

## מערך שיעור בנושא: קביעת זרם נקוב של הגנה מערכות הספק בפרויקט בכיתה י"ב – באמצעות AI

מהו זרם נקוב של הגנה וכיצד הוא מחושב?

הערות לתשובת AI

א) בתשובה לא מציינים כיצד מסומן "זרם נקוב"

ולכן נשאל: מהו הסימול של זרם נקוב

ונקבל:  $I_n$  - "זרם נקוב"

ב) בתשובה אין התייחסות "למקדם הספק" בחישוב הזרם הנקוב שבדוגמה

ולכן נשאל: האם מקדם ההספק גם צריך להיות בנוסחה?

ונקבל: התשובה היא כן, מקדם ההספק חשוב במיוחד כאשר מדובר במערכות חשמל תלת-פאזיות או מערכות עם עומסים אינדוקטיביים (כמו מנועים, שנאים, מדחסים וכו'), והוא משפיע על חישוב הזרם החשמלי במערכת.

ג) בתשובה אין התייחסות לסוג מקור המתח-זרם ישר או זרם חילופין חד פזי או תלת פזי ולכן חשוב להגדיר את סוג מקור המתח

ד) בתשובה אין התייחסות לאופן בחירת גודל ההגנה לפי גדלים סטנדרטיים מקטלוג

ולכן אשאל: מבקש דוגמה לשימוש בהגנה על מנוע מתוך קטלוג?

ונקבל: תשובה מלאה המתייחסת לשאלות הקודמות שלי

מסקנה בשימוש בבינה מלכותית - AI: הבינה המלכותית לא מושלמת עדיין ועליך להיות בקיא בחומר כדי לדעת מה לשאול ואיך לשאול כלומר: הבינה המלכותית לא מהווה תחליף ללימודים בבית הספר עם מורה בשלב זה.

אופן כתיבת השאלות והתשובות מתוך האתר:

מהו זרם נקוב של הגנה וכיצד הוא מחושב?

הזרם הנקוב של ההגנה (או זרם נקוב של מערכת הגנה) הוא הזרם המקסימלי שמערכת ההגנה (כגון מפסק, פיוז, ממסר הגנה) יכולה לשאת לפני שהיא מפעילה את ההגנה ומפסיקה את זרם החשמל במערכת. הזרם הנקוב הוא חשוב ביותר בתכנון מערכות חשמליות, כי הוא מגדיר את הזרם המקסימלי שההגנה יכולה לשאת מבלי לגרום לנזק או להתחממות יתר, ובכך הוא מונע נזקים למערכת במקרה של עומס יתר או קצר חשמלי.

כיצד מחשבים את הזרם הנקוב של ההגנה?

הזרם הנקוב של מערכת הגנה (כמו מפסק או פיוז) תלוי בכמה גורמים חשובים:

1. הזרם הנדרש במערכת:

- ההספק של המערכת: כדי לחשב את הזרם המתאים למערכת, יש לחשב את הזרם על פי ההספק (P) והמתח (V) של המערכת:

$$I = P/V$$

כאשר:

I - הוא הזרם (באמפר),

P - הוא ההספק (בוואט),

V - הוא המתח (בוולט).

לדוגמה, אם יש לנו מערכת של W500 ב-V230, הזרם יהיה:

...

- פיזזים ומפסקים לא יפגעו מיד כאשר הזרם עולה על הזרם הנקוב. הם יגיבו רק כאשר הזרם חורג מהזרם הנקוב למשך זמן מסוים. לדוגמה, אם יש מנוע שמתחיל לפעול, יתכן שהזרם יעלה זמנית יותר מהזרם הרגיל (כמו 1.5 פעמים יותר מהזרם המומלץ), ובמצב כזה המפסק או הפיזז יגיבו רק אם הזרם נשאר גבוה לאורך זמן.

#### 4. חישוב זרם קצר:

- במקרה של קצר חשמלי במערכת, הזרם עשוי לעלות בצורה חדה מאוד. יש לחשב את הזרם המרבי שצפוי במצב של קצר חשמלי (זרם קצר), ולהבטיח שההגנה במערכת (מפסק או פיזז) תוכל להפסיק את הזרם במהירות כדי למנוע נזק למערכת.

- הזרם הקצר תלוי בהתנגדות המוליכים ובאורך הכבלים, וניתן לחשב אותו על ידי חישוב התנגדות המוליך במערכת וההספק במצבי קצר. כאשר הזרם קצר, המפסק או הפיזז יפסיקו את הזרם תוך זמן קצר.

#### 5. מקדמים של טמפרטורה וסביבה:

- כאשר יש חשש מעליית טמפרטורה, יש לקחת בחשבון...

#### 1. חישוב הזרם:

$$I = P/V = 2000/400 = 5 \text{ A}$$

הזרם הרגיל במערכת הוא 5 אמפר.

#### 2. הזרם הנקוב של ההגנה:

נניח שההגנה צריכה להיות מסוגלת להתמודד עם עומס יתר זמני (למשל, 1.25 עד 1.5 פעמים מהזרם הרגיל). אז, אם נבחר מקדם של 1.25:

$$I_{\text{protection}} = I \times 1.25 = 5 \times 1.25 = 6.25 \text{ A}$$

הזרם הנקוב של ההגנה במערכת יהיה 6.25 אמפר.

אם נבחר מקדם של 1.5 (למשל, במידה ויש צורך במרווח ביטחון גבוה יותר):

$$I_{\text{protection}} = I \times 1.5 = 5 \times 1.5 = 7.5 \text{ A}$$

אז הזרם הנקוב של ההגנה יהיה 7.5 אמפר.

3. ההגנה מהמפסק או הפיז:

המפסק או הפיז במערכת ייבחרו לפי זרם נקוב של 6.25 אמפר או 7.5 אמפר (בהתאם למרווח הביטחון הנבחר), כך שהמערכת תהיה מוגנת גם במקרה של עומס יתר.

סיכום:

הזרם הנקוב של ההגנה הוא הזרם המקסימלי שמפסק, פיז או מערכת הגנה אחרת יכולים לשאת לפני שהם מפעילים...

האם מקדם ההספק גם צריך להיות בנוסחה?

האם מקדם ההספק (Power Factor) צריך להיכנס לנוסחאות לחישוב זרם נקוב של הגנה? התשובה היא כן, מקדם ההספק חשוב במיוחד כאשר מדובר במערכות חשמל תלת-פאזיות או מערכות עם

עומסים אינדוקטיביים (כמו מנועים, שנאים, מדחסים וכו'), והוא משפיע על חישוב הזרם החשמלי במערכת.

מקדם ההספק (Power Factor) – מהו?

מקדם ההספק (Power Factor, PF) הוא מדד המייצג את היחס בין ההספק הפעיל (ההספק שנצרך בפועל) לבין ההספק המלא (ההספק הכולל שמסופק למערכת). מקדם ההספק הוא מספר בין 0 ל-1, כאשר:

- מקדם הספק של 1 מציין שההספק המלא הוא בדיוק ההספק הפעיל, כלומר כל האנרגיה שנמסרת למערכת מתבזזת לעבודה שימושית.

- מקדם הספק נמוך מ-1 מציין שיש אובדן אנרגיה במערכת, בדרך כלל עקב עומסים אינדוקטיביים או קיבוליים (כגון מנועים, שנאים, מאיידים, וכו').

הנוסחה לחישוב מקדם ההספק היא:

$$\text{Power Factor} = P/S$$

כאשר:

...

חישוב הזרם במקרה של מקדם הספק:

כדי לחשב את הזרם המקסימלי במערכת, יש לקחת בחשבון את מקדם ההספק.

במקרה של מערכת חד-פאזית:

$$I = P/V \times \text{Power Factor}$$

כאשר:

- I הוא הזרם במערכת (באמפר),

- P הוא ההספק הפעיל (בוואט),

- V הוא המתח במערכת (בוולט),

- Power Factor הוא מקדם ההספק של המערכת (למשל, 0.9, 0.8, או 1).

במערכת תלת-פאזית, הזרם מחושב כך:

$$I = P/\sqrt{3} \times V \times \text{Power Factor} \times \cos(\theta)$$

כאשר:

- P הוא ההספק הפעיל במערכת (בוואט),

- V הוא המתח בין הפאזות (בולט),

- Power Factor הוא מקדם ההספק של המערכת,

-  $\cos(\theta)$  הוא מקדם ההספק, שנמדד בין ההספק הפעיל למתח ולזרם.

השפעת מקדם ההספק על חישוב זרם הנקוב של ההגנה:

כאשר מקדם ההספק נמוך מ-1 (למשל, במקרה של עומס אינדוקטיבי כמו מנועים), יש צורך להגדיל את הזרם המתוכנן במערכת. לכן, הזרם הנקוב של ההגנה (כמו מפסקים או פיוזים) צריך להיות גבוה יותר! ...

הזרם שמערכת ההגנה צריכה להתמודד איתו הוא כ-10.3 אמפר.

2. חישוב הזרם הנקוב של ההגנה:

נניח שהמפסק או הפיוז ייבחר עם מרווח ביטחון של 1.25, אז:

$$I_{\text{protection}} = 10.3 \times 1.25 = 12.875 \text{ A}$$

הזרם הנקוב של ההגנה יהיה כ-12.9 אמפר.

סיכום:

מקדם ההספק חשוב מאוד כאשר מחשבים את הזרם הנקוב של הגנה במערכות חשמל, במיוחד כאשר מדובר בעומסים אינדוקטיביים (כמו מנועים ושנאים). הזרם הממשי במערכת, שאותו יש להגן עליו, יהיה גבוה יותר מאשר הזרם שנמדד בהספק פעיל בלבד, וכתוצאה מכך הזרם הנקוב של ההגנה (מפסק, פיוז, ממסר) יהיה גבוה יותר. חשוב לזכור לקחת את מקדם ההספק בחשבון כאשר מחשבים את הזרם המתמיד המירבי של המערכת.

כיצד מסומן זרם נקוב?

זרם נקוב (Nominal Current) מסומן בדרך כלל באותיות  $I_n$  או  $I_n$ . זהו הזרם המקסימלי שמערכת חשמלית, רכיב או התקן (כגון מפסק, פיוז, או מכשיר חשמלי) יכולים לשאת באופן רציף, מבלי לגרום להתחממות יתר, נזק או ירידה בביצועים.

כיצד מסמנים את זרם הנקוב:

1.  $I_n$  (או  $I_n$ ): זהו הסימון הנפוץ ביותר לזרם נקוב. לדוגמה:

-  $I_n = 10 \text{ A}$ : פירוש הדבר הוא שההתקן (כגון מפסק או פיוז) מתוכנן לשאת זרם נקוב של 10 אמפר.

2. | (זרם) + סאבסקריפט n: לעיתים קרובות משתמשים ב- $I_n$  במקום  $I_n$ , במיוחד בתיעוד טכני. לדוגמה:

-  $I_n = 15 \text{ A}$  מציין שזרם הנקוב של המפסק או התקן אחר הוא 15 אמפר.

מהו זרם נקוב ולמה הוא חשוב?

זרם נקוב הוא הזרם המרבי שהתקן יכול לשאת לאורך זמן מבלי לגרום לנזק. כל התקן חשמלי (כגון מפסק, פיוז, או מכשירים חשמליים אחרים) מתוכנן לשאת את הזרם הנקוב שלו בצורה בטוחה, כלומר הוא לא יתחמם יתר על...

בניח שיש לנו מפסק חשמלי שתומך בזרם נקוב של 20 אמפר. זה אומר שהמפסק מסוגל לשאת זרם של עד 20 אמפר באופן רציף מבלי להפעיל את הגנתו. אם הזרם במערכת יעלה על 20 אמפר, המפסק יכבה את המערכת (או יפסק את המעגל) כדי להימנע מהתחממות יתר או נזק למוליכים.

סיכום:

- זרם נקוב מסומן ב- $I_n$  או  $I_n$ .

- זהו הזרם המקסימלי שהתקן או הרכיב יכול לשאת בצורה בטוחה, לאורך זמן, מבלי לגרום לנזק.

- זרם נקוב הוא נתון חשוב בתכנון מערכות חשמליות, בעיקר על מנת להבטיח הגנה על הרכיבים והמערכת כולה.

כיצד בסופו של דבר בוחרים את ההגנה הנכונה?



בחירת ההגנה הנכונה במערכת חשמלית היא שלב קריטי בתכנון, כדי להבטיח בטיחות, הגנה על ציוד ו\*פעולה תקינה\* של המערכת לאורך זמן. ההגנה במערכת חשמלית כוללת רכיבים כמו מפסקים, פיוזים, ממסרי הגנה ו\*מגני זרם יתר\*, וכל אחד מהם מותאם באופן ספציפי לסוג המערכת, לזרם הצפוי ולתנאים הסביבתיים.

כיצד לבחור את ההגנה הנכונה?

הבחירה בהגנה הנכונה מבוססת על מספר שיקולים, כולל הזרם הנקוב, סוג העומס, הספק המערכת, אופי הזרמים הקצרים הצפויים, סוג המוליכים, ועוד. להלן שלב שלב איך לבחור את ההגנה הנכונה:

1. הבנת הצרכים של המערכת

לפני שמבצעים את הבחירה בהגנה, יש להבין את דרישות המערכת ואת תנאי הפעולה שלה:

- הספק המערכת (P) ו\*המתח\* (V) של המערכת.

- הזרם המקסימלי הצפוי במערכת.

- האם יש עומס אינדוקטיבי (כגון מנועים או שנאים) או עומס התנגדתי (כגון חימום חשמלי).

- האם יש צפי לקצרים חשמליים (...)

- V הוא המתח (בוולט).

אם מדובר במערכת תלת-פאזית, יש להשתמש בנוסחה המתאימה:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \text{Power Factor}}$$

כאשר:

- P הוא ההספק הפעיל במערכת,

- V הוא המתח בין הפאזות.

---

### 3. בחירת רכיב ההגנה (פיזז, מפסק, ממסר)

לאחר חישוב הזרם, יש לבחור את רכיב ההגנה המתאים:

- פיזז: מתאים למערכות בהן יש צורך בהגנה מהירה מפני זרמים גבוהים מאוד, כמו במצבים של קצר חשמלי. הפיזז יישרף ויתנתק מהמוליך כאשר הזרם עובר את הזרם הנקוב.

- מפסק: מתאים למערכות בהן יש צורך בהגנה על ציוד מפני עומס יתר ו\*קצר חשמלי\*. המפסק יכבה את המערכת במקרה של זרם גבוה מדי, אך יוכל לשוב ולהפוך למצב פעיל לאחר תיקון התקלה.

- ממסר הגנה: משמש במערכות מורכבות יותר, כגון הגנה מפני קצר, הגנה מפני עומס יתר ו\*הגנה מפני חוסר תדר\* במנועים.

---

### 4. הגנה מפני קצר חשמלי

במערכות חשמליות, המפסק או הפיזז צריכים להיות מסוגלי...

כאשר המערכת פועלת בעומס יתר, יש לוודא שההגנה לא תכבה את המערכת מיד אלא תמתין עד שהעומס יימשך זמן מספיק כדי לגרום לנזק. הגנה מעומס יתר צריכה לקחת בחשבון את הזרם הרגיל והחולף שנעבור במערכת (כמו במקרים של הפעלת מנועים), אך לא תפסיק את המערכת באופן מיידי אם מדובר בעומס זמני.

---

## 6. קביעת זמן ההפסקה (Time-Delay)

במקרים של עומס יתר זמני (למשל, בעת הפעלת מנוע), יש לקחת בחשבון את זמן ההפסקה של המפסק או הפיזז. במקרים כאלה, יש לבחור הגנה עם זמן השהייה (Time-Delay) שיאפשר למנוע מההגנה לפעול במקרים של עליות זרם זמניות.

---

## 7. התאמת הגנה לטמפרטורה ולתנאים סביבתיים

יש לקחת בחשבון את הטמפרטורה הסביבתית ואת תנאי הסביבה (לחות, אבק, גובה) המשפיעים על יכולת פיזור החום של המוליכים וההגנה. במקרים של טמפרטורה גבוהה, יש להתאים את הזרם הנקוב של ההגנה על מנת להימנע מהתחממות יתר של ה...  
- מדריכים של יצרנים: יש להיעזר בהמלצות היצרן של המפסק, פיזז או הממסר, כדי לבחור את ההגנה המתאימה ביותר למערכת.

---

## סיכום:

כדי לבחור את ההגנה הנכונה, יש לקחת בחשבון את הזרם במערכת, את סוג העומס (אינדוקטיבי או התנגדתי), את הזרם הנקוב של המפסק או הפיזז, את היכולת להתמודד עם זרמים קצרים ועומסים, את הטמפרטורה הסביבתית ואת שאר התנאים הסביבתיים. כל אלה ישפיעו על הבחירה בהגנה המתאימה ביותר למערכת החשמל, כך שההגנה תוכל להתמודד עם זרמים גבוהים, למנוע נזקים ולשמור על הפעולה התקינה של המערכת.

מבקש דוגמה לשימוש בהגנה על מנוע מתוך קטלוג

בכדי להמחיש כיצד לבחור הגנה על מנוע מתוך קטלוג של מפסקים או פיוזים, אשתמש בדוגמה של הגנה על מנוע חשמלי בתנאים של עומס יתר ו\*קצר חשמלי\*. דוגמה זו תסייע להבין איך לבחור את רכיב ההגנה המתאים מתוך קטלוג.

שלב 1: פרטי המנוע

בניח שיש לנו מנוע תלת-פאזי עם הנתונים הבאים:

- הספק המנוע: 15 כוחות סוס  $\approx 11.2$  (HP) קילוואט (kW)

- המתח: 400 וולט (תלת-פאזי)

- מקדם הספק (Power Factor): 0.85

- הזרם המינימלי: יש צורך לחשב את הזרם שמניע את המנוע במתח של 400 וולט.

- הגנה נדרשת: הגנה מפני עומס יתר (כמו גם הגנה מפני קצר חשמלי)

שלב 2: חישוב הזרם הפועל במנוע

בהנחה שהמנוע פועל בהספק של 11.2 קילוואט (kW), נחשב את הזרם המינימלי במנוע, כשהוא פועל במתח תלת-פאזי של 400 וולט.

חישוב הזרם במנוע במערכת תלת-פאזית:

הנוסחה לחישוב הזרם במערכת תלת-פאזית היא:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \text{Power Factor}}$$

פיוזים בדרך כלל נבחרים כך שהזרם הנקוב שלהם יהיה 1.25 עד 1.5 פעמים הזרם הנומינלי של המנוע, כדי להתמודד עם התחלה זמנית של המנוע ועם זרמים גבוהים בזמן הפעלתו.

- אם הזרם הנומינלי של המנוע הוא 19.1 אמפר, אז פיוזים ייבחרו עם זרם נקוב של:

$$I_{\text{fuse}} = 19.1 \times 1.25 = 23.875 \text{ A}$$

או

$$I_{\text{fuse}} = 19.1 \times 1.5 = 28.65 \text{ A}$$

כלומר, הפיוז המתאים יכול להיות 24 אמפר או 28 אמפר.

2. מפסקים (Circuit Breakers):

המפסק ייבחר גם הוא לפי הזרם הנומינלי של המנוע, עם מרווח ביטחון נוסף, בהתאם להתווספות זמן השהיה (למשל, 1.25 עד 1.5 פעמים הזרם הנומינלי).

- במקרה של 19.1 אמפר, המפסק הנכון יכול להיות 25 אמפר או 30 אמפר, תלוי בהגדרות הצורך.

3. ממסרי הגנה (Thermal Overload Relays):

בנוסף למפסקים או פיוזים, יש צורך להוסיף ממסר הגנה תרמי שמגיב לעומס יתר במנוע. הממסר הזה בדרך כלל יכוון בטווח של 1.05 עד 1.15 מהזרם הנומינלי של המנוע.

- אם הזרם הנומינלי של המנוע הוא 19.1 אמפר, הממסר הגנה התרמי ייבחר בטווח של 20.0 עד 21.9 אמפר.

שלב 4: בחירת הגנה בהתבסס על קטלוג

בניח שאנחנו בוחרים לפי קטלוג של מפסק תלת-פאזי עם הגנה מפני עומס יתר:

- לפי הקטלוג, מפסק 25 אמפר מתאים למנוע עם זרם נומינלי של 19.1 אמפר, מכיוון שהמפסק יוכל להתמודד עם זרמים זמניים גבוהים (כמו בהפעלה של מנוע) ולא יפסיק את המערכת באופן מיידי.

- פיז 25 אמפר יהיה גם בחירה טובה, במקרה שההגנה לא דורשת פעולה מהירה מידי, אך עם מהירות כיבוי גבוהה במקרה של קצר חשמלי.

שלב 5: הגנה מפני קצר חשמלי

בנוסף להגנה מעומס יתר, יש צורך להוסיף הגנה מפני קצר חשמלי. במקרה של קצר, הזרם עשוי להיות גבוה מאוד, והמפסק או הפיז צריכים לנתק את המערכת מיד.

- אם הזרם הקצר הצפוי במערכת הוא 5 עד 10 פעמים הזרם הנומינלי של המנוע, אז המפסק או הפיז צריכים להיות מסוגלים להתמודד עם זרם גבוה מאוד במקרים של קצר. לדוגמה, מפסק 100 אמפר יכול להתמודד עם זרמים קצרים גבוהים מאוד.

סיכום:

- הזרם הנקוב של המנוע הוא כ-19.1 אמפר.

- ההגנה על המנוע תכלול מפסק או פיז עם זרם נקוב של 25 אמפר או 30 אמפר (בהתאם להעדפות של מרווח ביטחון).

- ממסר הגנה תרמי ייבחר בטווח של 20.0 עד 21.9 אמפר.

- הגנה מפני קצר חשמלי: המפסק או הפיז צריכים להיות מסוגלים להתמודד - עם זרמים קצרים גבוהים מאוד, עם מפסק 100 אמפר לדוגמה.

כאשר בוחרים את ההגנה הנכונה מתוך קטלוג, יש לקחת בחשבון את כל התנאים הללו, ולהתאים את רכיבי ההגנה כך שסיפקו את ההגנה המתאימה למנוע ולמערכת החשמלית כולה.