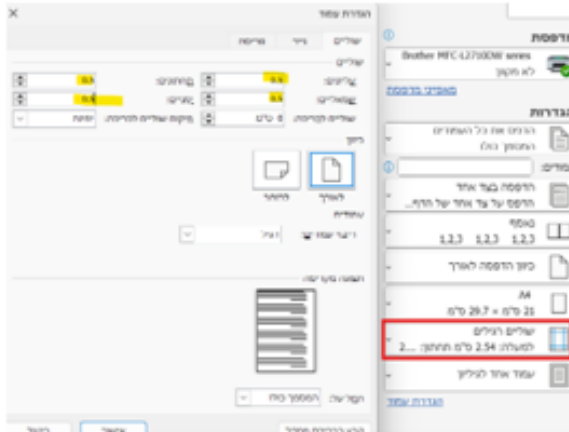


הוראות לדף הנוסחאות

הוראות הדפסה!

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

ב WORD, יש לבחור בלשונית הדפסה את חלון השולים, לבחור שולים 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 באות עמוד (ולא לעמוד הבא). בסוף הטור האחרון עוברים לטור הראשון (הימני) בעמוד הבא.

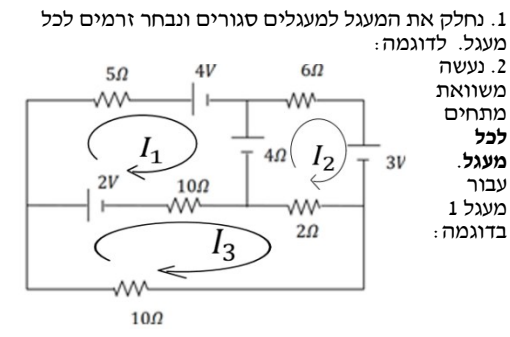
ניתן לשנות את כיוון הפריסה לרוחב, זה יוצר מראה יותר מרווח על חשבון מספר עמודים.



כל הזכויות שמורות למני גבאי ולאטר 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



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

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

חומרים דיאלקטריים

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: $C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln \frac{b}{a}}$

חומר דיאלקטרי אחד: $C' = kC_0$

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

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

אנרגיה האגורה בקבל: $U_c = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} q V$

העבודה שמבצעת הסוללה: $W_s = \Delta q V_s = -2 \Delta U_c$

הכוח הפועל על חומר דיאלקטרי בקבל: $F = \left| \frac{dU_c}{dx} \right|$

פריקה וטעינה של קבל

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

מעגל טעינה: $I = \frac{dq}{dt}$

המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן (בטעינה): $q(t) = CV_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

וקטור הפולריזציה. צפיפות הדיפולים ליחידת נפח:

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

מומנט הדיפול של דיפול יחיד 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 מהגוף.

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

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

חוק גאוס למטען החופשי:

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

בחומרים לינאריים (בדר"כ בשאלות): $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$

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

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.

$V_T = V_1 + V_2$

$I_T = I_1 = I_2$

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 מתח (אמפרמטר) אידיאלי - מחובר במקביל לרכיב הנמדד, בעל התנגדות מאוד גבוהה.

ההספק 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.

תקן - 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.

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

r - ההתנגדות הפנימית.

חוקי קירכהוף (לפתרון מעגלים מורכבים):

נגדי 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):

$I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}$

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

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

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

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

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

$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 8 \\ 1 & -5 & 9 \\ 3 & 3 & -7 \end{vmatrix}$

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

$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 3 & 4 & 1 \\ 2 & -5 & 3 \\ 4 & 3 & -1 \end{vmatrix}$

$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & 3 \\ 3 & 3 & -1 \end{vmatrix}$

$\Delta_5 = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_6 = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_7 = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_8 = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_9 = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{10} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{11} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{12} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{13} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{14} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{15} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{16} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{17} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{18} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{19} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{20} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{21} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{22} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{23} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{24} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{25} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{26} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{27} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{28} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{29} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{30} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{31} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{32} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{33} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{34} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{35} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{36} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{37} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{38} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{39} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{40} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{41} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{42} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{43} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{44} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{45} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{46} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{47} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{48} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{49} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{50} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{51} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{52} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{53} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{54} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{55} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{56} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{57} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{58} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{59} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

$\Delta_{60} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & -7 \\ 1 & -5 & -7 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix}$

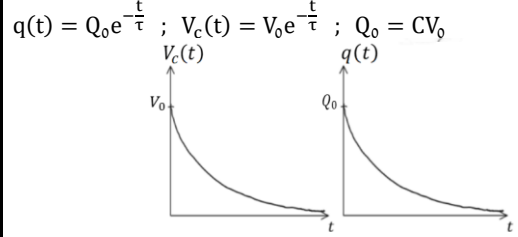
$\Delta_{61} = \begin{vmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 1 & -5 & -1 \\ 3 & 3 & 1 \end{vmatrix$

- 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):



- 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.
 הערה: **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/סדר).

מוליכות (לא לבבל עם צפיפות מטען משטחית): $\sigma = \frac{1}{\rho}$

$\vec{J}$ - 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 $\vec{J}$ אחיד 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 מהירות הסחיפה $\vec{v}_{drift}$.

$\vec{k}$ - צפיפות הזרם ליחידת אורך: $I = \int \vec{k} \cdot d\vec{l}$

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

אם $\vec{k}$ אחיד אז: $I = kl$

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

חוק לורנץ - הכוח המגנטי: $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$

ניתן לחשב את הכוח בשתי דרכים.

דרך טרמינאט (או מכפלה וקטורית בוקטורים).

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

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 אקדה).

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

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

הנמצאת בשדה מגנטי B הוא: 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 לכוח הפועל על תיל ישר המתחיל ומסתיים באותם נקודות.

אפקט הול

בפועל רק אלקטרונים זזים במוליך כשיש זרם. כתוצאה מהתנועה הזו הם מרגישים כוח (אם יש שדה מגנטי) שדוחף אותם לדופן המוליך ונוצרת הפרדת מטענים הגורמת לשדה חשמלי לרוחב המוליך. בשיווי משקל הכוח החשמלי שווה למגנטי. מהשוויון ניתן לחשב את השדה החשמלי ו-

המתח הנוצר לרוחב המוליך: $V = \frac{I dB_{\perp}}{nqA} = \frac{2IB_{\perp}}{nq\pi R}$

V - המתח בין הקצוות של המוליך שמאונכות לכיוון הזרם וכיוון השדה המגנטי. I - הזרם במוליך.

$B_{\perp}$ - הרכיב של השדה המגנטי שמאונך לזרם.

n - מספר האלקטרונים ליחידת נפח במוליך.

q - מטען האלקטרון. d - הרוחב של המוליך שמצדדיו נמדד המתח. A - שטח החתך של המוליך (מאונך לזרם).

השוויון השני מקרר של מוליך גלילי, R רדיוס הגליל.

חוק ביו-סבר

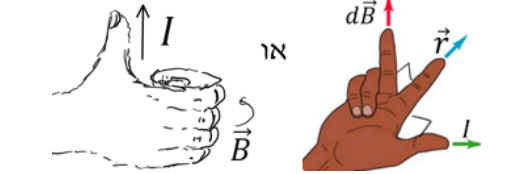
חוק ביו-סבר, השדה המגנטי שיוצרת חתיכת זרם:

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

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

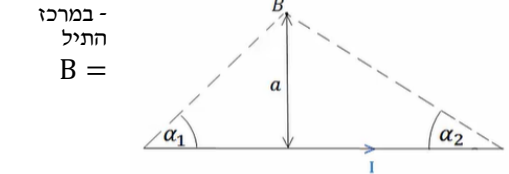
$d\vec{l}$ הוא אורך החתיכה וכיוונו בכיוון הזרם.

- חישוב הכיוון לפי כלל יד ימין:



השדה של תיל סופי: $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$

- במרכז התיל $B =$



שדה של טבעת לאורך ציר הסימטריה: $B = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}}$

השדה לפי כלל היד הימנית: $\frac{dF}{dl} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$

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

חוק אמפר

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. בדרכי 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.

שדה של תיל אינסופי: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

כאשר r הוא המרחק מהתיל.

כאשר הזרם בכיוון $\hat{z}$ השדה בכיוון $\hat{\theta}$

כאשר הזרם בכיוון $\hat{\theta}$ השדה בכיוון $\hat{z}$

כאשר הזרם בכיוון $\hat{\phi}$ השדה בכיוון $\hat{r}$

כאשר הזרם בכיוון $\hat{r}$ השדה בכיוון $\hat{\phi}$

כאשר הזרם בכיוון $\hat{r}$ השדה בכיוון $\hat{\phi}$

כאשר הזרם בכיוון $\hat{r}$ השדה בכיוון $\hat{\phi}$

כאשר הזרם בכיוון $\hat{r}$ השדה בכיוון $\hat{\phi}$

כאשר הזרם בכיוון $\hat{r}$ השדה בכיוון $\hat{\phi}$

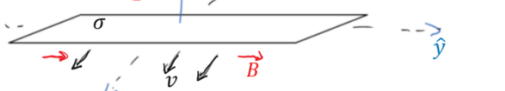
כאשר הזרם בכיוון $\hat{r}$ השדה בכיוון $\hat{\phi}$

כאשר הזרם בכיוון $\hat{r}$ השדה בכיוון $\hat{\phi}$

כאשר הזרם בכיוון $\hat{r}$ השדה בכיוון $\hat{\phi}$

עבור מישור אינסופי:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \sigma v}{2} \begin{cases} -\hat{y}, & z > 0 \\ \hat{y}, & z < 0 \end{cases}$$



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.



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

N - מספר הליפופים הכולל.

r - המרחק ממרכז הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

הטורואיד.

שדות משתנים בזמן חרם העתקה GOOL

ממשואות מקסוול רואים ששדה מגנטי שמשנתה בזמן יוצר שדה חשמלי ולהפך.

אם נתון שדה מגנטי משנתה בזמן וצריך לחשב את השדה החשמלי אז: נשתמש במשוואה השלישית של מקסוול כמו חוק פאראדי ובמקום הכא"מ נחשב את האינטגרל כאשר בדרי"כ יש סימטריה גלילית והאינטגרל הופך ל $E2\pi r$ אם נתון שדה חשמלי משנתה בזמן וצריך לחשב את השדה המגנטי אז: נשתמש במשוואה הרביעית כמו חוק אמפר

רק שבמקום זרם יש $\int \epsilon_0 \frac{dE}{dt} d\vec{s}$ (או במקום צפיפות זרם $\epsilon_0 \frac{dE}{dt}$) שנקרא זרם העתקה (לא באמת זרם).

מומנט דיפול מגנטי GOOL

דיפול מגנטי הוא לולאת זרם סגורה.

מומנט הדיפול המגנטי $\vec{\mu}$ לפעמים מסומן ב- $(\vec{m})$: $\vec{\mu} = I\vec{A}$

I - הזרם בלולאה. $\vec{A}$ - השטח הסגור על-ידי הלולאה. כיוונו במאונך למשטח ובהתאם לכלל יד ימין של הזרם.

השדה שיוצר דיפול מגנטי במרחק הגדול בהרבה מממדי הדיפול:

$\vec{B} = \frac{\mu_0 [3(\vec{\mu} \cdot \vec{r})\vec{r} - \vec{\mu}]}{4\pi r^3}$

מומנט כוח שפועל על דיפול מגנטי הנמצא בשדה מגנטי

חיצוני:

האנרגיה הפוטנציאלית של דיפול מגנטי בשדה מגנטי

חיצוני:

השראות 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 בדרי"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.

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:

$\epsilon = -L\dot{I}$

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:

$V_L = L\dot{I}$

הצד הגבוה הוא בנקודה שבה נכנס הזרם לסליל.

מעגלי RL טעינה

טעינה:

$V_0 - IR - L\dot{I} = 0$

$I(t) = \frac{V_0}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$

$\tau = \frac{L}{R}$

- סליל (או משרר) מתנהג

בהתחלה כמו נתק ולאחר זמן רב כמו קצר.

פריקה:

$-IR - L\dot{I} = 0$

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

V_0

$I(t)$

t

טעינה

פריקה

רגע הניתוק

חיבור סלילים (משרנים) במעגל הוא כמו חיבור נגדים:

בטור:

$L_T = L_1 + L_2 + \dots$

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

במקביל:

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

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

השראות הדדית GOOL

השראות הדדית:

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

חישוב השראות הדדית:

1. נניח שזרם זרם 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:

$\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} = \frac{N_1}{N_2}$

N הוא מספר הליפופים בכל צד.

מעגלי זרם חילופין

מעגל LC:

משוואת 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:

משוואת המעגל:

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

(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:

משוואת 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

הפתרון ההומוגני הוא פתרון מעגל RLC והוא דוידע בזמן.

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

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

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

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

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

עבור $R \ll \sqrt{\frac{L}{C}}$

$I_{max}(\omega)$

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

מקבלים אמפליטודה מקסימאלית כאשר $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

פתרון עם מספרים מורכבים:

אם כל המשתנים הם פונקציות מהצורה $A \cos(\omega t + \phi)$

והמשוואות שלנו לינאריות. אז יותר נוח לעבוד עם

מספרים מורכבים. כך ש:

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

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

(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:

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

הפאזה של העכבה היא הפאזה של המתח ביחס לזרם

ברכיב:

$\phi_z = \phi_v - \phi_i$

הגודל של העכבה:

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

הרכיב

העכבה של

לזרם ברכיב

המתח והזרם בנגד הם באותה הפאזה

בסליל המתח מקדים את הזרם ב $\frac{\pi}{2}$

בקבל המתח מפגר אחרי הזרם ב $\frac{\pi}{2}$

ניתן לחבר עכבות בדיוק כמו חיבור של נגדים ולקבל את

העכבה הכוללת של המעגל:

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

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

ערכי RMS (ממוצע של ריבוע הגודל בזמן):

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

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.

הספק ממוצע:

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

כאשר ϕ היא הפאזה של המתח ביחס לזרם.

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

במעגל.

גלים אלקטרומגנטיים GOOL

משוואות הגלים בריק ($\rho = I = 0$):

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

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

- למשוואות מגיעים ממשוואות מקסוול.

- המשוואה מתקיימת עבור כל רכיב בנפרד:

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

כל z כנל: $\vec{\nabla}^2 E_x = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d^2 E_x}{dt^2}$; $\vec{\nabla}^2 E_y = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d^2 E_y}{dt^2}$

- תזכורת לאפליסאן:

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

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

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

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

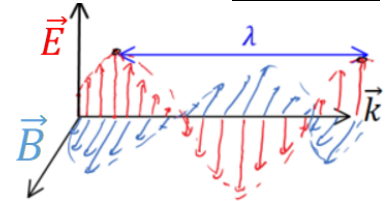
$$\vec{k} \cdot \vec{r} = k_x x + k_y y + k_z z$$

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

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

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

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

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

וקטור פוינטינג והאנרגיה האגורה בשדות GOOL
אנרגיה אלקטרו מגנטית האגורה בשדות:

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

$$u_{em} = \frac{\epsilon_0 (\vec{E})^2}{2} + \frac{(\vec{B})^2}{2\mu_0} : \text{צפיפות האנרגיה (אנרגיה ליח' נפח)}$$

$$\vec{s} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B} : \text{וקטור פוינטינג}$$

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.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{s} = - \frac{du_{em}}{dt} : \text{הקשר הדיפרנציאלי בריק}$$