

הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
הפקולטה להנדסת חשמל



מעבדה 1, ח'1

ניסוי M.S.S. - חומר רקע
Mixed Signal System

גרסה 1.3

פברואר 2018

עודכן על ידי:
אלכס גרינשפון, אברהם קפלן

על פי חוברת של אלכסנדר קינקו ורוני לביא
שנכתבה בהנחיית אלי שושן

הניסוי פותח בחסות המעבדה למערכות ספרתיות מהירות 

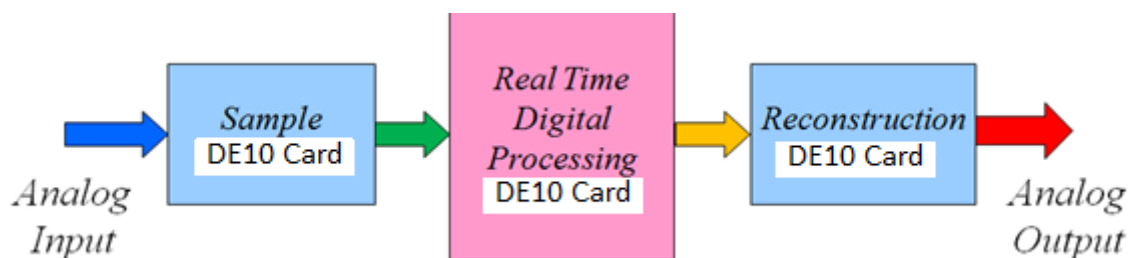
תוכן עניינים

1.	הכרת הפלטפורמה M.S.S.	3
1.1.	מהי מערכת M.S.S.?	3
1.2.	פלטפורמת הניסוי M.S.S.	3
2.	הכרטיס לעיבוד ספרתי DE10-	4
2.1.	חיבורי הכרטיס	4
2.2.	יחידת ה- Audio codec controller	5
3.	סיכום – העבודה עם פלטפורמת ה- M.S.S.	6
3.1.	זרימת הנתונים – יציאה בלבד	6
3.2.	זרימת הנתונים – כניסה ויציאה. שגיאה! הסימניה אינה מוגדרת.	
4.	יחידת הזיכרון – (DPR) Dual Port RAM	7
5.	נספח – תורת הדגימה – Sampling Theory	8
6.	נספח – דפי הנתונים של ה- Wolfson WM8731 CODEC	18
6.1.	תיאור של חיבור הרכיב WM8731 וסביבתו	19

1. הכרת הפלטפורמה M.S.S.

1.1. מהי מערכת M.S.S.?

מערכת *M.S.S. (Mixed Signal System)*, היא כל מערכת אשר משלבת בתוכה אותות אנלוגיים ואותות דיגיטליים. המערכת בדרך כלל תשלב גם עיבוד סיפרתי של האותות האנלוגיים הדגומים. היום, רוב המערכות הקיימות הן מערכות *M.S.S.* (טלפונים סלולאריים, מערכות סטריאו והדגמאות הן אינסופיות...). בניסוי, תטפל במקרה הבא:

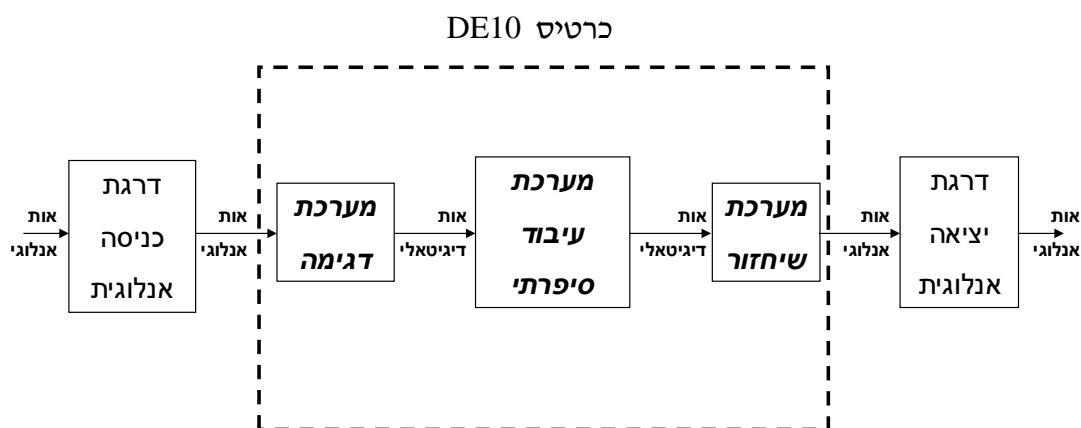


מערכת M.S.S. בסיסית

כאשר הכניסה והיציאה הן אותות אנלוגיים בתחום השמע.

1.2. פלטפורמת הניסוי M.S.S.

להלן תיאור של המערכת עליה הניסוי מתבסס. זהו תרשים זרימת האות במערכת:

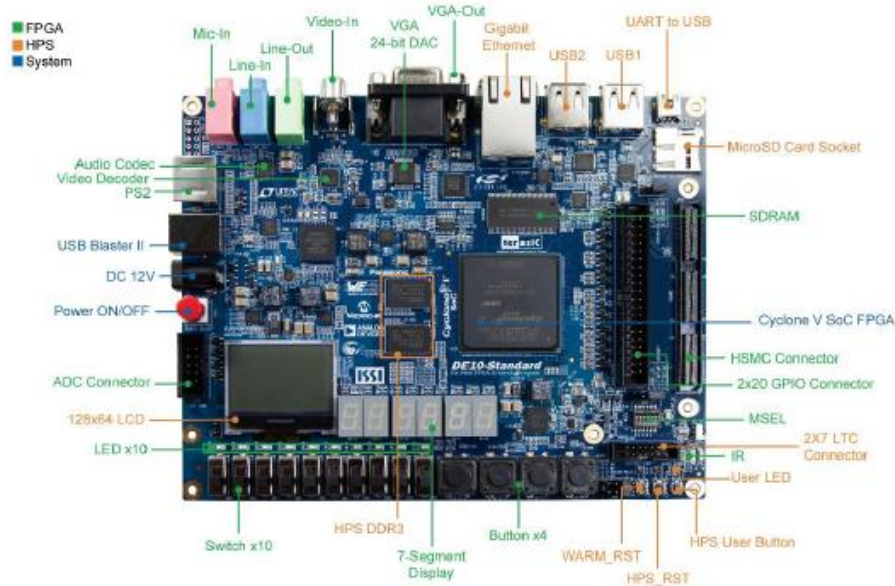


תרשים זרימת האות בפלטפורמת הניסוי

את דרגת הכניסה האנלוגית ודרגת היציאה האנלוגית, אפשר לממש על גבי מטריצה. דרגות אלו יכולות להיות מסננים פסיביים, מסננים אקטיביים, מגברים או כל מעגל אנלוגי אחר שתמצאו לממש. הכניסה האנלוגית עוברת ל-*DE10* ונדגמת לצורך עיבוד. לאחר העיבוד, המידע מועבר למערכת השחזור ומשם לדרגת היציאה.

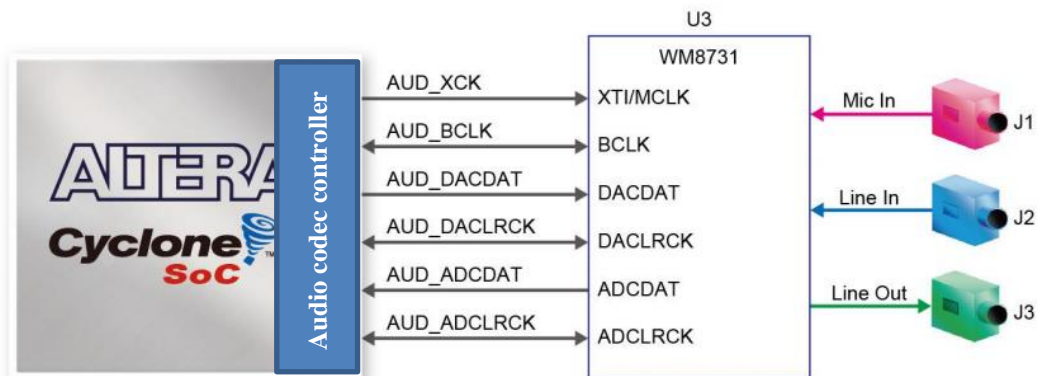
2. הכרטיס לעיבוד ספרתי – DE10

הדגימה וכל העיבודים הספרתיים ייעשו על גבי כרטיס ה-DE10 של חברת *Terrasic*. הכרטיס מבוסס על רכיב *FPGA* ממשפחת *Cyclone V*, בו כבר השתמשת בניסויים הספרתיים.



כרטיס ה-DE10

בשרטוט הבא רואים את צורת ההתממשקות בין *FPGA* בו נעשה העיבוד הסיפרתי לבין רכיב הדגימה והשחזור *AUDIO CODEC*



2.1 חיבורי הכרטיס

1. שלושה מחברים



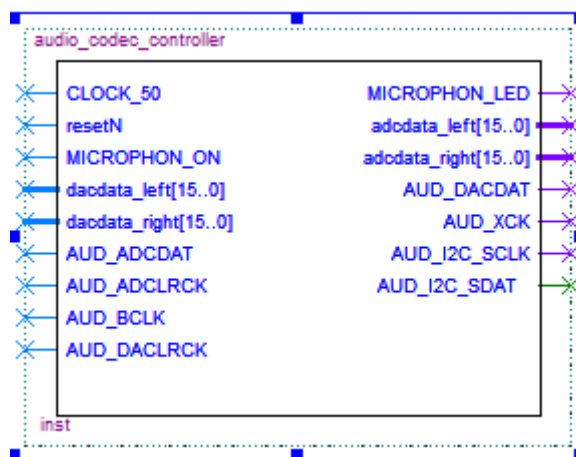
2. מפסק SW9 במצב למעלה גורם ל audio_codec להשתמש ב MIC-IN במקום Line-In
3. נורית LEDR9 תדלק במצב MICROPHONE

2.2. יחידת ה- Audio codec controller

הקבצים אשר מרכיבים את ה-AUDIO_CODEC_CONTROLLER הם :

- קובץ audio_codec_controller.qpx – קובץ המתאר את התכן של ה-Core
- קובץ bsf – קובץ של סמל גרפי לחיווט של ה-Core

שיטת עבודה זו מאוד נפוצה בתעשייה, כאשר חברה קונה Core של חברה אחרת, וסביבה בונה את פיתוח המוצר שלה, מבלי לדעת איך מימשו את התכן הפנימי של ה-Core. הדבר מאפשר האצה בפיתוח המוצר הסופי, שכן ניתן להתחיל לעבוד על פיתוח המוצר, תוך התמקדות במודולים הרלוונטיים למוצר, ולחסוך זמן יקר בפיתוח סביבת עבודה.



ה audio_codec_controller נמצא ב-FPGA ומממש ממשק בין רכיב WM8731 (Audio codec) ובין התכן של הסטודנט ב-FPGA שנמצאים כולם על כרטיס DE10.

Signal name	Type	Direction	
CLOCK_50	std_logic	input	50 mHz
resetN	std_logic	input	Active Low
MICROPHON_ON	std_logic	input	Select microphone or line-in MIC = 1 LINE-IN = 0
dacdata_left	std_logic_vector(15 downto 0)	input	Dacdata left channel
dacdata_right	std_logic_vector(15 downto 0)	input	Dacdata right channel
adcddata_left	std_logic_vector(15 downto 0)	output	adcddata left channel
adcddata_right	std_logic_vector(15 downto 0)	output	adcddata right channel
MICROPHON_LED	std_logic	output	LED lights when microphone configured
AUD_ADCDAT	std_logic	input	Audio codec
AUD_ADCLRCK	std_logic	input	Audio codec
AUD_BCLK	std_logic	input	Audio codec
AUD_DACLRCK	std_logic	input	Audio codec
AUD_DACDAT	std_logic	output	Audio codec
AUD_XCK	std_logic	output	Audio codec
AUD_I2C_SCLK	std_logic	output	Audio codec
AUD_I2C_SDAT	std_logic	ioutput	Audio codec

3. סיכום – העבודה עם פלטפורמת ה- M.S.S.

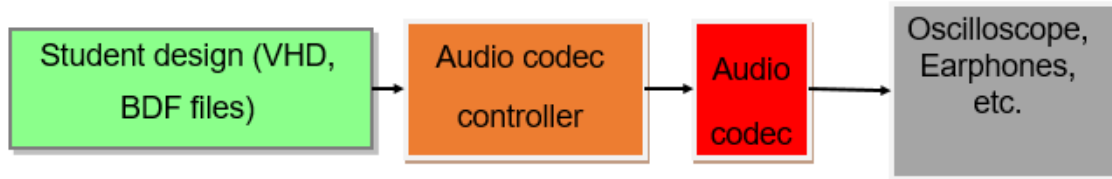
בעבודה עם פלטפורמת ה- MSS חשוב לזכור את הדברים הבאים:

1. מערכת ה- M.S.S. כוללת רכיב codec וממשק Audio codec controller שנמצא על הכרטיס DE10.
2. ניתן לדגום רק אות אנלוגי ורק אחד בו זמנית.
3. לא ניתן לדגום מתח DC בכניסה מפני שהוא נחסם ע"י הקבל הטורי בכניסה ל- A/D.
4. אין אפשרות לקלט/פלט ספרתי מבחוץ אלא רק לאות אנלוגי. כיום האפשרות היחידה לקלט ספרתי היא ע"י המתגים והלחצנים ופלט ספרתי ל- 7 segments, המהווים חלק מכרטיס ה- DE10.

3.1. זרימת הנתונים – יציאה בלבד

יציאה דיגיטלית

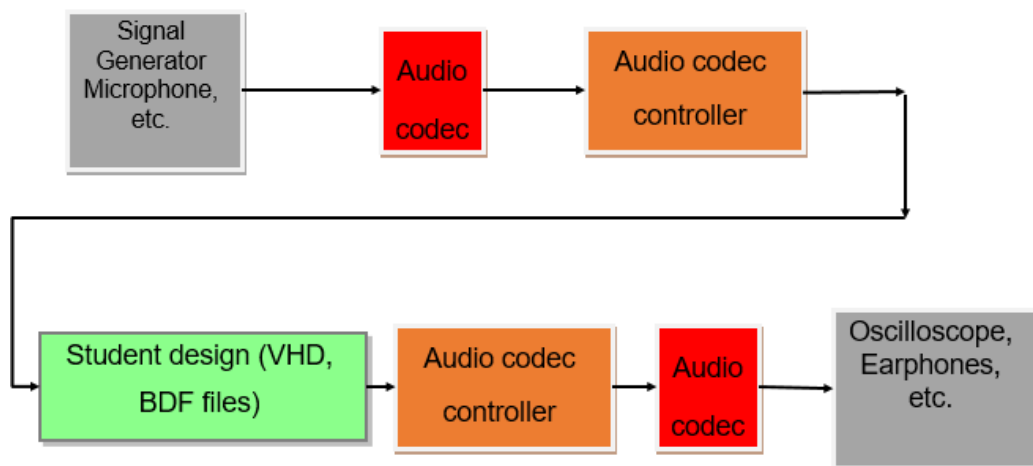
במספר מיני פרויקטים נדרש ליצור באופן סינטי אות כלשהו



3.2. זרימת הנתונים – כניסה ויציאה

כניסה ויציאה דיגיטלית

במספר מיני פרויקטים נדרש ששנות באופן סינטי אות כניסה כלשהו ולהוציאו ליציאה



4. יחידת הזיכרון – Dual Port RAM (DPR)

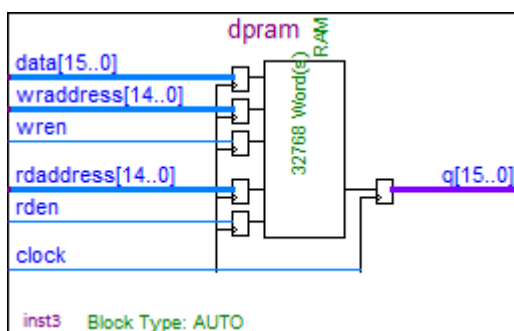
ה-DPR הוא זיכרון אשר מאפשר גמישות מרבית בכל הקשור לכתיבה וקריאה ממנו, ומאפשר קריאה וכתיבה בו זמנית מכתובות שונות.

לזיכרון יש קווים שתפקידם הוא לנהל את הכתיבה אל הזיכרון וקווים נפרדים אשר תפקידם לנהל את הקריאה מהזיכרון.

להלן התיאור הגרפי של זיכרון ה-DPR:

DPRAM סוג זכרון מאוחד המאפשר כתיבה וקריאה בו זמנית מכתובות שונות.

Signal name	Type	Direction	PIN	
clock	std_logic	input		
data	std_logic_vector(15 downto 0)	input		
rdaddress	std_logic_vector(14 downto 0)	input		
rden	std_logic	input		
wraddress	std_logic_vector(14 downto 0)	input		
wren	std_logic	input		
q	std_logic_vector(15 downto 0)	output		



תיאור גרפי של יחידת זיכרון DPR

כניסת המידע לזיכרון בת 16 סיביות ($data[15..0]$).

לזיכרון קיימות גם כניסות כתובת, הן לכתיבה ($wraddress$) והן לקריאה ($rdaddress$).

לתהליך הכתיבה והקריאה יש כניסות אפשר שונות ($wren$ ו- $rden$ בהתאמה).

בנוסף, לזיכרון כניסת שעון אחת לכתיבה ולקריאה ($clock$) וכמו כן כניסות אפשר לשעון זה ($enable$).

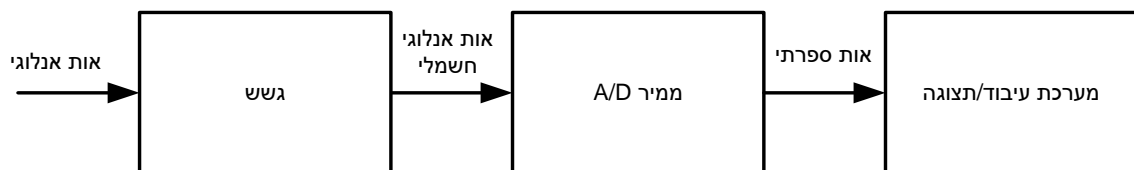
לזיכרון יציאת מידע בת 16 סיביות ($q[15..0]$).

5. נספח – תורת הדגימה – Sampling Theory

מערכות אלקטרוניות רבות קולטות אות אנלוגי ומבצעות עליו עיבודים ספרתיים. לדוגמא מד מתח דיגטלי המוכר לך מהמעבדה, מסוגל למדוד מתח, זרם, התנגדות ולהציג את ערכם על תצוגה ספרתית. רוב האותות אותם אנו דוגמים הם אותות אנלוגיים, כלומר אותות רציפים. דוגמאות לאותות רציפים הם אותות טמפרטורה, לחץ, מפלס, עוצמת תאורה, מהירות, מתח, זרם, תדירות ועוד.

מערכות המטפלות באותות אלו הן לרוב מערכות ספרתיות משובצות מחשב. מערכות אלו פועלות בעולם הדיגטלי ועובדות על אותות דיסקרטיים בעלי 2 רמות בלבד. אם כן כדי להעביר אות אנלוגי למערכת ספרתית אנו חייבים לדגום את האותות האנלוגיים ולהפוך אותם לאותות ספרתיים הנדגמים בזמן $t = T, 2 \cdot T, 3 \cdot T, \dots, n \cdot T$. פעולה זו נעשית ע"י ממיר מאות אנלוגי לאות ספרתי הנקרא ממיר A/D או ADC (Analog to Digital Converter). לדוגמא, במד חום הרפואי הדיגטלי המערכת דוגמת את הטמפרטורה בעזרת גשש המתרגם את הטמפרטורה למתח אנלוגי ואז המתח האנלוגי נדגם ומועבר לעיבוד מיקרו-בקר ייחודי אשר יודע להציג את הטמפרטורה על תצוגת LCD וגם לתת התראה על סיום המדידה.

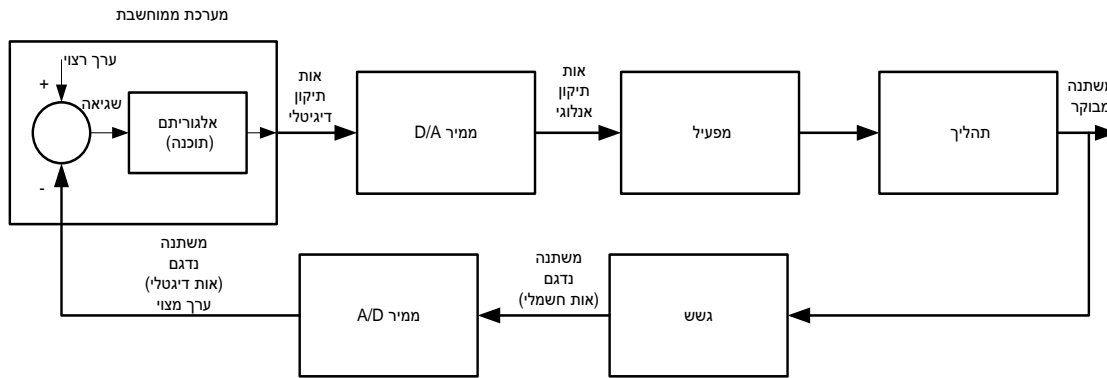
בשגיאה! מקור ההפניה לא נמצא. מתוארת מערכת דגימת אותות אנלוגיים עקרונית:



תרשים מלבנים של מערכת לדגימת אותות

אות אנלוגי עשוי להיות מלווה ברעש ובפועל הגשש אינו ליניארי. ניתן להתגבר על בעיות אלה ע"י עיבוד מידע כגון סינון רעש ובניית עקומת ליניאריזציה בתוך מערכת עיבוד מידע.

כאשר על המערכת לא רק לעבד ולהציג את המדידות אלא גם להוציא מידע החוצה לצורכי בקרה (לדוגמא, הטמפרטורה הנמדדת ע"י המכשיר מבקרת את קצב האינפוזיה אצל חולה), יש צורך להמיר את האות המעובד חזרה לאות אנלוגי. פעולה זו מתבצעת ע"י ממיר D/A המתרגם את האותות הספרתיים לאותות אנלוגיים (מתח או זרם) המבקרים על המפעיל (שסתום אינפוזיה). **בשגיאה! מקור ההפניה לא נמצא.** מתוארת מערכת בקרה משובצת מערכת מיחשוב וכוללת ממירי D/A ו-A/D:

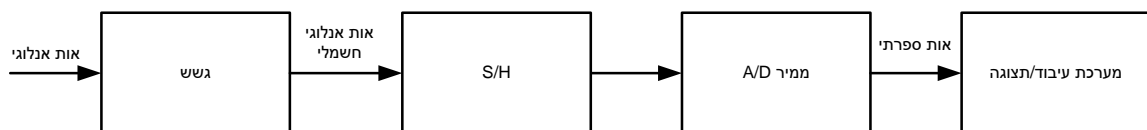


תאור מערכת בקרה המשלבת ממירי A/D ו- D/A

דגימת אות אנלוגי מלווה תמיד בבעיה: מכיוון ואות אנלוגי הוא אות רציף ברור שכדי לשגר למערכת ספרתית את האות המדויק אנו זקוקים לבצע דגימות רבות של האות. ככל שמספר הדגימות יהיה גדול יותר כך המערכת תקבל מידע מדויק יותר. באופן מעשי קצב דגימת האותות מוגבל ע"י קצב עבודה של רכיבי A/D, קצב תקשורת העברת הנתונים למערכת הממוחשבת, קצב בו המערכת הממוחשבת מסוגלת לעבד את המידע ועוד.

בנוסף, הדרישה היא שבזמן שבו הרכיב A/D מבצע המרה, המידע האנלוגי בכניסה חייב להיות יציב (קבוע). מסיבה זו לפני ממיר A/D אנו מוסיפים מעגל Sample & Hold (או יותר נכון מעגל Sample&Track) אשר מחלק את הזמן לדגימת האותות (Sample) בו אות המבוא ואות המוצא של הרכיב שווים, ולזמן אחזקה (Hold) בו המתח במוצא הרכיב הוא קבוע ושווה לערך האחרון שנדגם.

בשגיאה! מקור ההפניה לא נמצא. מתואר תרשים מלבנים של מערכת דגימה:



תרשים מלבנים של מערכת דגימה

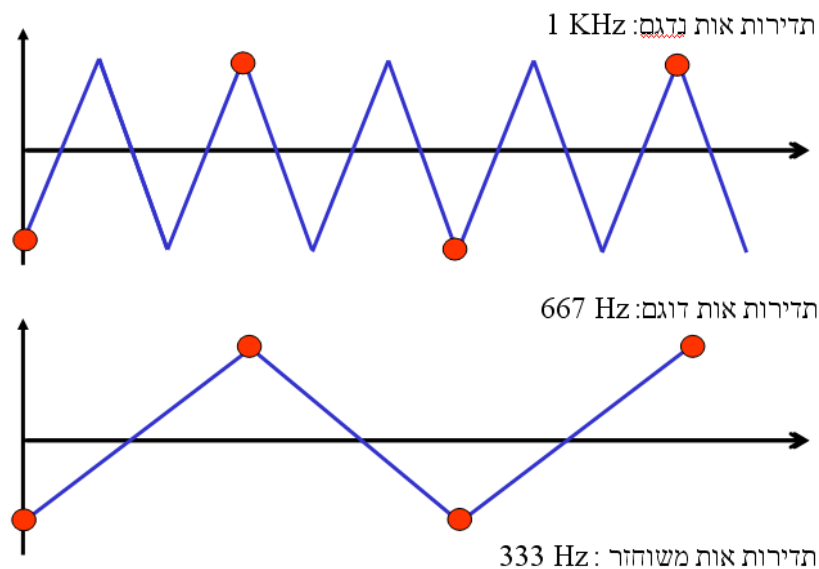
נשאלת השאלה באיזה קצב עלינו לבצע את דגימת האותות. ככל שקצב הדגימה יהיה גבוה יותר, המידע שתקבל מערכת עיבוד המידע יהיה מדויק יותר, אך מאידך דגימות רבות מדי יקשו על קצב העבודה של המערכת כולה, וכמות המידע הרב עלול לסתום את החוצצים (Buffers) בתקשורת ולגרום להשהיה בין קליטת המידע ובין הוצאת אותות הבקרה לתהליך.

מצד שני אם קצב דגימת האותות יהיה נמוך מדי, יתכן שלא נצליח לשחזר את האות הנדגם. לצורך המחשה נניח שבמבוא למערכת מחובר אות משולש בתדר 1KHz. אנו נראה מה קורה כאשר דוגמים את האות בתדירים:

2 KHz , 1 KHz , 667 Hz ו- 1.33 KHz.

נקודות דגימה מתוארות כנקודות. מתוך ידיעה שמתח מבוא הוא גל משולש נחבר את נקודות הדגימה ע"י קווים ישרים.

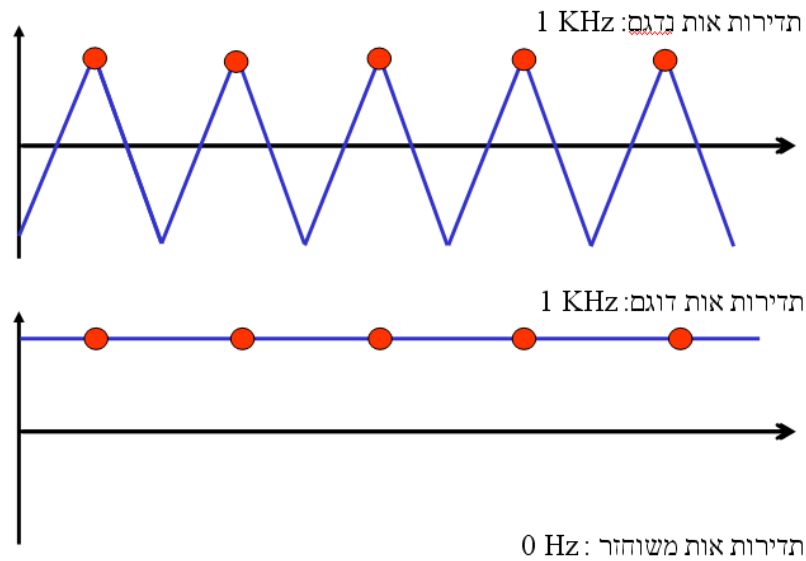
באיור הבא שגיאה! מקור ההפניה לא נמצא. מתוארת דגימה בקצב 667 Hz :



דגימת אות 1 KHz בקצב 667 Hz

מתוך האיור רואים שהאות המשוחזר הוא בתדר שונה לגמרי מהאות המקורי כלומר לא הצלחנו לשחזר את האות.

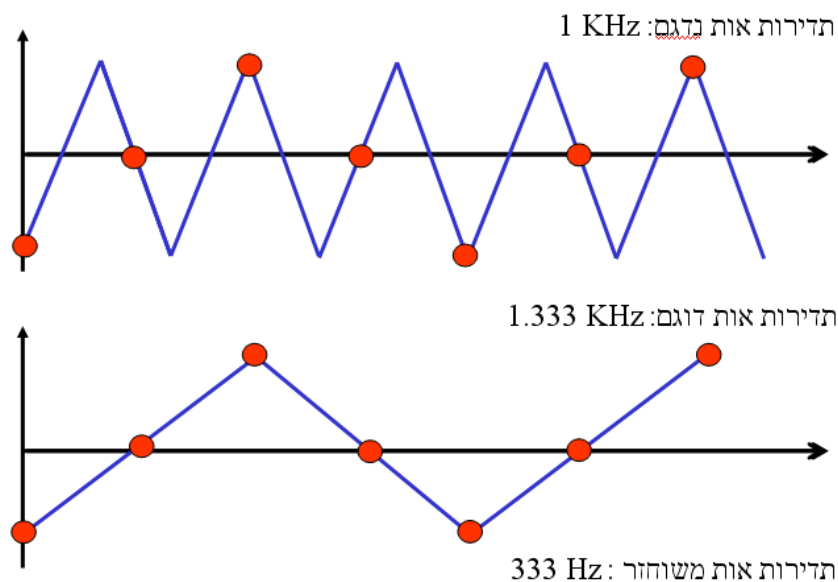
בשגיאה! מקור ההפניה לא נמצא. הבא מתוארת דגימה בקצב 1 KHz :



דגימת אות 1 KHz בקצב 1 KHz

מתוך האיור רואים שהאות המשוחזר הוא מתח ישר - כלומר לא הצלחנו לשחזר את האות.

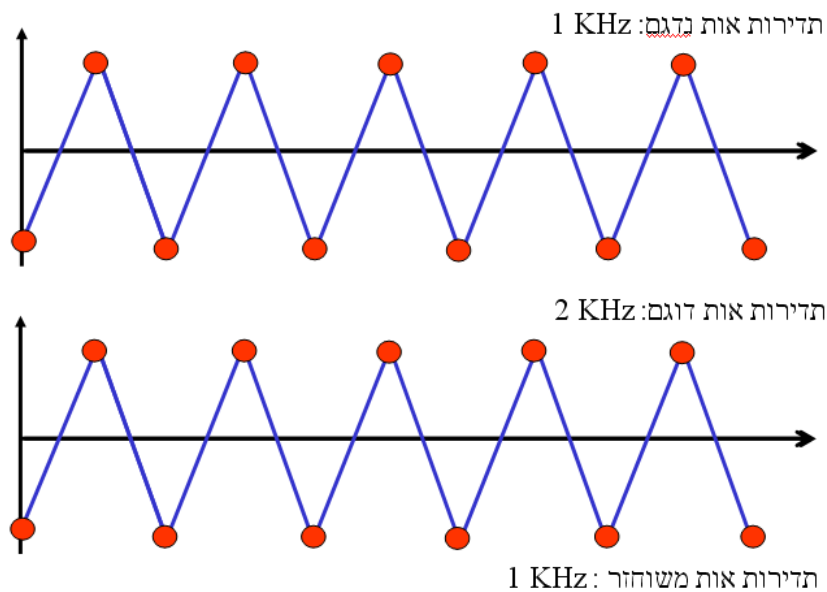
בשגיאה! מקור ההפניה לא נמצא. הבא מתוארת דגימה בקצב 1.33 KHz :



דגימת אות 1 KHz בקצב 1.33 KHz

מתוך האיור רואים שהאות המשוחזר הוא בתדר שגוי - כלומר לא הצלחנו לשחזר את האות.

בשגיאה! מקור ההפניה לא נמצא. הבא מתוארת דגימה בקצב 2 KHz :



דגימת אות 1 KHz בקצב 2 KHz

אנו רואים שרק דגימת האות בקצב 2 KHz הצליחה לשחזר את התדר הנכון.

באופן כללי ניתן להוכיח שכדי לשחזר אות אנלוגי בעל תדר f_a יש לדגום את האות בתדר שהוא לפחות כפליים מתדר f_a . לכן הדרישה לתדר הדגימה f_s תהיה:

$$f_s \geq 2 \cdot f_a$$

המשפט האחרון המגדיר את התדר המינימלי הדרוש לדגימת האותות נקרא משפט נייקוויסט.

נשים לב לתופעה מעניינת שנוצרה בדגימת האותות:

כאשר דגמנו את האות בעל תדר 1 KHz בתדר 667 Hz, תדר האות שהתקבל היה:

$$1 \text{ KHz} - 667 = 333 \text{ Hz}$$

כאשר דגמנו את האות בעל תדר 1 KHz בתדר 1 KHz, תדר האות שהתקבל היה:

$$1 \text{ KHz} - 1 \text{ KHz} = 0 \text{ Hz}$$

כאשר דגמנו את האות בעל תדר 1 KHz בתדר 1.33 KHz, תדר האות שהתקבל היה:

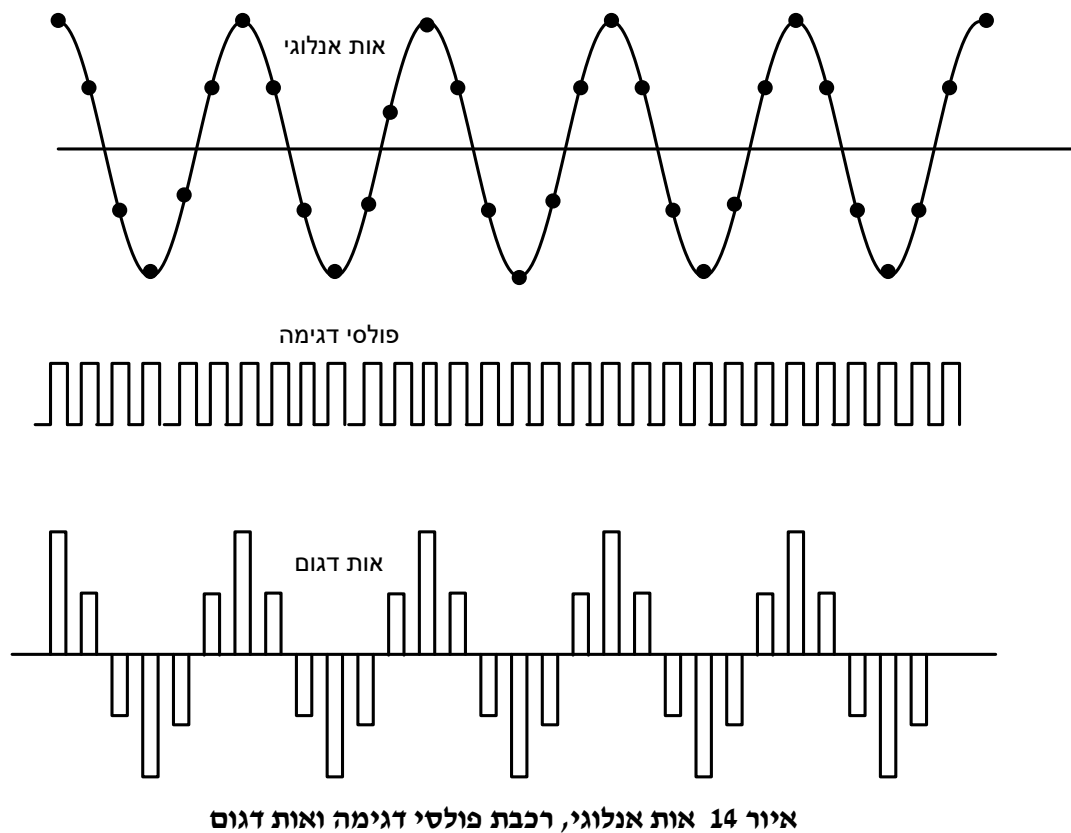
$$|1\text{ KHz} - 1.33\text{ KHz}| = 333\text{ Hz}$$

תופעה זו נקראת קיפול (Aliasing).

עד עכשיו ערכנו דיון איכותי בלבד והגדרנו תדר דגימה מינימלי ואת תופעת הקיפול הנוצרת כאשר תדר הדגימה נמוך מתדר נייקוויסט.

כעת נעבור לדיון כמותי.

באיור מתואר אות אנלוגי, רכבת פולסי דגימה ותוצאות הדגימה :



ניתן לתאר את רכבת הפולסים בעלי רוחב τ , מחזור T ואמפליטודה A כ :

$$f(t) = \frac{A \cdot \tau}{T} \cdot \left(1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n \cdot \pi \cdot f_s \cdot \tau)}{n \cdot \pi \cdot f_s \cdot \tau} \cdot \cos n \omega_s t \right)$$

כאשר :

τ - רוחב הפולס

T - זמן המחזור

$$\omega_s = \frac{2 \cdot \pi}{T} \quad \text{ג}$$

אם היחס $\frac{\tau}{T}$ קטן, אז הערך של הפונקציה $\frac{\sin(n \cdot \pi \cdot f_s \cdot \tau)}{n \cdot \pi \cdot f_s \cdot \tau}$ (הנקראת גם פונקציית sinc) קרוב ל-1 עבור מספר ערכי n ראשוניים. אם נניח A=1 נקבל:

$$f(t) = \frac{\tau}{T} * [1 + 2\cos(\omega_s t) + 2\cos(2\omega_s t) + 2\cos(3\omega_s t) + \dots]$$

כאשר ω_s הוא תדר דגימה.

f(t) מייצג רכבת פולסים בעלי רוחב סופי.

האות הפשוט ביותר לדגימה הוא אות $\cos(\omega_a \cdot t)$ בעל תדר (מהירות זוויתית) ω_a . התוצאה תהיה:

$$s(t) = \frac{\tau}{t_s} \cdot \cos(\omega_a t) \cdot [1 + 2\cos(\omega_s t) + 2\cos(2\omega_s t) + 2\cos(3\omega_s t) + \dots]$$

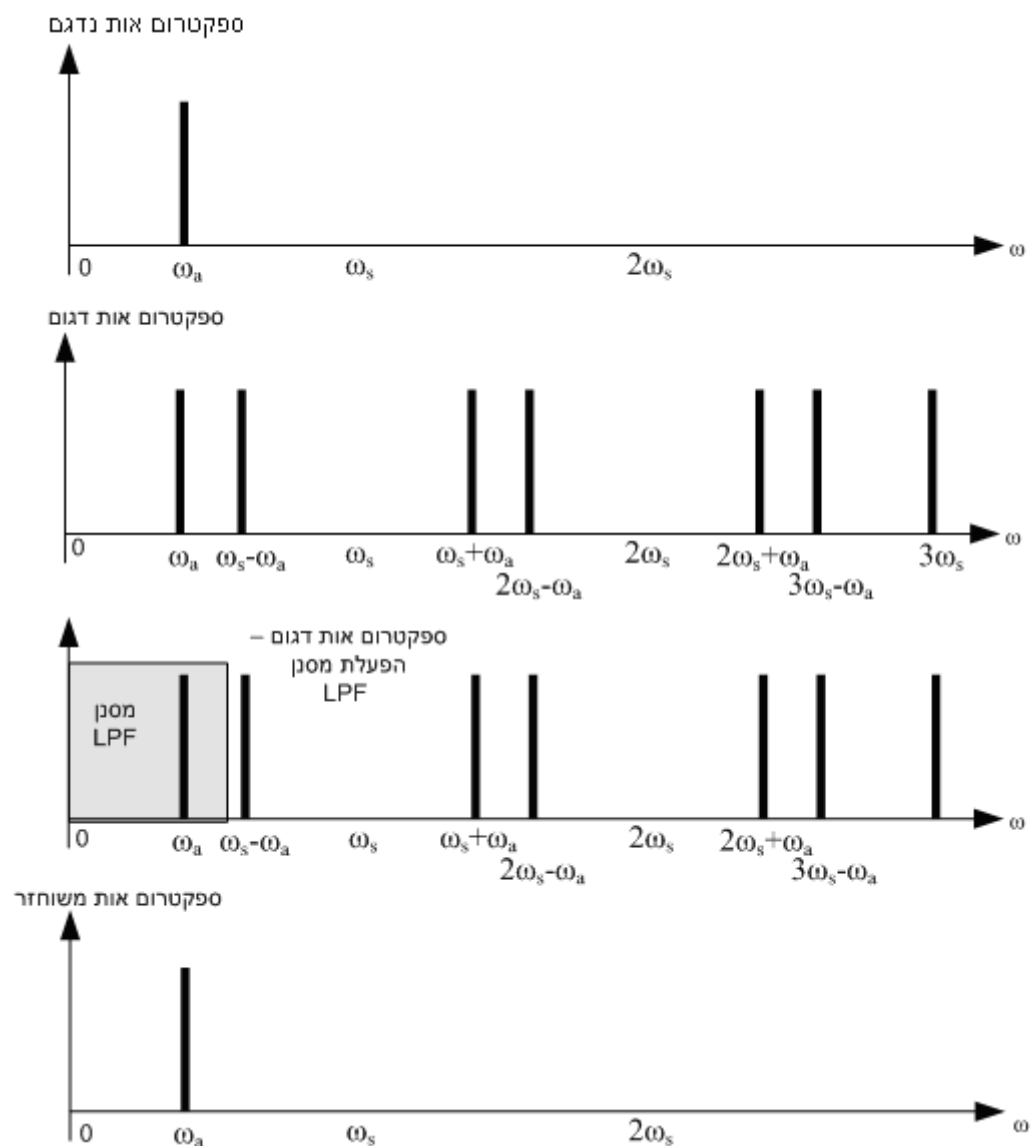
נוכל לנצל את הזהות הטריגונומטרית:

$$\cos A \cdot \cos B = \frac{1}{2} \cdot \cos(A - B) + \frac{1}{2} \cdot \cos(A + B)$$

ולרשום:

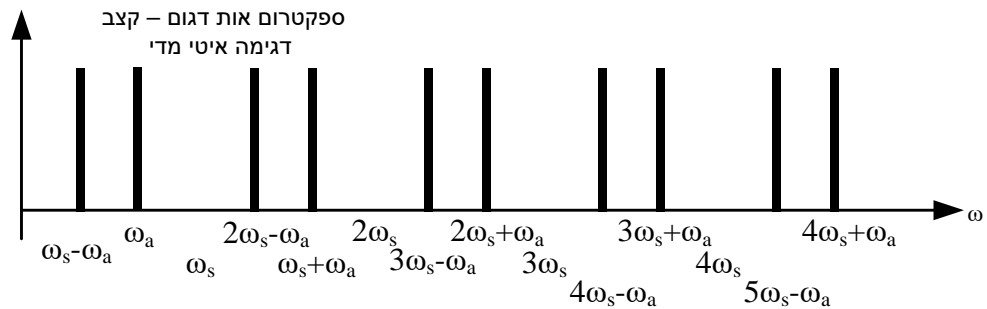
$$s(t) = \frac{\tau}{t_s} \cdot [\cos(\omega_a t) + \cos(\omega_s - \omega_a)t + \cos(\omega_s + \omega_a)t + \cos(2\omega_s - \omega_a)t + \cos(2\omega_s + \omega_a)t + \cos(3\omega_s - \omega_a)t + \cos(3\omega_s + \omega_a)t + \cos(4\omega_s - \omega_a)t + \cos(4\omega_s + \omega_a)t + \dots]$$

באיור הבא מתואר סכמתית הספקטרום של האות המקורי $\cos \omega_a t$, את הספקטרום של האות הדגום ואות המוצא אחרי שהאות הדגום עובר דרך מסנן LPF:



ספקטרום אות מבווא, ספקטרום אות דגום וספקטרום אות דגום אחרי סינון LPF

אם תדר הדגימה איטי מדי (קטן מתדר נייקוויסט), תדר $\omega_s - \omega_a$ יוצא משמאל לתדר ω_a ואז לא נוכל לסנן את התדר הלא רצוי. המצב מתואר בשגיאה! מקור ההפניה לא נמצא.



ספקטרום האות הדגום כאשר תדר הדגימה נמוך מתדר נייקוויסט

במצב גבולי:

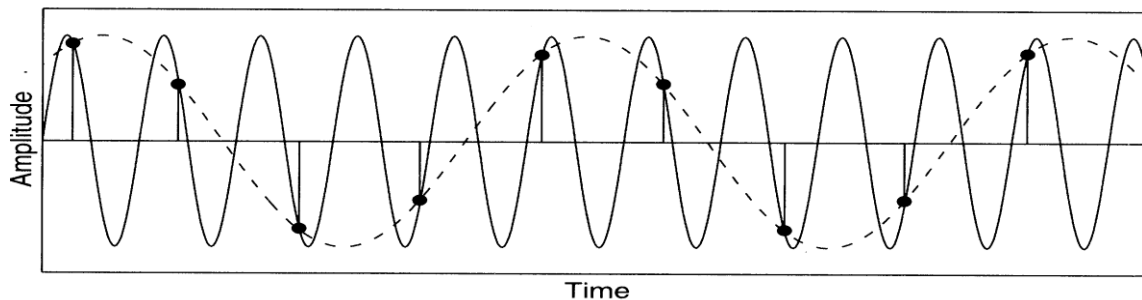
$$\omega_a = \omega_s - \omega_a$$

כלומר:

$$\omega_s = 2 \cdot \omega_a$$

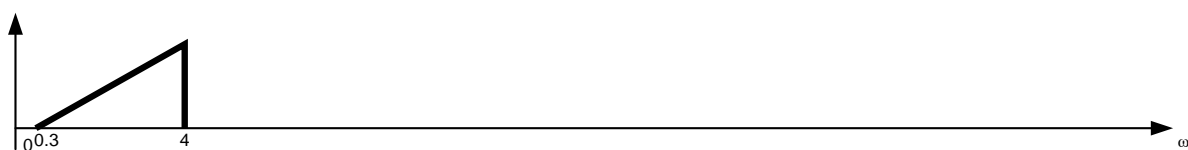
כלומר תדר הדגימה יהיה כפול מתדר האות הנדגם. אם $\omega_s < 2 \cdot \omega_a$ מתקבל מצב של חפיפה aliasing וכתוצאה מכך נקבל אות מעוות בשחזור.

בשגיאה! מקור ההפניה לא נמצא. מתוארת התופעה במישור הזמן: אות הסינוס נדגם בתדר איטי מדי וכתוצאה מכך מתקבל בשחזור אות בתדר שגוי.



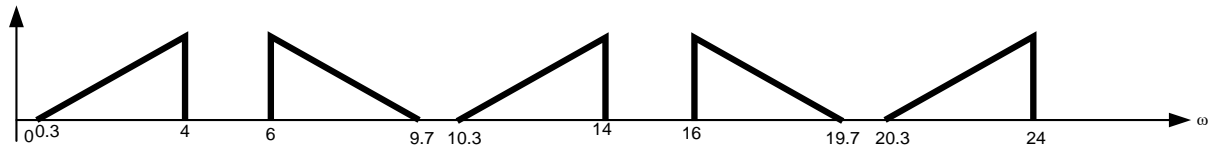
אות סינוס הנדגם בתדר איטי מתדר נייקוויסט

באופן מעשי האות הנדגם הוא לרוב אינו בעל תדר יחיד אלא תחום של תדרים. לדוגמא, לקו טלפון יש ספקטרום בתחום $300\text{ Hz} \div 4\text{ KHz}$ בספרות מציינים ספקטרום ע"י משולש המתואר בשגיאה! מקור ההפניה לא נמצא.



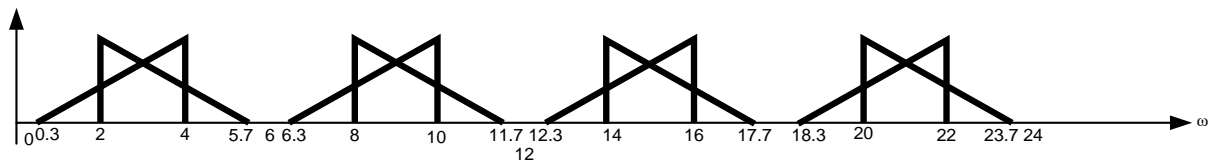
ספקטרום אות מבוא

אם נדגום את האות בתדר 10 KHz נקבל ספקטרום של האות הנדגם כמתואר בשגיאה! מקור ההפניה לא נמצא. :



ספקטרום אות דגום - דגימה בתדר גבוה מתדר נייקוויסט - אין קיפול

אם נדגום בתדר איטי מדי - 6 KHz, נקבל תופעת קיפול כמתואר בשגיאה! מקור ההפניה לא נמצא. :



אות דגום - דגימה בתדר נמוך מתדר ניקוויסט - יש קיפול

תיאורטית, תדר הדגימה יכול להיות כפול מתדר האות עצמו אך אז נדרש מסנן LPF אידיאלי. באופן מעשי יש לדגום בתדר גבוה יותר. גם כאשר תדר הדגימה הוא פי 4 מתדר האות עדיין עשוי להיות קושי מעשי לסנן את האותות.

6. נספח – דפי הנתונים של ה Wolfson WM8731 CODEC עמוד ראשון



WM8731 / WM8731L

Portable Internet Audio CODEC with Headphone Driver and Programmable Sample Rates

DESCRIPTION

The WM8731 or WM8731L (WM8731/L) are low power stereo CODECs with an integrated headphone driver. The WM8731/L is designed specifically for portable MP3 audio and speech players and recorders. The WM8731 is also ideal for MD, CD-RW machines and DAT recorders.

Stereo line and mono microphone level audio inputs are provided, along with a mute function, programmable line level volume control and a bias voltage output suitable for an electret type microphone.

Stereo 24-bit multi-bit sigma delta ADCs and DACs are used with oversampling digital interpolation and decimation filters. Digital audio input word lengths from 16-32 bits and sampling rates from 8kHz to 96kHz are supported.

Stereo audio outputs are buffered for driving headphones from a programmable volume control, line level outputs are also provided along with anti-thump mute and power up/down circuitry.

The device is controlled via a 2 or 3 wire serial interface. The interface provides access to all features including volume controls, mutes, de-emphasis and extensive power management facilities. The device is available in a small 28-pin SSOP package or the smaller 28 lead quad flat leadless package (QFN).

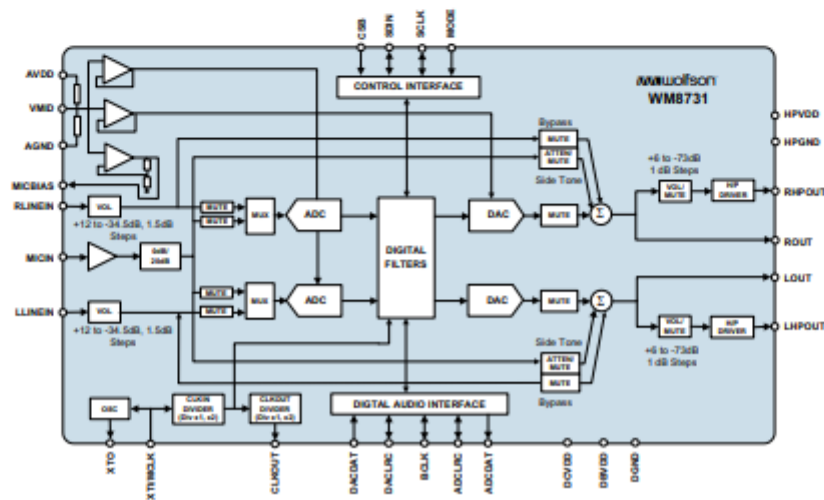
FEATURES

- Highly Efficient Headphone Driver
- Audio Performance
 - ADC SNR 90dB ('A' weighted) at 3.3V, 85dB at 1.8V
 - DAC SNR 100dB ('A' weighted) at 3.3V, 95dB at 1.8V
- Low Power
 - Playback only 22mW, 8mW ('L' Variant)
 - Analogue Pass Through 12mW, 3.5mW ('L' variant)
 - 1.42 – 3.6V Digital Supply Operation
 - 2.7 – 3.6V Analogue Supply Operation
 - 1.8 – 3.6V Analogue Supply Operation ('L' Variant)
- ADC and DAC Sampling Frequency: 8kHz – 96kHz
- Selectable ADC High Pass Filter
- 2 or 3-Wire MPU Serial Control Interface
- Programmable Audio Data Interface Modes
 - I²S, Left, Right Justified or DSP
 - 16/20/24/32 bit Word Lengths
 - Master or Slave Clocking Mode
- Microphone Input and Electret Bias with Side Tone Mixer
- Available in 28-Pin SSOP or 28-pin QFN package

APPLICATIONS

- Portable MP3 Players and Recorders
- CD and Minidisc Recorders
- PDAs / smartphones

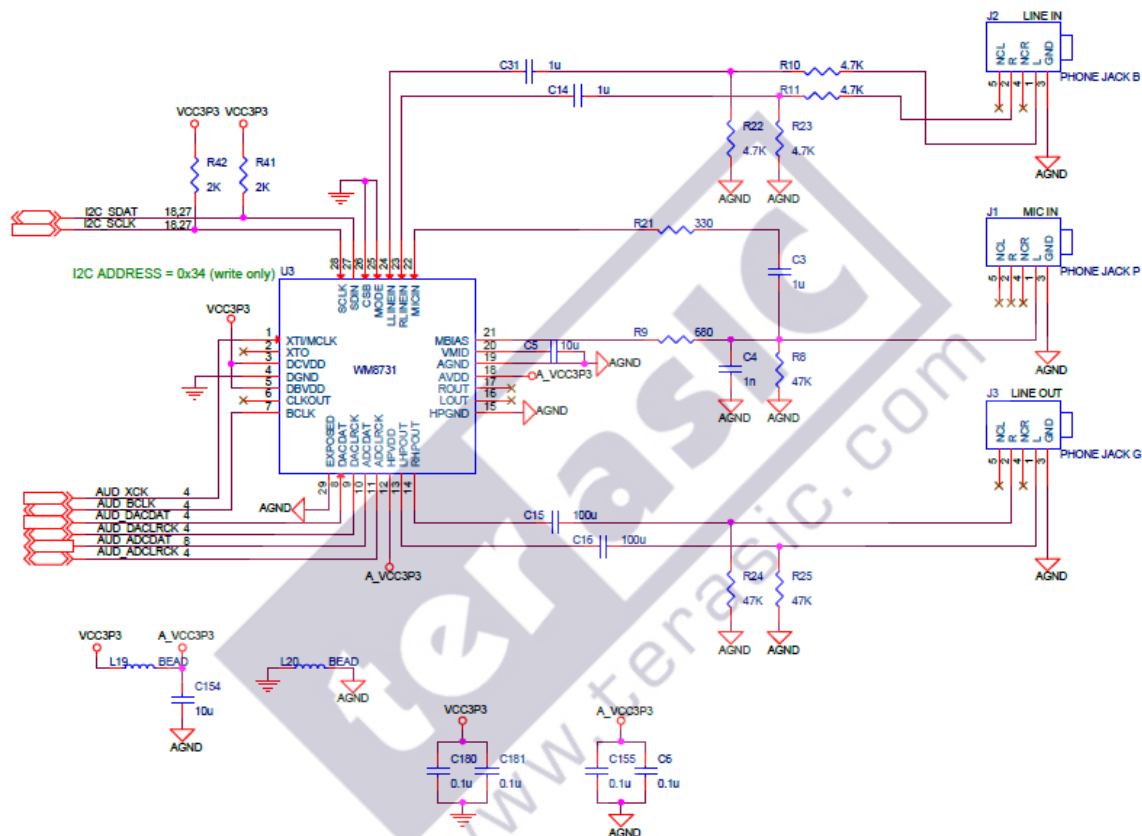
BLOCK DIAGRAM



6.1. תיאור של חיבור הרכיב WM8731 וסביבתו

להלן השרטוט החשמלי של רכיב ההמרה WM8731 ורכיבי הפריפריה שלו :

שימו לב לצימוד AC



שרטוט רכיב ההמרה WM8731 והרכיבים הסובבים אותו