

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.

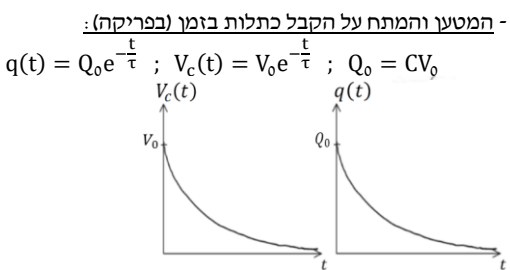
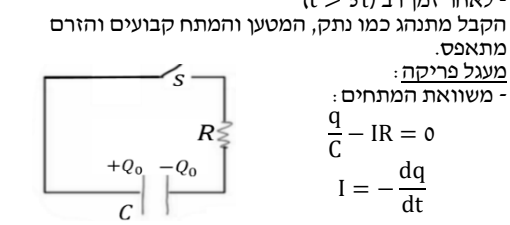
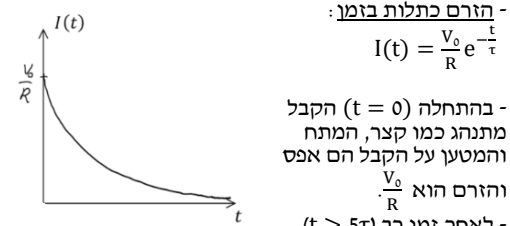
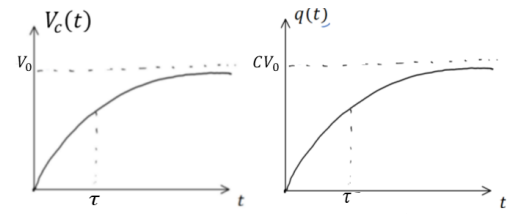
בסוף הטור הראשון עוברים לטור השני באותו עמוד (ולא לעמוד הבא). בסוף הטור האחרון עוברים לטור הראשון (הימני) בעמוד הבא.

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.

[illegible]



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

מבנה הנגד וצפיפות זרם

התלות של ההתנגדות במבנה הנגד: $R = \rho \frac{L}{S}$

הזרם כתלות בזמן בפריקה זהה לטעינה: $I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$

צפיפות הזרם ליחידת שטח: $\vec{J} = \int \vec{J} \cdot d\vec{S}$

חוק אוהם הדיפרנציאלי: $\vec{J} = \sigma \vec{E}$

כוח אוחסן הדיפרנציאלי: $\vec{F} = \rho \vec{v}$

כוח אוחסן הזרם ליחידת שטח: $\vec{F} = \rho \vec{v}$

כוח אוחסן הזרם ליחידת אורך: $\vec{F} = \rho \vec{v}$

כוח אוחסן הזרם ליחידת אורך: $\vec{F} = \rho \vec{v}$

כוח אוחסן הזרם ליחידת אורך: $\vec{F} = \rho \vec{v}$

כוח אוחסן הזרם ליחידת אורך: $\vec{F} = \rho \vec{v}$

כוח אוחסן הזרם ליחידת אורך: $\vec{F} = \rho \vec{v}$

כוח אוחסן הזרם ליחידת אורך: $\vec{F} = \rho \vec{v}$

כוח אוחסן הזרם ליחידת אורך: $\vec{F} = \rho \vec{v}$

כוח אוחסן הזרם ליחידת אורך: $\vec{F} = \rho \vec{v}$

כוח אוחסן הזרם ליחידת אורך: $\vec{F} = \rho \vec{v}$

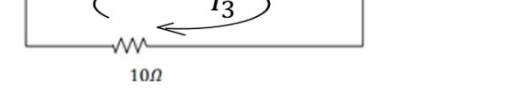
Δ - דטרמיננטה של מערכת המשוואות ההומוגניות (ללא הפרעות). לדוגמה, עבור מערכת המשוואות הבאה:

$$\begin{vmatrix} 3 & 4 & 8 \\ 2 & -5 & 9 \\ 4 & 3 & -7 \end{vmatrix} = 0$$

Δ_i - דטרמיננטה של מערכת המשוואות שהוחלפה בה העמודה ה-i בעמודת 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. לדוגמה:

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

3. נפתור את מערכת המשוואות

הגדרת הקיבול: $C = \frac{|q|}{|V|}$

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

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

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

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

חיבור קבלים בטור (קבלים עם מטען זהה): $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$\vec{E} = \frac{\vec{E}_{free}}{\epsilon_r}$ הוא השדה שנוצר ממטענים חופשיים/מחולק. $\vec{E}$ הוא השדה הכולל בתוך החומר (מהמטענים החופשיים והדיפולים של החומר).

ϵ_r או κ - מקדם דיאלקטרי של החומר - תכונה של החומר בדרכי קבוע וידוע: $\epsilon_r > 1$ - $\epsilon_r = \epsilon_0 \epsilon_r$

σ_{free} - צפיפות המטען שיוצרת את השדה החיצוני: $\sigma_{free} = \epsilon_0 \Delta E_{free}$

σ_T - צפיפות המטען הכוללת: $\sigma_T = \epsilon_0 \Delta E_T$

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 $[\frac{1}{m^3}]$

מומנט הדיפול הכולל בחומר: $\vec{p} = \int \vec{P} dV$

הקשר בין $\vec{P}$ לצפיפות המושרית על השפה: $\sigma_i \equiv \sigma_b = \vec{P} \cdot \hat{n}$

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

אם $\vec{P}$ לא אחיד אז יש גם צפיפות מטען מושרית נפחית בתוך החומר: $\rho_i \equiv \rho_b = -\vec{\nabla} \cdot \vec{P}$

וקטור העתקה: $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$

חוק גאוס למטען החופשי: $\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_f \Leftrightarrow \oint \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q_{in_f}$

בחומרים לינארים (בדרכ"ב בשאלות): $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$

חומר איזוטרופי: $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}_0$

מעגלי זרם ישר: $I = \frac{dq}{dt}$

זרם: $I = \frac{dq}{dt}$

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.

חיבור נגדים במקביל - נגדים עם מתח זהה: $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

כאשר $V_T = V_1 = V_2$ ו- $I_T = I_1 = I_2$ הם המתח והזרם בנגד השקול.

חיבור נגדים במקביל - נגדים עם מתח זהה: $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

כאשר $V_T = V_1 = V_2$ ו- $I_T = I_1 = I_2$ הם המתח והזרם בנגד השקול.

חיבור נגדים במקביל - נגדים עם מתח זהה: $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

כאשר $V_T = V_1 = V_2$ ו- $I_T = I_1 = I_2$ הם המתח והזרם בנגד השקול.

חיבור נגדים במקביל - נגדים עם מתח זהה: $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

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

השראות של סליל:

N מספר הליפופים הכולל, l אורך הסליל ו- a רדיוס טבעת
 כא"מ ברכיב עם השראות L :
 $\varepsilon = -L \dot{I}$
 האנרגיה האגורה בסליל (או בכל רכיב בעל השראות):

$$U_L = \frac{1}{2} L I^2$$

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

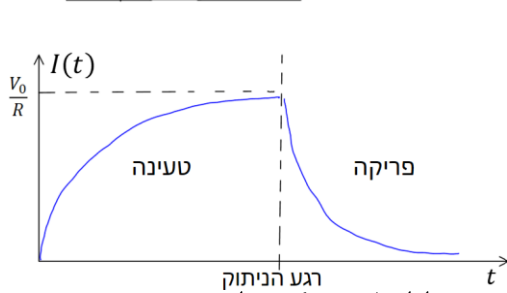
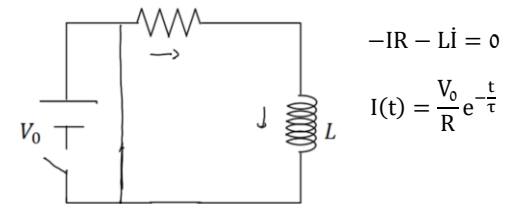
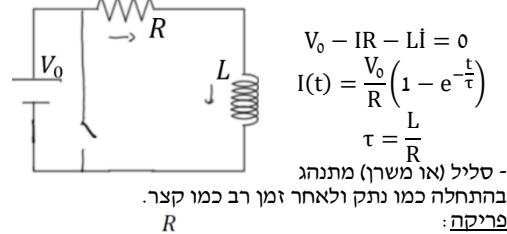
האנרגיה האגורה בשדה המגנטי:

- 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 (משך) במעגל:
 $V_L = L \dot{I}$
 הצד הגבוה הוא בנקודה שבה נכנס הזרם לסליל.

GOOL

מעגלי RL

טעינה:



חיבור סלילים (משרנים) במעגל הוא כמו חיבור נגדים:

בטור: $L_T = L_1 + L_2 + \dots$

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

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

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

GOOL

השראות הדדית

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

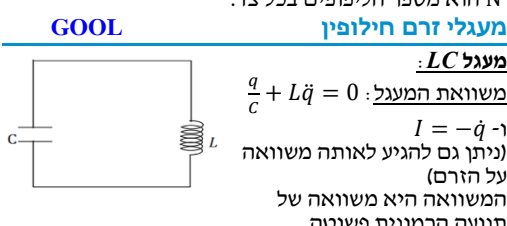
השראות הדדית:

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 ההשראות ו- I_2 יצטמצם.
 - השראות הדדית תמיד סימטרית $M_{1,2} = M_{2,1} = M$
 ולכן ניתן תמיד לחשב $M_{1,2}$ ולהסיק על $M_{2,1}$ (או להפך).
 יחס המתחים בשנאי:
 $\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{N_2}{N_1}$

N הוא מספר הליפופים בכל צד.

GOOL

מעגלי זרם חילופין



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

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

האנרגיה האגורה במעגל:

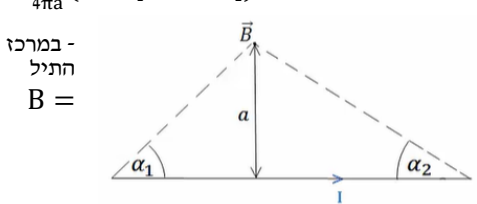
(האנרגיה הכוללת נשמרת)

- חישוב הכיוון לפי כלל יד ימין:



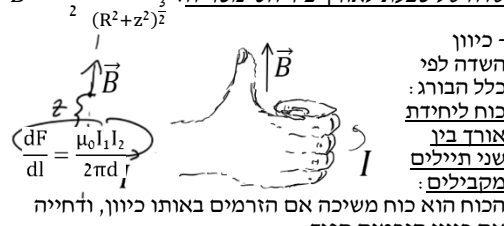
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$$

השדה של תיל סופי:



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

שדה של טבעת לאורך ציר הסימטריה: $(\frac{L}{2})^2 + a^2$

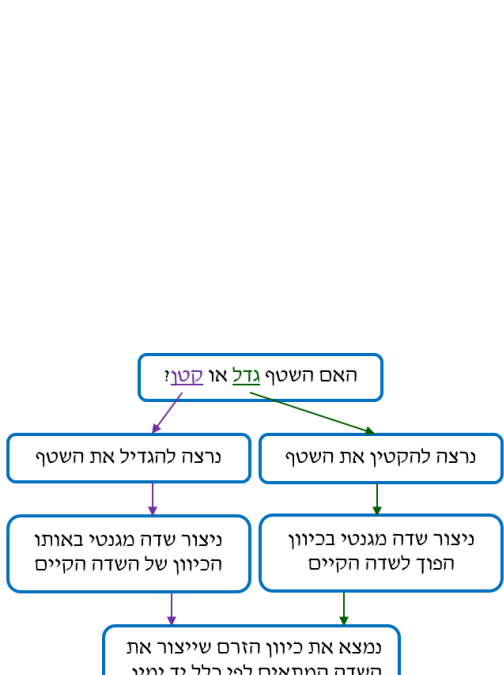


הכוח הוא כוח משיכה אם הזרמים באותו כיוון, ודחייה אם כיוון הזרמים הפוך.

GOOL

חוק פאראדיי

חוק פאראדיי: $\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$; $\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$
 הכא"מ מתנהג כמו מקור מתח במעגל.
 בד"כ נמצא באמצעות החוק את גודל הכא"מ ואת הכיוון נמצא לפי חוק לנץ.
 חוק לנץ: הזרם נוצר בניגוד לשינוי בשטף.



הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה: $P = \vec{F} \cdot \vec{v}$
 כאשר $\vec{v}$ היא מהירות הגוף (שימו לב למכפלה הסקלרית)
 כא"מ הנוצר במוט הנע בשדה מגנטי: $\varepsilon = BLv \sin \alpha$
 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.

GOOL

השראות

ההשראות ברכיב: $L = \frac{\Phi_B}{I}$
 Φ_B הוא השטף המגנטי דרך הרכיב ו- I הזרם ברכיב.
 - ההשראות היא תכונה שתלוייה רק במבנה ולכן היא בד"כ קבועה.
 חישוב השראות לפי הגדרה:
 1. נניח שזרם זרם I ברכיב.
 2. נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם בתוך הרכיב.
 3. נחשב את השטף המגנטי ברכיב.
 4. נציב בנוסחה של ההשראות והזרם יצטמצם.

- 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 לכוח הפועל על תיל ישר המתחיל ומסתיים באותם נקודות.

GOOL

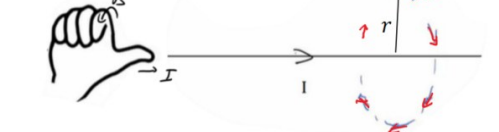
חוק אמפר

חוק אמפר: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$; $I_{in} = \int \vec{j} \cdot d\vec{s}$
 - כאשר האינטגרל הוא על הרכיב המשיק של B לאורך מסלול סגור. בד"כ נבחר מקרים בהם B אחיד לאורך המסלול והאינטגרל יהיה B כפול אורך המסלול.
 - הזרם הוא סך הזרם שעובר דרך השטח הסגור במסלול. המקרים הנפוצים של חוק אמפר:
 1. תיל / גליל / מעטפת גלילית אינסופיים.
 2. מישור אינסופי.
 3. סליל אינסופי / טורואיד.

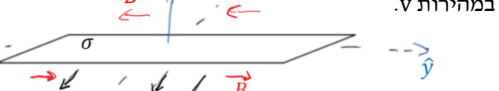
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

שדה של תיל אינסופי:

כאשר r הוא המרחק מהתיל.



כאשר הזרם בכיוון $\hat{z}$ השדה בכיוון $\hat{\theta}$
 שדה של מישור אינסופי:
 $\vec{B} = \frac{\mu_0 \sigma v}{2} \begin{cases} -\hat{y}, & z > 0 \\ \hat{y}, & z < 0 \end{cases}$
 עבור מישור דק הטעון בצפיפות משטחית σ ונע בכיוון $\hat{x}$ במהירות v .



$$B = \mu_0 I n$$

שדה של סליל אינסופי/סולנואיד:

כאשר n הוא מספר הליפופים ליחידת אורך של הסליל.

- כיוון: לפי כלל הבורג, האצבעות בכיוון הזרם והאמה בכיוון השדה.



$$B = \frac{\mu_0 I N}{2\pi r}$$

- מספר הליפופים

- המרחק ממרכז

הטורואיד.



$$B = \frac{\mu_0 I N}{2\pi r}$$

- המרחק ממרכז

הטורואיד.

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

מעגל RLC

משוואת המעגל:

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

(ניתן גם להגיע לאותה משוואה על הזרם)

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

$$\Gamma = \frac{R}{2L}$$

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: $\Gamma = \omega_0$

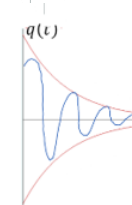
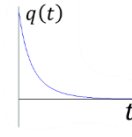
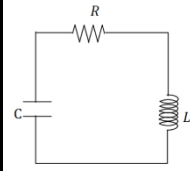
$$q(t) = Ae^{-\omega_0 t} + Bte^{-\omega_0 t}$$

בריסון קריטי קצב הדעיכה הוא הגבוה ביותר משלושת המקרים.

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

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

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



בכל המקרים האנרגיה של המעגל (שאגורה בסליל ובקבל)

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

דועכת בקצב כפול:

(בריסון חזק קצב הדעיכה הוא λ במקום Γ)

מעגלים עם מקור מתח חילופני:

משוואת המעגל:

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

$$I = \dot{q}$$

(ניתן גם להגיע למשוואה דומה עבור המטען)

המשוואה היא משוואה של תנועה הרמונית מאולצת.

פתרון המשוואה:

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

הפתרון ההומוגני הוא פתרון מעגל RLC והוא דועך בזמן.

הפתרון הפרטי נקרא הפתרון של המצב העמיד (לאחר זמן רב) בד"כ מתייחסים רק אליו.

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

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

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 התהודה במקרה כללי צריך

$$R \ll \sqrt{\frac{L}{C}}$$

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:

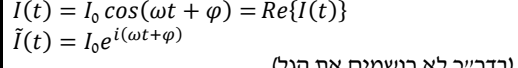
$$I(t) = I_0 \cos(\omega t + \varphi) = \text{Re}\{\tilde{I}(t)\}$$

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

(בד"כ לא רושמים את הגל)

עבודה עם מספרים מורכבים אפשר להוריד את התלות בזמן

פאזור: יתרון של המספר המורכב באמצעות וקטור במערכת דו מימדית.



הפאזור מסתובב בזמן אבל בד"כ מסתכלים רק על הפאזור ב $t=0$

עכבה Impedance:

תכונה שתלויה רק במבנה (קבועה כל עוד המבנה קבוע).

הפאזור של העכבה היא הפאזור של המתח ביחס לזרם

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

$$\varphi_z = \varphi_v - \varphi_I$$

$$|Z| = \frac{V_{max}}{I_{max}}$$

הגודל של העכבה:

הרכיב	העכבה של הרכיב Z	הפאזור של המתח ביחס לזרם ברכיב
נגד	R	המתח והזרם בנגד הם באותה הפאזור
סליל	iωL	בסליל המתח מקדים את הזרם ב π/2
קבל	1/iωC	בקבל המתח מפגר אחרי הזרם ב π/2

ניתן לחבר עכבות בדיוק כמו חיבור של נגדים ולקבל את העכבה הכוללת של המעגל:

$$\tilde{V}_s = Z_T \tilde{I}_s$$

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

ערכי RMS (ממוצע של ריבוע הגודל בזמן):

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

$$P(t) = V(t)I(t)$$

הספק רגעי: לשם לב שההספק הרגעי הוא לא גודל לינארי ולכן אי אפשר לחשב אותו באמצעות הייצוג המורכב של המתח והזרם.

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

הספק ממוצע: כאשר φ היא הפאזור של המתח ביחס לזרם.

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

משוואות מקסוול

הצורה הדיפרנציאלית: הצורה האינטגרלית:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{1}{\epsilon_0} \int \rho dV ; \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho$$

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

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

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{j} \cdot d\vec{s} + \mu_0 \int \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \cdot d\vec{s} ; \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}$$

המשוואה ניתן לקבל את חוק פאראדי $\epsilon = -\dot{\phi}_B$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{j} \cdot d\vec{s} + \mu_0 \int \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \cdot d\vec{s}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}$$

חוק אמפר והתיקון של מקסוול (שנקרא גם זרם העתקה)

גלים והתאבכות גלים

$$v = \lambda f$$

מהירות גל מחזורי:

$$\lambda = \text{אורך הגל} ; f = \text{תדירות הגל}$$

חוק השבירה:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

θ - הזווית בין הקרן הפוגעת/מוחזרת לאנך למשטח.

n - מקדם השבירה של כל תווך.

v - מהירות הגל בכל תווך.

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

גל עומד במיתר שקצותיו קשורים:

ℓ - אורך המיתר. n - מספר נקודות הקמר (מקסי/מיני)

קווי מקסימום ראשיים בהתאבכות משני מקורות (ויותר)

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

שוי-מופע:

θ_n - זווית הסטייה של האור המגיע לנק' המקסימום

x_n - המרחק בין אמצע הלוח והמקסימום מסדר n .

L_n - המרחק בין המרכז של החריצים למקסימום מסדר n .

d - המרחק בין החריצים.

קווי מינימום בהתאבכות משני מקורות שוי-מופע:

$$\sin \theta_n = \frac{x_n}{L_n} = \left(n - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d}$$

θ_n - זווית הסטייה של האור המגיע לנק' המינימום

x_n - המרחק בין אמצע הלוח והמינימום מסדר n .

L_n - המרחק בין המרכז של החריצים למינימום מסדר n .

d - המרחק בין החריצים.

נוסחת יאנג:

$$\frac{\Delta x}{L} = \frac{\lambda}{d}$$

Δx - רוחב פס האור. L - מרחק האנך למסך מהחריצים.

d - אורך הגל. λ - המרחק בין החריצים.

קווי מקסימום בהתאבכות בסריג עקיפה:

$$\sin \theta_n = n \frac{\lambda}{d} = n N \cdot \lambda$$

θ_n - הזווית למקסימום מסדר n .

d - המרחק בין שני חריצים צמודים. N - קבוע הסריג.

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

קווי צומת בעקיפה בסדר יחיד:

θ_n - הזווית למינימום מסדר n .

x_n - מרחק מרכז המינימום מסדר n למרכז המקסימום המרכזי.

L_n - המרחק בין החריץ למינימום מסדר n .

w - רוחב החריץ.

עוצמה של גלי קול ביחס לסף השמע:

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

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

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

שונים α ו- β :

האנרגיה של גל קול:

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

E - האנרגיה הכוללת של גל הקול. I - העוצמה בדציבל.

S - שטח החתך בו הגל פוגע.

t - משך הזמן שהקול פוגע בשטח החתך.

גלים אלקטרומגנטיים

משוואות הגלים בריק ($\rho = 0$):

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

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

למשוואות מגיעים ממשוואות מקסוול.

- המשוואה מתקיימת עבור כל רכיב בנפרד:

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2} \Rightarrow$$

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

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

- 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.

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

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

ω היא התדירות הזוויתית

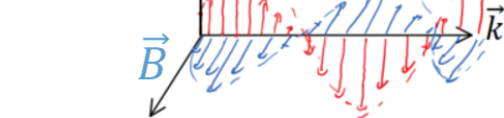
כאשר f היא התדירות בהרץ ו- T הוא זמן המחזור.

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

איך למצוא 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.

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

$$\omega = c|k|$$

יחס הדיספרסיה:

היחס מתקבל מהצבה של הפתרון במשוואות הגלים.

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

פתרון נוסף (עם פלוס):

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

וקטור פוינטינג והאנרגיה האגורה בשדות

אנרגיה אלקטרו מגנטית האגורה בשדות:

$$U = \int \left(\frac{\epsilon_0 \vec{E}^2}{2} + \frac{(\vec{B})^2}{2\mu_0} \right) dV$$

$$u_{em} = \frac{\epsilon_0 \vec{E}^2}{2} + \frac{(\vec{B})^2}{2\mu_0}$$

צפיפות האנרגיה (אנרגיה ליח' נפח):

$$\vec{s} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$$

וקטור פוינטינג:

שטף האנרגיה ליחידת שטח וליחידת זמן.

הקשר בין האנרגיה לוקטור פוינטינג בריק:

$$\oint \vec{s} \cdot d\vec{s} = - \frac{dU}{dt}$$

בצד שמאל עושים אינטגרל של הוקטור פוינטינג על משטח סגור (שטף) ובצד ימין גוזרים בזמן את האנרגיה האגורה בשדות בנפח הכלוא במשטח.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{s} = - \frac{du_{em}}{dt}$$

הקשר הדיפרנציאלי בריק:

