

## זמזם מגנטי וזמזם פיאזו

חלקים מהמאמר והצילומים שבו הם מהאתר בקישור:

<https://www.cuidevices.com/product-spotlight/piezo-and-magnetic-buzzers>

### א. מבוא

זמזם הוא רכיב אלקטרוני הממיר אנרגיה חשמלית לאנרגיה אקוסטית. ההגדרה של זמזם דומה להגדרת רמקול אבל ההבדל הוא שרמקול משמיע קולות אנושיים, מוזיקה וכו' והזמזם משמיע קולות של צפצוף. הזמזם משמש בדרך כלל להתראה. האיור הבא מתאר דוגמאות של זמזמים מסוגים שונים:



איור 1 : סוגי זמזמים שונים.

באיור רואים סוגים שונים של זמזמים.

בפרק זה נציג את שתי טכנולוגיות הזמזם (BUZZER) העיקריות ואת עקרונות העבודה שלהם. לכל טכנולוגיה יש יתרונות ופשרות שיש לקחת בחשבון בהתאם לדרישות היישום.

### א.1 מאפייני זמזם פיאזו

1. מתח הפעלה בתחום רחב: 3 ~ 250 וולט .
2. צריכת זרם נמוכה יותר: פחות מ- 30 mA .
3. בדרך כלל גדול יותר מהמגנטי .

4. רמת לחץ קול גבוהה יותר .

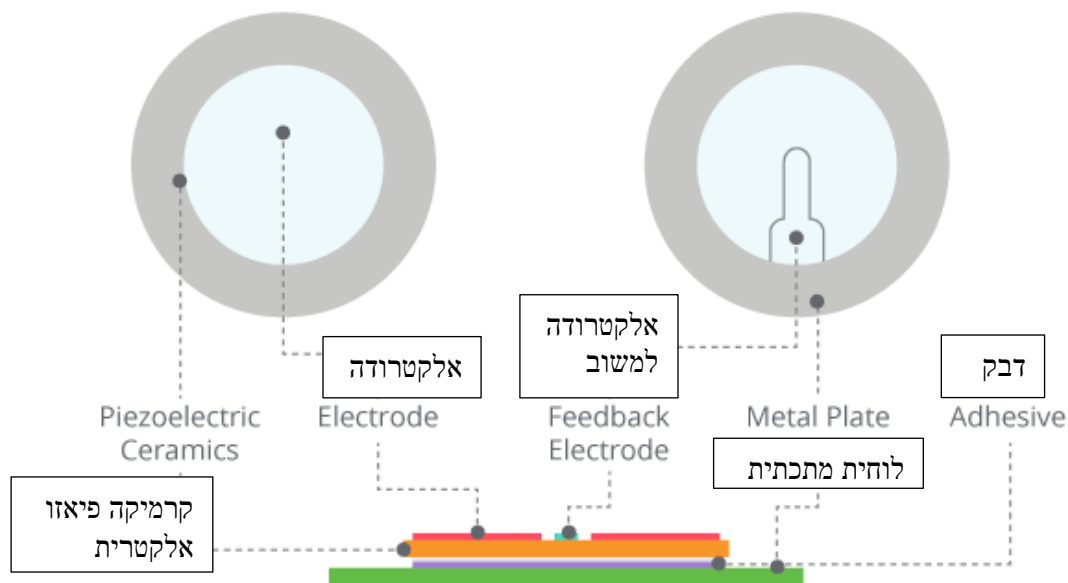
## 2.א. מאפייני זמזם מגנטי

1. מתח הפעלה: 1~16 V
2. צריכת זרם גבוהה יותר: 30 ~ 100 mA
3. תדר נמוך יותר מהפיאזו .
4. בדרך כלל קטן יותר מהפיאזו .
5. רמת לחץ קול נמוכה יותר .

## ב. חיישן פיאזו אלקטרי

### ב.1 מבנה חיישן פיאזו קרמי

האיור הבא מתאר את מבנה זמזם פיאזו קרמי.



איור 2 : מבנה של חיישן פיאזו

החיישן בנוי על עיקרון הפיאזו אלקטרי שהיא תכונה של גבישים וחומרים קרמיים מסוימים, ליצור מתח חשמלי בתגובה ללחץ מכני . התכונה נתגלתה על ידי פייר קירי, שגם נתן לה את שמה.

התכונה הפיאזואלקטרית היא דו כיוונית, וגבישים יכולים לשנות בקלות את צורתם כתוצאה מהפעלת מתח חשמלי גבוה עליהם .

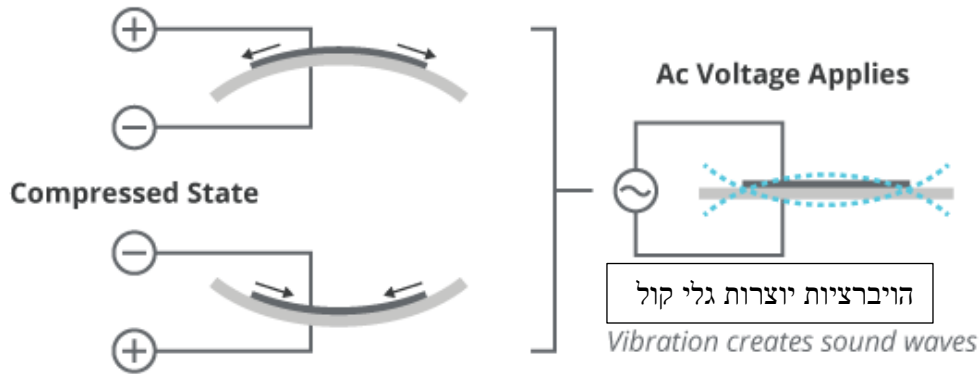
השינוי הוא זעיר: לדוגמה, גביש PZT שיועבר בו מתח גבוה ישנה את נפחו ב-0.1% מגודלו המקורי .

בלב כל הזמזמים מסוג פיאזו נמצא האלמנט הפיאזואלקטרי. האלמנט הפיאזואלקטרי מורכב מקרמיקה פיאזואלקטרית ולוח מתכת המוחזק יחד עם דבק. שני צידי הלוח הקרמי הפיאזואלקטרי מכילים אלקטרודה להולכה חשמלית. חומרי פיאזו מציגים תופעה

ספציפית המכונה אפקט הפיאזואלקטרי והאפקט הפיאזואלקטרי ההפוך. חשיפה למתח מכני תגרום לחומר לפתח שדה חשמלי, ולהיפך.

## 2. עיקרון פעולה של זמזם פיאזו

האיור הבא מתאר את העיקרון של חיישן פיאזו.

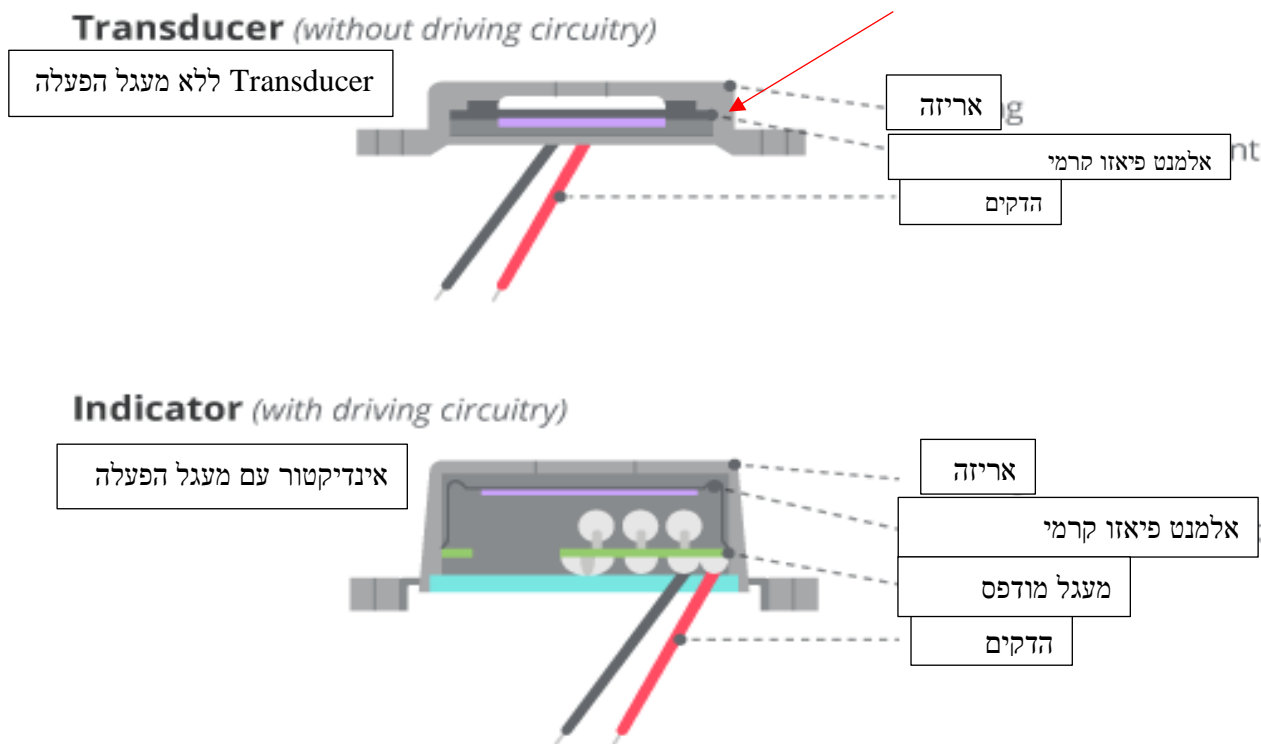


איור 3 : עיקרון הפעולה של חיישן פיאזו

כאשר מופעל מתח חילופין על האלמנט הפיאזוקרמי, האלמנט מתרחב ומתכווץ וזה מנוצל כדי לגרום ללוח הקרמי לרטוט במהירות כדי ליצור גלי קול.

## 3. מבנה זמזם פיאזו

האיור הבא מתאר את 2 סוגי המבנה של חיישן פיאזו Transducer ואינדיקטור Indicator.



איור 4 : מבנה חיישן פיאזו

ישנם שני סוגים של זמזמי piezo – מתמרים transducer ואינדיקטורים Indicators. על מנת להפעיל מתמר - Transducer - על המשתמש לשלוח אות גל מרובע לזמזם. אינדיקטורים מורכבים מאריזה/קופסה, אלמנט פיאזו קרמי והדקים. על מנת להפעיל מתמר - Transducer - על המשתמש לשלוח לזמזם. אינדיקטורים מורכבים מאריזה/קופסה, אלמנט piezoceramic, לוח מעגל הפעלה והדקים. על מנת להפעיל אינדיקטור, על המשתמש לשלוח לזמזם מתח DC ומעגל ההפעלה יפעיל את הזמזם.

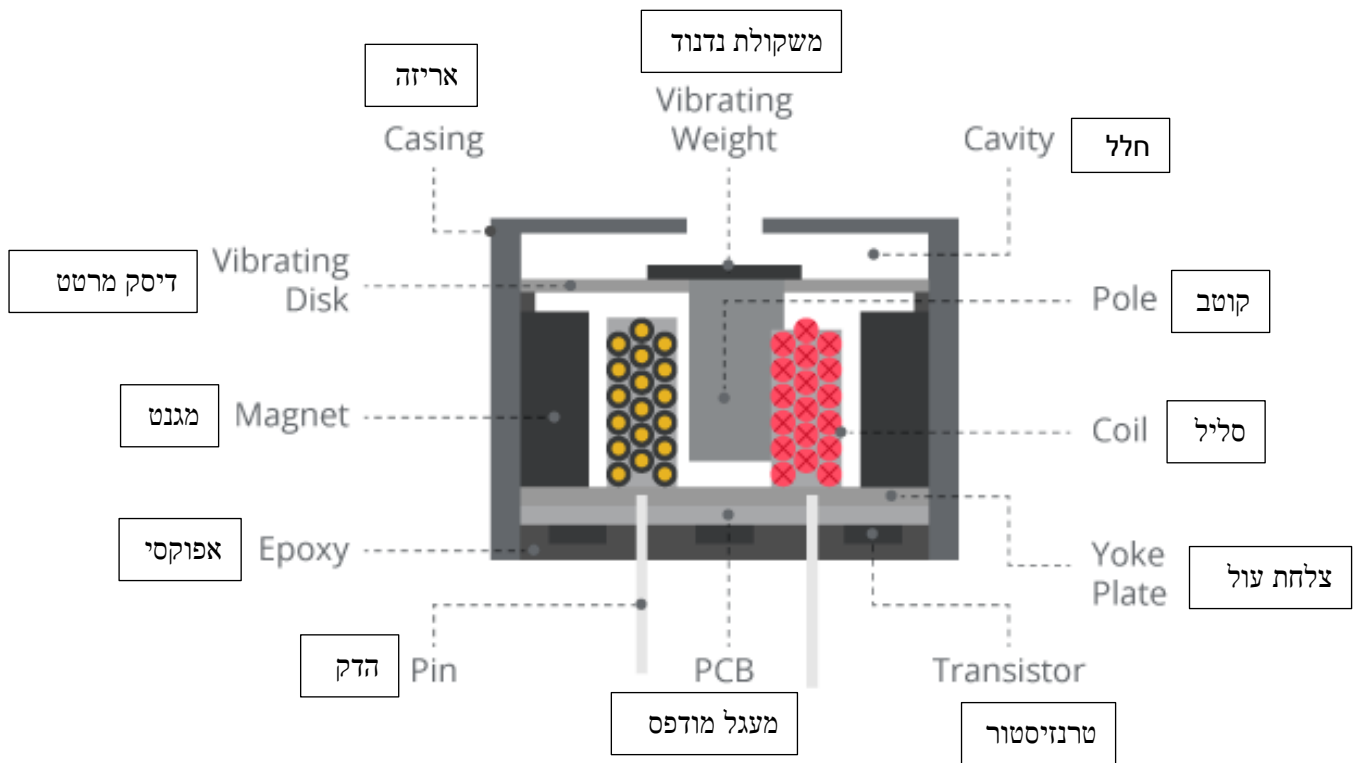
## ב.4 משוב בזמזם פיאזו

חלק מזמזמי ה-piezo כוללים אפשרות למשוב. מעגלי אלקטרוניקה עבור זמזמים עם משוב נוטים להיות פשוטים יותר מאותם מעגלים ללא משוב. המשוב מושג על ידי חלוקת אלמנט הפיאזו לשני חלקים מבודדים חשמלית. כאשר אלמנט ה piezo הראשי מופעל הוא מעביר חלק מההפעלה כמשוב, ויוצר מתח על קו המשוב. דרך פשוטה להשתמש במשוב היא לחבר את קו המשוב לבסיס של טרנזיסטור. כאשר אלמנט הפיאזו מתנדנד, אות המשוב יתנדנד והטרנזיסטור יחסום את הזרם או יאפשר לזרם לזרום. קו המשוב מספק מתח היחסי לעומס על אלמנט הפיאזו הראשי. ניתן להשתמש במתח זה כדי ליצור מעגל פשוט המתנדנד בעצמו.

## ג. זמזם מגנטי

### ג.1 מבנה זמזם מגנטי

האיור הבא מתאר את המבנה של זמזם מגנטי:

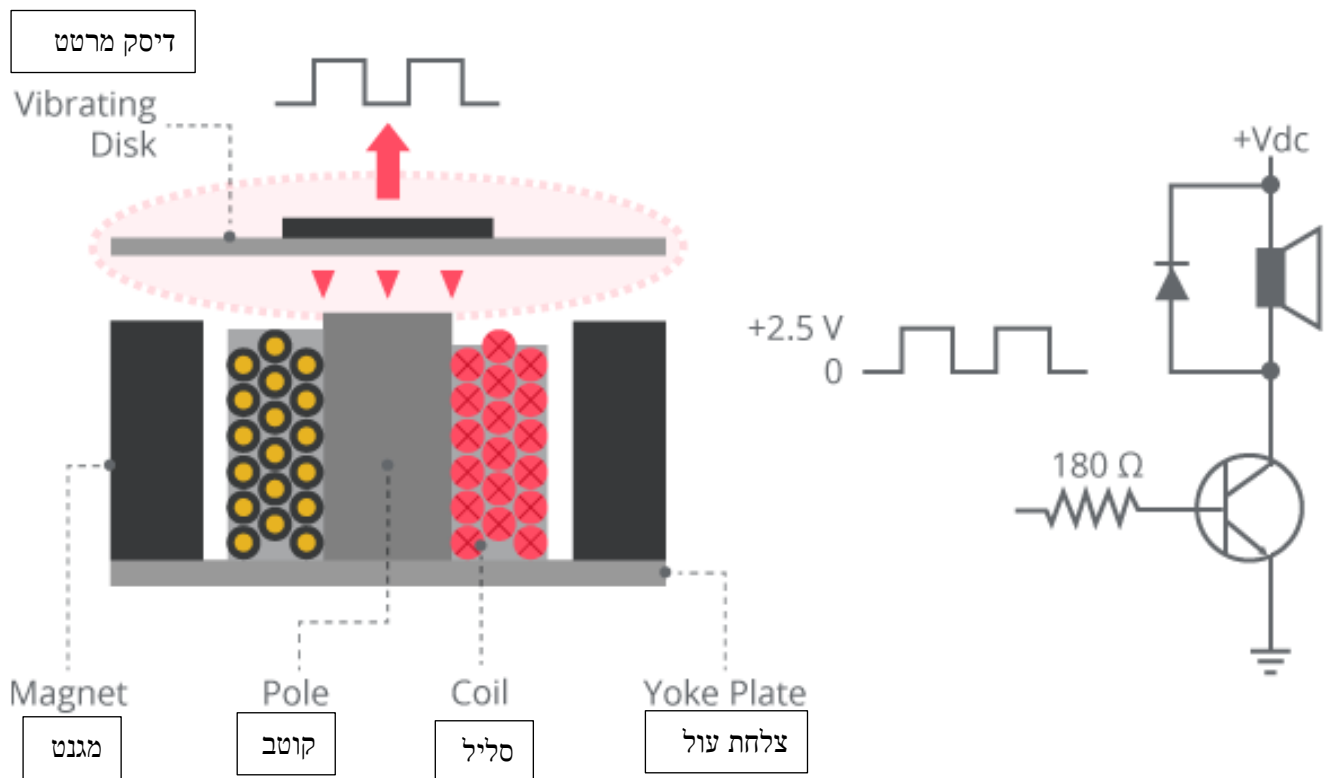


איור 5 : מבנה זמזם מגנטי

בדומה לטכנולוגיית piezo, זמזמים מגנטיים זמינים גם בתצורות של מתמרים וגם במחווונים. בזמזם מגנטי, הטרנזיסטור פועל כמעגל המניע. מחווונים הכוללים את הטרנזיסטור, יוצרים צליל כאשר מספקים להם מתח DC. למתמרים אין את הטרנזיסטור הזה והם צריכים לקבל גל ריבועי כדי לפעול כראוי.

## ג.2 עיקרון העבודה של זמזם מגנטי

האיור הבא מתאר את עיקרון העבודה של זמזם מגנטי.



איור 6 : עיקרון העבודה של זמזם מגנטי

הדיסק הרוטט בזמזם מגנטי נמשך לקוטב על ידי השדה המגנטי. כאשר ניתן לסליל אות חילופין, הוא מייצר שדה מגנטי משתנה אשר בחצי מחזור השדה המגנטי מושך את הדיסק ובחצי המחזור השני הוא יוצר שדה מגנטי הדוחה את הדיסק. הדבר גורם לדיסק לרטוט בתדר השווה לזה של אות החילופין.

## ד. אינדיקטורים מול מתמרים - Indicators vs. Transducer-

כפי שהזכרנו בסעיפים קודמים לזמזמי פיאזו ומחווניים מגנטיים יש מעגלי אלקטרוניקה פנימיים והזמזמים פועלים מיד כשמקבלים מתח DC בתדר אליו מתוכנן המעגל האלקטרוני היוצר את אות החילופין. הייתרון בזמזם כזה הוא פתרון "הכנס והפעל". החיסרון הוא שהאינדיקטורים פועלים בתדר קבוע, ומפחיתים את הגמישות המוצעת להשגת תדר חלופי ככל שדרישות היישום משתנות. למתמרים, לעומת זאת, אין את מעגל האלקטרוניקה הפנימי ולכן למהנדסים מוצע טווח גדול יותר של גמישות בעת תכנון המעגל שלהם. החיסרון מגיע בעבודה שהמתמרים אכן דורשים אות הפעלה חיצוני כדי לפעול כראוי, דבר שעלול להוסיף מורכבות וזמן למחזור התכנון.

### 1.7 מאפייני אינדיקטור

\* מעגל אלקטרוניקה פנימי (מחולל תדר).

\* תכנון פשוט

\* תדירות קבועה התלויה בתדר המחולל



איור 7 : זמזם אינדיקטור

## 2.ד מאפייני מתמר Transducer

- \* נדרש מעגל דחיפה חיצוני ( כמו גל ריבועי )
- \* מורכב במבנה הפנימי
- \* תדרים שהשתמש קובע



איור 8 : זמזם מתמר

## ה. מאפייני זמזם עיקריים

### 1.ה dB

נוסחת הקשר בין המתח והדציבל היא :

$$L_p = 10 \log_{10} (Prms/Pref) = 20 \log_{10} (Vrms/Vref)$$

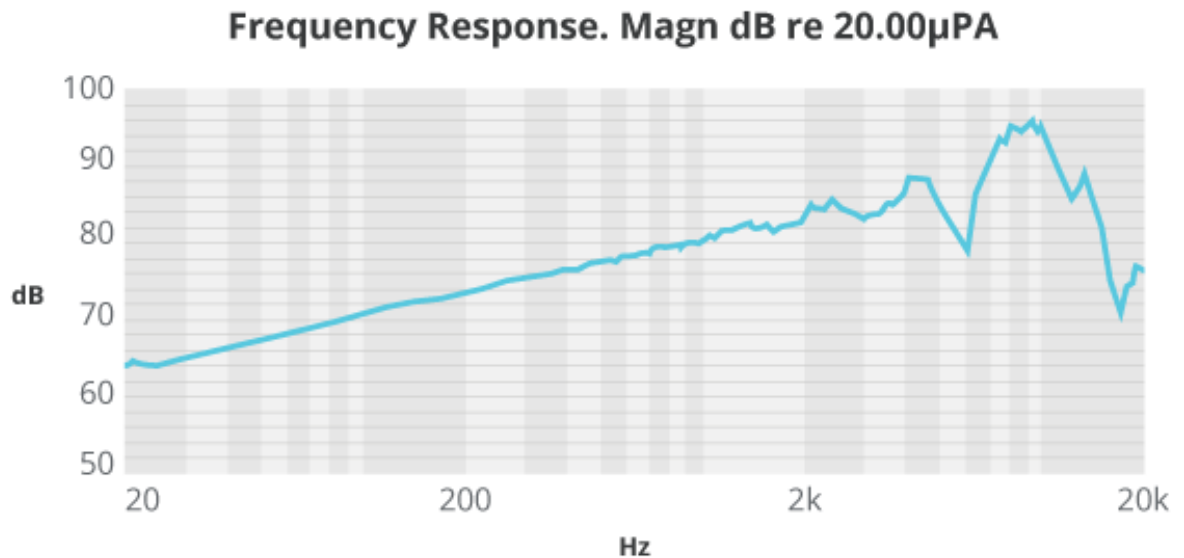
דציבל הוא הלוגריתם של היחס בין ערך נמדד ביחס לערך ייחוס. דציבלים שימושיים מכיוון שהם יכולים להראות מגוון עצום של ערכים בתחום קטן. לדוגמה, סולם לחץ קול הנע בין 0 ל-120 dB יכול לייצג לחצי קול מ-20  $\mu$ Pa (מיקרו-פסקל) ל-20,000,000 Pa. זה מייצג בערך את ה-SPL הנמוך ביותר שאדם יכול לשמוע עד לצלילים חזקים בצורה לא נוחה. הערה: הערך המקובל עבור "Pref" בנוסחה לעיל הוא 20  $\mu$ Pa.

SPL - Sound Pressure Level או רמת לחץ הקול היא יחידה שמודדת את רמת הרעש באוויר (או הלחץ שיוצרת התנועה באוויר). המידה 0 שווה בעיקרון לרמת הקול הנמוכה ביותר שאדם מסוגל לשמוע.

- \* dB מייצג דציבל. זה לא בדיוק יחידת מידה אלא יותר יחס
- הערכים גדלים באופן אקפוננציאלי במקום באופן ליניארי
- 20dB הוא פי 10 מ 10dB.
- מאפשר לבטא טווח עצום של ערכים במרחב קטן יחסית

## 2.ה הענות תדר - Frequency Response

האיור הבא מתאר את הענות התדר של זמזם. הגרף מתאר כיצד ה dB תלוי בתדר שהזמזם מוציא. שני הצירים, גם של התדר וגם של ה dB הם לוגריתמיים.



איור 9 : עוצמת ה dB של זמזם כפונקציה של התדר שלו.

באופן תאורטי כל המכשירים היו יוצרים כל תדר באותה משרעת -אמפליטודה - בדיוק. בחיים האמיתיים לכל מכשיר יהיו תדרים שאותם הוא עשוי להגביר ותדרים שאותם הוא יחליש. עקומות תגובת תדרים מראות כיצד מכשיר מסוים מגיב לכל תדר. SPL משורטט כנגד תדר כדי לציין כיצד המכשיר יטפל בתדרים מסוימים. הערה: התדר משורטט על בסיס אקספוננציאלי, בדומה ל-dB's, הוא מאפשר להתאים את כל טווח השמיעה האנושית למרחב קומפקטי.

## 3.ה האוזן האנושית ושקלול A - A-weight system

הטבלה הבאה מתארת השוואה בין SPL שונים

השוואה בין SPL שונים		Comparison of Different SPL's	
Jet engine at 30 m	מנוע מטוס סילון במרחק 30 מטר	632 Pa	150 dB
Threshold of pain	סף כאב	63.2 Pa	130 dB
Hearing damage (possible)	אפשרות לנזק לשמיעה	20 Pa	Approx. 120 dB
Jet at 100 m	מנוע מטוס סילון במרחק 100 מטר	6.32-200 Pa	110-140 dB
Jack hammer at 1 m	פטיש אוויר במרחק 1 מטר	2 Pa	Approx. 100 dB
Traffic on a busy roadway at 10 m	תנועה בכביש סואן במרחק 10 מ'	$2 \times 10^{-1}$ - $6.32 \times 10^{-1}$ Pa	80-90 dB



Passenger car at 10 m	מכונית במרחק 10 מטר	$2 \times 10^{-2}$ - $210^{-1}$ Pa	60-80 dB
Normal conversation at 1 m	שיחה רגילה במרחק 1 מטר	$2 \times 10^{-3}$ - $2 \times 10^{-2}$ Pa	40-60 dB
Very calm room	חדר מאוד רגוע	$2 \times 10^{-4}$ - $6.32 \times 10^{-4}$ Pa	20-30 dB
Auditory threshold at 1 kHz	סף שמיעה ב 1 קילו הרץ	$2 \times 10^{-5}$ Pa (RMS)	0 dB

טבלה 1 : השווה בין SPL שונים

אוזן האדם שומעת באופן תאורטי תדרים מ 20 הרץ עד 20 קילוהרץ . טווח זה מצטמצם עם הגיל, במיוחד אצל גברים. אצל זכרים מבוגרים יותר 13 קילוהרץ נוטה להיות הקצה העליון של הטווח הנשמע. לאוזן האנושית אין תגובת תדר שטוחה על פני הטווח הנשמע. תדרים מסוימים נוטים להיות מוחלשים בעוד שאחרים מוגדלים. שקלול A מנסה לפצות על כך על ידי הפחתת תדרים שהאוזן האנושית פחות רגישה אליהם. הוא נותן עדיפות לצלילים בין 1 קילוהרץ ל-7 קילוהרץ.

1. באופן כללי, רוב בני האדם יכולים לשמוע תדרים מ-20 הרץ ~ 20,000 הרץ
2. עם זאת, האוזן האנושית רגישה יותר לתדרים מסוימים מאחרים
3. A-weighting מייחס ערך רב יותר לתדרים שהאוזן האנושית רגישה אליהם יותר
4. זמזמים מסוימים של התקני CUI מציינים SPL באמצעות מערכת A-weight, כלומר dBA

### 3.ה תדירות תהודה Resonant Frequency

לכל מערכת יש תדר מסוים שהיא נוטה לרטוט בו. לדוגמה, אם נפרוט על מיתר של גיטרה, המיתר הזה ירטוט קרוב מאוד לתדר התהודה שלו, או בתדר התהודה שלו. על ידי הנעת מערכת בתדר התהודה שלה, ניתן להשיג תזוזות גדולות מאוד, ביחס לעוצמת אות הקלט. הנעת זמזם עם אות כניסה בעל תדר זהה לתדר התהודה של הזמזם, תיצור את ה-SPL הגדול ביותר עם עוצמת הקלט הנמוכה ביותר.



איור 10 : ניפוץ כוס יין מקריסטל על ידי צליל בתדר התהודה העצמי/טבעי שלה.

באיור רואים את הניסוי הקלאסי המראה שכוסית יין מקריסטל יכולה להתנפץ כאשר מעוררים אותה על ידי צליל שמתאים לתדר התהודה העצמי שלה.

בתדר התהודה הטבעי של זמזם, נקבל את ה-SPL הגדול ביותר עם כוח הקלט הנמוך ביותר.

1. תדר תהודה הוא התדר הטבעי שמערכת נוטה להתנדנד בו
2. הנעת מערכת בתדר התהודה שלה תיצור את האמפליטודה הגדולה ביותר עם הקלט הקטן ביותר
3. זמזמים הם החזקים ביותר כאשר הם מופעלים בתדר התהודה שלהם

#### 4.ה חישוב SPL Calculator

חברת CUI Devices פיתחה מחשבון SPL כדי לאפשר למשתמשים להמיר את ה-SPL שצוין על ידי זמזם בגליון הנתונים לתנאים שונים בעולם האמיתי, או להשוות SPLs בין שני מכשירים עם פרמטרים שונים שצוינו. כלי זה מאפשר למשתמש לציין את הזמזם המתאים ליישום שלהם במהירות ובקלות.

הכלי נמצא בקישור :

[Buzzer SPL Calculator | CUI Devices](#)

## 1. ביבליוגרפיה

רוב המאמר נלקח מהאתר של חברת CUI Devices בקישור :

[Buzzers | Audio Alerts | CUI Devices](#)