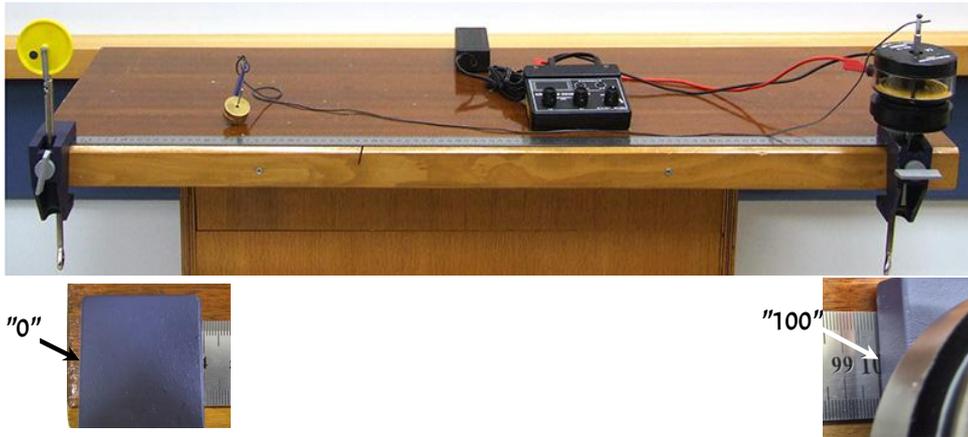




גל עומד במיתר הקשור בקצותיו



איור 1

ציוד

- מחולל תנודות (מתנד) Frederiksen עליו מותקן מתאם לחיבור המיתר
- מחולל גל סינוס
- מוט להתקנת המחולל (מסופק עם המחולל)
- גלגלת על מוט
- 2 מחברי Phywe להתקנת האביזרים על שפת השולחן
- מיתר גומי PASCO באורך של כ-130 ס"מ, אליו קשור מתלה משקולות
- משקולת של 100 גרם
- סרגל מתכת באורך של 1 מ'
- 2 תילי חיבור באורך של 50 ס"מ
- דף נייר לבן

מטרת הניסוי

חקירת תנודות מיתר הקשור בקצותיו.

תיאור המערכת ורקע עיוני

קצה אחד של מיתר אלסטי קשור למחולל תנודות (מתנד) המחובר למחולל אותות סינוסואידליים. המיתר כרוך סביב גלגלת המותקנת על שפת השולחן, ועל קצהו השני של המיתר תלויה משקולת המקנה לו מתיחות קבועה (בקירוב רב) במהלך הניסוי. תדירות מחולל האותות ואורכו של המיתר ניתנים לשינוי. התדירויות בהן מתקבל גל עומד במיתר זה מקיימות את הקשר:

$$(1) \quad f_n = \frac{v}{2L} \cdot n, \quad n = 1, 2, 3 \dots$$

כאשר L – אורך המיתר, v – מהירות התפשטות הגל במיתר, f_n – תדירות הגל בה נוצרות n נקודות קמר לאורך המיתר.

מהירות התפשטות הגל במיתר תלויה במתיחותו T ובמסת שלו ליחידת אורך, μ :

$$(2) \quad v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

הניסוי מכיל שני חלקים:

חלק א' – אישוש הקשר בין מספר נקודות קמר על המיתר לבין תדירות הגל העומד

משנים את תדירות מחולל האותות ומאתרים את התדירויות f_n בהן נוצר גל עומד במיתר (אורכו L ומתיחותו T של המיתר נשארים קבועים). על סמך המדידות, בונים גרף של תדירות גל עומד f_n במספר נקודות קמר הנוצרות בו. בהיעזר בגרף, מוצאים את מהירות התפשטות הגל במיתר, ובעזרתה - את מסת המיתר ליחידת אורכו.

חלק ב' – אישוש הקשר בין תדירות גל עומד במיתר לבין אורך המיתר

בחלק זה של הניסוי משנים את אורך המיתר L ומאתרים תדירויות f_n בהן נצפה מספר נקודות קמר n הקבוע מראש, עבור אורכי מיתר שונים. במהלך המדידות שומרים על מתיחות המיתר קבועה. בונים גרף ליניארי מתאים ומוצאים בעזרתו את מהירות התפשטות הגל במיתר.

לפני ביצוע הניסוי, ענו על השאלות הבאות:

1. בהסתמך על הקשר בין אורך הגל, מהירות התפשטות הגל ותדירותו, ובעזרת התנאי ליצירת גל עומד במיתר, פיתחו את ביטוי (1).
2. מהי צורת הגרף $f_n(n)$ שאמור להתקבל בחלק א' של הניסוי? נמקו.
3. כיצד תוכלו לחשב את מהירות התפשטות הגל במיתר ואת מסת המיתר ליחידת אורך בעזרת הגרף שתבנו בחלק א' של הניסוי?
4. אילו משתנים צריך לבחור על מנת שהגרף המתאר את הקשר בין L לבין f_n יהיה ליניארי?
5. כיצד תוכלו לחשב את מהירות התפשטות הגל במיתר בעזרת הגרף שתבנו בחלק ב' של הניסוי?

הכנת המערכת

1. מצמידים סרגל לשולחן באמצעות המחברים בהם מותקנים הגלגלת והמתנד, בהתאם לאיור (1) – במקרה זה אורך קטע המיתר בו מתהווה גל עומד הוא 1 מ'.
2. מוסיפים משקולת של 100 גרם למתלה (מסתו של המתלה – 5 גרם) וכורכים את המיתר סביב הגלגלת המותקנת על שפת השולחן.
3. מחברים את מחולל האותות למתנד.
4. מוודאים שהמתנד משוחרר מנעילה (מנוף המתנד נמצא מצב **Unlock** - איור 2א').
5. מאפסים את משרעת תנודות המחולל (מסובבים את כפתור (1) של המחולל נגד כיוון השעון עד הסוף (איור 2ב') ומפעילים את המחולל באמצעות המתג הנמצא מאחור (איור 2ג'). בהפעלת המחולל, התדירות ביציאתו היא 100 Hz - מקטינים אותה ל- 1 Hz באמצעות כפתור (3) (כיוון גס של תדירות).



ביצוע הניסוי

חלק א' – אישוש הקשר בין תדירות של גל עומד לבין מספר נקודות הקמר על המיתר

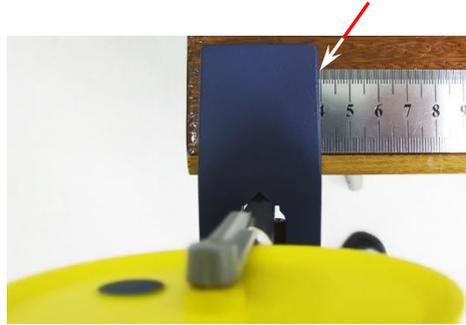
1. פתחו קובץ Excel בו תרכזו ותנתחו את תוצאות מדידותיכם. בעמודה של מספר נקודות קמר n הזינו מספרים שלמים בין 1 ל- 6 (כולל).
2. הגדילו את משרעת תנודות המתנד - סובבו את הכפתור (1) (איור 2ב') בערך למצב כמו באיור 3. אם בשלב כלשהו תשמעו נקישות במתנד, הקטינו את המשרעת מיד!
3. סובבו באיטיות את כפתור התדירות (3) (איור 2ב') עד שתבחינו בהתהוות גל עומד במיתר.
4. המשיכו להגדיל בהדרגה את תדירות המתנד באמצעות סיבוב כפתור (2) לכיוון מדויק של התדירות (איור 2ב'). סיבוב כפתור זה אינו רציף מתבצע בקפיצות קבועות המלוות ב"קליק". אחרי כל "קליק" המתינו כ-5 שניות להתייצבות התנודות במיתר. כשתבחינו שב"קליק" הבא משרעת התנודות קטנה, החזירו את הכפתור למצבו הקודם והזינו בגיליון את תדירות המתנד המופיעה על צג המחולל מול ה- n המתאים. להבחנה קלה בנקודות קמר החזיקו מאחורי המיתר דף נייר לבן באזור נקודות קמר.
5. חזרו על סעיפים 2, 3 כאשר בכל פעם תגדילו את מספר נקודות הקמר במיתר ב-1; סה"כ עליכם לבצע 6 מדידות.



איור 3

חלק ב' – אישוש הקשר בין תדירות גל עומד במיתר לבין אורך המיתר

1. הכינו בגיליון Excel שתי עמודות נוספות בהן תזינו את אורך המיתר, L , ואת תדירות המתנד, f_2 , בה מתקבלות 2 נקודות קמר על המיתר.
2. הזינו את תדירות הגל העומד שקיבלתם בחלק א' (אורך המיתר של 1 מ') עבור 2 נקודות קמר.
3. אפסו את משרעת המחולל באמצעות כפתור (1) (איור 2), שחררו את בורג המקבר המחזיק את הגלגלת קרבו את הגלגלת ב- 5 ס"מ למתנד. במדידת המרחקים התייחסו לשפה הפנימית של המקבר (באיור 4 מוצג מבט מלמעלה) והדקו את הבורג.



איור 4

4. החזירו את כפתור כיוון המשרעת למצב כמו באיור 3. הגדילו בהדרגה את תדירות המחולל באמצעות כפתור 2 (איור 2) ואתרו את תדירות המחולל בה מתקבלות במיתר 2 נקודות קמר במשרעת המקסימלית האפשרית. פעלו לפי הנחיות ביצוע הניסוי שתוארו בסעיף 4 של חלק א'. הזינו בגיליון את התדירות ואת אורך המיתר.
5. חזרו על הסעיפים 3, 4 חמש פעמים נוספות (סה"כ יש להגיע ל-7 מדידות).

בסיום הניסוי

- מאפסים את המשרעת של מחולל האותות ומחבים אותו.
- נועלים את המתנד (מעבירים את המנוף שלו למצב "Lock").
- מפרקים את מערכת הניסוי ומחזירים אותה למגש.

עיבוד תוצאות המדידות

חלק א'

1. בנו ב- Excel גרף פיזור $f_n(n)$ והוסיפו לו קו מגמה יחד עם משוואתו. בהסתמך על אורך המיתר, מצאו בעזרת משוואת הגרף את מהירות התפשטות הגל במיתר.
2. בהסתמך על מהירות התפשטות הגל במיתר ועל מתיחות המיתר (חישבו אותה!), מצאו את מסת המיתר ליחידת אורכו.
3. מסת המיתר ליחידת אורכו, כשעליו תלויה המשקולת בה השתמשתם בניסוי, היא $3.12 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}$ (ערך זה מתקבל במדידה ישירה). חישבו את אחוז הסטייה היחסית של מסת המיתר ליחידת אורך שהתקבלה בניסוי, ממסה זו.

חלק ב'

1. בנו גרף פיזור ליניארי המתאר את הקשר בין f_n לבין L והוסיפו לו קו מגמה יחד עם משוואתו. מהי משמעות שיפוע הגרף בניסוי שביצעתם ($n=2$)?
2. מצאו בעזרת שיפוע הגרף את מהירות התפשטות הגל במיתר. האם ערך המהירות שהתקבל קרוב לזה שקיבלתם בחלק א' של הניסוי? אם לא – ציינו את הסיבות האפשריות להבדל.

שאלות סיכום

1. מהו גל עומד?
2. פריטת מיתר גיטרה גורמת לצליל שמקורו בהיווצרות גלים עומדים במיתר. בניסוי שביצעתם קיבלתם גלים עומדים במיתר, אבל לא שמעתם צלילים כשמספר נקודות הקמר היה קטן מ-5. מדוע?
3. שאלת בונוס: כיצד אפשר למדוד את מסת המיתר בו השתמשתם בניסוי, במצבו המתוח, ליחידת אורך? יש לקחת בחשבון שכשתולים משקולת על מיתר גומי אורכו הכללי גדל, בעוד שאורך הקטע בו מתהווה גל עומד נשאר קבוע (בחלק א' של הניסוי).