

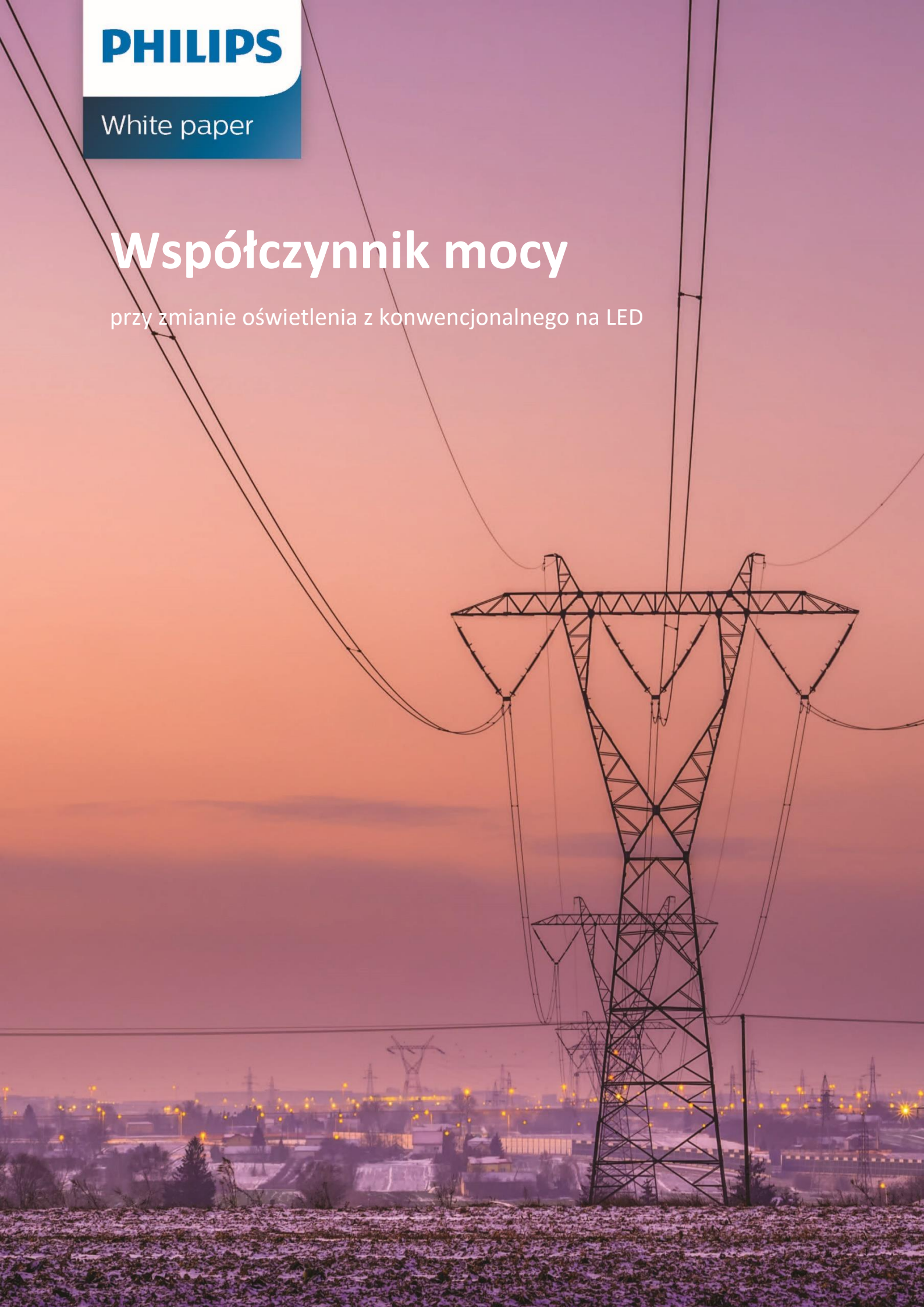


PHILIPS

White paper

Współczynnik mocy

przy zmianie oświetlenia z konwencjonalnego na LED



Podstawy

Istotność współczynnika mocy w konwencjonalnych instalacjach

Przez dziesięciolecia instalacje oświetleniowe, zwłaszcza zewnętrzne, były zdominowane przez konwencjonalne lampy wyładowcze o dużej intensywności (HID). Lampy te do prawidłowego działania wymagają statecznika elektromagnetycznego (cewki miedziano-żelaznej). Charakter tych układów utrudnia ich przyciemnianie. W związku z tym przyciemnianie nigdy nie było odpowiednim tematem dla konwencjonalnych instalacji oświetleniowych.

Charakterystyka elektryczna stateczników elektromagnetycznych do lamp HID jest z natury indukcyjna. Skutkuje to zwiększonym obciążeniem prądowym sieci zasilającej, wymagając tym samym grubszych przewodów miedzianych w celu zmniejszenia obciążenia termicznego okablowania sieciowego i spadku napięcia. Współczynnik mocy stateczników elektromagnetycznych wynosi zwykle około 0,5. Jest on niezadowalający. Jednak zwiększone obciążenie prądowe można bardzo łatwo skompensować, podłączając kondensator kompensacyjny równolegle do układu statecznik-lampa. Robiono to przez dziesięciolecia, aby uzyskać dobry współczynnik mocy (np. 0,9 lub wyższy). Skutkowało to zmniejszonym obciążeniem prądowym i spadkiem napięcia sieci.

Elektroniczne zasilacze w oświetleniu LED zapewniają wysoki współczynnik mocy

Obecnie wiele instalacji oświetleniowych jest modernizowanych z konwencjonalnych systemów oświetleniowych na systemy oświetleniowe oparte na technologii LED. Takie modernizacje mają zalety dotyczące poboru energii, trwałości i wydajności przyciemniania. Systemy oświetlenia LED posiadają elektroniczne zasilacze LED, które mają z natury pojemnościowe charakterystyki elektryczne. Zasilacze te mają zintegrowany aktywny układ korekcji współczynnika mocy. Dzięki temu uzyskują wysoki współczynnik mocy około 0,99 (to samo dotyczy stateczników elektronicznych do lamp HID).

Współczynnik mocy uzyskiwany w instalacjach konwencjonalnych od dawna nie stanowił problemu. Operatorzy sieci energetycznych mogą jednak nadal pobierać od gmin dodatkowe opłaty za (pojemnościową) moc bierną (kvar) systemów oświetlenia LED. Można również sądzić, że pojemnościowa moc bierna (w porównaniu z indukcyjną mocą bierną) stwarza problemy dla dostawców energii.

W międzyczasie urządzenia do pomiaru mocy elektrycznej odbiorników zostały ulepszone: teraz zarówno moc czynną, jak i moc bierną, zarówno w trybie indukcyjnym, jak i pojemnościowym, można mierzyć i rozliczać oddzielnie. W efekcie tego można nawet wprowadzić dodatkowe opłaty dla użytkowników mocy biernej, także w trybie przyciemniania, który to tryb miał teoretycznie przynieść znaczną część planowanych oszczędności energii. Te dodatkowe opłaty są w niektórych przypadkach dziesięciokrotnie wyższe niż opłaty pobierane za faktycznie pobraną energię (kWh). W związku z tym całkowity rachunek za energię elektryczną (pobraną moc bierną + czynną) zmodernizowanego systemu oświetlenia LED może być znacznie wyższy niż w przypadku konwencjonalnego systemu oświetlenia używanego przed modernizacją. Ten sam temat dotyczy również niektórych zastosowań wewnętrznych (np. Szkół), w których oświetlenie jest głównym odbiornikiem energii elektrycznej bez innych urządzeń o dużej mocy.

Ważne jest, aby zrozumieć znaczenie współczynnika mocy w instalacji oświetleniowej LED zarówno w sytuacji pełnego obciążenia, jak i w trybie przyciemniania, aby zapobiec jego negatywnemu wpływowi na oszczędności energii (kosztów).

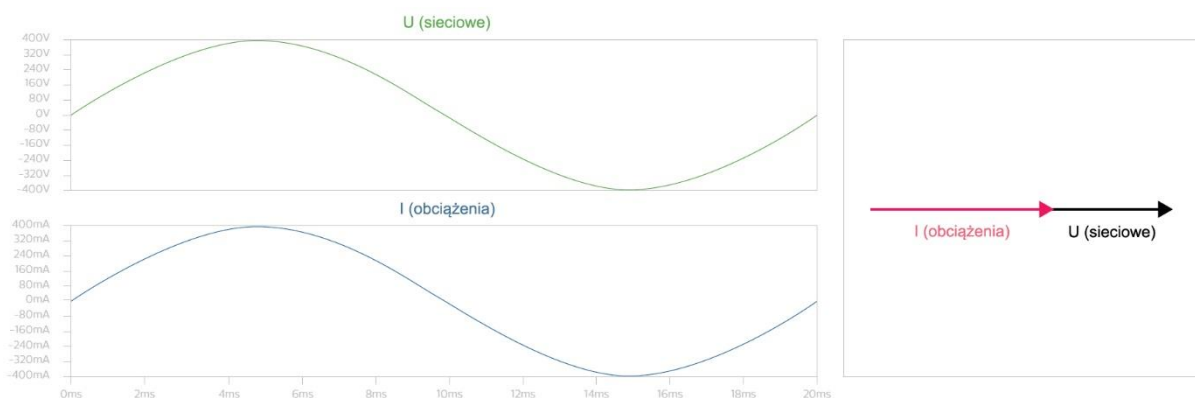


Czym jest współczynnik mocy?

Współczynnik mocy (PF) wskazuje na przesunięcie fazowe między napięciem sieciowym a prądem pobieranym przez obciążenie podłączone do tego napięcia sieciowego. Przesunięcie fazowe między napięciem sieciowym a prądem pobieranym występuje wtedy, gdy do napięcia sieciowego (o kształcie sinusoidalnym) podłączone jest obciążenie indukcyjne lub pojemnościowe.

Czysto oporowe obciążenie:

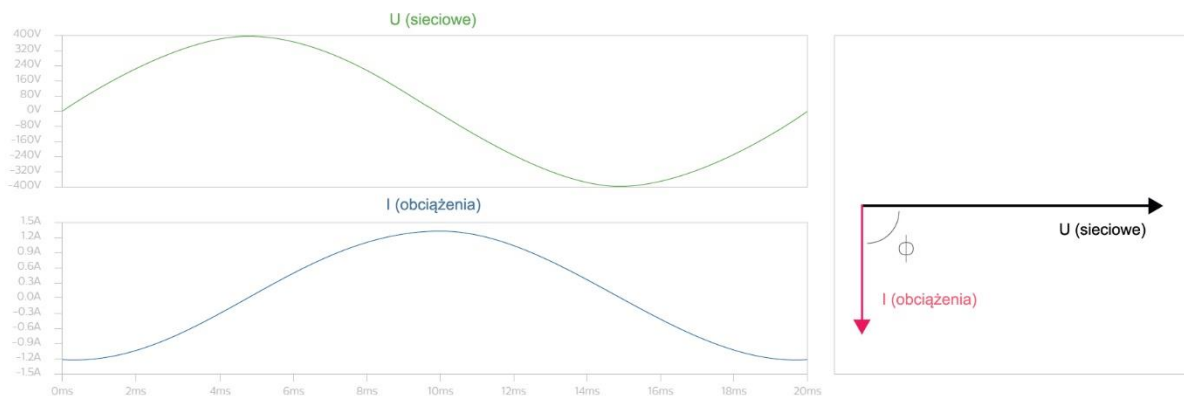
Podłączając czysto oporowe obciążenie (np. żarówkę) do napięcia sieciowego, napięcie i prąd będą miały taką samą fazę. Prąd ten będzie prądem czynnym (w Watach) i jest przekształcany na energię, w tym przypadku ciepło i światło rozpraszane w żarniku żarówki. Spójrz na wykres poniżej:



Rysunek 1: Przebieg napięcia i prądu przy obciążeniu oporowym (zielony = napięcie, niebieski = prąd)

Indukcyjne obciążenie:

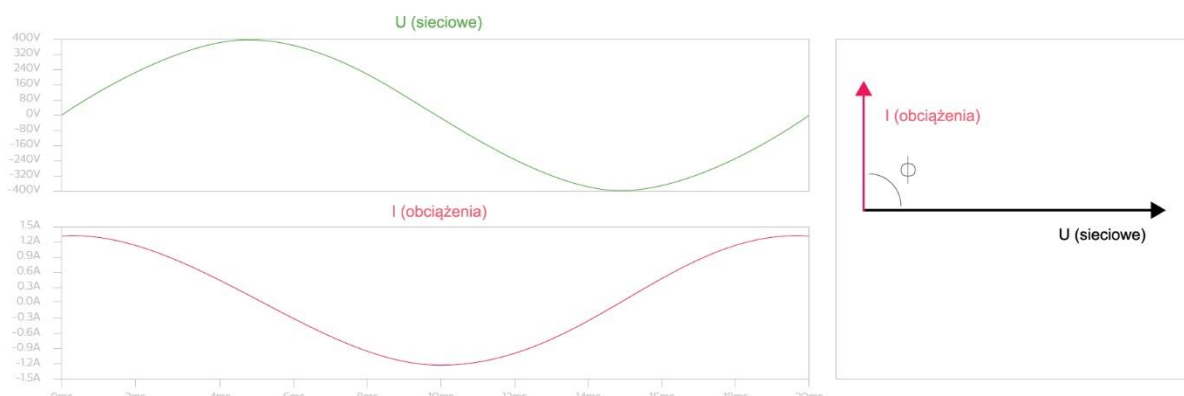
Podczas podłączenia czysto indukcyjnego obciążenia do sieci (np. idealnej cewki), prąd opóźnia się o 90° względem napięcia sieciowego. Na poniższym rysunku występuje przesunięcie fazowe o 90° , czyli o 5 ms. Prąd ten nazywany jest indukcyjnym prądem biernym i nie jest przekształcany w energię czynną w obciążeniu.



Rysunek 2: Przebieg napięcia i prądu przy obciążeniu indukcyjnym (zielony = napięcie, niebieski = prąd)

Pojemnościowe obciążenie:

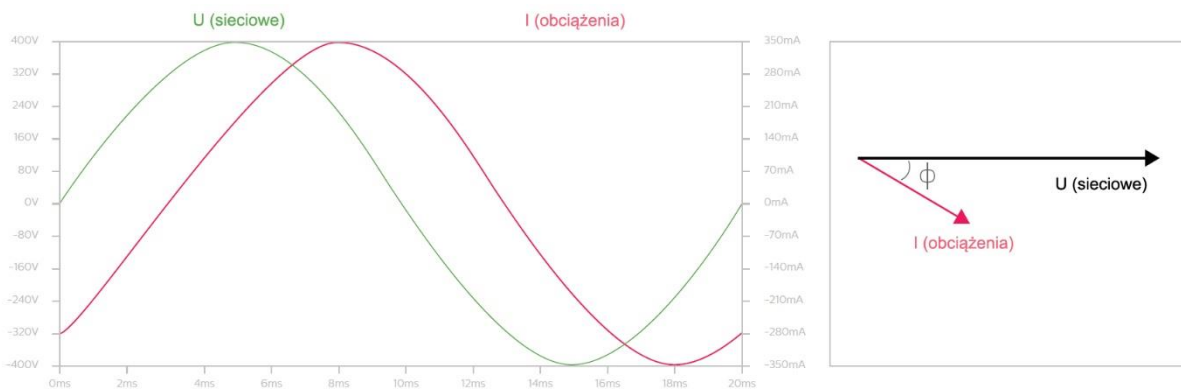
Przy podłączaniu do sieci odbiornika czysto pojemnościowego (np. idealnego kondensatora), prąd wyprzedza o 90° napięcie sieciowe. Na poniższym rysunku występuje przesunięcie fazowe o -90°, czyli o 5 ms. Prąd ten nazywany jest pojemnościowym prądem biernym i nie jest również przekształcany w energię czynną w obciążeniu.



Rysunek 3: Przebieg napięcia i prądu przy obciążeniu pojemnościowym (zielony = napięcie, czerwony = prąd)

Konwencjonalne obciążenie oświetleniowe:

Konwencjonalny system oświetleniowy spowoduje przesunięcie fazowe między napięciem sieciowym a prądem obciążenia: prąd będzie opóźniony w stosunku do napięcia. Można to zobaczyć na poniższym rysunku. Prąd obciążenia spowoduje powstanie mocy pozornej S ($U_{\text{sieciowe}} \times I_{\text{obciążenia}}$), która będzie pobierana z sieci i wyrażona w [VA].



Rysunek 4: Przebieg napięcia i prądu dla konwencjonalnego obciążenia oświetleniowego (zielony = napięcie, czerwony = prąd)

Moc pozorną można rozłożyć na dwa składniki:

- moc czynną, P , wyrażoną w [W], oznaczającą moc, którą naprawdę wykorzystujesz i za którą płacisz,
- moc bierną, Q , wyrażoną w [var], czyli moc bezużyteczną.

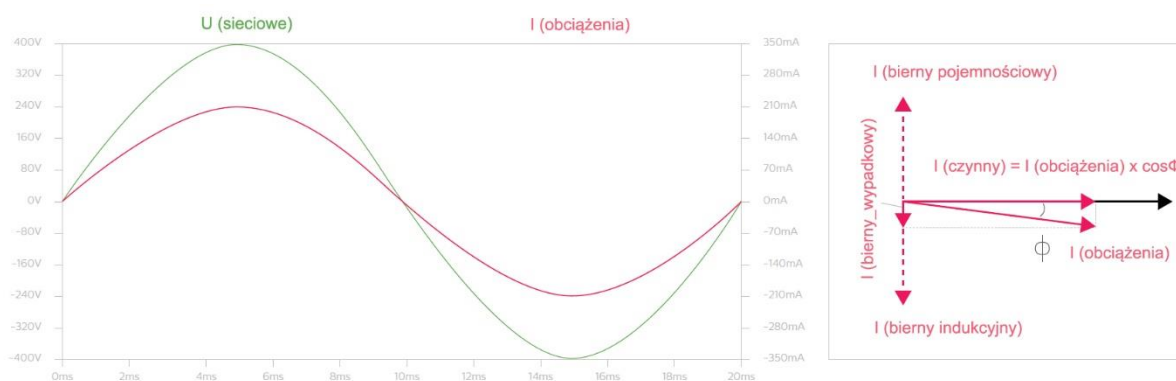
Rozkład ten przedstawiony jest na poniższym rysunku:



Rysunek 5: Po lewej: składowe prądy, Po prawej: trójkąt mocy

Moc bierna tworzy energię elektryczną przesyłaną tam i z powrotem pomiędzy siecią zasilającą a urządzeniami elektrycznymi podłączonymi do tej sieci, bez przekształcania jej w inną formę energii, taką jak ruch, światło, ciepło itp. Właściwie to nic się nie dzieje, ten prąd bierny przepływa przez sieć bez korzyści dla nas.

W przypadku tradycyjnego systemu oświetleniowego, indukcyjny prąd bierny może być ograniczony przez kondensator kompensacyjny. Taki kondensator wprowadza pojemnościowy prąd bierny, który (częściowo) kompensuje indukcyjny prąd bierny ze statecznika.

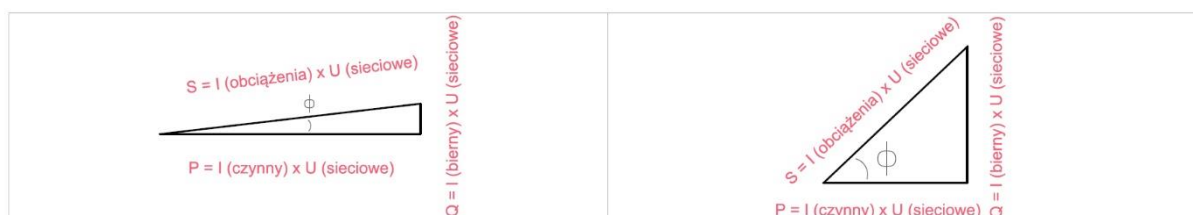


Rysunek 6: Przebieg napięcia i prądu konwencjonalnego obciążenia oświetleniowego z kompensacją (zielony = napięcie, czerwony = prąd)

Dzięki tej kompensacji kąt fazowy między napięciem sieciowym a prądem obciążenia jest bardzo mały, co powoduje, że prąd pozorny jest bardzo zbliżony do prądu obciążenia i bardzo małego prądu biernego. Dzięki tej kompensacji moc pozorna jest zbliżona do mocy czynnej.

Współczynnik mocy (PF) określa zależność między mocą pozorną (S) a mocą czynną (P). Wysoki PF oznacza, że P jest prawie tak duże jak S, a zatem moc bierna (Q) jest bardzo mała.

Niski PF oznacza dużą moc bierną w porównaniu z mocą pozorną.



Rysunek 7: Po lewej: Trójkąt mocy o wysokim współczynniku mocy, Po prawej: Trójkąt mocy o niskim współczynniku mocy

Dla idealnych obciążeń pojemnościowych lub indukcyjnych $PF = \cos\phi$. W takim przypadku, gdy z sieci nie są pobierane wyższe harmoniczne, czyli THD wynosi 0%.

$$PF = \frac{\cos\Phi}{\sqrt{1 + THD_i^2}}$$

$\cos\phi = |P| / |S|$, gdzie ϕ jest kątem między mocą czynną a mocą pozorną.

Dlaczego współczynnik mocy jest tak ważny?

Moc bierna staje się istotna, gdy tylko zostaną podłączone do sieci obciążenia indukcyjne (np. silniki elektryczne, stateczniki elektromagnetyczne). Dzieje się tak ponieważ obciążenia te wytwarzają indukcyjny prąd bierny (i moc bierną). Jednak staje się to również istotne, gdy tylko do sieci zostaną podłączone przekształtniki elektroniczne (np. zasilacze impulsowe do komputerów i serwerów, przemienniki częstotliwości, zasilacze elektroniczne i stateczniki do oświetlenia). Obciążenia te wywołują pojemnościowy prąd bierny (i moc bierną).

Moc bierna jest niepożądana, ponieważ wymaga grubszych przewodów zasilających i zwiększa straty przesyłanej energii elektrycznej z elektrowni do podłączonych odbiorników. Moc pozorna jest w tym przypadku wyższa. Tak samo jest dla pojemnościowej mocy biernej, jak dla indukcyjnej mocy biernej.

PF musi być powyżej wymaganej wartości (np. 0,9), aby sumaryczny prąd (skutkujący mocą pozorną S) nie był zbyt duży, a infrastruktura instalacji użytkowej nie była niepotrzebnie obciążana.

Jeśli współczynnik mocy w warunkach pełnego obciążenia jest zbyt niski (zwykle minimalne wymaganie wynosi 0,9), należy podjąć odpowiednie środki, ponieważ w przeciwnym razie wynikowy prąd obciążenia spowodowałby przeciążenie przewodów zasilających. Można to zrobić, podobnie jak w przypadku konwencjonalnego systemu oświetleniowego, czyli obciążenia indukcyjnego, poprzez kondensator kompensacyjny.

W nowoczesnych instalacjach oświetleniowych, w których stosowane są zasilacze elektroniczne w systemach oświetlenia LED, współczynnikiem mocy zarządzają zasilacze. Wyposażone są one w wewnętrzny układ korekcji współczynnika mocy (PFC), który zapewnia współczynnik mocy zwykle $> 0,95$ przy pełnym obciążeniu.

Codzienny przykład wyjaśniający współczynnik mocy

Współczynnik mocy można prosto wytłumaczyć za pomocą kufła piwa. Najważniejszą zawartością kufła piwa jest samo piwo. Piana jest mniej ważna.



Otrzymujesz moc pozorną [VA].
(pełen kufel piwa, czyli piwo + pianka).
Moc czynna [W] jest tym co chcesz dostać i
za co płacisz (samo piwo).
Moc bierna [var] to pianka. Kiedy ilość piany
będzie zbyt duża, będziesz narzekać.

W przypadku mocy pojemnościowej
codzienny przykład wygląda trochę dziwnie,
ale wynik jest taki sam. Płacisz za wszystko,
ale piana nie ma sensu.

Niektóre rodzaje piwa mają wysoki PF!

Rysunek 8: Codzienny przykład mocy czynnej, pozornej i biernej

Przykład obliczeń

Instalacja LED:

Poniżej przedstawiony jest praktyczny przykład instalacji oświetleniowej z typowym zasilaczem LED Xitanium Full Prog 150W SNLDAE 0,2-0,7A S240.

| | Zasilacz przy pełnym obciążeniu | Zasilacz przy całkowitym przyciemnieniu | Zasilacz w trybie czuwania |
|-----------------|---------------------------------|---|----------------------------|
| Moc pozorna S | 167 VA | 21,9 VA | 11,8 VA |
| Moc czynna P | 166 W | 16,2 W | 0,45 W |
| Prąd obciążenia | 0,725 A | 0,095 A | 0,051 A |
| PF | 0,995 | 0,74 | 0,038 |
| Moc bierna | 16,9 VAR | 14,4 VAR | 11,7 VAR |

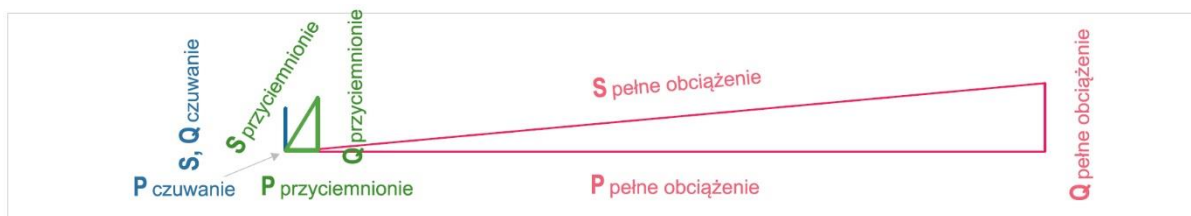
| | Grupa 18 zasilaczy | | |
|-----------------|--------------------|---------|---------|
| Moc pozorna S | 3006 VA | 394 VA | 212 VA |
| Moc czynna P | 2988 W | 292 W | 8,1 W |
| Prąd obciążenia | 13 A | 1,71 A | 0,92 A |
| PF | 0,995 | 0,74 | 0,038 |
| Moc bierna | 304 VAR | 259 VAR | 211 VAR |

Tabela 1: Wyniki pomiarów w praktycznym przykładzie

Co można wywnioskować z powyższych liczb?

W trybie czuwania współczynnik mocy spada prawie do 0. Moc bierna i prąd obciążenia spadają do pewnego stopnia. Pomimo bardzo niskiego współczynnika mocy prąd obciążenia nie rośnie. **Dlatego też niski współczynnik mocy w trybie czuwania nie stanowi problemu dla instalacji pod względem obciążenia sieci prądem.** Nie ma potrzeby stosowania grubszych przewodów, a straty na przesyle energii nie wzrastają.

Również przy oświetleniu przyciemnionym współczynnik mocy jest gorszy niż przy pełnym obciążeniu, a moc pozorna (S) i moc bierna (Q) są również niższe w porównaniu do sytuacji pełnego obciążenia. Przy oświetleniu przyciemnionym całkowita moc jest mniejsza w porównaniu do sytuacji z pełnym obciążeniem, ale podobnie jak w przypadku trybu czuwania nie stanowi to problemu dla obciążenia sieci. Na poniższym rysunku (rysunek 9) przedstawione są trójkąty mocy dla tych trzech sytuacji (pełne obciążenie, oświetlenie przyciemnione, tryb czuwania) z pomiarów w tabeli 1. Trójkąty mocy są narysowane w jednakowej skali, dzięki czemu można je porównać pod względem wielkości i wyraźnie pokazać stosunek mocy w różnych sytuacjach.



Rysunek 9: Trójkąty mocy dla sytuacji pełnego obciążenia, oświetlenia przyciemnionego i trybu czuwania na praktycznym przykładzie z tabeli 1

Należy zwrócić uwagę, że w ogólności przyciemnianie nie jest możliwe w przypadku konwencjonalnych systemów oświetleniowych.

Modernizacja instalacji oświetleniowej:

Następnym przykładem jest modernizacja instalacji oświetlenia zewnętrznego z tradycyjnego na system oświetlenia LED. Punktem wyjścia jest modernizacja tradycyjnego systemu oświetleniowego (lampa HID 150 W) na system LED wyposażony w zasilacz LED 75 W (Xi FP 75 W 0,2-0,7 A SNLDAE 230 V c133 sXt). W poniższej tabeli przedstawiona jest stara sytuacja oraz sytuacja po modernizacji przy pełnym obciążeniu i z oświetleniem przyćmionym.

| | 150W HID | Zasilacz 75W C133 przy pełnym obciążeniu | Zasilacz 75W C133 przy 10% przyćmienia |
|-----------------|----------|--|--|
| Moc pozorna S | 187 VA | 83,7 VA | 12,5 VA |
| Moc czynna P | 168 W | 82 W | 10 W |
| Prąd obciążenia | 0,81 A | 0,36 A | 0,054 A |
| PF | 0,9 | 0,98 | 0,8 |
| Moc bierna | 81,5 VAr | 16,7 VAr | 7,5 VAr |

| | Grupa 18 zasilaczy | | |
|-----------------|--------------------|---------|---------|
| Moc pozorna S | 3366 VA | 1507 VA | 225 VA |
| Moc czynna P | 3029 W | 1477 W | 180 W |
| Prąd obciążenia | 14,6 A | 6,48 A | 0,972 A |
| PF | 0,9 | 0,98 | 0,8 |
| Moc bierna | 1467 VAr | 300 VAr | 135 VAr |

Tabela 2: Wyniki pomiarów w praktycznym przykładzie

Co można wywnioskować z powyższych liczb?

Podczas modernizacji istniejącej instalacji z konwencjonalnego systemu oświetlenia na system oświetlenia LED, współczynnik mocy przy pełnym obciążeniu wzrośnie, a całkowita moc spadnie. Ze względu na mniejszą moc całkowitą obciążenie zmodernizowanej instalacji będzie dopasowane do istniejącej infrastruktury instalacji elektrycznej. W związku z tym nie jest wymagane kosztowne ponowne prowadzenie przewodów. Zasilacze elektroniczne mają wbudowany układ korekcji współczynnika mocy (PFC), który zapewnia wysoki współczynnik mocy w sytuacji pełnego obciążenia. **Przy pełnym obciążeniu prąd jest mniejszy w porównaniu z konwencjonalną instalacją, a w sytuacji przyćmienia prąd będzie jeszcze mniejszy, aczkolwiek ze zmniejszonym współczynnikiem mocy. W takiej sytuacji nie dojdzie do przeciążenia istniejącej infrastruktury sieci elektrycznej.**

Również w sytuacji przyćmienia obciążenie prądowe jest mniejsze, nawet jeśli w tym przypadku współczynnik mocy jest niższy. W tabeli 2 podano sytuację ekstremalnego przyćmienia do 10% i wskazuje ono PF 0,68 przy mocy biernej, która jest niższa niż moc bierna dla sytuacji pełnego obciążenia. W porównaniu z konwencjonalnym systemem moc bierna jest prawie 10-krotnie mniejsza w sytuacji przyćmienia. W praktyce te ekstremalnie niskie poziomy przyćmienia nie będą często występować.

W niektórych instalacjach moduły LED są zasilane mniejszymi prądami niż maksymalny prąd dozwolony przez zasilacz LED. W związku z tym zasilacz LED nie będzie pracował optymalnie, np.: niższa sprawność i niższy PF. Dla instalacji elektrycznej nie będzie to jednak problemem, ponieważ sumaryczna moc jest niższa niż w pierwotnej sytuacji i nie dojdzie do przeciążenia sieci.

Podsumowanie

Współczynnik mocy jest ważnym parametrem w instalacjach elektrycznych, ograniczającym moc bierną. Współczynnik mocy jest liczbą względną, porównującą moc czynną, pozorną i bierną (odpowiednio P, S, Q) w instalacji i wskazuje tylko na jedną sytuację. Nie można go używać do porównywania liczb bezwzględnych w różnych sytuacjach, np. systemu oświetlenia przy pełnym obciążeniu i przyciemnionego.

Podczas przyciemnienia niższy współczynnik mocy nie jest problemem w odniesieniu do pobieranego prądu z sieci. To samo dotyczy sytuacji modernizacji, nawet w zastosowaniach bez przyciemnienia.

Z technicznego punktu widzenia nie ma powodu, aby wyceniać pojemnościową moc bierną wyżej niż indukcyjną moc bierną. Nie jest znany powód zarzutu, że pojemnościowe prądy bierne są bardziej szkodliwe dla infrastruktury elektrycznej.

Stwierdzenie, że systemy oświetlenia LED w porównaniu z konwencjonalnymi systemami oświetleniowymi nie są energooszczędne, nie jest poprawne.

Zasilacze elektroniczne będą miały znacznie lepsze wartości współczynnika mocy. Te wartości zostaną zachowane przez cały okres użytkowania dzięki wbudowanemu układowi korekcji współczynnika mocy (PFC).

Dodatkowe zewnętrzne urządzenia poprawiające współczynnik mocy lub kompensujące pojemnościową moc bierną zasilaczy Philips nie są potrzebne.



© 2020 Signify Holding. Wszelkie prawa zastrzeżone. Informacje zawarte w niniejszym dokumencie mogą ulec zmianie bez powiadomienia. Signify nie składa żadnych oświadczeń ani gwarancji co do dokładności lub kompletności informacji zawartych w niniejszym dokumencie i nie ponosi odpowiedzialności za żadne działania związane z tymi informacjami. Philips i emblemat tarczy Philips są zastrzeżonymi znakami towarowymi Koninklijke Philips N.V. Wszystkie inne znaki towarowe są własnością Signify Holding lub ich odpowiednich właścicieli.