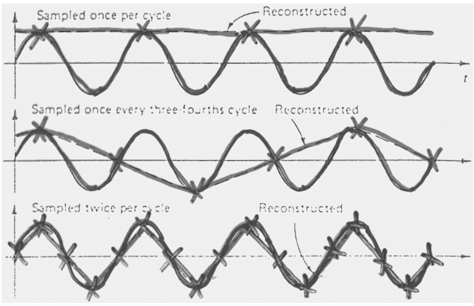
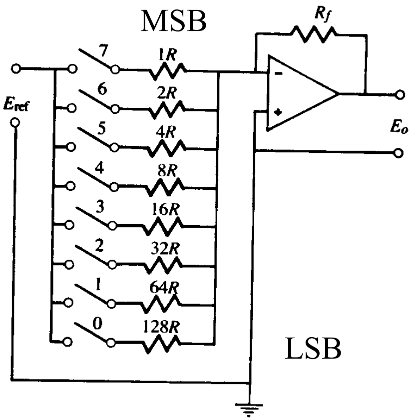
## דגימה ועיבוד נתונים – התמרת אות אנלוגי לדיגיטלי

- התמרת אות רציף (אנלוגי) לסט של אותות בינריים (דיסקרטי)
- יתרונות האות הדיגיטלי:
  - חיסון מרעשים
  - תיקון שגיאות
  - מיחשוב
- חסרונות:
  - רזולוציה מוגבלת ע"י מספר הביטים
  - יש להיזהר מ – Aliasing. תדר הדגימה צ"ל לפחות כפול מהתדר הגבוה ביותר שמכיל האות האנלוגי (להשתמש ב – Low pass filter)






## דגימה ועיבוד נתונים – התמרת אות דיגיטלי לאנלוגי




- התמרת אות רציף (אנלוגי) לסט של אותות בינריים (דיסקרטי)
  - <u>התמרה של 8 ביט</u>:
  - מתח ייחוס $E_{ref}$
  - האות הדיגיטלי קובע אילו מתגים ייסגרו
  - התנגדות עולה בכפולות של 2
  - MSB מספק מתח גבוהה ביותר
  - LSB מספק מתח נמוך ביותר
  - Inverter-Adder Op Amp
  - הנגד $R_f$ מתאים את מתח היציאה
  - ומתח היציאה

$$E_0 = -E_{ref} R_f \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{2R} + ... + \frac{1}{128R} \right)$$

## דגימה ועיבוד נתונים – התמרת אות דיגיטלי לאנלוגי (2)

- דוגמה:
  - <u>התמר 11000001 לאנלוגי</u>:
  - סכום הפכי ההתנגדויות

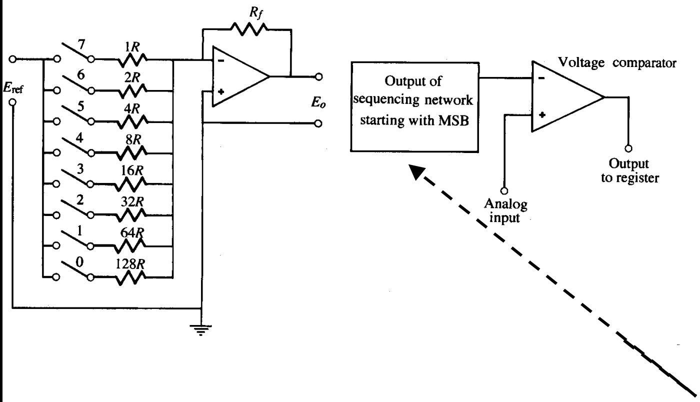
$$\frac{1}{R}\left(1+\frac{1}{2}+0+0+0+0+0+\frac{1}{128}\right)=\frac{1}{R}\left(1.5078125\right)$$

  - והייצוג הדיגיטלי למילה הבינרית:
  - $2^7+2^6+0+0+0+0+0+2^0=193$
  - וזה שווה ערך ל- $193=2^7x1.5078125$
  - גם מתח הייחוס וגם נגד הייחוס נקבעים לפי מתח היציאה הרצוי
  - מתמרים נפוצים בני 12 או 16 ביט (16 ביט איטי יותר)



## דגימה ועיבוד נתונים – התמרת אות אנלוגי לדיגיטלי

- התמרת אות רציף (אנלוגי) לסט של אותות בינריים (דיסקרטי)




- צד שמאל הוא מתמר דיגיטלי לאנלוגי כמיקודם
- המתח המיועד להתמרה Input
- מושווה עם מתח הנוצר ע"י מתמר DtoA בהתאם לאות דיגיטלי שמספק המודול המרכזי (מודול זה מספק מתח להשוואה ואות דיגיטלי זהה)
- ברגע שמתח ההשוואה זהה למתח הכניסה נשמרת ההתאמה
- מהירות – עד 1MHz ל – 12 ביט, מתמרי "דגום והחזק" (SHA) עדיפים

# דגימה ועיבוד נתונים – התמרת אות אנלוגי לדיגיטלי (2)

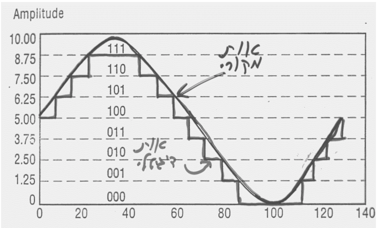


Figure 3. Digitized Sine Wave with 3-Bit Resolution

- רזולוציה סופית ודיסקרטית
- מוגדרת: $E_{FS}/2^M$
- כאשר:
  - $E_{FS}$ הוא מתח הרוויה של המתמר
  - ו- M הוא מספר הביטים של ההתמרה
- במידה והמתח המסופק למתמר גדול מ - $\pm$ מתחי הרוויה נקבל אות בינרי שווה ערך למתחי הרוויה
- יש להתאים מתחי המדידה כך ש-
  - לא תיתכן רוויה (של האות הרגעי לא הממוצע)
  - יהיו מירב הביטים בתחום מתחי הכניסה בתחומי עבודה שונים
  - אופטימיזציה!



# דגימה ועיבוד נתונים – בחירת תדר הדגימה

- חייבת להסתמך על ידע מוקדם באשר לתדרים ה"חשובים" למדידה
- תדר הדגימה ($F_s$) – לפחות פעמיים התדר הגבוהה ביותר (לאחר פילטור (Low pass
- מספר נקודות הדגימה הכולל קובע את זמן הדגימה הכולל $T_s=F_s*n$
- זמן הדגימה הכולל קובע את התדר הנמוך ביותר שנוכל לאפיין $F_{min}=1/T_s=1/(F_s*n)$

## עיבוד נתונים

- מומלץ לבצע עיבוד ראשוני של התוצאות במהלך או מיד בסיום כל שלב בניסוי
- יש לוודא בכל שלב שה- AtoD Converter לא נמצא ברוויה
- רצוי <u>לבחון התוצאות באופן גרפי</u> ולא בחינת טבלות מספרים – לצורך זהוי של מדידות חריגות, מאפייני שינוי, חזרה על תוצאות ...
- עיבוד תוצאות:
  - סטטיסטי - סטאטי
  - נומרי - דינאמי
  - גרפי
- השואה לתיאוריה



## עיבוד נתונים

- אנליזת תדר (DFT, FFT)
- פילטרים דיגיטליים וחלונות בזמן
- עיבוד גל לא מחזורי
- עיבודים סטטיסטיים

# עיבוד נתונים – אנליזת תדר

- ניתוח תכולת תדר של אות מחזורי במצב עמיד
- אנליזת תדר (DFT, FFT)

**<u>חזרה מתמטית קצרה</u>**

אם נתונה פונקציה במישור **<u>אמפליטודה - זמן</u>** f(t) בתחום t=0 עד t=T ניתן להציגה במישור **<u>אמפליטודה - פזה - תדר</u>** באמצעות התמרתה לטור פוריה אין סופי מהצורה:

$$\mathbf{f(t) = A_0 + A_1COS(\pi ft)+B_1SIN(\pi ft)}$$
$$\mathbf{+ A_2COS(2\pi ft)+B_2SIN(2\pi ft)}$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$\mathbf{+ A_nCOS(n\pi ft)+B_nSIN(n\pi ft)}$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$

מקדמי פוריה $A_n$ ו $B_n$ **הם:**

$$A_n = \frac{1}{T}\int_0^T f(t)\cos\left(\frac{n\pi}{T}t\right)dt \qquad B_n = \frac{1}{T}\int_0^T f(t)\sin\left(\frac{n\pi}{T}t\right)dt$$

- יעילות חישובית של FFT גדולה משמעותית משל DFT
- $N*\log_2 n$ חישובים במקום $n^2$
- מחייב $n=2^M$



# עיבוד נתונים – אנליזת תדר (2)

ניתן לכתוב את הטור בצורה שונה:

$$\mathbf{f(t) = A_0 + C_1COS(\pi ft+\phi_1)+ C_2COS(2\pi ft+\phi_2) +}$$
$$\mathbf{+ \ldots C_nCOS(n\pi ft+\phi_n) + \ldots\ldots}$$

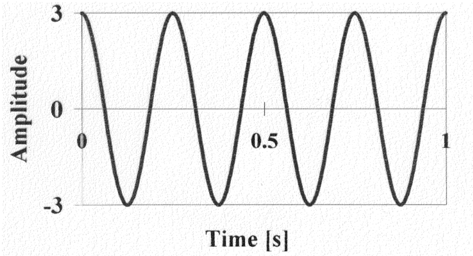
- כאשר

$$C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \qquad Tg(\phi_n) = \frac{B_n}{A_n}$$

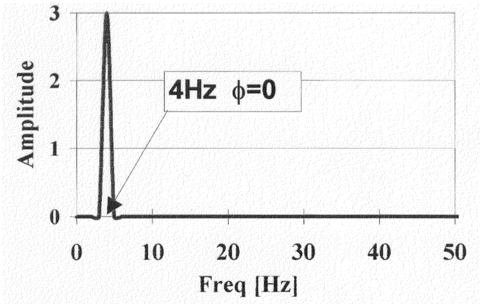
- הפונק' הרציפה תקורב באמצעות סכום קוסינוסים בתדרים שהם כפולות שלמות של f=1/T (תדר הדגימה) בעלי אמפליטודה $C_n$ ופאזה $\phi_n$
- רוטינות FFT מספקות מקדמי פוריה (בצורה מרוכבת בד"כ) המכילים המידע הנ"ל.
- יעילות נומרית גבוהה, מערך בגודל $n=2^M$
- ממומלץ תמיד לבדוק הרוטינה החישובית ע"י קלט ידוע ולוודא שצורת פלט הרוטינה מובנת למשתמש

# אנליזת תדר - דוגמה (1)

- אות מחזורי "טהור" בתדר f=4 הרץ ואמפליטודה A=3
- לפי $A*\sin[f/(2\pi)*t]$
- צורת האות במישור הזמן



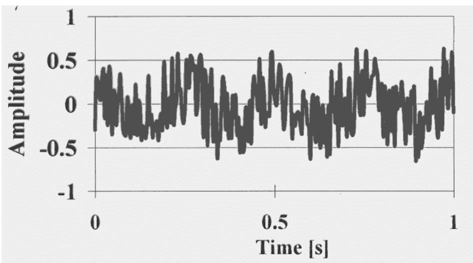

- ובמישור התדר



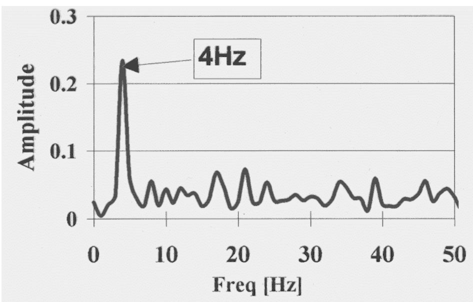



# אנליזת תדר - דוגמה (2)

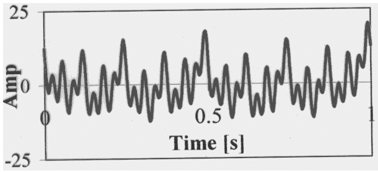
- אות מחזורי בתדר f=4 הרץ ואמפליטודה A=1 ורעש אקראי
- צורת האות במישור הזמן



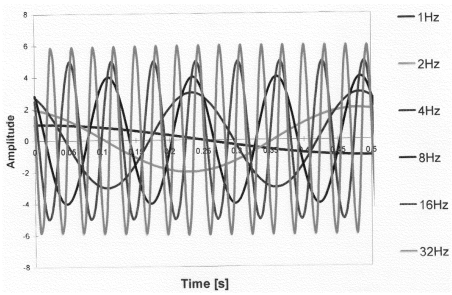

- ובמישור התדר



# אנליזת תדר - דוגמה (3)

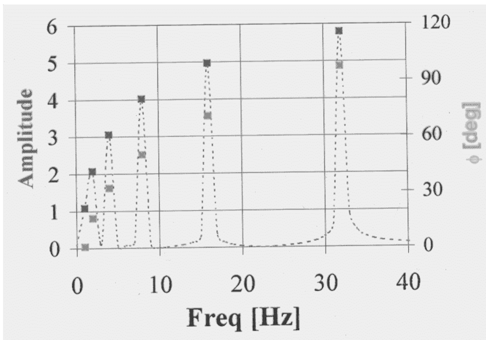



- סיכום כמה אותות מחזוריים
- צורת האות הכוללת במישור הזמן




האותות המקוריים

- ובמישור התדר






# עיבוד אותות – מקדם מיתאם (1)

- נתונים שני אותות $f_1(t)$ ו- $f_2(t)$ בזמן 0 ---> T
- מקדם המתאם (קורלציה) בודק דמיות בין האותות וזמן מיטבי של המתאם
- בצורה

$$Cor_{12}(\tau)=\frac{\int_0^T f_1(t)f_2(t-\tau)dt}{\sqrt{\int_0^T f_1^2(t)dt}\sqrt{\int_0^T f_2^2(t)dt}}$$

- COR=1 מתאם מושלם
- COR=-1 מתאם הפוך

# דוח - הצגת התוצאות

- בכתב
  - תקציר – עומד בפני עצמו
  - מבוא
    - למה עבודה טובה, במה מקדמת ידע
  - שיטות – מספיק כדי לאפשר הבנה
  - תוצאות – כל מה שאפשר להציג בגרף – עדיף, קונסיסטנטיות
  - סיכום ומסקנות – מה הושג
  - המלצות – מה נותר לעשות
- בעל-פה
  - אמור שלוש פעמים...
  - זוכרים מה שקשור לבדיחה...
  - מספר שקפים, שקפים פשוטים, רק מידע הכרחי
  - גיבוי שקפים למצגת
  - עמוד בזמנים