RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **241434**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **429725**

(51) Int.Cl.
G01R 19/175 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **24.04.2019**

(54) **Układ detekcji przejścia napięcia przemiennego przez zero**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
02.11.2020 BUP 23/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
03.10.2022 WUP 40/22

(73) Uprawniony z patentu:
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE, Kraków, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
PAWEŁ PIĄTEK, Kraków, PL
MARIUSZ PAULUK, Myślenice, PL
TOMASZ DZIWIŃSKI, Rybnik, PL

PL 241434 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest elektroniczny układ detekcji przejścia napięcia przemiennego przez zero. Rozwiązanie według wynalazku znajduje zastosowanie do detekcji chwili przejścia przez zero elektrycznego sygnału przemiennego o charakterze napięciowym lub prądowym, występującego w szczególności, ale nie wyłącznie w sieci elektroenergetycznej.

Znane rozwiązania charakteryzują się dużym opóźnieniem układu pomiarowego – od kilkudziesięciu do kilkuset mikro sekund, a rozwiązania, nie posiadające tej wady (szybkie), zawdzięczają to rozbudowanym układom elektronicznym, składającym się z kilkunastu a nawet kilkudziesięciu elementów elektronicznych. Przy wyższych napięciach rzędu kilkuset volt, rozwiązania te wymagają znacznie więcej miejsca na płytce elektronicznej, ze względu na konieczność zastosowania elementów o większej mocy i tym samym o większych gabarytach.

Najczęściej stosowane rozwiązania detekcji chwili przejścia napięcia fazy przez zero: sieci elektroenergetycznej lub innych źródeł sygnałów naprzemiennych, wykorzystują w optoizolacji układ transoptora, jedno lub dwu-kierunkowego. Poniżej przedstawiono znane rozwiązania problemu detekcji chwili przejścia przez zero, wynikające zarówno z powszechnie dostępnej wiedzy, jak również rozwiązania opatentowane. Rozwiązania, które zawierają małą liczbę elementów są wolne, a rozwiązania, które są szybkie zawierają znaczną liczbę elementów elektronicznych w układach sterujących optoizolatorem.

Z powszechnie dostępnej wiedzy znane jest rozwiązanie wykorzystujące fototranzystor. Zostało ono przedstawione na Fig. 3. W rozwiązaniu tym dioda lub diody nadawcze polaryzowane są za pomocą rezystora o odpowiednio dobranej wartości rezystancji oraz układy pochodne opatentowane, posiadające w miejscu rezystancji układ konwertera napięcia na prąd. Układ ten jest tym bardziej precyzyjny, im niższa jest wartość rezystancji R1. Zbyt niska wartość powyższej rezystancji może spowodować uszkodzenie diod nadawczych układu transoptora. Dlatego wartość rezystancji zawsze dobierana jest tak, aby układ nie uległ uszkodzeniu przy najwyższej wartości amplitudy napięcia wejściowego (dla sieci energetycznej 230 V AC, wartość amplitudy wynosi w przybliżeniu 330V). Dobór „bezpiecznej rezystancji" rezystora dla tej wartości napięcia powoduje, że z kolei dla niskich napięć chwilowych linii energetycznej lub innego źródła sygnału naprzemiennego, układ jest nieczuły, reagując z opóźnieniem na przekroczenie napięcia źródła wartości 0V. Jeżeli opóźnienie wprowadzane przez powyższe rozwiązanie jest nie do zaakceptowania, stosuje się bardziej rozbudowane układy sterowania optoizolatorem.

Znane jest również rozwiązanie opublikowane na stronie internetowej pod adresem http://www.edn.com/design/analog/4368740/Mains-driven-zero-crossing-detector-uses-only-a-few-high-voltage-parts. W układzie tym, ze znacznie większą precyzją, wykrywa się zero fazy sieci energetycznej niż w układzie opisanym wyżej, jednak rozwiązanie to wymaga znacznej liczby elementów po stronie źródła sygnału. Schemat elektryczny tego układu został przedstawiony na Fig. 4.

Z opisu patentowego nr US7508240 B1 pt. „Power mains zero-crossing detector" znany jest układ, który wykorzystuje źródło prądowe. Realizacja tego układu jest również skomplikowana. W układzie tym, detektor przejścia zerowego zawiera parę zacisków wejściowych, przy czym zaciski są przystosowane do odbierania sygnału wejściowego AC. Prostownik, prostownik poprawiający sygnał wejściowy AC; Źródło prądu, przy czym źródło prądu jest zasilane przez prosty sygnał wejściowy AC; Oraz łącznik optoelektryczny mający wejście sprzęgające i wyjście sprzęgające, wejście sprzęgające napędzane przez źródło prądowe i wyjście sprzęgające, zapewniające sygnał przejścia zerowego. Sygnał zerowego przejścia galwanicznie izoluje się od sygnału wejściowego AC. Układ ten został przedstawiony na Fig. 5

Z opisu zgłoszeniowego nr CN104981705 A pt. „Mains voltage zero-crossing detector", w którym detektor przejścia przez zero ma stałe napięcie wymuszone na zewnętrznym węźle poprzez sterowanie urządzeniami tranzystorowymi za pomocą odpowiednich sygnałów sterujących, które są dostarczane przez pętlę sprzężenia zwrotnego wokół wysoce wydajnej konfiguracji klasy B zawierającej wzmacniacz operacyjny mający podwójne wyjścia i pojedyncze wejście oraz obwód sterowania klasy B. Przejście przez zero zasilania sieciowego można wykryć, monitorując prąd zasilający urządzenia zasilane przez ten wzmacniacz. W przypadku, gdy sterowanie klasy B i wykrywanie trybu prądowego zapewniają dokładne wykrywanie sygnału zasilania bez zależności od jakiegokolwiek progu napięcia, który może zależeć od temperatury, wytwarzania procesu i/lub napięcia zasilania.

Z opisu zgłoszeniowego nr TW201444291 A pt. „Zero crossing detector using current mode approach" znane jest urządzenie, które zawiera konwerter sygnału skonfigurowany do przekształcania

sygnału napięciowego w sygnał prądowy i analogowy konwerter cyfrowy (ADC) skonfigurowany do przekształcania sygnału prądowego na sygnał cyfrowy. Urządzenie zawiera również cyfrowy procesor skonfigurowany do przetwarzania sygnału cyfrowego i generowania sygnału wyjściowego, który wskazuje punkt przejścia przez zero sygnału napięcia sieciowego.

Z opisu zgłoszeniowego nr RU2009139765 A, pt “Circuit for detection of network zero crossing”, znane jest rozwiązanie, w którym zastosowano źródło prądowe szeregowo z rezystorem podłączonym do wejść komparatora lub układu różnicowego wzmacniacza operacyjnego, opcjonalnie zabezpieczonego diodami podłączonymi przeciwsobnie. Rozwiązanie to jednak nie zapewnia izolacji galwanicznej. Rozwiązanie to zostało przedstawione na Fig. 6.

Z opisu zgłoszeniowego nr US2008309376 A1, pt “Mains Phase Detection Apparatus” znane jest urządzenie do dokładnego wykrywania fazy sieci. Urządzenie jest skonstruowane z detektorem przejścia przez zero, cyfrowym detektorem fazy, cyfrowym filtrem pętlowym i cyfrowym sterowanym oscylatorem (DCO) o bezpośredniej syntezie cyfrowej (DDS). Niniejsze urządzenie wykorzystuje w pełni cyfrową architekturę pętli i zegar o wysokim próbkowaniu do odzyskiwania sygnału z fazą ortogonalną z sygnałem sieci i częstotliwością taką samą jak sygnał sieci. Drżenie (ang. jitter) w odzyskanym sygnale wynosi mniej niż 10 us. Niniejsze urządzenie jest zdolne do realizacji śledzenia sygnału błędu zerowej częstotliwości i fazy zerowej w szerokim zakresie i może zapewnić wynik wykrywania doskonałej wydajności dla komunikacji nośnej linii elektroenergetycznej, wykrywania częstotliwości sieci, itp. Schemat tego rozwiązania został przedstawiony na Fig. 7.

W zgłoszeniu patentowym CN107153132 pt. „Cascadable circuit, signal coupling system and switch device” opisano kaskadowy układ, złożony z podukładów. Podukład jest zatem częścią większego obwodu niż przedmiotowy wynalazek. Podukład ten posiada ponadto dodatkowe elementy w stosunku do układu z wynalazku, czyli rezystor (42) oraz rezystor (41), które nie występują w wynalazku, a dioda (48, 36) połączona jest w kierunku zgodnym z diodą (47, 46), a nie przeciwsobnie (tak jak w przedmiotowym wynalazku). W układzie według wynalazku (Fig. 1 oraz Fig. 2), dioda D_2 pełni rolę zabezpieczającą tranzystory przed uszkodzeniem w wyniku zbyt wysokiego napięcia i jej funkcja jest zupełnie inna niż rola diody (48, 36), która jest diodą Zenera. Transoptor w rozwiązaniu według wynalazku (Fig. 1 oraz Fig. 2) odróżnia się od podukładu w dokumencie CN107153132 tym, że zamiast pojedynczej diody (12), zawiera dwie połączone równolegle i przeciwsobnie diody (o charakterze fotoemitera) tak, że zarówno przy dodatniej, jak i ujemnej połówce napięcia przemiennego zawsze będzie aktywowany jeden z emiterów. Także w tym zakresie inna jest realizacja transoptora według wynalazku, który emituje światło niezależnie od kierunku polaryzacji, w porównaniu do rozwiązania według dokumentu CN107153132.

Celem jest opracowanie znacznie prostszego rozwiązania od znanych dotychczas, układu detekcji sygnału naprzemiennego przy jednoczesnym zachowaniu bardzo niskich opóźnień układu pomiarowego w stosunku do mierzonego sygnału, na poziomie kilku mikro sekund.

Rozwiązanie według wynalazku wyróżnia się na tle dotychczas znanych rozwiązań tym, że jest to bardzo szybki układ (czas opóźnienia – kilka mikrosekund) oraz posiada niewielką ilość elementów elektronicznych. Dla jednego kierunku wystarczą dwa elementy dyskretne tj. dioda i tranzystor polowy. Dioda jest zintegrowana z tranzystorem w jednej obudowie, w praktyce jest to więc tylko jeden element dyskretny. W przypadku aplikacji dwukierunkowej, potrzebne są cztery elementy: dwie diody i dwa tranzystory polowe. Analogicznie, w praktycznym zastosowaniu będą to dwa elementy dyskretne – dwa tranzystory posiadające zintegrowane w tej samej obudowie diody.

Zamierzony skutek techniczny to uzyskanie możliwości daleko posuniętej miniaturyzacji technicznego rozwiązania problemu detekcji zera fazy sygnału naprzemiennego, także w odniesieniu do źródeł wysokonapięciowych.

W rozwiązaniu według wynalazku zastąpiono rezystor stosowany w układzie znanym ze stanu techniki (Fig. 3):

a) jednym (układ przedstawiony na Fig. 1) lub dwoma tranzystorami polowymi (układ przedstawiony na Fig. 2) złączowymi z kanałem typu „n”, wraz z równolegle dołączonymi diodami zabezpieczającymi (analogicznie jak na Fig. 1 i 2).
b) jednym lub dwoma tranzystorami polowymi MOSFET z izolowaną bramką z kanałem zubożanym typu „n”, wraz z równolegle dołączonymi diodami zabezpieczającymi (analogicznie jak na Fig. 1 i 2).

Układ detekcji przejścia napięcia przemiennego przez zero charakteryzuje się tym, że zawiera pierwszy podukład zawierający pierwszą diodę połączoną równolegle z pierwszym tranzystorem polowym z kanałem typu N tak, że anoda diody jest połączona ze źródłem tranzystora oraz katoda diody jest połączona z drenem tranzystora, jednocześnie pierwszy podukład połączony jest szeregowo z drugim podukładem zawierającym drugą diodę oraz z układem transoptora zawierającym fotoemitery emitujące światło niezależnie od kierunku polaryzacji napięcia w taki sposób, że dioda pierwsza oraz dioda druga zawsze są skierowane przeciwsobnie.

Korzystnie, w drugim podukładzie do drugiej diody dołączony jest równolegle drugi tranzystor tak, że dren tranzystora połączony jest z katodą diody i źródło tranzystora połączone jest z anodą diody.

Korzystnie, pierwszym tranzystorem jest tranzystor polowy złączowy lub polowy MOSFET z izolowaną bramką z kanałem zubożanym.

Korzystnie, drugim tranzystorem jest tranzystor polowy złączowy lub polowy MOSFET z izolowaną bramką z kanałem zubożanym.

Rozwiązanie według wynalazku charakteryzuje się bardzo małym opóźnieniem pomiarowym, nieosiągalnym w dotychczas stosowanych rozwiązaniach. Istotą wynalazku jest zastosowanie do polaryzacji diody nadawczej transoptora, zamiast rezystora, jednego lub dwóch tranzystorów polowych, które charakteryzują się bardzo małą rezystancją kanału, powodującą bardzo szybkie wysterowanie transoptora i jednocześnie przy dalszym wzroście napięcia w sieci energetycznej, rezystancja ta rośnie, nie dopuszczając do przekroczenia wartości prądu równego prądowi nasycenia. Zatem dla małych napięć sieci energetycznej lub innych źródeł sygnału przemiennego, tranzystory polaryzujące posiadają bardzo małą rezystancję zapewniając szybką reakcję układu detekcji, a przy dużych wartościach napięć wejściowych, ta rezystancja samoistnie rośnie chroniąc diody nadawcze transoptora przed uszkodzeniem w wyniku przepływu zbyt wysokiego prądu. Zastosowanie diod podłączonych równolegle do tranzystorów polowych przeciwdziała odłożeniu się na tych tranzystorach zbyt wysokiego napięcia, które mogłoby je uszkodzić.

Takie rozwiązanie powoduje, że układ jest bardzo szybki, a jednocześnie posiada bardzo niewielkie gabaryty, przy możliwym podpięciu bezpośrednio do napięcia sieci energetycznej, a więc pracuje poprawnie w bardzo szerokim zakresie napięć wejściowych zaczynając już od bardzo niskich napięć na wejściu, charakteryzując się znacznie większą czułością niż dotychczas stosowane rozwiązania.

Przedmiot wynalazku w przykładach wykonania jest przedstawiony na rysunku, na którym Fig. 1 i Fig. 2 przedstawiają schematy układu detekcji przejścia napięcia przemiennego przez zero według dwóch odmian realizacji wynalazku.

W układzie według wynalazku, w pierwszym przykładzie wykonania (Fig. 1), układ detekcji przejścia napięcia przemiennego przez zero zawiera pierwszy podukład P_1 zawierający pierwszą diodę D_1 połączoną równolegle z pierwszym tranzystorem Q_1, jednocześnie pierwszy podukład P_1 połączony jest szeregowo z drugim podukładem P_2 zawierającym drugą diodę D_2 oraz z układem transoptora FR. W tym przykładzie realizacji, z jednym tranzystorem, fototranzystor jest polaryzowany przy dodatniej połówce napięcia AC, w układzie *D_2-Q_1-prawa dioda układu FR*. Dla ujemnej połówki napięcia AC, tranzystor Q_1 jest zabezpieczany pierwszą diodą D_1, a praktycznie całe napięcie ze źródła AC odkłada się na diodzie D_2, która zabezpiecza w ten sposób również pozostałe elementy przed przepięciem.

W tym przykładzie wykonania, diody nadawcze transoptora (układ FR) polaryzuje się jednym tranzystorem polowym.

W układzie według wynalazku, w drugim przykładzie wykonania (Fig. 2), układ detekcji przejścia napięcia przemiennego przez zero zawiera pierwszy podukład P_1 zawierający pierwszą diodę D_1 połączoną równolegle z pierwszym tranzystorem Q_1, jednocześnie pierwszy podukład połączony jest szeregowo z drugim podukładem P_2 zawierającym drugą diodę D_2 oraz z układem transoptora FR, a w drugim podukładzie P_2 do drugiej diody D_2 dołączony jest równolegle drugi tranzystor Q_2. W tym przykładzie wykonania, dla dodatniej połówki napięcia sieciowego, prąd przepływa przez obwód D_2-Q_2- prawa dioda układu FT. Dla ujemnej połówki napięcia sieciowego prąd przepływa przez obwód: lewa dioda układu FT – D_1 – Q_1.

Zarówno w wersji jedno i dwutranzystorowej można zastosować tranzystor/y z kanałem typu „n" następujących typów: polowe złączowe, połowę MOSFET z izolowaną bramką z kanałem zubożanym.

Tranzystory są tak dobrane, że ich prąd nasycenia IDSS wystarcza do poprawnej polaryzacji diod nadawczych transoptora, a napięcie przebicia złącza dren-źródło jest większe niż amplituda analizowanego sygnału.

Układ według wynalazku praktycznie zastosowano w układzie sterowania zakrętarką elektryczną, ale jest to tylko jedna z nielicznych aplikacji, w których ten układ może znaleźć zastosowanie.

Kluczową informacją dla algorytmu sterowania zakrętarką, w której elementem wykonawczym jest silnik prądu zmiennego, jest informacja o chwili przejścia przez zero wartości napięcia występującego w sieci energetycznej. Im precyzyjniej (szybciej) ta informacja zostanie dostarczona do algorytmu sterującego zakrętarką, tym efektywniejsze i bardziej dokładne działanie urządzenia – dokręcanie z zadanym momentem realizowane jest z większą klasą dokładności.

W praktycznej realizacji opracowane rozwiązanie od strony wejścia podłączone jest do zasilającej zakrętarkę sieci energetycznej oraz wyjście układu (poprzez odpowiednio dobrane układy dopasowujące poziom napięć) podpinane jest bezpośrednio do wejścia mikroprocesora, lub innego układu realizującego algorytm sterujący, lub też do układu dostarczającego dane do algorytmu sterującego, a bazującego na informacji z układu detekcji fazy.

Rozwiązanie znajduje zastosowanie w układach sterujących urządzeniami zasilanymi z sieci elektroenergetycznej lub z innego źródła sygnału przemiennego, w układach analizujących stan sieci elektroenergetycznej lub innych sygnałów naprzemiennych a także w układach pomiarowych bazujących na: sygnałach z sieci elektroenergetycznej lub innych źródłach sygnałów naprzemiennych.

W wyniku zastosowania rozwiązania, otrzymano wystarczająco szybką informację o przejściu napięcia sieciowego przez wartość 0V (zero volt), aby sterować zakrętarką bez zakłóceń. Dotychczas stosowane rozwiązania dostarczały tę informację ze zbyt dużym opóźnieniem, powodując w określonych warunkach błędne działanie sterownika zakrętarki. Dotychczas stosowane rozwiązania można było przyspieszyć (jednakże nie w takim stopniu jak w proponowanym rozwiązaniu) poprzez zmniejszenie wartości rezystora polaryzującego transoptor, to jednak pociągało za sobą wydzielanie się większej mocy na rezystorze i znaczące zwiększenie gabarytów rozwiązania. W wyniku zastosowania proponowanego rozwiązania, układ sterownika udało się umieścić wewnątrz uchwytu zakrętarki ze względu na jego małe gabaryty, a także niewielką ilość wydzielanego ciepła.

Zaproponowane rozwiązanie znajduje zastosowanie również w urządzeniach sterownych fazowo, gdzie elementem wykonawczym są TRIACi lub tyrystory, np. sterownikach, silników, prostownikach aktywnych, jak również w urządzeniach pomiarowych, gdzie określona faza pomiaru (np. początek) musi być zsynchronizowana z przejściem napięcia przemiennego przez zero, np. w falownikach, przekształtnikach energoelektronicznych, zasilaczach dużej mocy.

Zastrzeżenia patentowe

1. Układ detekcji przejścia napięcia przemiennego przez zero, **znamienny tym**, że zawiera pierwszy podukład (P_1) zawierający, pierwszą diodę (D_1) połączoną równolegle z pierwszym tranzystorem polowym (Q_1) kanałem typu N tak, że anoda diody (D_1) jest połączona ze źródłem tranzystora (Q_1) oraz katoda diody (D_1) jest połączona z drenem tranzystora (Q_1), jednocześnie pierwszy podukład (P_1) połączony jest szeregowo z drugim podukładem (P_2) zawierającym drugą diodę (D_2) oraz z układem transoptora (FR) zawierającym fotoemitery emitujące światło niezależnie od kierunku polaryzacji napięcia w taki sposób, że dioda pierwsza (D_1) oraz dioda druga (D_2) zawsze są skierowane przeciwsobnie.
2. Układ detekcji przejścia – napięcia przemiennego przez zero według zastrz. 1 **znamienny tym**, że w drugim podukładzie (P_2) do drugiej diody (D_2) dołączony jest równolegle drugi tranzystor (Q_2) tak, że dren tranzystora (Q_2) połączony jest z katodą diody (D_1) i źródło tranzystora (Q_2) połączone jest z anodą diody (D_2).
3. Układ detekcji przejścia napięcia, przemiennego przez zero według zastrz. 1, **znamienny tym**, że pierwszym tranzystorem (Q_1) jest tranzystor polowy złączowy lub polowy MOSFET z izolowaną bramką z kanałem zubożanym.
4. Układ detekcji przejścia napięcia przemiennego przez zero według zastrz. 2 **znamienny tym**, że drugim tranzystorem (Q_2) jest tranzystor polowy złączowy lub polowy MOSFET z izolowaną bramką z kanałem zubożanym.

Rysunki

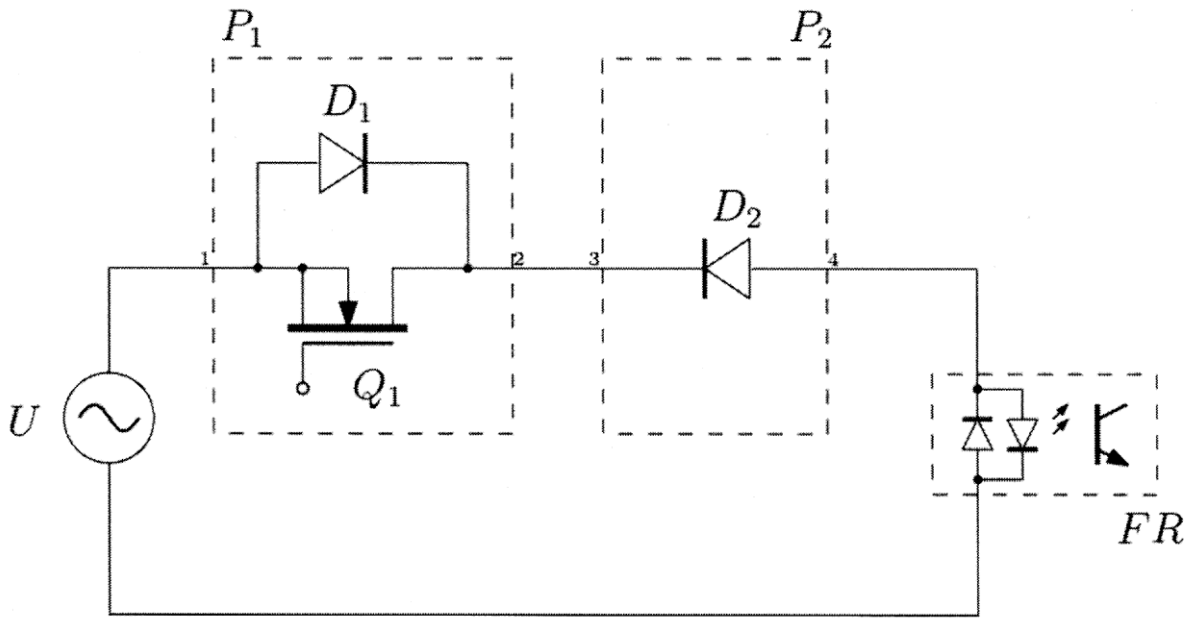

Fig. 1

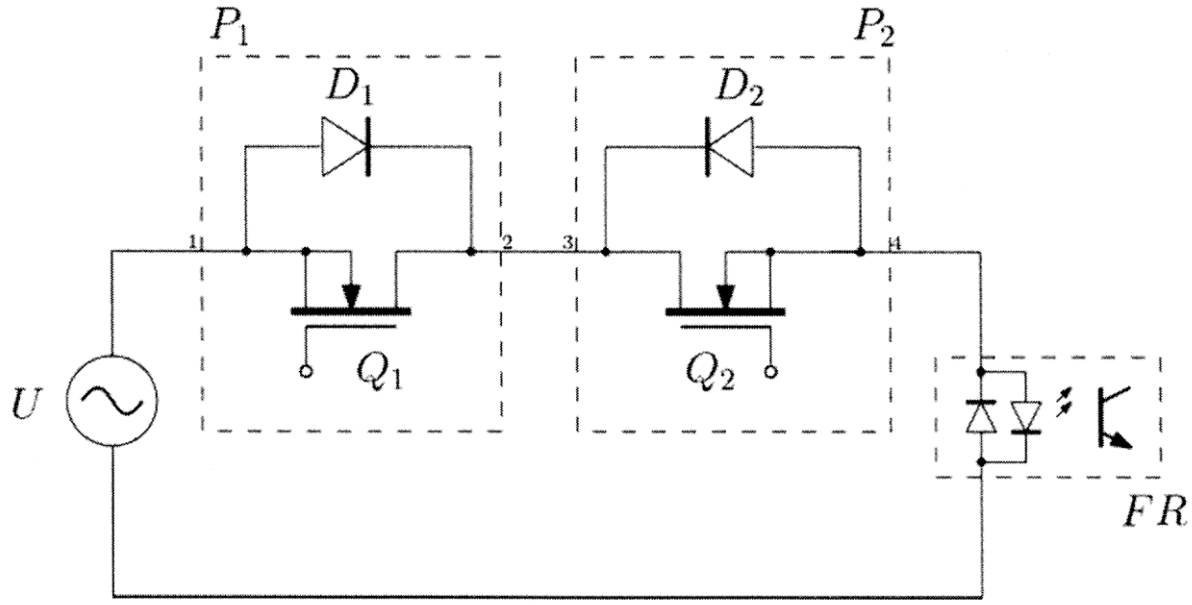

Fig. 2

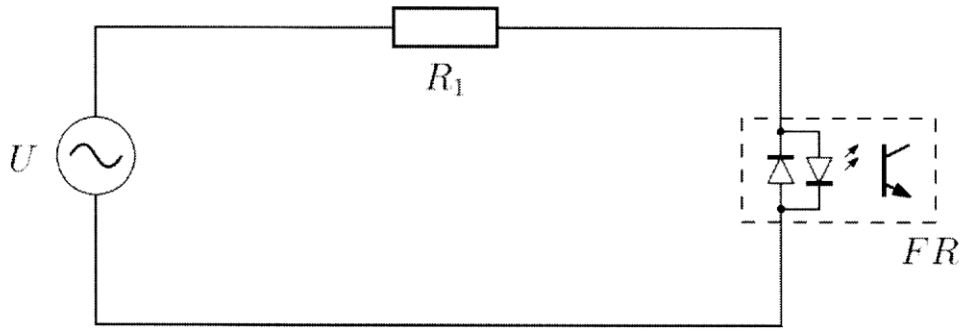

Fig. 3

(Stan techniki)

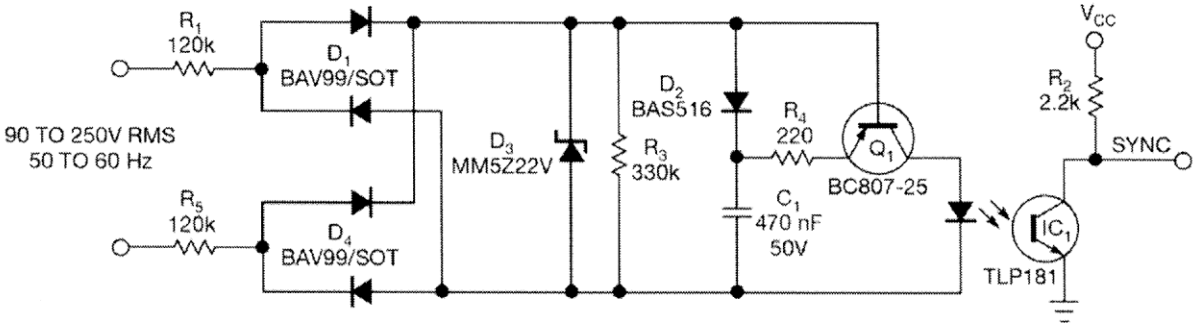

Fig. 4

(Stan techniki)

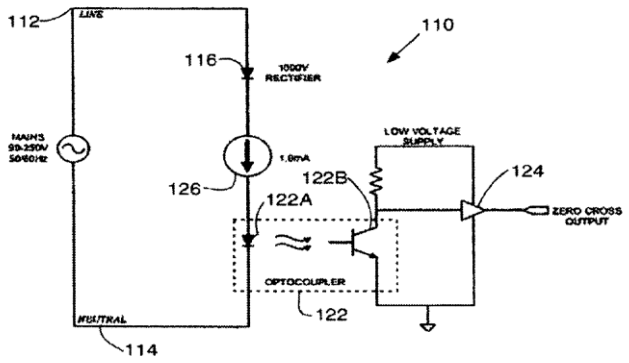

Fig. 5

(Stan techniki)

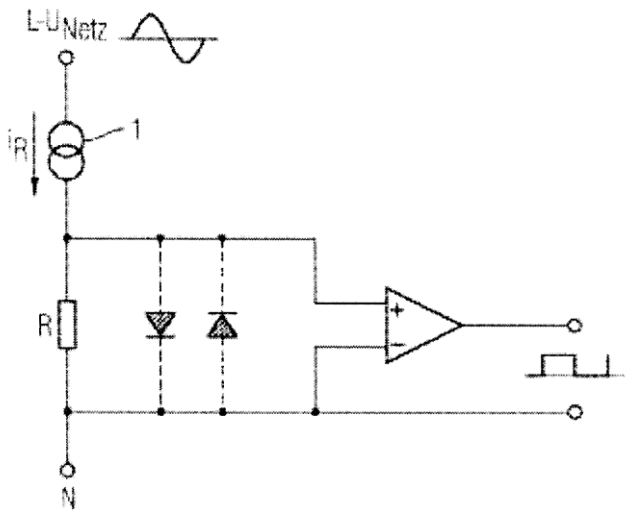

Fig. 6

(Stan techniki)

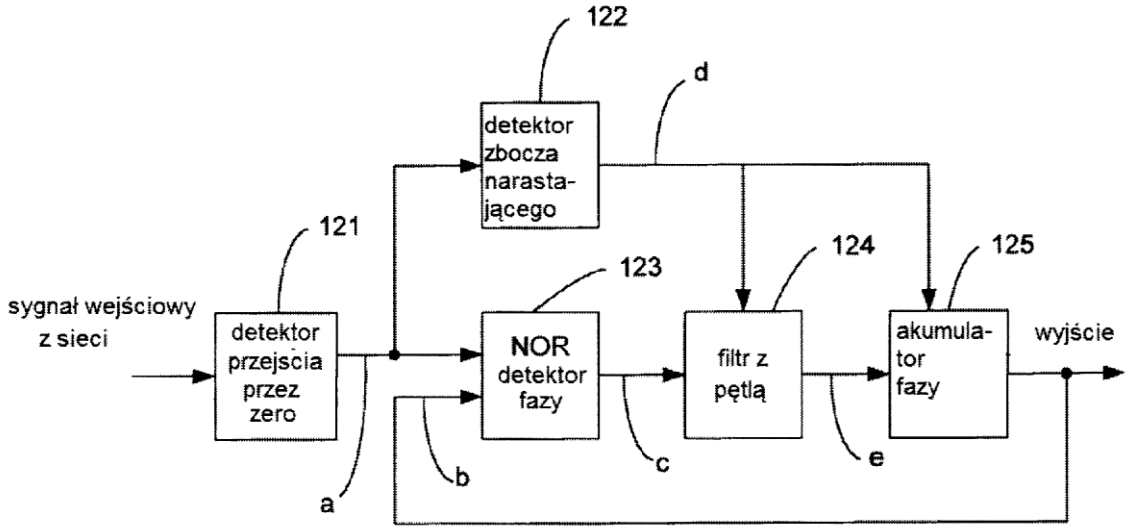

Fig. 7

(Stan techniki)