

2

GO 12 1120

Opis wydano drukiem dnia 30 grudnia 1963 r.

~~GO 9 1100~~



POLSKIEJ RZECZYPOSPOLITEJ LUDOWEJ

OPIS PATENTOWY

Nr 47699

Kl. 42 k, 45/03
Kl. internat. G 01 I

Jerzy Nagłowski

Warszawa, Polska

Adam Kowalski

Warszawa, Polska

Tranzystorowe urządzenie do tensometrycznych pomiarów statycznych i dynamicznych

Patent trwa od dnia 16 czerwca 1962 r.

Przedmiotem wynalazku jest układ połączeń lekkiego, łatwoprzenośnego i taniego urządzenia do tensometrycznych pomiarów statycznych i dynamicznych metodą kompensacyjną i wychyłową pracującego wyłącznie na tranzystorach, współpracującego z mostkiem pomiarowym i kompensacyjnym oraz czujnikami oporowymi, odznaczającymi się dużym wzmocnieniem, bardzo dobrą liniowością fazoczułego detektora, zadawalającą dobrą stałością wzmocnienia i napięcia zasilającego mostek, przy bardzo mało skomplikowanej i taniej budowie oraz bardzo małym poborze prądu z baterii.

W znanych rozwiązaniach tranzystorowych urządzeń tensometrycznych napięcie zasilania mostków jest sinusoidalne. W tranzystorowych generatorach napięć sinusoidalnych zmiany tem-

peratury otoczenia i napięcia zasilania powodują intensywne zmiany wartości generowanego napięcia.

Aby stabilizować wytwarzane w generatorze tranzystorowym napięcie sinusoidalne trzeba stosować dość skomplikowane układy generacyjne z automatyką, lub elementy regulacyjne o oporności uzależnionej od wydzielanej w nich mocy (np. żarówki, lub termistory), które powodują dość znaczną stratę mocy. Uwzględniając jeszcze niezbyt wysoką sprawność energetyczną wzmacniaczy mocy dla przebiegów sinusoidalnych można ogólnie stwierdzić, że wytwarzanie napięcia sinusoidalnego do zasilania mostków jest kosztowne, skomplikowane, mało sprawne energetycznie i często zawodne.

W spotykanych rozwiązaniach urządzeń tensometrycznych, pracujących na tranzystorach bywają generatory sinusoidalne proste, które charakteryzują się małą stabilnością amplitudy, przez co urządzenia takie mogą być używane jedynie do przeprowadzania pomiarów tensometrycznych metodą kompensacyjną. Urządzenia przystosowane do pomiarów metodą wychyłową lub obydwoma metodami (zarówno kompensacyjną jak i wychyłową) są wyposażone w skomplikowane generatory i wzmacniacze mocy, zawierające wiele tranzystorów, oraz dodatkowych elementów stabilizujących, co czyni urządzenie kosztownym i mało ekonomicznym pod względem zużycia prądu pobieranego z baterii.

W większości urządzeń tensometrycznych przystosowanych do pomiarów metodą wychyłową występują błędy nieliniowości charakterystyki amplitudowej fazoczułego detektora. Przyczyną powstawania tej nieliniowości jest najczęściej brak możliwości dokładnego zrównoważenia wpływów, jakie wnoszą elementy prostownicze, oraz szkodliwe spadki napięć występujące na uzwojeniu transformatora sygnału wyjściowego od prądu odniesienia, oraz na transformatorze sygnału odniesienia od prądu wyjściowego.

Wad, występujących w znanych urządzeniach tensometrycznych, zbudowanych na tranzystorach można uniknąć według wynalazku w ten sposób, że do zasilania mostków tensometrycznych — pomiarowego i kompensacyjnego — jest użyty generator napięcia o kształcie prostokątnym, pracujący w znanym układzie przeciwzobnego generatora samodzielnego, ale którego transformator wyjściowy ma dobrane uzwojenia wtórne tak, że dwa z nich o jednakowej ilości zwojów, zasilają obydwa mostki (pomiarowy i kompensacyjny), natomiast trzecie uzwojenie wtórne sterujące fazoczuły detektor sygnałem odniesienia ma ilość zwojów dobraną odpowiednio tak, aby praca fazoczułego detektora była liniowa. Fazoczuły detektor urządzenia według wynalazku pracuje w oryginalnym układzie połączeń i charakteryzuje się tym, że prąd odniesienia w uzwojeniach transformatora wyjściowego jest całkowicie zrównoważony i naodwrot prąd wyjściowy w uzwojeniu transformatora sygnału odniesienia jest całkowicie zrównoważony, co nie powoduje żadnych dodatkowych spadków napięcia (stałego i zmiennego) na poszczególnych uzwojeniach transformatorów, co mogłoby pogorszyć liniowość pracy detektora.

Detektor pracuje idealnie liniowo pod warunkiem, że napięcie odniesienia na uzwojeniu wtórnym transformatora wyjściowego w generatorze ma wartość odpowiednio dobraną w stosunku do maksymalnej wartości sygnału wyjściowego, oraz oporność wyjściowa wzmacniacza pomiarowego jest odpowiednio mała w stosunku do oporności obciążenia detektora. Jeżeli jeszcze oporność wyjściowa generatora sygnału odniesienia jest bliska zeru, co ma miejsce w urządzeniu według wynalazku, to nie jest konieczne dobieranie dopasowanych do siebie diod o jednakowych charakterystykach do fazoczułego detektora. Oporność wyjściowa czterostopniowego wzmacniacza pomiarowego jest odpowiednio obniżona przez zastosowanie ujemnego napięciowego równoległego sprzężenia zwrotnego w ostatnim stopniu wzmacniającym. Konieczna o prawidłowej pracy mostka odpowiednio duża oporność wejściowa wzmacniacza pomiarowego jest zrealizowana przez dobór odpowiedniej przekładni transformatora wejściowego oraz przez zastosowanie ujemnego, napięciowego, szeregowego sprzężenia zwrotnego z kolektora drugiego stopnia na emiter stopnia pierwszego.

Nowością w opisywanym urządzeniu według wynalazku jest to, że dzięki zastosowaniu przeciwzobnego, samodzielnego generatora napięcia o kształcie prostokątnym, oryginalnego układu połączeń fazoczułego detektora oraz wzmacniacza ze sprzężeniem zwrotnym, rozwiązano problem dobrej stabilności napięcia zasilającego mostki, przy jednocześnie bardzo dobrej liniowości fazoczułego detektora, dużym wzmocnieniu i dostatecznej wysokiej stabilności wzmocnienia. Wyżej wymienione zalety urządzenia według wynalazku zostały zrealizowane za pomocą mało skomplikowanego, taniego i ekonomicznego pod względem energetycznym układu połączeń (zawierającego tylko 6 tranzystorów). Pozwala to na dokonywanie za pomocą urządzenia według wynalazku zupełnie dokładnych pomiarów statycznych metodą kompensacyjną oraz dość dokładnych pomiarów statycznych i dynamicznych metodą wychyłową. Biorąc pod uwagę dodatkowo małe wymiary garbarytowe urządzenia oraz łatwość przystosowania go do pracy w warunkach zarówno laboratoryjnych jak i polowych, należy przypuszczać, że może ono mieć w pomiarach tensometrycznych szerokie zastosowanie.

Urządzenie według wynalazku posiada poniżej wymienione właściwości.

Wielkość napięcia zasilania mostków jest praktycznie minimalnie zależna od oporności użytych czujników tensometrycznych, ponieważ oporność wewnętrzna źródła napięcia prostokątnego jest bliska zeru. Ze spadkiem oporności czujników będzie jedynie wzrastał prąd pobierany z baterii, a więc istnieje możliwość pewnego spadku napięcia baterii ze spadkiem oporności czujników, co pociągnie za sobą proporcjonalny spadek amplitudy napięcia prostokątnego. Ponieważ jednak przy wszystkich pomiarach tensometrycznych ważna jest stałość napięcia zasilania mostków tylko w okresie czasu od początku do końca trwania jednego pomiaru, a pomiar trwa najwyżej kilka godzin i w czasie jego trwania nie zachodzi wymiana czujników, czyli pobór prądu z baterii jest stały, a więc nie zachodzi również zmiana napięcia zasilania.

Pomimo prostokątnego przebiegu napięcia zasilającego mostki, pełne zrównoważenie mostków jest możliwe, ponieważ warunki równowagi mostków są identyczne w dość szerokim zakresie częstotliwości. Częstotliwość przebiegu prostokątnego może być dobrana dowolnie, z tym że w przypadku stosowania częstotliwości wyższych (większych od 1000 Hz) należy wprowadzić do mostka pomiarowego dodatkowe zrównoważenie pojemnościowe, w celu wyrównania asymetrii pojemnościowej kabli, łączących czujniki z mostkiem.

Układ urządzenia pozwala na stosowanie regulacji czułości pomiaru w szerokich granicach w sposób ciągły za pomocą potencjometru, znajdującego się pomiędzy drugim i trzecim stopniem wzmocnienia wzmacniacza pomiarowego.

Zastosowanie napięcia o przebiegu prostokątnym do zasilania mostków ułatwia filtrację fali nośnej w sygnale wyjściowym, czyli łagodzi wymagania stawiane dolnoprzepustowemu filtrowi wyjściowemu.

Na rysunku przedstawiono układ połączeń tranzystorowego urządzenia do tensometrycznych pomiarów statycznych i dynamicznych według wynalazku.

Zgodnie z rysunkiem punkty oznaczone znakami „+” i „—” są odizolowane od masy urządzenia i stanowią odpowiednie bieguny wspólnej baterii zasilającej. Z masą urządzenia są połączone mostki pomiarowy 1 i kompensacyjny 2, oraz środek uzwojenia sygnału odniesienia *e*, *f*, transformatora 3, filtr wyjściowy 20 i przyrząd wskazówkowy 22.

Sygnały z wyjścia mostków pomiarowego 1 i kompensacyjnego 2 są przyłożone na uzwojenie pierwotne transformatora wyjściowego 4 wzmacniacza pomiarowego 26. Proporcjonalny do różnicy sygnałów z mostka 1 i mostka 2 sygnał na wtórnym uzwojeniu transformatora 4 steruje bazę tranzystora 5, stanowiącego pierwszy stopień wzmocnienia czterostopniowego wzmacniacza pomiarowego 26. Baza tranzystora 8, stanowiącego drugi stopień wzmocnienia jest połączona bezpośrednio z kolektorem tranzystora 5, a z kolektora tranzystora 8, napięcie ujemnego, szeregowego sprzężenia zwrotnego poprzez dzielnik oporowy na opornikach 7 i 6 jest doprowadzone do obwodu emiterowego tranzystora 5, w celu powiększenia jego oporności wejściowej.

Wzmocniony sygnał z kolektora tranzystora 8 poprzez potencjometr — regulator wzmocnienia 9 steruje bazę tranzystora 10. Kolektor tranzystora 10 jest połączony bezpośrednio z bazą tranzystora 13, stanowiącego ostatni stopień wzmocnienia. Napięcie ujemnego, równoległego sprzężenia zwrotnego, zastosowanego w celu zmniejszenia oporności wyjściowej wzmacniacza 26 jest doprowadzone z kolektora tranzystora 13 poprzez kondensator 12 i opornik 11 na bazę tego samego tranzystora.

Przeciwsobny generator samodławny 24 wytwarza napięcie o przebiegu prostokątnym, a jego transformator wyjściowy 3 posiada uzwojenie pierwotne przeciwsoobne *a*, *b*, oraz następujące wtórne: do zasilania mostka kalibracyjnego *c*, do zasilania mostka pomiarowego *d*, oraz do sterowania fazoczułego detektora 25 sygnałem odniesienia symetryczne, dwupołkowe uzwojenie *e*, *f* z uziemionym środkiem. Uzwojenia *c* i *d* posiadają identyczne ilości zwojów, natomiast równe sobie ilości zwojów. Uzwojeń *e* i *f* zostały specjalnie ustalone, aby napięcie sygnału odniesienia miało wielkość dobraną względem maksymalnej wielkości napięcia na wyjściu wzmacniacza pomiarowego 26 odpowiednio w ten sposób, by charakterystyka amplitudowa fazoczułego detektora 25 była liniowa. Oporności wewnętrzne generatora 24 mierzone na zaciskach wyjściowych wszystkich uzwojeń wtórnych transformatora 3 są bliskie zeru, ponieważ generator pracuje jak przełącznik biegunowości baterii, a spadki napięć w obwodzie kolektor-emiter każdego z tranzystorów generatora stanowią minimalną wartość w porównaniu z napięciem baterii.

Transformator wyjściowy 14 wzmacniacza pomiarowego 26 posiada uzwojenie pierwotne 1

oraz dwa symetryczne uzwojenia wtórne, których połówki *g*, *h*, *i*, *k* mają wszystkie identyczne ilości zwojów. Uzwojenia te, wraz z uzwojeniami *e* i *f* transformatora 3, diodami półprzewodnikowymi 15, 16, 17, 18 i potencjometrem 19 tworzą układ połączeń fazoczułego detektora 25 według wynalazku, którego zasada pracy jest podana poniżej.

Jeżeli założyć, że na wyjściu wzmacniacza pomiarowego 26 (na uzwojeniu 1 transformatora 14) nie ma sygnału, wówczas sygnał odniesienia z połówek *e* i *f* uzwojenia transformatora 3 zostanie doprowadzony poprzez uzwojenia *g*, *h*, *i*, *k*, transformatora 14 odpowiednio na diody 15, 16, 17, 18. Diody 15 i 18 wyprostują ten sygnał dwupołkowo w kierunku dodatnim i na ich połączonych ze sobą elektrodach wspólnie z lewym końcem potencjometru 19 powstanie napięcie dodatnie względem masy urządzenia. Diody 16 i 17 wyprostują ten sam sygnał odniesienia w kierunku ujemnym i na ich połączonych ze sobą elektrodach oraz na prawym końcu potencjometru 19 powstanie napięcie ujemne względem masy, równe w przybliżeniu co do wielkości napięciu dodatniemu powstałemu z wyprostowania sygnału odniesienia przez diody 15 i 18. Do suwaka potencjometru 19 jest dołączony filtr dolnoprzepustowy 20, którego oporność wejściowa dla prądu stałego jest w przybliżeniu równa sumie oporności 21 i oporności przyrządu wskazówkowego 22. Jeżeli suwak potencjometru 19 jest ustawiony tak, że dzieli w przybliżeniu potencjometr 19 na dwie równe pod względem oporności części, wówczas prąd wyjściowy detektora 25, płynący przez suwak potencjometru 19, filtr 20, opornik 21 i przyrząd wskazówkowy 22 będzie bliski zeru. Przy pomocy przyrządu wskazówkowego 22 można z łatwością dobrać odpowiednie położenie suwaka potencjometru 19, przy którym prąd wyjściowy detektora 25 będzie zerowy. Potencjometr 19 służy do wyrównywania drobnych asymetrii odpowiednich uzwojeń transformatorów 3 i 14, oraz asymetrii diod 15, 16, 17, 18. Łatwo zauważyć, że przy zerowym prądzie wyjściowym detektora 25 prądy płynące przez uzwojenia *g*, *h*, *k*, i transformatora 14 mają tak dobrane kierunki i wartości, że się równoważą. Nie powodują zatem niepożądanych spadków napięcia na uzwojeniach transformatora 14.

Jeżeli założyć, że na wyjściu wzmacniacza pomiarowego 26 (na uzwojeniu 1 transformatora 14) jest sygnał, ale o wartości takiej, że napięcia na uzwojeniach *g*, *h*, *i*, *k* transformatora 14 są

mniejsze od napięć na uzwojeniach *e* i *f* transformatora 3, a faza tego sygnału tak dobrana, że gdy kierunek napięcia na uzwojeniu sygnału odniesienia transformatora 3 jest od uzwojenia *f* do uzwojenia *e*, to kierunki napięć na uzwojeniach wtórnych transformatora 14 są odpowiednio od uzwojenia *h* do uzwojenia *g*, oraz od uzwojenia *k* do uzwojenia *i*, wówczas diody 15 i 18 będą prostowały dwupołkowo sumę sygnału odniesienia i sygnału wyjściowego, a diody 16 i 17 będą prostowały dwupołkowo różnicę sygnału odniesienia i sygnału wyjściowego. Na obydwu końcach potencjometru 19 powstaną więc nierówne względem masy napięcia stałe. Napięcie dodatnie na lewym końcu potencjometru 19 będzie większe od napięcia ujemnego na prawym końcu potencjometru 19. Przez suwak potencjometru 19, filtr 20, opornik 21 i przyrząd wskazówkowy 22 popłynie prąd w kierunku dodatnim.

Jeżeli założyć, że sygnał wyjściowy na uzwojeniu 1 transformatora 14 zmienił fazę na przeciwną, nie zmieniając wartości amplitudy, wówczas diody 15 i 18 będą prostowały dwupołkowo różnicę sygnału odniesienia i sygnału wyjściowego, a diody 16 i 17 będą prostowały sumę obydwu sygnałów, a więc napięcie ujemne na prawym końcu potencjometru 19 będzie większe od napięcia dodatniego na lewym końcu potencjometru 19, prąd wyjściowy zmieni kierunek na przeciwny nie zmieniając swej wartości.

Filtr dolnoprzepustowy 20 ma za zadanie stłumić resztki składowej zmiennej od fali nośnej i produktów prostowania, zawarte w prądzie wyjściowym. W przypadku gdy fala nośna ma przebieg prostokątny jej dwupołkowe wyprostowanie daje teoretycznie prąd stały, pozbawiony tętnień. Ponieważ jednak praktycznie przebieg zarówno napięcia zasilania mostków, jak i sygnału odniesienia nie jest czysto prostokątny, a we wzmacniaczu pomiarowym 26 możliwe są jeszcze pewne jego dalsze zniekształcenia, użycie filtru na wyjściu jest konieczne dla prawidłowego oglądania lub rejestrowania przebiegów dynamicznych na oscylografie. Filtr ten ma tu jednak o wiele łatwiejsze zadanie, niż w przypadku stosowania przebiegu sinusoidalnego, dlatego może być prostszy.

W celu otrzymania maksymalnej sprawności energetycznej fazoczułego detektora 25 oporność dopasowania filtru 20 i suma oporności opornika 21 i oporności przyrządu wskazówkowego 22 są równe w przybliżeniu 1/4 części oporności potencjometru 19.

Zastrzeżenia patentowe

1. Tranzystorowe urządzenie do tensometrycznych pomiarów statycznych i dynamicznych metodą kompensacyjną i wychyłową, współpracujące z mostkiem pomiarowym i mostkiem kompensacyjnym oraz czujnikami oporowymi, znamienne tym, że mostek pomiarowy (1) i kompensacyjny (2) są zasilane napięciem zmiennym o przebiegu prostokątnym ze znanego układu połączeń przeciwsobnego, tranzystorowego generatora samodławnego (24), którego transformator wyjściowy (3) ma uzwojenia wtórne, dobrane w ten sposób, że dwa z nich (c) i (d) o jednakowej ilości zwojów zasilają odpowiednio mostek kompensacyjny (2) i mostek pomiarowy (1), a trzecie symetryczne uzwojenie wtórne (e), (f) służy do sterowania sygnałem odniesienia fazoczułego detektora (25), którego układ stanowi odpowiednie połączenie symetrycznego uzwojenia (e), (f) transformatora (3), z dwoma symetrycznymi uzwojeniami wtórnymi (g), (h) i (i), (k) transformatora (14), czterema diodami półprzewodnikowymi (15), (16), (17), (18) i potencjometrem (19), a obciążenie filtr dolno-przepustowy (20), obciążony opornikiem (21), włączonym w szereg z przyrządem wskazówkowym (22), przy czym uzwojenie pierwotne (1) transformatora (14) jest sterowane sygnałem wzmacnionym przez czterostopniowy tranzystorowy wzmacniacz pomiarowy (26), sterowany różnicą sygnałów wyjściowych z mostka pomiarowego (1) i mostka kompensacyjnego (2) poprzez transformator wejściowy (4).
2. Tranzystorowe urządzenie do tensometrycznych pomiarów statycznych i dynamicznych według zastrz. 1, znamienne tym, że w fazoczułym detektorze (25) symetryczne uzwojenie wtórne (e), (f) transformatora (3) jest połączone z symetrycznymi uzwojeniami wtórnymi (g), (h) i (i), (k) transformatora (14) w ten sposób, że krańcowe wyprowadzenia uzwojenia (e), (f) są połączone z wyprowadzeniami środków uzwojeń (g), (h) i (i), (k), a pozostałe wyprowadzenia uzwojeń wtórnych transformatora (14) są połączone w ten sposób,

że końce połówek uzwojeń (g) i (k) są doprowadzone do półprzewodnikowych diod (15) i (18), których elektrody są zwarte ze sobą i z jednym z krańcowych wyprowadzeń potencjometru (19), a końce połówek uzwojeń (h) i (i) są doprowadzone do półprzewodnikowych diod (16) i (17), których elektrody są zwarte ze sobą i z pozostałym, krańcowym wyprowadzeniem potencjometru (19), którego suwak stanowi jeden z zacisków wyjściowych fazoczułego detektora (25), a drugim zaciskiem wyjściowym jest uziemione wyprowadzenie środka uzwojenia (e), (f) transformatora (3).

3. Tranzystorowe urządzenie do tensometrycznych pomiarów statycznych i dynamicznych według zastrz. 1 i 2, znamienne tym, że ilości zwojów połówek (g), (h), (i), (k) uzwojeń wtórnych transformatora (14) są sobie równe, a ilość zwojów połówek (e), (f) uzwojenia wtórnego transformatora (3) tak dobrana, aby napięcie sygnału odniesienia na każdej z połówek uzwojenia (e), (f) było odpowiednio większe od maksymalnej wartości napięcia wyjściowego, występującego na połówkach uzwojeń (g), (h), (i), (k), w celu otrzymania liniowej charakterystyki fazoczułej detekcji.
4. Tranzystorowe urządzenie do tensometrycznych pomiarów statycznych i dynamicznych według zastrz. 1, znamienne tym, że w czterostopniowym, tranzystorowym wzmacniaczu pomiarowym (26) jest ujemne, napięciowe, równoległe sprzężenie zwrotne z kolektora tranzystora (13), poprzez kondensator (12), opornik (11) na bazę tranzystora (13), w celu obniżenia oporności wyjściowej wzmacniacza i uzyskania liniowej charakterystyki fazoczułej detekcji oraz ujemne, napięciowe, szeregowo sprzężenie zwrotne z kolektora tranzystora (8), poprzez dzielnik oporowy na opornikach (7) i (6) do obwodu emiterowego tranzystora (5), w celu podwyższenia oporności wejściowej wzmacniacza, dla uzyskania poprawnej pracy układu mostków.

Jerzy Nagłowski

Adam Kowalski

