

Mirosław KIEŁBOŃ

Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów

ZASTOSOWANIE STEROWNIKÓW PROGRAMOWALNYCH WAGO DO STEROWANIA OŚWIETLeniem WYDAJNYM ENERGETYCZNIE WE WNĘTRZACH

Streszczenie. W artykule przedstawiono możliwość zastosowania sterowników programowalnych Wago do sterowania układami oświetleniowymi wewnątrz, co obniża zużycie energii na cele oświetleniowe. Oszacowano oszczędności energii na przykładzie oświetlenia żarowego i dwóch rodzajów sterowania: dwustopniowego i ciągłego podczas wschodu i zachodu słońca. Rozważono możliwość realizacji sterowania wielokryterialnego oświetleniem za pomocą sterowników Wago.

APPLICATION OF PROGRAMMABLE CONTROLLERS WAGO TO ENERGETIC-EFFICIENT CONTROL OF INDOOR LIGHTING

Summary. The possibility of programmable-controllers application to indoor-lighting control in order to decrease energy consumption for the lighting is mentioned in the paper. The energy savings on the example of an incandescent-lamp with automatic continuous and two step control during the sunrise and sunshine were calculated. The application of Wago-controllers to the multi-criterial lighting control was mentioned.

1. WPROWADZENIE

Oświetlenie wydajne energetycznie to takie oświetlenie, w którym dąży się do minimalizacji zużycia energii na cele oświetleniowe, jednak w taki sposób, aby wskaźniki jakościowe i ilościowe dla oświetlenia nie uległy pogorszeniu. Można to realizować poprzez np. zastosowanie źródeł światła o dużej skuteczności świetlnej, opraw o lepszej z punktu widzenia oświetlenia danego obszaru bryle fotometrycznej i innych parametrach (np. ulepszone odbłyśniki), osprzętu źródeł światła o dużej wydajności itp. Daje to duże oszczędności energii, sięgające nawet kilkudziesięciu procent (przy zmianie oświetlenia z żarowego na oświetlenie np. świetłówkami typu TL-5) Możliwe jest jednak dalsze ograniczenie zużycia energii przez system oświetleniowy poprzez zastosowanie odpowiedniego układu sterowania oświetleniem. Obecnie coraz powszechniejsze (zwłaszcza w

większych obiektach) stają się rozwiązania oparte na zintegrowanym układzie sterowania oświetleniem, żaluzjami, ogrzewaniem, systemami bezpieczeństwa tworzące tzw. „inteligentny budynek”. Jednym z nich jest system oparty na modułach Wago-Toplon. W poniższym artykule opisano zastosowanie systemu Wago-Toplon do sterowania oświetleniem o różnym stopniu złożoności. Niektóre z układów są testowane w warunkach laboratoryjnych Politechniki Śląskiej.

2. CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA ENERGOCHŁONNOŚĆ OŚWIETLЕНИЯ

Podstawowym czynnikiem wpływającym na energochłonność oświetlenia jest oczywiście moc zainstalowana oraz moc czynna i pozorna pobierana przez układ oświetleniowy w danej chwili.

Moc pobierana przez oświetlenie może być stała w czasie (podczas eksploatacji pomieszczenia oświetlenie jest użytkowane przez cały czas), zmieniać się w sposób skokowy (wyłączanie całości lub części opraw na określony czas), wielostopniowy (podział obwodów oświetleniowych na grupy z osobnym sterowaniem) oraz ciągły (użycie ściemniaczy i sterowników do regulacji strumienia świetlnego źródeł)

Na moc zainstalowaną można wpływać właściwie tylko poprzez stosowanie źródeł światła o coraz to większej skuteczności świetlnej i opraw o optymalnym kącie rozsyłu światła (bryle fotometrycznej). Zagadnienie minimalizacji mocy zainstalowanej jest szeroko omawiane w literaturze [1,2] i nie będzie tutaj poruszane.

Kolejnym czynnikiem jest sposób wykorzystania światła naturalnego wpadającego do wnętrza. W większości projektów oświetleniowych światło naturalne jest pomijane przy wyznaczaniu parametrów oświetleniowych, co wynika z założenia, że parametry te muszą spełniać warunki norm także przy braku oświetlenia dziennego. Jest to podejście słuszne, ale podczas występowania „stanów przejściowych”(dni pochmurne, wschód i zachód Słońca) w pomieszczeniach o tak zaprojektowanym oświetleniu duża część energii elektrycznej zużywana jest na wytworzenie dodatkowego, zbędnego w danym momencie natężenia oświetlenia na powierzchni roboczej. Na podstawie pomiarów stwierdzono, że stan przejściowy w ciągu dnia (wschód i zachód Słońca) trwa około 3 godzin. W zależności od pory roku należałoby więc rozpatrzyć oszczędności energii wynikające z wprowadzenia inteligentnego układu sterowania w tym okresie. Spodziewane oszczędności będą największe w okresie letnim (krótki dzień), najmniejsze zaś - w zimowym. Ilość energii zużywaną przez oświetlenie w okresach przejściowych można ograniczyć poprzez sekcjonowanie obwodów oświetleniowych i wyłączanie zbędnej części opraw w zależności od bieżących warunków atmosferycznych, rozwiązanie takie może jednak spowodować pogorszenie równomierności oświetlenia w pomieszczeniu oraz wymaga automatyki sterowania.

Często zdarza się, że pracownicy opuszczający pomieszczenie na krótki lub dłuższy czas nie wyłączają oświetlenia, powodując przez to dodatkowe straty energii. Poprzez zastosowanie odpowiednich układów sterujących można zapobiec takim sytuacjom.

3. POMIARY NATĘŻENIA OŚWIETLЕНИЯ DO CELÓW ANALIZY PORÓWNAWCZEJ

W celu oszacowania oszczędności energii przy zastosowaniu inteligentnego systemu sterowania oświetleniem przeprowadzono pomiary natężenia oświetlenia w wybranym pomieszczeniu. Pomieszczenie wybrano tak, aby zminimalizować skutki oddziaływania sztucznego oświetlenia zewnętrznego (lampy uliczne) na luksomierz. Badania przeprowadzono

w końcu grudnia 2002 r. ze względu na późny świt i wczesny zmierzch. Do celów analizy porównawczej zużycia energii wybrano jedynie okres od świtu do uzyskania wymaganego natężenia oświetlenia w pomieszczeniu oraz okres zmierzchu od momentu utraty wymaganego natężenia oświetlenia naturalnego do całkowitego zaniku światła naturalnego. W badanym dniu wschód słońca trwał od godz. 7⁰⁰ do 8²⁵, zaś zachód od 14⁵⁵ do 16²⁵. Wyniki pomiarów oraz okresy włączenia oświetlenia z pełną mocą, z połową mocy (w systemie 2-stopniowego sterowania) oraz sterowania ciągłego przedstawiono na rys 1.

4. OPIS SYSTEMU WAGO-TOPLON

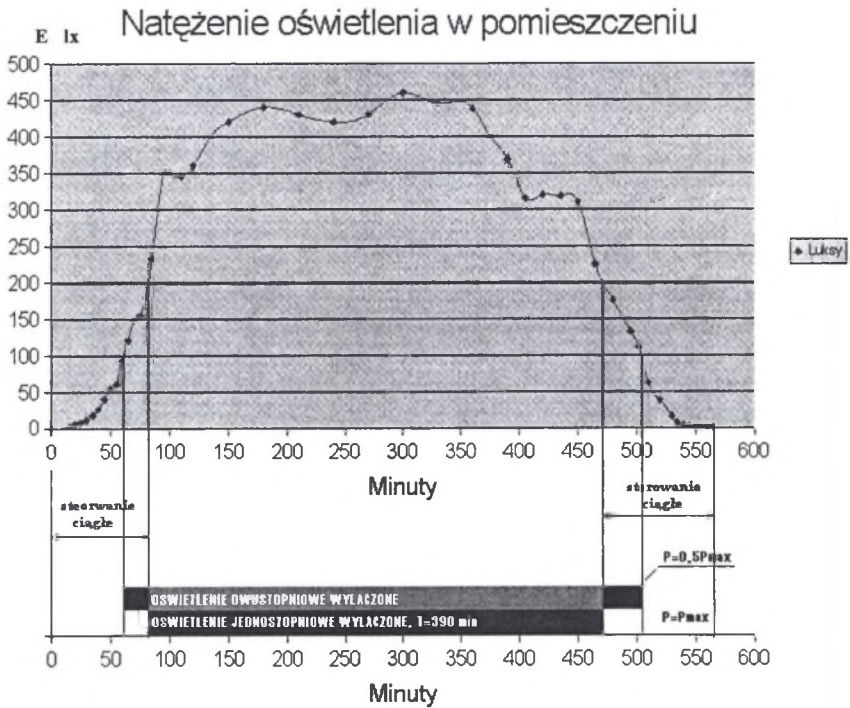
System Wago-Toplon jest systemem przeznaczonym do szeroko pojętej automatyzacji budynków oraz procesów i urządzeń przemysłowych ze szczególnym uwzględnieniem automatyzacji i integracji instalacji elektrycznych i energetycznych [3]. Główną ideą tego systemu jest wykorzystanie sieci rozproszonej opartej na standardzie LON (Local Operating Network), przy czym istnieje możliwość współpracy elementów tej sieci z elementami innych standardów, np. Ethernet, Profibus, Interbus, Modbus i innych. Elementy automatyzacji w tym systemie oparte są na tzw. neuron-chipach, będących podstawową częścią sterowników i interfejsów tworzących węzły sieci. Uzupełnieniem modułów podstawowych zawierających neuron-chip są elementy wykonawcze i pomiarowe (wejścia i wyjścia analogowe i cyfrowe, przetworniki, wskaźniki, moduły pomiarowe itp.). Istotnym udogodnieniem automatyzacji jest to, że węzeł sieci ma strukturę modułową i otwartą, w związku z czym każdorazowo można go dostosować do bieżących potrzeb, z jednej strony optymalizując jego koszt (zakupuje się tylko te moduły, które są wykorzystane), z drugiej strony rozbudowa czy rekonfiguracja sieci nie przysparza żadnych problemów. Sieć automatyki zbudowana na takich elementach zapewnia dużą pewność pracy, gdyż nawet awaria jednego z węzłów nie powoduje zakłóceń w pracy innych. System Wago znalazł zastosowanie przy tworzeniu systemów tzw. inteligentnych budynków, w których wszystkie instalacje są kontrolowane przez jeden system. W warunkach laboratoryjnych Politechniki Śląskiej system ten wykorzystywany jest głównie do tworzenia i badania układów sterowania oświetleniem. Układ typowego węzła (opartego na sterowniku sieciowym) wykorzystywanego w warunkach laboratoryjnych Politechniki Śląskiej pokazany jest na rysunku 3.

5. ANALIZA PORÓWNAWCZA UZYSKANYCH WYNIKÓW

W celu porównania ze sobą oświetlenia elektrycznego wyposażonego w system automatyki sterowania i bez takiego systemu, przyjęto następujące założenia:

- wymagany poziom natężenia oświetlenia w pomieszczeniu [4,5] wynosi $E=200$ lx;
- w godzinach 24⁰⁰ - 5⁰⁰ oświetlenie nie jest użytkowane bez względu na rodzaj sterowania;
- pomieszczenie posiada oświetlenie typu żarowego; założenie to przyjęto ze względu na łatwość sterowania strumieniem świetlnym źródeł oraz znaną zależność strumienia świetlnego żarówki od napięcia zasilającego

$$\phi = \phi_n \left(\frac{U}{U_n} \right)^{3,8}. \quad (1)$$



Rys. 1. Natężenie oświetlenia w badanym pomieszczeniu (przy założeniu że $E_n=200$ lx)
 Fig. 1. The illumination level in the investigated room (assuming $E_n=200$ lx)

Ponieważ średnie natężenie oświetlenia na powierzchni jest proporcjonalne do strumienia świetlnego (użytecznego) źródeł światła, to można napisać:

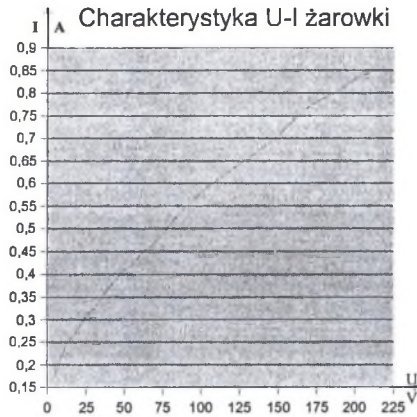
$$E_{av} = E_{avn} \left(\frac{U}{U_n} \right)^{3,8}. \quad (2)$$

podobnie jak w przypadku strumienia świetlnego. Zatem, podczas doświetlania pomieszczenia w okresie wschodu i zachodu Słońca należy zasilac źródła światła napięciem:

$$U = U_n \left(\frac{E_n - E_{s\mu}}{E_n} \right)^{\frac{1}{3,8}}, \quad (3)$$

gdzie $E_{s\mu}$ jest średnim natężeniem oświetlenia pochodzącym od światła naturalnego w danej chwili.

Żarówka jako element warunkowo nieliniowy ma charakterystykę napięciowo-prądową jak na rysunku 3 i z niej korzystano obliczając moce pobierane przez źródła podczas pracy przy obniżonym napięciu.



Rys. 2. Rzeczywista charakterystyka napięciowo-prądowa żarówki 200 W
 Fig. 2. Voltage-current characteristic (measured) for the typical 200 W light-bulb

Energię zużytą w poszczególnych przedziałach czasu podczas wschodu i zachodu Słońca (rys. 1) można obliczyć z wzoru:

$$A_i = \int_0^{t_i} i(t)u(t)dt, \quad (4)$$

gdzie: A_i - energia w przedziale i , t_i - czas trwania przedziału i .

Całkowita energia zużyta przez oświetlenie regulowane płynnie lub dwustopniowo w czasie wschodu i zachodu Słońca wynosi:

$$A = \sum_{i=1}^n A_i, \quad (5)$$

gdzie: n - liczba przedziałów pomiarowych

Natomiast zysk energetyczny wynikły z zastosowania sterowania oświetleniem wynosi:

$$\delta_{\%} = \left(1 - \frac{A}{A_n}\right) \cdot 100\%, \quad (6)$$

gdzie: A_n jest energią zużytą w czasie wschodu i zachodu Słońca przy zastosowaniu oświetlenia bez sterowania (włączenie pełnej mocy znamionowej natychmiast po obniżeniu się wartości natężenia oświetlenia poniżej normy)

Rozpatrując jako czas badań wyłącznie okres wschodu i zachodu Słońca uzyskuje się wartość zysku energetycznego rzędu 18,57% dla układu sterowania ciągłego strumieniem świetlnym oraz 15,83% dla układu ze sterowaniem dwustopniowym. Jednakże przy podejściu globalnym (zysk energetyczny odniesiony do całkowitego czasu użytkowania oświetlenia) wartości te ulegną zmniejszeniu W takim przypadku zysk energetyczny wylicza się z wzoru:

$$\delta_{\%} = \left(1 - \frac{A_r + A}{A_r + A_n}\right) \cdot 100\%, \quad (7)$$

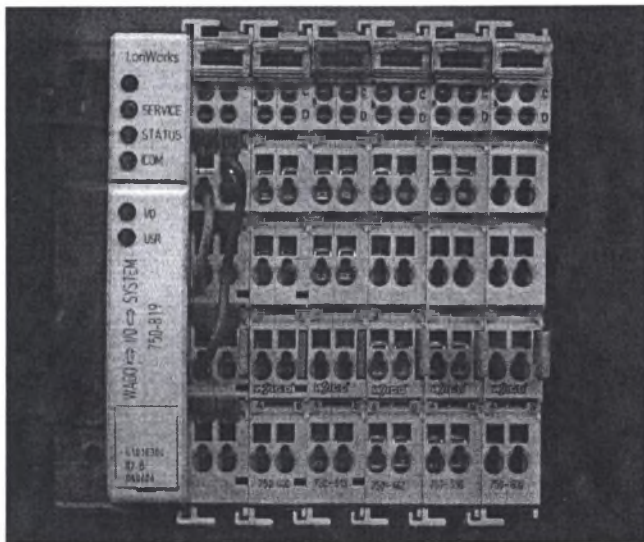
gdzie: A_r - energia zużyta podczas oświetlania pomieszczenia z pełną mocą żarówek (nie występuje żadne doświetlanie naturalne).

Dla dnia badań (koniec grudnia) założono, że czas użytkowania oświetlenia z pełną mocą trwał od godz. 5.00 do 7.00 i od 16.25 do 24.00, wobec czego zysk energetyczny wyniósł 4,42% dla zastosowania oświetlenia ze sterowaniem ciągłym i 3,77% dla sterowania 2-stopniowego. W lecie współczynniki te będą większe ze względu na krótszy czas użytkowania oświetlenia z pełną mocą.

Wartość zysku energetycznego jest na tyle mała, że stosowanie układów do automatycznej regulacji strumienia świetlnego żarówek opartych na systemie Wago może okazać się nieopłacalne w przypadku niewielkich instalacji oświetleniowych. Dla takich instalacji celowe jest stosowanie prostych (a zatem i tanich) układów dedykowanych realizujących 2-stopniowe sterowanie oświetleniem opartych na zwykłych czujnikach zmierzchowych (takich jak przy sterowaniu oświetleniem ulicznym). W tym przypadku czujnik nie musi mieć nawet dokładnie dopasowanej charakterystyki widmowej ze względu na to, że do przełączania wykorzystywana jest tylko jedna dana wejściowa – krytyczna wartość natężenia oświetlenia. Poprzez zastosowanie filtrów optycznych można w prosty sposób zmieniać punkt pracy (przełączania) układu.

Inaczej sprawa przedstawia się przy wprowadzeniu wielokryterialnego sterowania oświetleniem w dużych instalacjach (np. w wielu pomieszczeniach o różnym usytuowaniu i wielkości okien). W takich instalacjach zastosowanie układów dedykowanych powoduje znaczne skomplikowanie instalacji elektrycznej i podniesienie ceny systemu. Zastosowanie systemu Wago umożliwia realizację wielu funkcji sterowniczych w jednym urządzeniu (np. interfejsie lub sterowniku sieciowym), wszystkie urządzenia sterujące mają modułową, typową budowę, co ułatwia ich konserwację i naprawy.

W systemie Wago mogą być realizowane funkcje sterowania wielokryterialnego i wielowariantowego (np. uzależnienie włączenia części oświetlenia od stanu czujników ruchu).



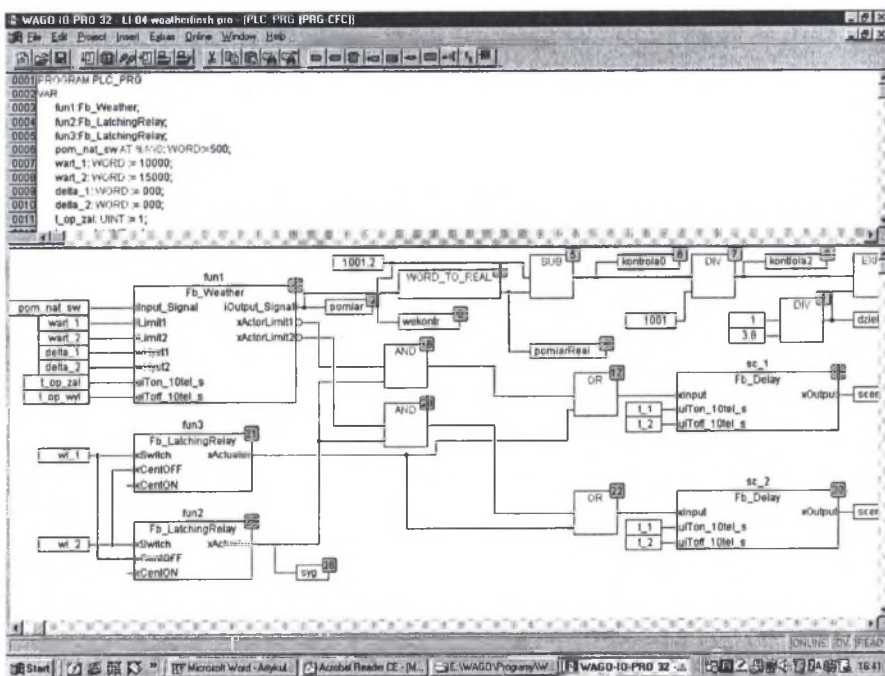
Rys. 3. Widok węzła sterowniczego Wago skonfigurowanego do testowania układów automatyki sterowania oświetleniem

Fig. 3. Programmable controller Wago (one node) configured to test automatic lighting control

6. PRAKTYCZNA REALIZACJA UKŁADU AUTOMATYKI STEROWANIA OŚWIETLENIEM

Układ do testowania oświetlenia sterowanego w sposób ciągły i stopniowy w czasie wschodu i zachodu słońca (odmiana PSALI) został wykonany na Politechnice Śląskiej przy użyciu sterownika Wago 750-819 z modułami dodatkowymi w postaci wejść i wyjść cyfrowych i analogowych widocznego na rysunku 4. Elementem wyjściowym są żarówki, które mogą być zmieniane w zakresie mocy 40-100 W każda. Elementem pomiarowym jest czujnik natężenia oświetlenia typu LI-04 firmy Thermokon. Oprogramowanie sterownika zostało napisane tak, aby możliwa była praca układu zarówno w wersji ze sterowaniem ciągłym, jak i dwustopniowym bez konieczności zmiany konfiguracji układu. Użyto gotowych funkcji oferowanych przez program Wago IO-PRO32 w edytorze CC (continuous function chart editor). Fragment programu pokazuje rysunek 5. W tej wersji programu odpowiednie natężenie oświetlenia pochodzące od żarówki osiąga się wykorzystując zależności 1 i 2. Oczywiście, nic nie stoi na przeszkodzie, aby zastosować automatyczne dostrajanie się strumienia świetlnego żarówki do aktualnych potrzeb na drodze rekurencyjnej, należy jednak pamiętać o możliwości wystąpienia zjawiska migotania światła i odpowiednim znieczuleniu czujnika np. na drodze programowej. Obecnie trwają badania mające na celu potwierdzenie obliczeń przeprowadzonych w punkcie 3, jak również przystosowanie systemu do współpracy z czujnikami ruchu, co ma na celu poprawę zysku energetycznego opisanego w p.4.

Układ oparty na czujnikach ruchu został zaprojektowany tak, aby wykrycie bezruchu w pomieszczeniu powodowało po 10 minutach sygnalizację gotowości do wyłączenia oświetlenia, a przy braku reakcji (ruchu) wyłączało oświetlenie automatycznie.



Rys. 4. Fragment programu realizującego automatyczne sterowanie oświetleniem w sterowniku Wago
Fig. 4. The program (fragment) for automatic lighting control realised using the PLC Wago

7. WNIOSKI KOŃCOWE

Układy sterowania oświetleniem oparte na sterownikach Wago przyczyniają się do minimalizacji zużycia energii elektrycznej, jednak instalacja ich jest opłacalna jedynie w przypadku oświetlania dużych obiektów. Wykorzystanie sterowników jest najefektywniejsze w przypadku wielokryterialnego sterowania oświetleniem (to znaczy takiego, które wykorzystuje do sterowania nie tylko dane o aktualnym natężeniu oświetlenia w pomieszczeniu, lecz także inne czynniki, np. obecność ludzi w pomieszczeniu, konieczność redukcji olśnień pochodzących od światła naturalnego poprzez sterowanie żaluzjami itp.) oraz integracji sterowania oświetleniem ze sterowaniem innymi instalacjami w budynku.

W przypadku małych instalacji domowych bardziej opłacalne wydaje się stosowanie urządzeń dedykowanych do konkretnej instalacji, z wykorzystaniem uproszczonego (np. 2-stopniowego) sterowania oświetleniem.

W celu oszacowania energooszczędności uzyskanych poprzez wprowadzenie nowoczesnych źródeł światła w instalacjach elektrycznych oraz inteligentnego systemu sterowania oświetleniem jednocześnie konieczne jest przeprowadzenie dalszych badań.

LITERATURA

1. *Technika Świetlna 98 - Poradnik-Informator*. Pr. zbiorowa pod red. J. Grzonkowskiego i W. Dybczyńskiego. PKOśw., Warszawa 1998.
2. Baran J. W. i in.: *Poradnik Inżyniera- elektryka*, tom 3. WNT, Warszawa 1997.
3. Materiały informacyjne firmy Wago-Elwag.
4. Bąk J.: *Technika oświetlania*. WNT, Warszawa 1981.
5. *Oświetlenie wewnątrz światłem elektrycznym*. Zestaw norm PN/E-02033.

Wpłynęło do Redakcji dnia 2 września 2003 r.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ryszard Nawrowski