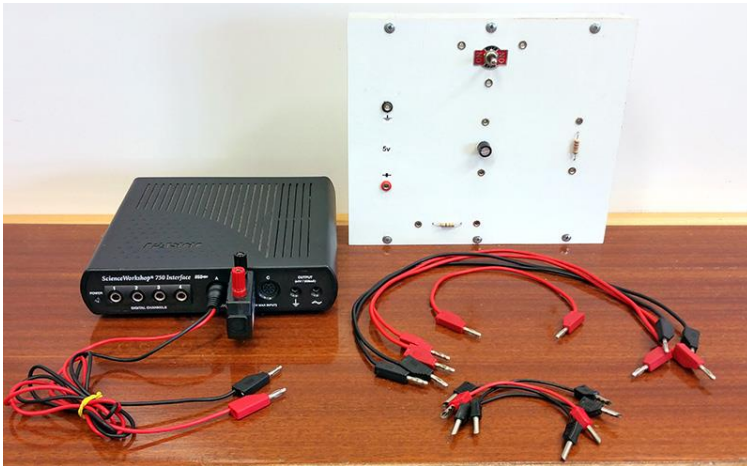




## טעינה ופריקה של קבל

### רשימת הציוד

- ממשק PASCO 750
- חיישן זרם
- חיישן מתח
- 4 תילי חיבור באורך של 10 ס"מ
- תיל חיבור באורך של 25 ס"מ
- 4 תילי חיבור באורך של 50 ס"מ
- לוח המכיל קבל, 2 נגדים ומפסק דו-כיווני (מחלף)



### מטרות הניסוי

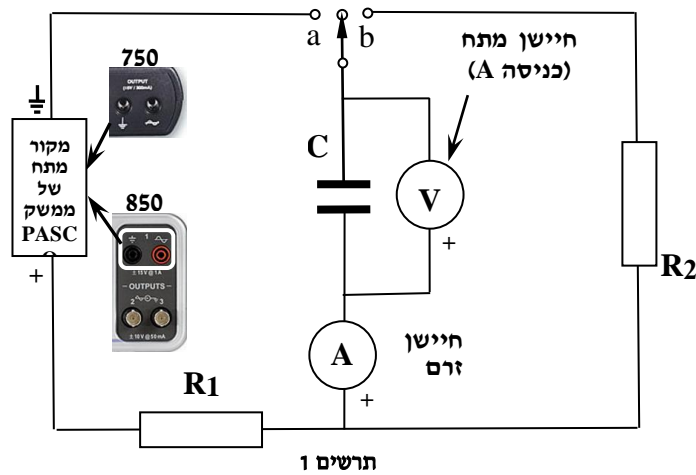
- חקירה של העברת המטענים בטעינה ופריקה של קבל.
- חקירת הקשר בין מתח הקבל לבין הזרם במעגל בתהליכי טעינה ופריקה.
- חקירת הקשר בין מטען הקבל לבין המתח.
- חקירת מאזן האנרגיות בתהליך טעינת קבל.

### שאלות הכנה

1. מהו חוק שימור המטען? איך הוא מתבטא בתהליכי טעינה ופריקה של קבל?
2. מהו הקשר בין מתח הקבל לזרם הזורם במעגל בתהליך הטעינה? בתהליך הפריקה? רשום ביטויים מתמטיים המתארים את הקשרים האלה.
3. הגדר את קבוע זמן של מעגל RC.
4. רשום ביטוי עבור עבודת הסוללה בטעינת הקבל.
5. רשום את מאזן האנרגיות בתהליך טעינת הקבל.
6. (רשות) התייחס לטעינת הקבל ורשום ביטוי עבור  $\ln(i/i_0)$ , כאשר  $i_0$  הוא הערך ההתחלתי של הזרם בטעינת הקבל.

### הכנת המערכת

1. חבר את חיישן המתח לכניסה A של הערוצים האנלוגיים ואת חיישן הזרם – לכניסה B. הפעל את ממשק המערכת.
2. העלה את תבנית העבודה "cap". טעינה ופריקה של קבל Template 750\_ " בתוכנת Capstone; מיקום הקובץ יינתן על ידי המורה. בתבנית העבודה מוגדרים החיישנים שחיברת לממשק PASCO, קצב דגימת המדידות ומקור מתח DC של 5 וולט (מתח זה יזין את המעגל החשמלי המשמש לטעינת הקבל). כמו כן, בתבנית זו פתוחים 5 דפי עבודה עם מערכות צירים בהן יוצגו תוצאות מדידותיך.
3. הרכב מעגל חשמלי בהתאם לתרשים 1. מדי המתח והזרם המסומנים בתרשים הם חיישני מערכת המדידות הממוחשבת; ספק המתח הוא מקור המתח הפנימי של ממשק PASCO. **בחיבור החיישנים, יש להקפיד על הקוטביות - כפי שהיא סומנה בתרשים.** לתשומת לבך: התילים האדומים של החיישנים מחוברים להדק החיובי.



## ביצוע הניסוי

אין להתחיל מדידות לפני בדיקת המעגל על ידי מורה או לבורנט!

1. לפני תחילת המדידות העבר את המחלף במעגל למצב "b" כדי לפרוק את הקבל (יתכן שהוא נושא שארית מטען).
2. עבור לדרך הראשון בחוברת העבודה בתוכנת Capstone (הקלק על לשונית "V(t) , I(t)". הרץ מדידות על ידי לחיצה על כפתור Record (בסרגל למטה) המתן כ-5 שניות בלי לחבר את המעגל למקור המתח והעבר את המחלף למצב "a" (טעינת הקבל). אחרי שגרף זרם הטעינה ייצמד לציר הזמן, המתן כ-5 שניות והעבר את המחלף למצב "b" לפריקת הקבל. כאשר גרף זרם הפריקה ייצמד לציר הזמן שוב, המתן כ-5 שניות והפסק את המדידות.
3. לחייושן הזרם יש שגיאת מדידות שעלולה לשבש את תוצאות הניסוי; לכן יש לבצע את קיזוז החייושן (Offset). לשם כך פעל באופן הבא:
  - א. בגרף הזרם כתלות בזמן מצא את הערך הממוצע של הזרם בקטע הגרף הראשון (לפני חיבורו למקור המתח) – זוהי השגיאה של חייושן הזרם.
  - ב. הקלק פעמיים על השורה הראשונה ב-Calculator (=i\_off), אחרי הסימן "=" הקלד את ערך הזרם שמצאת (יחד עם הסימן שהתקבל!) והקש על Enter. ערך זה יופחת מכל מדידות הזרם שיבוצעו במהלך הניסוי.
4. שמור את הפעילות.

## ניתוח תוצאות המדידות

### I. מטען הנאגר בקבל בתהליך טעינתו

מטען שנאגר בקבל הוא המטען שעבר במעגל בתהליך הטעינה. המטען העובר במעגל בפרק זמן מסוים הוא אינטגרל הזרם שזרם במעגל בפרק זמן זה:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} i(t) dt$$


מכן נובע שבגרף  $i(t)$  מטען מיוצג על ידי השטח הכלוא בין הגרף לבין ציר הזמן.

1. עבור לכרטיסיה I\_off(t). במערכת הצירים המופיעה בכרטיסיה זו, שגיאת חייושן הזרם הופחתה ממדידות הזרם.
2. מצא את המטען הנאגר בקבל בתהליך טעינתו (היעזר בסעיפים 2, 3 של הנספח).
3. מצא את המטען שעבר במעגל בתהליך פריקתו של הקבל.
4. מהו היחס בין כמויות המטען שעברו במעגלי הטעינה והפריקה? הסבר את התוצאה שקיבלת.

### II. הקשר בין מתח הקבל לבין זרם הזרם במעגל בתהליכי טעינה ופריקה

1. עבור לדרך V(i) בחוברת העבודה ב-Capstone והצג את הגרף שהתקבל בהרצה (ראה סעיף 1 בנספח).
2. הסבר את צורת הגרף V(i) שהתקבל. זהה את קטעי הגרף המתאימים לטעינה ולפריקה של הקבל.
3. התאם פונקציה קווית לקטע הגרף המתאים לטעינת הקבל (ראה סעיף 4 בנספח). מהן המשמעויות הפיסיקליות של השיפוע m ושל האיבר החופשי b? נמק את תשובתך ע"י ביטוי מתמטי מתאים.
4. מצא בעזרת הגרף את כא"מ מקור המתח ואת התנגדות R1 במעגל הטעינה.
5. מצא בעזרת הגרף את התנגדות R2 במעגל הפריקה של הקבל.

### III. קבוע הזמן של המעגל

1. חזור לדף העבודה הראשון (" $V(t)$ ,  $I(t)$ ") ובטל בו את סימון השטח (לחץ על הכפתור ).
2. בהיעזר בגרף הזרם כתלות בזמן, מצא את קבוע הזמן של המעגל בטעינת הקבל (השתמש בקורא קואורדינטות - סעיף 5 בנספח). טיפ: נוח להזיז את קורא הקואורדינטות בין נקודות הגרף באמצעות חיצו מקלדת המחשב.
3. חשב את קיבול הקבל באמצעות קבוע הזמן והתנגדות הנגד במעגל הטעינה, אותה מצאת בחלק הקודם של הניסוי.

### IV. תלות מטען הקבל במתח הקבל

1. בכל אחד מהגרפים של זרם ומתח כתלות בזמן השאר רק את קטע הגרף המתאר את טעינת הקבל – את שאר קטעי הגרף תמחק (היעזר בהסבר בסעיף 6 של הנספח).
2. עבור לדף  $Q(V)$  בחוברת העבודה (חישוב המטען כבר מוגדר בתבנית העבודה) והצג גרף  $Q(V)$  עבור ההרצה שערכת (ראה סעיף 1 בנספח אודות בחירת הרצה). מצא את קיבול הקבל באמצעות הגרף (ראה סעיף 4 בנספח) והשווה אותו עם ערך הקיבול שקיבלת לפניכן.

### V. היבטים אנרגטיים

האנרגיה המשתחררת (או נאגרת) בפרק זמן מסוים היא אינטגרל ההספק במעגל בפרק זמן זה:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$$

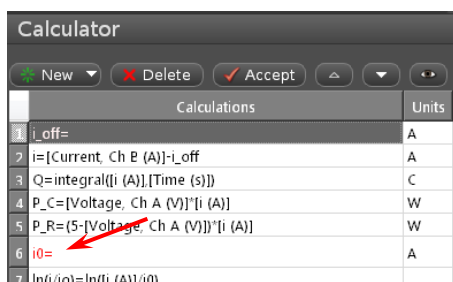
כאשר  $P(t) = V(t) \cdot I(t)$  הוא ההספק הרגעי של העבודה החשמלית המתבצעת בהעברת המטענים. לכן בגרף של הספק כתלות בזמן האנרגיה מיוצגת ע"י השטח הכלוא בין הגרף לבין ציר הזמן.

בתבנית העבודה מוגדרות פונקציות הספק עבור הנגד דרכו הקבל נטען ( $P_R$ ).

1. בצע הרצה נוספת של טעינה ופריקה של קבל, מצא את ערך הזרם  $i_{off}$  בהרצה זו והקלד אותו במחשבון.
2. עבור לדף  $P(t)$  בתוכנת Capstone והצג גרף  $P_R(t)$  שהתקבל בהרצה (ראה סעיף 1 בנספח).
3. מצא את האנרגיה שהשתחררה בתהליכי טעינה ופריקה של הקבל (היעזר בסעיף 3 של הנספח). מהו היחס בין האנרגיות הללו?
4. חשב את עבודת הסוללה בתהליך טעינת הקבל (היעזר בערך המטען שעבר במעגל בתהליך הטעינה וב-כא"מ מקור המתח, אותם מצאת לפניכן).
5. חשב את האנרגיה שנאגרה בקבל בתהליך הטעינה. מהו היחס בין אנרגיה זו לבין עבודת הסוללה? הסבר למה עבודת הסוללה אינה שווה לאנרגיה שנאגרה בקבל.

### VI. מציאת קבוע הזמן מניתוח הביטוי לזרם טעינה של הקבל

בנוסף לשיטה בה פעלת בחלק III של הניסוי למציאת קבוע זמן  $\tau$  של המעגל, אפשר למצוא את  $\tau$  בעזרת ניתוח התלות של  $\ln(i/i_0)$  בזמן  $t$  – זרם במעגל ברגע  $t$  כלשהו,  $i_0$  – הזרם ההתחלתי במעגל. הסבר, כיצד תעשה זאת. פונקציה  $\ln(i/i_0)$  כבר מוגדרת בתבנית העבודה; שי רק להכניס את ערך הזרם ההתחלתי שהתקבל בטעינת הקבל במדידותיך. לשם כך פעל כדלקמן:



Calculations	Units
1 i_off=	A
2 i=[Current, Ch B (A)]-i_off	A
3 Q=integral(i (A),[Time (s)])	C
4 P_C=[Voltage, Ch A (V)]*i (A)	W
5 P_R=(5-[Voltage, Ch A (V)])*i (A)	W
6 i0=	A
7 ln(i/i0)=ln([i (A)]/i0)	

תרשים 2

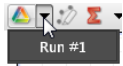
1. עבור לדף שני בחוברת העבודה של Capstone והצג את **מדידות ההרצה ממנה מחקת קטע הגרף המתאר את פריקת הקבל**.
2. מצא את זרם הטעינה ההתחלתי (היעזר בקורא הקואורדינטות).
3. בסרגל Tools (משמאל ב-Capstone) לחץ על כפתור Calculator, והקלק פעמיים על השורה בה כתוב " $i_0$ " (ראה חץ בתרשים 2). הקלד בשדה הזה, ליד סימן "=", את ערכו ההתחלתי של זרם הטעינה ולחץ על Accept. סגור את המחשבון על ידי לחיצה חוזרת על כפתור Calculator.
4. בדף האחרון של חוברת העבודה הצג גרף של  $\ln(i/i_0)$  כתלות בזמן עבור ההרצה המתאימה.
5. מצא בעזרת הגרף את קבוע הזמן של מעגל הטעינה (היעזר בסעיף 4 של הנספח). השווה עם התוצאה שקיבלת בחלק III של הניסוי.

## בסיום הניסוי

- כבה את הממשק PASCO ונתק אותו מהחשמל,
- כבה את המחשב,
- פרוק את הקבל,
- פרק את המעגל,
- סדר את כל הציוד במגש והחזר את המגש לעגלה.

## נספח: עבודה עם תוכנת CAPSTONE.

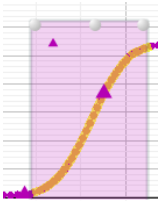
### 1. בחירת הרצה מהרשימה



תרשים 3

בסרגל הכלים של התצוגה הגרפית, לחץ על הפתור עליו מצביע סמן העכבר בתרשים 3, ובחר את ההרצה הרצויה.

### 2. בחירת קטע הגרף



תרשים 4

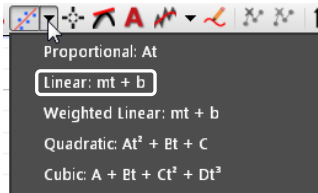
- א. הקלק על הגרף אותו ברצונך לנתח.
- ב. לחץ על כלי בחירה בסרגל הכלים של התצוגה הגרפית – יופיע מלבן שצבעו תואם את צבע הגרף.
- ג. גרור את המלבן אל קטע הגרף אותו ברצונך לבחור (תרשים 4); התאם את מידותיו לקטע זה באמצעות הזזת הצלעות של המלבן.

הערה: למחיקת מלבן הבחירה הקלק עליו והקש *Delete* במקלדת המחשב.

### 3. מציאת שטח הכלוא בין גרף לבין הצייר האופקי

בחר באמצעות כלי הבחירה את הקטע הרלוונטי של הגרף ולחץ על הכפתור בסרגל הכלים של התצוגה הגרפית – ערכו המספרי של השטח יוצג על המסך.

### 4. התאמת פונקציה קווית לקטע הנבחר



תרשים 5

בסרגל הכלים של התצוגה הגרפית, לחץ על המשולש הקטן הנמצא מימין לכפתור (תרשים 5), ובחר **Linear** מתוך רשימת הפונקציות. במקרא קו המגמה תמצא את מאפייני הקו, כאשר  $m$  הוא שיפוע ו- $b$  - האיבר החופשי.

הערה: להעלמת קו מגמה, פתח שוב את רשימת הפונקציות ומחק את סימון הפונקציה ברשימה.

### 5. מציאת שיערי נקודה על גרף

Coordinates tool הוא הכלי המאפשר למצוא שיעורי נקודות הגרף בתכנת Capstone; בהמשך נקרא לו קורא קואורדינאטות. להפעלת הכלי:



תרשים 6

- א. הקלק על הגרף אותו ברצונך לנתח,
- ב. לחץ על הכפתור בסרגל הכלים של התצוגה הגרפית ובחר אופציה Add coordinates/Delta tool - על המסך יופיע ריבוע כשיעורי מרכזו רשומים לידו (תרשים 6).

ג. הצבע עם סמן העכבר על מרכז הריבוע וגרור את קורא הקואורדינאטות לנקודה הרצויה. כשקורא הקואורדינאטות יתקרב לנקודת הגרף, הוא "יתמגנט" אליה.

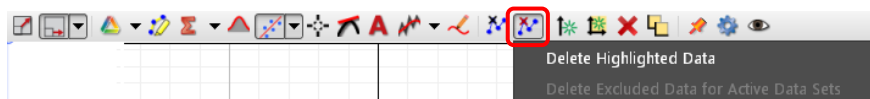
הערה: למחיקת קורא הקואורדינאטות, הקלק עליו והקש *Delete* במקלדת המחשב.

### 6. מחיקה של קטעי גרף

למחיקת קטעי גרף פעל כדלקמן:

א. בחר באמצעות מלבן הבחירה את קטע הגרף שברצונך למחוק,

ב. הקלק על כפתור Delete Data בסרגל הכלים של תצוגה גרפית (מסומן במסגרת בתרשים 7) ובחר *Delete Highlighted Data*



תרשים 7