

POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA



URZĄD
PATENTOWY
PRL

OPIS PATENTOWY

128624

CZYTELNIA

Urzędu Patentowego
Polskiej

Int. Cl.
G01R 11/00

Patent dodatkowy
do patentu nr _____

Zgłoszono: 78 05 16 (P. 206 834)

Pierwszeństwo: 77 05 16 Wielka Brytania

Zgłoszenie ogłoszono: 79 02 12

Opis patentowy opublikowano: 1987 03 31

Twórca wynalazku: Anthony John Ley

Uprawniony z patentu: Enertec, Montrouge (Francja)

Licznik energii czynnej

1

Przedmiotem wynalazku jest licznik energii czynnej dla układu rozdzielczego mocy zwłaszcza, lecz nie wyłącznie licznik energii czynnej stosowany w domowych sieciach rozdzielczych mocy elektrycznej.

Zwykła domowa sieć rozdzielcza mocy elektrycznej zawiera dwa lub więcej przewodów, z których jeden może być traktowany jako przewód odniesienia, przy czym napięcie przemienne pomiędzy każdym przewodem i przewodem odniesienia ma typową wartość przynajmniej 100V. Często, lecz niekoniecznie, przewód odniesienia jest połączony pośrednio z ziemią lub jego napięcie względem potencjału ziemi ma utrzymaną wstępnie określoną, małą wartość, zwykle $\pm 5V$ lub $\pm 10V$. W takim przypadku przewód odniesienia jest zwykle traktowany jako przewód zerowy, natomiast pozostałe przewody są zwykle traktowane jako przewody pod napięciem. Jednakże niezależnie od tego, czy napięcie przewodu odniesienia względem ziemi jest równe lub bliskie zeru czy też nie, wartość napięcia przemiennego każdego pozostałego przewodu względem ziemi wynosi zwykle przynajmniej 100V.

Znanych jest kilka rozwiązań elektronicznych liczników energii czynnej, przeznaczonych do stosowania w tego typu domowych elektrycznych układach rozdzielczych mocy w celu pomiaru energii elektrycznej dostarczanej do domowego odbiorcy. Rozważając najpierw prosty przypadek dwu-

2

przewodowego układu rozdzielczego mocy zauważamy, że w większości poprzednich rozwiązań zarówno napięcie pomiędzy przewodem odniesienia i innym przewodem jak i prąd płynący w innym przewodzie są określane przez odpowiednie czujniki, a uzyskiwany iloczyn określonego prądu i określonego napięcia jest całkowany w czasie za pomocą pomiarowego układu elektronicznego. Jeżeli żaden z dwu przewodów nie znajduje się pod napięciem względem ziemi równym lub bliskim zeru, wówczas nie jest istotne, w którym z tych przewodów określana jest wartość prądu. Jednak jeżeli napięcie jednego z przewodów jest utrzymywane w taki sposób względem potencjału ziemi, wówczas musi być określany prąd w innym przewodzie dla uniknięcia błędów pomiaru wskutek przypadkowego lub umyślnego połączenia z ziemią układu rozdzielczego za miernikiem od strony odbiorcy. Zatem w każdym przypadku przewód, w którym jest określana wartość prądu, znajduje się pod znacznym napięciem przemiennym, zwykle nie mniejszym niż 100V względem potencjału ziemi.

We wszystkich znanych rozwiązaniach przyjęto zwykle łączyć pomiarowy układ elektroniczny z ziemią czy też utrzymywać, napięcie między jedną z szyn zasilania pomiarowego układu elektronicznego i ziemią o wartości równej lub bliskiej zeru. Normalnie uzyskuje się to, stosując transformator izolujący, którego uzwojenie pierwotne jest właściwie między dwa przewody a jego uzwojenie

wtórne jest uziemione i wytwarza napięcia zasilające dla pomiarowego układu elektronicznego. Wynika to stąd, że czujniki prądu są włączone w przewodzie, którego napięcie względem ziemi wynosi zwykle przynajmniej 100V i muszą zawierać izolujący transformator prądowy oraz czujnik napięcia zwykle także zawiera transformator izolujący. Te transformatory izolujące nie tylko przyczyniają się do znacznego kosztu miernika, lecz ich wadą jest również to, że mają zwykle znaczną pojemność pomiędzy uzwojeniem pierwotnym i wtórnym. Pojemność ta reprezentuje stosunkowo małą impedancję dla bardzo wysokich napięć występujących w stanach nieustalonych o wartości często do kilku kV, pojawiających się często między przewodami takich elektrycznych układów rozdzielczych mocy, w związku z czym napięcia stanu nieustalonego są podawane zasadniczo bez tłumienia do układu elektronicznego.

Pomiarowy układ elektroniczny musi zatem posiadać właściwy obwód zabezpieczający przed tymi stanami nieustalonymi, który to obwód zabezpieczający dodatkowo zwiększa koszt miernika. W rezultacie wykonanie elektronicznego licznika energii czynnej staje się trudne, szczególnie licznika nadającego się do stosowania w domowym układzie rozdzielczym mocy przy założeniu, że koszt jest porównywalny z kosztem konwencjonalnego elektromechanicznego licznika energii czynnej o równoważnych możliwościach pomiarowych i obecnie właściwie wszystkie liczniki energii czynnej stosowane w domowych układach rozdzielczych mocy są konwencjonalnymi przyrządami typu elektromechanicznego.

W znanych rozwiązaniach elektronicznych liczników energii czynnej dla elektrycznych układów rozdzielczych mocy o trzech lub większej liczbie przewodów wykorzystuje się zwykle uziemiony pojedynczy pomiarowy układ elektroniczny włączony w celu odbierania sygnałów reprezentujących poszczególne przepływy prądów w N-1 przewodach, gdzie N jest liczbą przewodów, poprzez poszczególne izolujące transformatory prądowe. Przyrządy te mają zatem wady bardzo podobne do diskutowanych poprzednio, spowodowane zasadniczo analogicznymi przyczynami.

Znany licznik energii czynnej dla elektrycznego układu rozdzielczego mocy prądu przemiennego, zawierającego co najmniej jeden przewód pod napięciem, zawiera pomiarowy układ elektroniczny zawierający układ mnożący do dostarczania napięcia wyjściowego proporcjonalnego do iloczynu napięcia między przewodem pod napięciem i drugim przewodem układu rozdzielczego oraz prądu w tym przewodzie pod napięciem, przetwornik napięciowo-częstotliwościowy dołączony do wyjścia układu mnożącego oraz licznik rewersyjny dołączony do wyjścia przetwornika napięciowo-częstotliwościowego. Licznik energii czynnej zawiera zasilacz mocy stałoprądowy dla pomiarowego układu elektronicznego. Zasilacz mocy jest włączony między dwa przewody układu rozdzielczego i ma co najmniej dodatnie i zerowe wyjścia odpowiednio dołączone do dodatniego i zerowego wejścia zasilacza mocy pomiarowego układu elektronicznego. Po-

miarowy układ elektroniczny zawiera licznik sumujący dołączony do wyjścia licznika rewersyjnego.

Licznik energii czynnej według wynalazku zawiera bocznik włączony szeregowo w przewodzie pod napięciem posiadający pierwszy zacisk i drugi zacisk, pomiędzy którymi występuje napięcie proporcjonalne do prądu w przewodzie pod napięciem i pierwszy rezystor dołączony jednym końcem do drugiego przewodu układu rozdzielczego z jednej strony i do licznika sumującego pomiarowego układu elektronicznego z drugiej strony oraz dołączony drugim końcem do węzła łączącego pierwszy rezystor z drugim rezystorem. Do pierwszego zacisku i do trzeciego zacisku bocznika jest dołączona para pierwszych wejść układu mnożącego dołączonego do przetwornika napięciowo-częstotliwościowego, a do węzła łączącego pierwszy rezystor z drugim rezystorem jest dołączone drugie wejście układu mnożącego. Do wejściowego zacisku bocznika jest dołączone zerowe wyjście zasilacza mocy zawierającego połączenie rezystorów, diod, kondensatorów i diod Zenera.

Drugi rezystor jest włączony między węzeł łączący pierwszy rezystor i drugi rezystor i przewód pod napięciem, tworząc wraz z pierwszym rezystorem dzielnik napięciowy.

Pierwszy rezystor jest korzystnie dołączony do drugiego przewodu układu rozdzielczego poprzez trzeci rezystor o stosunkowo małej wartości. Między zacisk łączący trzeci rezystor z pierwszym rezystorem a wejściowy zacisk bocznika jest włączony ogranicznik udarowy.

Licznik sumujący zawiera korzystnie wiele kół wskaźnikowych napędzanych przez silnik krokowy.

W korzystnym wykonaniu licznik sumujący zawiera licznik elektroniczny typu pamięci trwałej i elektroniczny układ wyświetlający wielocyfrowy dołączony do wyjść zliczających licznika.

W jednym z wykonania pomiarowy układ elektroniczny ma wyjście selektywne przyłączone do dwóch rejestrów za pomocą przełącznika.

Licznik rewersyjny w układzie elektronicznym ma wejście do którego jest dołączony układ bistabilny dołączony również do wejść układu przekształcającego odwracającego polaryzację, który jest włączony między drugie wejście pomiarowego układu elektronicznego a układ mnożący.

Układ mnożący zawiera pierwszą parę tranzystorów połączonych emiterami, których bazy są dołączone do tych wejść i których kolektory są dołączone do kolektorów pierwszej pary tranzystorów.

Przetwornik napięciowo-częstotliwościowy zawiera korzystnie wzmacniacz różnicowy mający wejścia odwracające i nieodwracające dołączone do kolektorów pierwszej pary tranzystorów, kondensator ujemny sprzężenia zwrotnego włączony między wyjście wzmacniacza i jego wejście odwracające, źródło napięciowe dołączone do bazy tranzystora, którego kolektor jest dołączony do wejścia nieodwracającego wzmacniacza, detektor poziomu napięcia dołączony do wyjścia wzmacniacza, układ bistabilny dołączony do wyjścia detektora poziomu napięcia, źródło napięcia odniesienia i przełącznik tranzystorowy włączony między

źródło napięcia odniesienia i bazę drugiego tranzystora, którego kolektor jest dołączony do wejścia odwracającego wzmacniacza i którego emiter jest dołączony do emitera tranzystora.

Zaletą wynalazku jest to, że w liczniku energii czynnej, który jest dołączony do układu kontroli mocy dostarczanej przez układ rozdzielczy mocy i który zawiera co najmniej jeden pomiarowy układ elektroniczny do wytwarzania sygnału wyjściowego związanego z kontrolowaną mocą, ten lub każdy pomiarowy układ elektroniczny jest bezpośrednio dołączony do określonego przewodu znajdującego się pod napięciem, przy podwyższonym napięciu tego przewodu układu rozdzielczego. Jest to osiągane w najprostszym przypadku pojedynczej fazy przez wytwarzanie zasilania stałoprądowego tego układu elektronicznego względem przewodu znajdującego się pod napięciem i oznacza to, że prąd płynący w przewodzie znajdującym się pod napięciem może być wyczuwany przez prosty bocznik (tzn. rezystor o małej wartości) połączony szeregowo z przewodem znajdującym się pod napięciem, zamiast przez transformator prądowy. To również oznacza, że pomiarowy układ elektroniczny jest łatwiej zabezpieczany przed dużymi napięciami przejściowymi, wykrywanymi normalnie w układach rozdzielczych mocy. Licznik według wynalazku eliminuje wady i błędy wprowadzane przez znane liczniki. Ma on prostszą budowę. Ponieważ pierwszy przewód jest przewodem, z którym szeregowo jest włączony czujnik prądu, jest mało prawdopodobne, żeby bardzo duże napięcia procesu przejściowego pomiędzy przewodami wytworzyły sygnały wystarczająco duże do uszkodzenia pomiarowego układu elektronicznego. Ponadto napięcia procesu przejściowego są chronione przed wytworzeniem niebezpiecznie wysokich wartości napięć na wtórnym uzwojeniu transformatora napięcia dzięki temu, że bocznik jest dołączony za pomocą pierwotnego uzwojenia transformatora napięcia. Licznik według wynalazku eliminuje problem tak zwanego pływania zera.

Przedmiot wynalazku jest uwidoczniony w przykładach wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat elektronicznego licznika energii czynnej według wynalazku, przeznaczonego do włączenia do dwuprzewodowego elektrycznego układu rozdzielczego mocy, fig. 2 — uproszczony schemat pomiarowego układu elektronicznego licznika energii czynnej z fig. 1, fig. 3A i 3B — schemat innego wykonania pomiarowego układu elektronicznego licznika energii czynnej z fig. 1, fig. 3C — dodatkowy obwód, który może być zastosowany w układzie z fig. 3, fig. 4 — wykres pokazujący przebiegi elektryczne dwóch sygnałów zastosowanych w układzie z fig. 3, fig. 5 — schemat ideowy zasilacza napięcia przemiennego dla licznika z fig. 1, fig. 6 — schemat innego wykonania licznika z fig. 1 również wykonanego według wynalazku, fig. 7A i 7B — schemat ideowy pomiarowego układu elektronicznego licznika energii czynnej z fig. 6, fig. 8 — schemat blokowy pomiarowego układu elektronicznego innego licznika energii czynnej według wynalazku, do włączania do elek-

trycznego układu rozdzielczego o liczbie przewodów większej niż dwa, fig. 9 — uproszczony schemat części pomiarowego układu elektronicznego licznika energii czynnej według wynalazku do stosowania w trójprzewodowym, dwufazowym układzie rozdzielczym mocy oraz fig. 10 — uproszczony schemat elektronicznego licznika energii czynnej według wynalazku, zawierającego zdalnie sterowany przełącznik.

Elektroniczny licznik energii czynnej przedstawiony na fig. 1 jest ogólnie oznaczony jako licznik 10 i przedstawiono go w układzie połączeń stosowanym w domowym układzie rozdzielczym mocy, składającym się z przewodu L, do którego jest przyłożone napięcie przemienne o wartości co najmniej 100 V względem potencjału ziemi i z przewodu N zerowego czyli odniesienia, do którego jest przyłożone napięcie o wartości względem potencjału ziemi (jednak niekoniecznie) utrzymywanej zwykle przez dostawcę energii elektrycznej na poziomie mniejszym niż ± 10 V. Zakłada się, że instalacja dostawcy energii elektrycznej jest dołączona do pokazanych z lewej strony fig. 1 wyprowadzeń przewodów L i N, natomiast instalacja odbiorcy energii elektrycznej jest dołączona do pokazanych z prawej strony wyprowadzeń przewodów L i N.

Licznik 10 ma obudowę 12 wykonaną z materiału elektroizolacyjnego np. odpowiedniego tworzywa sztucznego. Obudowa 12 ma parę zacisków 14, 16 włączonych szeregowo w obwód przewodu L i trzeci zacisk 18 dołączony do przewodu N. Metalowy bocznik 20 prądu jest włączony szeregowo pomiędzy zaciskami 14 i 16, wobec czego prąd płynący przez przewód L przepływa całkowicie przez ten bocznik 20. Bocznik 20 ma kształt prostopadłościanu i ma w środku prostokątny otwór, w którym jest umieszczony złożony pomiarowy układ elektroniczny 24 licznika energii czynnej. Pomiarowy układ elektroniczny 24 licznika energii czynnej jest wykonany w postaci pojedynczego układu scalonego na wspólnym podłożu przy zastosowaniu znanej technologii wielkiej skali integracji (LSI) i zawiera elektroniczny układ mnożący, przetwornik napięciowo-częstotliwościowy i licznik rewersyjny, co zostanie dokładnie opisane dalej. Dla uproszczenia te elementy pomiarowego układu elektronicznego 24, które nie wchodzą w skład układu scalonego (np. kondensatory), nie zostały pokazane na fig. 1.

Pierwsze wejście 26 pomiarowego układu elektronicznego 24 jest dołączone poprzez rezystor R1 służący do kompensacji temperaturowej i zamontowany w pobliżu bocznika 20 do pierwszego zacisku 28 bocznika a drugie wejście 30 pomiarowego układu elektronicznego 24 jest dołączone do drugiego zacisku 32 bocznika. Położenie zacisków 28 i 32 jest wybrane w taki sposób, że rezystancja części bocznika 20 pomiędzy nimi ma wartość umożliwiającą w rezultacie wytwarzać znane napięcie o wartości około 5 mV wówczas, gdy przez przewód L płynie prąd o wartości 20 Am.

Pomiarowy układ elektroniczny 24 ma również trzecie wejście 34 dołączone do węzła 36 łączącego rezystory R2 i R3 włączone szeregowo pomiędzy

zaciski 18 i 14, które tworzą dzielnik napięcia. Rezystor R2 dołączony do zacisku 18 ma wartość co najmniej 100-krotnie większą od wartości rezystora R3, wskutek czego napięcie przemienne wytwarzane pomiędzy węzłem 36 i zaciskiem 14 wynosi co najwyżej kilka voltów i ma wartość około 1 V.

Ponadto pomiarowy układ elektroniczny 24 ma wejścia 38, 40 i 42. Wejście 40 jest dołączone do zacisku 14. Wejścia 38 i 42 są dołączone do zacisku 14 poprzez przeciwnie włączone diody Zenera Z1, Z2 i poprzez rezystory R4 i R5 do węzłów 44, 46 układu. Węzły 44, 46 są dołączone poprzez kondensatory C1 i C2 do zacisku 14 i poprzez przeciwnie włączone diody D1 i D2 do wspólnego węzła 48. Rezystor R6 łączy punkt 48 z zaciskiem 18. Na przewodzie łączącym rezystor R5 z wejściem 42 występuje napięcie $-V_s$, na przewodzie łączącym rezystor R4 z wejściem 38 występuje napięcie V_s , a zaciski 14 i 40 są dołączone od przewodu pod napięciem OV. Pomiarowy układ elektroniczny 24 ma też wejście 50 dołączone do elektrody sterującej tyrystora T1, który jest włączony w połączeniu szeregowym z silnikiem krokowym 52 pomiędzy zaciski 18 i 14. Silnik krokowy 52 jest dołączony poprzez przekładnię obniżającą napięcie (nie pokazaną) o właściwym przełożeniu do konwencjonalnego licznika sumującego 54 zawierającego wiele współosiowych kół wskaznikowych sprzężonych ze sobą, przy czym na obwodzie każdego z nich umieszczone są cyfry od 0 do 9. Wskazywana liczba jest złożona z poszczególnych cyfr na każdym kole widzianym z zewnątrz obudowy 12 przez okno (nie pokazane) obudowy.

Figura 2 przedstawia schemat ideowy pomiarowego układu elektronicznego 24 licznika energii czynnej, gdzie są przedstawione układ mnożący 60, przetwornik napięciowo-częstotliwościowy 62 i licznik rewersyjny 64.

Układ mnożący 60 zawiera wzmacniacz różnicowy 66, którego wejścia proste i zanegowane tworzą wejścia 26 i 30 pomiarowego układu elektronicznego 24. Para przeciwnie włączonych diod D3, D4 w połączeniu równoległym pomiędzy wejściami 26, 30 i rezystor R7 tworzą obwód ujemnego sprzężenia zwrotnego, włączony pomiędzy wyjściem i wejściem 26 wzmacniacza różnicowego 66. Wyjście wzmacniacza 66 jest dołączone poprzez szeregowe połączenie pierwszego półprzewodnikowego przełącznika S1 i rezystora R8 do węzła sumującego wzmacniacza sumującego 68 i poprzez szeregowe połączenia wzmacniacza odwracającego 70 o jednostkowym wzmocnieniu, drugiego półprzewodnikowego przełącznika S2 i rezystora sumującego R9 do węzła sumującego wzmacniacza sumującego 68. Rezystory R8 i R9 mają jednakowe wartości. Rezystor R10 tworzy obwód ujemnego sprzężenia zwrotnego włączony pomiędzy wyjściem i węzłem sumującym wzmacniacza sumującego 68, wyjście wzmacniacza sumującego 68 stanowi natomiast wyjście układu mnożącego 60.

Układ mnożący 60 zawiera również wzmacniacz odwracający 72 o dużym wzmocnieniu, którego wejście jest dołączone do trzeciego wejścia 34 pomiarowego układu elektronicznego 24 poprzez re-

zystor R11. Wejście wzmacniacza odwracającego 72 jest również dołączone do źródła dodatniego napięcia odniesienia $+V_R$ poprzez szeregowe połączenie rezystora R12 i półprzewodnikowego przełącznika S3, a poprzez szeregowe połączenie rezystora R13 i półprzewodnikowego przełącznika S4 do źródła ujemnego napięcia odniesienia $-V_R$. Źródła napięć odniesienia mogą mieć dowolną konwencjonalną postać, a wytwarzane w nich napięcia mają jednakową wartość, podobnie jak jednakowe są wartości rezystorów R12 i R13. Dwie przeciwnie włączone diody D5 i D6 są włączone równolegle pomiędzy wejściem wzmacniacza 72 i wejściem 40. Ponadto pomiędzy wyjściem i wejściem wzmacniacza 72 jest włączony w obwodzie ujemnego sprzężenia zwrotnego kondensator C3, który pracuje jako układ całkujący.

Wyjście wzmacniacza 72 jest dołączone do poszczególnych wejść detektorów 76 i 78 dwóch poziomów napięć, których napięcia progowe są $+V_1$ i $-V_1$ o jednakowych wartościach lecz przeciwnej biegunowości. Poszczególne wyjścia detektorów 76, 78 są dołączone do wejść układu bistabilnego 79, którego jedno wyjście steruje przełącznikami S1-S3, natomiast drugie wyjście steruje przełącznikami S2 i S4.

Przetwornik napięciowo-częstotliwościowy 62 zawiera wzmacniacz odwracający 80 o dużym wzmocnieniu, którego wejście jest dołączone do wyjścia układu mnożącego 60 (to jest do wyjścia wzmacniacza 68) poprzez rezystor R14. Wejście wzmacniacza 80 jest dołączone do źródła napięcia $+V_R$ za pomocą szeregowego układu składającego się z rezystora R15 i półprzewodnikowego przełącznika S5 oraz do źródła napięcia $-V_R$ za pomocą szeregowego układu składającego się z rezystora R16 i półprzewodnikowego przełącznika S6. Kondensator C4 tworzy obwód ujemnego sprzężenia zwrotnego pomiędzy wyjściem i wejściem wzmacniacza 80, który w związku z tym pracuje jako układ całkujący.

Wyjście wzmacniacza 80 jest dołączone do poszczególnych wejść detektorów 82, 84 dodatniego i ujemnego poziomu napięcia, które są w zasadzie identyczne jak detektory 76 i 78. Poszczególne wyjścia detektorów 82 i 84 są dołączone do poszczególnych wejść dwóch układów bistabilnych 86, 88, z których każdy ma jedno wejście dołączone do wyjścia generatora 92 impulsów zegarowych. Wyjścia układów bistabilnych 86, 88 są dołączone do wejść sterujących przełącznikami S5 i S6 i łącznie tworzą wyjście przetwornika napięciowo-częstotliwościowego 62.

Poszczególne wyjścia układów bistabilnych 86, 88 są dołączone do wejść sumującego i odejmującego licznika rewersyjnego 64 wyposażonego w wyjście stanowiące wyjście 50 pomiarowego układu elektronicznego 24 licznika energii czynnej.

Podczas pracy dzielnik potencjału utworzony przez rezystory R2 i R3 wytwarza w punkcie 36 połączenia napięcie V_x , którego wartość chwilowa jest proporcjonalna do napięcia pomiędzy przewodami L i N. Napięcie V_x jest dostarczane do układu mnożącego 60, gdzie jest ono doprowadzane

do układu całkującego i całkowane w tym układzie wykonanym w oparciu o wzmacniacz 72.

W rezultacie połączenia tego układu całkującego z detektorami 76 i 78, układem bistabilnym 79, przełącznikami S3 i S4 i źródłami napięć odniesienia $+V_R$ i $-V_R$ uzyskuje się układ działający jako oscylator, który w przypadku, gdy napięcie V_X jest równe zeru, wytwarza na wyjściach układu bistabilnego 79 napięcia o przebiegach prostokątnych o wypełnieniu 1:1. Napięcia odniesienia $+V_R$ i $-V_R$ wybrano jako większe od napięcia V_X o największej normalnie oczekiwanej amplitudzie, natomiast stała czasowa układu całkującego jest wybrana w ten sposób, że częstotliwość przebiegów prostokątnych jest znacznie większa od częstotliwości napięcia V_X (posiadającego oczywiście normalną częstotliwość sieci 50 Hz lub 60 Hz), przy czym typowa częstotliwość przebiegów prostokątnych wynosi około 10 kHz. Zatem gdy napięcie V_X jest dodatnie, w celu zachowania równowagi przełącznik S4 musi być zamknięty dłużej niż przełącznik S3, natomiast gdy napięcie V_X jest ujemne, w celu zachowania równowagi przełącznik S3 musi być zamknięty dłużej niż przełącznik S4, to jest odpowiednie współczynniki wypełnienia dwóch napięć o przebiegach prostokątnych zmieniają się w przeciwnych kierunkach, w zależności od amplitudy i biegunowości napięcia V_X . Matematycznie można to zapisać następująco:

$$V_X T + V_R (T-t) - V_R t = 0, \quad (1)$$

gdzie T określa okres napięcia o przebiegu prostokątnym, a t określa czas, w którym przełącznik S4 jest zamknięty w okresie T. Przekształcając równanie (1) otrzymujemy:

$$t/T = (V_R + V_X) / 2V_R \quad (2)$$

oraz

$$1-t/T = (V_R - V_X) / 2V_R \quad (3)$$

Pomiędzy punktami 28 i 32 bocznika 20 wytwarzane jest napięcie V_Y , którego wartość chwilowa jest proporcjonalna do chwilowej wartości prądu płynącego przez obwód L. Napięcie V_Y jest dostarczone również do układu mnożącego 60, w którym jest zmieniana jego biegunowość i jest wzmacniane za pomocą wzmacniacza 66. Odwrócone i wzmacnione napięcie wytworzone we wzmacniaczu 66 jest w wyniku poddawane mnożeniu przez wartość $1-t/T$ w przełączniku S1, ponownie jest zmieniana jego biegunowość i w wyniku napięcie jest mnożone przez wartość t/T w przełączniku S2. Napięcie uzyskiwane w wyniku tych mnożeń są sumowane ze zmianą znaku we wzmacniaczu sumującym 68. Napięcie wyjściowe V_Z wytwarzane przez wzmacniacz 68 jest więc proporcjonalne do

$$V_Y (V_R - V_X) (2V_R - V_Y/V_R + V_X) 2V_R, \quad (4)$$

co można uprościć do wyrażenia

$$\frac{-V_X V_Y}{V_R} \quad (5)$$

Zatem napięcie wyjściowe V_Z , które jest również napięciem wyjściowym układu mnożącego 60, jest proporcjonalne do $V \cdot I$, to jest do iloczynu napięcia pomiędzy przewodami L i N i prądu płynącego przez przewód L. Założono, że układ mnożący 60 pracuje w układzie mnożenia do czwartej potęgi.

Napięcie V_Z jest dostarczane do przetwornika na-

pięciowo-częstotliwościowego 62, w którym jest całkowane przez układ całkujący zbudowany na wzmacniaczu 80. W przypadku gdy napięcie V_Z jest ujemne (co oznacza, że iloczyn $V \cdot I$ jest dodatni), na wyjściu wzmacniacza 80 narasta napięcie dodatnie z prędkością zależną od amplitudy napięcia wyjściowego i przełącza detektor 82. Następujący bezpośrednio po tym impuls zegarowy z generatora 92 impulsów zegarowych przełącza układ bistabilny 86, powodując zamknięcie przełącznika S5 w celu dołączenia źródła dodatniego napięcia odniesienia $+V_R$ do układu całkującego. Następny kolejny impuls zegarowy również przełącza układ bistabilny 86, w związku z czym źródło napięcia odniesienia $+V_R$ jest w rzeczywistości dołączone do układu całkującego dokładnie przez czas jednego okresu impulsów zegarowych wytwarzanych przez generator 92. Dokładnie określona wartość ładunku dostarczana w tym czasie do układu całkującego jest wystarczająca do tego, aby sprawdzić poziom na wyjściu układu całkującego z powrotem do wartości poniżej poziomu detekcji detektora 82. Opisana kolejność zdarzeń jest następnie powtarzana z częstotliwością proporcjonalną do amplitudy napięcia V_Z . W przypadku, gdy napięcie V_Z ma wartość dodatnią, co może wystąpić w tych częściach cyklu napięcia V , dla których przesunięcie fazowe pomiędzy napięciem V i prądem I wynosi 90° , przetwarzalnie realizowana jest kolejność dokładnie analogiczna do opisanej dla ujemnych wartości V_Z , lecz w tym przypadku sterowanie jest prowadzone przez detektor 84, układ bistabilny 88 i źródło ujemnego napięcia odniesienia $-V_R$.

Układ bistabilny 86 wytwarza zatem pierwszy ciąg impulsów, którego częstotliwość jest proporcjonalna do wartości iloczynu $V \cdot I$ wówczas, gdy iloczyn ten ma wartość dodatnią, natomiast w przypadku gdy iloczyn $V \cdot I$ jest ujemny, układ bistabilny 88 wytwarza ciąg drugi impulsów, którego częstotliwość jest proporcjonalna do wartości iloczynu $V \cdot I$. Normalna maksymalna wartość częstotliwości tych impulsów została ustalona na poziomie około 10 kHz.

Pierwszy i drugi ciągi impulsów są dostarczane do wejść licznika rewersyjnego 64, gdzie w wyniku są całkowane po czasie. Każdorazowo, gdy licznik rewersyjny 64 osiąga wstępnie określoną wartość — zwykle rzędu 10^4 , wytwarza impuls nadmiaru, który jest dostarczany do tyrystora T1 pokazanego na fig. 1. Długość impulsu nadmiaru ustalono pomiędzy długością połowy i całego okresu napięcia V w celu zapewnienia przełączenia tyrystora w stan przewodzenia, a następnie wywoływany jest obrót silnika krokowego 52. Silnik krokowy 52 napędza koła wskaźnikowe licznika sumującego 54 za pośrednictwem wcześniej wspomaganej przekładni w taki sposób, że w wyniku licznik sumujący 54 kontynuuje całkowanie po czasie rozpoczęte w liczniku rewersyjnym 64, a więc wskazuje całkowitą wartość energii elektrycznej dostarczanej przewodami L i N do odbiorcy.

Należy uwzględnić, że układ mnożący 60, przetwornik napięciowo-częstotliwościowy 62 i licznik 64 pokazane na fig. 2 uzyskują stałe napięcia zasilania wymagane do ich pracy z wejść 38, 40 i 42

pomiarowego układu elektronicznego 24 licznika energii czynnej. Dla uproszczenia na fig. 2 nie pokazano szczegółów połączeń większości poszczególnych elementów układu mnożącego 61, przetwornika napięciowo-częstotliwościowego 62 i licznika 64 z wejściami 38, 40 i 42, lecz niektóre z tych połączeń zostały pokazane w charakterze przykładu. Poszczególne napięcia zasilające na wejściach 38, 40 i 42 są uzyskiwane z napięcia V pomiędzy przewodami L i N, jak można to zauważyć na fig. 1, za pomocą układu zasilacza mocy utworzonego z rezystora R6, diod D1 i D2, kondensatorów C1 i C2, rezystorów R4 i R5 i diod Zenera Z1 i Z2. Typowe wartości tych napięć wynoszą około +5 V, 0 V i -5 V w odniesieniu do zacisku 14 (a więc w odniesieniu do przewodu L).

Pomiarowy układ elektroniczny 24 licznika energii czynnej jest bezpośrednio dołączony do przewodu i reaguje na napięcie elektryczne tego przewodu, nadając za podwyższonym napięciem tego przewodu, zwykle 250 V.

Ponieważ całkowita wartość prądu wymagana do pracy pomiarowego układu elektronicznego 24 jest stosunkowo mała, rezystor R6 ma stosunkowo dużą wartość i jak już wspomniano ma również stosunkowo dużą wartość. Zatem każda duża amplituda napięcia w stanie nieustalonym, pojawiającego się pomiędzy przewodami L i N, jest tłumiona przez te dwa rezystory przed dojściem do pomiarowego układu elektronicznego 24. Rezystory te w celu dalszego zabezpieczenia wykonane są w postaci charakteryzującej się dużą pojemnością skrośną. Pomiarowy układ elektroniczny 24 miernika energii czynnej jest ponadto zabezpieczony przed napięciami w stanie nieustalonym wskutek tego, że jest zamontowany na boczniku 20, stanowiącym stosunkowo duży kawałek metalu o małej rezystancji, w którym istnieje małe prawdopodobieństwo wytworzenia wysokich napięć. Niezależnie od tego, jak zabezpieczenie przed możliwością pojawienia się dużych prądów w boczniku 20, wejścia wzmacniacza 66 zabezpieczone są przez diody D3 i D4 (fig. 2). Podobnie wejścia wzmacniacza 72 są zabezpieczone zarówno przez rezystor 11 oraz diody D5 i D6. Te różne środki zabezpieczenia pomiarowego układu elektronicznego 24 przed działaniem napięć w stanie nieustalonym nie zwiększają w istotny sposób całkowitych kosztów produkcji licznika 10 energii czynnej.

Podczas pracy może zmieniać się temperatura bocznika, a więc i jego rezystancja. Do kompensacji błędów, które mogłyby wystąpić wskutek zmian temperatury, służy rezystor R1. Rezystor R1 jest więc wybrany tak, że jego współczynnik temperaturowy rezystancji jest zasadniczo identyczny jak współczynnik bocznika 20 i jego temperatura podąża za temperaturą bocznika. Stosunek R/R_1 , gdzie R określa rezystancję części bocznika 20 pomiędzy punktami 28 i 32, jest więc zasadniczo niezależny od temperatury. Ponieważ napięcie V_y wyznacza równanie $V_y = I \cdot R$, napięcie V_y na wyjściu wzmacniacza 66 określa zależność

$$V_y = I \cdot R \cdot R_7 / R_1 \quad (6)$$

a więc wartość ta jest również zasadniczo niezależna od temperatury.

Należy zauważyć, że ponieważ wszystkie elemen-

ty przyrządu pomiarowego, którym jest licznik 10, są włączone między zaciski 18 i 14, przy czym zacisk 14 znajduje się po stronie dostawcy, a nie odbiorcy energii elektrycznej, prąd roboczy pobierany przez sam licznik nie przepływa przez bocznik (20) i nie oddziałuje więc na wskazania licznika. W wielu zastosowaniach prąd roboczy pobierany przez licznik jest pomijalnie mały. W tym przypadku energia dostarczana do pomiarowego układu elektronicznego 24 licznika energii czynnej może być doprowadzona do dowolnego punktu między zaciskami 14, 16. Ma to szczególnie miejsce, gdy napięcie na boczniku będzie bardzo małe (kilka mV) w porównaniu z napięciem pomiędzy przewodem L i przewodem N (zwykle co najmniej 100 V) i również w porównaniu z napięciem zasilacza mocy (zwykle około 10 V).

W liczniku 10 dokonano kilku zmian. I tak np. bocznik 20 można zastąpić transformatorem prądowym. Ponadto silnik krokowy 52 i tyrystor T1 można zastąpić przez element piezoelektryczny wyginany przez impulsy z wyjścia 50, przy czym wygięcia te powodują pobudzanie licznika sumującego 54.

Innym rozwiązaniem jest zastąpienie tyrystora T1, silnika krokowego 52 i licznika sumującego 54 przez licznik elektroniczny lub rejestr, który nie zmienia stanu przy chwilowym zaniku zasilania. Licznik ten może być wykonany w technice pamięci na magnetycznych domenach pęcherzykowych lub w technice pamięci MNOS, przy czym wskazania tego licznika są wyświetlane na wielopozycyjnym wyświetlaczu cyfrowym wykonanym w technice ciekłych kryształów (LCD) lub diod świecących (LED) typu siedmiosegmentowego.

Ponadto zasilacz mocy pomiarowego układu elektronicznego 24 licznika energii czynnej może stanowić jakiś inny dogodny układ nietransformatorem np. układ wytwarzający jedno tylko napięcie zasilające mierzone względem zacisku 14 i przewodu. Wymaga to oczywiście dokonania pewnych niezbędnych zmian w pomiarowym układzie elektronicznym 24. Pomiarowy układ elektroniczny 24 można ponadto zmodyfikować, zastępując przetwornik napięciowo-częstotliwościowy 62 przetwornikiem analogowo-cyfrowym próbującym napięcie V_z z określoną częstotliwością.

Na figurze 3 jest przedstawione inne wykonanie pomiarowego układu elektronicznego z fig. 1 i 2. Pomiarowy układ elektroniczny 124 licznika energii czynnej zawiera układ mnożący 160, przetwornik napięciowo-częstotliwościowy 162 i licznik rewersyjny 164 zbudowane w sposób analogiczny jak układ mnożący 60, przetwornik napięciowo-częstotliwościowy 62 i licznik rewersyjny 64 pomiarowego układu elektronicznego 24. Układ elektroniczny 124 ma wejścia 126, 130, 134, 138, 140, 142 i wyjście 150, które odpowiadają wejściom 26, 30, 34, 38, 40, 42 i wyjściu 50 pomiarowego układu elektronicznego 24, jednakże sam pomiarowy układ elektroniczny 124 licznika energii czynnej jest włączony w liczniku 10 i w nieco inny sposób, co zostanie wyjaśnione później.

Układ mnożący 160 jest układem o zmiennej transkonduktancji i ma dwie (pierwszą i drugą) pary tranzystorów TR1, TR2 i TR3, TR4 o współ-

ných emiterach. Bazy tranzystorów **TR1** i **TR3** są wspólne i dołączone do wejścia 130 pomiarowego układu elektronicznego 124 natomiast bazy tranzystorów **TR2**, **TR4** są również wspólne i dołączone do wejścia 126. Wejścia 126 i 130 są dołączone bezpośrednio do punktów 28 i 32 bocznika 20, przy czym pominięto rezystor **R1** z fig. 1.

Wspólne emitery tranzystorów **TR1**, **TR2** i **TR3**, **TR4** są dołączone poprzez poszczególne rezystory **R21**, **R22** o równej rezystancji i do ujemnego wejścia zasilającego 142.

Rezystor **R3** z fig. 1 i 2 również pominięto, tak że wejście 134 pomiarowego układu elektronicznego 124 jest dołączone zewnętrznie jedynie do zacisku 18 (przez rezystor **R2** o stosunkowo dużej wartości). Wejście 134 jest dołączone zewnętrznie poprzez szeregowe połączenie półprzewodnikowego przełącznika **S10** i rezystor **R23** do wspólnych emiterów tranzystorów **TR1**, **TR2** a poprzez półprzewodnikowy przełącznik **S11** do wejścia wzmacniacza-różnicowego 180. Przełączniki **S10** i **S11** są uruchamiane w przeciwfazie sygnałami o przebiegu prostokątnym o wypełnieniu równym 1:1. Wyjście wzmacniacza 180 jest dołączone poprzez rezystory **R24**, **R25** o wartości równej wartości rezystorów **R21** i **R22** do negującego wejścia tego wzmacniacza i do wspólnych emiterów tranzystorów **TR1**, **TR2**, podczas gdy wejście nienegujące wzmacniacza 180 jest dołączone poprzez równoległe połączenie kondensatora **C10** i diody **D18** spolaryzowanej w kierunku przewodzenia do wejścia 140 o napięciu równym zero woltów i poprzez rezystor **R26** do ujemnego wejścia zasilającego 142.

Kolektory tranzystorów **TR1** i **TR2** są połączone w punkcie 182, natomiast kolektory tranzystorów **TR2**, **TR4** — w punkcie 184, przy czym punkty 182 i 184 stanowią wejście układu mnożącego 163. Punkty 182 i 184 są połączone poprzez rezystory **R27**, **R28** o równej wartości z końcem łańcucha złożonego z kilku (np. sześciu) połączonych szeregowo diod **D10** do **D15**, przy czym drugi koniec łańcucha diod jest dołączony do baz pary tranzystorów pnp **TR5**, **TR6**. Bazy tranzystorów **TR5**, **TR6** są dołączone poprzez rezystor **R29** do dodatniego wejścia zasilającego 138 i emitery tych tranzystorów są dołączone również do wejścia 138. Kolektory tranzystorów **TR5**, **TR6** są dołączone do punktów 182 i 185.

Punkty 182 i 184 są dołączone do wejść negującego i nienegującego wzmacniacza różnicowego 186, którego wejścia są jednocześnie wejściami przetwornika napięciowo-częstotliwościowego 162. Wyjście wzmacniacza 186 jest dołączone w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego do wejścia negującego tego wzmacniacza poprzez kondensator **C11** w celu uzyskania układu całkującego, a ponadto jest dołączone poprzez rezystor **R30** do wejścia detektora 188 poziomu napięcia. Wejście detektora 188 jest dołączone poprzez kondensator **C12** do ujemnego wejścia zasilającego 142, podczas gdy wejście detektora 188 jest dołączone do wejścia układu bistabilnego 190. Wejście układu bistabilnego 190 jest dołączone do wejścia układu bistabilnego 192, którego wyjście jest dołączone do wejścia dwuwejściowego elementu logicznego I 194. Wejście zegarowe układu bistabilnego 192 i wejście zerujące

układu bistabilnego 190 są połączone w celu odbierania odpowiednich sygnałów zegarowych **CL1** i **CL2** wytwarzanych przez generator 196 impulsów zegarowych a drugie wejście elementu I 194 odbiera sygnały zegarowe **CL1** poprzez dwa inwertery 198 i 199 połączone kaskadowo. Generator 196 impulsów zegarowych zawiera oscylator stabilizowany kwarcowo (nie pokazany) o częstotliwości pracy 32768 Hz, dzielnik częstotliwościowy i obwody logiczne (nie pokazane) w celu wytwarzania w znany sposób sygnałów zegarowych **CL1** i **CL2** o jednakowej częstotliwości, zwykle 8192 Hz i kształcie pokazanym na fig. 4.

Wyjście elementu I 194 jest dołączone do elektrody sterującej półprzewodnikowego przełącznika **S12** włączonego między źródło 200 ujemnego napięcia odniesienia podobne do źródła $-V_R$ z fig. 2, a jeden koniec rezystora **R31**. Druga końcówka rezystora **R31** jest dołączona do bazy tranzystora npn **TR7** i poprzez rezystor **R32** do wejścia 140. Rezystor **R32** jest zamontowany na zewnątrz pomiarowego układu elektronicznego 124 blisko bocznika 20 w miejsce rezystora **R1** z fig. 1 i 2. Pomiarowy układ elektroniczny 124 zawiera dodatkowe wejście 218. Emiter tranzystora **TR7** jest dołączony do tranzystora npn **TR8**, tworząc następną parę tranzystorów o wspólnych emiterach, które są dołączone poprzez rezystor **R33** do źródła 200 napięcia odniesienia. Baza tranzystora **TR8** jest dołączona do wejścia 140 poprzez rezystor **R34** i do wejścia 142 poprzez szeregowe połączenia rezystora **R35** i potencjometru **RV1**. Kolektory tranzystorów **TR7**, **TR8** są dołączone do wejść wzmacniacza 186.

Wyjście elementu I 194 stanowi wyjście przetwornika napięciowo-częstotliwościowego 162 i jest dołączone przez wzmacniacz buforowy 202 do wejścia zliczającego 203 licznika rewersyjnego 164. Licznik 164 jest binarnym licznikiem 12-bitowym z możliwością wstępnego ustawiania i ma wejście sterujące 204 kierunkiem zliczania, wejście 206 wstępnego ustawiania i zespół wejść 208, do których dostarczany jest w sposób ciągły sygnał cyfrowy reprezentujący zadany stan początkowy. Licznik rewersyjny 164 ma również zespół wyjść 210 połączonych do dekodera 212, który wytwarza impuls wyjściowy po osiągnięciu przez licznik zadanego stanu. Wyjście dekodera 212 jest dołączone do wejścia układu bistabilnego 214, na którego drugie wejście podawany jest z inwertera 198 zanegowany sygnał zegarowy **CL1**. Wyjście układu bistabilnego 214 jest dołączone do wejścia 206 licznika 164 i stanowi wyjście 150 pomiarowego układu elektronicznego 124 licznika energii czynnej.

Wspomniane uprzednio sygnały w przeciwfazie do sterowania przełącznikami **S10** i **S11** są wytwarzane przez układ 216 zawierający rezystor **R35** o dużej impedancji (680 k Ω) włączony między zacisk 18 licznika 13, a wejście 220 pomiarowego układu elektronicznego 124. Wejście 220 jest dołączone poprzez kondensator **C13** do wejścia 142 i poprzez szeregowe połączenie rezystora **R36** i wzmacniacza 222 do wejścia układu bistabilnego 224. Wyjście układu bistabilnego 224 jest dołączone do wejścia przełącznika **S10** i wejścia 204 licznika 164 — podczas gdy wyjście tego układu bistabilnego jest do-

łączone do wejścia przełącznika S11 i wejścia układu bistabilnego 224.

Działanie pomiarowego układu elektronicznego 124 jest następujące.

Wzmacniacz 222 w układzie 216 wytwarza sygnał prostokątny o częstotliwości równej częstotliwości napięcia V między przewodami L i N (to jest częstotliwości sieci 50 Hz lub 60 Hz). Ten sygnał prostokątny dochodzi do układu bistabilnego 224, który wytwarza na wyjściach sygnały prostokątne będące w przeciwfazie względem siebie, o współczynnikach wypełniania równych 1:1 i o częstotliwości równej połowie częstotliwości sieci. Te sygnały w przeciwfazie o częstotliwości 25 Hz włączają i wyłączają naprzemiennie przełączniki S10 i S11 w taki sposób, że w chwili przewodzenia przełącznika S10 przełącznik S11 nie przewodzi i na odwrót.

Rezystor R2 wymusza przepływ prądu I_x o wartości proporcjonalnej do napięcia V między przewodami L i N i stanowi pierwsze wejście układu mnożącego 160 o zmiennej transkonduktancji. Rezystor R2 po każdym kolejnym włączeniu przełącznika S10, S11 zmienia prąd płynący we wspólnych emiterach tranzystorów TR1, TR2 o wartość równą I_x , przy czym znak tego prądu zmienia się po każdej połowie okresu przebiegów prostokątnych w przeciwfazie, w którym to okresie przełącznik S11 przewodzi. Zmianę znaku powoduje wzmacniacz odwracający fazę o wzmocnieniu jednostkowym, zawierający wzmacniacz 180 i rezystor R24 ujemnego sprzężenia zwrotnego. Zmiany prądu powodują zmianę transkonduktancji tranzystorów TR1 i TR2.

Bocznik 20 wytwarza między punktami 28 i 32 napięcie V_y o wartości chwilowej proporcjonalnej do chwilowej wartości prądu I płynącego w przewodzie L. Napięcie V_y jest również dostarczane do układu mnożącego 160 między bazy tranzystorów TR1, TR2.

Tranzystory TR1, TR2 dążą do wytworzenia napięcia wyjściowego V_o między kolektorami (czyli między punktami 182, 184 proporcjonalnego do iloczynu $V_y \cdot V_x$). Gdyby tranzystory TR1 i TR2 były jedynymi tranzystorami w tym układzie, napięcie wyjściowe zawierałoby składowe harmoniczne, które są eliminowane z układu przez tranzystory TR2 i TR4 dzięki faktowi, że otrzymują one to samo napięcie wejściowe V_y , jednak ich wyjścia (czyli kolektory) są sprzężone krzyżowo z wyjściami (kolektorami) tranzystorów TR1, TR2.

Napięcie V_o jest dodawane algebraicznie w punktach 182, 184 z napięciem uchybu wytwarzanym przez tranzystory TR7, TR8 w przetworniku napięciowo-częstotliwościowym 162 podczas okresu nieprzewodzenia przełącznika S12. Napięcie uchybu reguluje się potencjometrem RV1 w celu uzyskania ujemnego napięcia większego od ujemnego napięcia V_o pełnego zakresu, dzięki czemu napięcie różnicowe dostarczane w stanie nieprzewodzenia przełącznika S12 do układu całkowitego pracującego w oparciu o wzmacniacz 186 dostarczanego do wejścia przetwornika 162) jest zawsze ujemne. Napięcie różnicowe powoduje liniowy wzrost napięcia wyjściowego wzmacniacza 186 z szybkością zależną od wartości napięcia różnicowego, przy czym na-

pięcie to dostarczane jest do detektora 188 w celu przełączenia go.

Przełączenie detektora 188 powoduje ustawienie układu bistabilnego 190, z kolei który wymusza ustawienie układu bistabilnego 192 przez następne narastające zbocze sygnału zegarowego CL1 (pokazanego jako przebieg A na fig. 4). Układ bistabilny 192 działa na element I 194, dzięki czemu przełącznik S12 jest wprowadzany w stan przewodzenia tym samym narastającym zboczem sygnału zegarowego CL1. Następne narastające zbocze sygnału zegarowego CL2, pokazane jako przebieg B na fig. 4 zeruje układ bistabilny 190, przygotowując go do wyzerowania następnym narastającym zboczem zegarowego sygnału CL1. Wyzerowanie układu bistabilnego 192 blokuje element I 194, wprowadzając przełącznik S12 ponownie w stan nieprzewodzenia. Przełącznik S12 pozostaje w stanie przewodzenia w ściśle określonym czasie równym jednemu okresowi sygnału zegarowego CL1.

Podczas przewodzenia przełącznik S12 zmienia napięcie uchybu wytwarzane przez tranzystory TR7, TR8 o ściśle określoną wartość potrzebną do otrzymania dodatniego napięcia różnicowego, co z kolei powoduje spadek napięcia wyjściowego wzmacniacza 186 do wartości mniejszej od poziomu progowego detektora 188. Wówczas gdy przełącznik S12 ponownie stanie się nieprzewodzący, cała opisana tu kolejność zdarzeń powtarza się.

Należy oczekiwać, że maksymalna częstotliwość przełączania przełącznika S12, czyli maksymalna częstotliwość wyjściowa przetwornika napięciowo-częstotliwościowego 162 wynosi 8192 Hz. Potencjometr RV1 ustawiony jest w taki sposób, że przy zerowym prądzie płynącym przez bocznik 20 częstotliwość wyjściowa przetwornika wynosi połowę częstotliwości maksymalnej czyli 4096 Hz. Przy niezerowym prądzie bocznika wynikowe napięcie V_o wytwarzane przez tranzystory TR1, TR2 zmienia wspomniane napięcie różnicowe, tak, że częstotliwość pracy przełącznika S12 zwiększa się lub maleje względem 4096 Hz, w zależności od tego, czy napięcie V_o jest ujemne czy dodatnie, przy czym wartość tego przyrostu lub spadku zależy od iloczynu $V \cdot I$. Przetwornik napięciowo-częstotliwościowy 162 wytwarza więc na wyjściu (czyli na wyjściu elementu I 194) sygnał impulsowy, którego częstotliwość zależy od wartości iloczynu $V \cdot I$.

Impulsy wytwarzane przez przetwornik napięciowo-częstotliwościowy 162 są dostarczane i zliczane w liczniku rewersyjnym 164. Sygnał o przebiegu prostokątnym i częstotliwości 25 Hz, sterujący przełącznikiem S11 steruje również kierunkiem zliczania licznika rewersyjnego 164, który zlicza w górę, gdy przewodzi przełącznik S10 i w dół — gdy przewodzi przełącznik S11. Ponieważ przełączniki S10 i S11 zmieniają również znak ilorazu V_o/V , liczba N impulsów dostarczanych do licznika rewersyjnego 164 podczas jednego okresu przebiegu prostokątnego o częstotliwości 25 Hz w czasie t_1 wynosi:

$$N = [f_o + k \int_{t_1}^{t_1 + T/2} V \cdot I \cdot dt] - [f_o - k \int_{t_1 + T/2}^{t_1 + T} V \cdot I \cdot dt] - \quad (7)$$

Co po uproszczeniu:

$$N = \frac{kT}{2} \int_{t_1}^{t_2} V \cdot I \cdot dt \quad (8)$$

gdzie:

f_0 — częstotliwość impulsów dla $I = 0$, T — okres sygnałów prostokątnych 25 Hz, k — stała.

Liczba impulsów zliczanych przez licznik rewersyjny 164 jest proporcjonalna do całki po czasie z iloczynu $V \cdot I$.

Należy oczekiwać, że licznik rewersyjny 164 może zliczać do 2^{12} czyli do 4096. Jednakże za każdym razem po osiągnięciu przez licznik 164 określonego stanu zliczania wynoszącego zwykle 7/8 stanu maksymalnego (czyli stanu 3584), dekodery 212 wytwarza impuls wyjściowy, który ustawia licznik w zadanym stanie wstępnym wynoszącym zwykle 1/8 stanu maksymalnego (czyli 512). Licznik rewersyjny 164 zlicza w górę i w dół i może zliczać w górę tylko do określonego stanu, w którym spowoduje wytworzenie na wyjściu 150 impulsu. To znaczy, jeżeli tym określonym stanem jest stan 3584, przy którym licznik wytwarza impuls wyjściowy i następnie natychmiast zlicza w dół, zliczanie w dół zacznie się od ustalonego stanu 512. Dzięki takiemu rozwiązaniu uniknięto wytwarzania na wyjściu 150 błędnych impulsów wyjściowych.

Impulsy występujące na wyjściu 150 są dostarczane do tyrystora II z fig. 1, który steruje silnikiem krokowym 52 i licznikiem rewersyjnym 54, co opisano w połączeniu z fig. 1 i 2.

Do poprawnego działania pomiarowego układu elektronicznego 124 niezbędne jest, aby charakterystyki (jak np. wzmocnienie prądowe) przynajmniej tranzystorów TR1 do TR4 i TR7, TR8 były ściśle dopasowane, jednakże ponieważ pomiarowy układ elektroniczny 124 zrealizowano w postaci pojedynczego układu scalonego, co opisano w powiązaniu z pomiarowym układem elektronicznym 24 na fig. 1 i 2, to wymaganie jest w praktyce stosunkowo łatwe do realizacji.

Pomiarowy układ elektroniczny 124 ma kilka istotnych zalet, przy czym najważniejszą jest prawdopodobnie sposób samokompensacji zmian w wyniku zmian temperatury i uchybów występujących w układzie mnożącym 160 o zmiennej transkonduktancji. Rozważając równanie (7), w tym samym okresie jak okres sygnału o przebiegu prostokątnym i o częstotliwości 25 Hz omawiany w równaniu (7), te zmiany i uchyby można uważać za stałe, w związku z czym powodują one zmianę f_0 o małą, stałą wartość. Można je wyeliminować dzięki pracy przełączników S10, S11 i odpowiednim zmianom kierunku zliczania licznika rewersyjnego 164.

Tranzystory TR7, TR8 mogą działać skutecznie jako układ mnożący, analogicznie do układu utworzonego na tranzystorach TR1 do TR4, w celu wytworzenia sygnału odniesienia przeciwdziałającego sygnałowi V_0 wytworzonemu przez tranzystory TR1 do TR4. W ten sposób uchyby wynikające np. ze starzenia się tranzystorów TR1 do TR4 będą usuwane przez odpowiednie zmiany charakterystyk tranzystorów TR7, TR8, dzięki wspomnianemu dokładnemu dopasowaniu charakterystyk tych tran-

zystorów w wyniku wykonania ich w układzie scalonym.

Uchyby temperaturowe pochodzące od bocznika 20 eliminowane są przez rezystor R32, który ze względu na styczność cieplną z bocznikiem i posiadanie tego samego współczynnika temperaturowego rezystancji, zmienia sygnał odniesienia sprzężenia zwrotnego wytwarzany przez tranzystory TR7, TR8 w okresie przewodzenia przełącznika S12, przy czym zmiana ta jest proporcjonalna do temperaturowej zmiany rezystancji bocznika.

Tranzystory TR5 i TR6 działają jako źródła prądu stałego w celu utrzymania przepływu prądów wpływających do punktów 182, 184 z dodatniego zasilającego wejścia 138 na poziomie stałym, określonym przez średnią wartość napięć w tych punktach. Jeżeli jest to pożądane, można zastąpić tranzystory TR5, TR6 wraz z ich układami polaryzacji przez dwa rezystory o równych wartościach, włączone między wejście 133 i punkty 182 i 184.

Innym możliwym wykonaniem pomiarowego układu elektronicznego 124 licznika energii czynnej jest usunięcie wzmacniacza 180 i związanych z nim rezystorów R24, R26 oraz kondensatora C10 i dołączenie wyjścia przełącznika S11 do wspólnych emiterów tranzystorów TR3, TR4 tak, aby przełączniki S10, S11 zmieniały skuteczną polaryzację prądu I_x dostarczanego do układu mnożącego 160. Pomiarowy układ elektroniczny 124 można również zmodyfikować, zastępując przetwornik napięciowo-częstotliwościowy 162 przetwornikiem analogowo-cyfrowym, co opisano wcześniej podczas omawiania pomiarowego układu elektronicznego 24, przy czym w takim przypadku polaryzacja, z jaką sygnały cyfrowe wytwarzane przez ten przetwornik są akumulowane w liczniku rewersyjnym 164 (lub innych układach pamięciowych) zmieniałyby się okresowo pod wpływem sygnału o przebiegu prostokątnym i o częstotliwości 25 Hz.

Ponieważ częstotliwość sygnałów o przebiegu prostokątnym, które sterują przełącznikami S10, S11 i kierunek zliczania licznika rewersyjnego 164 nie są parametrami krytycznymi, innym wykonaniem, w jakim można wykonać pomiarowy układ elektroniczny 124 jest zastąpienie układu 621 przez dzielnik częstotliwościowy 1/256 podłączony do generatora 196 impulsów zegarowych i układ bistabilny dzielący przez dwa — podłączony do wyjścia dzielnika 1/256. Ten układ bistabilny wytwarza więc dwa prostokątne sygnały w przeciwfazie o częstotliwości 16 Hz, zastępujące sygnały prostokątne o częstotliwości 25 Hz.

Należy zauważyć, że opisana technika eliminacji zmian w pomiarowym układzie elektronicznym 124 może być po niewielkich zmianach zastosowana w innych układach zawierających układy mnożące, np. w pomiarowym układzie elektronicznym 24 z fig. 2.

Na figurze 3C jest przedstawiony układ zabezpieczenia 230 przed przeciążeniem, który można zastosować w pomiarowym układzie elektronicznym 124. Układ zabezpieczenia 230 przed przeciążeniem zawiera binarny licznik rewersyjny 232 z możliwością wstępnego zadawania stanu. Licznik

rewersyjny 232 ma wejście zliczające 234 podłączone do wyjścia wzmacniacza 202 z fig. 38, wejście 236 wstępnego ustawienia podłączone do wyjścia dwuwejściowego elementu LUB 238 i zespół wejść 240, do których są dostarczane w sposób ciągły sygnały cyfrowe reprezentujące zadany wstępnie stan. Licznik rewersyjny 232 ma również zespół wejść 242 podłączonych do dekodera 244, który wytwarza impuls wyjściowy po osiągnięciu przez licznik rewersyjny 232 zadanego stanu. Wyjście dekodera 244 jest podłączone do wejścia układu bistabilnego 246 którego wyjście jest podłączone do wejścia elementu LUB 238. Na drugie wejście elementu LUB 238 jest doprowadzony jeden z sygnałów o częstotliwości 25 Hz z układu 216 z fig. 3B przez dzielnik częstotliwości 1/5 247 i układ 248 formowania impulsów.

Wejście zerujące układu bistabilnego 246 jest podłączone do źródła napięcia (np. dodatniej szyny zasilającej 138) przez przycisk zerujący 249 dostępny na zewnątrz obudowy 12 licznika 10, podczas gdy wyjście układu bistabilnego 246 jest również podłączone przez odpowiedni wzmacniacz 250 do wyjścia 252 pomiarowego układu elektronicznego 124. Wyjście 252 jest podłączone do wyłącznika (nie pokazanego) łączącego przewody L i N po stronie odbiorczej licznika 10 energii czynnej. Wyłącznik ten można umieścić w liczniku 10 np. w obudowie 12, w takim przypadku przycisk 249 może również działać jako przycisk zerujący wyłącznika.

Podczas działania układu licznik rewersyjny 232 zlicza te same impulsy co licznik rewersyjny 164 z fig. 3B. Ustawienie licznika rewersyjnego 232 w stanie początkowym dokonują co 200 ms impulsy o częstotliwości 5 Hz, wytwarzane przez dzielnik 247 i układ 248 formowania impulsów.

Wstępnie zadany stan, po osiągnięciu którego następuje wytworzenie impulsu wyjściowego przez dekodery 244, wybiera się w taki sposób, aby licznik 232 nie osiągnął go w warunkach maksymalnego obciążenia (czyli wtedy, gdy do przewodów L i N po stronie odbiorczej licznika 10 podłączono maksymalne dopuszczalne obciążenie), ale aby ten stan został osiągnięty po przekroczeniu obciążenia maksymalnego, czyli w warunkach przeciążenia. Po wystąpieniu przeciążenia i osiągnięciu przez licznik 232 zadanego stanu, dekodery 244 wytwarzają impuls wyjściowy ustawiający układ bistabilny 246, który z kolei uruchamia wspomniany wyłącznik za pośrednictwem wzmacniacza 250 przewidzianego do tego celu, co spowoduje przerwanie dopływu energii dostarczanej do odbiorcy. Układ bistabilny 246 zeruje ponadto licznik rewersyjny 232, ustawiając go w stanie początkowym za pośrednictwem elementu LUB 238. Po znalezieniu i usunięciu przyczyny przeciążenia, dostarczenie energii można przywrócić za pomocą przycisku 249.

Na figurze 5 jest przedstawiony zmieniony i uproszczony zasilacz mocy stosowany z pomiarowymi układami elektronicznymi 24 lub 124. W zasilaczu tym zacisk 18 nie jest dołączony bezpośrednio do przewodu N, lecz do jednego końca rezystora R40 o stosunkowo małej wartości, którego drugi koniec jest dołączony bezpośrednio do przewodu N przy zacisku 118. Ogranicznik udarowy

260, który stanowi warystor lub rezystor sterowany napięciowo typu ZnO, jest włączony między zacisk 18 a zacisk 14 ogranicza napięcie między tymi dwoma zaciskami do wartości 600 V.

Zacisk 18 jest dołączony przez kondensator C20 i dwie włączone przeciwnie diody Zenera 23, 24 do zacisku 14. Diody Zenera ograniczają amplitudę napięcia przemiennego w węźle J między kondensatorem C20, a diodami Zenera do wartości około 8 V. Węzeł J jest dołączony do zacisku 14 przez szeregowe połączenie diody D20 i kondensatora C21 i przez szeregowe połączenie diody D21 i kondensatora C22, przy czym diody D20 i D21 są włączone przeciwnie. Dodatkowo stałe napięcie zasilania $+V_s$ równe około +7 V jest więc wytwarzane na katodzie diody D20, podczas gdy ujemne stałe napięcie zasilania $-V_s$ równe około -7 V jest wytwarzane na anodzie diody D21.

Elektroniczny licznik energii czynnej 10g z fig. 6 i 7 jest podobny w znacznej mierze do licznika 10 z fig. 1. W stosunku do licznika 10 licznik 10g zawiera scalony pomiarowy układ elektroniczny 124g podobny do układu elektronicznego 124 z fig. 3A i 3C. W poniższym opisie fig. 6 i 7 wszystkie elementy odpowiadające elementom z fig. 1 i 3 mają te same oznaczenia i opisane zostaną tylko te elementy licznika 10g, które różnią się od elementów licznika 10.

W liczniku 10g z fig. 6 wejścia 126 pomiarowego układu elektronicznego 124g jest dołączone do końcówki 16 poprzez rezystor R60 o małej impedancji i do wejścia 134 przez inny rezystor R62, podczas gdy wejście 130 jest dołączone do zacisku 14.

Wejście 134 pomiarowego układu elektronicznego 124g nie jest dołączone bezpośrednio do węzła 36 między rezystorami R2 i R3, a przez rezystor regulowany RV10. Końcówka rezystora R2 nie dochodząca do węzła 36 jest dołączona do końcówki 18 poprzez rezystor R64 i do końcówki 16 poprzez warystor 502 zabezpieczenia udarowego typu ZnO.

Zacisk 18 jest dołączony poprzez szeregowe połączenie rezystora R65, rezystora R66 i kondensatora C30 do anody diody D30 i do katody diody D31. Inny warystor 504 zabezpieczenia udarowego typu ZnO jest włączony między zacisk 16, a węzeł między rezystorem R65 a kondensatorem C30. Katoda diody D30 i anoda diody D31 są dołączone do zacisku 16 poprzez równoległe połączenia diody Zenera i kondensatora, Z6 z C31 i Z7 z C32, tworząc w ten sposób odpowiednio dodatni i ujemny punkt zasilania względem zacisku 16. Punkty te i zacisk 16 są dołączone do wejść 138, 142, 140 pomiarowego układu elektronicznego 124g.

Katoda diody D30 jest również dołączona poprzez diodę świecącą 508 i cewkę 150 do pomocniczego wyjścia 512 i wyjścia 150 pomiarowego układu elektronicznego 124g. Cewka 510 stanowi część zwykłego licznika elektromagnetycznego 516 używanego w automatach telefonicznych.

Pomiarowy układ elektroniczny 124g ma również parę wejść 520, 521, między które jest włączony kwarc 518 stanowiący element generatora 196 impulsów zegarowych, parę wejść 522, 523, między

które jest włączony kondensator C11 przetwornika napięciowo-częstotliwościowego 162 i parę wejść 524, 525, między które jest włączony regulowany rezystor RV1 przetwornika napięciowo-częstotliwościowego 162.

Pomiarowy układ elektroniczny 124g przedstawiono bardziej szczegółowo na fig. 7, na której pokazano układ mnożący 160 o zmiennej transkonduktancji, przetwornik napięciowo-częstotliwościowy 162 i licznik rewersyjny 164.

W układzie mnożącym 160 (fig. 7A) przełączniki S10, S11 i związany z nimi obwód układu elektronicznego 124 z fig. 3 (te przełączniki i związany z nimi obwód okresowo zmieniały polaryzację wejściowego sygnału układu mnożącego, który to sygnał reprezentuje napięcie V między przewodami L i N) zastąpiono przez układ przerywacza stykowego zawierający cztery tranzystory TR11 do TR14, przy czym kolektory tych tranzystorów są dołączone do wejścia zasilającego 140. Bazy tranzystorów TR11, TR13 są dołączone do wspólnego punktu 530 poprzez rezystory R70 i R71, podczas gdy bazy tranzystorów TR12, TR14 są dołączone do wspólnego punktu 532 poprzez rezystory R72, R73. Emitery tranzystorów TR11, TR14 są dołączone przez rezystory R74, R75 o równej wartości do wejścia —134 pomiarowego układu elektronicznego 124g i przez dwa dalsze rezystory R76, R77 o wartości równej wartości rezystorów R74, R75 do punktów wyjściowych 534, 536 przerywacza. Emitery tranzystorów TR12, TR13 są dołączone do punktów 234 i 536 poprzez rezystory R78, R79 o równej wartości, których łączna wartość jest większa 1,5 raza od łącznej wartości rezystorów R74 do R77.

Punkty wyjściowe 534, 536 przerywacza stykowego są dołączone do baz tranzystorów TR15, TR16, których kolektory są dołączone do wejścia zasilającego 138, a których emitery są dołączone do baz tranzystorów TR17, TR18. Kolektory tranzystorów TR17, TR18 są dołączone do wspólnych emiterów tranzystorów TR1, TR2 i do wspólnych emiterów tranzystorów TR3, TR4, podczas gdy ich emitery są podłączone poprzez rezystory R80, R81 o wartości równej wartości rezystorów R74 do R77 do kolektora tranzystora TR19. Emiter tranzystora TR19 jest dołączony do źródła 200 ujemnego napięcia odniesienia i działa jako źródło prądu stałego, współpracując z rezystorem R82 włączonym między bazę tranzystora TR19, a wejście zasilające 140 i z tranzystorem TR20 włączonym jako dioda (jego kolektor i baza są zawarte) między bazę a emiter tranzystora TR19. Rezystory R21 i R22 pomiarowego układu elektronicznego 124 z fig. 3 pominięto w pomiarowym układzie elektronicznym 124g.

Tranzystory TR5, TR6 pomiarowego układu elektronicznego 124 z fig. 3 i związane z nimi obwody zastąpiono dwoma rezystorami R82, R83 dołączonymi do punktów 182, 184 i do wejścia zasilającego 138 i dwóch rezystorów R84, R85 dołączonych do punktów 182, 184 i do wejścia zasilającego 140.

W przetworniku napięciowo-częstotliwościowym 162 zastąpiono przełącznik S12 przełącznikiem tranzystorowym TR21, rezystor R35 pominięto, a

regulowany rezystor RV1 połączono szeregowo z innym przełącznikiem tranzystorowym TR22 włączonym między bazę tranzystora TR8 a źródło 240 ujemnego napięcia odniesienia. Ponadto jak pokazano to na fig. 7B, pominięto element I 194 i inwertery 198, 199, a sygnał zegarowy CL1 jest podawany na wejście układu bistabilnego 192. Wyjście Q układu bistabilnego 192 stanowi obecnie wyjście przetwornika napięciowo-częstotliwościowego 162 i jest dołączone do bazy przełącznika tranzystorowego TR21. To samo wyjście Q układu bistabilnego 192 jest również dołączone do jednego wejścia dwuwejściowego elementu I 540, którego wyjście jest dołączone do bazy przełącznika tranzystorowego TR22.

Wyjście przetwornika napięciowo-częstotliwościowego 162 z fig. 7B jest dołączone do wejścia elementu ALBO 542, którego drugie wejście jest dołączone do wyjścia dwuwejściowego elementu I 544. Do elementu I 544 dostarczany jest sygnał zegarowy CL1 i sygnał zegarowy o częstotliwości 4096 Hz wytwarzany przez układ bistabilny 546, który dzieli częstotliwość sygnału zegarowego CL1 przez dwa. Wyjście elementu ALBO 542 jest dołączone do wejścia dwuwejściowego elementu I 548, którego drugie wejście odbiera sygnał zegarowy CL2. Wyjście elementu I 548 jest dołączone do wejścia zliczającego 203 licznika rewersyjnego 164.

Licznik rewersyjny 164 jest licznikiem ośmiobitowym, tak że jego pełna zawartość wynosi 256, a nastawiana wstępnie zawartość określona przez sygnały na jego wejściach 208 wynosi 64. Dekoder 212 posiada pierwsze wyjście 550, na którym wytwarzany jest sygnał wyjściowy, gdy zawartość licznika rewersyjnego 164 osiąga 240 przy zliczaniu w przód i drugie wyjście 552, na którym jest wytwarzany sygnał wyjściowy, gdy zawartość licznika 164 osiąga dwa przy zliczaniu wstecz. Wyjście 550 jest połączone z obwodem bistabilnym 214, podczas gdy wyjście 552 jest połączone z jednym wejściem dwuwejściowego elementu LUB 554. Inne wejście i wyjście elementu LUB 554 są dołączone odpowiednio do wyjścia Q układu bistabilnego 214 i wejścia 206 licznika rewersyjnego 164.

Wyjście Q układu bistabilnego 214 jest połączone również z wejściem zliczającym prostego binarnego licznika pięciobitowego 556. Licznik 556 posiada główne wyjście 558, na którym jest wytwarzany sygnał wyjściowy, gdy licznik osiąga zawartość 16 i dodatkowe wyjście 560 (chwilowo wyjście jego pierwszego stopnia binarnego), na którym jest wytwarzany sygnał wyjściowy o częstotliwości równej połowie częstotliwości sygnału dostarczanego do jego wejścia zliczającego. Wyjście 560 jest połączone poprzez wzmacniacz 562 z wyjściem 512 układu elektronicznego 124g. Wyjście 558 jest połączone z wejściem układu bistabilnego 564, którego drugie wejście jest przystosowane do odbioru sygnału zegarowego CL1. Wejście Q układu bistabilnego 564 jest połączone z wejściem licznika 556 i z wyjściem układu bistabilnego 566, którego wyjście Q jest połączone z wejściem układu bistabilnego 568. Wyjście układu bistabilnego 568 jest połączone z innym wejściem elementu I 540,

z wejściem elementu I 540, z wejściem układu bistabilnego 566 i z jednym wejściem dwuwejściowego elementu I 570. Inne wejście układu bistabilnego 560 i inne wejście elementu 570 są połączone w celu odbioru sygnału odniesienia o przebiegu prostokątnym i częstotliwości 8 Hz, jak to będzie dalej widoczne, podczas gdy wyjście elementu I 570 jest połączone poprzez wzmacniacz 572 z wyjściem 150 pomiarowego układu elektronicznego 124g licznika energii czynnej.

Sygnały, które są w przeciwfazie i sterują przerwaczem stykowym zbudowanym na tranzystorach TR11 do TR14 (jeden z tych sygnałów, steruje także kierunkiem zliczania licznika 164) są wytwarzane z sygnału prostokątnego o częstotliwości 4096 Hz na wyjściu Q układu bistabilnego 546 za pomocą dzielnika częstotliwości 574, dzielącego przez 256. Wyjście układu dzielnika 574 jest połączone z wejściem zegarowym układu bistabilnego 576 i przez inwerter 577 z wejściem zerującym układu bistabilnego 580. Wejścia układu bistabilnego 576 odbierają sygnał o stałej wartości logicznej „1” i sygnał zegarowy CL3, przy czym ten ostatni jest tylko odwróconą wersją podstawowego sygnału zegarowego o częstotliwości 32768 Hz, z którego wytwarzane są sygnały zegarowe CL1 i CL2 w generatorze 196 impulsów zegarowych.

Wyjście Q układu bistabilnego 576 jest połączone z wejściami zegarowymi układu bistabilnego 578 i układu bistabilnego 580, podczas gdy wyjście Q układu bistabilnego 578 jest połączone z jednym wejściem dwuwejściowego elementu NIE — I 581. Wyjście Q układu bistabilnego 578 jest połączone z jego wejściem i z oboma wejściami zegarowymi układu bistabilnego 588 i drugim wejściem elementu I 578.

Wyjście elementu NIE — I 581 jest połączone z wejściem układu bistabilnego 580, którego wyjście Q jest połączone z wejściem zegarowym układu bistabilnego 582. Drugie wejście elementu NIE — I 581 jest połączone z wyjściem elementu ALBO 584, którego dwa wejścia są połączone z wyjściami dwóch dalszych elementów ALBO 585, 586. Cztery wejścia elementów 585, 586 są połączone z wyjściami czterech najmniej znaczących bitów licznika rewersyjnego 164.

Wspomniane wyżej sygnały sterowania przerwaczem stykowym są wytworzone na wyjściach Q i Q układu bistabilnego 582, które to wyjścia są dlatego połączone z punktami 530 i 532 na fig. 7. Wyjście Q układu bistabilnego 582 jest także połączone z jednym wejściem elementu ALBO 588, którego inne wejście jest połączone z wyjściem elementu I 544 i którego wyjście jest połączone z wejściem 204 sterującym kierunkiem zliczania licznika rewersyjnego 164.

Zasada działania pomiarowego układu elektronicznego 124g z fig. 7, zatem również licznika 10g z fig. 6 jest zasadniczo podobna do działania pomiarowego układu elektronicznego 124 z fig. 3 i licznika energii czynnej z fig. 1 tak, że tylko znaczące różnice będą wyjaśnione szczegółowo.

Rezystory R60 i R62 włączone pomiędzy zacisk 16 i wejście 134, z ich połączeniami przyłączonymi do wejścia 126, służą do niewielkiego przesuwania

napięcia wejściowego reprezentującego prąd pomiędzy wejściami 126, 130 tak, że zasilanie nie jest podawane przez przewody L i N, pomiarowy układ elektroniczny 124g odbiera sygnały wejściowe wskazujące ujemną lub odwróconą moc o bardzo małej wartości. Licznik rewersyjny 164 z tego powodu ma tendencję zliczania wstecz bardzo powoli, ale gdy jego zawartość zmaleje do 2, dekodér 212 zeruje go do wstępnej zawartości równej 64. Można ocenić, że układ zapewnia to, że gdy moc nie jest podawana przez przewody N i L, nawet dla przedłużonych okresów, pomiarowy układ elektroniczny 124g wytwarzający impulsy wyjściowe nie ma możliwości powiększenia zawartości układu sumującego 516.

Wpływ małej zmiany napięcia wejściowego, powodowanej przez rezystory R60, R62, gdy energia elektryczna jest dostarczana przez przewody L i N, jest kompensowany podczas kalibracji przez wyregulowanie zmiennych rezystorów RV10 i RV1.

W przerwaczu stykowym zbudowanym na tranzystorach TR11 do TR14 do punktów 530 i 532 są dostarczane prostokątne sygnały w przeciwfazie, których wytwarzanie zostanie opisane poniżej. Powodują one najpierw przewodzenie tranzystorów TR11, TR13 i nieprzewodzenie tranzystorów TR12, TR14, a następnie na odwrót, i mają częstotliwość 8 Hz. Stąd napięcie V'_x reprezentujące napięcie V pomiędzy przewodami L i N pojawia się na przemian w punktach 534 i 536 i jest dlatego dostarczane na przemian do baz tranzystorów TR15 i TR16. Należy zauważyć, że impedancja źródła dołączona do baz każdego z tranzystorów TR15, TR16 jest stała, niezależnie od tego, która para tranzystorów TR11 do TR14 przewodzi w wyniku wyboru względnych wartości rezystorów R74 do R79.

Tranzystory TR15 do TR18 razem z tranzystorami TR19, TR20 tworzą wzmacniacz różnicowy, punkty 534 i 536 tworzą wejścia różnicowe wzmacniacza, stąd napięcie V'_x posiada odwróconą biegunowość skuteczną, gdy jest przełączane pomiędzy punktami 534, 536 i w innym przypadku zmienia poszczególne prądy płynące przez wspólne emitory par tranzystorów TR1, TR2 i TR3, TR4 w przeciwnych kierunkach, to jest w przeciwfazie.

Układ przerwacza zbudowany na tranzystorach TR11 do TR14 i wzmacniacza różnicowego zbudowanego na tranzystorach TR15 do TR20 zmniejsza dalej niepożądane sygnały w punktach 182, 184, co jest jednym z czynników umożliwiających usunięcie tranzystorów TR5, TR6 pomiarowego układu elektronicznego 124, z fig. 3 z pomiarowego układu elektronicznego 124g.

Dla dużych wartości energii elektrycznej podawanej przez przewody L i N, krzywa błędu dla pomiarowego układu elektronicznego 124 z fig. 3 wykazuje nieznaczną tendencję do przesuwania się w stronę ujemnych wartości błędu (pomiar małej mocy). Jest to korygowane w pomiarowym układzie elektronicznym 124g przez przełączanie tranzystora TR22, oprócz tranzystora TR21, stąd efektywnie zmniejsza się sygnał odniesienia wytwarzany przez tranzystory TR7, TR8 celem

odwrócenia sygnału wyjściowego par tranzystorów TR1, TR2 i TR3, TR4. Tranzystor TR22 jest sterowany przez element I 540, który przewodzi za każdym razem, gdy wytwarzany jest impuls wyjściowy przez licznik 556 przez czas dokładnie jednego okresu i synchronicznie ze wspomnianym poprzednio sygnałem odniesienia o częstotliwości 8 Hz, dostarczanym do układu bistabilnego 568. Im większa jest mierzona moc, tym częściej element I 540 przewodzi.

W pewnych okolicznościach częstotliwość wyjściowa przetwornika napięciowo-częstotliwościowego 162 zachowuje się tak, jak gdyby była synchronizowana podwielokrotnością częstotliwości zegarowej. Dla mocy zerowej może to czasami powodować dość szybką zmianę zawartości licznika 164, na przykład, gdy okres przy zliczaniu w przód systematycznie zawiera jeden impuls więcej lub mniej niż następny okres zliczania wstecz. Aczkolwiek można pokazać, że w długich okresach czasu błędy spowodowane tym zjawiskiem kluczowania znoszą się, w krótkim okresie mogą ewentualnie powodować problemy, na przykład podczas kalibracji. Dla uniknięcia tych problemów faza sygnałów sterujących przerywaczem będącym w przedfazie i sygnałów sterujących kierunkiem zliczania dla licznika rewersyjnego 164 jest odwracana w pseudoprzypadkowy sposób wtedy, gdy parzystość czterech najmniej znaczących bitów licznika rewersyjnego 164 zmienia się, co jest wykrywane przez elementy ALBO 584 do 586.

Bardziej szczegółowo, układ bistabilny 546, układ dzielnika 574 i układy bistabilne 576 współpracują celem podziału częstotliwości sygnału zegarowego CL1 dla wytworzenia na wyjściu Q układu bistabilnego 576 sygnału o częstotliwości 16 Hz. Ten sygnał o częstotliwości 16 Hz jest podawany na układy bistabilne 578 i 580, z których pierwszy wytwarza dwie wersje w przeciwfazie prostokątnego sygnału odniesienia, drugi zaś wytwarza na wyjściu Q albo sygnał o częstotliwości 16 Hz albo sygnał o częstotliwości 8 Hz, w zależności od sygnału wyjściowego elementu NIE — I 581. Wyjście elementu NIE — I 581 zależy z kolei od sygnału wyjściowego elementu ALBO 584. Każde przejście od częstotliwości 16 Hz do częstotliwości 8 Hz i na odwrót jest synchronizowane sygnałem o częstotliwości 8 Hz układu bistabilnego 578. Sygnał na wyjściu Q układu bistabilnego 580 ma częstotliwość podzieloną przez dwa przez układ bistabilny 582 celem wytworzenia dwóch sygnałów sterujących przerywaczem w przeciwfazie na wyjściach Q i $\bar{Q}$. Można stwierdzić, że wspomniane przejścia pomiędzy częstotliwością 16 Hz a 8 Hz na wyjściu zegarowym układu bistabilnego 582 powodują odwrócenie fazy pomiędzy sygnałami na wyjściach Q i $\bar{Q}$.

Celem zmniejszania maksymalnej możliwej zmiany zawartości licznika 164 podczas ciągłego okresu zliczania w przód lub wstecz, ustalona częstotliwość 4096 Hz jest odejmowana od częstotliwości impulsów wytwarzanych przez przetwornik napięciowo-częstotliwościowy 162. Uzyskuje się to za pomocą elementu I 544 i elementu ALBO 542.

Pierwszy z nich współpracuje z układem bistabilnym 546 celem wytwarzania ciągu impulsów o częstotliwości 4096 Hz, które są zgodne z impulsami zegarowymi CL1, tak jak ewentualnie impulsy wytwarzane przez przetwornik 162.

Celem działania elementu ALBO 542 jest wytwarzanie impulsu wyjściowego, jeśli przetwornik napięciowo-częstotliwościowy 162 wytwarza impuls w przedziale pomiędzy dwoma kolejnymi impulsami z ciągu impulsów o częstotliwości 4096 Hz, nie wytwarzanie impulsu wyjściowego, jeśli przetwornik napięciowo-częstotliwościowy 162 wytwarza impuls, który jest jednoznaczny z impulsem ciągu impulsów o częstotliwości 4096 Hz i wytwarzanie impulsu wyjściowego w odpowiedzi na każdy impuls ciągu impulsów o częstotliwości 4096 Hz, który nie jest zgodny z impulsem wyjściowym przetwornika napięciowo-częstotliwościowego 162.

Element ALBO 588 zapewnia to, że impulsy wytwarzane według pierwszej operacji są zaliczane w przód przez licznik rewersyjny 164, podczas gdy impulsy wytwarzane według drugiej operacji są zliczane wstecz. Stąd przy dostarczaniu zerowej energii przez przewody L i N, zawartość w liczniku rewersyjnym 164 na przemian wzrasta i maleje o jeden bit.

Dekoder 212 wytwarza sygnał wyjściowy, gdy zawartość licznika rewersyjnego 164 wzrasta do dwustu czterdziestu. Sygnał wyjściowy powoduje za pomocą układu bistabilnego 214 wzrost zawartości licznika 556. Licznik 556 z kolei wytwarza sygnały wyjściowe na wyjściach 560, 558 dla każdego drugiego i szesnastego sygnału wyjściowego dekodera 212. Ostatni z sygnałów wytwarzanych przez licznik 556 posiada maksymalną częstotliwość około 10 Hz i działa przez wzmacniacz 562 i dodatkowe wyjście 512 pomiarowego układu elektronicznego 124 celem wzbudzenia diody świecącej 508 z fig. 6 dla zrealizowania wizualnego wskazania, że przez przewody L i N jest dostarczana energia, która jest mierzona przez licznik 10g energii czynnej. Ostatni sygnał z licznika 556 działa za pomocą układów bistabilnych 564, 566, 568 i elementu I 570 oraz wzmacniacza 572 celem wytwarzania na wyjściu 150 pomiarowego układu elektronicznego 124g impulsów wyjściowych o czasie trwania 62,5 ms, zsynchronizowanych z prostokątnym sygnałem odniesienia o częstotliwości 3 Hz, wytwarzanych na wyjściu Q układu bistabilnego 578, które to impulsy wyjściowe zwiększają zawartość licznika sumującego 516 z fig. 6.

Pomiarowy układ elektroniczny 124g można łatwo uczynić dwukierunkowym, to jest zdolnym do pomiaru energii dostarczanej w obie strony do pary przewodów takich, jak przewody L i N. Licznik rewersyjny 164 zlicza wstecz, gdy kierunek, w którym jest dostarczana energia zostaje zmieniony.

Licznik energii czynnej może mierzyć energię płynącą w każdym kierunku przez licznik. Ma to znaczenie, gdy użytkownik rozmyślnie usiłuje wprowadzić energię do licznika w celu próby przedstawienia go to znaczy zmiany wskazania zużycia energii są wykrywane przez opisywany układ, który

zapobiega temu przez odwracanie kierunku zliczania licznika rewersyjnego 161.

Przełączający układ logiczny łączy wyjście Q układu bistabilnego 582 z elementem 588 zamiast wyjścia Q, przez co odwrócona zostaje faza sygnału na wejściu sterującym 204 kierunkiem zliczania licznika 164.

Elektroniczny licznik 10a energii czynnej z fig. 8 jest przyłączony do trójfazowego układu rozdzielczego mocy, zawierającego przewody L1 do L3, do których jest przyłożone napięcie, po jednym dla każdej fazy i przewód zerowy N. Jak poprzednio zakłada się, że dostawca i odbiorca mocy znajdują się odpowiednio po lewej i prawej stronie licznika 10a. Elementy licznika 10a odpowiadające elementom licznika 10 z fig. 1 i 2 są oznaczone tymi samymi numerami, które zastosowano na fig. 1 i 2, lecz z odpowiednimi wskaźnikami jak a, lub c.

Licznik 10a składa się z obudowy (nie pokazanej), która ma konstrukcję podobną do obudowy 12 i która zawiera trzy pary zacisków 14a, i 16a, 14b i 16b, 14c i 16c, przy czym każda para jest włączona szeregowo w jednym z trzech przewodów L1 do L3 i następny zacisk 18a jest połączony z przewodem N. Trzy boczniki prądowe 20a, 20b i 20c są w zasadzie identyczne jak boczniak 20 i włączone szeregowo pomiędzy zaciski z jednej z par to jest boczniak 20a jest włączony pomiędzy zaciski 14a i 16a oraz trzy pomiarowe układy elektroniczne 24a, 24b, 24c są w zasadzie identyczne jak pomiarowy układ 24 elektroniczny i są związane z odpowiednimi bocznikami w sposób dokładnie analogiczny do opisanego w związku z fig. 1 i 2 w przypadku bocznika 20 i pomiarowego układu elektronicznego 24. Dzielniki napięcia, z których każdy zawiera parę rezystorów takich jak rezystory R2a i R3a są włączone pomiędzy zaciski 18a i odpowiedni zacisk 14a, 14b, 14c, przy czym każdy dzielnik napięcia jest połączony z odpowiednim wejściem pomiarowych układów elektronicznych 24a, 24b, 24c. Każdy z rezystorów R2a, R2b, R2c ma dużą wartość rezystancji, typowo przynajmniej 100 razy większą niż wartość rezystancji rezystora R3a, R3b lub R3c. Każdy z pomiarowych układów elektronicznych 24a, 24b, 24c posiada zasilacz mocy 25a, 25b, 25c w zasadzie identyczny jak zasilacz mocy pomiarowego układu elektronicznego 24. Rezystory R6a, R6b i R6c o względnie dużej wartości rezystancji w tych zasilaczach mocy są połączone z końcówką 18a.

Licznik 10a zawierający także tyrystor T1a, silnik krokowy 52a i licznik sumujący 54a w zasadzie identyczne jak przedstawione na fig. 1. Tyrystor T1a i silnik krokowy 52 mogą być skutecznie włączone szeregowo pomiędzy przewód N i dowolny z przewodów L1 do L3, przy czym anoda tyrystora jest dołączona do jednego z przewodów, przykładowo pokazano je włączone pomiędzy przewodami N i L1 i anoda tyrystora jest połączona z przewodem L1 na końcówce 14a.

Wyjście liczników rewersyjnych w pomiarowych układach elektronicznych 24b, 24c są połączone ze źródłami światła 100 i 101, które zawierają diody świecące (termin „świecące” obejmuje tu również

promieniowanie podczerwone). Źródła światła 100 i 101 są sprzężone optycznie przez układy optyczne światłowodowe 102 i 103 z urządzeniami światłoczułymi 104, 105, których wyjścia są połączone z dwoma wejściami trójwejściowego układu antykoincydencyjnego 106. Trzecie wejście układu antykoincydencyjnego 106 jest połączone z wyjściem licznika rewersyjnego w pomiarowym układzie elektronicznym 24a, podczas gdy wyjście układu antykoincydencyjnego 106 jest połączone z elektrodą sterującą tyrystora T1a. Źródła światła 100 i 101 otrzymują zasilanie niezbędne do działania zasilania pomiarowych układów elektronicznych 24b i 24c, podczas gdy urządzenia światłoczułe 104, 105 i układ antykoincydencyjny 106 otrzymują zasilanie z zasilacza mocy pomiarowego układu elektronicznego 24a.

Podczas pracy każdy z pomiarowych układów elektronicznych 24a, 24b i 24c działa w sposób dokładnie analogiczny do opisanego odnośnie fig. 1 i 2 celem wytworzenia na wyjściu licznika rewersyjnego ciągu impulsów, których częstotliwość powtarzania jest związana z iloczynem napięcia pomiędzy jednym z przewodów L1, L2, L3 a przewodem N i prądu płynącego w tym przewodzie. Ciągi impulsów z pomiarowych układów elektronicznych 24a, 24b, 24c są przenoszone do układu antykoincydencyjnego 106, zarówno ciąg przenoszony bezpośrednio od pomiarowego układu elektronicznego 24a jak i ten, który jest przenoszony od pomiarowych układów elektronicznych 24b i 24c przez izolujące sprzężenie optyczne uzyskane dzięki włóknom optycznym układów optycznych światłowodowych 102 i 103. Układ antykoincydencyjny 106 doprowadza indywidualne impulsy trzech ciągów impulsów celem zapewnienia zliczenia wszystkich impulsów przez licznik sumujący 54a. Licznik sumujący 54a wskazuje dlatego całkowitą energię elektryczną dostarczoną użytkownikowi za pomocą czterech przewodów L1, L2, L3 i N.

Ponieważ każdy z pomiarowych układów elektronicznych 24a, 24b i 24c jest połączony bezpośrednio z przewodami L1, L2, L3, zabezpieczony jest on przed stanami nieustalonymi napięcia w sposób dokładnie analogiczny do opisanego już w związku z pomiarowym układem elektronicznym 24 z fig. 1 i 2. Zastosowanie sprzężeń optycznych dzięki włóknom optycznym układów optycznych światłowodowych 102 i 103 zapewnia możliwość łączenia ciągów impulsów wytwarzanych przez pomiarowe układy elektroniczne 24a, 24b i 24c celem zliczania bez znacznego zmniejszenia wysokiego stopnia izolacji elektrycznej pomiędzy tymi układami. Umożliwia to także oddzielenie fizyczne układów względem siebie w obudowie 12a, przez co zmniejsza się możliwe oddziaływanie, np. pól magnetycznych i daje możliwość utworzenia prostego układu mechanicznego.

W bardziej ogólnym przypadku układu rozdzielczego mocy elektrycznej składającego się z N przewodów, gdzie $N > 2$, podstawowymi wymaganiami względem licznika są: (N-1) par końcówek prądowych związanych z (N-1) przewodami, każdy z (N-1) boczników prądowych włączony pomiędzy końcówki prądowe odpowiedniej pary, następna

końcówka dołączona do N-tego przewodu, każdy z $(N-1)$ rezystancyjnych dzielników napięcia włączony pomiędzy następną końcówkę i wybraną końcówkę prądową odpowiedniej pary $(N-1)$ układów podobnych do pomiarowego układu elektronicznego 24 i $(N-2)$ izolujących połączeń dla sprzężenia $(N-2)$ układów ze wspólnym stopniem wyjściowym tyrystora, silnika krokowego i licznika sumującego.

W liczniku 10a z fig. 8 można dokonać pewnych modyfikacji. Na przykład, możliwe modyfikacje pomiarowego układu elektronicznego 24 z fig. 1 i 2 mogą być dokonywane w pomiarowych układach elektronicznych 24a, 24b, 24c z fig. 8. Oprócz tego, każdy z pomiarowych układów elektronicznych 24a, 24b, 24c mógłby w razie potrzeby doprowadzić zasilanie pomiędzy przewody L1, L2, i L3 i dowolny inny przewód, podczas gdy tyrystor T1a i silnik krokowy 52a mogą być włączone zegarowo pomiędzy dowolną parę przewodów L1, L2, L3 i N. Jednakże jeżeli anoda tyrystora jest połączona z przewodem N, musi być zastosowane inne sprzężenie optyczne. Silnik krokowy 52a i tyrystor T1a mogą być zmodyfikowane lub zastąpione, jak opisano odnośnie licznika z fig. 1 i 2. Ostatecznie pomiarowe układy elektroniczne 24a, 24b, 24c można zastąpić przez identyczne jak pomiarowy układ elektroniczny 124, 124g z fig. 3 i 7, podczas gdy zasilanie pomiarowych układów elektronicznych 24a, 24b, 24c można zastąpić przez zasilanie identyczne do pokazanego na fig. 5.

Elektroniczny licznik 106 energii czynnej z fig. 9 jest pokazany jako włączony w dwufazowy pomiarowy elektroniczny układ rozdzielczy mocy, składający się z dwóch przewodów L1 i L2, do których jest doprowadzone napięcie z przewodu neutralnego N. Napięcia przemienne na przewodach L1 i L2 względem przewodu N mają zasadniczo równe wartości, zwykle 110 V i występuje między nimi różnica faz 180° . Ponownie przyjmuje się, że dostawca i odbiorca energii znajdują się odpowiednio po lewej i po prawej stronie względem licznika 10b pokazanego na fig. 9. Oprócz tego elementy podobne do pokazanych na poprzednich figurach posiadają podobne odnośniki numerowe lecz z odpowiednimi wskaźnikami.

Licznik 10b zawiera obudowę (nie pokazaną), która ma podobną konstrukcję jak obudowa 12 z fig. 1 i która zawiera dwie pary zacisków 14d i 16d, 14e i 16e, przy czym każda para zacisków jest włączona szeregowo w jeden z przewodów L1 lub L2. Dwa boczniki prądowe 20d i 20e w zasadzie identyczne jak bocznic 20 są włączone szeregowo pomiędzy pary zacisków 14d, 16d i 14e, 16e. Licznik 10b zawiera także pomiarowy układ elektroniczny 124a w zasadzie identyczny jak pomiarowy układ elektroniczny 124 z fig. 3, w szczególności pomiarowy układ elektroniczny 124a posiada wejścia i wyjścia oznaczone tymi samymi odnośnikami numerowymi co zastosowane w odniesieniu do fig. 3, lecz ze wskaźnikiem a.

Izolujący transformator napięciowy 300 posiada uzwojenie pierwotne 302 i uzwojenie wtórne 304 z przekładnią 1:1. Uzwojenie pierwotne 302 jest włączone pomiędzy punkty 28e i 32e bocznika 20e.

Jeden koniec uzwojenia wtórnego 304 jest połączony z punktem 28d bocznika 20d i drugi koniec jest połączony z wejściem 126a pomiarowego układu elektronicznego 124a. Punkt 32d bocznika 20d jest połączony z wejściem 130a pomiarowego układu elektronicznego 124a.

Wejścia zasilające 138a i 140a i 142a pomiarowego układu elektronicznego 124a są połączone z zasilaczem mocy 306 identycznym jak pokazany na fig. 5. Rezystor R40 i tor zerowy zasilania tego zasilacza mocy 306 jest dołączony do zacisków 14e i 14d.

Wejście 134a pomiarowego układu elektronicznego 124a jest połączone przez rezystor R2d o dużej rezystancji z zaciskiem 18 w układzie zasilania 306, podczas gdy wyjście 150a pomiarowego układu elektronicznego 124a jest połączone z tyrystorem, silnikiem krokowym i licznikiem sumującym (nie pokazanym) w układzie w zasadzie takim, jak opisano odnośnie fig. 1.

Podczas pracy prądowy bocznic 20d wytwarza pomiędzy punktami 28d i 32d napięcie V_{y1} , którego wartość chwilowa jest proporcjonalna do prądu I_1 płynącego w przewodzie L1, podczas gdy prądowy bocznic 20e wytwarza napięcie V_{y2} podobnie związane z prądem płynącym w przewodzie L2. Podane transformacji napięcie V_{y2} jest wytwarzane na uzwojeniu wtórnym 304 transformatora 300 i sumowane z napięciem V_{y1} celem wytworzenia napięcia V_{sum} proporcjonalnego do sumy I_1 i I_2 pomiędzy wejściami 126a o 130a pomiarowego układu elektronicznego 124a. Uzwojenie wtórne 304 transformatora 300 jest połączone tak, że biegunowość tego poddanego transformacji napięcia V_{y2} posiada tę samą biegunowość co napięcie V_{y1} tak, że napięcie V_{sum} jest proporcjonalne do sumy wartości bezwzględnych prądów I_1 i I_2 .

Rezystor R2d przewodzi prąd I_x proporcjonalny do sumy napięć V_1 i V_2 na przewodach L1 i L2 względem przewodu N.

Pomiarowy układ elektroniczny 124a działa w sposób dokładnie analogiczny do opisanego w związku z pomiarowym układem elektronicznym 124 z fig. 3 celem wytworzenia sygnału wyjściowego reprezentującego całkę po czasie z iloczynu sygnałów V_{sum} i I_x , który to iloczyn jest proporcjonalny do $(V_1 + V_2)(I_1 + I_2)$. Ponieważ napięcie V_1 i V_2 są równe i posiadają różnicę faz 180° , $V_1 + V_2 = 2V_1 = 2V_2$, stąd iloczyn $(V_1 + V_2)(I_1 + I_2)$ jest także proporcjonalny do mocy $V_1 I_1 + V_2 I_2$, dostarczonej do odbiorcy przez przewody L1, L2 i N, ponieważ $V_1 I_1 + V_2 I_2 = V_1 (I_1 + I_2) = V_2 (I_1 + I_2)$. Licznik 10b daje dlatego wskazanie całkowitej energii elektrycznej dostarczanej do odbiorcy przez przewody L1, L2 i N.

Wspomniane powyżej wysokie napięcia stanu nieustalonego, które mogą występować pomiędzy przewodami L1 i L2, nie wywierają tego samego wpływu na izolujący transformator napięciowy 300, co na izolujący transformator prądowy według znanych rozwiązań. Jest to spowodowane tym, że istnieje zabezpieczenie przed wytwarzaniem niebezpiecznie wysokich napięć na uzwojeniu wtórnym 304 transformatora 300 w wyniku faktu, że uzwojenie wtórne jest zwarte przez bardzo małą

rezystancję utworzoną przez bocznik 20e dołączony do uzwojenia pierwotnego 3J2.

Należy zauważyć, że połączenie pomiędzy licznikiem 10b a przewodem N nie jest konieczne. Jeżeli wartości napięć V_1 i V_2 są takie same lecz mają fazę przesuniętą o 180° , wówczas $V_1 + V_2 = 2V_1$ i nie ma znacznej różnicy czy I_X jest uzyskiwane z samego napięcia V_1 czy z $(V_1 + V_2) = 2V_1$.

W liczniku 10b z fig. 3 można dokonać kilku innych modyfikacji. Układ rozdzielczy z fig. 10 może być rozważany jako identyczny z układem z fig. 1, podczas gdy zasilacz mocy może być zastąpiony przez podobny zasilacz jak na fig. 1. Oprócz tego tyrystor, silnik krokowy i licznik sumujący mogą ponownie być zmodyfikowane lub zastąpione, jak opisano w związku z licznikiem 10 z fig. 1 i 2.

Jeden lub więcej połączeń izolujących transformatorów napięciowych i boczników, takich jak transformator 300 i bocznik 20e może tworzyć podstawę licznika energii czynnej lub podobnego urządzenia, w którym obwody elektroniczne są uziemione. W liczniku wielofazowym daje to taką korzyść, że pewne części pomiarowego układu elektronicznego np. zasilacz mocy i generator synchronizacji mogą być wspólne dla wszystkich układów mnożących.

Elektroniczny licznik 10c energii czynnej z fig. 10 jest połączony z elektrycznym układem rozdzielającym mocy np. takim jak układ rozdzielczy z fig. 1. Ponownie przyjmuje się, że dostawca i odbiorca energii elektrycznej znajdują się odpowiednio po lewej stronie i po prawej stronie licznika, jak pokazano na fig. 10 i elementy odpowiadające elementom z poprzednich figur mają odnośniki numerowe z właściwymi wskaźnikami.

Licznik 10c zawiera obudowę (nie pokazane) o podobnej konstrukcji jak obudowa 12 z fig. 1. Obudowa zawiera parę zacisków prądowych 14f i 16f włączonych szeregowo w przewód L i zacisk 118f połączony z przewodem N. Bocznik 20f w zasadzie identyczny jak bocznik 20 z fig. 1 jest włączony szeregowo pomiędzy zaciskami 14f, 16f, przy czym punkty 28f i 32f tego bocznika są połączone z wejściami 126b i 130b pomiarowego układu elektronicznego 124 w zasadzie identycznego jak pomiarowy układ elektroniczny 124 z fig. 3. Wejścia zasilające 138b, 140b i 142b układu elektronicznego 124b są połączone z zasilaczem mocy 400 identycznym jak zasilacz mocy z fig. 5 podczas gdy wejście 134b układu elektronicznego 124b jest połączone z zaciskiem 18 w zasilaczu mocy 400 przez rezystor R2f o dużej rezystancji.

Wyjście 150b pomiarowego układu elektronicznego 124b można selektywnie przyłączać za pomocą przełącznika 402 do dwóch podobnych rejestrów 404, 406, które są realizowane przy pomocy pamięci na domenach pęcherzykowych lub przy pomocy techniki pamięciowej MNOS. Impulsy wyjściowe pojawiające się na wyjściu 150b zwiększają zawartość rejestru 404 lub rejestru 406 w zależności od położenia przełącznika 402.

Każdy z rejestrów 404, 406 jest połączony z odpowiednim wielocyfrowym panelem wskaźnikowym siedmiosegmentowym typu LED lub LCD (nie po-

kazanym), który ma na celu wyświetlenie zawartości odpowiedniego rejestru albo w sposób ciągły albo w postaci krótkiego błysku w odpowiedzi na naciśnięcie guzika lub przełącznika (nie pokazanych), dostępnych od zewnątrz obudowy licznika 10c. Jednakże jeśli zachodzi konieczność, może być zastosowany pojedynczy wskaźnik, przy czym kolejne uruchomienie przycisku lub przełącznika ma na celu wyświetlanie kolejno przez wskaźnik wartości rejestrów 404, 406. Rejestry 404, 406 i związany z nimi wskaźnik lub wskaźniki pobierają napięcie zasilania z zasilacza mocy 400, przy czym połączenia zostały usunięte z fig. 10 dla uproszczenia.

Przełącznik 402 tworzy część zdalnie sterowanego przekaźnika 408, który działa w odpowiedzi na zakodowane sygnały sterujące nałożone na normalne napięcie przemienne pomiędzy przewodami L i N. Przekaźniki takie są znane jako przekaźniki drobnych pulsacji prądu.

Przekaźnik 408 jest także zawarty w obudowie licznika 10c i jest w zasadzie identyczny (z wyjątkiem opisanym dalej) jak znany przekaźnik. Przekaźnik 418 zawiera układ 410 identyczny jak znany układ z wyjątkiem tego, że usunięto zasilacz stałoprądowy i w jego miejsce zastosowano zasilacz mocy 400. Układ 410 posiada wejścia zasilające 414 i 416, które są połączone z zasilaczem mocy 400.

Generator w postaci układu 412 stanowi część generatora impulsów zegarowych zawartego w pomiarowym układzie elektronicznym 124b. Układ 412 generatora posiada wyjście, które jest połączone z wejściem 418 układu 410 przekaźnika (jak również z pomiarowym układem elektronicznym 124b). Układ 412 generatora zawiera generator sterowany kryształem kwarcowym, który to kryształ jest zwykle oddzielnym elementem poza układem scalonym.

Praktycznie nie jest konieczna żadna modyfikacja pomiarowego układu elektronicznego 124b przy włączaniu przekaźnika 408 do licznika 10c.

Pomiarowy układ elektroniczny 124b i układ przekaźnika 410 posiadają zatem wspólną obudowę, wspólny zasilacz mocy i wspólny generator zegarowy, co daje znaczne zmniejszenie kosztów.

Układ 410 przekaźnika posiada wejście 420 połączone przez rezystor R50 o stosunkowo dużej rezystancji z zaciskiem 18 w zasilaczu mocy 400 celem odbierania zakodowanych sygnałów sterujących i dwa wyjścia 422, 424 połączone z elektrodami sterującymi dwóch tyrystorów T10, T11. Anody tyrystorów T10 i T11 są połączone poprzez rezystory R51, R52 ograniczające prąd z zaciskiem 18 w zasilaczu mocy 400, są także połączone ze sobą poprzez uzwojenie 426 przekaźnika, który steruje położeniem przełącznika 402. Katody tyrystorów T10 i T11 są połączone z torem zerowym zasilacza mocy 400.

Podczas pracy pomiarowy układ elektroniczny 124b pracuje w sposób dokładnie analogiczny do opisanego poprzednio w odniesieniu do fig. 3 i zakładając, że przełącznik 402 jest w położeniu przedstawionym na fig. 8 zawartość rejestru 404 reprezentuje całkowitą energię elektryczną dostar-

czoną przez przewody L i N do odbiorcy. Jednakże jeżeli jest wymagane zróżnicowanie, na przykład pomiędzy energią zużywaną w godzinach obciążenia szczytowego i godzinach poza szczytem, to jest tak, że użytkownik może być obciążony według różnych taryf za energię elektryczną zużytą w tych różnych czasach, to właściwie zakodowane sygnały sterujące są przesyłane przez przewody L i N celem uruchamiania przełącznika 402 przełącznika 408 we właściwych czasach, przy czym sposób, w jaki przełącznik 408 działa w odpowiedzi na te zakodowane sygnały, jest znany. Jeżeli rejestry 404, 406 są stosowane do zapisywania poboru mocy odpowiednio w godzinach obciążenia szczytowego i poza szczytem i godziny szczytu zostaną określone np. od godziny 6.00 do 18.00, to zakodowany sygnał mający zmieniać położenie przełącznika 402 z przedstawionego położenia jest przenoszony codziennie o godzinie 18.00 a inny zakodowany sygnał mający cofnąć przełącznik 402 do przedstawionego położenia jest przenoszony codziennie o godzinie 6.00. Oczywiście czasy te są jedynie przykładami i mogą być dowolnie zmieniane. W tym przypadku suma zawartości rejestrów 404, 406 przedstawia całkowitą energię elektryczną dostarczoną przez przewody L i N do odbiorcy.

Przełącznik 408 został uproszczony dla jasności w porównaniu ze znanym przełącznikiem. Oprócz modyfikacji odnoszących się do zasilacza mocy i już wspomnianego generatora, przełącznik 408 w praktyce zawiera dwa przełączniki a nie jeden przełącznik. Każdy z tych przełączników jest sterowany przez cewkę i parę tyrystorów w układzie jak na fig. 10. Zastosowany jest także następny stopień zabezpieczenia przed nagłymi przeciążeniami.

- W przełączniku 10c fig. 10 można dokonać kilku modyfikacji. Na przykład, dowolny dogodny lub sterowany przełącznik może być zastosowany w miejsce przełącznika 408. Oprócz tego układ zasilania 400 można zastąpić przez zasilacz typu pokazanego na fig. 1, podczas gdy pomiarowy układ elektroniczny 124b można zastąpić przez układ podobny do pomiarowego układu elektronicznego 24 z fig. 1 i 2 lub pomiarowego układu elektronicznego 124g z fig. 7. Oprócz tego rezystory i związany z nimi wskaźnik mogą być zastąpione przez odpowiedni silnik krokowy i licznik sumujący w układzie typu opisanego odnośnie fig. 1.

Aczkolwiek różne wykonania pomiarowych układów elektronicznych według wynalazku zostały tu opisane zasadniczo w związku z ich zastosowaniem w elektronicznych licznikach energii czynnej, ich użycie nie jest ograniczone do tych zastosowań. Urządzenia elektroniczne według wynalazku mogą również tworzyć podstawę układów zabezpieczenia przed przeciążeniem typu opisanego w związku z fig. 3c, dla połączeń w układach rozdzielczych mocy lub innego rodzaju miernikach to jest miernikach zapotrzebowania na moc, dla połączeń w układach rozdzielczych. W kontekście mierników zapotrzebowania na moc, można stwierdzić, że układ z fig. 3c może być łatwo przystosowany do

wskazania czy średnie zapotrzebowanie na moc osiągnęło w określonym przedziale czasu dany poziom.

Zastrzeżenia patentowe

1. Licznik energii czynnej dla elektrycznego układu rozdzielczego mocy prądu przemiennego, zawierającego co najmniej jeden przewód pod napięciem, który zawiera pomiarowy układ elektroniczny zawierający układ mnożący do dostarczania napięcia wyjściowego proporcjonalnego do iloczynu napięcia między przewodem pod napięciem i drugim przewodem układu rozdzielczego oraz prądu w tym przewodzie pod napięciem, przetwornik napięciowo-częstotliwościowy dołączony do wyjścia układu mnożącego oraz licznik rewersyjny dołączony do wyjścia przetwornika napięciowo-częstotliwościowego, zasilacz mocy stałoprądowy dla pomiarowego układu elektronicznego, który to zasilacz mocy jest włączony między dwa przewody układu rozdzielczego i ma co najmniej dwa, dodatnie i zerowe, wyjścia dołączone odpowiednio do dodatniego i zerowego wejścia zasilacza mocy pomiarowego układu elektronicznego oraz licznik sumujący dołączony do wyjścia licznika rewersyjnego pomiarowego układu elektronicznego, **znamienny tym**, że zawiera bocznik (20) włączony szeregowo w przewodzie (L) pod napięciem, posiadający pierwszy zacisk (28) i drugi zacisk (32), pomiędzy którymi występuje napięcie (V_v) proporcjonalne do prądu w przewodzie (L) pod napięciem i pierwszy rezystor (R_2) dołączony jednym końcem do drugiego przewodu (N) układu rozdzielczego z jednej strony i do licznika sumującego (54, 54a) pomiarowego układu elektronicznego (24, 124) z drugiej strony oraz dołączony drugim końcem do węzła (36) łączącego pierwszy rezystor (R_2) z drugim rezystorem (R_1), przy czym do pierwszego zacisku (28) i do trzeciego zacisku (38) bocznika (20) jest dołączona para pierwszych wejść (26, 30) układu mnożącego (60, 160) dołączonego do przetwornika napięciowo-częstotliwościowego (62, 162) a do węzła (36) łączącego pierwszy rezystor (R_2) z drugim rezystorem (R_1) jest dołączone drugie wejście (34, 134) układu mnożącego (60, 160) oraz do wejściowego zacisku (14) bocznika (20) jest dołączone zerowe wyjście (OV) zasilacza mocy zawierającego połączenie rezystorów (R_4 , R_5 , R_6), diod (D_1 , D_2), kondensatorów (C_1 , C_2) i diod Zenera (Z_1 , Z_2).

2. Licznik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że drugi rezystor (R_2) jest włączony między węzeł (36) i przewód (L) pod napięciem, tworząc wraz z pierwszym rezystorem (R_1) dzielnik napięciowy.

3. Licznik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że pierwszy rezystor (R_2) jest dołączony do drugiego przewodu (N) układu rozdzielczego poprzez trzeci rezystor (R_{40}) o stosunkowo małej wartości, a między zacisk (18) łączący trzeci rezystor (R_{40}) z pierwszym rezystorem (R_1) a wejściowy zacisk (14) bocznika (20) jest włączony ogranicznik udarowy (260).

4. Licznik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że licznik sumujący (54), (54a) zawiera wiele kół

wskaźnikowych napędzanych przez silnik krokowy (52).

5. Licznik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że licznik sumujący (54), (54a) zawiera licznik elektroniczny typu pamięci trwałej i elektroniczny układ wyświetlający wielocyfrowy dołączony do

6. Licznik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że pomiarowy układ elektroniczny (124b) ma wyjście (159b) selektywnie przyłączone do dwóch rejestrów (404, 406) za pomocą przełącznika (408).

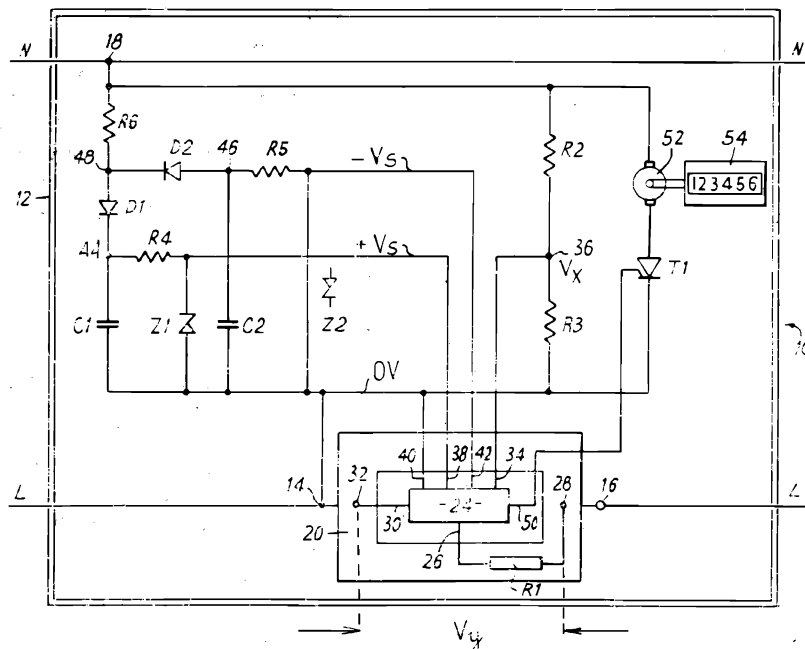
7. Licznik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że licznik rewersyjny (164) w układzie elektronicznym (124); (124g) ma wejście (204), do którego jest dołączony układ bistabilny (224), (562) dołączony również do wejść układu przełączającego (S10, S11), (TR11 do TR14) odwracającego polaryzację, który jest włączony między drugie wejście (134) pomiarowego układu elektronicznego (124), (124g) a układ mnożący (160).

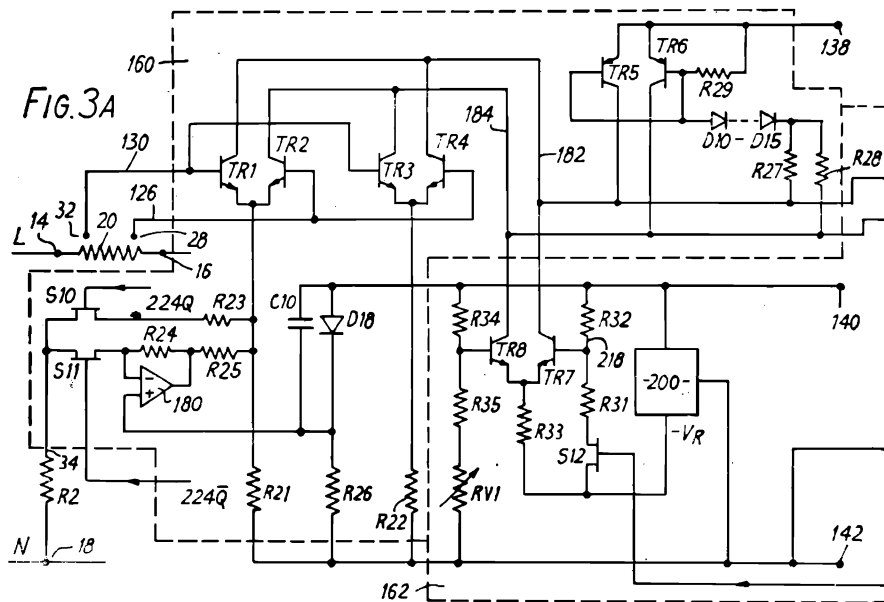
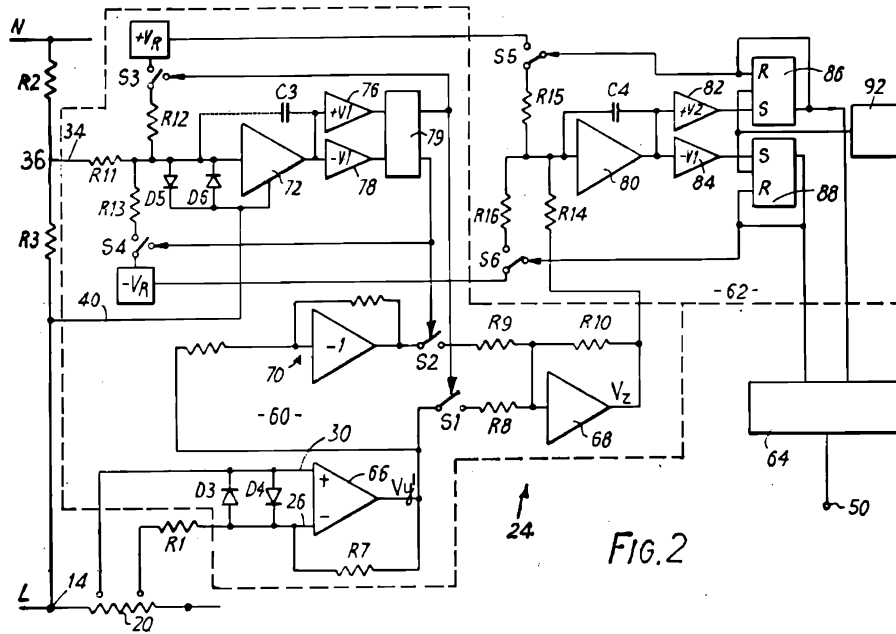
8. Licznik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że układ mnożący (163) zawiera pierwszą parę tranzystorów (TR1, TR2) połączonych emiterami, których bazy są dołączone do pierwszych wejść (126, 130) i których emitory są dołączone do drugiego

wejścia (134) przez układ przełączający (S10, S11), (TR11 do TR14) i drugą parę tranzystorów (TR3, TR4) połączonych emiterami, których bazy są również dołączone do wejść (126, 130) i których kolektory są dołączone do kolektorów pierwszej pary tranzystorów (TR1, TR2).

9. Licznik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że przetwornik napięciowo-częstotliwościowy (162) zawiera wzmacniacz różnicowy (186) mający wejścia odwracające i nieodwracające dołączone do kolektorów pierwszej pary tranzystorów (TR1, TR2), kondensator (C11) ujemnego sprzężenia zwrotnego włączony między wyjście wzmacniacza (186) i jego wejście odwracające, źródło napięciowe (R34, R35, RV1) dołączone do bazy tranzystora (TR8), którego kolektor jest dołączony do wejścia nieodwracającego wzmacniacza (186), detektor (188) poziomu napięcia dołączony do wyjścia wzmacniacza (186), układ bistabilny (190) dołączony do wyjścia detektora (188) poziomu napięcia, źródło (200) napięcia odniesienia i przełącznik tranzystorowy (S12) włączony między źródło (200) napięcia odniesienia i bazę drugiego tranzystora (TR7), którego kolektor jest dołączony do wejścia odwracającego wzmacniacza (186) i którego emiter jest dołączony do emitera tranzystora (TR8).

FIG. 1





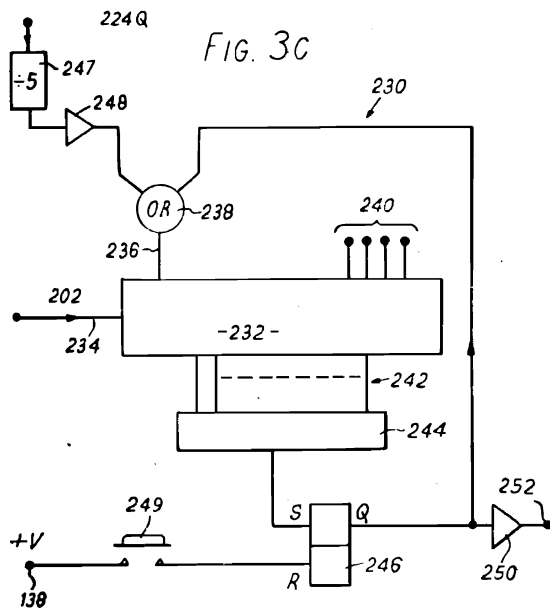


FIG. 4

