

הוראות לדף הנוסחאות



הוראות הדפסה!

את הדף יש להדפיס עם שוליים מותאמות אישית ברוחב 0.5 בכל צד.

ב WORD, יש לבחור בלשונית הדפסה את חלון השוליים, לבחור שוליים מותאמים אישית ולשנות ל 0.5 בכל הכיוונים

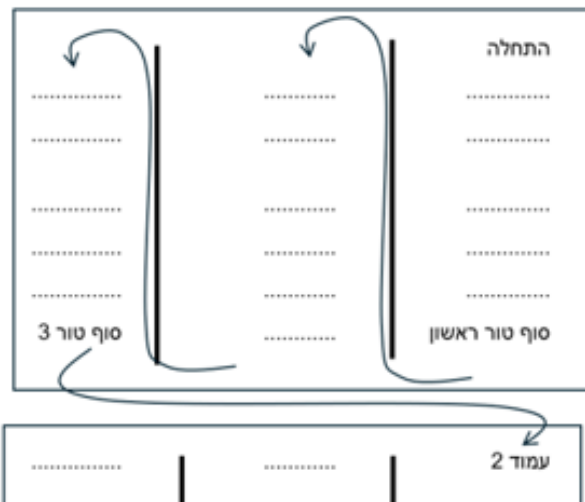
עריכה:

בדף הכנסנו כמה שיותר הסברים, נוסחאות ותמונות. אם מספר העמודים חורג ממספר העמודים המותר בבחינה ניתן לערוך את קובץ ה WORD ולהוריד הסברים מורחבים, תמונות או נוסחאות טריוויאליות. ניתן גם כמובן להוסיף הסברים שלכם או נוסחאות.

בכל מקרה מומלץ מאוד לעבור על הדף לפני המבחן!! הוא גם סיכום של החומר.

אין להוריד את הסמל של GOOL או כל סימן מסחרי אחר!!

מבנה הדף:



הדף בנוי משלושה טורים.

ההתחלה היא בפינה הימנית העליונה.

בסוף הטור הראשון עוברים לטור השני באותו עמוד (ולא לעמוד הבא). בסוף הטור האחרון עוברים לטור הראשון (הימני) בעמוד הבא.

ניתן לשנות את כיוון הפריסה לרוחב, זה יוצר מראה יותר מרווח על חשבון מספר עמודים.

כל הזכויות שמורות למני גבאי ולאתר GOOL

הדף מיועד לכל שימוש שאינו מסחרי ובפרט לשימוש מרצים, מורים, סטודנטים ותלמידים בקורסים שונים, ניתן לערוך את הדף אך יש להשאיר סימונים של אתר גול.

תנועה מחזורית

תנועה מחזורית: היא תנועה המורכבת מקטע תנועה מסוים החוזר על עצמו באופן מדויק כל מרווח זמן קבוע. הגדרה: תנועה מחזורית היא תנועה שבה קיים T קבוע, עבורו מתקיים $\vec{x}(t) = \vec{x}(t + T)$ לכל $\vec{x}(t)$ כאשר T הוא זמן המחזור. שימו לב, כל תנועה הרמונית היא תנועה מחזורית אבל לא כל תנועה מחזורית היא הרמונית. בתנועה הרמונית יש תנאים נוספים שהכוונו ביחס ישר למיקום.

תנועה הרמונית

המיקום כתלות בזמן בתנועה הרמונית:

- הראשית היא בנקודת שיווי המשקל.
- נקודת שיווי המשקל היא הנקודה שבה סכום הכוחות שווה לאפס (התאוצה גם שווה לאפס והמהירות מקסימלית).
- א - אמפליטודת התנועה, מרחק מקסימאלי משווי משקל.
- ω - תדירות זוויתית. φ - פאזה.

המהירות בתנועה הרמונית: $v(t) = -\omega A \sin(\omega t + \varphi)$
התאוצה בתנועה הרמונית: $a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi)$
קשר בין התדירות הזוויתית (אומגה) לתדירות וזמן המחזור:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

עבור מסה המחוברת לקפיץ:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

כאשר k הוא קבוע הקפיץ ו- m היא מסת הגוף.

הפאזה: $\varphi = \omega \cdot t_0$
כאשר t_0 הוא הזמן שעבר מהרגע שבו הגוף היה בקצה החיובי עד ש- $t = 0$ (מתחילים למדוד את התנועה).

בד"כ נמצא את A ו- φ מתנאי התחלה:
 $x(t=0) = A \sin \varphi$; $v(t=0) = -\omega A \cos \varphi$

מהירות התאוצה מקסימלית:

$v_{max} = \pm \omega A$; $a_{max} = \pm \omega^2 A$
תוספת של כוח קבוע למערכת: משנה רק את נקודת שיווי המשקל (ולא את התדירות). במקרה כזה נקודת שיווי המשקל לא תהיה הנקודה שבה הקפיץ רפוי וצריך להבחין ביניהם. מקרה נפוץ הוא של **קפיץ אנכי**. בקפיץ אנכי כוח הכובד הוא כוח קבוע, הוא לא משפיע על התנועה למעט שינוי נקודת שיווי המשקל. אפשר לחשוב שכוח הכובד גורם למתיחה התחלתית של הקפיץ עד לנקודה שבה כוח הקפיץ שווה לכוח הכובד (נק' ש.מ. חדשה) משם התנועה תהיה כרגיל. אפשר לקבוע את $x=0$ בנקודת ש.מ. ולהתעלם מהכובד.

האנרגיה בתנועה הרמונית:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mv_{max}^2$$

גלים והתאבכות גלים

מהירות גל מחזורי:

$$v = \lambda f$$

λ - אורך הגל. f - תדירות הגל.

גל עומד במיתר שקצותיו קשורים:

$$\ell = n \frac{\lambda}{2}$$

ℓ - אורך המיתר. n - מספר נקודות הקמר (מקסימי) קווי מקסימום ראשיים בהתאבכות משני מקורות (ויותר) שווי-מופע:

$$\sin \theta_n = \frac{x_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{2}$$

θ_n - זווית הסטייה של האור המגיע לנק' המקסימום n ביחס לכיוון המאונך למישור החריצים.

X_n - המרחק בין אמצע הלוו והמקסימום מסדר n .
 L_n - המרחק בין המרכז של החריצים למקסימום מסדר n - סדר קו המקסימום. λ - אורך הגל.

d - המרחק בין החריצים.

$$\frac{I_a}{I_0} = 10^{\left(\frac{\alpha}{10}\right)}$$

עוצמה של גלי קול ביחס לסף השמע:

$$I_a$$

כאשר I_a היא עוצמת הקול של α דציבל. I_0 - סף השמע של אדם.

ניתן לרשום גם את היחס בין העוצמות של שני דציבלים

$$\frac{I_a}{I_b} = 10^{\left(\frac{\alpha - \beta}{10}\right)}$$

סונים α ו- β :

$$E = I \cdot S \cdot t$$

E - האנרגיה הכוללת של גל הקול. I - העוצמה בדציבל. S - שטח החתך בו הגל פוגע.

t - משך הזמן שהקול פוגע בשטח החתך.

מטריצת מומנט ההתמד:

$$L_i = \sum_j I_{ij} \omega_j$$

$$I_{ij} = \sum_k m_k (r_k^2 \delta_{ij} + i \cdot j)$$

כאשר i, j, k מקבלים את הערכים x, y, z .

מבוא לאופטיקה

חוק סנל:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

כאשר n הם מקדמי השבירה של התווך ו- θ הן הזוויות בין הקרן שפוגעת/מוחזרת לבין האנך למשטח.

נוסחת העדשות:

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

u - מרחק העצם מהעדשה. v - מרחק הדמות מהעדשה.

f - מוקד העדשה.

הגדלה קווית:

$$H_i - \text{גובה הדמות. } H_o - \text{גובה העצם.}$$

עוצמת העדשה:

מבנה החומר

$$m = \frac{H_i}{H_o} = \frac{|v|}{|u|}$$

$$C = \frac{1}{f}$$

$$0.53 \cdot 10^{-10} m$$

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} m$$

$$e - \text{פרוטונים מסמנים ב- } p \text{ נייטרונים ב- } n \text{ ואלקטרונים ב- } e$$

$$m_n \approx m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} kg$$

$$m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} kg$$

$$q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

כיוון התאוצה בכיוון השדה עבור מטען חיובי והפוך לשדה עבור מטען שלילי

מוליכים

- במוליך המטענים חופשיים לזוז.
- **השדה מתאפס** (או ליתר דיוק הכוח) בתוך המוליך.
- על השפה יכול להיות שדה מאונך לשפה.
- **המטען הכולל בתוך המוליך מתאפס למעט על השפה** (במצב סטטי).
- **הפוטנציאל במוליך אחיד** (קבוע).
- **הארכה**: חיבור לקרקע, מאפסת את הפוטנציאל.

חומרים דיאלקטריים

- חומר דיאלקטרי הוא חומר מבודד (בפשטות, במקרים יותר מורכבים אפשר לדבר גם על חומרים דיאלקטרים מוליכים)
- בחומר דיאלקטרי יש דיפולים, כאשר החומר נמצא בשדה חשמלי הדיפולים מתיישרים בכיוון השדה ויוצרים שדה נגדי.
- **השדה השקול בתוך החומר** (בהנחה שהחומר אחיד ובעל סימטריה):

$$\vec{E}_T = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon_r}$$

- $\vec{E}_T$ - השדה השקול בתוך החומר, זה השדה שמרגיש מטען בתוך החומר. $\vec{E}_0$ - שדה שנוצר מהמטען חיצוני (ולא מהדיפולים של החומר). ϵ_r - מקדם דיאלקטרי יחסי, קבוע חסר יחידות שתלוי בסוג החומר וקיים בטבלאות.
- לפעמים נתון **המקדם הדיאלקטרי** (הלא יחסי) והקשר הוא:

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \quad \epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

מתח פוטנציאל ואנרגיה של הכוח החשמלי

הכוח החשמלי הוא כוח משמר ולכן האנרגיה של מטען הנע בהשפעת הכוח החשמלי נשמרת.

$$\frac{1}{2}mv_i^2 + U_i = \frac{1}{2}mv_f^2 + U_f \quad \text{משוואת שימור אנרגיה}$$

- v_f / v_i - מהירות הגוף בהתחלה / סוף התנועה.
- U_f / U_i - האנרגיה הפוטנציאלית בהתחלה / סוף התנועה.
- אנרגיה פוטנציאלית של שני מטענים נקודתיים (או האנרגיה פוטנציאלית של מטען נקודתי הנע בהשפעת הכוח החשמלי של מטען נקודתי אחר):

$$U = \frac{kq_1q_2}{r}$$

- שימו לב להציב גם את סימני המטענים בנוסחה!
- העבודה שמבצע הכוח החשמלי שווה למינוס השינוי באנרגיה הפוטנציאלית של המערכת (או המטען שנע):

$$W = -\Delta U \quad \text{כוח חשמלי}$$

העבודה הדרושה להזיז מטען היא עבודה שאנחנו מבצעים כנגד הכוח החשמלי ולכן היא מינוס העבודה של הכוח החשמלי ושווה לשינוי האנרגיה הפוטנציאלית (ללא מינוס):

$$W = \Delta U = \text{כוח חשמלי} \cdot \text{להזיז מטען}$$

פוטנציאל הוא אנרגיה ליחידת מטען. פוטנציאל הוא פונקציה מתמטית שאומרת לנו מה תהיה האנרגיה הפוטנציאלית בנקודה מסוימת.

האנרגיה של מטען נקודתי הנמצא בנקודה בה פוטנציאל הוא V :

$$U = qV$$

פונקציית הפוטנציאל שיוצר מטען נקודתי במרחב:

$$V = \frac{kq}{r}$$

r - המרחק מהמטען.

היחידות הסטנדרטיות של הפוטנציאל הן וולט [V]. אחד וולט הוא גאול חלקי קולון.

סופרפוזיציה: על מנת לחשב את הפוטנציאל בנקודה במרחב ניתן לחבר את הפוטנציאל שיוצר כל מטען באותה נקודה. החיבור הוא סקלרי ויותר פשוט מחיבור שדות.

מתח: הפרש פוטנציאלים, מסומן ב ΔV אבל לפעמים מסומן גם ב V לבד כמו הפוטנציאל, כי פוטנציאל בנקודה הוא גם מתח (הפרש פוטנציאלים) מהאפס.

יחידת האלקטרון וולט [eV]: יחידת עבודה/אנרגיה. נוחה לעבודה, לדוגמה: האנרגיה של אלקטרון בפוטנציאל

$$5 \text{ וולט היא פשוט } 5 \text{ אלקטרון וולט. } 1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

הפרש פוטנציאלים (או המתח) בשדה אחיד:

$$\Delta V = -\vec{E} \cdot \Delta \vec{x} = -|\vec{E}| |\Delta \vec{x}| \cos \alpha$$

פוטנציאל של לוח אינסופי (כאשר בוחרים פוטנציאל אפס על הלוח):

$$U(x) = -2\pi k \sigma x$$

σ - צפיפות המטען המשטחית על הלוח.

x - המרחק מהלוח.

פוטנציאל במוליכים קבוע (אחיד) ושווה לערך על השפה (לא בהכרח אפס)

הפוטנציאל של כדור מוליך בכל המרחב:

$$Q - \text{סך המטען של הכדור}$$

$$R - \text{רדיוס הכדור}$$

$$r - \text{המרחק ממרכז הכדור}$$

$$V(r) = \begin{cases} \frac{kQ}{R}, & r \leq R \\ \frac{kQ}{r}, & r \geq R \end{cases}$$

שימו לב שהפוטנציאל בתוך הכדור אינו תלוי במרחק (קבוע).

הפוטנציאל של כדור "א" כדור "א" הוא כדור מוליך מאוד גדול, $R \rightarrow \infty$ ולכן הפוטנציאל אפס.

חיבור של שני מוליכים בחיבור מוליך: מאלץ את הפוטנציאלים שלהם להיות שווים (מטען יזרום ממוליך אחד לשני עד השוואת הפוטנציאלים)

הארכה: חיבור מוליך לכדור "א", מאלץ את הפוטנציאל של המוליך להיות אפס (כמו כדור "א").

חישוב אנרגיה פוטנציאלית של מערכת שלמה (העבודה הדרושה לבניית המערכת):

- דרך 1: נסכום את העבודות להביא את המטענים אחד אחרי השני. עבור המטען הראשון, העבודה היא אפס (כי אין אף מטען אחר במרחב שיוצר פוטנציאל). עבור המטען השני, העבודה לקרב אותו למטען הראשון*. עבור המטען השלישי העבודה לקרב לשני המטענים**, וכן הלאה. במקרה של שלושה מטענים החישוב הוא:

$$W = 0 + q_2 \left(\frac{kq_1}{r_{12}} \right) + q_3 \left(\frac{kq_1}{r_{13}} + \frac{kq_2}{r_{23}} \right)$$

- דרך 2: נסכום את האנרגיה של כל זוג מטענים במערכת. במקרה של שלושה מטענים:

$$W = \frac{kq_1q_2}{r_{12}} + \frac{kq_1q_3}{r_{13}} + \frac{kq_2q_3}{r_{23}}$$

מטעני דמות

שיטה למצא פוטנציאל בבעיות עם מוליכים והתפלגות מטען שאינה אחידה.

השיטה:

- נבנה בעיה מקבילה ללא המוליך.
- בבעיה המקבילה נשאיר את אותה התפלגות המטען שיש בתחום בו אנחנו מחפשים את הפוטנציאל.

בתחום הנוסף (שבו אנחנו לא מחפשים את הפוטנציאל) נוסיף מטענים כך שתנאי השפה בבעיה המקבילה יהיו זהים לתנאי השפה בבעיה המקורית.

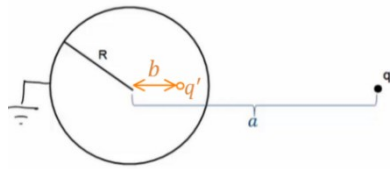
- לפי משפט הקיום והיחידות, הפוטנציאל בבעיה המקבילה (בתחום שאנחנו מחפשים) זהה לפוטנציאל בבעיה המקורית.

המקרה של קליפה כדורית ומטען נקודתי:

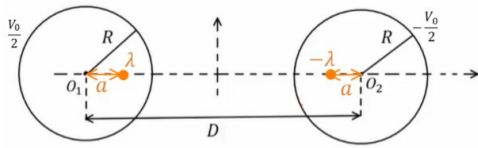
$$q' = -\frac{R}{a}q; b = \frac{R^2}{a}$$

- אם הקליפה נמצאת בפוטנציאל V_0

$$\text{אז נוסף מטען } q'' = \frac{V_0 R}{k}$$



המקרה של שני גלילים אינסופיים:



$$\lambda = \frac{\pi \epsilon_0 V_0}{\ln\left(\frac{D}{2R} + \sqrt{\left(\frac{D}{2R}\right)^2 - 1}\right)}; a = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - R^2}$$

זרם מתח והתנגדות

הזרם הוא כמות המטען שעוברת ביחידת זמן

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

חישוב זרם קבוע או ממוצע:

I הוא סקלר אבל כיוון הזרם נקבע לפי כיוון תנועת המטענים החיוביים.

היחידות הסטנדרטיות של זרם הם אמפר $1A = 1C/sec$

בגרף של $I(t)$ סך המטען שעבר הוא השטח מתחת לגרף.

בגרף של $q(t)$ שיפוע הגרף שווה לזרם. אם הגרף ליניארי

$$q(t) = I \cdot \Delta t + q_0$$

ניתן לרשום:

$$I = n_e A q_e v_d$$

מהירות סחיפה:

n_e - מספר האלקטרונים ליחידת נפח.

A - שטח חתך של המוליך. q_e - מטען האלקטרון.

v_d - מהירות הסחיפה (מהירות ממוצעת של האלק' במוליך)

מהירות האות החשמלי היא המהירות שבה ההשפעה של שינוי במקום אחד במעגל מגיעה למקום אחר (לדוגמה, מהירות שבה תידלק נורה כתוצאה מהדלקה של מתג).

מהירות האות החשמלי היא מהירות האור והיא גדולה בהרבה ממהירות הסחיפה.

מקור מתח מבצע עבודה במעגל חשמלי סגור וגורם לתנועה של המטענים (זרם). המקור אינו מוסיף מטענים למעגל.

חוק אוהם:

$$V = IR$$

V - מתח על הרכיב. I - זרם ברכיב. R - התנגדות הרכיב.

נגד: מוליך שההתנגדות שלו גדולה בהרבה מן החוטים.

$$R = \frac{l}{A} \cdot \rho$$

תלות ההתנגדות במבנה הנגד:

l - אורך הנגד (הדרך שהמטענים עושים בנגד).

A - שטח חתך, שטח בנגד המאונך לכיוון הזרם.

ρ - התנגדות סגולית, תכונה שתלויה בסוג החומר ובמפרטורה ונתונה בטבלאות.

ההתנגדות של נגד משתנה:

$$R(x) = \rho \cdot \frac{x}{A} = rx$$

כאשר x הוא אורך הנגד (המשתנה)

r - ההתנגדות ליחידת אורך

(בדרך קבוע) ביחידות של אוהם למטר.

כא"מ ומתח הדקים בסוללה לא אידיאלית: $\epsilon = V + Ir$

ϵ - כא"מ, המתח המקסימלי של הסוללה.

V - מתח הדקים. r - ההתנגדות פנימית. I - זרם בסוללה.

נוסחה נוספת למתח הדקים עם ההתנגדות השקולה (R_T):

$$V_{\text{הדקים}} = \frac{\epsilon R_T}{R_T + r}$$

וללא הזרם:

$$V_{\text{הדקים}} = \epsilon$$

עבודה אנרגיה והספק ברכיבים במעגל GOOL

העבודה שמתבצעת על מטען q שעובר בנגד תחת מתח V היא:

$$W = qV = Q$$

כאשר Q זה החום שנוצר בנגד.

הספק קבוע או ממוצע:

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

W - העבודה שהתבצעה במרווח הזמן Δt

- היחידות הסטנדרטיות של הספק הן וואט: $1W = 1J/sec$

נוסחה נוספת להספק שנכונה גם להספק רגעי:

$$P = IV = I^2 R = V^2 / R$$

השוויון הראשון נכון לכל רכיב חשמלי והשניים האחרונים (עם R) נכונים רק לנגד.

חיבור נגדים במעגל

הצד בו הפוטנציאל גבוה בנגד הוא

הצד שבו הזרם נכנס לנגד.

חיבור נגדים בטור:

חיבור בטור נעשה כאשר הזרם בנגדים זהה

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

- המתח על הנגד השקול שווה לסכום המתחים

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

חיבור נגדים במקביל:

- חיבור בטור נעשה כאשר המתח בנגדים זהה

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

- הזרם בנגד השקול שווה לסכום הזרמים

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

הספק המעגל הוא סך ההספקים של הנגדים במעגל או

ההספק של הנגד השקול. הספק המעגל שווה להספק המקור (בסוללה אידיאלית).

חוקי קירכהוף

מתאים לפתור מעגלים עם מספר מקורות מתח.

1. סך הזרמים שנכנסים לצומת שווה לסכום הזרמים שיוצאים מהצומת.

2. סכום המתחים בלולאה סגורה שווה לאפס.

נעשה לולאות מתחים עד אשר נעבור על כל הרכיבים במעגל. נוסיף משוואות זרמים ונקבל מערכת משוואות ממנה ניתן למצא את הזרמים.

נצילות:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

η - נצילות המעגל.

P_{out} - ההספק המופק/מנוצל ברכיבים השימושיים במעגל

P_{in} - ההספק המושקע (של הסוללה)

מכשירי מדידה

אמפרמטר(מד זרם):

- נחבר את האמפרמטר בטור לרכיב בו נרצה למדוד את הזרם.

התנגדות האמפרמטר צריכה להיות מאוד קטנה ביחס לנגד. אמפרמטר אידיאלי הוא ללא התנגדות בכלל.

וולטמטר(מד מתח):

- נחבר את הוולטמטר במקביל לרכיב אותו נרצה למדוד.

- התנגדות הוולטמטר צריכה להיות גדולה ככל הניתן (גדולה מאוד ביחס לנגד)

וולטמטר אידיאלי הוא וולטמטר עם התנגדות מאוד מאוד גדולה או התנגדות אינסופית.

גליונומטר: מד זרם שהתנגדותו אינה זניחה.

- שימוש בגליונומטר כמד זרם:

נחבר במקביל לנגד (מיצד) בעל התנגדות נמוכה (בשביל להקטין את ההשפעה של ההתנגדות הגליונומטר על המעגל)

$$I = I_G \left(1 + \frac{R_G}{R_s} \right)$$

I - הזרם במעגל. I_G - הזרם בגליונומטר. R_G - התנגדות הגליונומטר. R_s - התנגדות המיצד.

שימוש בגליונומטר כמד מתח:

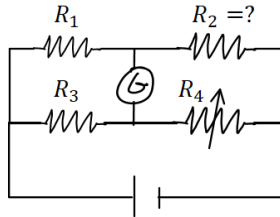


V הוא המתח ברכיב.

$$V = I_G(R_S + R_G)$$

בכל אחד מהמקרים, מגבלת המדידה היא המגבלה של הזרם המקסימלי שיכול למדוד הגליונומטר.

גשר ווינסטון:



התנגדות של נגד.

משנים את ההתנגדות בנגד.

המשתנה עד שהזרם בגליונומטר מתאפס.

ואז:

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_3}$$

GOOL

קבלים

קבל הוא רכיב חשמלי היכול לאגור מטען. קיבול הוא היחס בין המטען על הקבל לבין המתח בו הוא נמצא.

הנוסחה הבסיסית של קבל (הגדרת הקיבול):

$$C = \frac{Q}{V}$$

C - הקיבול של הרכיב. V - המתח בין שני החלקים.

Q - המטען על הלוח החיובי.

יחידות הקיבול הן Farad:

$$1 \cdot \text{Farad} = \frac{1 \cdot \text{Coulomb}}{1 \cdot \text{Volt}}$$

סוגי קבלים נפוצים: קבל לוחות, קבל כדורי וקבל גלילי.

בדרייב ננסוק בקבלים עם שני לוחות (קבל לוחות).

הקיבול של קבל לוחות:

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

A - שטח כל לוח. d - המרחק בין הלוחות.

תכונת הקיבול: הקיבול תלוי רק במבנה הגיאומטרי (אף פעם לא יהיה תלוי במטען על הקבל או במתח שנופל עליו).

לכן הוא תמיד קבוע במעגל (אלא אם משנים את המבנה).

סימון הקבל במעגל:

לאחר שעבר זמן רב הקבל מתנהג כמו נקת במעגל: כאשר מחברים קבל למקור הוא מתחיל לאגור מטען, תהליך זה נקרא טעינה. התהליך נפסק כאשר המתח בקבל שווה והפך למתח המופעל עליו, ברגע זה כבר לא יזרום זרם דרך הקבל. והקבל מתנהג כמו נקת במעגל.

חיבור קבלים במקביל:

$$C_T = C_1 + C_2$$

התנאי לחיבור במקביל הוא שהמתח על הקבלים זהה (זהו גם המתח על הקבל השקול).

המטען על הקבל השקול שווה לסכום המטענים על כל הקבלים.

חיבור קבלים בטור:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

התנאי לחיבור בטור הוא שהמטען על כל הקבלים זהה (זהו g).

המטען של הקבל השקול.

המתח על הקבל השקול שווה לסכום המתחים של כל הקבלים.

אנרגיה האגורה בקבל:

$$U_C = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

העבודה שמבצעת הסוללה לטעינת קבל:

$$W = QV = 2U_C$$

חומרים דיאלקטריים בקבל: הכנסת חומר דיאלקטרי לקבל מקטינה את השדה והמתח בקבל ולכן מגדילה את הקיבול.

קיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד:

$$C' = \epsilon_r C_0$$

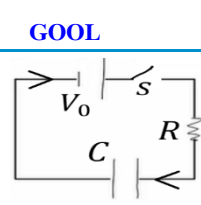
במידה והקבל אינו מלא בחומר אחיד, ניתן לפצל אותו לקבלים חלקיים, לחשב את הקיבול של כל אחד ולחבר זור לפי החוקים של חיבור קבלים בטור או במקביל.

פרוק לגמרי

GOOL

פריקה וטעינה של קבל

מעגל טעינה:



משוואת המתחים:

$$V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$$

$$I = \frac{dq}{dt}$$

המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן (בטעינה):

$$q(t) = CV_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}); V_C(t) = V_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$\tau = RC$ הוא קבוע הזמן אופייני

המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן (בפריקה):

$$q(t) = CV_0(e^{-\frac{t}{\tau}}); V_C(t) = V_0(e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$\tau = RC$ הוא קבוע הזמן אופייני

המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן (בפריקה):

$$q(t) = CV_0(e^{-\frac{t}{\tau}}); V_C(t) = V_0(e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$\tau = RC$ הוא קבוע הזמן אופייני

המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן (בפריקה):

$$q(t) = CV_0(e^{-\frac{t}{\tau}}); V_C(t) = V_0(e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$\tau = RC$ הוא קבוע הזמן אופייני

המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן (בפריקה):

$$q(t) = CV_0(e^{-\frac{t}{\tau}}); V_C(t) = V_0(e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$\tau = RC$ הוא קבוע הזמן אופייני

הזרם כתלות בזמן:

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

בהתחלה ($t = 0$) הקבל מתנהג כמו קצר, המתח והמטען על הקבל הם אפס.

והזרם הוא $\frac{V_0}{R}$.

לאחר זמן רב ($t > 5\tau$) הקבל מתנהג כמו נקת, המטען והמתח קבועים והזרם מתאפס.

מעגל פריקה:

משוואת המתחים:

$$\frac{q}{C} - IR = 0$$

$$I = -\frac{dq}{dt}$$

המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן (בפריקה):

$$q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{\tau}}; V_C(t) = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}}; Q_0 = CV_0$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

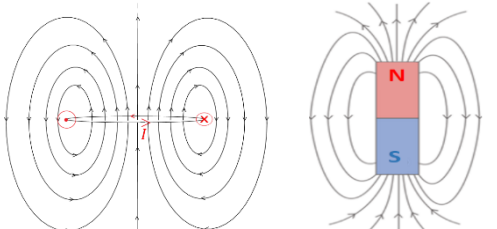
הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הזרם כתלות בזמן (בפריקה):

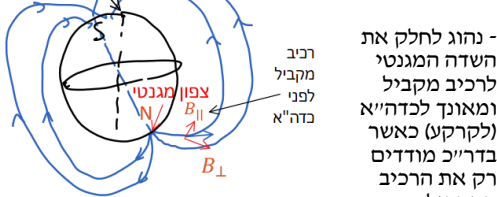
$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

קווי שדה של טבעת, דיפול מגנטי (מגנטי):



השדה המגנטי של כדור הארץ:

הצפון הגאוגרפי אינו הצפון המגנטי.



נהוג לחלק את השדה המגנטי לרכיב מקביל למישור המגנטי ולרכיב כדורי (לכדור). ומאונך לכדור (לכדור) כאשר דרכי מודדים רק את הרכיב המקביל.

שדה של סליל אינסופי:

בתוך הסליל השדה אחיד ושווה ל:

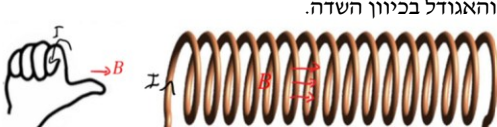
$$B = \frac{\mu_0 N I}{L}$$

N - מספר הליפופים הכולל. L - אורך הסליל.

ניתן להגדיר גם מספר הליפופים ליחידת אורך של הסליל:

$$n = \frac{N}{L}$$

כיוון, לפי כלל הבורג כאשר האצבעות בכיוון הזרם והאגודל בכיוון השדה.



חוק ביו-סבר: השדה המגנטי שיוצרת חתיכת זרם:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I d\vec{l} \times \vec{r}}{4\pi |\vec{r}|^3} = \frac{\mu_0 I d\vec{l} \times \vec{r}}{4\pi |\vec{r}|^2}$$

$\vec{r}$ הוא הוקטור מהחתיכה לנקודה בה מחפשים את השדה.

$d\vec{l}$ הוא אורך החתיכה וכיוונו בכיוון הזרם.

חישוב הכיוון לפי כלל יד ימין:



השדה של תיל סופי:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$$

a - במרכז התיל.

$$B =$$

השדה של טבעת לאורך ציר הסימטריה:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}}$$

כיוון השדה לפי כלל הבורג: כוח ליחידת אורך בין שני תילים מקבילים:

$$\frac{dF}{dl} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

הכוח הוא כוח משיכה אם הזרמים באותו כיוון, ודחייה אם כיוון הזרמים הפוך.

חוק אמפר - המשך השדה המגנטי:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$$

$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$ - הוא סכום לאורך מסלול סגור על הרכיב המקביל למסלול של השדה המגנטי. בדרייב נעבוד במקרים סימטריים בהם הרכיב המקביל יהיה אחיד לאורך קטעים מהמסלול והחישוב יהיה פשוט לכפול את השדה באורך הקטעים.

I_{in} - סך הזרם שעובר דרך השטח הסגור במסלול. המקרים של חוק אמפר:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$$

חוק אמפר:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$$

חוק אמפר:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$$

חוק אמפר:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$$

חוק אמפר:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$$

חוק אמפר:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$$

חוק אמפר:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$$

חוק אמפר:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$$

חוק אמפר:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$$

חוק אמפר:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$$

1. תיל/גליל אינסופי (עם זרם בכיוון ציר הסימטריה). נבחר לולאה בצורת עיגול ברדיוס r ו- $B \cdot 2\pi r \Delta L_i = \Sigma B_{\parallel} \Delta L_i$
2. סליל/גליל (עם זרם מעגלי) נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע l ו- $\Sigma B_{\parallel} \Delta L_i = B \cdot l$
3. מישור אינסופי נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע l ו- $\Sigma B_{\parallel} \Delta L_i = B \cdot 2l$

כוח על תיל נושא זרם ובין שני תילים

גודל הכוח הפועל על **תיל ישר בשדה אחיד** באורך L הנושא זרם I הוא:

$$F = BIL \sin \alpha$$

α - היא הזווית בין השדה לכיוון הזרם.
את כיוון הכוח יש למצא לפי כלל יד ימין כמו בחוק לורנץ על מטען בודד כאשר כיוון הזרם (או כיוון ה- $d\vec{l}$) מחליף את המהירות.

הכוח ליחידת אורך בין שני תילים מקבילים:

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

d - המרחק בין התילים.
כוח משיכה אם הזרמים באותו כיוון ודחייה אם בכיוונים הפוכים

הכוח המגנטי על תיל נושא זרם

הכוח הפועל על חתיכת תיל קטנה באורך dl עם זרם I

הנמצאת בשדה מגנטי B הוא:

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

- אם **התיל ישר בשדה אחיד** אז גודל הכוח הוא:

$$F = BIL \sin \alpha$$

את כיוון הכוח יש למצא לפי כלל יד ימין כמו בחוק לורנץ על מטען בודד כאשר כיוון הזרם (או כיוון ה- $d\vec{l}$) מחליף את המהירות.
- הכוח על לולאה סגורה בשדה אחיד מתאפס.
- הכוח על תיל בשדה אחיד אינו תלוי בצורת התיל, הכוח יהיה זהה לזה הכוח הפועל על תיל ישר המתחיל ומסתיים באותם נקודות.

חוק פאראדי והשראות

כא"מ הנוצר במוט הנע בשדה מגנטי:

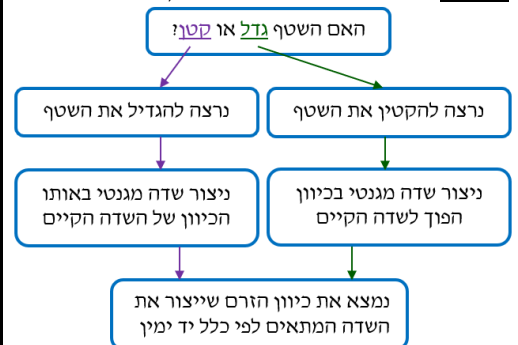
$$\mathcal{E} = BLv \sin \alpha$$

כאשר v היא מהירות המוט, L האורך שלו ו- α היא הזווית בין המהירות לשדה.
כיוון הכא"מ הוא בכיוון של הכוח המגנטי הפועל על מטען חיובי בתוך המוט.

חוק פאראדי:

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

השוויון השני נכון אם $B_{\perp}$ אחיד בכל השטח. הכאמ מתנהג כמו מקור מוחך במעגל. בדיכ נמצא באמצעות החוק רק את גודל הכאמ ואת הכיוון נמצא לפי חוק לנץ.
חוק לנץ: הזרם נוצר בניגוד לשינוי בשטף.



הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה:

$$P = F \cdot v \cdot \cos \alpha$$

כאשר v היא מהירות הגוף ו- α הזווית בין הכוח למהירות

השראות

ההשראות ברכיב:

$$L = \frac{\Phi_B}{I}$$

Φ_B הוא השטף המגנטי דרך הרכיב ו- I הזרם ברכיב.
- ההשראות היא **תכונה שתלויה רק במבנה** ולכן היא בדיכ קבועה.
חישוב השראות לפי הגדרה:
1. נניח שזרם I ברכיב.
2. נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם בתוך הרכיב.
3. נחשב את השטף המגנטי ברכיב.
4. נציב בנוסחה של ההשראות והזרם יצטמצם.

השראות של סליל:

$$L = \frac{\mu_0 \pi a^2 N^2}{l}$$

N מספר הליפופים הכולל, l אורך הסליל ו- a רדיוס טבעת

כא"מ ברכיב עם השראות L :

$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt}$$

האנרגיה האגורה בסליל (או בכל רכיב בעל השראות):

$$U_L = \frac{1}{2} LI^2$$

האנרגיה האגורה בשדה המגנטי:

$$U = \int \frac{B^2}{2\mu_0} dV$$

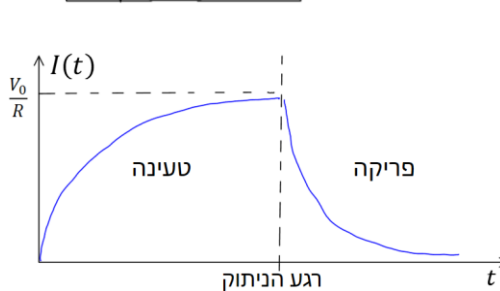
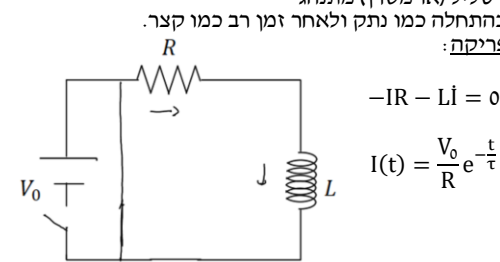
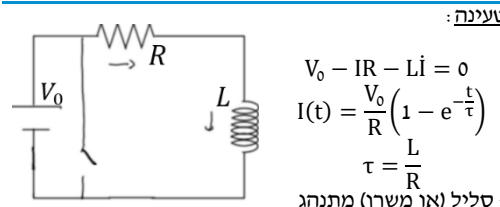
- את האינטגרל עושים על כל המרחב.
- זו אותה האנרגיה שמחשבים באמצעות ההשראות (פשוט צורת חישוב אחרת).

- ניתן לחשב השראות דרך השוואה של שתי הנוסחאות האחרונות של האנרגיה (תניחו זרם והוא יצטמצם בסוף).
המתח על סליל (משורר) במעגל:

$$V_L = LI \dot{I}$$

הצד הגבוה הוא בנקודה שבה נכנס הזרם לסליל.

מעגלי RL



חיבור סלילים (משוררים) במעגל הוא כמו חיבור נגדים:

בטור:

$$L_T = L_1 + L_2 + \dots$$

כאשר $V_T = V_1 + V_2 + \dots$ ו- $I_T = I_1 = I_2 = \dots$

במקביל:

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots$$

כאשר $V_T = V_1 = V_2 = \dots$ ו- $I_T = I_1 + I_2 + \dots$

משוואות מקסוול

הצורה הדיפרנציאלית; הצורה האינטגרלית:

1. חוק גאוס $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho$; $\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{1}{\epsilon_0} \int \rho dV$
 2. $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$; $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$
 3. $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$; $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{s}$
 4. $\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}$; $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{j} \cdot d\vec{s} + \mu_0 \int \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \cdot d\vec{s}$
- מהמשוואה ניתן לקבל את חוק פאראדי $\mathcal{E} = -\dot{\Phi}_B$
- חוק אמפר והתיקון של מקסוול (שנקרא גם זרם העתקה)

גלים אלקטרומגנטיים

משוואות הגלים בריק ($\rho = j = 0$):

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2} ; \vec{\nabla}^2 \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{d^2 \vec{B}}{dt^2}$$

c היא מהירות האור כאשר $\mu_0 \epsilon_0 = \frac{1}{c^2}$

- למשוואות מגיעים ממשוואות מקסוול.
- המשוואה מתקיימת עבור כל רכיב בנפרד:

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2} \Rightarrow \vec{\nabla}^2 E_x = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d^2 E_x}{dt^2} ; \vec{\nabla}^2 E_y = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d^2 E_y}{dt^2} ; \text{כנל } z$$

- תזכורת ללאפליאן: $\vec{\nabla}^2 E_i = \frac{\partial^2 E_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial z^2}$

פתרון המשוואה עבור רכיב כלשהו של $\vec{E}$ או של $\vec{B}$:

$$E_i(\vec{r}, t) = A_i \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)$$

$\vec{k}$ הוא וקטור הגל, כיוונו הוא כיוון התקדמות הגל.

$\vec{k} \cdot \vec{r} = k_x x + k_y y + k_z z$

ω היא התדירות הזוויתית

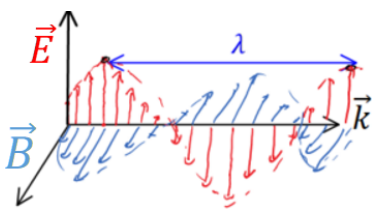
$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

כאשר f היא התדירות בהרץ ו- T הוא זמן המחזור.

- הקוסינוס בפתרון זהה לכל הרכיבים של השדה החשמלי והמגנטי, ההבדל בין הרכיבים הוא רק במקדם A_i .
איד למצא שדה מגנטי מחשמלי ולהפך:

$\vec{B} = \frac{1}{c} \hat{k} \times \vec{E} ; \vec{E} = c \vec{B} \times \hat{k}$

צורת הגל במרחב:



- השדה החשמלי תמיד מאונך לשדה המגנטי ושניהם תמיד מאונכים לכיוון התקדמות הגל.

λ הוא אורך הגל (המרחק בין שיא לשיא):

$$|k| = \frac{2\pi}{\lambda}$$

יחס הדיספרסיה:

$$\omega = c|k|$$

היחס מתקבל מהצבה של הפתרון במשוואות הגלים.

פתרון נוסף (עם פלוס):

$$E_i(\vec{r}, t) = A_i \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} + \omega t)$$

במקרה זה הגל מתקדם בכיוון הפוך ל $\vec{k}$

מעגלי זרם חילופין

מעגל LC

משוואות המעגל:

$$\frac{q}{C} + L \ddot{q} = 0$$

ו- $I = -\dot{q}$
(ניתן גם להגיע לאותה משוואה על הזרם)
המשוואה היא משוואה של תנועה הרמונית פשוטה.

פתרון:

$$q(t) = A \cos(\omega t + \phi) ; \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

האנרגיה האגורה במעגל:

$$E = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} LI^2$$

(האנרגיה הכוללת נשמרת)

מעגל RLC

משוואות המעגל:

$$I = -\dot{q} ; \ddot{q} + \frac{R}{L} \dot{q} + \frac{1}{LC} q = 0$$

(ניתן גם להגיע לאותה משוואה על הזרם)
המשוואה היא משוואה של תנועה הרמונית מרוסנת. נגדיר $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$

ו- $\Gamma = \frac{R}{2L}$

הפתרון מתחלק לשלושה מקרים:

מקרה 1 - ריסון חזק: $\Gamma > \omega_0$

$$q(t) = Ae^{-\lambda_1 t} + Be^{-\lambda_2 t}$$

$\lambda_{1,2} = \Gamma \pm \sqrt{\Gamma^2 - \omega_0^2}$

מקרה 2 - ריסון קריטי: $\Gamma = \omega_0$

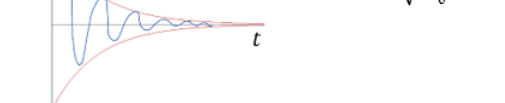
$$q(t) = Ae^{-\omega_0 t} + Bte^{-\omega_0 t}$$

בריסון קריטי קצב הדעיכה הוא הגבוה ביותר משלושת המקרים.

מקרה 3 - ריסון חלש: $\Gamma < \omega_0$

$$q(t) = Ae^{-\Gamma t} \cos(\tilde{\omega} t + \phi)$$

$\tilde{\omega} = \sqrt{\omega_0^2 - \Gamma^2}$



בכל המקרים האנרגיה של המעגל (שאגורה בסליל ובקבל) דועכת בקצב כפול:

$$E \propto e^{-2\Gamma t}$$

(בריסון חזק קבוע הדעיכה הוא λ במקום Γ)

מעגלים עם מקור מתח חילופין:

משוואות המעגל:

$$\ddot{I} + \frac{R}{L} \dot{I} + \frac{1}{LC} I = -\omega V_0 \sin(\omega t)$$

ו- $I = \dot{q}$
(ניתן גם להגיע למשוואה דומה עבור המטען)

המשוואה היא משוואה של תנועה הרמונית מאולצת.
פתרון המשוואה:

פתרון הומוגני $I(t) = I_{max}(\omega) \cos(\omega t + \phi)$

- הפתרון ההומוגני הוא פתרון מעגל RLC והוא דועך בזמן. הפתרון הפרטי נקרא הפתרון של המצב העמיד (לאחר זמן רב) בדיכ מתייחסים רק אליו.

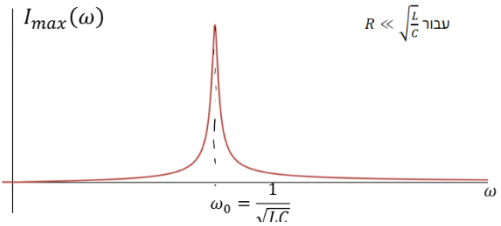
$$I_{max}(\omega) = \frac{V_0}{\sqrt{\left(\frac{1}{\omega C} - \omega L \right)^2 + R^2}}$$

$$\tan \phi = \frac{\omega L}{\frac{1}{\omega C} - \omega L}$$

תהודה: מצב שבו $I_{max}(\omega)$ מקסימאלי.
- שימו לב, I_{max} הוא אמפליטודת הזרם במעגל עם מקור בעל תדירות ω מסוימת. תהודה מדברת על איזה תדירות

צריך שתהיה למקור כך שהאמפליטודה הזו תהיה הכי גבוהה שאפשר.
 - בשביל למצוא את תדירות ההתודה במקרה כללי צריך

לגזור את I_{max} לפי ω ולהשוות לאפס. עבור $R \ll \sqrt{\frac{L}{C}}$



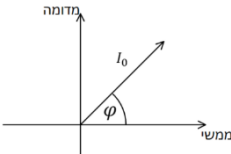
מקבלים אמפליטודה מקסימאלית כאשר $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
פתרון עם מספרים מורכבים:

אם כל המשתנים הם פונקציות מהצורה $A \cos(\omega t + \varphi)$ והמשוואות שלנו לינאריות. אז יותר נוח לעבוד עם מספרים מורכבים. כך ש:

$$I(t) = I_0 \cos(\omega t + \varphi) = \text{Re}\{\tilde{I}(t)\}$$

$$\tilde{I}(t) = I_0 e^{i(\omega t + \varphi)}$$

(בדרי"כ לא רושמים את הגל) בעבודה עם מספרים מורכבים אפשר להוריד את התלות בזמן
פאזור: תיאור של המספר המורכב באמצעות וקטור במערכת דו מימדית. הפאזור מסתובב בזמן אבל בדרי"כ מסתכלים רק על הפאזור ב $t=0$



עכבה **Impedance:** $Z = \frac{\tilde{V}}{\tilde{I}}$
 תכונה שתלוייה רק במבנה (קבועה כל עוד המבנה קבוע).
הפאזה של העכבה היא הפאזה של המתח ביחס לזרם

ברכיב: $\varphi_z = \varphi_v - \varphi_I$
הגודל של העכבה: $|Z| = \frac{V_{max}}{I_{max}}$

הרכיב	העכבה של הרכיב Z	הפאזה של המתח ביחס לזרם ברכיב
נגד	R	המתח והזרם בנגד הם באותה הפאזה
סליל	$i\omega L$	בסליל המתח מקדים את הזרם ב $\frac{\pi}{2}$
קבל	$\frac{1}{i\omega C}$	בקבל המתח מפגר אחרי הזרם ב $\frac{\pi}{2}$

ניתן לחבר עכבות בדיוק כמו חיבור של נגדים ולקבל את העכבה הכוללת של המעגל: $\tilde{V}_s = Z_T \tilde{I}_s$

$\tilde{V}_s$ ו- $\tilde{I}_s$ הם הזרם והמתח של המקור (בייצוג המורכב).
ערכי RMS (ממוצע של ריבוע הגודל בזמן):

$$I_{RMS} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} ; V_{RMS} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

הספק רגעי: $P(t) = V(t)I(t)$
 לשים לב שההספק הרגעי הוא לא גודל לינארי ולכן אי אפשר לחשב אותו באמצעות הייצוג המורכב של המתח והזרם.

$$\bar{P} = \frac{V_{max} I_{max}}{2} \cos \varphi = V_{RMS} I_{RMS} \cos \varphi$$

כאשר φ היא הפאזה של המתח ביחס לזרם.
 $\cos \varphi$ הוא מקדם/גורם ההספק. מצביע על ניצול האנרגיה במעגל.