

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

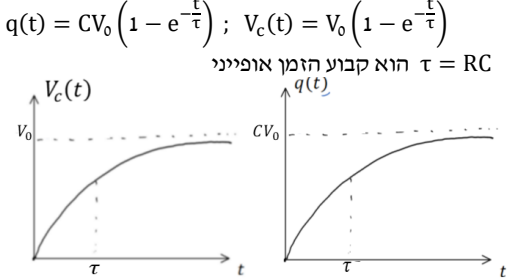
הדף מיועד לכל שימוש שאינו מסחרי ובפרט לשימוש מרצים, מורים, סטודנטים ותלמידים בקורסים שונים, ניתן לערוך את הדף אך יש להשאיר סימונים של אתר גול.

שיטה 2 לחישוב קיבול - פירוק הקבל לקבלים חלקיים:
 א. נפרק את הקבל לקבלים שמחוברים בטור או במקביל
 ב. נחשב את הקיבול של כל אחד
 ג. נחבר חזרה באמצעות הנוסחאות

אנרגיה האגורה בקבל: $U_C = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} qV$
העבודה שמבצעת הסוללה: $W_S = \Delta q V_S = -2\Delta U_C$
 Δq הוא המטען שעבר דרכה (וזה המטען שקיבל הקבל)
כוח הפועל על חומר דיאלקטרי בקבל: $F = \left| \frac{dU_C}{dx} \right|$
 הכוח תמיד מושך את החומר פנימה.

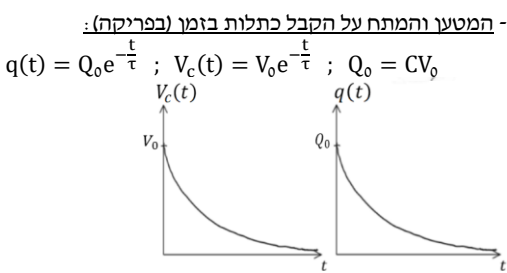
פריקה וטעינה של קבל

מגנל טעינה:
משוואות 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



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 נתק, המטען והמתח קבועים והזרם מתאפס.

מגנל פריקה:
משוואות 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 זהה לטעינה: $I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$

מבנה הנגד וצפיפות זרם

התלות של ההתנגדות במבנה הנגד: $R = \rho \frac{L}{S}$
 ρ - התנגדות סגולית, תלויה בחומר (לא להתבלבל עם צפיפות מטען נפחית).
 L - אורך הנגד, הדרך שהמטענים עושים בנגד.
 S (או A) - שטח החתך, משטח שמאונך לכיוון הזרם.
שטח החתך וההתנגדות הסגולית צריכים להיות אחידים לאורך הנגד. במידה והם לא אחידים צריך לחלק את הנגד לחתיכות, לחשב התנגדות של כל חתיכה ולסכום לפי סוג החיבור (במקביל/בטור)
מוליכות (לא לבבל עם צפיפות מטען משטחית): $\sigma = \frac{1}{\rho}$
צפיפות הזרם ליחידת שטח: $\vec{J} = \int \vec{J} \cdot d\vec{S}$
 כאשר האינטגרל הוא על שטח החתך, שטח שמאונך ל- $\vec{J}$.
אם $\vec{J}$ אחידה אז: $I = JS$
חוק אוהם הדיפרנציאלי: $\vec{J} = \sigma \vec{E}$
 כאשר σ היא המוליכות ו- E השדה החשמלי.
חישוב צפיפות זרם עבור צפיפות מטען נפחית בתנועה:
 $\vec{J} = \rho \vec{v}$
 כאשר ρ היא צפיפות נושאי המטען ליחידת נפח ו- $\vec{v}$ היא מהירות נושאי המטען. במוליך, $\rho = nq$ כאשר n הוא מספר נושאי המטען ליחיד נפח ו- q הוא המטען של נושא מטען יחיד, בד"כ אלקטרון. מהירות המטענים נקראת

במקביל: $\frac{1}{R_T} = \sum \frac{1}{R_i}$, $I_T = \sum I_i$, $V_T = V_i$

מד זרם (אמפרמטר) אידיאלי: מחובר בטור ובעל התנגדות זניחה.

מד מתח (וולטמטר) אידיאלי: מחובר במקביל לרכיב הנמדד, בעל התנגדות מאוד גבוהה.

החספק בנגד: $P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R}$

$P = IV$ נכון לכל רכיב חשמלי, שני השוויונים האחרים הם לאחר שימוש בחוק אוהם ונכונים רק בנגד.

נתק: מצב בו לא עובר זרם - חוט חתוך או התנגדות אינסופית.

קצר: מצב בו אין התנגדות

מקור מתח לא אידיאלי: $V = \mathcal{E} - Ir$

V - מתח הדקים, המתח בין קצוות הסוללה או המתח שמרגיש המעגל - תלוי בזרם.

$\mathcal{E}$ - כא"מ הסוללה, מתח פנימי שאינו משתנה.

r - ההתנגדות הפנימית.

חוקי קירכהוף (לפתרון מעגלים מורכבים):

- נגדיר זרם לכל חוט במעגל.

- נרשום משוואות מתחים, סכום המתחים במסלול סגור שווה לאפס.

- נרשום משוואות זרמים, בכל צומת סך הזרם שנכנס שווה לסך הזרם שיוצא.

- נפתור את מערכת המשוואות.

שיטת קרמר (לפתרון מערכת משוואות): $I_i = \frac{\Delta_i}{\Delta}$

Δ - דטרמיננטה של מערכת המשוואות ההומוגנית (ללא הפרעות).

לדוגמה, עבור מערכת המשוואות הבאה:

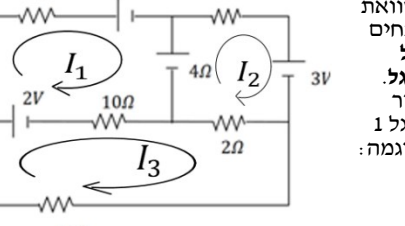
$$\begin{cases} 3I_1 + 4I_2 + 8I_3 = 5 \\ 2I_1 - 5I_2 + 9I_3 = 1 \\ 4I_1 + 3I_2 - 7I_3 = 3 \end{cases} \quad \Delta = \begin{vmatrix} 3 & 4 & 8 \\ 2 & -5 & 9 \\ 4 & 3 & -7 \end{vmatrix}$$

Δ_i - דטרמיננטה של מערכת המשוואות שהוחלפה בה העמודה ה- i בעמודות התשובות. לדוגמה, במערכת הנ"ל:

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3 & 5 & 8 \\ 2 & 1 & 9 \\ 4 & 3 & -7 \end{vmatrix}$$

זרמי חוגים:

1. נחלק את המעגל למעגלים סגורים ונבחר זרמים לכל מעגל. לדוגמה:



2. נעשה משוואות מתחים לכל מעגל. עבור מעגל 1 בדוגמה:

$$5I_1 + 4 + 4 + 10(I_1 - I_3) - 2 = 0$$

3. נפתור את מערכת המשוואות

חומרים דיאלקטרים

הגדרת הקיבול: $C = \frac{|q|}{|V|}$

הקיבול היא תכונה קבועה ותלויה רק במבנה הגיאומטרי של הגוף (ולא במתח או במטען על הרכיב).

קיבול של קבל לוחות: $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$

A - שטח כל לוח. d - מרחק בין הלוחות, $d \ll \sqrt{A}$.

שדה בתוך קבל לוחות: $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{V}{d}$

σ - צפיפות המטען ליחידת שטח בכל לוח.

V - המתח בין הלוחות. d - מרחק בין הלוחות.

קיבול של קבל גלילי: $C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln \frac{b}{a}}$

a ו-b - רדיוס הגליל הפנימי והחיצוני בהתאמה.

L - אורך הגלילים, $a, b \ll L$.

הקיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד: $C' = kC_0$

k (או ϵ_r) - המקדם הדיאלקטרי של החומר.

C_0 - הקיבול ללא החומר הדיאלקטרי.

חיבור קבלים בטור (קבלים עם מטען זהה):

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

כאשר $Q_T = Q_1 = Q_2$ ו- $V_T = V_1 + V_2$

חיבור קבלים במקביל (מתח זהה): $C_T = C_1 + C_2$

כאשר $Q_T = Q_1 + Q_2$ ו- $V_T = V_1 = V_2$

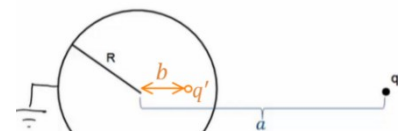
שיטה 1 לחישוב קיבול - לפי הגדרה:

א. נניח שיש מטען Q על לוחות הקבל.

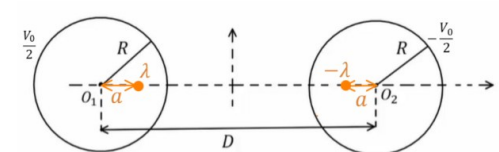
ב. נחשב את השדה בין הלוחות

ג. נחשב את המתח בין הלוחות

ד. נציב בנוסחה (בדרכי ק"צטמצם)



המקרה של שני גלילים אינסופיים:



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

חומרים דיאלקטרים

חומר דיאלקטרי הוא חומר שמכיל דיפולים. במצב רגיל כל דיפול לכיוון שונה והשדה הממוצע בחומר הוא אפס.

כשמכנסים את החומר לשדה חצוני הדיפולים מתיישרים ויוצרים שדה מנוגד לשדה החיצוני.

השדה בתוך חומר דיאלקטרי לינארי ואיזוטרופי:

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_{free}}{\epsilon_r}$$

$\vec{E}_{free}$ הוא השדה שנוצר ממטענים חופשיים/מחוץ לחומר.

$\vec{E}$ הוא השדה הכולל בתוך החומר (מהמטענים החופשיים והדיפולים של החומר).

ϵ_r או k - מקדם דיאלקטרי של החומר - תכונה של החומר בדרכי קבוע וידוע. $\epsilon_r > 1$ ו- $\epsilon_r = \epsilon_0 \epsilon_r$

σ_{free} - צפיפות המטען שיוצרת את השדה החיצוני:

$$\sigma_{free} = \epsilon_0 \Delta E_{free \perp}$$

σ_T - צפיפות המטען הכוללת:

$$\sigma_T = \epsilon_0 \Delta E_{\perp}$$

σ_i - צפיפות מטען מושרית/קשורה: צפיפות מטען שנוצרת על שפת החומר הדיאלקטרי מהקיטוב של הדיפולים.

$$\sigma_i = \sigma_T - \sigma_{free}$$

$\vec{P}$ - וקטור הפולריזציה. צפיפות הדיפולים ליחידת נפח:

$$\vec{P} = N \vec{p}_1$$

$\vec{p}_1$ - מומנט הדיפול של דיפול יחיד בחומר.

N - מספר הדיפולים ביחידת נפח. יחידות של $\left[\frac{1}{m^3} \right]$.

$$\vec{p} = \int \vec{P} dV$$

מומנט הדיפול הכולל בחומר:

$$\vec{P} \text{ הקשר בין } \vec{P} \text{ לצפיפות המושרית על השפה:}$$

$$\sigma_i \equiv \sigma_b = \vec{P} \cdot \hat{n}$$

כאשר $\hat{n}$ הוא וקטור יחידה המאונך לשפה כלפי חוץ מהגוף.

אם $\vec{P}$ לא אחיד אז יש גם צפיפות מטען מושרית נפחית בתוך החומר:

$$\rho_i \equiv \rho_b = -\vec{\nabla} \cdot \vec{P}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

וקטור העתקה:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}_0$$

חומר איזוטרופי:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$$

מגנלי זרם ישר

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_f \Leftrightarrow \oint \vec{D} \cdot d\vec{s} = Q_{inf}$$

חומרים לינארים (בדרכי בשאלות): $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}_0$$

חומר איזוטרופי:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$$

מגנלי זרם ישר

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

זרם: כמות המטען שעוברת (דרך שטח חתך) ביחידת זמן.

חוק אוהם: הקשר בין המתח לזרם בנגד: $V = IR$

חיבור נגדים בטור: נגדים עם זרם זהה: $R_T = R_1 + R_2$

כאשר R_T התנגדות הנגד השקול.

$V_T = V_1 + V_2$

$I_T = I_1 = I_2$

כאשר I_T ו- V_T הם המתח והזרם בנגד השקול.

חיבור נגדים במקביל: נגדים עם מתח זהה:

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

$$I_T = I_1 + I_2$$

$$V_T = V_1 = V_2$$

עבור יותר משני נגדים הנוסחאות ממשיכות באופן דומה:

$$R_T = \sum R_i, V_T = \sum V_i, I_T = I_i$$

בטור:

מהירות הסחיפה $\vec{v}_{\text{drift}}$.

$\vec{k}$ - צפיפות הזרם ליחידת אורך:

$$I = \int \vec{k} \cdot d\vec{l}$$

כאשר האינטגרל הוא על אורך שמאונך ל- $\vec{k}$

$\vec{k}$ אחידה אז:

$$I = k l$$

חישוב צפיפות זרם עבור צפיפות מטען משטחית בתנועה:

$$\vec{k} = \sigma \vec{v}$$

עבור צפיפות מטען ליחידת אורך λ בתנועה נקבל:

$$I = \lambda v$$

הכוח המגנטי - חוק לורנץ

$$\vec{F}_B = q \vec{v} \times \vec{B}$$

ניתן לחשב את הכוח בשני דרכים.

דרך דטרמיננטה (ראו מכפלה וקטורית בוקטורים).

דרך גודל וכיוון: $F_B = qvB \sin \alpha$ הגודל הוא:

כאשר α היא הזווית בין המהירות לשדה. וכיוון לפי כלל יד ימין:

שימו לב שאתם עם יד ימין!

כיוון הכוח הוא עבור מטען חיובי (עבור מטען שלילי הכוח בכיוון הפוך).

לא להפוך את הסדר של האצבע והאמה (עדיף לעשות קודם אקדח).

תנועה בשדה אחיד: מטען q בעל מסה m הנע במהירות v בשדה מגנטי אחיד (המאונך למהירות) עושה תנועה מעגלית, רדיוס המעגל הוא:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

אם v לא מאונך למהירות אז התנועה תהיה בורגית כאשר המעגל יהיה מסביב לשדה, רדיוס המעגל יהיה:

$$R = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$$

$v \cos \alpha$ היא מהירות ההתקדמות לאורך ציר השדה.

עבודת הכוח המגנטי: תמיד מתאפסת (כי הוא מאונך לתנועה).

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- dl) מחליף את המהירות.

הכוח על לולאה סגורה בשדה אחיד מתאפס.

הכוח על תיל בשדה אחיד אינו תלוי בצורת התיל, הכוח יהיה זהה לכוו הפועל על תיל ישר המתחיל ומסתיים באותם נקודות.

חוק ביו-סבר

חוק ביו-סבר, השדה המגנטי שיוצרת חתיכת זרם:

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

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

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

חישוב הכיוון לפי כלל יד ימין:

או

או

או

או

או

או

או

או

או

או

או

או

או

או

או

או

או

או

או

או

או

או

או

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{s} ; \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{d\vec{B}}{dt} \quad 3.$$

מהשוואה ניתן לקבל את חוק פאראדי $\varepsilon = -\dot{\phi}_B$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{j} \cdot d\vec{s} + \mu_0 \int \varepsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \cdot d\vec{s} ; \quad 4.$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}$$

חוק אמפר והתיקון של מקסוול (שנקרא גם זרם העתקה)

גלים אלקטרומגנטיים

משוואות הגלים בריק ($\rho = j = 0$):

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

c היא מהירות האור כאשר $c = \frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0}$

למשוואות מגיעים ממשוואות מקסוול.

המשוואה מתקיימת עבור כל רכיב בנפרד:

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \vec{\nabla}^2 E_x = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d^2 E_x}{dt^2} ; \quad \vec{\nabla}^2 E_y = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d^2 E_y}{dt^2} ; \quad \text{כנל } z$$

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

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

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

$\vec{k} = (k_x, k_y, k_z)$ הוא וקטור הגל, כיוונו הוא כיוון התקדמות הגל.

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

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad \omega \text{ היא התדירות הזוויתית}$$

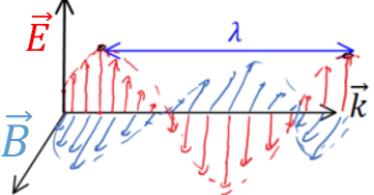
כאשר f היא התדירות בהרץ ו- T הוא זמן המחזור.

הקוסינוס בפתרון זהה לכל הרכיבים של השדה החשמלי והמגנטי, ההבדל בין הרכיבים הוא רק במקדם A_i .

אין למצוא שדה מגנטי מחשמלי ולהפך:

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

צורת הגל במרחב:



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

$$|k| = \frac{2\pi}{\lambda} ; \quad \lambda \text{ הוא אורך הגל (המרחק בין שיא לשיא):}$$

$$\omega = c|k| ; \quad \text{יחס הדיספרסיה:}$$

היחס מתקבל מהצבה של הפתרון במשוואות הגלים.

$$E_i(\vec{r}, t) = A_i \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} + \omega t) ; \quad \text{פתרון נוסף (עם פלוס):}$$

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

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

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

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

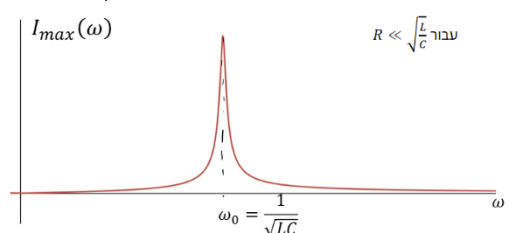
$$\tan \varphi = \frac{\frac{1}{\omega C} - \omega L}{R}$$

התודה: 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 התהודה 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:

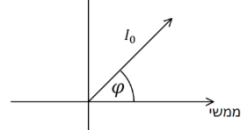
אם כל המשתנים הם פונקציות מהצורה $A \cos(\omega t + \varphi)$ והמשוואות שלנו לינאריות. אז יותר נוח לעבוד עם מספרים מורכבים. כך ש:

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

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

(בד"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 בד"כ מסתכלים רק על הפאזור ב $t=0$

$$Z = \frac{\tilde{V}}{\tilde{I}}$$

עכבה Impedance:

תכונה שתלויה רק במבנה (קבועה כל עוד המבנה קבוע). הפאזה של העכבה היא הפאזה של המתח ביחס לזרם

$$\varphi_z = \varphi_v - \varphi_i$$

$$|Z| = \frac{V_{max}}{I_{max}} ; \quad \text{הגודל של העכבה:}$$

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

$$\tilde{V}_s = Z_T \tilde{I}_s ; \quad \text{העכבה הכוללת של המעגל:}$$

$\tilde{V}_s$ ו- $\tilde{I}_s$ הם הזרם והמתח של המקור (בייצוג המורכב).

ערכי RMS (ממוצע של ריבוע הגודל בזמן):

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

$$P(t) = V(t)I(t) ; \quad \text{הספק רגעי:}$$

לשים לב שההספק הרגעי הוא לא גודל לינארי ולכן אי אפשר לחשב אותו באמצעות הייצוג המורכב של המתח והזרם.

$$\bar{P} = \frac{V_{max} I_{max}}{2} \cos \varphi = V_{RMS} I_{RMS} \cos \varphi ; \quad \text{הספק ממוצע:}$$

כאשר φ היא הפאזה של המתח ביחס לזרם.

$\cos \varphi$ הוא מקדם/גורם ההספק. מצביע על ניצול האנרגיה

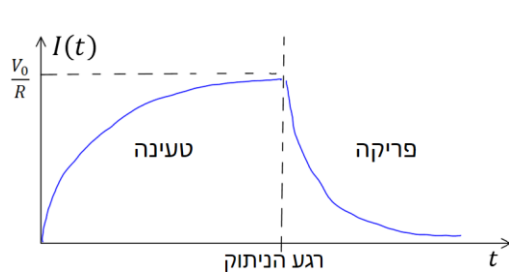
משוואות מקסוול

הצורה הדיפרנציאלית: הצורה האינטגרלית:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{1}{\varepsilon_0} \int \rho dV ; \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0} \rho$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0 ; \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

השטף מגנטי על משטח סגור תמיד אפס, אין מטען מגנטי.



חיבור סלילים (משרנים) במעגל הוא כמו חיבור נגדים:

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

בטור: $V_T = V_1 + V_2 + \dots \rightarrow I_T = I_1 = I_2 = \dots$

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

במקביל:

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

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

השראות הדדית

השראות הדדית:

$$M_{1,2} = \frac{\Phi_1}{I_2}$$

חישוב השראות הדדית:

1. נניח שזרם I_2 ברכיב 2.

2. נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם ברכיב 1.

3. נחשב את השטף המגנטי ברכיב 1.

4. נציב בנוסחה של השראות ו- I_2 יצטמצם.

השראות הדדית תמיד סימטרית $M_{2,1} = M_{1,2} = M$

ולכן ניתן תמיד לחשב $M_{1,2}$ ולהסיק על $M_{2,1}$ (או להפך).

יחס המתחים בשנאי:

$$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

N הוא מספר הליפופים בכל צד.

מעגלי זרם חילופין

מעגל LC:

$$\frac{q}{C} + L\ddot{q} = 0 ; \quad I = -\dot{q}$$

(ניתן גם להגיע לאותה משוואה על הזרם)

המשוואה היא משוואה של תנועה הרמונית פשוטה.

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

האנרגיה האגורה במעגל:

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

(האנרגיה הכוללת נשמרת)

מעגל RLC:

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

(ניתן גם להגיע לאותה משוואה על הזרם)

המשוואה היא משוואה של תנועה הרמונית מרוסנת. נגדיר $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$

$$\Gamma = \frac{R}{2L} ; \quad \text{הפתרון מתחלק לשלושה מקרים:}$$

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

משולשת המקרים.

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

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

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

בכל המקרים האנרגיה של המעגל (שאגורה בסליל ובקבל)

$$E \propto e^{-2\Gamma t} ; \quad \text{דועכת בקצב כפול:}$$

(בריסון חזק קבוע הדעיכה הוא λ במקום Γ)

מעגלים עם מקור מתח חילופין:

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

משוואות המעגל:

$$I = \dot{q}$$

(ניתן גם להגיע למשוואה דומה עבור המטען)

המשוואה היא משוואה של תנועה הרמונית מאולצת.

פתרון המשוואה:

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

בכל המקרים האנרגיה של המעגל (שאגורה בסליל ובקבל)

$$E \propto e^{-2\Gamma t} ; \quad \text{דועכת בקצב כפול:}$$

(בריסון חזק קבוע הדעיכה הוא λ במקום Γ)

מעגלים עם מקור מתח חילופין:

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

משוואות המעגל:

$$I = \dot{q}$$

(ניתן גם להגיע למשוואה דומה עבור המטען)

המשוואה היא משוואה של תנועה הרמונית מאולצת.

פתרון המשוואה: