

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.

גלים והתאבכות גלים

GOOL

מהירות גל מחזורי:

λ – אורך הגל. f – 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 ל**אנך** למשטח.

n – מקדם השבירה של כל תווך.

v – מהירות הגל בכל תווך.

גל עומד במיתר שקצותיו קשורים:

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

ℓ – אורך המיתר. n – מספר נקודות הקמר (מקסי/ מיני) קווי מקסימום ראשיים בהתאבכות משני מקורות (ויותר)

שווי-מופע: $\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{d}$

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

X_n – המרחק בין אמצע הלוח והמקסימום מסדר n .

L_n – המרחק בין המרכז של החריצים למקסימום מסדר n

n – סדר קו המקסימום. λ – אורך הגל.

d – המרחק בין החריצים.

קווי מינימום בהתאבכות משני מקורות שווי-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 n ביחס לכיוון המאונך למישור החריצים.

X_n – המרחק בין אמצע הלוח והמינימום מסדר n .

L_n – המרחק בין המרכז של החריצים למינימום מסדר n .

λ – אורך הגל. d – המרחק בין החריצים.

נוסחת יאנג:

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

ΔX – רוחב פס האור. L – מרחק האנך למסך מהחריצים.

λ – אורך הגל. d – 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.

קווי צומת בעקיפה בסדר יחיד: $\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{w}$

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

כאשר I_a היא עוצמת הקול של α דציבל. I_0 – סף השמיע של אדם.

ניתן לרשום גם את היחס בין העוצמות של שני דציבלים שונים α ו- β :

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

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.

GOOL

חוק סנל: $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

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

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

u – מרחק העצם מהעדשה. v – מרחק הדמות מהעדשה.

f – מוקד העדשה.

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

H_i – גובה הדמות. H_o – גובה העצם.

עוצמת העדשה: $C = \frac{1}{f}$

GOOL

מבנה החומר

גודל אטום המימן (הקטן ביותר): $0.53 \cdot 10^{-10} m$

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

פרוטונים מסמנים ב- p נויטרונים ב- n אלקטרונים ב- e

מסת הפרוטון והנויטרון: $m_n \approx m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} kg$

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

מסת האלק' קטנה בערך פי 2000 ממסת הפרוטון וזניחה ביחס אליו. לכן, בקירוב טוב, הפרוטונים והנויטרונים קובעים את מסת האטום.

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

מטען הפרוטון וזהו הפוך בסימנו: $q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$

הנויטרון לא מושפע מהכוח החשמלי ולכן אין לו מטען.

המטען החשמלי של כל גוף יהיה חייב להיות כפולה שלמה של מטען הפרוטון או האלקטרון.

הכוח החשמלי - חוק קולון

GOOL

חוק קולון: $F = \frac{k q_1 q_2}{r^2}$

r – הוא המרחק בין הגופים

קבוע הכוח החשמלי האוניברסלי: $k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$

הכוח הוא כוח דחיה אם סימן המטענים זהה ומשיכה אם הסימן הפוך.

הנוסחה נכונה רק עבור מטענים נקודתיים או כדורים הטעונים בצורה אחידה. **משע נקודתי** הוא גוף שהגודל שלו קטן בהרבה מ- r , המרחק שבו מחשבים את הכוח.

הנוסחה נכונה עבור שני מטענים הנמצאים בריק, כאשר המטענים נמצאים בתווך (לדוגמה מים או שמן) הכוח משתנה.

GOOL

השדה החשמלי

הכוח הפועל על מטען הנמצא בשדה חשמלי E : $F = qE$

השדה שיוצר מטען נקודתי בכל המרחב: $E = \frac{kq}{r^2}$

r – הוא המרחק מהמטען לנקודה בה מחשבים את השדה. עקרון הסופרפוזיציה: השדה השקול בנקודה במרחב הוא סכום וקטורי של כל השדות שיוצרים כל המטענים באותה נקודה.

קווי שדה: מתארים איכותית את השדה במרחב. כיוון השדה בנקודה משיק לקווי השדה וגודלו בהתאם לצפיפות הקווים.

GOOL

חוק גאוס

צפיפות מטען נפחית ρ , משטחית σ , אורכית λ , אחידה:

$$\rho = \frac{Q}{V}, \sigma = \frac{Q}{S}, \lambda = \frac{Q}{L}$$

Q – סך המטען שבגוף. V – נפח הגוף. S – שטח. L – אורך.

הקבוע הדיאלקטרי של הריק: $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$

ניתן לרשום את כל הנוסחאות עם k או עם ϵ_0 .

השטף דרך משטח בשדה אחיד: $\phi_E = E_{\perp} \cdot s$

$E_{\perp}$ רכיב השדה שמאונך למעטפת. s הוא שטח המעטפת. אם השדה לא אחיד על המשטח ניתן לחלק את המשטח לחתיכות שבהן השדה אחיד ולסכום את השטף דרך כל חתיכה.

חוק גאוס: $\phi_E = 4\pi k Q_{in}$

ϕ_E – שטף דרך **משטח סגור**. Q_{in} – סך המטען הכלוא בנפח שסוגר המשטח.

השדה של כדור וקליפה כדורית מחוץ לכדור או הקליפה הוא כמו של מטען נקודתי:

כאשר Q הוא סך כל המטען. r הוא המרחק ממרכז הקליפה/כדור.

כיוון השדה הוא בכיוון הרדיאלי (כמו מטען נק') בקליפה דקה ובכדור מוליך השדה בתוך הקליפה/כדור מוליך הוא אפס.

שדה של כדור מלא ברדיוס R הטעון בצפיפות אחידה:

$$Q = \begin{cases} \frac{kQr}{R^3}, & r < R \\ \frac{kQ}{r^2}, & r > R \end{cases}$$

Q הוא סך המטען של הכדור

r הוא המרחק ממרכז הכדור

הקשר בין סך המטען לצפיפות (אחידה) בכדור מלא:

$$Q = \frac{4\pi R^3}{3} \rho$$

שדה של תיל אינסופי (אחיד): $E(r) = \frac{2k\lambda}{r}$

r – מרחק מהתיל. λ – צפיפות מטען ליחידת אורך של התיל

כיוון השדה רדיאלי (במאונך לתיל וככלי חוץ/פנים עבור מטען חיובי/שלילי).

שדה של קליפה גלילית מתאפס בתוך הקליפה וכמו של תיל מחוץ לקליפה.

שדה של גליל מלא ברדיוס R הטעון בצפיפות נפחית אחידה ρ : (בכיוון רדיאלי)

$$E = \begin{cases} \frac{\pi k \rho r}{R^2}, & r < R \\ \frac{2\pi k R^2 \rho}{r}, & r > R \end{cases}$$

השדה של מישור אינסופי: $E = 2\pi k \sigma = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

כאשר σ היא צפיפות המטען ליחידת שטח במישור ($\sigma = \frac{Q}{S}$).

כיוון השדה במאונך למישור (החוצה מהמישור עבור מטען חיובי וככלי המישור עבור מטען שלילי)

השדה של שני מישורים אינסופיים עם צפיפות הפוכה

הוא $4\pi k \sigma$ בין המישורים ואפס מחוץ

נגזרות ואינטגרליים:

נגזרת של מכפלה: $y(x) = f(x)g(x) \rightarrow y'(x) = f'(x)g(x) + f(x)g'(x)$

כלל שרשרת: אם y היא פונקציה של x ו- x הוא פונקציה של t אז:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{dy}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}$$

נגזרות נוספות: $\frac{d}{dx} \left(\frac{1}{x}\right) = -\frac{1}{x^2}$; $\frac{d}{dx} (\sin x) = \cos x$

$$\frac{d}{dx} (\cos x) = -\sin x$$

$$\frac{d}{dx} (e^x) = e^x$$

$$\frac{d}{dx} (\ln(x)) = \frac{1}{x}$$

אינטגרל היא פעולה הפוכה לנגזרת, מבצע סכימה על ערכי הפונקציה ונותן את השטח מתחת לגרף הפונקציה.

אינטגרל לא מסוים- מוסיפים קבוע לתוצאת האינטגרל. אינטגרל מסוים- מציבים גבולות בתוצאה של האינטגרל:

$$\int_a^b x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} \Big|_a^b = \frac{b^{n+1}}{n+1} - \frac{a^{n+1}}{n+1}$$

צפיפות נפחית/משטחית/אורכית: V, S, l הם נפח, שטח ואורך הגוף.

מבוא מתמטי

קואורדינטות גליליות: (r, θ, z)

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

$$z = z$$

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

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

$$dl = dr/rd\theta/dz$$

$$ds = r dr d\theta / rd\theta dz$$

$$dv = r dr d\theta dz$$

קואורדינטות כדוריות: (r, θ, ϕ)

$$z = r \cos \phi$$

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

$$y = r \sin \phi \sin \theta$$

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

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

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

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

$$ds = r^2 \sin \phi d\theta d\phi$$

$$dv = r^2 \sin \phi d\theta d\phi dr$$

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

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

תנועה בשדה חשמלי אחיד

אם השדה אחיד אז יש תנועה בתאוצה קבועה. כמו תנועה בליסטית. **גודל התאוצה הוא:**

$$a = \frac{qE}{m}$$

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

מוליכים

במוליך המטענים חופשיים לזוז.

השדה מתאפס (או ליתר דיוק הכוח) בתוך המוליך. על השפה יכול להיות שדה מאונך לשפה.

המטען הכולל בתוך המוליך מתאפס למעט על השפה (במבצב סטטי).

הפוטנציאל במוליך אחיד (קבוע).

הארקה: חיבור לקרקע, מאפסת את הפוטנציאל.

חומרים דיאלקטרים

חומר דיאלקטרי הוא חומר מבודד (בפשטות, במקרים יותר מורכבים אפשר לדבר גם על חומרים דיאלקטרים מוליכים)

בחומר דיאלקטרי יש דיפולים, כאשר החומר נמצא בשדה חשמלי הדיפולים מתיישרים בכיוון השדה ויוצרים שדה נגדי.

השדה השקול בתוך החומר (בהנחה שהחומר אחיד ובעל סימטריה): $\vec{E}_T = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon_r}$

$\vec{E}_T$ – השדה השקול בתוך החומר, זה השדה שמרגיש מטען בתוך החומר. $\vec{E}_0$ – שדה שנוצר מהמטען חיצוני (ולא מהדיפולים של החומר). ϵ_r – מקדם דיאלקטרי יחסי, קבוע חסר יחידות שתלוי בסוג החומר וקיים בטבלאות.

לפעמים נתון **המקדם הדיאלקטרי** (הלא יחסי) והקשר הוא: $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$

מתח פוטנציאל ואנרגיה של הכוח החשמלי

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

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

v_f / v_i – מהירות הגוף בהתחלה / סוף התנועה.

U_f / U_i – האנרגיה הפוטנציאלית בהתחלה / סוף התנועה.

אנרגיה פוטנציאלית של שני מטענים נקודתיים (או האנרגיה פוטנציאלית של מטען נקודתי הנע בהשפעת הכוח החשמלי של מטען נקודתי אחר):

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

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

$$W_{\text{חשמלי}} = -\Delta U$$

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

$$\Delta U = -W_{\text{חשמלי}} = -W_{\text{מטען}}$$

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

האנרגיה של מטען נקודתי הנמצא בנקודה בה הפוטנציאל הוא V:

$$U = qV$$

פונקציית הפוטנציאל שיוצר מטען נקודתי במרחב:

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

r - המרחק מהמטען.

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

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

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

יחידת האלקטרון וולט [eV]: יחידת של עבודה/אנרגיה. נוחה לעבודה, לדוגמה: האנרגיה של אלקטרון בפוטנציאל 5 וולט היא פשוט 5 אלקטרון וולט. $1eV = 1.6 \cdot 10^{-19} J$

הפרש הפוטנציאלים בשדה אחיד:

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

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

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

σ - צפיפות המטען המשטחית על הלוח.

x - המרחק מהלוח.

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

הפוטנציאל של כדור מוליך בכל המרחב:

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

Q - סך המטען של הכדור
 R - רדיוס הכדור
 r - המרחק ממרכז הכדור
 שימו לב שהפוטנציאל בתוך הכדור אינו תלוי במרחק (קבוע).

הפוטנציאל של כדורית: כדורית היא כדור מוליך מאוד גדול, $R = \infty$ ולכן הפוטנציאל אפס.

חיבור של שני מוליכים בחוט מוליך: מאלץ את הפוטנציאלים שלהם להיות שווים (מטען יזרום ממוליך אחד לשני עד השוויון הפוטנציאלי).

האברק: חיבור מוליך לכדורית, מאלץ את הפוטנציאל של המוליך להיות אפס (כמו כדורית).

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

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

$$W = 0 + q_2 \left(\frac{kq_1}{r_{12}} + \frac{kq_3}{r_{23}} \right) + q_3 \left(\frac{kq_1}{r_{13}} + \frac{kq_2}{r_{23}} \right)$$

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

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

זרם מתח והתנגדות

הזרם הוא כמות המטען שעוברת ביחידת זמן

חישוב זרם קבוע או ממוצע:

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

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

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

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

- בגרף של $q(t)$ שיפוע הגרף שווה לזרם. אם הגרף **לינארי** ניתן לרשום:

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

מהירות סחיפה:

$$I = n_e A q_e v_d$$

n_e - מספר האלקטרונים ליחידת נפח.
 A - שטח חתך של המוליך. q_e - מטען האלקטרון.
 v_d - מהירות הסחיפה (מהירות ממוצעת של האלקטרונים במוליך)

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

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

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

חוק אוהם:

$$V = IR$$

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

נגד: מוליך שהתנגדות שלו גדולה בהרבה מן החוטים.

תלות ההתנגדות במבנה הנגד:

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

l - אורך הנגד (הדרך שהמטענים עושים בנגד).
 A - שטח חתך, שטח בנגד המאונך לכיוון הזרם.
 ρ - התנגדות סגולית, תכונה שתלויה בסוג החומר ובטמפרטורה ונתונה בטבלאות.

התנגדות של נגד משתנה:

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

כאשר x הוא אורך הנגד (המשתנה)

r - התנגדות ליחידת אורך (בדרך קבוע) ביחידות של אוהם למטר.

כא"מ ומתח הדקים בסוללה לא אידיאלית:

$$\varepsilon = V + Ir$$

ε - כא"מ, המתח המקסימלי של הסוללה.
 V - מתח הדקים. r - התנגדות פנימית. I - זרם בסוללה.

נוסחה נוספת למתח הדקים עם ההתנגדות השקולה (R_T):

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

ולא הזרם:

עבודה אנרגיה והספק ברכיבים במעגל GOOL

העבודה שמתבצעת על מטען q שעובר בנגד מתח V היא:

$$W = qV = Q$$

כאשר Q זה החום שנוצר בנגד.

הספק קבוע או ממוצע:

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

W - העבודה שהתבצעה במרווח הזמן Δt

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

נוסחה נוספת להספק שנכונה גם להספק רגעי:

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

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

חיבור נגדים במעגל GOOL

הצד בו הפוטנציאל גבוה בנגד הוא הצד שבו הזרם נכנס לנגד.

חיבור נגדים בטור:

חיבור בטור נעשה כאשר **הזרם בנגדים זהה**

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

המתח על הנגד השקול שווה לסכום המתחים

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

חיבור נגדים במקביל:

חיבור בטור נעשה כאשר **המתח בנגדים זהה**

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

הזרם בנגד השקול שווה לסכום הזרמים

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

הספק המעגל הוא סך ההספקים של הנגדים במעגל או ההספק של הנגד השקול. הספק המעגל שווה להספק המקור (בסוללה אידיאלית).

חוקי קירכהוף GOOL

מתאים לפתור מעגלים עם מספר מקורות מתח.

- סך הזרמים שנכנסים לצומת שווה לסכום הזרמים שיוצאים מהצומת.
- סכום המתחים בלולאה סגורה שווה לאפס.

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

נצילות במעגל החשמלי GOOL

נצילות:

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

η - נצילות המעגל.

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

P_{in} - ההספק המושקע (של הסוללה)

מכשירי מדידה GOOL

אמפרמטר(מד זרם):

נחבר את האמפרמטר בטור לרכיב בו נרצה למדוד את הזרם.

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

וולטמטר(מד מתח):

נחבר את הוולטמטר במקביל לרכיב אותו נרצה למדוד.

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

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

גלוונטמטר: מד זרם שהתנגדותו אינה זניחה.

- שימוש בגלוונטמטר כמד זרם:

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

חוק אוהם:

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

I - הזרם במעגל. I_G - הזרם בגלוונטמטר. R_G - התנגדות הגלוונטמטר. R_S - התנגדות המיצד.

שימוש בגלוונטמטר כמד מתח:

V הוא המתח ברכיב.

$V = I_G (R_S + R_G)$

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

גשר ווינסטון:

שיטה למדידת התנגדות של נגד. משנים את ההתנגדות בנגד המשתנה עד שהזרם בגלוונטמטר מתאפס ואז:

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

קבלים GOOL

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

הנוסחה הבסיסית של קבל (הגדרת הקיבול):

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

C - הקיבול של הרכיב. V - המתח בין שני החלקים. Q - המטען על הלוח החיובי.

יחידות הקיבול הן Farad: $1 \cdot \text{Farad} = \frac{1 \cdot \text{Coulomb}}{1 \cdot \text{Volt}}$

סוגי קבלים נפוצים: קבל לוחות, קבל כדורי וקבל גילילי. בד"כ נעסוק בקבלים עם שני לוחות (קבל לוחות).

הקיבול של קבל לוחות:

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

A - שטח כל לוח. d - המרחק בין הלוחות.

תכונות הקיבול: **הקיבול תלוי רק במבנה הגיאומטרי** (אף פעם לא יהיה תלוי במטען על הקבל או במתח שנופל עליו) לכן הוא תמיד קבוע במעגל (אלא אם משנים את המבנה).

סימון הקבל במעגל:

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

חיבור קבלים במקביל:

$$C_T = C_1 + C_2$$

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

המתח על הקבל השקול שווה לסכום המטענים על כל הקבלים.

חיבור קבלים בטור:

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

התנאי לחיבור בטור הוא שהמטען על כל הקבלים זהה (וזה גם המטען של הקבל השקול).

המתח על הקבל השקול שווה לסכום המתחים של כל הקבלים.

אנרגיה האגורה בקבל:

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

העבודה שמבצעת הסוללה לטעינת קבל:

$$W = QV = 2U_C$$

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

קיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד: $C' = \varepsilon_r C_0$

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

טעינה של קבל:

המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה:

$V_C(t) = V_0 (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$

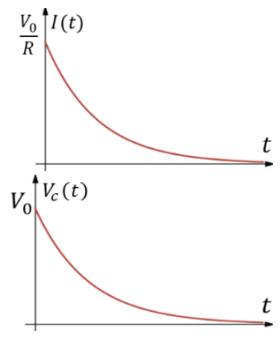
$q_C(t) = CV_0 (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$

V_0 - המתח של הסוללה

R - התנגדות המעגל

הזרם כתלות בזמן:

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



פריקה של קבל:
המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה:

$$V_C(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$
$$q_C(t) = CV_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

V_0 - המתח ההתחלתי (המטען ההתחלתי $Q_0 = CV_0$)
הזרם כתלות בזמן זהה לטעינה.

זמן אופייני: $\tau = RC$, נהוג להגיד שלאחר זמן של 5τ הקבל טעון/פרוק לגמרי

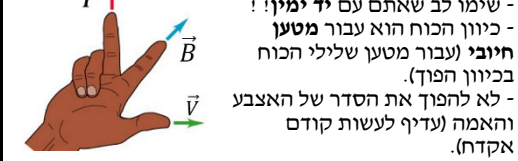
הכוח המגנטי - חוק לורנץ

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

חוק לורנץ - הכוח המגנטי:
ניתן לחשב את הכוח בשני דרכים.

- דרך דטרמיננטה (ראו 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 הנוע 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).

השדה המגנטי

סימון וקטור לתוך הדף $\otimes$ והחוצה מהדף $\odot$ (אלינו) $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

שדה של תיל אינסופי:

כאשר r הוא המרחק מהתיל. $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N/A^2$

כיוון השדה לפי כלל יד ימין (או הבורג):



היחידות הסטנדרטיות של השדה המגנטי הן T (טסלה).

שדה במרכז של טבעת ברדיוס R: $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$



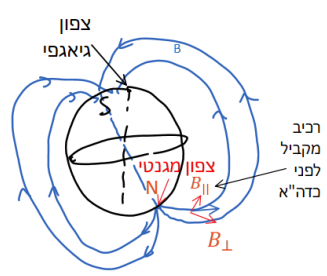
קווי שדה של טבעת, דיפול מגנטי (מגנטי):



השדה המגנטי של כדור הארץ:



הצפון הגאוגרפי אינו הצפון המגנטי.



נהוג לחלק את השדה המגנטי לרכיב מקביל ומאונך לכדה"א (לקרקע) כאשר בדרכ"כ מודדים רק את הרכיב המקביל.

שדה של סליל אינסופי:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{L}$$

בתוך הסליל השדה אחיד ושווה ל:

N - מספר הליפופים הכולל. L - אורך הסליל.
ניתן להגדיר גם מספר הליפופים ליחידת אורך של הסליל:

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

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



מוחץ לסליל וקרוב אליו ניתן להתייחס לשדה כאפס.

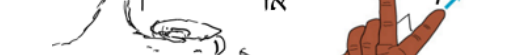
חוק ביו-סבר

חוק ביו-סבר, השדה המגנטי שיוצרת חתיכת זרם:

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

$\vec{r}$ הוא הוקטור מהחתיכה לנקודה בה מחפשים את השדה. $d\vec{l}$ הוא אורך החתיכה וכיוונו בכיוון הזרם.

חישוב הכיוון לפי כלל יד ימין:



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

השדה של תיל סופי:

במרכז התיל $B =$



$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \left(\frac{L}{(\frac{L}{2})^2 + a^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

שדה של טבעת לאורך ציר הסימטריה:

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

כיוון השדה לפי כלל הבורג:

נוח ליחידת אורך בן שני תילים מקבילים:

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

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

חוק אמפר - המשך השדה המגנטי

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

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

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

1. תיל/גליל אינסופי (עם זרם בכיוון ציר הסימטריה). נבחר לולאה בצורת עיגול ברדיוס r ו- $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot 2\pi r$

2. סליל/גליל (עם זרם מעגלי) נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע l ו- $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot l$

3. מישור אינסופי נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע l ו- $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot 2l$

כוח על תיל נושא זרם ובין שני תילים

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

$$F = BIL \sin \alpha$$

α היא הזווית בין השדה לכיוון הזרם.

את כיוון הכוח יש למצא לפי כלל יד ימין כמו בחוק לורנץ על מטען בודד כאשר כיוון הזרם (או כיוון ה-dl) מחליף את המהירות.

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

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

הכוח המגנטי על תיל נושא זרם

הכוח הפועל על חתיכת תיל קטנה באורך dl עם זרם I הנמצאת בשדה מגנטי B הוא:

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

- אם התיל ישר בשדה אחיד אז גודל הכוח הוא: $F = BIL \sin \alpha$

את כיוון הכוח יש למצא לפי כלל יד ימין כמו בחוק לורנץ על מטען בודד כאשר כיוון הזרם (או כיוון ה-dl) מחליף את המהירות.

- הכוח על לולאה סגורה בשדה אחיד מתאפס.
- הכוח על תיל בשדה אחיד אינו תלוי בצורת התיל, הכוח יהיה לזה לכוו הפועל על תיל ישר המתחיל ומסתיים באותם נקודות.

חוק פאראדיי והשראות

$$\varepsilon = BLv \sin \alpha$$

כא"מ הנוצר במוט הנע בשדה מגנטי: 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.

$$\varepsilon = - \frac{d\phi_B}{dt}$$

$$\phi_B = \vec{B} \cdot \vec{S} = B_{\perp} \cdot S$$

השוויון השני נכון אם $B_{\perp}$ אחיד בכל השטח. הכאמ מתנהג כמו מקור מתח במעגל. בדרכ"כ נמצא באמצעות החוק רק את גודל הכאמ ואת הכיוון נמצא לפי חוק לנץ.

חוק לנץ: הזרם נוצר בניגוד לשינוי בשטף.

האם השטף גדל או קטן?

נרצה להקטין את השטף

נרצה להגדיל את השטף

ניצור שדה מגנטי בכיוון הפוך לשדה הקיים

ניצור שדה מגנטי באותו הכיוון של השדה הקיים

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

הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה: $P = F \cdot v \cdot \cos \alpha$

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

מעגלי זרם חילופני

המתח והזרם במעגלי זרם חילופניים:

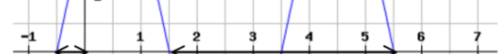
$$V(t) = V_{max} \sin(\omega t + \theta); I(t) = I_{max} \sin(\omega t)$$

ניתן לעבוד גם עם פונקציית קוסינוס במקום סינוס ההבדל יהיה רק בפאזה. הפאזה בפונקציית סינוס גדולה ב- $\frac{\pi}{2}$ מהפאזה בקוסינוס.

תדירות הזוויתית: $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

T זמן המחזור f - התדירות בהרץ θ - היא הפאזה של המתח ביחס לזרם

דוגמה לגרף של המתח כתלות בזמן:



זמן מחזור הוא המרחק בין שיא לשיא וממנו ניתן לחשב את התדירויות.

הפאזה מזויה את הגרף. פאזה חיובית מזויה את הגרף שמאלה ושלילית ימינה.

חישוב הפאזה: $V(0) = V_{max} \sin(\theta)$

$V(0)$ הוא הערך באפס (חיתוך עם הציר האנכי בגרף) נע במעגל מתח חילופני:

$$V_R(t) = RI(t)$$

חוק אוהם:

R - התנגדות הנגד (קבוע).
הפאזה של המתח בנגד היא אפס ביחס לזרם.

קבל במתח חילופין:

הגדרת הקיבול, והקשר של המתח לזרם:

$$Q(t) = CV_C(t) ; I(t) = \frac{dQ}{dt} \Rightarrow I(t) = C \frac{dV_C(t)}{dt}$$

C - קיבול (קבוע).

הפאזה של המתח בקבל היא $\theta = -\frac{\pi}{2}$ ביחס לזרם.

ההיגב של קבל: $x_c = \frac{1}{\omega c}$

היגב: מוגדר לפי $x = \frac{V_{max}}{I_{max}}$, להיגב יחידות של התנגדות

ונותן אומדן לסוג של התנגדות של הרכיב במעגל.

- בתדירות מאוד נמוכה, מתח המקור כמעט ולא משתנה ומקבלים מעגל מתח ישר, הקבל הופך לנתק. היגב גבוהה מאוד.

- בתדירות מאוד גבוהה, המתח משתנה מהר מאוד והקבל לא מספיק להטען. הקבל הופך לקצר (מתח אפס). היגב נמוך מאוד.

סליל במעגל מתח חילופין:

הקשר בין המתח לזרם: $V_L(t) = L \frac{dI(t)}{dt}$

L - השראות (קבוע)

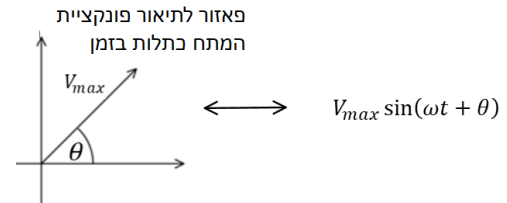
הפאזה של המתח בסליל היא $\theta = \frac{\pi}{2}$ ביחס לזרם.

ההיגב של סליל: $x_L = \omega L$

- בתדירות מאוד נמוכה, אין שינוי בזרם ולכן המתח של הסליל אפס, הסליל מתנהג כמו קצר, היגב נמוך מאוד.

- בתדירות מאוד גבוהה, שינוי זרם גדול יוצר מתח נגדי גדול בסליל. הסליל הופך לנתק. היגב גבוה מאוד.

פאזורים: פאזור הוא תאור של גודל סינוס המשתנה בזמן באמצעות וקטור. גודל הוקטור הוא הערך המקסימלי והזווית עם הצייר האופקי היא הפאזה.



בשביל לחבר שני גדלים התלויים בזמן נחבר את הפאזורים שלהם (הקטור השקול מתאר את הערך המקסימאלי והפאזה של התוצאה).

העכבה (אימפדנס) של המעגל

עכבה היא "ההתנגדות השקולה" של מעגל מתח חילופין

$$Z = \frac{V_{smax}}{I_{max}} = \sqrt{(X_{LT} - X_{CT})^2 + R_T^2}$$

השוויון האחרון נכון רק למעגל טורי.

V_{smax} - המתח המקסימאלי של המקור.

X_{LT} , R_T , X_{CT} הם ההתנגדות השקולה, סכום ההיגבים של הקבלים וסכום ההיגבים של המשרנים.

זווית המופע של המקור: $\tan \theta_s = \frac{X_{LT} - X_{CT}}{R_T}$

זרם אפקטיבי ומתח אפקטיבי: $I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$; $V_{eff} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$

- הם שורש הממוצע של ריבוע הגודל (סוג של ממוצע בזמן רק לגודל המתח והזרם).

תהודה: מצב שבו הזרם הזרם האפקטיבי מקסימאלי. מתרחשת כאשר פאזת המקור מתאפסת.

התדירות בה יש תהודה במעגל RLC טורי: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

הספק ממוצע בנגד: $\bar{P}_R = I_{eff} V_{R_{eff}} = I_{eff} V_{s_{eff}} \cos \theta_s$

θ_s - הפאזה של המקור

גורם ההספק: $\cos \theta_s$

- היחס בין ההספק בנגד להספק בקבל והמשרן.

- ככל שהגורם גבוה יותר כך ניצול האנרגיה במעגל טוב יותר.