

## NOWOCZESNY SYSTEM STEROWANIA UKŁADEM SAMOCZYNNEGO ZAŁĄCZANIA REZERWY ZASILANIA

Ireneusz MOSOŃ<sup>1</sup>, Kamil BABIŃSKI<sup>2</sup>

1. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki  
tel.: 58 347 1485 e-mail: ireneusz.moson@pg.edu.pl
2. IP Prosjekter AS, Bergen  
tel.: 79 679 8023 e-mail: kamil.babinski91@gmail.com

**Streszczenie:** W artykule, dla przykładu układu samoczynnego załączania rezerwy (SZR) zasilania o zadanej strukturze i diagramie łączy, przedstawiono nowoczesny system sterowania tym układem SZR. Omówiono algorytm i program sterowania oraz wizualizację działania układu. Program sterowania i wizualizację opracowano w oprogramowaniu narzędziowym easy Soft CoDeSys ver.2.3.5.8. Przejrzystą strukturę programu sterowania osiągnięto dzięki opracowaniu i zastosowaniu bloków funkcyjnych użytkownika. Wykorzystano jedną z zalet zastosowanego oprogramowania narzędziowego pozwalającą na uruchomienie i przeprowadzenie testów opracowanego oprogramowania i wizualizacji na sterowniku wirtualnym. Dzięki zaproponowanemu rozwiązaniu systemu sterowania uzyskuje się dodatkową informację diagnostyczną i statystyczną dotyczącą działania układu SZR. Może być ona dostępna dla użytkownika np. przez panel operatorski lub przesłana do systemu nadrzędnego, np. BMS (ang. Building Management System). Opisane rozwiązanie oraz utworzone bloki funkcyjne użytkownika mogą być także wykorzystane w systemach sterowania układami SZR o innych konfiguracjach zasilania.

**Słowa kluczowe:** układ SZR, program sterowania, wizualizacja.

### 1. CHARAKTERYSTYKA ANALIZOWANEGO UKŁADU SZR

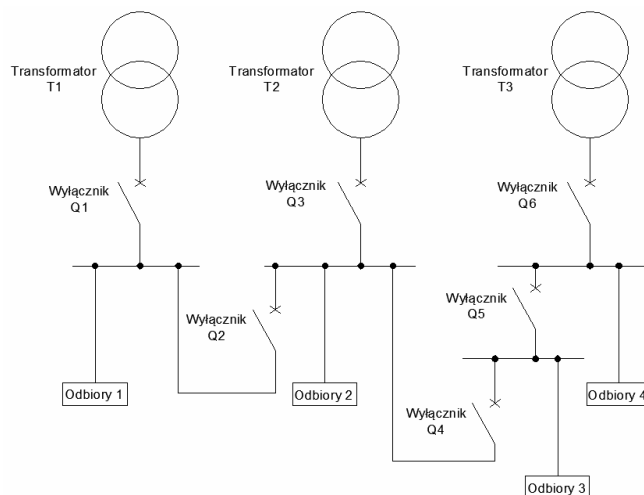
#### 1.1. Układy SZR i cel ich stosowania

Jednym z najważniejszych zadań przy przesyłaniu energii elektrycznej jest zapewnienie odbiorcom energii elektrycznej ciągłości zasilania. Ciągłość zasilania i jakość energii elektrycznej wpływają na jakość zasilania. Zapewnienie ciągłości zasilania w sieciach niskiego napięcia jest możliwe dzięki stosowaniu automatycznych urządzeń przełączających (ATSE – ang. Automatic Transfer Switching Equipment). W automatycznych urządzeniach przełączających najczęściej realizowaną funkcją jest samoczynne załączanie rezerwy zasilania i wówczas takie automatyczne urządzenie przełączające jest nazywane układem samoczynnego załączania rezerwy (SZR) [1].

Dla typowych konfiguracji układów zasilania można zastosować gotowe, oferowane przez różne firmy, układy automatyki SZR. W przypadku, gdy struktura układu zasilania jest rozbudowana lub nietypowa, systemy sterowania układów SZR projektuje się i wykonuje indywidualnie dla konkretnej struktury układu. W realizacji systemów sterowania takich nietypowych układów SZR wykorzystuje się sterowniki programowalne.

#### 1.2. Struktura oraz tabela łączy układu SZR

Schemat analizowanego układu SZR z rezerwą ukrytą przedstawiono na rysunku 1. W przedstawionym układzie źródłami zasilania są trzy transformatory (T1, T2, T3) o jednakowej mocy. Transformatory zasilają cztery szyny odbiorów. Zgodnie z założeniem transformatory nie mogą pracować równolegle, więc każda z szyn odbiorów może być zasilona tylko z jednego transformatora. System sterowania układem SZR steruje sześcioma wyłącznikami, z których trzy są wyłącznikami głównymi (Q1, Q3 i Q6), a trzy wyłącznikami sprzęgłowymi (Q2, Q4 i Q5). Sterowanie wyłącznikami może odbywać się w trybie sterowania automatycznego lub trybie sterowania ręcznego.



Rys. 1. Struktura analizowanego układu SZR

W trybie sterowania automatycznego sterowanie wyłącznikami jest realizowane zgodnie z tabelą łączy przedstawioną w tabeli 1. W tabeli łączy „1” oznacza obecność prawidłowego napięcia z transformatora lub stan załączenia wyłącznika, a „0” przeciwnie – brak napięcia z transformatora lub wyłącznik wyłączony. Z tabeli wynika, że odbiorami o najwyższym priorytecie zasilania są odbiory 3, gdyż są one zasilane przy każdej sekwencji zasilania (z wyjątkiem sekwencji VIII, gdy nie ma napięcia z żadnego transformatora). Realizowane jest to poprzez wyłączniki sprzęgłowe Q4 i Q5.

W trybie sterowania ręcznego dopuszczalna jest realizacja wszystkich sekwencji zasilania wynikających z tabeli łączzeń dla sterowania automatycznego oraz wszystkich innych, które nie doprowadzą do zasilenia jednej szyny odbiorów z dwóch transformatorów.

Tablica 1. Tabela łączzeń analizowanego układu SZR

Sekwencja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Transformator	T1	1	0	1	1	0	0	1	0
	T2	1	1	0	1	0	1	0	0
	T3	1	1	1	0	1	0	0	0
Wyłącznik	Q1	1	0	1	1	0	0	1	0
	Q2	0	1	1	0	0	0	1	0
	Q3	1	1	0	1	0	1	0	0
	Q4	0	0	0	1	0	1	1	0
	Q5	1	1	1	0	1	1	0	0
	Q6	1	1	1	0	1	0	0	0

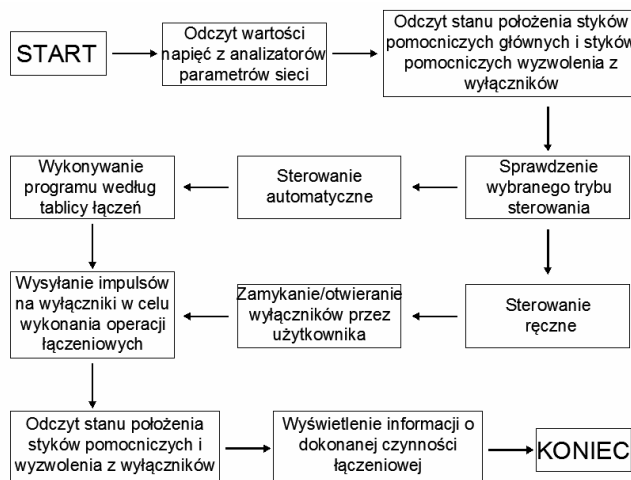
### 1.3. System i algorytm sterowania układem SZR

We współczesnych systemach sterowania różnymi obiektami dąży się do tego, aby system sterowania nie tylko prawidłowo realizował swoje funkcje, ale również dostarczał użytkownikom dodatkowe informacje – najczęściej diagnostyczne, ale i inne np. statystyczne. W odniesieniu do systemów sterowania układami SZR jest to związane z zastosowaniem do budowy takiego systemu sterownika programowalnego oraz szerokim wykorzystaniem przemysłowych sieci komunikacyjnych. Taki nowoczesny system sterowania układem SZR został zaproponowany i opisany w pracy [2]. W układzie SZR założono wykorzystanie wyłączników typu NZM z wyzwaczami elektronicznymi [3] wyposażonych w moduły DMI (ang. Data Management Interface). W systemie sterowania, zamiast przekaźników kontroli faz (PKF), założono wykorzystanie analizatorów parametrów sieci (APS) np. SENTRON PAC4200 [4]. Dzięki zastosowaniu analizatorów parametrów sieci dostępna jest nie tylko informacja o obecności prawidłowego napięcia zasilania, ale również o wszystkich istotnych parametrach zasilania, a dzięki zastosowaniu modułów DMI dostępne są dane diagnostyczne i parametry pracy wyłączników, a także możliwa jest parametryzacja i sterowanie wyłączników. Pomimo takiej możliwości w systemie sterowania nie zdecydowano się na sterowanie wyłącznikami z wykorzystaniem modułów DMI. Sterowanie wyłącznikami realizowane jest poprzez wyjścia binarne (cyfrowe) sterownika programowalnego a odczyt stanów wyłączników poprzez sygnały ze styków pomocniczych wyłączników podane na wejścia binarne (cyfrowe) sterownika programowalnego. Sterownik programowalny cyklicznie wykonuje program sterowania realizując algorytm sterowania, którego najistotniejsze elementy przedstawiono na rysunku 2.

### 1.4. Struktura komunikacji szeregowej w systemie sterowania układu SZR

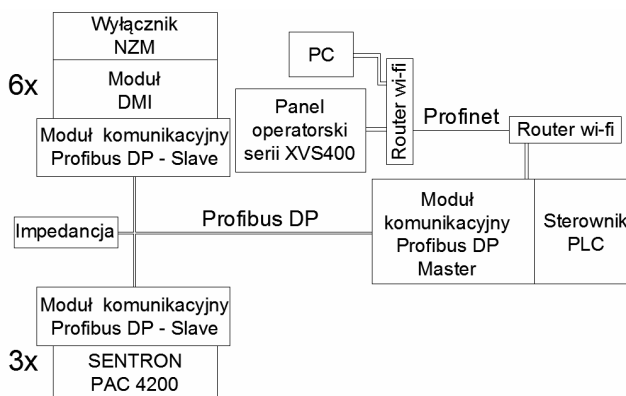
Strukturę komunikacji szeregowej w zaprojektowanym systemie sterowania analizowanego układu SZR przedstawiono na rysunku 3. Najistotniejszymi elementami w tej strukturze jest sterownik programowalny z modułem komunikacyjnym Profibus-DP master oraz trzy analizatory parametrów sieci (Sentron PAC4200) z modułami

komunikacyjnymi Profibus-DP slave i sześć modułów DMI (podłączonych do wyłączników NZM) z modułami komunikacyjnymi Profibus-DP slave. Wymienione elementy są niezbędne do realizacji sterowania układem SZR i odczytu danych z wyłączników.



Rys. 2. Algorytm sterowania układu SZR

W strukturze komunikacji uwzględniono dodatkowo możliwość podłączenia graficznego panelu operatorskiego (np. serii XVS400 [5]) oraz komputera z systemem BMS. Do realizacji komunikacji bezprzewodowej sterownika programowalnego z panelem operatorskim i komputerem z wykorzystaniem sieci Profinet ver.2 zastosowano dwa routery przemysłowe. Przewidziany do montażu na drzwiach rozdzielnic graficzny panel operatorski służy do sygnalizacji miejscowej i do sterowania układem SZR.



Rys. 3. Struktura komunikacji szeregowej w systemie sterowania

## 2. PROGRAM STEROWANIA I WIZUALIZACJA

### 2.1. Język oprogramowania

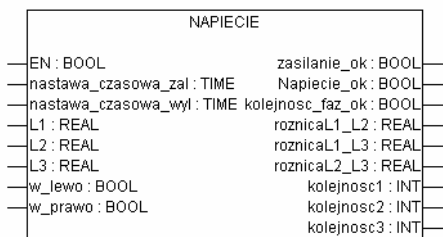
Program sterowania układem SZR został napisany w języku drabinkowym (LD – ang. Ladder Diagram) w oprogramowaniu easy Soft CoDeSys ver.2.3.5.8 [6]. Język drabinkowy jest jednym z najczęściej używanych języków do pisania programów na sterowniki programowalne, szczególnie wówczas, gdy większość lub dużą część zmiennych stanowią zmienne binarne, a realizacja algorytmów sterowania wymaga analizy dużej liczby – czasami bardzo rozbudowanych – warunków logicznych. Taka sytuacja ma miejsce w przypadku algorytmu i programu sterowania analizowanego i opisanego układu SZR. Oprócz funkcji logicznych przy pisaniu programu

sterowania wykorzystano także wybrane bloki funkcyjne z dwóch dołączonych do oprogramowania narzędziowego bibliotek: Standard.lib i Util.lib oraz dwa utworzone na potrzeby tego programu sterowania bloki funkcyjne użytkownika (BFU).

## 2.2. Bloki funkcyjne użytkownika

Stworzone zostały dwa bloki funkcyjne użytkownika: NAPIECIE i WYLACZNIK. Pierwszy z nich odpowiada za analizę sygnałów z analizatora parametrów sieci oraz wystawienie sygnałów określających, czy zasilanie z danego źródła jest poprawne. Drugi blok funkcyjny użytkownika ma za zadanie analizę sygnałów z wyłącznika oraz wystawianie sygnałów sterowania wyłącznikami.

Widok bloku funkcyjnego użytkownika NAPIECIE został przedstawiony na rysunku 4. Blok ten posiada 8 wejść (EN – wejście sterujące (ENABLE) wykonywaniem BFU; nastawa\_czasowa\_zal i nastawa\_czasowa\_wyl – zmienne określające, po jakim czasie odpowiednio pojawienie się i zanik napięcia są traktowane jako trwała zmiana a nie zakłócenie; L1, L2 i L3 – wartości napięć poszczególnych faz; w\_lewo i w\_prawo – zmienne do symulacji zmiany kolejności faz) i 9 wyjść (zasilanie\_ok – zasilanie poprawne; iloczyn logiczny zmiennych napięcie\_ok i kolejnosc\_faz\_ok; napięcie\_ok – napięcie poprawne; kolejność\_faz\_ok – kolejność faz poprawna; roznicaL1\_L2, roznicaL1\_L3 i roznicaL2\_L3 – różnica napięć pomiędzy poszczególnymi fazami; kolejnosc1, kolejnosc2 i kolejnosc3 – zmienne do symulacji, do wyświetlania w aktualnej kolejności faz napięć L1, L2, L3 odpowiednio).



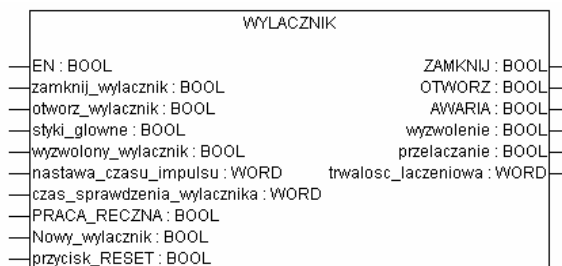
Rys. 4. Widok bloku funkcyjnego użytkownika NAPIECIE

Widok bloku funkcyjnego użytkownika WYLACZNIK został przedstawiony na rysunku 5. Blok ten posiada 10 wejść (EN – wejście sterujące wykonywaniem BFU; zamknij\_wylacznik – warunek na załączenie wyłącznika; otworz\_wylacznik – warunek na wyłączenie wyłącznika; styki\_glowne – stan wyłącznika: TRUE – wyłącznik załączony; wyzwolony\_wylacznik – stan TRUE gdy wyzwolony; nastawa\_czasu\_impulsu – czas trwania impulsu załączenia/wyłączenia; czas\_sprawdzenia\_wylacznika – czas po którym następuje sprawdzenie wykonania przełączenia; PRACA\_RECZNA – tryb sterowania ręcznego; Nowy\_wylacznik – kasowanie liczby przełączeń; przycisk\_RESET – pozwolenie na przełączenia po wyzwoleniu) i 6 wyjść (ZAMKNIJ – impuls na załączenie; OTWORZ – impuls na wyłączenie; AWARIA – niewykonanie przełączenia; Wyzwolenie – wyłącznik wyzwolony; Przelaczanie – trwa przełączanie; trwalosc\_laczeniowa – liczba dokonanych przełączeń).

## 2.3. Program sterowania

W celu realizacji algorytmu sterowania i osiągnięcia uporządkowanej i czytelnej struktury oprogramowania [7] utworzono trzy jednostki organizacyjne oprogramowania:

program główny i dwa opisane BFU [2]. Program główny składa się z 241 drabinek, blok funkcyjny NAPIECIE z 35 drabinek (trzy ukonkretnienia tego BFU) a blok WYLACZNIK z 25 drabinek (6 ukonkretnień tego BFU).



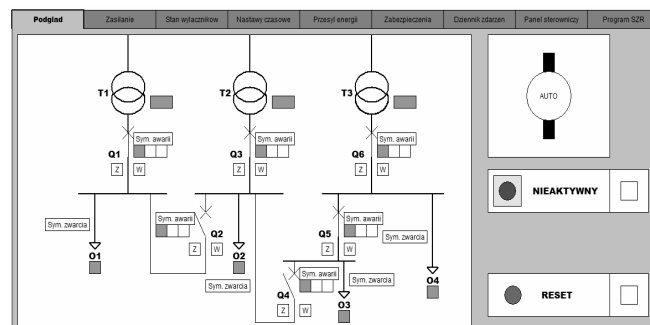
Rys. 5. Widok bloku funkcyjnego użytkownika WYLACZNIK

Do sterowania w trybie sterowania automatycznego utworzono warunki logiczne na załączenie i wyłączenie każdego z wyłączników zgodnie z tablicą 1, przy czym warunki na wyłączenie uzależniono tylko od sekwencji zasilania, a na załączenie od sekwencji zasilania i stanu załączenia/wyłączenia (lub wyzwolenia) pozostałych wyłączników. Do sterowania w trybie sterowania ręcznego opracowano warunki logiczne pozwalające na załączenie dowolnej sekwencji zasilania (nie tylko tych z tablicy 1) ale takiej, dla której żadna z szyn odbiorów nie jest zasilana z więcej niż jednego transformatora. Wyłączenie wyłącznika w trybie sterowania ręcznego jest zawsze możliwe. Nadrzędnym warunkiem realizacji załączeń/wyłączeń wyłączników (w obu trybach) jest nie wciśnięty przycisk bezpieczeństwa.

Zgodnie z założeniem opracowany program uruchomiono na sterowniku wirtualnym. Przeprowadzono testy poprawności działania programu sterowania i wizualizacji w warunkach poprawnej pracy w trybie sterowania automatycznego i ręcznego (łącznie z testami funkcji przycisku bezpieczeństwa i przycisku RESET) oraz w przypadkach wystąpienia awarii. W związku z powyższym część programu sterowania odnosi się do symulacji i byłaby zbędna w programie sterowania rzeczywistym układem SZR.

## 2.4. Struktura i ekrany wizualizacji

Głównym ekranem w wizualizacji jest podgląd na układ SZR, na którym wyświetlane są aktualne położenia wyłączników oraz stan sieci zasilających – rysunek 6.

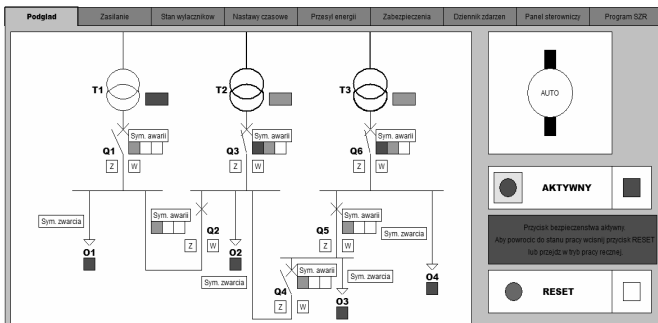


Rys. 6. Główna zakładka wizualizacji – „Podgląd”

W wizualizacji jest osiem zakładek dostępnych na bieżąco, które pozwalają na wyświetlenie najważniejszych parametrów systemu. Stworzono również szesnaście zakładek pomocniczych, które uaktywniają się jedynie po

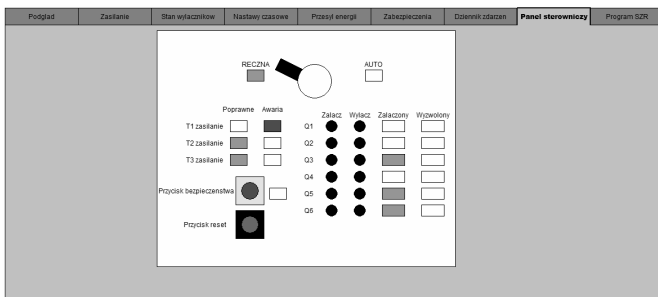
przejściu w określoną opcję lub element dostępny w wizualizacji. Najważniejsze parametry systemu, np. czasy trwania impulsów na załączenie i wyłączenie wyłącznika oraz zwłoka załączenia i wyłączenia wyłącznika, zostały zabezpieczone hasłem w celu uniknięcia zmiany ich wartości przez osoby nieupoważnione.

Na ekranie głównym wyświetlane są komunikaty alarmowe podczas wystąpienia sytuacji awaryjnej lub przejścia w tryb sterowania ręcznego. W komunikatach zawarta jest dodatkowa informacja o krokach, które w danej sytuacji powinien podjąć użytkownik. Na rysunku 7 przedstawione jest zachowanie systemu sterowania, gdy aktywny (wciśnięty) jest przycisk bezpieczeństwa (wyłączniki będące pod napięciem zostają wyzwolone).



Rys. 7. Główna zakładka po wciśnięciu przycisku bezpieczeństwa

W wizualizacji uwzględniono również ekran (zakładkę) z widokiem panelu sterowania ręcznego i sygnalizacji. Został on przedstawiony na rysunku 8, a pozwala zarówno na podgląd, jak i sterowanie.



Rys. 8. Panel sterowania ręcznego układu SZR

Opracowana wizualizacja jest łatwa w użyciu ze względu na analogiczne poruszanie się w dostępnych opcjach i parametrach w systemie. Każda z zakładek może być wyświetlona na oddzielnym ekranie.

Utworzone BFU oraz zakładki wizualizacji zostały zapisane jako typ external library z rozszerzeniem .lib i są dostępne w zewnętrznej bibliotece, z której można skorzystać przy pisaniu programów sterowania innymi układami SZR.

### 3. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawiony nowoczesny system sterowania układem SZR pozwala nie tylko na realizację sterowania, ale także na zbieranie i przesyłanie do innych systemów (np. BMS) istotnych informacji dotyczących układu SZR i jego pracy (np. parametrów zasilania z APS-ów, parametrów pracy wyłączników z modułów DMI, liczby łączy wyłączników).

Przeprowadzone na sterowniku wirtualnym testy opracowanego oprogramowania i wizualizacji potwierdziły poprawność ich działania. Dzięki temu utworzone elementy biblioteki zewnętrznej pozwalają na zastosowanie ich przy tworzeniu oprogramowania systemów sterowania układami SZR także o innych niż przedstawiona strukturach.

### 4. BIBLIOGRAFIA

1. Karkosiński D.: Nowe trendy w budowie automatycznych urządzeń przełączających SZR/SPP niskiego napięcia, Instalacje i bezpieczeństwo w instalacjach, sieciach i aparatach elektrycznych, SEP, Oddział Gdańsk, 2008, s. 79-93.
2. Babiński K.: Nowoczesny system sterowania układem samoczynnego załączenia rezerwy zasilania obiektu przemysłowego. Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2015.
3. <https://www.moeller.pl/DesktopDefault.aspx?PageID=170> (dostęp: 11.10.2017).
4. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/de/Catalog/Product/7KM4211-1BA00-3AA0> (dostęp: 11.10.2017).
5. [http://datasheet.moeller.net/datasheet.php?model=139976&locale=en\\_GB&\\_t=](http://datasheet.moeller.net/datasheet.php?model=139976&locale=en_GB&_t=) (dostęp: 11.10.2017).
6. <https://www.moeller.pl> (dostęp: 11.10.2017).
7. Mosoń I. Sterowniki programowalne. Część 2. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Gdańsk, 2010 r.

## MODERN CONTROL SYSTEM OF THE POWER SUPPLY AUTOMATIC TRANSFER SWITCHING SYSTEM

In the paper, for the example of the power supply automatic transfer switching (ATS) system with the given structure and the given switching diagram, a modern control system of this ATS system is presented. The algorithm, the control program and the visualization of the system operation are presented. The control program and the visualisation have been developed using the programming software easy Soft CoDeSys ver.2.3.5.8. Clear structure of the control program have been achieved due to the fact that user function blocks have been created and used in the program. One of the advantages of the used programming software is the possibility of debugging and testing of the control program and the visualization on a virtual programmable controller. Due to the proposed solution of the control system additional diagnostic and statistic information concerning the operation of the ATS system is available. This information can be accessible for a user on an operator panel or can be sent to other systems, for example BMS (Building Management System). The presented idea and structure of the control system and the developed user function blocks can be also used in control systems of ATS systems with other configurations of supply sources and switching equipment than the one presented in this paper.

**Keywords:** ATS system, control program, visualization.