



Hollenczer Lajos

Energetikai számítások és meddőkompenzáció

 **NSZFI**
NEMZETI SZAKKÉPZÉSI
ÉS FELNŐTTKÉPZÉSI INTÉZET

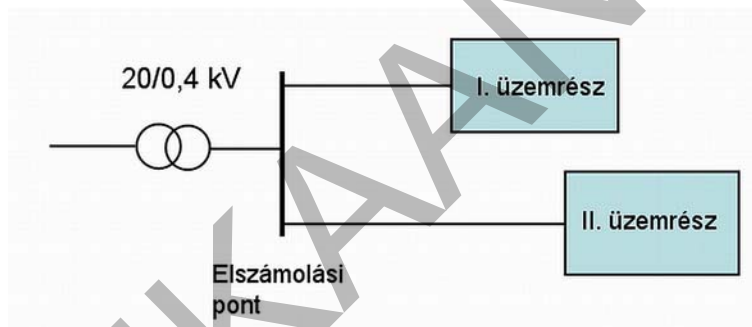
A követelménymodul megnevezése:
Erősáramú mérések végzése

A követelménymodul száma: 0929-06 A tartalomlelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-009-50

ENERGETIKAI SZÁMÍTÁSOK ÉS MEDDŐKOMPENZÁCIÓ

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

Ön egy olyan cég energetikusa, ahol fémipari megmunkálással foglalkoznak. A cégnek két üzemsze van, melyek energiaellátását egy 20/0,4 kV-os transzformátorállomásról táplálják. A táplálás külön-külön történik, de egy fogyasztásmérő helyét alakították ki. Az I. üzemben gépcsoport-bővítést terveztek, de kiderült, hogy a tápláló kábel melegedésre 100%-ban kiterhelt. A II. üzemszben (mely hosszabb kábelen keresztül táplált) nem terveznek bővítést, de nagy a kábel teljesítményvesztése, és feszültség-problémák léptek fel, mert a feszültségesés értéke meghaladta az előírt értéket.



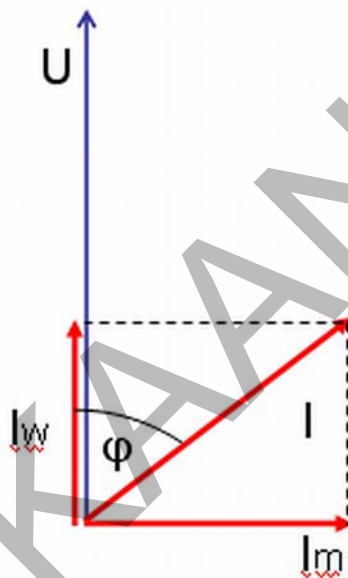
1. ábra. Az üzemszok táplálása

A cég vezetése felkért egy villamosipari kivitelezéssel foglalkozó Bt-t, hogy a fenti problémákra adjon műszaki megoldást. A kivitelező mindkét üzemsz esetében a tápláló kábel keresztmetszetének növelését javasolta, természetesen a kábelek cseréjével. Az Ön cégének vezetése azonban ezt nem támogatta, mert a tápláló kábelek közműveket, utakat kereszteztek, így a csere rendkívül költséges lett volna. Önnek, mint a cég energetikusának megoldást kell találnia a problémára, és meg kell győznie a vezetést igazáról. Ön úgy döntött, hogy egy prezentációt készít a cég műszaki végzettségű vezetőinek a lehetséges megoldásról. Javaslatot tesz az elszámolási ponton történő mérés megoldására, valamint az áramszolgáltatóval kötött szerződés felülvizsgálatára.

FÁZISJAVÍTÁS ÉS HÁLÓZATI FOGYASZTÁSMÉRÉS

1. A rossz $\cos\varphi$ hatása a hálózatok üzemi paramétereire

Váltakozóáramú fogyasztók esetében –a fogyasztó jellegétől függő mértékben és irányban– az áram a feszültséghez képest φ szöget zár be. Váltakozóáramú mennyiségeket legegyszerűbben vektorokkal lehet ábrázolni. A fogyasztók nagy része induktív jellegű, például a motorok, transzformátorok, tekercsek. A leggyakrabban alkalmazott motoros fogyasztók esetében a következő vektorábra rajzolható fel:



2. ábra. Induktív jellegű fogyasztó vektorábrája

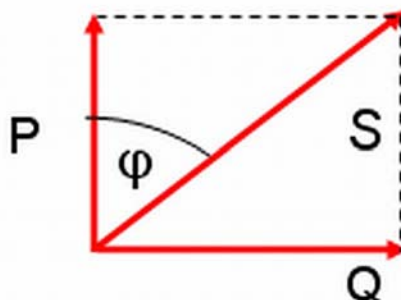
Mint látható, a fogyasztó árama φ szöggel késik a feszültséghez képest. Kevésbé induktív fogyasztó esetében a φ szög kisebb, tiszta ohmos fogyasztók esetében nulla. Ilyen fogyasztók a fűtőellenállások, izzólámpák. Ahogy a 2. ábrán látható, az I áram felbontható egy, a feszültség vektorral párhuzamos (I_w), és egy, a feszültségvektorra merőleges (I_m) összetevőre. Az előbbit wattos összetevőnek, az utóbbit meddő összetevőnek hívjuk. Munkát csak a wattos összetevő végez. Váltakozóáramú fogyasztónál háromféle teljesítményről beszélhetünk:

Wattos teljesítmény: $P = U \cdot I_w = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ (mértékegysége: W)

Látszólagos teljesítmény: $S = U \cdot I$ (mértékegysége: VA)

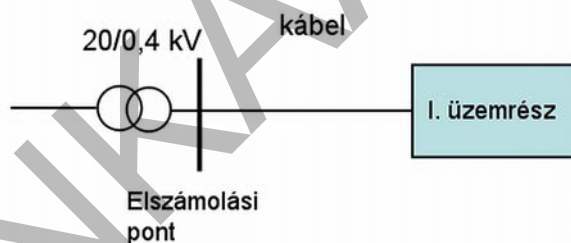
Meddő teljesítmény: $Q = U \cdot I_m = U \cdot I \cdot \sin\varphi$, illetve: $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$ (mértékegysége: var)

Az egyes teljesítmények (P, S, Q) az áramok feszültséggel való szorzatai ($I_w \cdot U$, $I \cdot U$, $I_m \cdot U$), ezért az áramvektorokhoz, hasonlóan a teljesítményvektorok is felrajzolhatóak:



3. ábra. A teljesítmények vektorai

Az energetikai számításokban rendkívül fontos a $\cos \varphi$, az ún. teljesítménytényező ismerete. Ha a fogyasztó tisztán ohmos jellegű, akkor csak wattos teljesítményt vesz fel, a $\cos \varphi = 1$. Ha tisztán induktív, akkor a $\cos \varphi = 0$. (Meggjegyezzük, hogy ilyen fogyasztó a valóságban nincs.) Az áramszolgáltatásnak az a fogyasztó optimális, melynél $\cos \varphi = 1$, hiszen ebben az esetben csak hatásos (wattos) teljesítmény továbbítása történik. Ennek magyarázataképpen vizsgáljuk meg az alábbi ábrát:



4. ábra. A rossz $\cos \varphi$ hatása

A kábelben átfolyik a fogyasztó árama. Tegyük fel, hogy a kábel ellenállása $R = 0,1 \Omega$, a fogyasztó árama fázisonként $I = 100 \text{ A}$. A fogyasztói $\cos \varphi = 0,5$. Vizsgáljuk meg, hogy mekkora a kábelben jelentkező feszültségesés, és mekkora a teljesítmény-vesztés.

A feszültségesés: $\Delta U = I \cdot R = 100 \cdot 0,1 = 10 \text{ V}$

A teljesítményvesztés: $P_{\text{veszt}} = I^2 \cdot R = 100^2 \cdot 0,1 = 1000 \text{ W}$. A 100A-es áram hatásos (wattos) összetevője: $I_w = I \cdot \cos \varphi = 100 \cdot 0,5 = 50 \text{ A}$, így a fogyasztó hatásos teljesítménye csak fele a látszólagosnak, a többi "meddő". Ha a $\cos \varphi$ értékét sikerülne 1-re felvinni, akkor nincs meddőösszetevő, ezért ugyanakkora hatásos teljesítményhez csak 50 A-re lenne szükség. Hogy alakul most a feszültségesés és a teljesítményvesztés?

A feszültségesés: $\Delta U = I_w \cdot R = 50 \cdot 0,1 = 5 \text{ V}$.

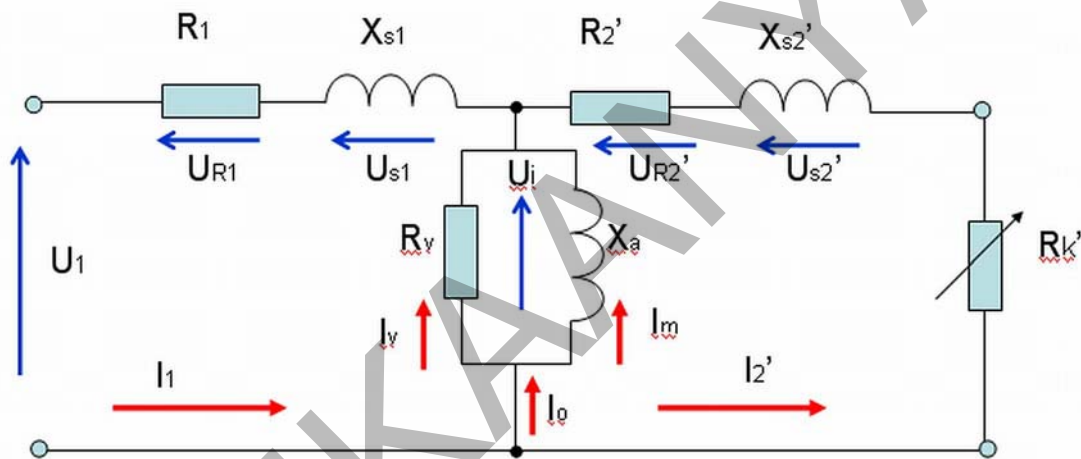
A teljesítményvesztés: $P_{veszt} = I_w^2 \cdot R = 50^2 \cdot 0,1 = 250 \text{ W}$.

Mint látható, óriási a különbség a két érték között. Nyilvánvaló, hogy elemi érdekünk a $\cos\varphi$ -t az 1-hez közelíteni, mert ebben az esetben a legoptimálisabb a hálózati feszültségesés és teljesítményvesztés. Azt az eljárást, amivel ezt elérjük, fázisjavításnak hívják.

2. A $\cos\varphi$ romlásának okozói

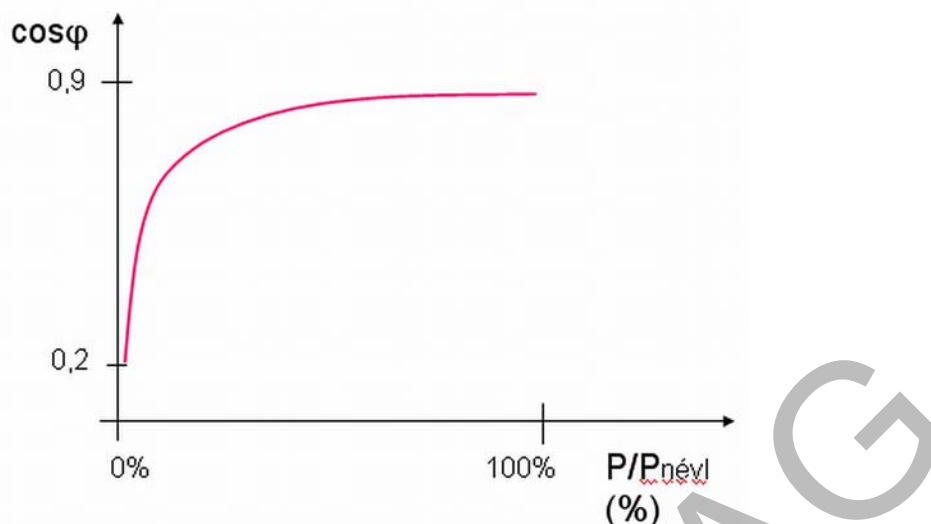
2.1. Az aszinkron motorok

A fogyasztók között leggyakrabban az aszinkron motorokat, és egyéb, villamos motorokat találjuk meg. Elég egy háztartásra gondolni, ahol a konyhai kisgépeken át a hűtőszekrényig mindenben van villamos motor. Ipari üzemekben pedig nyilvánvalóan ezek a domináns fogyasztók. Vizsgáljuk meg, hogy miért okoznak ezek a gépek problémát.



5. ábra. Az aszinkron motor helyettesítő kapcsolása

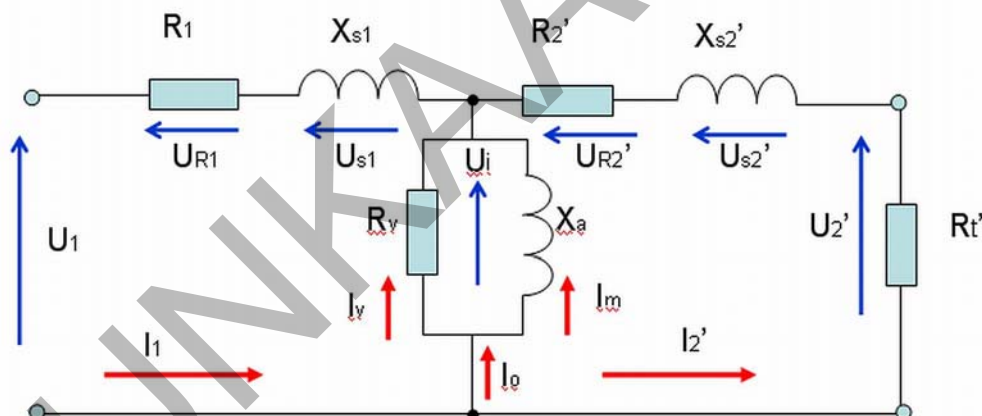
Mint látható, az aszinkron motor kapcsolásában van párhuzamos tekercs (X_a), és soros tekercsek (X_{s1} és X_{s2}). A párhuzamos tekercsen jelentkező meddőigény: $Q_p = \frac{U_i^2}{X_a}$. Mivel U_i gyakorlatilag a primer feszültséggel azonos ezért Q_p U_1 négyzetével arányos. A soros meddőigény gyakorlatilag $Q_s = I_1^2 \cdot (X_{s1} + X'_{s2})$, mert I_1 majdnem azonos I_2' -vel. A párhuzamos meddőigény tehát gyakorlatilag nem függ a terheléstől, és állandó feszültségű táplálás esetén nem változik. A soros meddő igény ezzel szemben négyzetesen függ a terhelő áramtól. Az aszinkron motorok eredő $\cos\varphi$ -je nagymértékben függ a motorok névlegeshez képesti kiterhelésétől.



6. ábra. Az aszinkron motorok teljesítmény-tényezőjének változása a terhelés függvényében

2.2. A transzformátorok

A transzformátorok helyettesítő kapcsolása az aszinkron motorokéhoz hasonló:



7. ábra. A transzformátorok helyettesítő kapcsolása

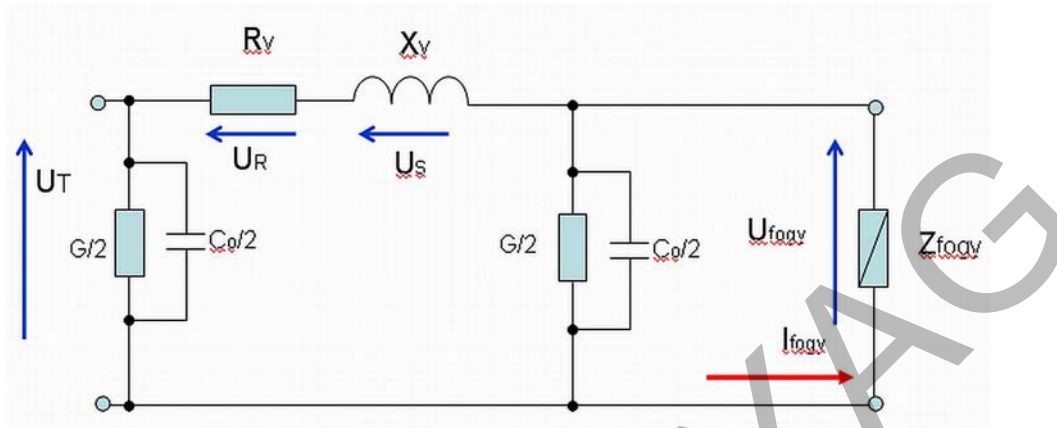
A hasonlóság belátható, hogy ugyanúgy soros és párhuzamos meddőigénnyel rendelkeznek, mint az aszinkron motorok. A hálózatokon nagyszámú transzformátor található, így meddőigényük jelentős.

2.3. Tekercsek

A hálózatokon rendkívül nagy számban találhatók. Funkciójuk sokféle, leggyakrabban fojtótekercsként találkozhatunk velük, pl. fénycsőben, higanygőz lámpában. A hálózaton zárlatkorlátozási céllal sok fojtótekercset helyeznek el.

2.4. Távezetékek

A magyar energiarendszer elemeit sok ezer km távvezeték köti össze. A nagyfeszültségű távvezetékeknek is van helyettesítő kapcsolása.

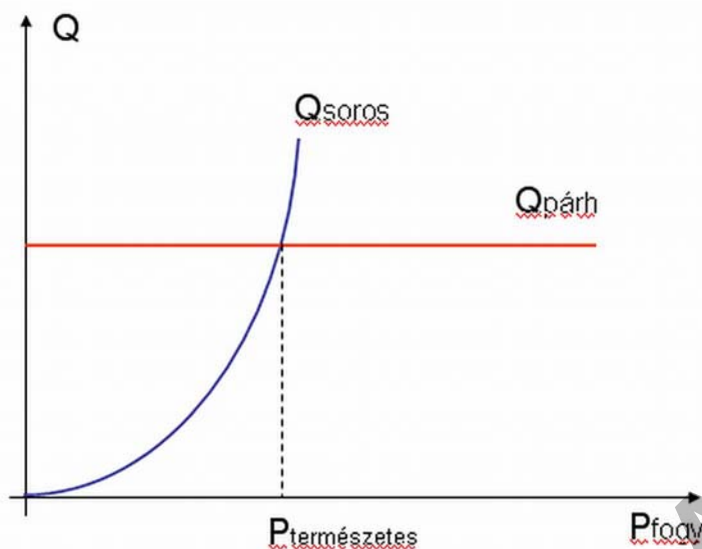


8. ábra. Távezeték helyettesítő kapcsolása

A távezeték helyettesítő kapcsolásának elemei:

- R_v -váltakozóáramú soros ellenállás
- X_v -soros induktív ellenállás
- G -söntvezetés (a szivárgó áram okozza)
- C_0 -söntkapacitás

A söntvezetést és a söntkapacitást szimmetria okokból felezve a kapcsolat elejére és végére rajzoljuk. Mint látható, a távvezeték egyszerre igényel, és egyszerre termel meddőteljesítményt. Hiszen az induktivitásnak meddő igénye van, a kapacitáson pedig meddő-termelés történik. A meddőigény: $Q_s = I_{fogy}^2 \cdot X_v$, a meddő termelés pedig: $Q_p = \frac{U_T^2}{X_c}$, ahol $X_c = \frac{1}{\omega \cdot C}$. Ha a meddő-igényt és a meddő-termelést diagramban ábrázoljuk a teljesítmény (ill. áram) függvényében:



9. ábra. A távvezetékek meddőteljesítmény viszonyai

Látható, hogy van egy teljesítmény-érték, ahol a két meddő egymással megegyezik. Ezt hívjuk természetes teljesítménynek. Itt a távvezeték meddő szempontból semleges, mert amit termel, azt el is fogyasztja. Kis teljesítmények átvitelénél (pl. éjszaka) a távvezeték több meddőteljesítményt termel, mint amit elfogyaszt. Nagy teljesítmények átvitelakor (nappal) a távvezeték több meddőt igényel, mint amit termel.

3. A fázisjavítás lehetőségei

3.1. A természetes fázisjavítás

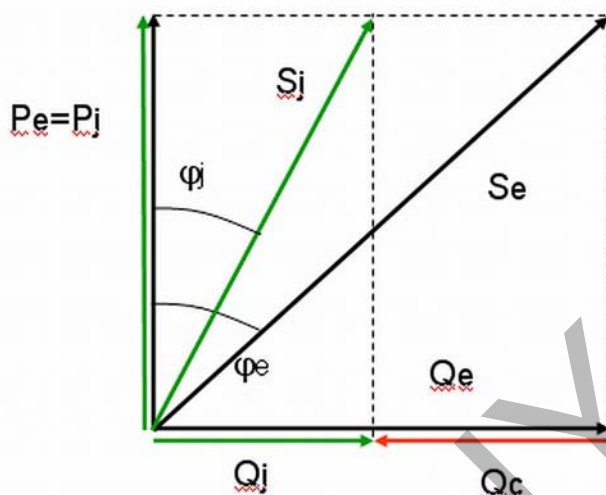
Ez tulajdonképpen nem más, mint olyan intézkedések összessége, melyekkel a fogyasztók meddőigénye már a keletkezésük helyén csökkenthető. Ez azt jelenti, hogy a termelési igényekhez szükséges villamos energiát optimális körülmények között használják fel. Például gyakori az a téves felfogás, hogy adott hajtási feladatra túlméretezett motort alkalmaznak mondván, hogy így sohasem fog túlterhelődni és leégni. Ez igaz, csak hogy a kis terheléssel járó aszinkron motor teljesítménytényezője rossz (0,2–0,4), míg a névlegesen terhelt motoré 0,8–0,9. Ezért a legegyszerűbb (természetes) fázisjavítás az, ha olyan motort választunk, amely névlegesen van terhelve az üzem során.

3.2. Mesterséges fázisjavítás

Ezt a módszert akkor alkalmazzák, ha nincs lehetőség a természetes fázisjavítás megvalósítására. Kis és középfeszültségen alkalmazott eljárás, mely szerint kondenzátor teleppel állítják elő az induktív jellegű fogyasztó által igényelt meddőteljesítményt. Két fajtája van: a $P = \text{állandó}$, és az $S = \text{állandó}$ mellett végzett fázisjavítás.

3.2.1. Fázisjavítás $P = \text{áll. mellett}$.

Ilyen lehet az esetfelvetésben leírt II. üzemszínél megvalósított eljárás. Nincs másról szó, mint arról, hogy kondenzátort építünk be a II. üzemszín villamos hálózatába, így a betápláló kábelben egyáltalán nem, vagy csak kis értékű meddő áram folyik. Ezáltal lényegesen csökken a kábelben jelentkező feszültségésés, illetve a teljesítmény-veszteség mértéke is.



10. ábra. P -állandó melletti fázisjavítás vektorábrája

Mint látható, a fázisjavítás előtti (e) állapothoz képest a fázisjavítás után (j) nem változik a wattos összetevő, a meddő összetevő viszont a betáplált Q_c kondenzátorteljesítménnyel csökken. Leegyszerűsítve az történik, hogy a fogyasztó meddőigényének egy részét (vagy egészét) a kondenzátor fedezi. Ezt a módszert használjuk akkor, ha:

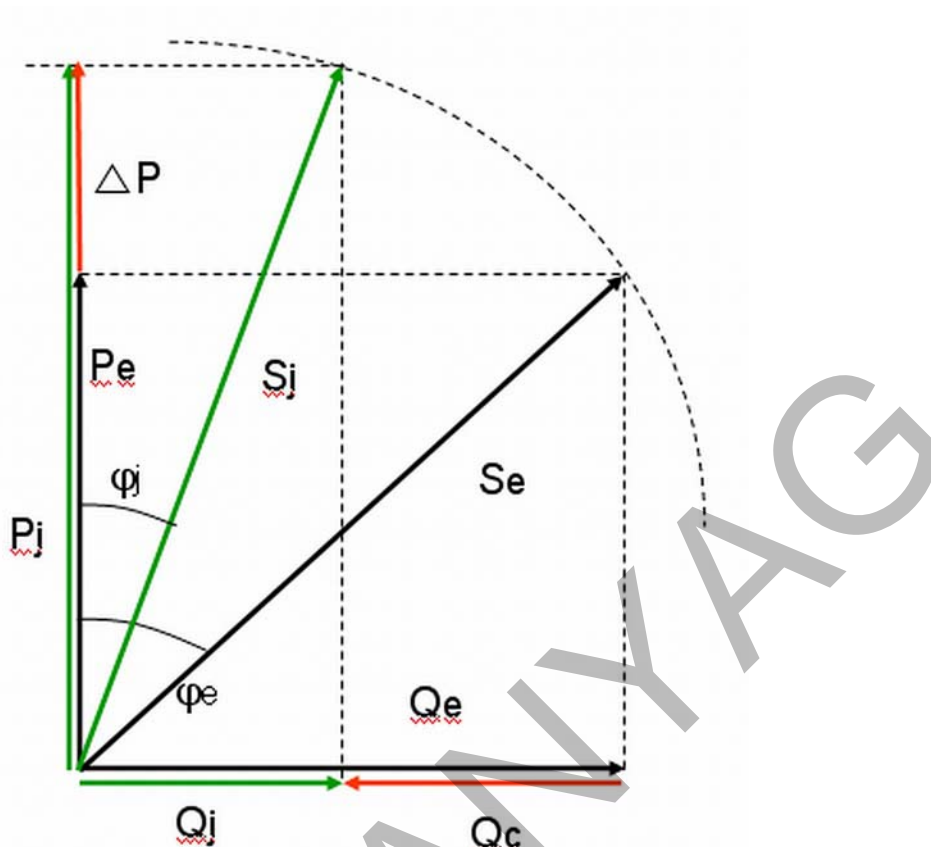
- az eredő teljesítménytényezőt növelni akarjuk (áramszolgáltatói elvárás)
- csökkenteni akarjuk a betápláló kábel feszültség-esését vagy teljesítmény-veszteségét.
- Csökkenteni akarjuk a tápláló transzformátor terhelését.

A kérdés gyakran úgy vetődik fel, hogy az elvárt $\cos\varphi_j$ értékhez, mekkora Q_c meddőteljesítmény betáplálására van szükség?

$$Q_c = P \cdot (tg\varphi_e - tg\varphi_j). \text{ A látszólagos teljesítmény csökkenés: } \Delta S = \frac{P_e}{\cos\varphi_e} - \frac{P_e}{\cos\varphi_j} \quad (P_e=P_j)$$

3.2.2. Fázisjavítás $S = \text{áll. mellett}$

Ilyen megoldás jöhet szóba az esetfelvetésben az I. üzemszínél leírt problémánál. Tehát amikor egy kábel, vezeték teljes mértékben kiterhelt, de fogyasztói bővítést kell végrehajtani. Ebben az esetben (ha rossz a $\cos\varphi$ értéke) a költséges kábelcsere helyett javasolt a fázisjavítás elvégzése S -állandó mellett. Ilyenkor a kábel terhelése nem változik, de a meddő összetevő csökkenésével a wattos összetevő megnőhet, vagyis ΔP többleteljesítmény építhető be.

11. ábra. Fázisjavítás S -állandó esetén

A kérdés gyakran úgy vetődik fel, hogy az elvárt $\cos \varphi_j$ értékhez, mekkora Q_c meddőteljesítmény betáplálására van szükség, és mennyi a beépíthető hatásos teljesítmény?

$Q_c = S \cdot (\sin \varphi_e - \sin \varphi_j)$. a wattos teljesítmény növekménye: $\Delta P = S_e \cdot (\cos \varphi_j - \cos \varphi_e)$. ($S_e = S_j$).

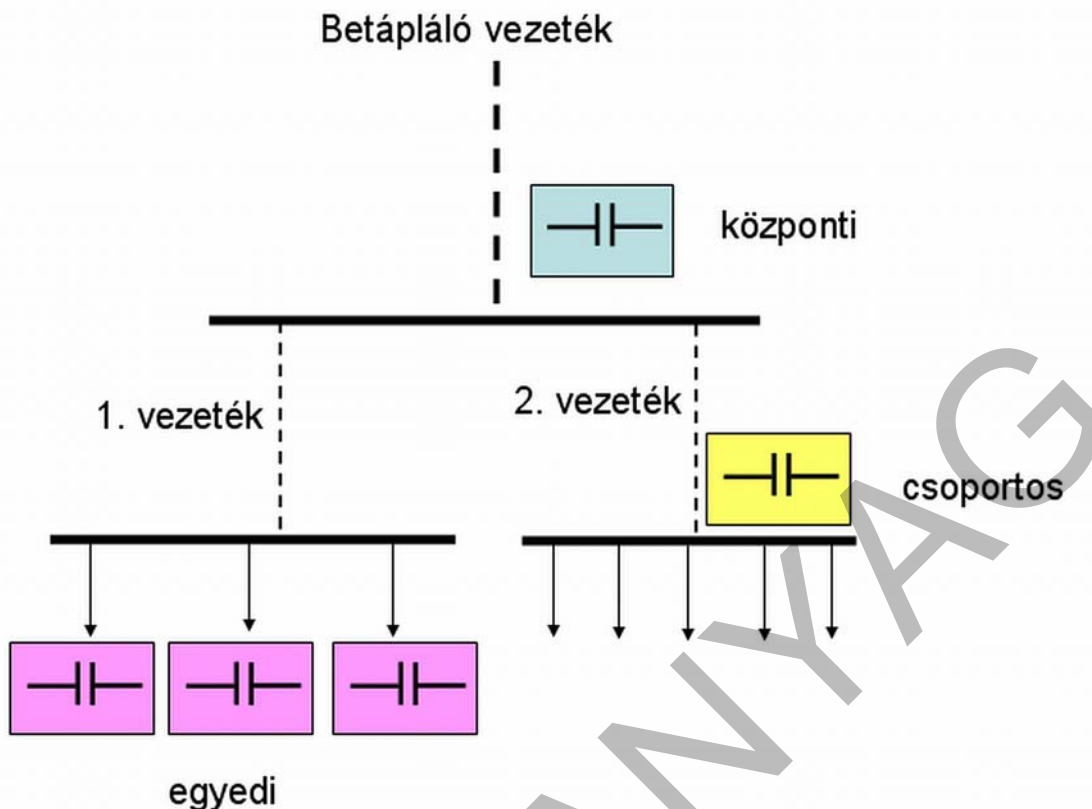
3.2.3. A kiszámolt meddőteljesítmény előállítása:

A szükséges meddőteljesítményt kondenzátorral, illetve háromfázisú rendszer esetén kondenzátortelepekkel állítjuk elő. A telepek kapcsolása lehet csillag és delta. Fontos, hogy ugyanakkora kapacitású kondenzátorok delta kapcsolásban háromszor nagyobb meddőteljesítményt állítanak elő, lévén, hogy delta kapcsolásban vonali, csillag kapcsolásban pedig fázisfeszültség jut egy kondenzátorra. (az előállított meddőteljesítmény a feszültség négyzetével arányos.)

Így csillag kapcsolásban: $Q_{CY} = 3 \cdot U_{fázis}^2 \cdot \omega \cdot C$, delta kapcsolásban $Q_{CA} = 3 \cdot U_{vonali}^2 \cdot \omega \cdot C$,

így $\frac{Q_{CA}}{Q_{CY}} = 3$.

3.2.4. A fázisjavítás megoldási lehetőségei



12. ábra. A fázisjavítás megvalósítási lehetőségei

A kondenzátortelepeket a 12. ábra alapján három módon lehet elhelyezni:

a.) Egyedi: ebben az esetben minden egyes fogyasztó mellett ott van a fázisjavító egység. Ez a megoldás energetikai szempontból ideális, hiszen a fogyasztó által igényelt meddőtjeljesítményt közvetlenül a fogyasztónál állítjuk elő, és a betápláló 1. vezetékét nem terhelik a felesleges meddőáramok. Viszont aránylag költséges, és nem automatizálható az ilyen telepítés. Ezt a megoldást alkalmazzák pl. a hagyományos előtéttel rendelkező fénycsőkapcsolásoknál.

b.) Csoportos: ebben az esetben egy-egy fogyasztói csoporthoz telepítenek nagyobb kondenzátor egységeket. Előnye a viszonylagos egyszerűség, hátránya, hogy a fogyasztó tápláló vezetékét terheli annak meddő árama. (a 2. vezetékét már nem!)

c.) Központi: ebben az esetben az egész üzemben egy kondenzátorteleppel oldják meg a fázisjavítást. Előnye az egyszerűség és a könnyű automatizálhatóság. Hátránya, hogy egészen a fő gyűjtőáramig minden vezetékét terheli a fogyasztók meddő árama.

4. A fogyasztás mérése ipari környezetben

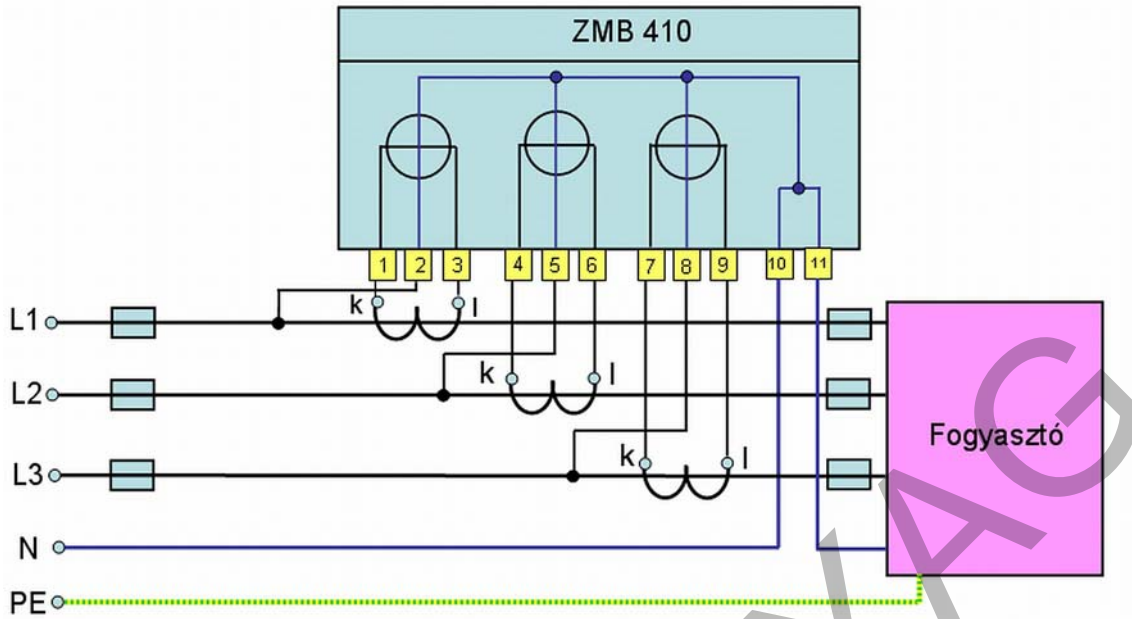
4.1 A fogyasztásmérés megvalósítása

A mai korszerű fogyasztásmérők a wattos fogyasztás mellett mérik a meddőfogyasztás mértékét is. Ezek az adatok számítógéppel kiértékelhetőek, kirajzolhatóak, és ez alapján a fogyasztói szokások megváltoztathatóak. Példaként álljon itt egy érdekes eset. Egy iskola november és március közötti időszakban rendszeresen túllépte az áramszolgáltatói szerződésben lekötött teljesítményt, emiatt komoly büntetést kellett fizetnie. A fogyasztásmérő adatainak elemzéséből kiderült, hogy a túllépés minden hétköznap 7–14 óra között történt. Amikor megvizsgálták a fogyasztókat, kiderült, hogy a konyhai dolgozók fáztak, és a konyhában található elektromos sütővel melegítették fel a helyiséget, ez okozta a teljesítmény túllépését.

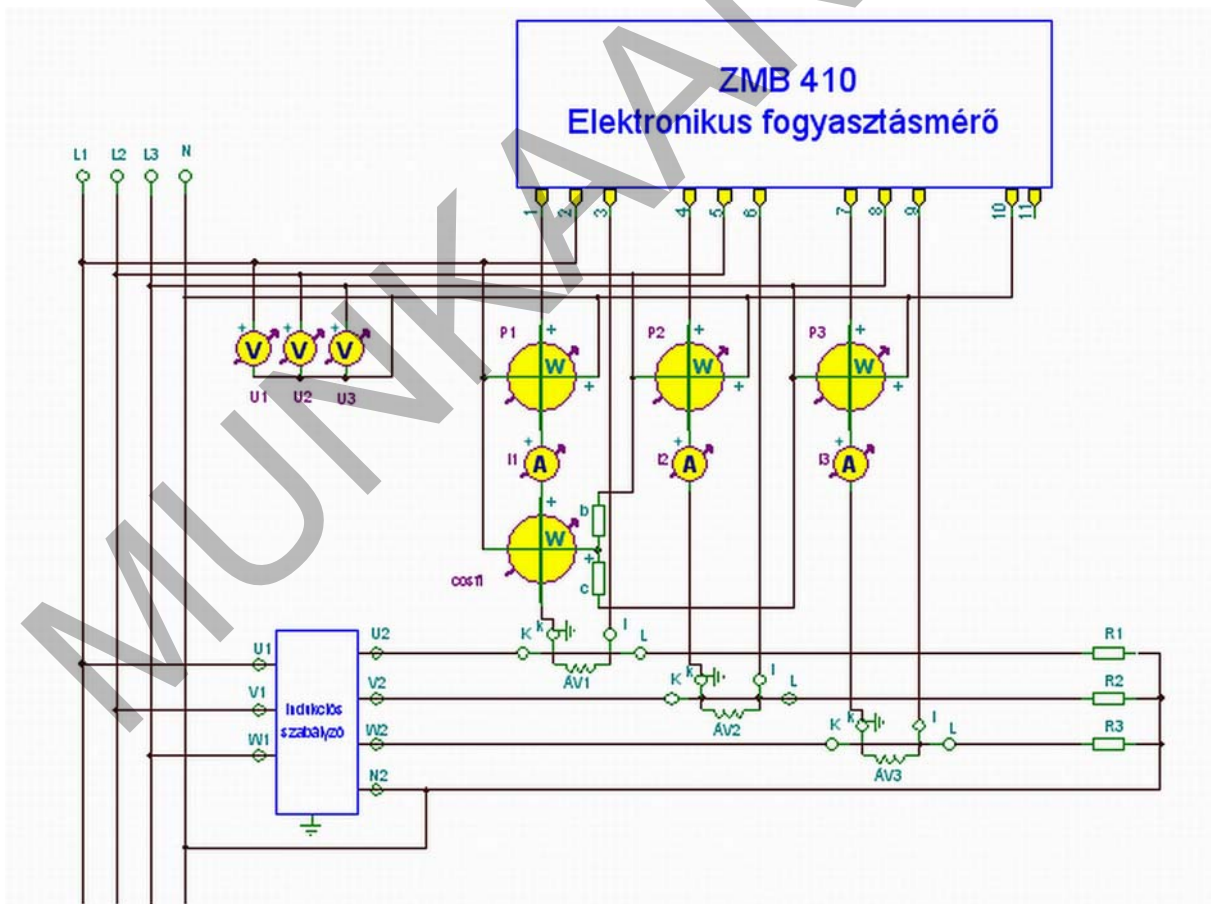


13. ábra. Egy korszerű (ZMB 410) fogyasztásmérő

Vizsgáljuk meg, hogy hogyan kell bekötni a fenti fogyasztásmérőt, és hogyan lehet hitelesíteni!



14. ábra. A ZMB 410 elektronikus fogyasztásmérő bekötése



15. ábra. Az elektronikus fogyasztásmérő hitelesítése laboratóriumban

Az indukciós szabályozóval különféle $\cos\varphi$ értékeket lehet beállítani. A W-mérők és a $\cos\varphi$ mérő segítségével meghatározhatók a teljesítmények (wattos és meddő), az eltelt idő alapján pedig ki lehet számítani a fogyasztást. Ezek után már csak ki kell olvasni a fogyasztásmérő adatait, és le kell ellenőrizni a mért értékkel. Ne feledkezzünk meg az áramváltó áttételével való beszorzásról !

Méréssel ellenőrizni lehet a fogyasztói teljesítménytényező értékét. Ha ez nem megfelelő, akkor a 2. pontban ismertetett módon fázisjavítást lehet végezni !

4.2. A villamosenergia-fogyasztás elszámolása

Nagyon sok esetben a fogyasztóknak gondot okoz a villamosenergia-számla értelmezése. Pedig az ésszerű energia-gazdálkodáshoz ez elengedhetetlen. Nézzük meg, hogy milyen fogyasztói árszabások léteznek, illetve azt, hogy egy számla milyen összegeket tartalmaz. (az alábbi példák 2010. év eleji árakra vonatkoznak.)

A számla végösszege több tételből tevődik össze. Ezek a következők:

Egyetemes szolgáltatási ár .

Ez tulajdonképpen annak a villamosenergiának a díja, amit elfogyasztunk. Az áramszolgáltató a villamos energia díját időzónák alapján méri és számlázza:

Zónaidőszak	Téli időszámítás	Nyári időszámítás
Csúcsidőszak	06–22 között	07–23 óra között
Völgyidőszak	22–06 óra között	23–07 óra között

Nyilván a völgyidőszak díja az olcsóbb. A legtöbb intézmény a csúcsidőszakban üzemel, (a fogyasztás zöme ide esik.), de van éjszaka is fogyasztás, amivel számolni kell.

Az áramszolgáltató a régi közüzemi szerződések alapján a fogyasztókat besorolta A1, A2, A3 kategóriákba. Az egyetemes szolgáltatási ár jelenleg (2010) érvényes tarifái (nettó érték, Ft):

A1 árszabás	23,37
A2 csúcsidőszak	27,78
A2 völgyidőszak	17,15
A3 csúcsidőszak	30,06
A3 völgyidőszak	19,32

A1– a tipikusan kisfogyasztó, egytarifás mérővel, itt a völgyidőszak és csúcsidőszak díja azonos.

A2 –általános, ún. profilelszámolású fogyasztó, akinek a csatlakozási teljesítménye 3*80 A-nál kisebb. Itt kéttarifás mérő van felszerelve. Ez az érték a szerződésen szerepel, illetve az áramszolgáltató meg tudja mondani.

A3 a közintézményi kategória, akinek a csatlakozási teljesítménye 3*80 A, vagy nagyobb. (az ún. idősoros elszámolású fogyasztók)

PROFILELSZÁMOLÁSÚ közintézmény (3*80A alattiak) bármely árszabást választhat, IDŐSOROS (3*80 A feletti) csak A3-at. Kisfogyasztónak célszerű az A1, vagy A2 választása !

Rendszerhasználati díj

A felhasznált energia mennyiségétől függő elemek

- -átviteli rendszerirányítási díj
- -rendszer szintű szolgáltatások díja
- -elosztói forgalmi díj
- -elosztói veszteségdíj
- -elosztói meddő díj

Ezeknek a díjaknak a mértékét a vonatkozó rendelet szabja meg, tehát ha egy fogyasztót besoroltak A1, A2, vagy A3 kategóriába (és a besorolás jó), nincs további teendők. Kivétel az elosztói meddő díj. Ez minden fogyasztónál jelentkezik, ahol nincs fázisjavító automatika felszerelve. Amíg a meddő díja alacsony, nem érdemes automatikát felszereltetni, mert hosszú idő alatt térül meg. Ha a meddő díj jelentősebb, érdemes az automatika felszerelését megfontolni. (egyébként az elfogyasztott wattos energia 25%-nak megfelelő meddő energia ingyenes, csak felette kell fizetni.)

A felhasznált energia mennyiségétől független díjelemek

- -elosztói alapidj (A1 és A2 fogyasztónál évi 1800 Ft, A3-nál 33.216 Ft)
- -elosztói teljesítmény díj (A3-nál évi 7776 Ft/kW)

Itt lehet a legtöbbet "spórolni". A fogyasztók A3 kategóriában teljesítményt kötnek le minden hónapra egy éves periódusra. Ha ezt túllépi, akkor a villanyszámlában ez súlyos többletet jelent. (A teljesítménydíj HÁROMSZOROSÁT kéri !!!) Ha rátartással kötik le, és így nincs kihasználva, feleslegesen fizetnek ki pénzt.

A teljesítmény díj: havi 648 Ft/kW. (nettó)

Javasolt teendő: a villanyszámlán szerepel az adott hónap maximális teljesítménye (a számla 2. oldalán, közvetlenül a mérőállások után), ezt kell összehasonlítani az áramszolgáltatói szerződésben szereplő értékkel. Ha az eltérés nagy, akkor csökkenteni/növelni kell a lekötött teljesítménydíjat.

Pénzeszközök a VET 146.§-a alapján

- –szénipari szerkezetátalakítási támogatásra fizetendő díj
- –áramszolgáltatói dolgozók kedvezményes vill. energia vásárlásának támogatására szolgáló (!) díj

Összefoglalva:

A legtöbb esetben ésszerű módon lehet a villamosenergia díját csökkenteni. Ehhez nem kell mást tenni, mint:

- Tüzetesen meg kell nézni a villamosenergia számlát, és ellenőrizni a lekötött teljesítményt, meddő energia díját, fogyasztói besorolást.
- Ha lehet változtassuk meg a fogyasztói szokásokat, pl. a fogyasztók egy része éjszaka olcsóbb energiával is üzemeltethető.
- Amennyiben nagy a hálózati veszteség, illetve az energiaszámlán megjelenő meddő díj, javasolt a fázisjavítás, illetve a fázisjavító automatika felszerelése.

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

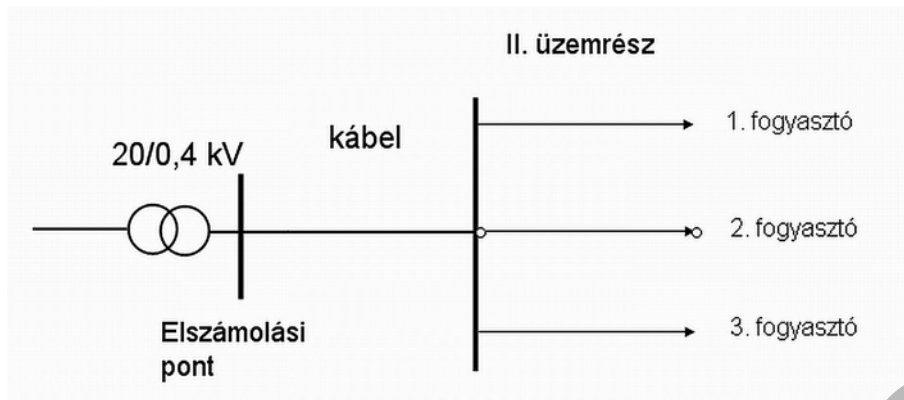
1. feladat

Vizsgáljuk meg az esetfelvetésnél leírt II. üzembrész paramétereit:

A II üzembrész gyűjtősinjéről az alábbi fogyasztók ágaznak le:

- $P_1 = 12 \text{ kW}$, $\cos\varphi = 0,7$ induktív.
- $P_2 = 8 \text{ kW}$, $\cos\varphi = 0,8$ induktív
- $P_3 = 15 \text{ kW}$, $\cos\varphi = 0,85$ induktív

Az üzembrész rajza:



16. ábra. A II. üzemsz fogyasztói

A táplálás egy 500 m hosszú kábeln keresztül történik, melynek adatai:

- Keresztmetszete $A = 3 \cdot 50 \text{ mm}^2$, fajlagos ellenállása $\rho = 0,03 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2$.
- A gyűjtősín tápfeszültsége $U_n = 3 \cdot 400 \text{ V}$.

A számítások során az alábbi kérdésekre keressük a választ:

1. Mekkora az üzemi eredő $\cos\varphi$?
2. Mekkora a kábel ohmos ellenállásán (a három fázisban) okozott veszteség?
3. Mekkora meddő teljesítményű kondenzátortelep kell az üzemben (az üzemi gyűjtősínre) bekapcsolni, hogy a kábel vesztesége 30 %-al csökkenjen?

A felvetett kérdésekre az alábbi módon találjuk meg a válaszokat:

1. Az üzemi eredő $\cos\varphi$ -je.....

$$P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3 = 12 + 8 + 15 = 35 \text{ kW}$$

$$Q_1 = P_1 \cdot \tan\varphi_1 = 12 \cdot 1,02 = 12,24 \text{ kvar}$$

$$Q_2 = P_2 \cdot \tan\varphi_2 = 8 \cdot 0,75 = 6 \text{ kvar}$$

$$Q_3 = P_3 \cdot \tan\varphi_3 = 15 \cdot 0,619 = 9,28 \text{ kvar}$$

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 12,24 + 6 + 9,28 = 27,52 \text{ kvar}$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{35^2 + 27,52^2} = 44,5 \text{ kVA}$$

$$\cos\varphi_e = \frac{P_{\Sigma}}{S_{\Sigma}} = \frac{35}{44,5} = 0,786$$

2. A kábel ohmos ellenállásán okozott veszteség

$$I_l = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} * U_{nv}} = \frac{44,55 * 10^3}{\sqrt{3} * 400} = 64,23 \text{ A}$$

$$R = \rho * \frac{l}{A} = 0,03 * \frac{500}{50} = 0,3 \Omega$$

A három vezető ér vesztesége:

$$P_v = 3 * I_l^2 * R = 3 * 64,23^2 * 0,3 = 3,711 \text{ kW}$$

$$P_{v \text{ új}} = P_v * 0,7 = 865,9 \text{ W}$$

$P_{v \text{ új}} = I_{l \text{ új}}^2 * R$, és ebből:

$$I_{l \text{ új}} = \sqrt{\frac{P_{v \text{ új}}}{R}} = \sqrt{\frac{865,9}{0,3}} = 53,72 \text{ A}$$

A kondenzátortelep meddőteljesítménye:

$$S_{\text{új}} = \sqrt{3} * U_{nv} * I_{l \text{ új}} = \sqrt{3} * 400 * 53,72 = 37,22 \text{ kVA}$$

$$S_{\text{új}} = \sqrt{P_{\sigma}^2 + (Q_{\sigma} - Q_c)^2}, \text{ és ebből:}$$

$$Q_c = Q_{\sigma} - \sqrt{S_{\text{új}}^2 - P_{\sigma}^2} = 27,525 - \sqrt{37,22^2 - 35^2} = 14,86 \text{ k var}$$

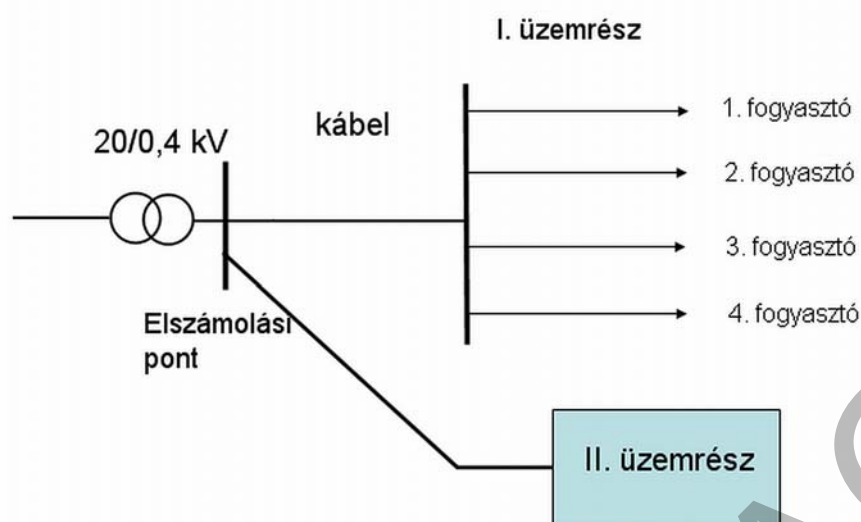
A fentiek alapján készítsen új számításokat arra az esetre, mi történik akkor, ha az üzemszben a P1 fogyasztó kiesik, de a kompenzálás változatlanul működik !

2. feladat

Vizsgáljuk meg azt, hogy az alábbiakban megadott paraméterekkel rendelkező I. üzemsz gyűjtősínjére mekkora Q_c meddőteljesítményű kondenzátortelep kell beépíteni ahhoz, hogy a fázisjavítás után $\cos\varphi_j = 1$ legyen. Képezze a vizsgálat tárgyát az is, hogy ilyen optimális fázisjavítás esetén mekkora ΔP teljesítmény többlet építhető be!

Az I. üzemsz paraméterei:

- P1 = 100 kW, $\cos\varphi = 0,8$ induktív
- P2 = 40 kW, $\cos\varphi = 0,75$ induktív
- P3 = 60 kW, $\cos\varphi = 0,85$ induktív
- P4 = 50 kW, $\cos\varphi = 0,9$ induktív.



17. ábra. Az I. üzemrész fogyasztói

A következőkre kell választ adnia:

1. Határozza meg az I. üzemrészre vonatkozó eredő $\cos\varphi$ -t!
2. Mekkora meddő teljesítményt kell betáplálni az I. üzemrész gyűjtősínjére ahhoz, hogy a $\cos\varphi$ -t $S=$ áll. mellett 1-re akarjuk javítani? (így a kábel terhelése nem változik.)
3. Mekkora értékkel növelhető az üzemrész wattos teljesítménye a kompenzálás után?

$$P_{\ddot{o}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 100 + 140 + 60 + 50 = 250 \text{ kW}$$

$$Q_1 = P_1 \cdot \operatorname{tg}\varphi_1 = 100 \cdot 0,75 = 75 \text{ k var}$$

$$Q_2 = P_2 \cdot \operatorname{tg}\varphi_2 = 40 \cdot 0,88 = 35,2 \text{ k var}$$

$$Q_3 = P_3 \cdot \operatorname{tg}\varphi_3 = 60 \cdot 0,619 = 37,18 \text{ k var}$$

$$Q_4 = P_4 \cdot \operatorname{tg}\varphi_4 = 50 \cdot 0,484 = 24,2 \text{ k var}$$

$$Q_{\ddot{o}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 75 + 35,2 + 37,18 + 24,2 = 171,58 \text{ kvar}$$

$$\operatorname{tg}\varphi_e = \frac{Q_{\ddot{o}}}{P_{\ddot{o}}} = \frac{171,58}{250} = 0,6863$$

$$\cos\varphi_e = 0,824$$

Ahhoz, hogy a látszólagos teljesítmény ne változzon, de a $\cos\varphi_j=1$ teljesüljön, nyilvánvalóan a fogyasztók összes meddőigényét kondenzátorokkal kell fedezni, tehát $Q_c=Q_{\ddot{o}}=172,58$ kvar.

A látszólagos teljesítmény:

$$S = \sqrt{P_o^2 + Q_o^2} = \sqrt{250^2 + 171,58^2} = 303,2 \text{ kVA}$$

A beépíthető wattos teljesítmény:

$$\Delta P = S_e \cdot (\cos \varphi_j - \cos \varphi_e) = 303,2 \cdot (1 - 0,824) = 53,3 \text{ kW}.$$

A fentiek alapján végezzen el új számítást arra az esetre, ha az új $\cos \varphi$ értéke 0,95 lesz a fázisjavítás utáni állapotban.

3. feladat

Végezze el a ZMB 410 fogyasztásmérő ellenőrzését a 15. ábra alapján !

A mérésnél használt műszerek adatai:

Mérendő mennyiség	A műszer				
	rendszere	gyártója	gyári száma	méréshatára	Skála terjedelme

A mért készülék és egyéb eszközök adatai:

A mérések eszközei:

Rajzjel	Típus	Mérési tart.
R1, R2, R3		
Ind. szabályzó		

ÁV1, ÁV2, ÁV3		
FV1		
Fogyasztásmérő		
Lakatfogó		

Mérési feladatok:

- Készítse el a kapcsolást és ellenőrizze az eszközök beállításait!
- Csatlakoztassa az áramkört a mérőasztal megfelelő kimenetére, és bekapcsolás után állítson be fázisonként 5 A áramot és $\cos\varphi = 1$ -et! Olvassa le a műszereket, mérje meg a fogyasztásmérő 50 impulzusának idejét, és az eredményeket írja az alábbi táblázat "helyes" soraiba!

		U1	U2	U3	I1	I2	I3	P1	P2	P3	n	t
		(V)	(V)	(V)	(A)	(A)	(A)	(W)	(W)	(W)	(imp.)	(s)
Helyes	$\cos\varphi = 1$											
	$\cos\varphi = 0,5$											
Hibás	$\cos\varphi = 1$											
	$\cos\varphi = 0,5$											

- Mérje meg mindhárom fázis áramát lakatfogóval külön-külön ($I1'$, $I2'$, $I3'$), majd az eredőjüket ($\Delta I'$), és a mért értékeket jegyezze fel az alábbi táblázatba! ($\cos\varphi = 1$)

		$I1'$	$I2'$	$I3'$	$\Delta I'$	Megjegyzés
		(A)	(A)	(A)	(A)	
Helyes	$\cos\varphi = 1$					
	$\cos\varphi = 0,5$					
Hibás	$\cos\varphi = 1$					
	$\cos\varphi = 0,5$					

- Végezze el a mérést $\cos\varphi = 0,5$ induktív esetén is!

- Kikapcsolás után cserélje fel az egyik áramváltó szekunder kapcsait és ismétlje meg a méréseket! Az eredményeket a fenti táblázat „Hibás” sorába írja. (Ezzel a vizsgálattal kiszűrheti a helytelen áramváltó bekötést.)
- A mért értékek alapján számolja ki az alábbiakat:

$$P_{\text{ö}} =$$

$$W_p =$$

$$W_m =$$

$$h =$$

		P _ö	W _p	W _m	h
		(W)	(kWh)	(kWh)	(%)
Helyes	cosφ= 1				
	cosφ=0,5				
Hibás	cosφ= 1				
	cosφ=0,5				

(A pontos fogyasztás értéke: $W_p = P_{3f} \cdot t$, a mért fogyasztás: W_m közvetlenül leolvasható. Emlékezteőül: $P_{3f} = P_1 + P_2 + P_3$)

- Ellenőrizze a fogyasztásmérő által mutatott értéket:
- Ellenőrizze, hogy a vizsgált fogyasztásmérő megfelel-e a ráírt pontossági osztálynak!

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

1. feladat

Rajzolja le egy általános induktív jellegű fogyasztó vektorábráját!

2. feladat

Ismertesse a fázisjavítás előnyeit egy vezetékre kötött fogyasztó esetében, különös tekintettel a vezeték feszültségesésére és teljesítményvesztésére.

3. feladat

Ismertesse a helyettesítő kapcsolás alapján, hogy az aszinkron motor miért rontja a hálózati teljesítménytényezőt!

4. feladat

Ismertesse a távvezeték helyettesítő kapcsolását, és azt, hogy meddő szempontból milyen üzemállapotai vannak egy távvezetéknek.

5. feladat

Mit jelent a természetes fázisjavítás?

6. feladat

Mikor használunk $P = \text{állandó}$ melletti fázisjavítást?

7. feladat

Ismertesse a $P = \text{állandó}$ melletti fázisjavítás vektorábráját és a Q_c meghatározásának módját!

8. feladat

Mikor használunk $S = \text{állandó}$ melletti fázisjavítást?

9. feladat

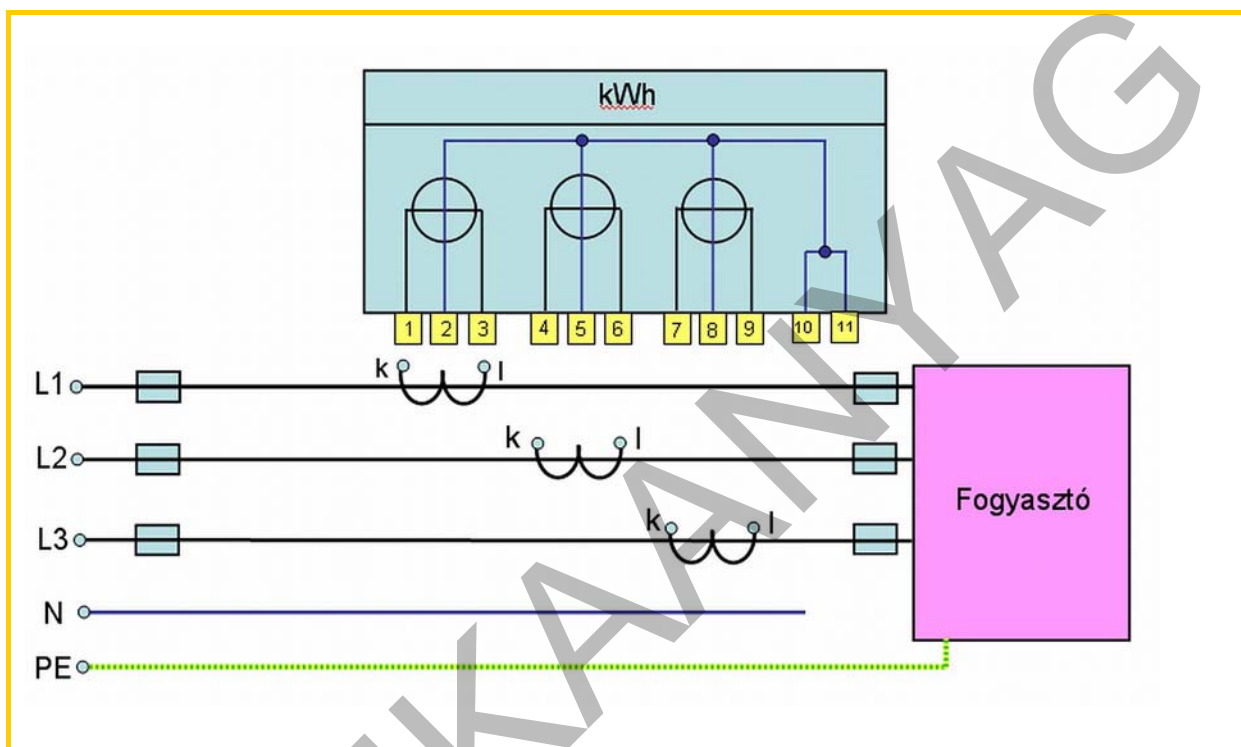
Ismertesse az $S = \text{állandó}$ melletti fázisjavítás vektorábráját és a Q_c meghatározásának módját!

10. feladat

Mit jelent az egyedi, csoportos, központi kompenzáció? Mondanivalóját rajzzal illusztrálja! Milyen előnyei és hátrányai vannak e kompenzációs módoknak?

11. feladat

Egészítse ki az alábbi fogyasztásmérő bekötésének rajzát!



18. ábra.

12. feladat

Sorolja fel, hogy milyen fő díjtételek jelennek meg egy villamosenergia számlán!

13. feladat

Egy ipari üzemben egyszerre jár 5 db szállítószalag. A berendezések hajtómotorja kalickás forgórészű aszinkron motor, melyek felvett teljesítménye egyenként 3,3 kW, teljesítménytényezőjük $\cos\varphi = 0,8$. Ezen kívül a létesítmény világítását 70 db 75 W-os izzólámpa szolgálja. A betápláló vezeték 100 %-ig ki van terhelve. Fázisjavítást végzünk $P = \text{áll.}$ mellett, és a teljesítménytényezőt $\cos\varphi_j = 0,98$ -ra javítjuk. A hálózat feszültsége $U=3*400$ V, frekvenciája $f=50$ Hz.

Kérdések:

- Mekkora a betáplálendő meddő teljesítmény ?
- A fázisjavítás után mekkora a látszólagos teljesítmény-csökkenés ?
- Háromszög-kapcsolású telepek esetén mekkora kapacitású kondenzátorokra van szükség?

MUNKANYELV

MEGOLDÁSOK

1. feladat

Lásd a 2. ábrát !

2. feladat

Az áramszolgáltatásnak az a fogyasztó optimális, melynél $\cos\varphi=1$, hiszen ebben az esetben csak hatásos (wattos) teljesítmény továbbítása történik. Például egy kábelben átfolyik a fogyasztó árama. Tegyük fel, hogy a kábel ellenállása $R = 0,1\Omega$, a fogyasztó árama fázisonként $I = 100$ A. A fogyasztói $\cos\varphi = 0,5$. Vizsgáljuk meg, hogy mekkora a kábelben jelentkező feszültségesés, és mekkora a teljesítmény-veszteség.

A feszültségesés: $\Delta U = I \cdot R = 100 \cdot 0,1 = 10V$

A teljesítményveszteség: $P_{veszt} = I^2 \cdot R = 100^2 \cdot 0,1 = 1000$ W . Megjegyezzük, hogy a 100A-es áram hatásos (wattos) összetevője: $I_w = I \cdot \cos\varphi = 100 \cdot 0,5 = 50$ A, tehát csak ennyi áram végez munkát, a többi "meddő". Ha a $\cos\varphi$ értékét sikerülne 1-re felvinni, akkor ugyanakkora teljesítmény eléréséhez csak 50 A-re lenne szükség, és ebben az esetben nincs meddőösszetevő. Hogy alakul most a feszültségesés és a teljesítményveszteség?

A feszültségesés: $\Delta U = I_w \cdot R = 50 \cdot 0,1 = 5V$.

A teljesítményveszteség: $P_{veszt} = I_w^2 \cdot R = 50^2 \cdot 0,1 = 250$ W .

Nyilvánvaló, hogy elemi érdekünk a $\cos\varphi$ -t az 1-hez közelíteni, mert ebben az esetben a legoptimálisabb a hálózati feszültségesés és teljesítményveszteség. Azt az eljárást, amivel ezt elérjük, fázisjavításnak hívják.

3. feladat

Lásd az 5. ábrát !

Mint látható, az aszinkron motor kapcsolásában van párhuzamos tekercs (X_a), és soros tekercsek (X_{s1} és X_{s2}). A párhuzamos tekercsen jelentkező meddőigény: $Q_p = \frac{U_i^2}{X_a}$. Mivel U_i

gyakorlatilag a primer feszültséggel azonos ezért Q_p U_1 négyzetével arányos. A soros meddőigény gyakorlatilag $Q_s = I_1^2 \cdot (X_{s1} + X_{s2})$, hiszen I_1 majdnem azonos I_2 -vel. A párhuzamos meddőigény tehát gyakorlatilag nem függ a terheléstől, és állandó feszültségű táplálás esetén nem változik. A soros meddő igény ezzel szemben négyzetesen függ a terhelő áramtól. Az aszinkron motorok eredő $\cos\varphi$ -je nagymértékben függ a motorok névlegeshez képesti kiterhelésétől.

4. feladat

Lásd a 8. és a 9. ábrát !

A távvezeték helyettesítő kapcsolásának elemei:

- R_v -váltakozóáramú soros ellenállás
- X_v -soros induktív ellenállás
- G-söntvezetés (a szivárgó áram okozza)
- C_o -söntkapacitás
- A söntvezetést és a söntkapacitást szimmetria okokból felezve a kapcsolat elejére és végére rajzoljuk.

Mint látható, a távvezeték egyszerre igényel, és egyszerre termel meddőteljesítményt. Hiszen az induktitásnak meddő igénye van, a kapacitáson pedig meddő-termelés történik. A

meddőigény: $Q_s = I_{fogy}^2 \cdot X_v$, a meddő termelés pedig: $Q_c = \frac{U_r^2}{X_c}$, ahol $X_c = \frac{1}{\omega \cdot C}$.

Ha a meddő-igényt és a meddő-termelést diagramban ábrázoljuk a teljesítmény (ill. áram) függvényében, látható, hogy van egy teljesítmény-érték, ahol a két meddő egymással megegyezik. Ezt hívjuk természetes teljesítménynek. Itt a távvezeték meddő szempontból semleges, mert amit termel, azt el is fogyasztja. Kis teljesítmények átvitelénél (pl. éjszaka) a távvezeték több meddőteljesítményt termel, mint amit elfogyaszt. Nagy teljesítmények átvitelakor (nappal) a távvezeték több meddőt igényel, mint amit termel.

5. feladat

A természetes fázisjavítás:

Ez tulajdonképpen nem más, mint olyan intézkedések összessége, melyekkel a fogyasztók meddőigénye már a keletkezésük helyén csökkenthető. Ez azt jelenti, hogy a termelési igényekhez szükséges villamos energiát optimális körülmények között használják fel. Például gyakori az a téves felfogás, hogy adott hajtási feladatra túlméretezett motort alkalmaznak mondván, hogy így sohasem fog túlterhelődni és leégni. Ez igaz, csak hogy a kis terheléssel járó aszinkron motor teljesítménytényezője rossz (0,2–0,4), míg a névlegesen terhelt motoré 0,8–0,9. Ezért a legegyszerűbb (természetes) fázisjavítás az, ha olyan motort választunk, amely névlegesen van terhelve az üzem során.

6. feladat

Ezt a módszert használjuk akkor, ha:

- az eredő teljesítménytényezőt növelni akarjuk (áramszolgáltatói elvárás)
- csökkenteni akarjuk a betápláló kábel feszültség-esését vagy teljesítmény-veszteségét.

- Csökkenteni akarjuk a tápláló transzformátor látszólagos teljesítményét.

7. feladat

Lásd a 10. ábrát !

A szükséges meddőteljesítmény: $Q_c = P \cdot (\operatorname{tg} \varphi_e - \operatorname{tg} \varphi_j)$

8. feladat

$S =$ állandó melletti fázisjavítást alkalmazunk, amikor egy kábel, vezeték teljes mértékben kiterhelt, de fogyasztói bővítést kell végrehajtani. Ebben az esetben (ha rossz a $\cos \varphi$ értéke) a költséges kábelcsere helyett javasolt a fázisjavítás elvégzése $S =$ állandó mellett. Ilyenkor a kábel terhelése nem változik, csak a wattos összetevő nő meg, a meddő összetevő csökken. ΔP többleteljesítmény építhető be.

9. feladat

Lásd a 11. ábrát !

A szükséges meddőteljesítmény: $Q_c = S \cdot (\sin \varphi_e - \sin \varphi_j)$

10. feladat

Lásd a 12. ábrát !

a.) Egyedi: ebben az esetben minden egyes fogyasztó mellett ott van a fázisjavító egység. Előnye: a megoldás energetikai szempontból ideális, hiszen a fogyasztó által igényelt meddőteljesítményt közvetlenül a fogyasztónál állítjuk elő, és a betápláló 1. vezetékét nem terhelik a felesleges meddőáramok. Hátránya: aránylag költséges, és nem automatizálható az ilyen telepítés. Ezt a megoldást alkalmazzák hagyományos előtéttel rendelkező fénycsőkapcsolásoknál.

b.) Csoportos: ebben az esetben egy-egy fogyasztói csoporthoz telepítenek nagyobb kondenzátor egységeket. Előnye a viszonylagos egyszerűség, hátránya, hogy a fogyasztó tápláló vezetékét terheli annak meddő árama. (a 2. vezetékét már nem!)

c.) Központi: ebben az esetben az egész üzemben egy kondenzátortelepellel oldják meg a fázisjavítást. Előnye az egyszerűség és a könnyű automatizálhatóság. Hátránya, hogy egészen a fő gyűjtősinig minden vezetékét terhel a fogyasztók meddő árama.

11. feladat

Lásd a 14. ábrát !

12. feladat

Egyetemes szolgáltatási ár .

Ez tulajdonképpen annak a villamosenergiának a díja, amit elfogyasztunk. Az áramszolgáltató a villamos energia díját időzónák alapján méri és számlázza:

Zónaidőszak	Téli időszámítás	Nyári időszámítás
Csúcsidőszak	06–22 között	07–23 óra között
Völgyidőszak	22–06 óra között	23–07 óra között

Rendszerhasználati díj

A felhasznált energia mennyiségétől független díjelemek

Pénzeszközök a VET 146.§-a alapján

13. feladat

$$P_{\ddot{o}} = 5 * P_{motor} + 70 * P_{izzó} = 5 * 3300 + 70 * 75 = 21750 \text{ W}$$

$$Q_{motor} = P_{motor} * tg \varphi_{motor} = 3300 * 0,75 = 2475 \text{ var}$$

$$Q_{\ddot{o}} = 5 * Q_{motor} = 5 * 2475 = 12375 \text{ var}$$

$$S_{\ddot{o}} = \sqrt{P_{\ddot{o}}^2 + Q_{\ddot{o}}^2} = \sqrt{21,75^2 + 12,375^2} = 25,02 \text{ kVA}$$

$$\cos \varphi_e = \frac{P_{\ddot{o}}}{S_{\ddot{o}}} = \frac{21,75}{25,02} = 0,8693 \quad tg \varphi_e = 0,5685$$

$$\cos \varphi_j = 0,98 \quad \text{így} \quad tg \varphi_j = 0,203$$

$$Q_c = P * (tg \varphi_e - tg \varphi_j) = 21,75 * (0,5685 - 0,203) = 7,94 \text{ k var}$$

$$\Delta S = \frac{P_{\ddot{o}}}{\cos \varphi_e} - \frac{P_{\ddot{o}}}{\cos \varphi_j} = \frac{21,75}{0,8693} - \frac{21,75}{0,98} = 2,82 \text{ kVA}$$

$$\omega = 2 * \pi * f = 2 * 3,14 * 50 = 314 \frac{1}{s}$$

$$C_{\Delta} = \frac{Q_c}{3 * U_v^2 * \omega} = \frac{7940}{3 * 400^2 * 314} = 52,6 \mu F$$

IRODALOMJEGYZÉK

FELHASZNÁLT IRODALOM:

Dr. Kemény József–Dr. Morva György–Dr. Novothny Ferenc: Villamos művek. Nagy és Társa Nyomda és Kiadó Kft. Budapest, 2001.

Szenes György: Váltakozóáramú alaptermékek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1988.

AJÁNLOTT IRODALOM

Seyr-Rösch: Villanszerelés, Villámvédelem, Világítástechnika. Műszaki Könyvkiadó Kft, 2000.

MUNKANYAG

A(z) 0929–06 modul 009–es szakmai tankönyvi tartalomeleme felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

A szakképesítés OKJ azonosító száma:	A szakképesítés megnevezése
54 522 01 0000 00 00	Erősáramú elektrotechnikus

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:
20 óra

MUNKANYAG

MUNKANYAG

A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv
TÁMOP 2.2.1 08/1-2008-0002 „A képzés minőségének és tartalmának
fejlesztése” keretében készült.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap
társfinanszírozásával valósul meg.

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet

1085 Budapest, Baross u. 52.

Telefon: (1) 210-1065, Fax: (1) 210-1063

Felelős kiadó:

Nagy László főigazgató