

## שיפור מקדם הספק (המורה: אביתר)

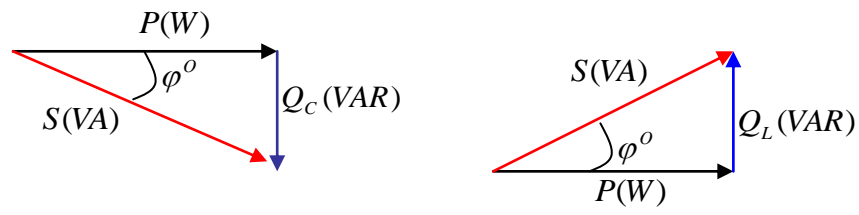
ברשתות AC, מעבר הספק ריאקטיבי ברשתות חשמל, גורם להפסדי אנרגיה נוספים. עבודתו של הצרכן עם מקדם הספק גבוה ככל האפשר, מבטיחה חיסכון באנרגיה חשמלית וניצול טוב יותר של המערכת. ההספק הריאקטיבי נובע מקיום היגב השראתי או קיבולי. כידוע לכל צרכן קיים משולש הספקים.

\* לצרכן אומי כגון נורות ליבון או גופי חימום של תנורים הספק ממשי P בלבד.

\* לצרכן השראתי אומי כגון מנועים אסינכרוניים, שנאים וכו' הספק ממשי P, הספק עיוור Q (חיובי), והספק מדומה S.

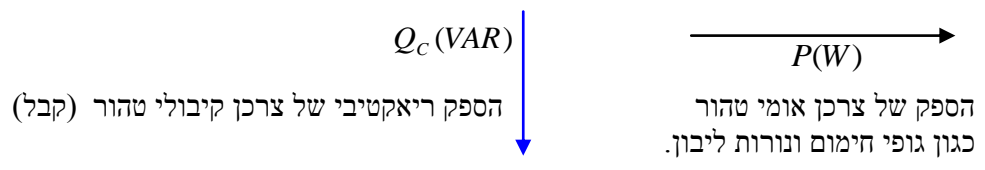
\* לצרכן אומי קיבולי כגון מנוע סינכרוני הספק ממשי P, הספק עיוור Q (שלילי), והספק מדומה S.

\* לצרכן קיבולי כגון קבל הספק עיוור (שלילי) בלבד.



משולש הספקים של צרכן אומי קיבולי כגון מנוע סינכרוני.

משולש הספקים של צרכן אומי השראתי כגון מנוע אסינכרוני, סליל או שנאי.



רוב צרכני החשמל בזרם חילופין הם צרכנים אומים השראתיים (מנועים אסינכרוניים) משום כך קיים משולש הספקים שבו הזווית  $\varphi$  חיובית, כלומר ההספק העיוור חיובי. ככל שההספק העיוור גדול יותר, כן זווית המופע  $\varphi$  גדולה יותר, דהיינו מקדם ההספק ( $\cos \varphi$ ) קטן יותר.

### העלאת מקדם ההספק (הקטנת זווית המופע) אפשרית ע"י:

- א. חיבור קבל או סוללת קבלים במקביל לצרכן או קבוצת צרכנים
- ב. חיבור צרכן אומי טהור (אמנם ההספק הממשי P גדל, אך העיוור נשאר ללא שינוי ולכן ההספק המדומה S גדל אבל הזווית  $\varphi$  קטנה).
- ג. חיבור צרכן אומי קיבולי (מנוע סינכרוני שהספקו העיוור מתנהג כהספק עיוור של קבל) אמנם ההספק הממשי P גדל אך ההספק העיוור קטן מאחר וחיבור הספק עיוור קיבולי מוריד את ערכו של ההספק העיוור הכללי.
- ג. שימוש במכונות חשמל המתאימים לעומס הנקוב ולא כאלה שהספקם גדול יותר מהעומס הקיים.

לא תמיד במונה שיפור מקדם הספק מבינים שמדובר על חיסכון באנרגיה. שיפור מקדם הספק חייב לתת ביטוי לחיסכון גם בהיבטים אחרים. מעשית, הבעיה של שיפור מקדם הספק וכל הקשור אליה, איננה פשוטה כל כך, היות ואין ספור גורמים טכניים וכלכליים שיש להתחשב בהם כגון:

- א. אם מדובר על קבלים טהורים, נשאלת השאלה מהי צריכת האנרגיה של הקבלים עצמם?
- ב. מהם האפשרויות לחיבור הקבלים (על יד כל צרכן בנפרד, על יד קבוצת צרכנים, או על יד לוח ראשי (או בצורה משולבת)).

גודל הקבל מבחינת ערכו הקיבולי C והספקו העיוור Q, תלוי בין היתר במתח, והמתח שונה בנקודות חיבור על הצרכן או בלוח הראשי וזאת עקב מפלי מתח. מהיבט אחר, אם קבלים מחוברים על ידי כל צרכן, או קבוצת צרכנים בנפרד, ההספק העיוור Q הוקטן בקטעים השונים של הרשת, בשעה שחיבור מערכת קבלים על ידי הלוח הראשי מבטיח הקטנת Q ברשת המזינה.

ג. האם אפשר להתאים כל קבל לכל מקום צריכה, כלומר קבל בעל נתונים של מתח ותדר מסויימים ואם ניתן לחברו למתח ותדר אחרים?

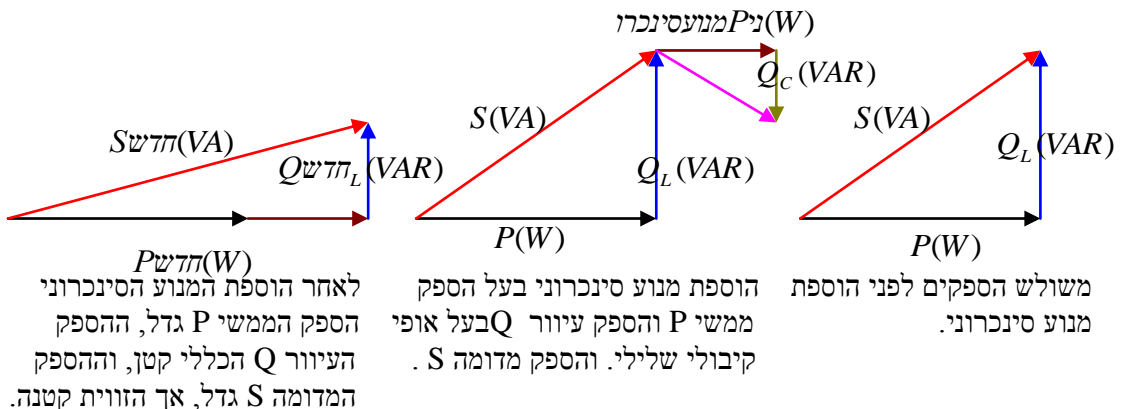
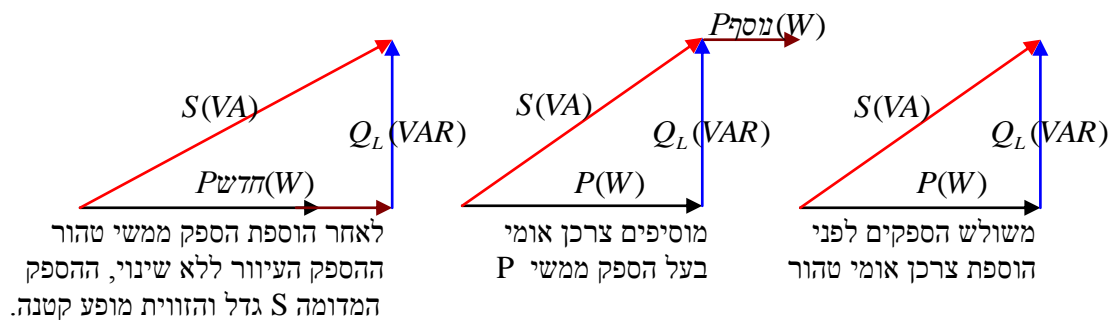
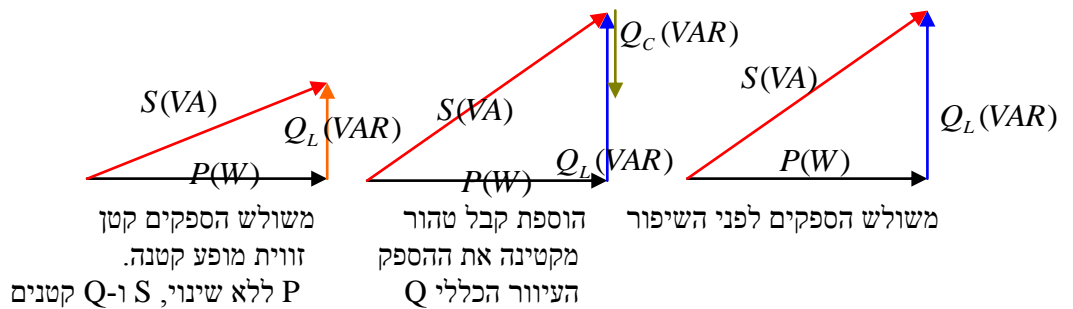
ד. כיצד לוקחים בחשבון עלותו של קבל הנתונה בדרך כלל לפי מחיר לKVAR ואז יתכן שבאופן חיבור מסוים, העלות יותר גדולה ובאופן חיבור אחר העלות יותר קטנה.

ה. האם העלות בהשקעה ראשונית, הוא הגורם היחיד הקובע באיזו אפשרות לבחור. יש להתחשב בגורמים נוספים כגון: עלות האנרגיה ב-KWH, הפחת של התקן שנתונה באחוזים מההשקעה עלות האחזקה השוטפת שנתונה באחוזים להשקעה.

ו. האם יש להעדיף מנוע סינכרוני לעומת מערכת קבלים בהתחשב שהמנוע מבצע עבודה מכנית יעילה. במקרה זה יש לקחת את הגורמים הנ"ל: עלות ראשונית, פחת, הוצאות אחזקה שוטפת.

ז. במקרה של קבלים במערכות תלת פאזיות, יש לבדוק גם את האפשרות בחיבור כוכב או משולש של הקבלים.

**דוגמאות בצורה וקטורית של משולש הספקים לפני ואחרי שיפור באפשרויות השונות.**



$$I = \frac{S}{U} \text{ לפי הנוסחאות ברשת חד פאזית}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \text{ או בתלת פאזית}$$

אנו מבחינים שהקטנת ההספק המדומה S תביא לירידת צריכת הזרם של הצרכן. מאחר ואין להקטין את ההספק הממשי P אך ניתן להקטין את ההספק העיוור Q אשר אינו מנוצל לעבודת המתקן החשמלי, שיביא עמו גם להקטנת ההספק המדומה S.

הקטנת זווית המופע נקראת גם בשם שיפור מקדם הספק וכאמור ניתן לקיים אותה בהתאם לשלושת האפשרויות הנ"ל.

יש לציין ששיפור מקדם ההספק אינו מביא להקטנת התשלום בעבור צריכת החשמל עקב ירידת הזרם, מאחר וההספק הממשי P נשאר ללא שינוי והתשלום לחברת החשמל מתבצע לפי KWH (קילו וואט לשעה).

אם כן מה ניתן להרוויח משיפור מקדם ההספק?

#### **א. מצד הצרכן**

שיפור מקדם הספק מביא לצריכה קטנה יותר של זרם, דבר המאפשר שימוש במוליכים בעלי שטחי חתך קטנים יותר ואמצעי הגנה קטנים יותר בהתאם. הקטנת הפסדים ומפלי המתח בקווים.

#### **ב. מצד חברת החשמל**

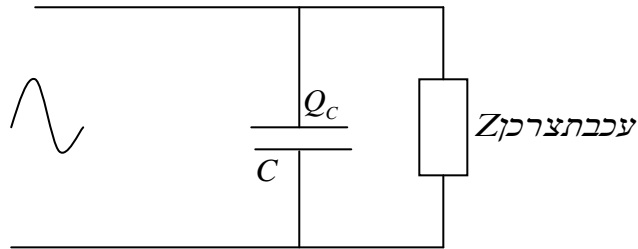
הקטנת הפסדים ומפלי מתח וחיסכון באנרגיה. שימוש בקווים בעלי שטח חתך קטן יותר (מאחר וזוה"י משתמשת במוליכים ארוכים מאד ומחירים בהתאם גם לפי שטח החתך. שימוש באביזרי רשת (עמודים ואמצעי הגנה קטנים יותר) תחזוקת רשתות זולה יותר.

חברת החשמל דורש מצרכנייה התעשיינים לדאוג למקדם הספק של 0.92. צרכנים שלא עומדים בתנאי נאלצים לשלם קנסות בעבור מקדמי הספק נמוכים, אשר מתבטאים בסכומים גדולים אשר מביאים בסופו של דבר להבין את הכדאיות בהשקעה בשיפור מקדם ההספק.

## חיבור קבלים לשיפור מקדם הספק.

קבלים מחברים במקביל לצרכן, במקביל לקבוצת צרכנים או במקביל לרשת בלוח החשמל הראשי.

### ברשת חד מופעית



$$\text{הספק הקבל } Q_c = P(\text{tag}\phi - \text{tag}\phi')$$

$$\text{קיבול קבל } C = \frac{Q_c \cdot 1 \cdot 10^9}{U_c^2 \cdot \omega}$$

$$\text{תדירות זוויתית } \omega = 2 \cdot \pi \cdot F$$

$$\text{זרם בקבל } I_c = \frac{Q_c}{U} \cdot 1 \cdot 10^3$$

$$\text{הספק עיוור של הקבל } Q_c [KVAR]$$

$$\text{הספק הצרכן } P [KW]$$

$$\text{קיבול הקבל } C [\mu F]$$

$$\text{מתח על הדקי הקבל } U_c [V]$$

$$\text{תדירות הרשת } F [Hz]$$

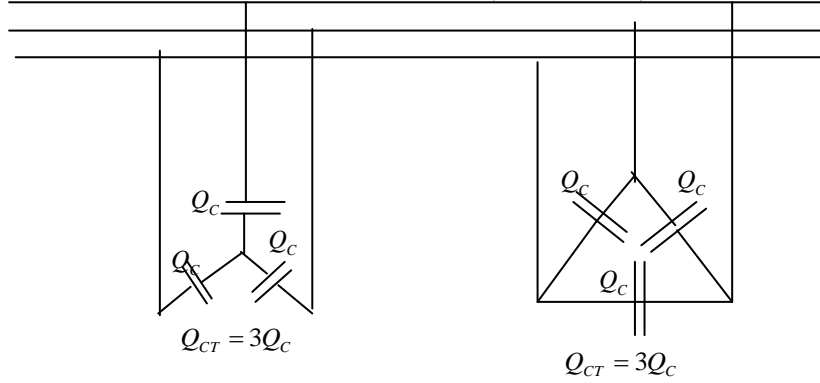
$$\text{זרם הקבל } I_c [A]$$

$$\text{טנגנס הזווית לפני השיפור } \text{tag}\phi$$

$$\text{טנגנס הזווית לאחר השיפור } \text{tag}\phi'$$

## ב. ברשת תלת פאזית

ברשת תלת פאזית ניתן לחבר את הקבלים בחיבור כוכב או משולש.



$$Q_{CT} = P(\text{tag}\varphi - \text{tag}\varphi')$$

$$C = \frac{Q_{CT} \cdot 1 \cdot 10^9}{U_{LC}^2 \cdot \omega}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot F$$

$$I_{LC} = \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_L} \cdot 1 \cdot 10^3$$

$$Q_c [\text{KVAR}]$$

$$P [\text{KW}]$$

$$C [\mu F]$$

$$U_c [\text{V}]$$

$$F [\text{Hz}]$$

$$I_c [\text{A}]$$

$$\text{tag}\varphi$$

$$\text{tag}\varphi'$$

$$Q_{CT} = P(\text{tag}\varphi - \text{tag}\varphi')$$

$$C = \frac{Q_{CT} \cdot 1 \cdot 10^9}{3 \cdot U_{LC}^2 \cdot \omega}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot F$$

$$I_{LC} = \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_L} \cdot 1 \cdot 10^3$$

$$Q_c [\text{KVAR}]$$

$$P [\text{KW}]$$

$$C [\mu F]$$

$$U_c [\text{V}]$$

$$F [\text{Hz}]$$

$$I_c [\text{A}]$$

$$\text{tag}\varphi$$

$$\text{tag}\varphi'$$

בחיבור כוכב, קיבול כל קבל גדול פי 3 מאשר בחיבור משולש

## פריקת סוללת הקבלים

קבלים גדולים מחויבים על פי חוק להיות מחוברים באופן קבוע לנגדי פריקה. המטרה פריקת הקבלים בעת ניתוק מערכת החשמל לצורך טיפול או תיקון ברשת החשמל כדי שלא תתכן התפרקות אל האדם המטפל. החוק מחייב את החשמלאי להתקין נגדי פריקה כך שתוך דקה מניתוק החשמל המתח על הקבלים ירד עד ל 50 וולט. זהו מתח נמוך מאד שלא מהווה סכנת חיטום.

נוסחת פריקה של קבל היא :

$$U_{ct} = U_{cp} + (U_o - U_{cp}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$U_o = U_{MAX} = U \cdot \sqrt{2} = 400 \cdot \sqrt{2}$$

$$U_{cp} = 0$$

$$U_{ct} = 50V$$

$$\tau = R \cdot C$$

$$50 = 0 + (400 \cdot \sqrt{2} - 0) \cdot e^{-\frac{60}{\tau}}$$

$$50 = 400 \cdot \sqrt{2} \cdot e^{-\frac{60}{\tau}}$$

$$\frac{50}{400 \cdot \sqrt{2}} = e^{-\frac{60}{\tau}}$$

$$\ln\left(\frac{50}{400 \cdot \sqrt{2}}\right) = -\frac{60}{\tau}$$

$$-2.426 = -\frac{60}{\tau}$$

$$\tau = \frac{-60}{-2.426}$$

$$R \cdot C = \frac{60}{2.426}$$

$$R = \frac{60}{C \cdot 2.426}$$

## התאמת נתוני קבל לדרישות מסוימות

על כל קבל רשום מתח נומינלי, תדר נומינלי, ואם הוא מיועד לשיפור מקדם הספק אז גם הספקו העיוור . Q

קבלים נתונים גם לפי קיבוליהם.

נוסף לכך, עלינו לדעת מהו מתח הפריצה כדי שהמתח בפועל יהיה רחוק ממנו עד פי 3 ואף יותר.

מותר להשתמש בקבל לתדר מסויים אחר אך ההספק Q ישתנה.

$$\frac{Q_c}{Q_{cn}} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^2 \cdot \frac{F}{F_n}$$