

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.

מבוא מתמטי

GOOL

קואורדינטות גליליות: (r, θ, z)

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

$$z = z$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\tan \theta = \frac{y}{x}$$

$$dl = dr/r d\theta (טבעת) / dz$$

$$ds = r dr d\theta (דיסקה) / r dr dz (קליפה גלילית דקה)$$

$$dv = r dr d\theta dz (גליל מלא או קליפה גלילית עבה)$$

קואורדינטות כדוריות: (r, θ, φ)

$$z = r \cos \varphi$$

$$x = r \sin \varphi \cos \theta$$

$$y = r \sin \varphi \sin \theta$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\tan \theta = \frac{y}{x}$$

$$\cos \varphi = \frac{z}{r} = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

$$dl = dr / r \sin \varphi d\theta / r d\varphi$$

$$ds = r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi (כדור)$$

$$dv = r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi dr (כדור מלא או קליפה כדורית עבה)$$

$$\rho = \frac{M}{V}; \sigma = \frac{M}{S}; \lambda = \frac{M}{l}$$

$$V, S, l \text{ הם נפח, שטח ואורך הגוף.}$$

$$\vec{A} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x \cdot B_x + A_y \cdot B_y = |\vec{A}| \cdot |\vec{B}| \cdot \cos \alpha$$

$$\alpha = \text{זווית בין הוקטורים.}$$

$$\text{תוצאת המכפלה היא תמיד סקלר (ולא וקטור).}$$

$$\text{מכפלה בין וקטורים מאונכים מתאפסת, זו דרך לבדוק}$$

$$\text{האם וקטורים מאונכים}$$

$$\text{וקטור בשלושה מימדים:}$$

$$0 \leq \varphi \leq \pi$$

$$0 \leq \theta \leq 2\pi$$

$$\tan \theta = \frac{A_y}{A_x}$$

$$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$$

$$\cos \varphi = \frac{A_z}{|\vec{A}|} = \frac{A_z}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}}$$

$$\text{פירוק לרכיבים: } A_{xy} = |\vec{A}| \sin \varphi; A_z = |\vec{A}| \cos \varphi$$

$$A_x = |\vec{A}| \sin \varphi \cos \theta; A_y = |\vec{A}| \sin \varphi \sin \theta$$

$$\text{פתיחת סוגרים והעלאה בריבוע:}$$

$$\vec{A} \cdot (\vec{B} + \vec{C}) = \vec{A} \cdot \vec{B} + \vec{A} \cdot \vec{C}$$

$$(\vec{A} + \vec{B})^2 = |\vec{A}|^2 + 2\vec{A} \cdot \vec{B} + |\vec{B}|^2$$

$$\cos \alpha = \frac{A_x B_x + A_y B_y}{|\vec{A}| |\vec{B}|} = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}| |\vec{B}|}$$

$$\text{זווית בין שני וקטורים:}$$

$$\text{מכפלה וקטורית:}$$

$$\text{דרך 1 לעשות את המכפלה - דטרמיננטה:}$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

$$\text{דרך 2 - לפי גודל וכיוון בנפרד:}$$

$$|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}| |\vec{B}| |\sin \alpha|$$

$$\text{גודל המכפלה הוא:}$$

$$\text{וכיוון לפי כלל יד ימין}$$

$$\text{שימו לב שאתם עם יד ימין!! ובתמונה השמאלית, קודם}$$

$$\text{לעשות אקדח ואחר כך לפתוח את האמה!}$$

$$\vec{A} \times \vec{B}$$

$$\text{גרדיאנט בקרטזיות:}$$

$$\vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial f}{\partial y} \hat{y} + \frac{\partial f}{\partial z} \hat{z}$$

$$\text{בגליליות:}$$

$$\vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial r} \hat{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial f}{\partial \theta} \hat{\theta} + \frac{\partial f}{\partial z} \hat{z}$$

$$\text{בכדוריות (*):}$$

$$\vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial r} \hat{r} + \frac{1}{r \sin \varphi} \frac{\partial f}{\partial \theta} \hat{\theta} + \frac{1}{r \sin \varphi} \frac{\partial f}{\partial \varphi} \hat{\varphi}$$

$$\text{רוטור (Rot/Curl) בקרטזיות:}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix}$$

$$\text{בגליליות:}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \left(\frac{1}{r} \frac{\partial F_z}{\partial \theta} - \frac{\partial F_\theta}{\partial z} \right) \hat{r} + \left(\frac{\partial F_r}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial r} \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial (r F_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial F_r}{\partial \theta} \right) \hat{z}$$

$$\text{בכדוריות (*):}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \left(\frac{1}{r \sin \varphi} \left(\frac{\partial}{\partial \varphi} (F_\theta \sin \varphi) - \frac{\partial F_\varphi}{\partial \theta} \right) \right) \hat{r} + \left(\frac{1}{r} \left(\frac{\partial F_r}{\partial \varphi} - \frac{\partial}{\partial r} (r F_\varphi) \right) \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} (r F_\varphi) - \frac{\partial F_r}{\partial \varphi} \right) \hat{\varphi}$$

$$\text{רוטור (Rot/Curl) בקרטזיות:}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix}$$

$$\text{בגליליות:}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \left(\frac{1}{r} \frac{\partial F_z}{\partial \theta} - \frac{\partial F_\theta}{\partial z} \right) \hat{r} + \left(\frac{\partial F_r}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial r} \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial (r F_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial F_r}{\partial \theta} \right) \hat{z}$$

$$\text{בכדוריות (*):}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \left(\frac{1}{r \sin \varphi} \left(\frac{\partial}{\partial \varphi} (F_\theta \sin \varphi) - \frac{\partial F_\varphi}{\partial \theta} \right) \right) \hat{r} + \left(\frac{1}{r} \left(\frac{\partial F_r}{\partial \varphi} - \frac{\partial}{\partial r} (r F_\varphi) \right) \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} (r F_\varphi) - \frac{\partial F_r}{\partial \varphi} \right) \hat{\varphi}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \left(\frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z} \right) \hat{x} - \left(\frac{\partial F_z}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial z} \right) \hat{y} + \left(\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \right) \hat{z}$$

$$\text{בגליליות:}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \left(\frac{1}{r} \frac{\partial F_z}{\partial \theta} - \frac{\partial F_\theta}{\partial z} \right) \hat{r} + \left(\frac{\partial F_r}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial r} \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial (r F_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial F_r}{\partial \theta} \right) \hat{z}$$

$$\text{בכדוריות (*):}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \left(\frac{1}{r \sin \varphi} \left(\frac{\partial}{\partial \varphi} (F_\theta \sin \varphi) - \frac{\partial F_\varphi}{\partial \theta} \right) \right) \hat{r} + \left(\frac{1}{r} \left(\frac{\partial F_r}{\partial \varphi} - \frac{\partial}{\partial r} (r F_\varphi) \right) \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} (r F_\varphi) - \frac{\partial F_r}{\partial \varphi} \right) \hat{\varphi}$$

$$\text{שימו לב שהזווית } \varphi \text{ עם ציר } z \text{ והזווית } \theta \text{ עם ציר } x$$

$$\text{במערכות צירים צריך להתקיים:}$$

$$\hat{x} \times \hat{y} = \hat{z}; \hat{y} \times \hat{z} = \hat{x}; \hat{z} \times \hat{x} = \hat{y}$$

$$\text{זהויות כלליות למכפלה סקלרית וקטורית:}$$

$$\vec{A} \cdot (\vec{B} \times \vec{C}) = \vec{B} \cdot (\vec{C} \times \vec{A}) = \vec{C} \cdot (\vec{A} \times \vec{B})$$

$$\vec{A} \times (\vec{B} \times \vec{C}) = \vec{B}(\vec{A} \cdot \vec{C}) - \vec{C}(\vec{A} \cdot \vec{B})$$

$$(\vec{A} \times \vec{B}) \cdot (\vec{C} \times \vec{D}) = (\vec{A} \cdot \vec{C})(\vec{B} \cdot \vec{D}) - (\vec{A} \cdot \vec{D})(\vec{B} \cdot \vec{C})$$

$$\vec{A} \times (\vec{B} \times (\vec{C} \times \vec{D})) = \vec{B}(\vec{A} \cdot (\vec{C} \times \vec{D})) - (\vec{A} \cdot \vec{B})(\vec{C} \times \vec{D})$$

$$\vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial f}{\partial y} \hat{y} + \frac{\partial f}{\partial z} \hat{z}$$

$$\vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial r} \hat{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial f}{\partial \theta} \hat{\theta} + \frac{\partial f}{\partial z} \hat{z}$$

$$\text{בכדוריות (*):}$$

$$\vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial r} \hat{r} + \frac{1}{r \sin \varphi} \frac{\partial f}{\partial \theta} \hat{\theta} + \frac{1}{r \sin \varphi} \frac{\partial f}{\partial \varphi} \hat{\varphi}$$

$$\text{דיברגנט div בקרטזיות:}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{F} = \frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} + \frac{\partial F_z}{\partial z}$$

$$\text{div בגליליות:}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{F} = \frac{1}{r} \frac{\partial (r F_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial F_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial F_z}{\partial z}$$

$$\text{div בכדוריות:}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{F} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial (r^2 F_r)}{\partial r} + \frac{1}{r \sin \varphi} \frac{\partial F_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial (F_\varphi \sin \varphi)}{\partial \varphi}$$

$$\text{רוטור (Rot/Curl) בקרטזיות:}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \left(\frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z} \right) \hat{x} - \left(\frac{\partial F_z}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial z} \right) \hat{y} + \left(\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \right) \hat{z}$$

$$\text{בגליליות:}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \left(\frac{1}{r} \frac{\partial F_z}{\partial \theta} - \frac{\partial F_\theta}{\partial z} \right) \hat{r} + \left(\frac{\partial F_r}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial r} \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial (r F_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial F_r}{\partial \theta} \right) \hat{z}$$

$$\text{בכדוריות (*):}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \left(\frac{1}{r \sin \varphi} \left(\frac{\partial}{\partial \varphi} (F_\theta \sin \varphi) - \frac{\partial F_\varphi}{\partial \theta} \right) \right) \hat{r} + \left(\frac{1}{r} \left(\frac{\partial F_r}{\partial \varphi} - \frac{\partial}{\partial r} (r F_\varphi) \right) \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} (r F_\varphi) - \frac{\partial F_r}{\partial \varphi} \right) \hat{\varphi}$$

$$\text{שימו לב שהזווית } \varphi \text{ עם ציר } z \text{ והזווית } \theta \text{ עם ציר } x$$

$$\text{זהויות של אופרטורים:}$$

$$\vec{\nabla} (f + g) = \vec{\nabla} f + \vec{\nabla} g$$

$$\vec{\nabla} (\vec{A} + \vec{B}) = (\vec{\nabla} \cdot \vec{A}) + (\vec{\nabla} \cdot \vec{B})$$

$$\vec{\nabla} \times (\vec{A} + \vec{B}) = (\vec{\nabla} \times \vec{A}) + (\vec{\nabla} \times \vec{B})$$

$$\vec{\nabla} \cdot (\vec{A} \times \vec{B}) = \vec{A} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{B}) + \vec{B} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{A}) + (\vec{A} \cdot \vec{\nabla}) \vec{B} + (\vec{B} \cdot \vec{\nabla}) \vec{A}$$

$$\vec{\nabla} (f \cdot g) = (\vec{\nabla} f) \cdot g + (\vec{\nabla} g) \cdot f$$

$$\vec{\nabla} (f \cdot \vec{A}) = f (\vec{\nabla} \cdot \vec{A}) + \vec{A} \cdot (\vec{\nabla} f)$$

$$\text{קבועים}$$

$$\text{מסות הפרוטון, ניוטרון ואלקטרון:}$$

$$m_n \approx m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}; m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{מטען הפרוטון והאלקטרון:}$$

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

$$\text{מקדם דיאלקטרי של הריק ו- } k:$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}; \epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$$

$$\text{חוק קולון}$$

$$\text{חוק קולון: הכוח החשמלי שמפעיל מטען } q_1 \text{ כלשהו על}$$

$$\vec{F} = \frac{k q_1 q_2}{r^2} \hat{r} = \frac{k q_1 q_2}{r^3} \vec{r}$$

$$\text{מטען } q_2 \text{ כלשהו:}$$

$$\hat{r} = \frac{\vec{r}}{r} \text{ וקטור מ- } q_1 \text{ אל } q_2, |\vec{r}| = r$$

$$\text{השדה החשמלי שיוצר מטען } q \text{ במרחב:}$$

$$\vec{E} = \frac{k q}{r^2} \hat{r}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\vec{E} = \frac{k q}{r^2} \hat{r} = \frac{k q}{r^3} \vec{r}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\text{חוק גאוס:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\text$$

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"כ בשאלות): $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$

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

GOOL

מעגלי זרם ישר

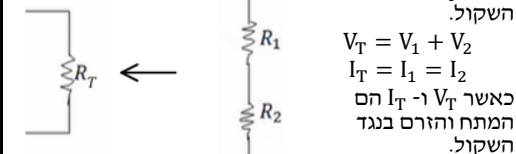
זרם: $I = \frac{dq}{dt}$

- 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.



כאשר V_T ו- I_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:

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

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: $V = \epsilon - Ir$

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

ϵ - 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. (להוסיף משוואות עד שעוברים על כל הרכיבים במעגל).

- 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 הפתרונות). לדוגמה, עבור מערכת המשוואות הבאה:

$$3I_1 + 4I_2 + 8I_3 = 5$$

$$2I_1 - 5I_2 + 9I_3 = 1$$

$$4I_1 + 3I_2 - 7I_3 = 3$$

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

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 5 & 8 \\ 1 & 9 \\ 3 & -7 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3 & 5 \\ 2 & 1 \\ 4 & 3 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 3 & 4 & 8 \\ 2 & -5 & 9 \\ 4 & 3 & -7 \end{vmatrix}$$

Δ_i - דטרמיננטה של מערכת המשוואות שהוחלפה בה העמודה i בעמודות התשובות. לדוגמה, Δ_1 ו- Δ_2

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 5 & 8 \\ 1 & 9 \\ 3 & -7 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3 & 5 \\ 2 & 1 \\ 4 & 3 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 3 & 4 & 8 \\ 2 & -5 & 9 \\ 4 & 3 & -7 \end{vmatrix}$$

זרמי חוגים:

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

2. נעשה משוואות מתחים לכל מעגל.

עבור מעגל 1:

עבור מעגל 2:

עבור מעגל 3:

עבור מעגל 4:

עבור מעגל 5:

עבור מעגל 6:

עבור מעגל 7:

עבור מעגל 8:

עבור מעגל 9:

עבור מעגל 10:

עבור מעגל 11:

עבור מעגל 12:

עבור מעגל 13:

עבור מעגל 14:

עבור מעגל 15:

עבור מעגל 16:

עבור מעגל 17:

עבור מעגל 18:

עבור מעגל 19:

עבור מעגל 20:

עבור מעגל 21:

עבור מעגל 22:

עבור מעגל 23:

עבור מעגל 24:

עבור מעגל 25:

עבור מעגל 26:

עבור מעגל 27:

עבור מעגל 28:

עבור מעגל 29:

עבור מעגל 30:

עבור מעגל 31:

עבור מעגל 32:

עבור מעגל 33:

עבור מעגל 34:

עבור מעגל 35:

עבור מעגל 36:

עבור מעגל 37:

עבור מעגל 38:

עבור מעגל 39:

עבור מעגל 40:

עבור מעגל 41:

עבור מעגל 42:

עבור מעגל 43:

עבור מעגל 44:

עבור מעגל 45:

עבור מעגל 46:

עבור מעגל 47:

עבור מעגל 48:

עבור מעגל 49:

עבור מעגל 50:

עבור מעגל 51:

עבור מעגל 52:

עבור מעגל 53:

עבור מעגל 54:

עבור מעגל 55:

עבור מעגל 56:

עבור מעגל 57:

עבור מעגל 58:

עבור מעגל 59:

עבור מעגל 60:

עבור מעגל 61:

עבור מעגל 62:

עבור מעגל 63:

עבור מעגל 64:

עבור מעגל 65:

עבור מעגל 66:

עבור מעגל 67:

עבור מעגל 68:

עבור מעגל 69:

עבור מעגל 70:

עבור מעגל 71:

עבור מעגל 72:

עבור מעגל 73:

עבור מעגל 74:

עבור מעגל 75:

עבור מעגל 76:

עבור מעגל 77:

עבור מעגל 78:

עבור מעגל 79:

עבור מעגל 80:

עבור מעגל 81:

עבור מעגל 82:

עבור מעגל 83:

עבור מעגל 84:

עבור מעגל 85:

עבור מעגל 86:

עבור מעגל 87:

עבור מעגל 88:

עבור מעגל 89:

עבור מעגל 90:

עבור מעגל 91:

עבור מעגל 92:

עבור מעגל 93:

עבור מעגל 94:

עבור מעגל 95:

עבור מעגל 96:

עבור מעגל 97:

עבור מעגל 98:

עבור מעגל 99:

עבור מעגל 100:

עבור מעגל 101:

עבור מעגל 102:

עבור מעגל 103:

עבור מעגל 104:

עבור מעגל 105:

עבור מעגל 106:

עבור מעגל 107:

עבור מעגל 108:

עבור מעגל 109:

עבור מעגל 110:

עבור מעגל 111:

עבור מעגל 112:

עבור מעגל 113:

עבור מעגל 114:

עבור מעגל 115:

עבור מעגל 116:

עבור מעגל 117:

עבור מעגל 118:

עבור מעגל 119:

עבור מעגל 120:

עבור מעגל 121:

עבור מעגל 122:

עבור מעגל 123:

עבור מעגל 124:

עבור מעגל 125:

עבור מעגל 126:

עבור מעגל 127:

עבור מעגל 128:

עבור מעגל 129:

עבור מעגל 130:

עבור מעגל 131:

עבור מעגל 132:

עבור מעגל 133:

עבור מעגל 134:

עבור מעגל 135:

עבור מעגל 136:

עבור מעגל 137:

עבור מעגל 138:

עבור מעגל 139:

עבור מעגל 140:

עבור מעגל 141:

עבור מעגל 142:

עבור מעגל 143:

עבור מעגל 144:

עבור מעגל 145:

עבור מעגל 146:

עבור מעגל 147:

עבור מעגל 148:

עבור מעגל 149:

עבור מעגל 150:

עבור מעגל 151:

עבור מעגל 152:

עבור מעגל 153:

עבור מעגל 154:

עבור מעגל 155:

עבור מעגל 156:

עבור מעגל 157:

עבור מעגל 158:

עבור מעגל 159:

עבור מעגל 160:

עבור מעגל 161:

עבור מעגל 162:

עבור מעגל 163:

עבור מעגל 164:

עבור מעגל 165:

עבור מעגל 166:

עבור מעגל 167:

עבור מעגל 168:

עבור מעגל 169:

עבור מעגל 170:

עבור מעגל 171:

עבור מעגל 172:

עבור מעגל 173:

עבור מעגל 174:

עבור מעגל 175:

עבור מעגל 176:

עבור מעגל 177:

עבור מעגל 178:

עבור מעגל 179:

עבור מעגל 180:

עבור מעגל 181:

עבור מעגל 182:

עבור מעגל 183:

עבור מעגל 184:

עבור מעגל 185:

עבור מעגל 186:

עבור מעגל 187:

עבור מעגל 188:

עבור מעגל 189:

עבור מעגל 190:

עבור מעגל 191:

עבור מעגל 192:

עבור מעגל 193:

עבור מעגל 194:

עבור מעגל 195:

עבור מעגל 196:

עבור מעגל 197:

עבור מעגל 198:

עבור מעגל 199:

עבור מעגל 200:

עבור מעגל 201:

עבור מעגל 202:

עבור מעגל 203:

עבור מעגל 204:

עבור מעגל 205:

עבור מעגל 206:

עבור מעגל 207:

עבור מעגל 208:

עבור מעגל 209:

$\lambda = v \cdot T$ גלים מחזוריים: λ - אורך הגל; T - זמן המחזור; v - מהירות הגל

$f = \frac{1}{T}$ תדירות (מספר המחזורים בשנייה): $y(x, t) = A \cos(kx \pm \omega t + \varphi)$ גל הרמוני:

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ מספר הגל: $\omega = vk = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ קשרים בין הגדלים השונים:

גל עומד: מורכב משני גלים נעים זהים הנעים בכיוונים מנוגדים $y(x, t) = A \sin(kx) \cos(\omega t + \varphi) = \frac{A}{2} \sin(kx - (\omega t + \varphi)) + \frac{A}{2} \sin(kx + (\omega t + \varphi))$

נקודות צומת (node): נקודות שלא זזות. אין מהירות גל. נקודת טבור (antinode): אמפליטודה מקסימלית.

פעילות: בפעילות אחרונה מחברים שני גלים בעלי אותה אמפליטודה ומקבלים גל בתוך מעטפת (פעילה).

$\Psi_1(t) = A \cos(\omega_1 t)$ & $\Psi_2(t) = A \cos(\omega_2 t)$ $\Psi_T(t) = \Psi_1(t) + \Psi_2(t) = 2A \cos(\epsilon t) \cos(\Omega t)$

$\epsilon = \frac{\omega_f - \omega_s}{2}$ $\Omega = \frac{\omega_f + \omega_s}{2}$

תדירות הפעימה היא 2ϵ גלים רוחביים במיתר

משוואת הגלים: $\frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\rho}{T} \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial t^2}$

T - המתיחות במיתר, ρ - צפיפות המסה ליחידת אורך, ψ - פונקציית הגל, ההעתק הרוחבי של כל חתיכה במיתר.

מהירות הגל: $v = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$ פתרון המשוואה:

$\psi(x, t) = A \cos(kx - \omega t) + B \sin(kx - \omega t) + C \cos(kx + \omega t) + D \sin(kx + \omega t)$

אפשרויות נוספות לפתרון (על ידי שימוש בזהויות טריגונומטריות)

$\psi(x, t) = A_1 \cos(kx - \omega t + \phi_1) + A_2 \cos(kx - \omega t + \phi_2) = B_1 \cos kx \cos \omega t + B_2 \cos kx \sin \omega t + B_3 \sin kx \cos \omega t + B_4 \sin kx \sin \omega t = C_1 \cos kx \cos(\omega t + \phi_1) + C_2 \sin kx \cos(\omega t + \phi_2)$

שתי האפשרויות האחרונות עדיפות לגלים עומדים. פתרון במספרים מרוכבים:

$\psi(x, t) = A_1 e^{i(kx + \omega t)} + A_2 e^{i(kx - \omega t)} + A_3 e^{-i(kx + \omega t)} + A_4 e^{-i(kx - \omega t)}$

אם הפונקציה ממשיה, אז $A_4 = A_2^*$ ו- $A_3 = A_1^*$, והפתרון מתכנס לחלק הממשי של

$\psi(x, t) = A e^{i(kx - \omega t)} + B e^{-i(kx + \omega t)}$ יחס הדיפרסיה:

$\omega = v \cdot k$ פתרון באמצעות נוסחת ד'אלמבר:

$\psi(x, t) = \frac{1}{2} [\psi(x - vt, 0) + \psi(x + vt, 0)] + \frac{1}{2v} \int_{x-vt}^{x+vt} \psi(x', 0) dx'$

החזרה והעברה

תנאי שפה לנקודת אי-רציפות במיתר ב- $x=0$:

1. רציפות הפונקציה: $\psi_L(0, t) = \psi_R(0, t)$

2. רציפות הכוח: $F_L = F_R$

אם המתיחות אחידה, אז תנאי 2 הופך לרציפות הגזירות:

$\frac{\partial \psi_L}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\partial \psi_R}{\partial x} \Big|_{x=0}$

$\psi_L(x, t) = \psi_r(x, t) + \psi(x, t)$; $\psi_r(x, t) = \psi_t(x, t)$

$\psi_r(x, t) = r\psi(-x, t)$

$\psi_t(x, t) = t\psi\left(\frac{v_1}{v_2}x, t\right)$; $v_1 = \sqrt{\frac{T}{\rho_1}}$ $v_2 = \sqrt{\frac{T}{\rho_2}}$

מקדם החזרה: $r = \frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1} = \frac{\sqrt{\rho_1} - \sqrt{\rho_2}}{\sqrt{\rho_1} + \sqrt{\rho_2}}$

מקדם העברה: $t = \frac{2v_2}{v_2 + v_1} = \frac{2\sqrt{\rho_1}}{\sqrt{\rho_1} + \sqrt{\rho_2}}$

הערה: את הנוסחאות של מקדם ההעברה והחזרה נרשום בנושא הבא בצורה יותר כללית עם שימוש בטכניקות.

עכבה

$Z = \sqrt{\rho T} = \frac{T}{v}$ עכבה (impedance):

T - מתיחות. V - מהירות הגל

$|Z| = \frac{|F_y|}{|V_y(t)|}$

F_y - הכוח על אלמנט מסה

אם $\omega \approx \omega_f$ אז $x_L \approx -x_R - A_f \gg A_s$ המוד (1, -1) מתעורר.

מערכת של שלוש מסות

המשוואות: $-kx_1 - k(x_1 - x_2) = m\ddot{x}_1$

$-k(x_2 - x_1) - k(x_2 - x_3) = m\ddot{x}_2$

$-kx_3 - k(x_3 - x_2) = m\ddot{x}_3$

פתרון (לאחר אלגברה עם מטריצה):

$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = A_m \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix} \cos(\omega_m t + \varphi_m) + A_f \begin{pmatrix} \sqrt{2} \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \cos(\omega_f t + \varphi_f) + A_s \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \cos(\omega_s t + \varphi_s)$

כאשר: $\omega_s = \sqrt{2 + \sqrt{2}}\omega_0$; $\omega_m = \sqrt{2}\omega_0$

$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$; $\sqrt{2 - \sqrt{2}}\omega_0$

מערכת N מסות

המשוואות: $-k(x_n - x_{n-1}) - k(x_n - x_{n+1}) = m\ddot{x}_n$

פתרון כללי:

$x_n(t) = (A \cos(n\theta) + B \sin(n\theta))e^{i\omega t} = C_1 \cos(n\theta) \cos(\omega t + \varphi_1) + C_2 \sin(n\theta) \cos(\omega t + \varphi_2)$

כאשר: $\theta = \cos^{-1}\left(\frac{2\omega_0^2 - \omega^2}{2\omega_0^2}\right)$

בתנאי שפה קבועים (קירות): $x_0(t) = x_{N+1}(t) = 0$

$x_n(t) = \sum_{m=1}^N C_m \sin\left(\frac{n\pi m}{N+1}\right) \cos(\omega_m t + \varphi_m)$

$\theta_m = \frac{\pi m}{N+1}$; $\omega_m = 2\omega_0 \sin\left(\frac{\pi m}{2(N+1)}\right)$

כלומר יש N מודים עצמיים (בתדירויות ω_m) ו- x_n הם קומבינציות לינאריות של המודים האלו. המקדמים C_m ו- φ_m נקבעים מתנאי ההתחלה של כל ה- x_n אמפליטודות המודים העצמיים

נצייר לכל מוד סינוס עם m צמיחי סינוס. נחלק את המקטע ל- $N+1$ חלקים שווים

התדירויות: נצייר מעגל ברדיס $2\omega_0$ ונחלק ל- $N+1$ גזרות שוות.

החזרה והעברה

תנאי שפה לנקודת אי-רציפות במיתר ב- $x=0$:

1. רציפות הפונקציה: $\psi_L(0, t) = \psi_R(0, t)$

2. רציפות הכוח: $F_L = F_R$

אם המתיחות אחידה, אז תנאי 2 הופך לרציפות הגזירות:

$\frac{\partial \psi_L}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\partial \psi_R}{\partial x} \Big|_{x=0}$

$\psi_L(x, t) = \psi_r(x, t) + \psi(x, t)$; $\psi_r(x, t) = \psi_t(x, t)$

$\psi_r(x, t) = r\psi(-x, t)$

$\psi_t(x, t) = t\psi\left(\frac{v_1}{v_2}x, t\right)$; $v_1 = \sqrt{\frac{T}{\rho_1}}$ $v_2 = \sqrt{\frac{T}{\rho_2}}$

מקדם החזרה: $r = \frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1} = \frac{\sqrt{\rho_1} - \sqrt{\rho_2}}{\sqrt{\rho_1} + \sqrt{\rho_2}}$

מקדם העברה: $t = \frac{2v_2}{v_2 + v_1} = \frac{2\sqrt{\rho_1}}{\sqrt{\rho_1} + \sqrt{\rho_2}}$

הערה: את הנוסחאות של מקדם ההעברה והחזרה נרשום בנושא הבא בצורה יותר כללית עם שימוש בטכניקות.

עכבה

$Z = \sqrt{\rho T} = \frac{T}{v}$ עכבה (impedance):

T - מתיחות. V - מהירות הגל

$|Z| = \frac{|F_y|}{|V_y(t)|}$

F_y - הכוח על אלמנט מסה

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 .

שדה של סליל אינסופי/סולנואיד: $B = \mu_0 I n$

כאשר n הוא מספר הליפופים ליחידת אורך של הסליל. כיוון: לפי כלל הבורג, האצבעות בכיוון הזרם והאגודל בכיוון השדה.

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

N - מספר הליפופים הכולל.

r - המרחק ממרכז הסולנואיד.

חוק פאראדי

חוק פאראדי: $\epsilon = -\frac{d\phi_B}{dt}$; $\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$

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.

האם השטף גדל או קטן?

נרצה להגדיל את השטף

נרצה להקטין את השטף

ניצור שדה מגנטי באותו הכיוון של השדה הקיים

ניצור שדה מגנטי בכיוון הפוך לשדה הקיים

נמצא את כיוון הזרם שייצור את השדה המתאים לפי כלל יד ימין

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: $\epsilon = BLv \sin \alpha$

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.

מערכת של שתי מסות

משוואות התנועה: $-k_1 x_L - k_2 (x_L - x_R) = m\ddot{x}_L$

$-k_1 x_R - k_2 (x_R - x_L) = m\ddot{x}_R$

החלפת משתנים: $x_s = x_L + x_R$; $x_f = x_L - x_R$

פתרון (מודים עצמיים): $x_s(t) = A_s \cos(\omega_s t + \varphi_s)$

$x_f(t) = A_f \cos(\omega_f t + \varphi_f)$

כאשר: $\omega_s = \sqrt{\frac{k_1}{m}}$ ו- $\omega_f = \sqrt{\frac{k_1 + 2k_2}{m}}$

פעילות: עבור: $x_L(0) = \dot{x}_L(0) = \dot{x}_R(0) = 0$; $x_R(0) = R$

מקבלים: $x_L(t) = A \sin(\epsilon t) \sin(\Omega t)$

$x_R(t) = A \cos(\epsilon t) \cos(\Omega t)$

תדירות הפעימה: 2ϵ

כוח מרסן ומאלץ:

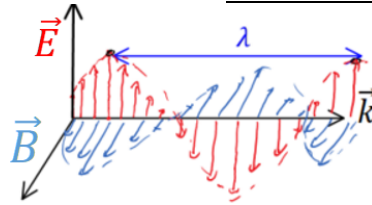
המשוואות והפתרונות עבור x_s ו- x_f הן אלו של תנועה הרמונית מרוסנת ומאלצת

במקרה $\omega \ll 2\omega$ (ω תדירות הכוח המאלץ, Γ מקדם הכוח המרסן)

אם $\omega \approx \omega_s$ אז $A_f \gg A_s \approx x_R \approx x_L$ כלומר רק המוד (1,1) מתעורר

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

צורת הגל במרחב:



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

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

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

$$E_i(\vec{r}, t) = A_i \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} + \omega t) : \text{היחס מתקבל מהצבה של הפתרון במשוואת הגלים}$$

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

GOOL

מבוא לאופטיקה

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 : \text{חוק סנל}$$

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

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} : \text{נוסחת העדשות}$$

$$u - \text{מרחק העצם מהעדשה} ; v - \text{מרחק הדמות מהעדשה} ; f - \text{מוקד העדשה}$$

$$m = \frac{H_i}{H_o} = \frac{|v|}{|u|} : \text{הגדלה קווית}$$

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

$$C = \frac{1}{f} : \text{עוצמת העדשה}$$

$$V_y(t) - \text{מהירות אלמנט מסה (מהירות החומר)}$$

$$\text{מקדמי העברה והחזרה בפגיעה של גל מתווך 1 ל-2} :$$

$$r = \frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2} : \text{מקדם החזרה} ; t = \frac{2z_1}{z_1 + z_2} : \text{מקדם העברה}$$

$$z_1 = z_2 : \text{תאום עכבות} ; t = 1 \leftarrow t = 0$$

GOOL

אנרגיה הספק ותנע

אנרגיה ליחידת אורך של גל נע במיתר:

$$\varepsilon(x, t) = \rho \left(\frac{\partial \Psi}{\partial t} \right)^2 = \rho v^2 \left(\frac{\partial \Psi}{\partial x} \right)^2$$

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \rho \omega^2 |A|^2 : \text{אנרגיה ממוצעת בזמן}$$

הספק רגעי בנקודה, כמה עבודה עושה החלק השמאלי על החלק הימני ביחידת זמן:

$$P^{\pm} = \pm Z \left(\frac{\partial \Psi}{\partial t} \right)^2 = \pm v \varepsilon(x, t)$$

$$P^{\pm} : \text{הוא הספק רגעי של גל הנע בכיוון החיובי/שלילי}$$

$$\bar{P}^{\pm} = \pm \frac{1}{2} Z \omega^2 |A|^2 : \text{הספק הממוצע בזמן}$$

$$R = \frac{P_1^-}{P_1^+} = r^2 = \left(\frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2} \right)^2 : \text{מקדם החזרה של האנרגיה}$$

$$T = \frac{P_2^+}{P_1^+} = \frac{z_2}{z_1} t^2 = \frac{4z_1 z_2}{(z_1 + z_2)^2} : \text{מקדם העברה של האנרגיה}$$

$$R + T = 1$$

GOOL

תנע: התנע הוא אפס.

גלים עומדים

מיתר חצי אינסופי:

$$\Psi(x=0, t) = 0 \Rightarrow : \text{קצה קשור}$$

$$\Rightarrow \Psi(x, t) = C \sin(kx) \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0 \Rightarrow \Psi(x, t) = C \cos(kx) \cos(\omega t + \varphi) : \text{קצה חופשי}$$

$$\Psi(x=0, t) = \Psi(x=L, t) = 0 : \text{קצוות קשורים}$$

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} ; k_n = \frac{\pi n}{L} ; n = 0, 1, 2, 3 \dots ; f_n = \frac{v n}{2L}$$

$$\Psi(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \sin(k_n x) \sin(\omega_n t + \varphi_n) : \text{קצה קשור וקצה חופשי}$$

$$\Psi(x=0, t) = 0, \frac{\partial \Psi}{\partial x} \Big|_{x=L} = 0$$

$$k_n = \frac{\pi}{L} \left(n + \frac{1}{2} \right) ; n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

$$\lambda_n = \frac{2L}{(n + \frac{1}{2})} ; f_n = \frac{v}{2L} \left(n + \frac{1}{2} \right)$$

$$\Psi(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \sin(k_n x) \sin(\omega_n t + \varphi_n) : \text{מיתר סופי עם 2 קצוות חופשיים}$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0, \frac{\partial \Psi}{\partial x} \Big|_{x=L} = 0$$

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} ; f_n = \frac{v n}{2L} ; k_n = \frac{\pi n}{L} ; n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

$$\Psi(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \cos(k_n x) \sin(\omega_n t + \varphi_n)$$

GOOL

גלים אלקטרומגנטיים

$$(\rho = I = 0) : \text{משוואות הגלים בריק}$$

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

$$c \text{ היא מהירות האור כאשר } \mu_0 \varepsilon_0 = \frac{1}{c^2}$$

- למשוואות מגיעים ממשוואות מקסוול.

- המשוואה מתקיימת עבור כל רכיב בנפרד:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$f : \text{כאשר } T \text{ הוא זמן המחזור}$$

$$A_i : \text{הקוסינוס בפתרון זהה לכל הרכיבים של השדה החשמלי והמגנטי, ההבדל בין הרכיבים הוא רק במקדם}$$

אך למצא שדה מגנטי מחשמלי ולהפך: