

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **227815**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **406729**

(51) Int.Cl.  
**H02J 3/04 (2006.01)**  
**H02J 3/38 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **30.12.2013**

---

(54) **Sposób i układ sterowania rozproszonymi źródłami energii  
w sieci elektroenergetycznej**

---

(43) Zgłoszenie ogłoszono:  
**06.07.2015 BUP 14/15**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:  
**31.01.2018 WUP 01/18**

(73) Uprawniony z patentu:

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,  
Kraków, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**OGNJEN GAGRICA, Novi Sad, RS  
TADEUSZ UHL, Wieliczka, PL  
MICHAŁ LUBIENIECKI, Kraków, PL**

---

**PL 227815 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób i układ sterowania rozproszonymi źródłami energii, zwłaszcza w sieci energetycznej, mające zastosowanie w automatyce przemysłowej, a w szczególności w układach zapewnienia jakości energii oraz systemach typu „smart grid”.

Oddziaływanie rozproszonych źródeł energii, np. źródeł fotowoltaicznych, na przesyłowe sieci energetyczne, stale rośnie. Niedeterministyczny charakter źródeł energii odnawialnej powoduje częste pojawianie się wzrostu napięcia w sieci dystrybucyjnej, zwłaszcza na terenach pozamiejskich gdzie linie przesyłowe są długie. Konieczność ochrony nadnapięciowej sieci przesyłowej i dystrybucyjnej powoduje powstawanie strat energii pochodzącej z fotowoltaicznych jednostek wytwórczych wskutek ich czasowego odłączenia od sieci energetycznej. Zjawiska zmian napięcia w sieci stają się częstsze, co wiąże się z koniecznością powstawania budownictwa zeroenergetycznego, dla którego naturalną konsekwencją będzie integracja źródeł energii odnawialnej.

Do znanych rozwiązań przeciwdziałających zjawisku podwyższania napięcia sieci w wyniku niezbilansowania produkcji i zapotrzebowania na energię należy „wstrzykiwanie” mocy biernej, automatyczna zmiana odczepów transformatora (ULTC – Under Load Tap Changer), stosowanie układów magazynowania energii oraz metody regulacji mocy występujące w literaturze pod zbiorczą nazwą APC (Active Power Curtailment). Niektóre z wymienionych metod są obecnie realizowane w praktyce, a niektóre zostały opracowane koncepcyjnie i jedynie symulacyjnie określono ich zdolność do przeciwdziałania stratom w systemach generacyjnych.

Źródła fotowoltaiczne charakteryzuje to, że mogą być traktowane jako równolegle połączone źródła prądowe. Z tego powodu, sterowanie ilością oddawanej mocy może odbywać się przez niezależne sterowanie dołączeniem lub odłączeniem od sieci każdego z tych źródeł. Znane jest rozwiązanie z dokumentu US20130076144 (A1), w którym rozproszone źródła energii połączone są po stronie stałoprądowej z falownikiem poprzez sterowane klucze umożliwiające ochronę falownika przed przekroczeniem wartości napięcia dopuszczalnego. To rozwiązanie nie chroni jednak w żaden sposób sieci przed negatywnymi skutkami niezbilansowania podaży i produkcji energii w sieci energetycznej. Tak długo jak istnieje tylko jeden punkt centralny przekształcenia DC/AC, tak długo przekroczenie dopuszczalnego napięcia w punkcie przyłączenia do sieci spowoduje czasowe odłączenie jednostki wytwórczej od sieci. Znane rozwiązanie z dokumentu US20130070494 (A1) pozwala na segmentację rozproszonych źródeł energii po stronie stało- lub zmiennoprądowej oraz na ich sterowanie, jednak nie pozwala na regulację napięcia sieci w miejscu przyłączenia.

Przedmiotem niniejszego wynalazku jest opracowanie sposobu i układu sterowania rozproszonymi źródłami energii zwłaszcza w sieci elektroenergetycznej, zapewniających regulację napięcia sieci w miejscu przyłączenia poszczególnych OZE oraz chroniących sieć przed skutkami niezbilansowania podaży i produkcji energii.

Sposób według wynalazku charakteryzuje się tym, że mierzy się cyklicznie, za pomocą układu pomiarowego, skuteczne napięcie  $V_{RMS}$  doprowadzane do sieci energetycznej z mikrojednostek wytwórczych. Następnie porównuje się zmierzone skuteczne napięcie  $V_{RMS}$ , za pomocą układu sterującego, z przechowywanymi w nim i określonymi z góry wartościami progowymi napięcia  $V_{STOP}$ ,  $V_{START}$  przy czym  $V_{STOP} < V_{START}$ . Następnie, odłącza się kaskadowo mikrojednostki wytwórcze, za pomocą przełączników AC sterowanych przez układ sterujący za pośrednictwem koncentratora danych, gdy zmierzone skuteczne napięcie  $V_{RMS}$  jest większe od wartości progowej napięcia  $V_{START}$ , aż do spełnienia warunku  $V_{RMS} < V_{START}$ . Następnie dołącza się kaskadowo mikrojednostki wytwórcze, za pomocą przełączników AC sterowanych przez układ sterujący za pośrednictwem koncentratora danych, gdy zmierzona wartość skuteczna napięcia  $V_{RMS}$  jest mniejsza od wartości progowej  $V_{STOP}$  napięcia, aż do spełnienia warunku  $V_{STOP} < V_{RMS}$ .

Korzystnie, za pomocą układu pomiarowego mierzy się dodatkowo ilość mocy oddawanej do sieci energetycznej i dołącza się lub odłącza mikrojednostki wytwórcze w zależności od popytu na energię w sieci energetycznej.

Układ sterowania według wynalazku charakteryzuje się tym, że sieć elektroenergetyczna połączona jest z co najmniej jedną jednostką wytwórczą, która to jednostka jest podzielona na mikrojednostki wytwórcze, przy czym każda mikrojednostka zawiera źródło prądu stałego, mikrofalownik oraz przełącznik AC połączone szeregowo. Mikrojednostki wytwórcze są połączone równolegle z obciążeniem oraz z siecią energetyczną, przy czym między jednostkami wytwórczymi a siecią energetyczną włączony jest układ pomiarowy połączony z układem sterującym, który to układ sterujący jest połączony

ny z koncentratorem danych, który z kolei połączony jest z każdym z przekaźników AC mikrojednostek wytwórczych.

Korzystnie, układ posiada wiele jednostek wytwórczych połączonych równolegle z siecią energetyczną, które to jednostki są połączone z układem sterującym, który jest wspólny dla jednostek wytwórczych.

Korzystnie, układ sterujący zrealizowany jest jako układ SCADA.

Korzystnie, układ sterujący i koncentrator danych połączone są łączem bezprzewodowym.

Sposób i układ sterowania rozproszonymi źródłami energii w sieci elektroenergetycznej według wynalazku umożliwia utrzymywanie napięcia w punkcie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci w wyznaczonym zakresie. Wynalazek umożliwia także równomierną dystrybucję strat wśród jednostek wytwórczych, reagowanie na popyt na energię, a także równoważenie obciążenia fazowego. Wynalazek umożliwia również priorytetyzację jakości energii lub ilości energii oddawanej do sieci oraz realizowanie wybranej strategii energetycznej.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładach wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia układ sterowania rozproszonymi źródłami energii według wynalazku, fig. 2 przedstawia wariant układu sterowania rozproszonymi źródłami energii zrealizowany w układzie z centralnym sterowaniem, fig. 3 przedstawia schemat blokowy sposobu sterowania rozproszonymi źródłami energii według wynalazku, a fig. 4 przedstawia wykres napięcia w funkcji czasu regulowanego zgodnie ze sposobem według wynalazku.

Fig. 1 przedstawia układ sterowania rozproszonymi źródłami energii, w którym jednostka wytwórcza DG jest podzielona na kilka mikrojednostek wytwórczych  $uDG_1, uDG_2, \dots, uDG_N$ , z których każda zawiera źródło prądu stałego 1, mikrofalownik 2 oraz przekaźnik AC 11. Do jednostki wytwórczej DG podłączone jest obciążenie 3. Jednostka wytwórcza DG, obciążenie 3 oraz sieć energetyczna 9 tworzą względem siebie połączenie równoległe. W punkcie przyłączenia jednostki DG do sieci, tzn. między jednostką wytwórczą DG a siecią energetyczną 9 umieszczony jest układ pomiarowy 4, który wykorzystywany jest do pomiaru skutecznego napięcia  $V_{RMS}$  sygnału doprowadzanego z jednostki wytwórczej DG do sieci 9. Zmierzone napięcie skuteczne  $V_{RMS}$  jest interpretowane przez układ sterujący 7 połączony z układem pomiarowym 4 za pomocą linii sygnałowej 6. Do układu sterującego 7 dołączony jest koncentrator danych 5, który z kolei połączony jest z przekaźnikami AC 11 mikrojednostek wytwórczych  $uDG_1, uDG_2, \dots, uDG_N$  za pomocą linii sygnałowej 8. Układ sterujący 7 steruje za pośrednictwem koncentratora danych 5 tymi przekaźnikami AC 11 dołączając lub odłączając od sieci 9 mikrofalowniki 2 poszczególnych mikrojednostek wytwórczych, regulując w ten sposób napięcie skuteczne  $V_{RMS}$  w punkcie przyłączenia jednostki DG do sieci. W tym przykładzie wykonania, układ sterujący 7, układ pomiarowy 4 oraz koncentrator danych 5 komunikują się ze sobą za pośrednictwem PLC, tj. za pomocą transmisji liniami zasilającymi (Power Line Communication, PLC) lub protokołu bezprzewodowego albo są zintegrowane w jednym urządzeniu.

W innym przykładzie wykonania układu sterowania rozproszonymi źródłami energii przedstawionym na figurze 2 istnieje wiele jednostek wytwórczych  $DG_1, DG_2, \dots, DG_N$ , które są zorganizowane w układzie z centralnym sterowaniem, w którym jednostki wytwórcze  $DG_1, DG_2, \dots, DG_N$  są połączone z układem sterującym 7, który jest wspólny dla wszystkich jednostek wytwórczych  $DG_1, DG_2, \dots, DG_N$ . Jednostki  $DG_1, DG_2, \dots, DG_N$  dołączone są do sieci energetycznej 9 średniego napięcia za pośrednictwem transformatora 10. W takim układzie gromadzone są informacje z układów pomiarowych poszczególnych jednostek wytwórczych DG i przekazywane do układu sterującego 7. W tym przykładzie wykonania, w odróżnieniu od przykładu wykonania na fig. 1, w którym każdy układ sterujący 7 działa lokalnie w obrębie poszczególnych jednostek wytwórczych DG, układ sterujący 7 z fig. 2 jest zrealizowany jako układ SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), który jednocześnie koordynuje i nadzoruje wszystkie dołączone jednostki wytwórcze DG. Układ sterujący 7 w postaci układu SCADA, za pośrednictwem koncentratorów danych 5 powiązanych z poszczególnymi mikrojednostkami wytwórczymi, steruje dołączaniem lub odłączaniem mikrojednostek wytwórczych  $uDG$  w obrębie każdej jednostki wytwórczej  $uDG$  realizując tym samym zadaną strategię energetyczną. Tego typu układ z centralnym sterowaniem umożliwia w ten sposób m.in. równą dystrybucję strat, reagowanie na zapotrzebowanie energii w sieci energetycznej 9, a także równoważenie obciążenia fazowego. Komunikacja między układem sterującym 7 i poszczególnymi koncentratorami danych 5 poszczególnych jednostek wytwórczych DG realizowana jest za pośrednictwem sieci Internet lub sieci komórkowej.

Na fig. 3 przedstawiono schemat blokowy przykładu realizacji sposobu sterowania rozproszonymi źródłami energii. Sposób sterowania rozpoczyna się w etapie początkowym A. W etapie B prób-

kowana jest wartość skuteczna napięcia  $V_{RMS}$  sygnału doprowadzanego do sieci z jednostki wytwórczej DG w punkcie przyłączenia jednostki wytwórczej DG do sieci. W kolejnym etapie C układ sterujący 7 porównuje zmierzone napięcie skuteczne  $V_{RMS}$  z pierwszą wartością progową napięcia  $V_{START}$ . Jeżeli w etapie C zmierzona wartość napięcia  $V_{RMS}$  jest większa lub równa wartości progowej napięcia  $V_{START}$ , to sposób przechodzi do etapu G, w którym następuje decyzja o kaskadowym odłączaniu mikrojednostek wytwórczych uDG, po czym w etapie H następuje przesłanie sygnału sterującego za pomocą szyny danych w celu przełączenia określonych przełączników AC i powrót do etapu początkowego A. W rezultacie odłączenia mikrojednostek wytwórczych uDG napięcie  $V_{RMS}$  zostaje obniżone. Jeżeli warunek z etapu C nie jest spełniony, sposób przechodzi do etapu D, w którym sprawdza się, czy zmierzone napięcie spełnia warunek:  $V_{STOP} \leq V_{RMS} \leq V_{START}$ , przy czym  $V_{STOP}$  jest drugą wartością progową napięcia, gdzie  $V_{STOP} \leq V_{START}$ . Jeżeli ten warunek jest spełniony, sposób powraca do etapu początkowego A. Oznacza to, że wartość zmierzonego napięcia znajduje się w bezpiecznym przedziale wyznaczonym przez wspomniane wartości progowe napięcia. Jeżeli natomiast warunek z etapu D nie jest spełniony, następuje próbkowanie i zapamiętanie („sample&hold”) wartości napięcia w etapie E, dzięki czemu dalsze czynności dotyczące jednostek wytwórczych DG następują w określonych chwilach czasowych i między próbkowaniem sygnału nie uwzględnia się chwilowych zmian mierzonej wartości. Następnie w etapie F następuje decyzja o kaskadowym dołączeniu mikrojednostek wytwórczych uDG, po czym w etapie H następuje przesłanie sygnału sterującego za pośrednictwem szyny danych w celu przełączenia określonych przełączników AC i powrót do etapu początkowego A. W wyniku równoległego dołączenia mikrojednostek wytwórczych uDG zwiększane jest napięcie skuteczne  $V_{RMS}$ .

Na fig. 4 przedstawiono wykres napięcia w funkcji czasu, regulowanego zgodnie z wyżej opisanym sposobem. Z góry ustawione wartości progowe napięcia  $V_{STOP}$  i  $V_{START}$  wyznaczają bezpieczny przedział napięć, jakie mogą być doprowadzane do sieci.  $V_{OVERVOLTAGE}$  oznacza próg, powyżej którego napięcie uznawane jest za zbyt wysokie.  $V_{STANDARD}$  określa napięcie standardowe. Na początku przebiegu wykryte zostaje napięcie równe wartości progowej napięcia  $V_{START}$ . Zgodnie ze schematem blokowym z fig. 3, następuje kaskadowe odłączanie mikrojednostek wytwórczych w wyniku czego następuje kaskadowy spadek napięcia, aż do osiągnięcia wartości progowej  $V_{STOP}$ . Następnie, w przedziale czasu określonym na fig. 4 jako okres bezczynności mierzone napięcie jest stabilne i nie wykazuje tendencji wzrostu. Z tego względu, w okresie bezczynności nie następuje regulacja napięcia. Okres bezczynności jest zatem okresem, w którym monitoruje się stan sieci żeby stwierdzić możliwość dołączenia mikrojednostek uDG. Po wyznaczonym czasie trwania okresu bezczynności, układ sterujący 7 rozpoczyna kaskadowe dołączanie mikrojednostek wytwórczych aż do osiągnięcia wartości progowej  $V_{START}$  w celu oddawania maksymalnej możliwej mocy do sieci bez zakłócania jej pracy.

Wynalazek jest w szczególności przeznaczony do pracy z sieciami NN (niskiego napięcia) oraz w sieciach jednofazowych.

Wykaz oznaczeń:

- 1 – źródło prądu stałego
- 2 – mikrofalownik
- 3 – obciążenie
- 4 – układ pomiarowy
- 5 – koncentrator danych
- 6, 8 – linia sygnałowa
- 7 – układ sterujący
- 9 – sieć energetyczna
- 10 – transformator
- 11 – przełącznik AC
- DG – jednostka wytwórcza
- uDG – mikrojednostka wytwórcza

## Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób sterowania rozproszonymi źródłami energii w sieci elektroenergetycznej, **znamienny tym**, że:
  - mierzy się cyklicznie, za pomocą układu pomiarowego (4), wartość skuteczną napięcia  $V_{RMS}$  doprowadzanego do sieci energetycznej (9) z mikrojednostek wytwórczych ( $uDG_1$ ,  $uDG_2$ , ...,  $uDG_N$ ),
  - porównuje się zmierzoną wartość skuteczną napięcia  $V_{RMS}$ , za pomocą układu sterującego (7), z przechowywanymi w nim i określonymi z góry wartościami progowymi napięcia  $V_{STOP}$ ,  $V_{START}$  przy czym  $V_{STOP} < V_{START}$ ,
  - odłącza się kaskadowo mikrojednostki wytwórcze ( $uDG_1$ ,  $uDG_2$ , ...,  $uDG_N$ ), za pomocą przełączników AC (11) sterowanych przez układ sterujący (7) za pośrednictwem koncentratora danych (5), gdy zmierzona wartość skuteczna napięcia  $V_{RMS}$  jest większa od wartości progowej  $V_{START}$  napięcia, aż do spełnienia warunku  $V_{RMS} < V_{START}$ ,
  - dołącza się kaskadowo mikrojednostki wytwórcze ( $uDG_1$ ,  $uDG_2$ , ...,  $uDG_N$ ), za pomocą przełączników AC (11) sterowanych przez układ sterujący (7) za pośrednictwem koncentratora danych (5), gdy zmierzona wartość skuteczna napięcia  $V_{RMS}$  jest mniejsza od wartości progowej  $V_{STOP}$  napięcia, aż do spełnienia warunku  $V_{STOP} < V_{RMS}$ .
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że za pomocą układu pomiarowego (4) mierzy się dodatkowo ilość mocy oddawanej do sieci energetycznej (9) i dołącza się lub odłącza mikrojednostki wytwórcze ( $uDG_1$ ,  $uDG_2$ , ...,  $uDG_N$ ) w zależności od popytu na energię w sieci energetycznej (9).
3. Układ sterowania rozproszonymi źródłami energii w sieci elektroenergetycznej, **znamienny tym**, że sieć elektroenergetyczna (9) połączona jest z co najmniej jedną jednostką wytwórczą (DG), która to jednostka jest podzielona są na mikrojednostki wytwórcze ( $uDG_1$ ,  $uDG_2$ , ...,  $uDG_N$ ), przy czym każda mikrojednostka zawiera źródło prądu stałego (1), mikrofalownik (2) oraz przełącznik AC (11) połączone szeregowo, i które to mikrojednostki wytwórcze ( $uDG_1$ ,  $uDG_2$ , ...,  $uDG_N$ ) są połączone równolegle z obciążeniem (3) oraz z siecią energetyczną (9), przy czym między jednostką wytwórczą (DG) a siecią energetyczną (9) włączony jest układ pomiarowy (4) połączony z układem sterującym (7), który to układ (7) jest połączony z koncentratorem danych (5), który z kolei połączony jest z każdym z przełączników AC (11) mikrojednostek wytwórczych ( $uDG_1$ ,  $uDG_2$ , ...,  $uDG_N$ ).
4. Układ według zastrz. 3, **znamienny tym**, że posiada wiele jednostek wytwórczych ( $DG_1$ ,  $DG_2$ , ...,  $DG_N$ ) połączonych równolegle z siecią energetyczną (9), które to jednostki są połączone z układem sterującym (7), który jest wspólny dla jednostek wytwórczych ( $DG_1$ ,  $DG_2$ , ...,  $DG_N$ ).
5. Układ według zastrz. 4, **znamienny tym**, że układ sterujący (7) zrealizowany jest jako układ SCADA.
6. Układ według zastrz. 4 albo 5, **znamienny tym**, że układ sterujący (7) i koncentrator danych (5) połączone są łączem bezprzewodowym.

## Rysunki

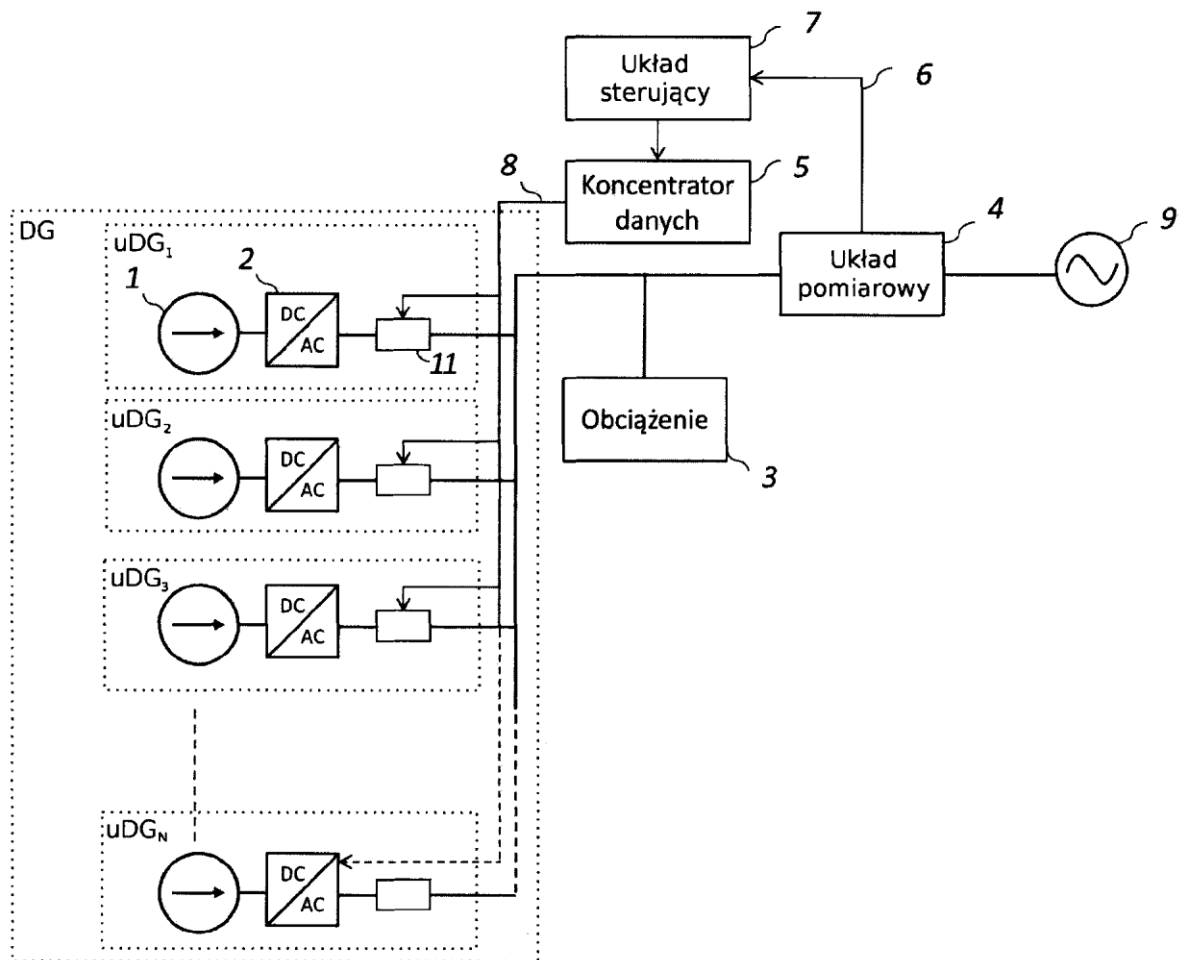


Fig. 1

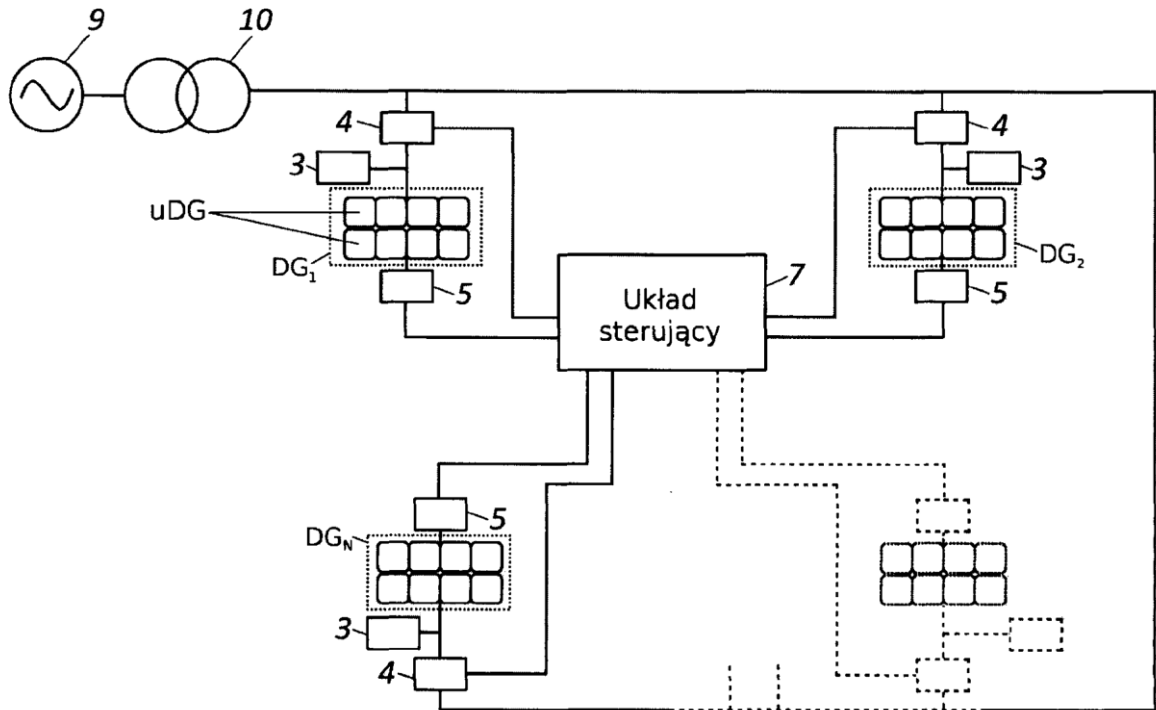


Fig. 2

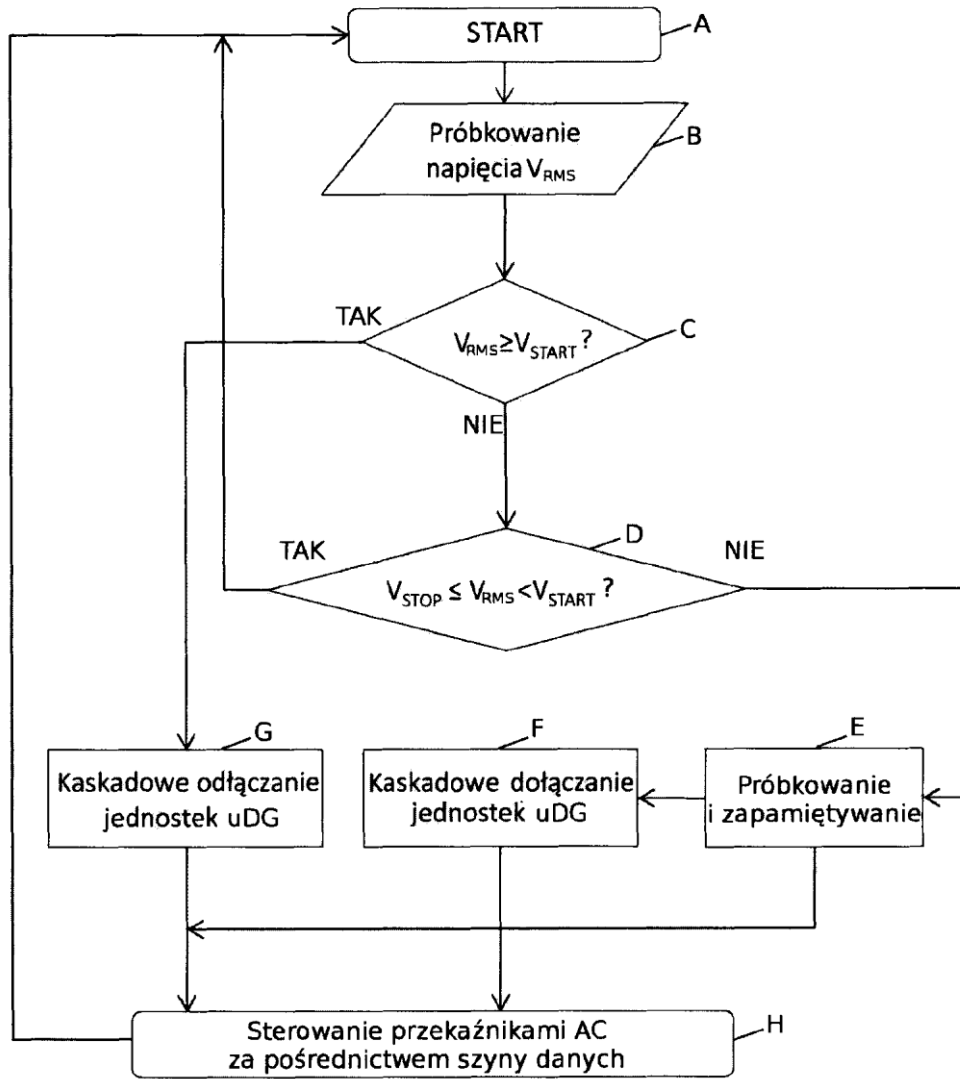


Fig. 3



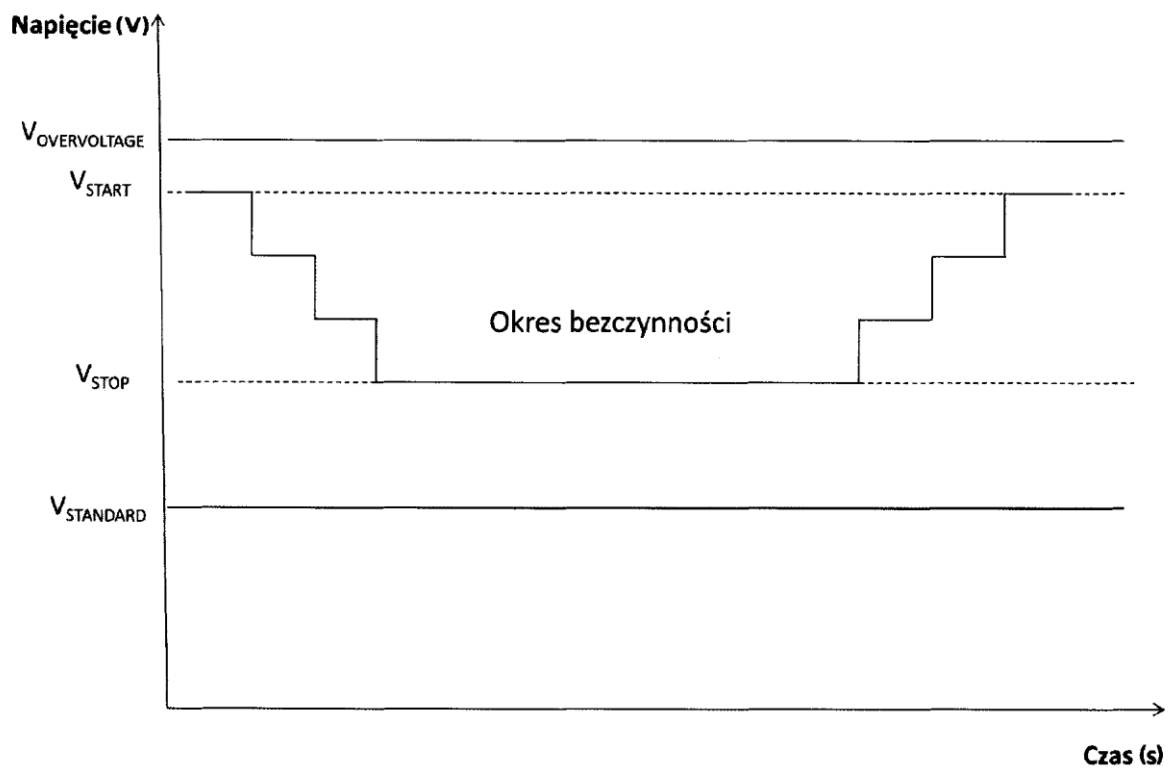


Fig. 4

