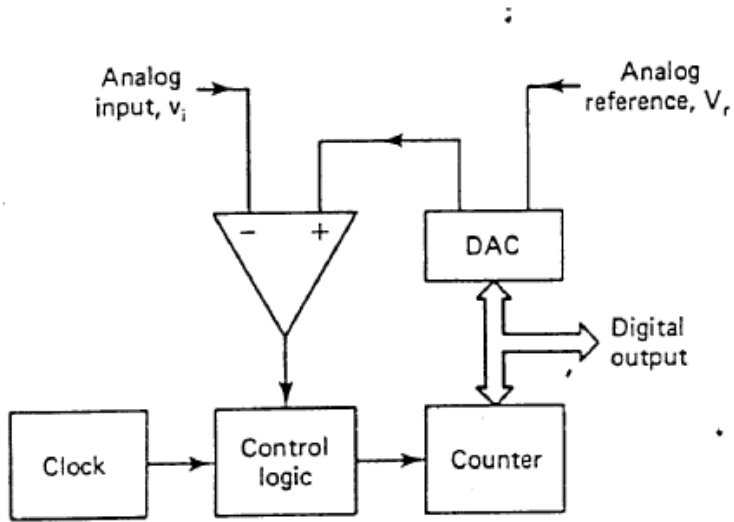
– אינטרפולציה סינון Low pass Interpolation

• חיסרון: השהיה



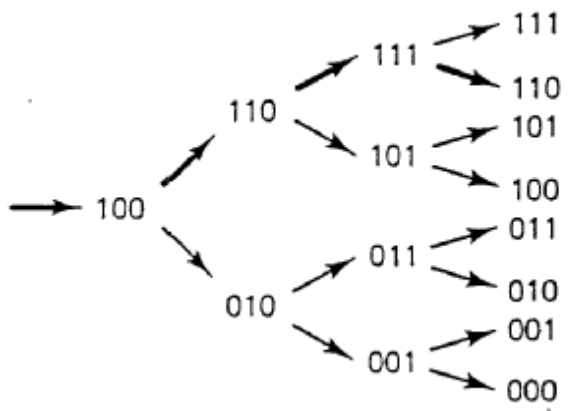
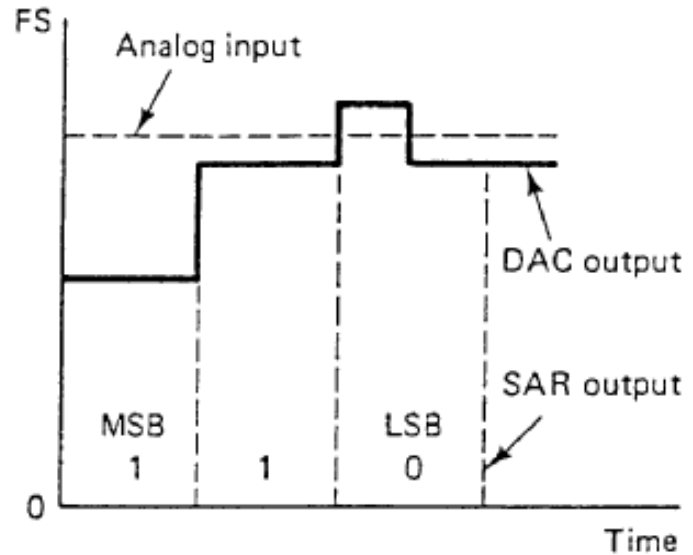
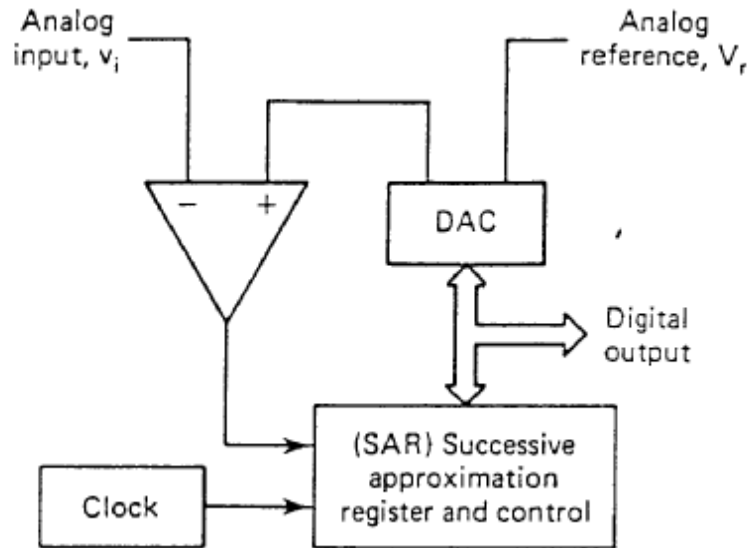
בחזרה לממשק אנלוגי דיגיטלי

דיגיטציה ב- ADC מבוססת על DAC



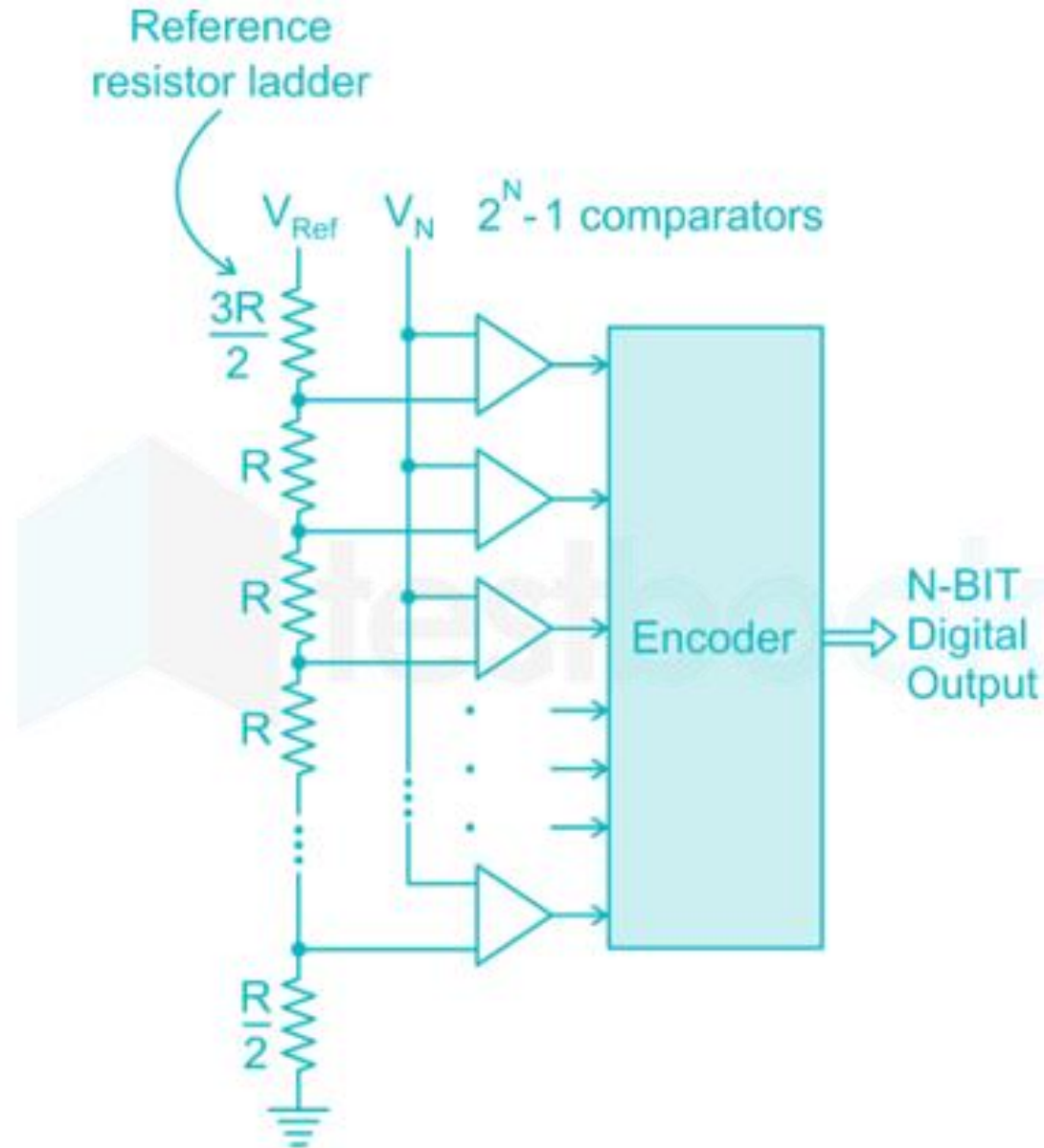


ADC Successive Approximation



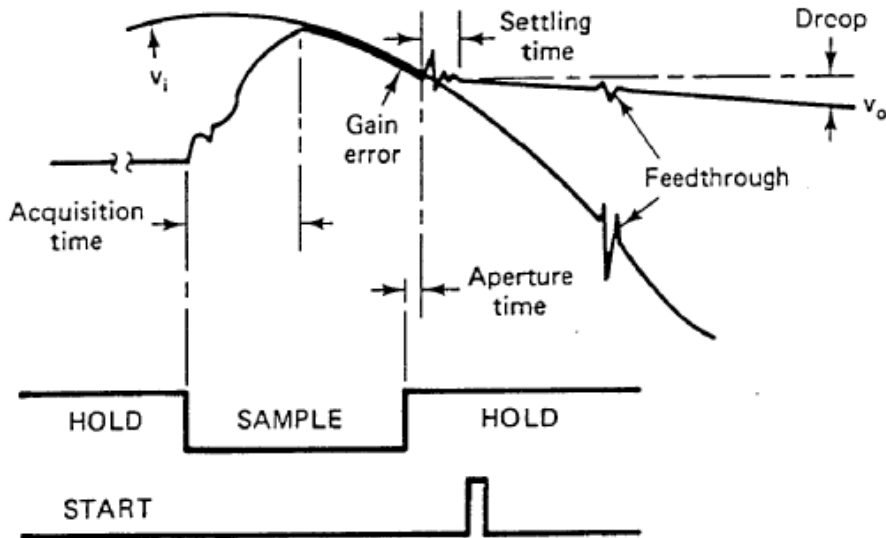
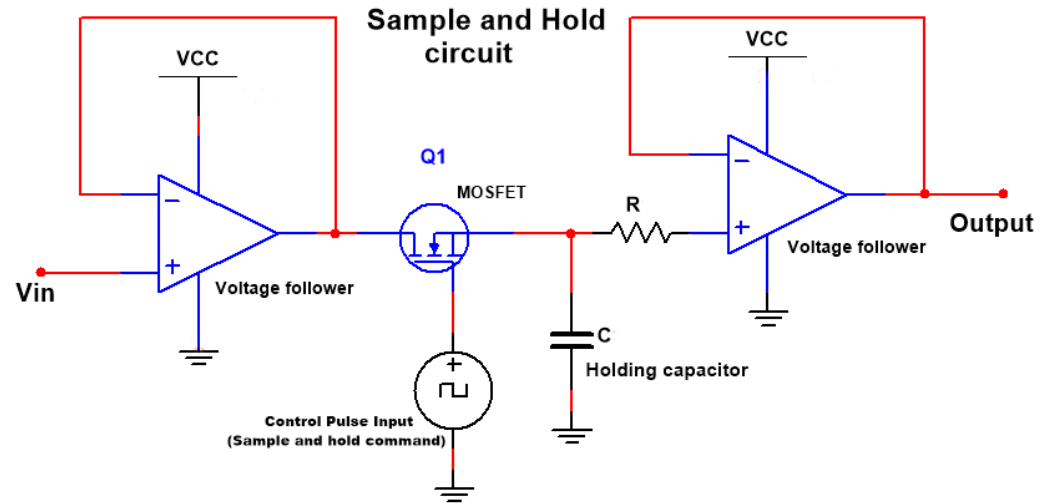
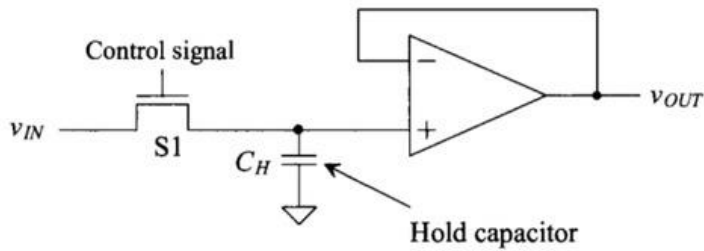


Simultaneous or Flash A/D Conversion





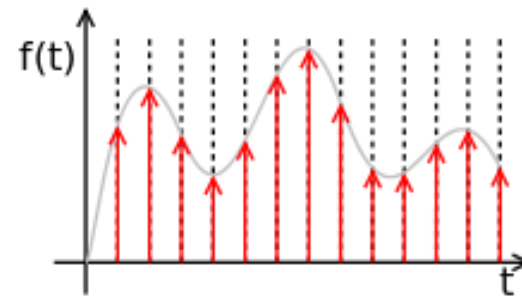
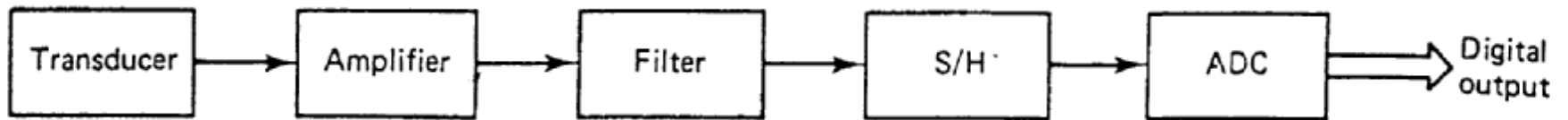
ממשק אנלוגי דיגיטלי - Sample and Hold



*Acquisition time
 + Aperture time
 + Settling time
 Limit the sampling interval and hence
 Sampling rate*

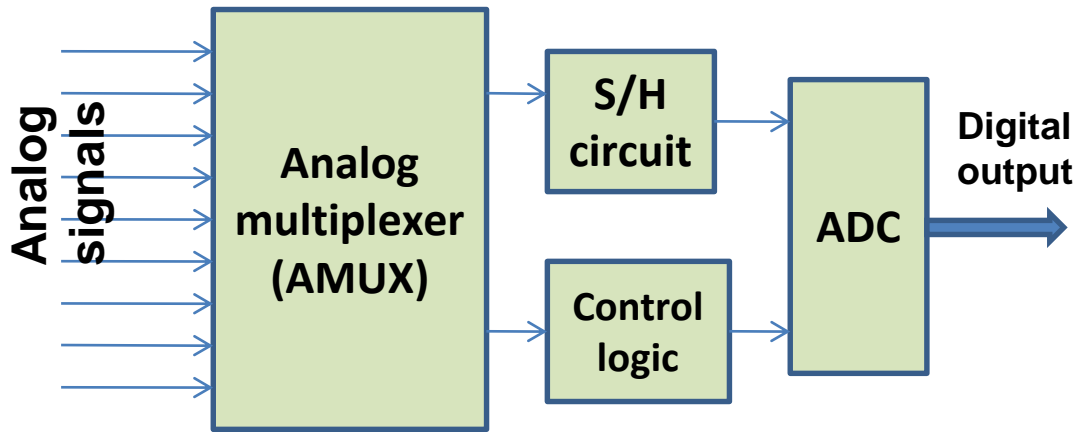
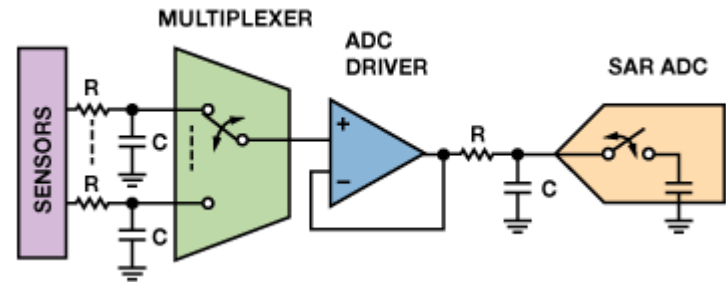


Single Channel Data Acquisition





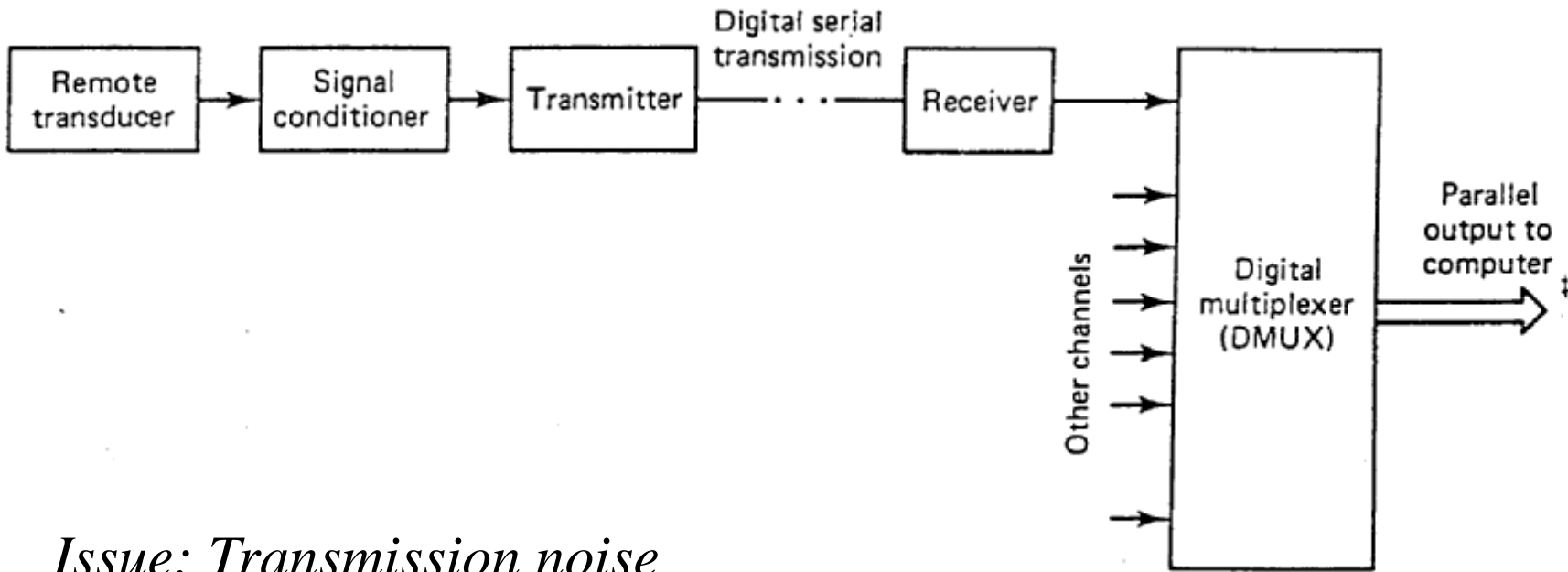
Multi Channel Data Acquisition



Issue: This arrangement cannot perform Simultaneous sampling
Possible solution: Multiple S/H before the MUX



Multi Channel Data Acquisition Long Distance



Issue: Transmission noise

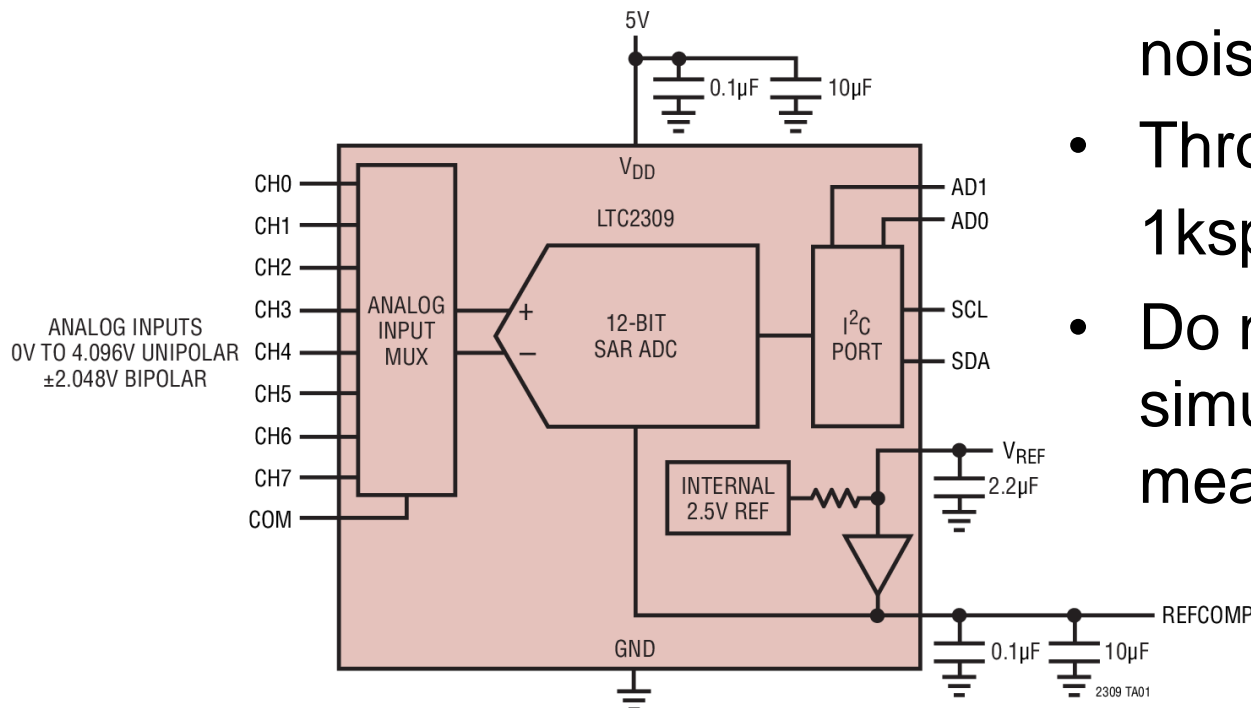
Solution: Digital transmission

*Requires: Local S/H & ADC (as part of the Signal conditioner)
for each channel*



LTC2309 Data Acquisition components

- Low noise, low power,
- 8-channel multiplexer,
- 12-bit successive approximation ADC.
- Includes an internal reference and a fully differential sample-and-hold circuit to reduce common mode noise.
- Throughput rate of 1ksp/s.
- Do not support simultaneous measurements



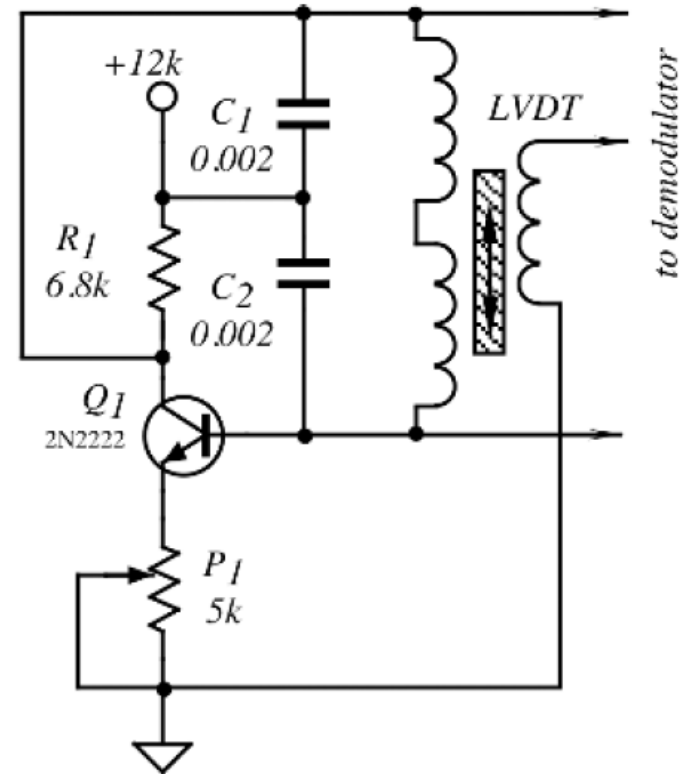


חיישנים ספרתיים

- Based on frequency measurements (or time).
- No need for A/D convertors.

Examples:

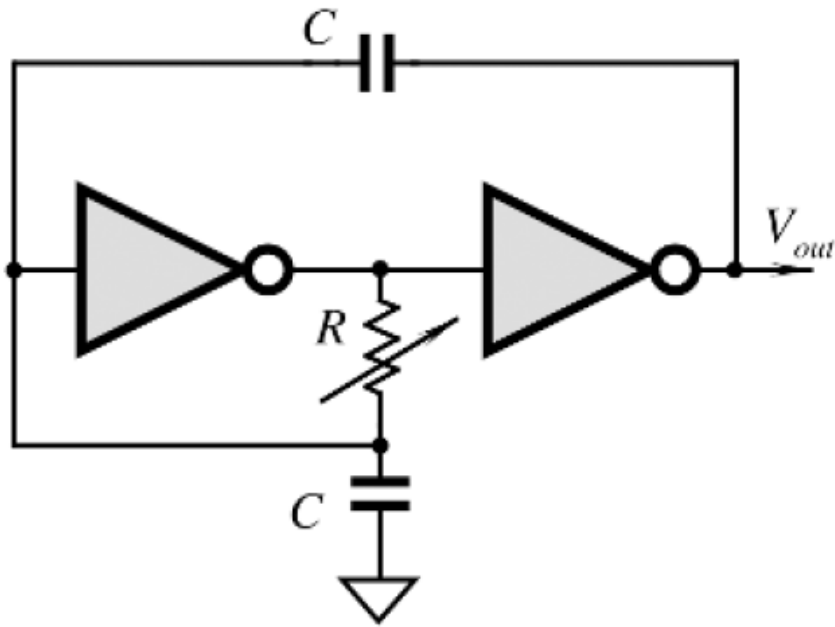
- Encoders
- Oscillators or resonators.



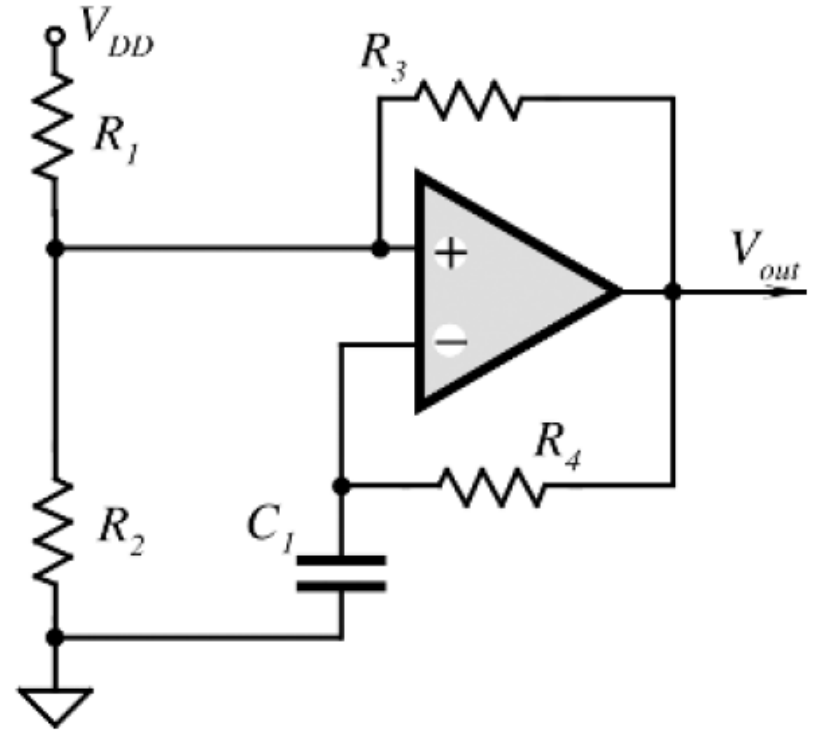
LVDT - LC sine-wave oscillator



חיישנים ספרתיים – מעגלי תהודה



(A)



(B)

$$f = \frac{1}{R_4 C_1} \left[\ln \left(1 + \frac{R_1 || R_2}{R_3} \right) \right]^{-1}$$

Square-wave oscillators: (A) with two logic inverters; (B) with a comparator



אנליזת תדר ממוחשבת

■ אנליזת תדר (DFT, FFT)

■ יעילות חישובית של FFT גדולה משמעותית משל DFT

$n \cdot \log_2 n$ חישובים במקום n^2

מחייב $n=2^M$

■ רוטינות FFT מספקות מקדמי פורייה (בצורה מורכבת) המכילים את המידע הנ"ל (מקדמי פורייה).

■ יעילות נומרית גבוהה, מערך נתונים בגודל $n=2^M$.

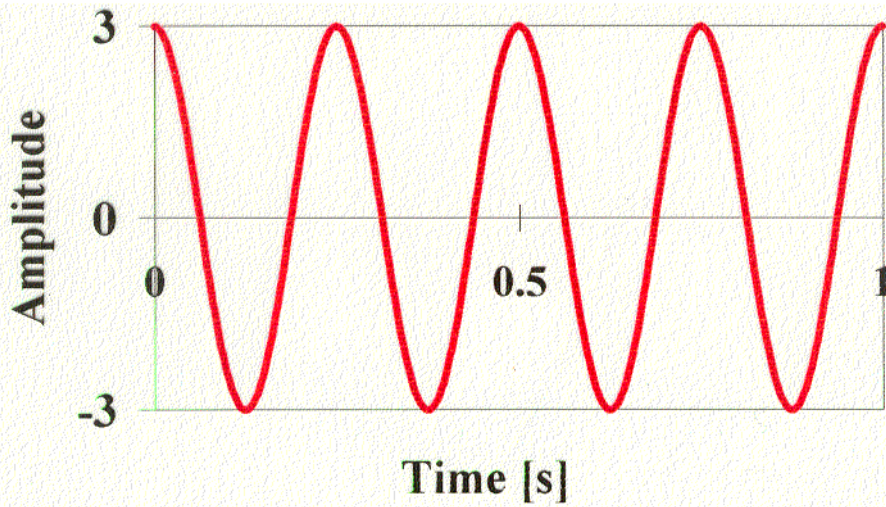
■ מומלץ תמיד לבדוק כל רוטינה חישובית ע"י קלט ידוע ולוודא שצורת פלט הרוטינה מובנת למשתמש.



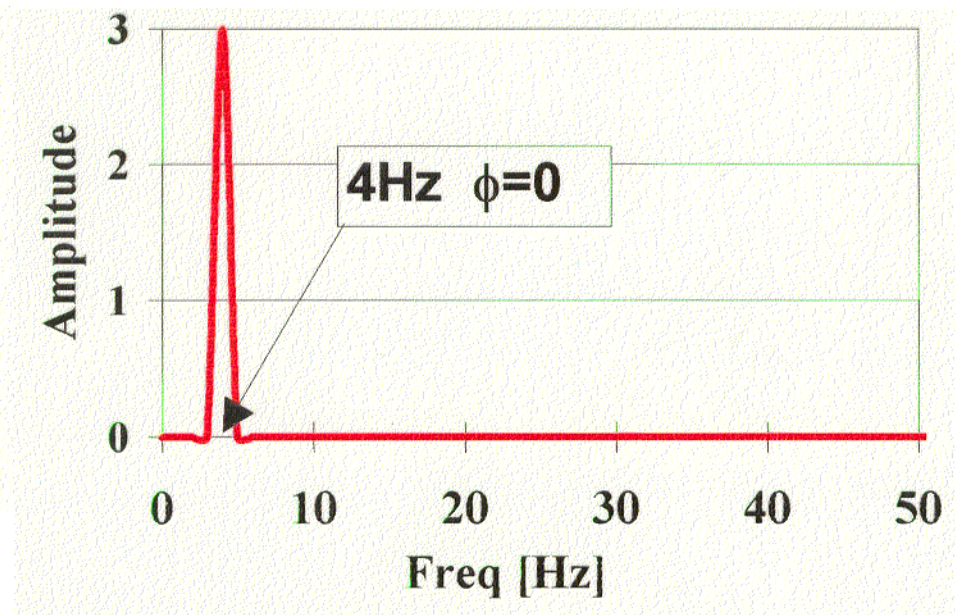
אנליזת תדר ממוחשבת

דוגמה 1

אות מחזורי "טהור" $A=3$, $f=4$ Hz - $A*\cos[2\pi f*t]$



צורת האות במישור הזמן

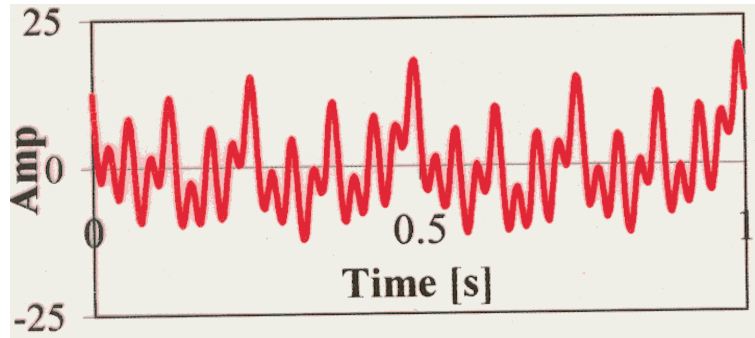


צורת האות במישור התדר

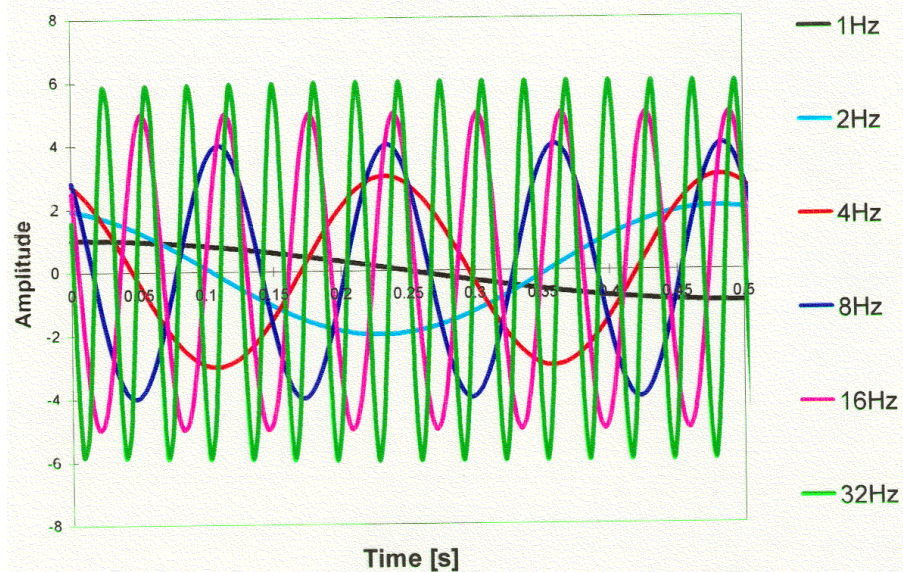


אנליזת תדר ממוחשבת

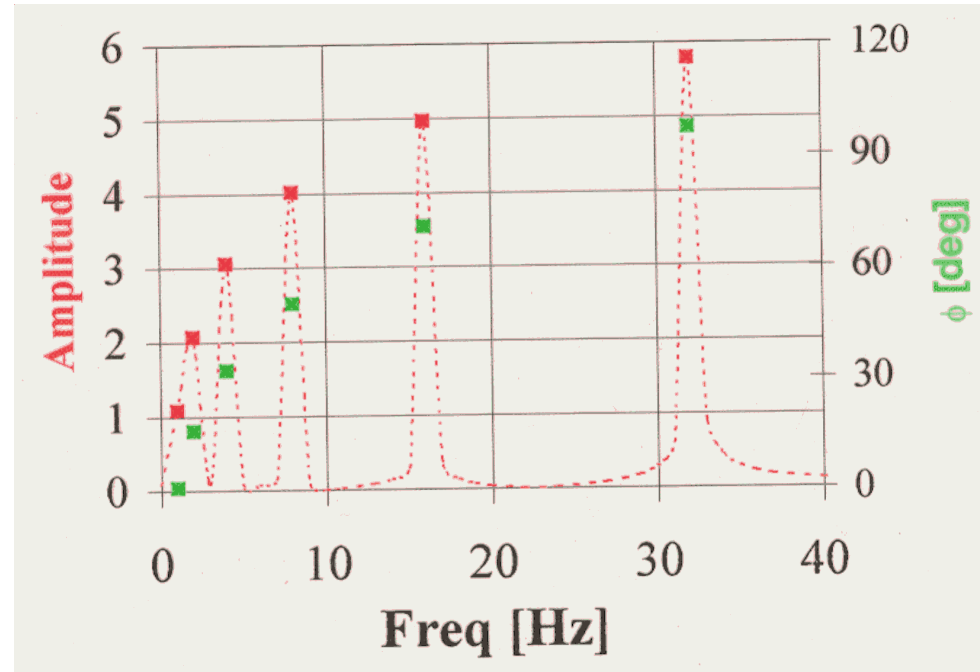
דוגמה 2



צורת האות במישור הזמן הכוללת סכום של אותות מחזוריים



האותות המרכיבים

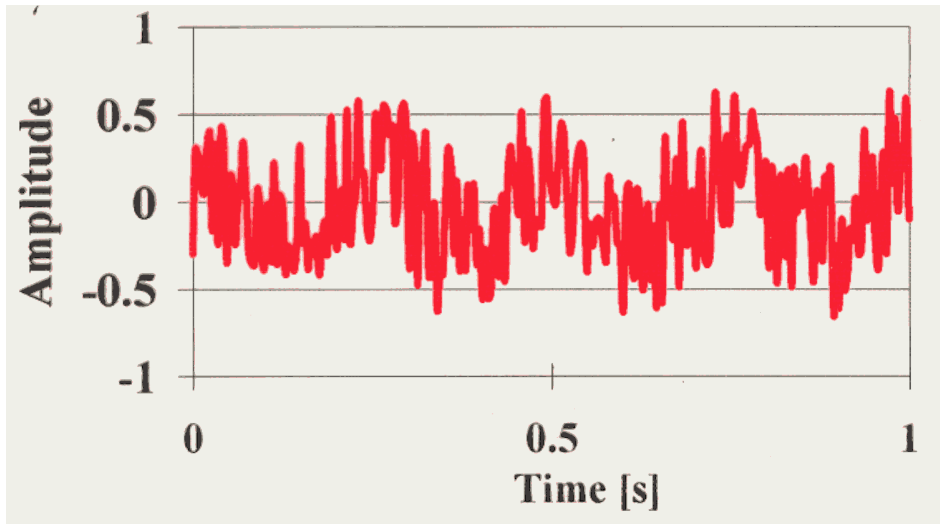


צורת האות במישור התדר



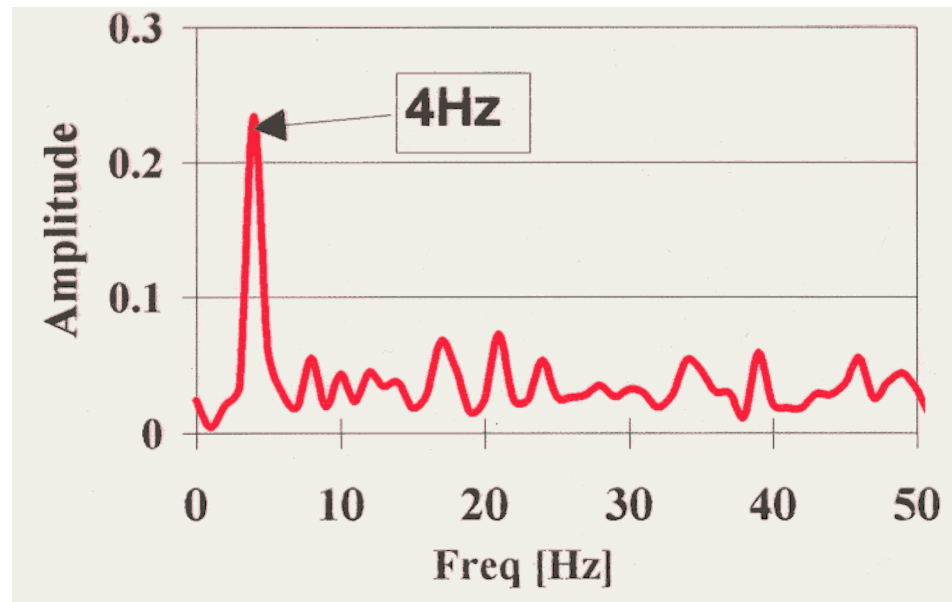
אנליזת תדר ממוחשבת

דוגמה 3



אות מחזורי בתדר $f=4$ Hz
ואמפליטודה A ורעש אקראי
צורת האות במישור הזמן

במישור התדר





Discrete Fourier Transform (DFT)

- אותות שמיוצגים במחשב:

- דיסקרטיים (דגימה של אות רציף)

- מתחום סופי (המוגדר ע"י קצב ומשך הדגימה).

$$\{y(m\Delta t)\}_{m=1}^N = y(t)\delta(t - m\Delta t) \quad m = 1, 2, \dots, N$$

- התמרת פורייה של אותות דיסקרטיים (אנטגרציה נומרית):

$$Y(f_k = \frac{k}{N\Delta t}) = \frac{2}{N} \sum_{m=1}^N y(m\Delta t) e^{-i2\pi mk/N} \quad k = 1, 2, \dots, \frac{N}{2}$$

- מתייחסת לאות המותמר כמחזור שלם של אות מחזורי.

- קצב הדגימה חייב להיות גבוהה (פי שניים ויותר) מהתדירות המקסימאלית של האות כדי למנוע התחזיות (משפט הדגימה).

- מספר התדירויות המיוצגות בהתמרה הוא: $N/2$ (מאפס עד $f_s/2$).



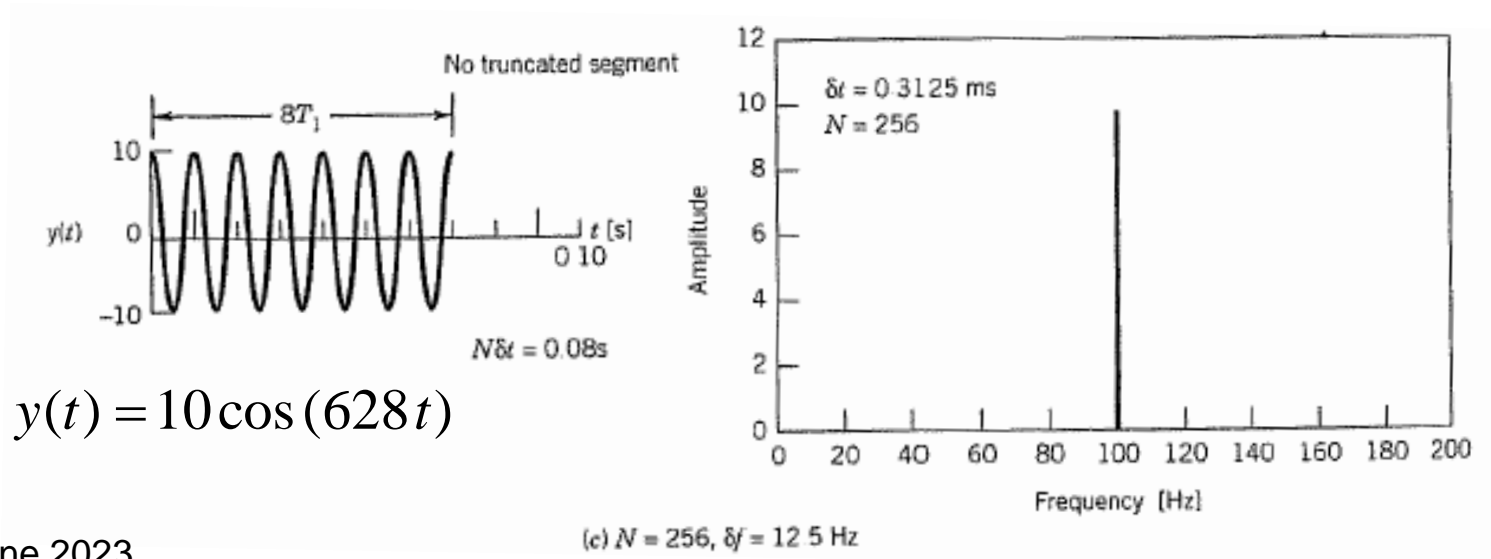
השפעת זמן הדגימה

$$\delta f = \frac{1}{N\delta t} = \frac{f_s}{N}$$

$$N\delta t = mT \Rightarrow m\delta f = \frac{1}{T}$$

- זמן הדגימה הכולל (בחלון של DFT) משפיע על הרזולוציה בתדר:
- האמפליטודה מיוצגת באופן מדויק ע"י DFT/FFT רק אם:

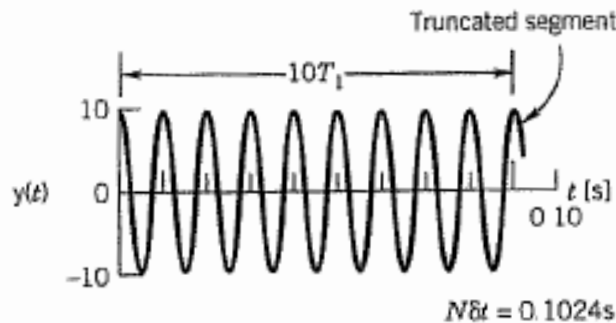
- משפט הדגימה מתקיים
- זמן הדגימה הינו כפולה שלמה של זמן המחזור



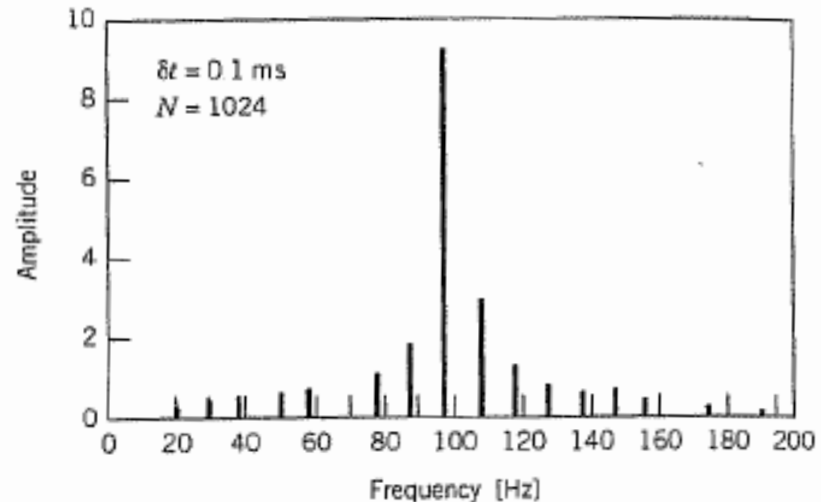


השפעת זמן הדגימה זליגה

- אחרת תיוצר שגיאה באמפליטודה, ויופיעו קווים ספקטראליים בתדירויות קרובות (זליגה – Leakage) כתוצאה מ:
 - קיטוע של מחזור (ניתן לשפר ע"י בחירה בפונקציית חלון)
 - רזולוציה בתדר (תדר האות אינו מספר שלם של δf)



$$y(t) = 10 \cos(628t)$$



(b) $N = 1024$, $\delta f = 9.8$ Hz



בחירת קצב זמן דגימה

- באופן מעשי כדאי לדגום פי חמש-עשר יותר מהר מהתדר המקסימאלי כדי שהשחזור יהיה מהימן:

$$f_s \geq 5 f_m$$

- כדי להבטיח שמשפט הדגימה מתקיים מסננים את האות לפני הדגימה Anti-aliasing filter
- כדי להקטין רעשים אפשר למצע את הספקטרום – מחשבים את הספקטרום בחלונות שווי אורך וממצעים
- שימו לב: הגדלת התדר וזמן הדגימה מגדילים את עומס החישוב והזיכרון!!!



עיבוד נתונים

המלצות

- מומלץ לבצע עיבוד ראשוני של הנתונים במהלך או מיד בסיום כל שלב בניסוי (ממוצעים, סטיות תקן, ...)
- יש לוודא בכל שלב שמתמר A/D וכל שאר המכשירים לא נכנסים לרוויה
- רצוי לבחון את התוצאות באופן גרפי ולא רק טבלאות מספרים – לצורך זיהוי של מדידות חריגות, מאפייני שינוי, חזרה על תוצאות
- עיבוד תוצאות:
 - סטטיסטי – סטאטי
 - נומרי - דינאמי
 - גרפי
 - התאמת קורלציה
 - מומלץ לעשות השוואה ל:
 - תיאוריה \ חישובים \ ניסויים אחרים \ ניסויים קודמים