

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

REFERATY  
PROBLEMOWE

Zeszyt 10

*Eligiusz Puchalski*

KOMPENSATOR NAPIĘCIA STAŁEGO  
STOSOWANY W UKŁADACH DO SPRAWDZANIA  
PRZETWORNIKÓW TERMOELEKTRYCZNYCH  
I MIKROPOTENCJOMETRÓW



Warszawa - maj 1978

Na prawach rękopisu

REFERATY PROBLEMOWE

Zeszyt 10

Eligiusz Puchalski

KOMPENSATOR NAPIĘCIA STAŁEGO  
STOSOWANY W UKŁADACH DO SPRAWDZANIA  
PRZETWORNIKÓW TERMIELEKTRYCZNYCH  
I MIKROPOTENCJOMETRÓW

Warszawa - maj 1978

S-8240

Opracował:

mgr inż. Eligiusz Puchalski

Centralna Izba Pomiarów Telekomunikacyjnych /Z-12/

Instytut Łączności

04-894 Warszawa, ul. Szachowa 1, tel. 128-403

Uzupełnienie do sprawozdania z realizacji pracy nr 132.01.A.03

Opiniował: inż. Leszek Chodakowski

Rękopis dostarczony dnia 8.04.1978 r.

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI  
BIBLIOTEKA  
Nr S-8240

Omówiono niektóre wymagania techniczne i eksploatacyjne na kompensator napięcia stałego stosowany w układach do sprawdzania przetworników termoelektrycznych i mikropotencjometrów. Podano przykład realizacji tego urządzenia. Przytoczono podstawowe parametry oraz ważniejsze wyniki badań laboratoryjnych modelu użytkowego.

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

---

Wpłynęło do Działu Wydawniczego Instytutu Łączności

dnia 26.04.1978 r.

Nakład 30+15 egz.

## SPIS TREŚCI

|                                   | Str. |
|-----------------------------------|------|
| Wstęp                             | 1    |
| Wymagania techniczne              | 2    |
| Wymagania eksploatacyjne          | 4    |
| Przykład realizacji kompensatora  | 6    |
| Podstawowe parametry kompensatora | 8    |
| Wykaz literatury                  | 10   |

## WSTĘP

Znane od dawna przetworniki termoelektryczne dopiero w okresie ostatniego ćwierćwiecza znalazły szerokie zastosowanie jako urządzenia transferowe /F.L. Hermach, 1952/. Umożliwiają one przede wszystkim wyznaczenie wartości prądu /napięcia/ przemiennego, przyłożonego do ich wejścia przez substytucję prądu /napięcia/ stałego o znanej wartości przy niezmiennej sile termoelektrycznej /*STE*/ wyjściowej. Używane są poza tym jako kalibrowane źródła prądu /napięcia/ przemiennego przez odwrócenie w procesie pomiarowym kolejności substytucji.

Możliwości przetworników-kalibratorów zostały rozszerzone w dół, na obszar mikrowoltowy za pomocą mikropotencjometrów<sup>1/</sup> /M.C. Selby, 1953/. Te kalibrowane źródła małych i bardzo małych napięć przemiennych są w rzeczywistości przetwornikami termoelektrycznymi prądowymi z dodatkowym rezystorem szeregowym w obwodzie wejściowym. Rezystor ma najczęściej formę dysku umieszczonego w złączu współosiowym i jest zlokalizowany na końcu toru urządzenia transferowego.

Przetworniki termoelektryczne i mikropotencjometry są dziś podstawowymi narzędziami w izbach pomiarowych służby metrologicznej w odniesieniu do prądu i napięcia przemiennego. Używa się je powszechnie do sprawdzania kontrolnych amperomierzy i woltomierzy wielkiej częstotliwości, generatorów napięcia przemiennego i oscyloskopów.

---

<sup>1/</sup> Nazwa "mikropotencjometr" wywodzi się od angielskiego wyrazu "micropotentiometer" i wydaje się nie adekwatna dla tego przyrządu. Proponuje się nazwę "mikroprzetwornik" jako bardziej trafną nie tylko z uwagi na strukturę i funkcję oznaczanego urządzenia, lecz także dlatego, że powszechnie stosuje się nazwę "potencjometr" na oznaczenie gatunkowo innego przyrządu.

Kontrolne przetworniki termoelektryczne i mikropotencjometry są okresowo sprawdzane i legalizowane [1],[2], [3]. Podczas sprawdzenia każdorazowo wyznacza się wartość  $STE$  przy nominalnym prądzie /napięciu/ wejściowym, błąd rewersji, błąd przetwarzania<sup>2/</sup> przy określonych częstotliwościach oraz wartość poprawną oporności rezystora dodatkowego /dysku/.

Na rysunku 1<sup>3/</sup> pokazano przykłady schematów ideowych układów pomiarowych przeznaczonych do wyznaczenia powyższych parametrów. W każdym z tych układów stosuje się kompensator napięcia stałego / $KN$ /, który służy do pomiaru  $STE$  /rys. 1a/, lub kontrolowania niezmienności  $STE$  /rys. 1a i 1b/, oraz pomiaru spadków napięć na rezystorach /rys. 1c/. Kompensator, ze względu na szczególne przeznaczenie, powinien spełniać oprócz wymagań ogólnych [4] również niektóre specyficzne wymagania techniczne i eksploatacyjne [5].

#### WYMAGANIA TECHNICZNE

Wymagania odnośnie zakresu pomiarowego kompensatora wynikają z granicznych wartości mierzonych /kontrolowanych/ sił termoelektrycznych lub napięć. Nominalne  $STE$  najczęściej używanych termoelementów nie wykraczają poza obszar 100...6 mV przy oporności wyjściowej rzędu 2000...4 $\Omega$ . Wśród nich najliczniejsze są termoelementy jednozłączowe, których  $STE$  zawierają się w przedziale 12...6 mV, a oporności na wyjściu wynoszą 8...4 $\Omega$  /tablica 1/. Dopuszczając możliwość stosowania prądu wejścio-

<sup>2/</sup> Proponuje się nazwę "błąd substytucji", która jednoznacznie wskazuje na tożsamość strony pomiarowej i wejściowej przetwornika w procesie przetwarzania.

<sup>3/</sup> Rysunki są zamieszczone na końcu referatu.

wego, stanowiącego połowę wartości nominalnej, zakres wartości mierzonych /kontrolowanych/ *STE* ulega rozszerzeniu w dół i wynosi 100...1,5 mV.

Wartości oporności najczęściej używanych rezystorów dyskowych zawierają się w obszarze 3,3...0,008  $\Omega$ . Spotyka się również rezystory o wartościach do 22  $\Omega$ . Przy granicznych wartościach prądu wejściowego mikropotencjometrów 50 mA i 1,25 mA na rezystorach tych wystąpią spadki napięć od około 1 V do 10  $\mu$ V.

Uwzględniając krańcowe przypadki wyszczególnionych wyżej wartości sił termoelektrycznych i spadków napięć wynika, że zakres pomiarowy kompensatora powinien obejmować obszar napięciowy od 1 V do 10  $\mu$ V.

T a b l i c a 1

Siły termoelektryczne przy nominalnym prądzie wejściowym i oporności wyjściowe najczęściej stosowanych termoelementów

| Producent            | Typ termoelementu | STE<br>mV | $R_{wy}$<br>$\Omega$ |
|----------------------|-------------------|-----------|----------------------|
| Graham               | Wilkins           | 100       | 2000                 |
| Guildline            | 7000/10           | 100       | 1000                 |
| Guildline            | 7000A/10          | 30        | 1000                 |
| ZSRR                 | T-106             | 15        | 100                  |
| Ormandy-Stollery     | UHF Acorn         | 12        | 4                    |
| Ormandy-Stollery     | UHF Mini          | 7         | 8                    |
| Graham               | U1 /U2/           | 7         | 8                    |
| Cambridge /Sullivan/ | 41687 /41681/     | 6         | 8                    |

O rozdzielczości /kwantyzacji/ napięcia kompensującego decyduje niedokładność odczytu najmniejszego mierzonego napięcia w najniższym zakresie pomiarowym kompensatora. Przy trójdzielny podziale zakresu pomiarowego kompensatora /1000, 100 i 10 mV/ oraz dla niedokładności odczytu rzędu 0,01% /pięciocyfrowego odczytu/ napięcia 10  $\mu$ V w zakresie 10 mV rozdzielczość ta wyniesie 1 nV. Stąd błąd rozdzielczości /kwantyzacji/, odniesiony do górnej wartości zakresu, wyniesie 0,00001%.

Potrzeba kontrolowania niezmienności *STE* w układach pomiarowych do wyznaczania błędu rewersji /rys. 1a/ i różnicy błędów przetwarzania /rys. 1b/ stawia wysokie wymagania odnośnie niestabilności napięcia kompensującego. Zakłada się, że w okresie trwania pomiaru, który wynosi około 5 min. błąd niestabilności nie może być większy od błędu rozdzielczości, lecz najwyżej z nim równorzędny<sup>4/</sup>. Wobec tego błąd niestabilności krótkookresowej /dryftu/ w okresie 1 godz. nie powinien przekraczać 0,0001%. Należy zauważyć, że tego rzędu niestabilność kompensatora jest wymagana podczas sprawdzania przetworników termoelektrycznych i mikropotencjometrów o najwyższej dokładności. W praktyce, zadowalające wyniki pomiarów uzyskuje się za pomocą kompensatorów o błędzie niestabilności około 0,001%/h.

WYMAGANIA EKSPLOATACYJNE

Kompensator w rozpatrywanym obecnie ujęciu eksploatacyjnym jest częścią strukturalną określonego układu pomiarowego oprócz

<sup>4/</sup> Powyższe wymaganie dotyczy wyłącznie kompensatorów napięcia stałego, dla których dalsze zwiększanie stabilności nie wydaje się celowe ze względu na łatwość rekaliibracji urządzenia. Odrebnym zagadnieniem jest stabilność podobnych narzędzi kontrolnych, np. nastawnych wzorców napięcia lub kalibratorów napięciowych.



i obok innych elementów składowych i wiąże się z nimi funkcjonalnie w sposób elastyczny w zależności od rodzaju tego układu. Z powyższego wynika, że sama kompensacja jest tylko częścią procesu pomiarowego i dlatego nie może pochłaniać zbytnej uwagi operatora.

Kompensator powinien charakteryzować się przede wszystkim dużą szybkością i łatwością użytkowania. Dotyczy to całego okresu obsługi urządzenia, a więc czynności przygotowawczych, jak włączenie zasilania, "grzanie" i kalibracja oraz samego równoważenia, odczytu wyników i kontroli poprawności pracy. Kompensator powinien być zasilany z sieci przy skróconym cyklu "nagrzewania", a więc gotów do użycia już po upływie około 15 min. od chwili włączenia<sup>5/</sup>. Poprawność pracy urządzenia powinna być okresowo kontrolowana w łatwy sposób bez korzystania z zewnętrznych przyrządów, jedynie przy użyciu elementów wewnętrznych /selfcheck/. W celu przyspieszenia odczytywania wyników pomiaru wydaje się korzystne zastosować wyświetlanie wskazań nastawników pomiarowych w postaci cyfrowej z uwzględnieniem wagi cyfr.

Specyfika eksploatacyjna kompensatora determinuje poza tym konieczność powiązania go w sposób stacjonarny z pozostałymi elementami układu pomiarowego. Optymalnym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie mechanicznej konstrukcji w formie wspólnego stojaka.

Jednocześnie kompensator powinien być powiązany z pozostałymi elementami układu pomiarowego w sposób elastyczny pod względem elektrycznym za pomocą zewnętrznych kabli i przewodów.

---

<sup>5/</sup> Kompensatory o zasilaniu bateryjnym wymagają "nagrzewania" w okresie 2-4 godzin. W celu uzyskania najwyższej stabilności stosuje się z konieczności zasilanie ciągłe, tzn. w całym okresie użytkowania.

Tylko taki sposób komutacji zapewni szybką rekonfigurację połączeń w zależności od charakteru eksploatacji.

Różny rodzaj zastosowań kompensatora /rys. 1/ oraz różny poziom wymaganej precyzji badań stawiają konieczność płynnego regulowania czułości układu kompensacyjnego. Pomiar pośredni oporności rezystorów dyskowych mikropotencjometrów może być znacznie usprawniony przez wprowadzenie dodatkowej komutacji w obwodzie pomiarowym kompensatora. Taka komutacja umożliwi jednocześnie połączenie z kompensatorem kilku zewnętrznych obwodów i kolejne ich przełączanie.

#### PRZYKŁAD REALIZACJI KOMPENSATORA

Wybór optymalnego układu kompensacyjnego, spełniającego powyższe wymagania, nie przedstawia większych trudności mimo istniejącego "gąszczu" znanych do tej pory typów kompensatorów. Kompensator, będący przedmiotem rozważań, powinien opierać się na II metodzie kompensacji Pogendorffa, ponieważ tylko ta metoda jest optymalna do pomiaru /kontrolowania/ małych i bardzo małych napięć w obwodach niskooporowych. Najlepszym współczesnym rozwiązaniem układowym w rodzinie kompensatorów miliwoltowych /mikrowoltowych/ jest układ L. Julie'a [6]. Łączy on w prosty sposób jednocześnie wysoką stabilność i rozdzielczość, uznane poprzednio za parametry charakterystyczne kompensatora współpracującego z przetwornikami termoelektrycznymi i mikropotencjometrami.

Na rysunku 2 pokazano schemat ideowy układu kompensacyjnego L. Julie'a. W rzeczywistości jest to dzielnik napięcia Kelvina-Varleya o oporności  $R_D$ , w "odwróconym" połączeniu jako dzielnik prądu obciążony rezystorem kompensującym  $R_V$ . Ten zmodyfikowany dzielnik zasila się ze źródła prądowego  $I_Z$ , które gene-

ruje wymuszony prąd  $I$  o wartości nastawianej przy użyciu ogniwa Westona E na rezystorze  $R_E$ .

Napięcie kompensujące kompensatora jako spadek napięcia  $U_K$  na rezystorze  $R_K$  wywołany przez prąd kompensujący  $I_K$  wynosi [7]:

$$U_K = A \frac{R_D \cdot R_K}{R_D + R_K} I$$

Ponieważ  $R_D$ ,  $R_K$  oraz  $I$  są wartościami stałymi w procesie kompensacji, dlatego napięcie kompensujące  $U_K$  jest funkcja jedynie pozycji dzielnika, a jego wartość jest wprost proporcjonalna do przekładni  $A$  tego dzielnika.

Wysokostabilny kompensator napięć stałych w układzie L. Julie'a został zaprojektowany i wykonany w Instytucie Łączności w latach 1975-1976 [7], [8]. Kompensator wchodzi w skład systemu pomiarowego do sprawdzania przetworników termoelektrycznych i mikropotencjometrów, pokazanego na rys. 3. Jest jednak związany z nim quasistacjonarnie, w formie "nastawy" na stojak, dzięki czemu może być w prosty sposób zdemontowany i eksploatowany poza tym systemem.

Model użytkowy wysokostabilnego kompensatora napięć stałych typ 20/76 przeszedł pomyślnie badania laboratoryjne [9]. Spełnia on wszystkie wymagania, tak ogólne dotyczące tego typu przyrządów, jak i szczegółowe, wynikające ze specjalnego przeznaczenia. Jest eksploatowany w Centralnej Izbie Pomiarów Telekomunikacyjnych Instytutu Łączności w dziedzinie kontrolno-legalizacyjnej przetworników termoelektrycznych i mikropotencjometrów.

PODSTAWOWE PARAMETRY KOMPENSATORA : [7], [8], [9]

|  |              |
|--|--------------|
| Zakresy pomiarowe:                       | 1000 mV      |
|  | 100 mV       |
|  | 10 mV        |
| Błędy podstawowe                         |              |
| w zakresie: 1000 mV                      | < 0,01%      |
| 100 mV                                   | < 0,01%      |
| 10 mV                                    | < 0,02%      |
| Rozdzielczość napięcia kompensującego    |              |
| w zakresie: 1000 mV                      | 100 nV       |
| 100 mV                                   | 10 nV        |
| 10 mV                                    | 1 nV         |
| Błąd kwantyzacji odniesiony do górnej    |              |
| wartości zakresu                         | 0,00001%     |
| Niestabilność krótkookresowa:            | 0,001%/h     |
| Niestabilność krótkookresowa, po upływie |              |
| ok. 2 1/2 h od momentu włączenia za-     |              |
| silania /por. tablica 2/:                | 0,0001%/h    |
| Napięcia zerowe                          |              |
| w zakresie: 1000 mV                      | 0,27 $\mu$ V |
| 100 mV                                   | 0,06 $\mu$ V |
| 10 mV                                    | 0,05 $\mu$ V |

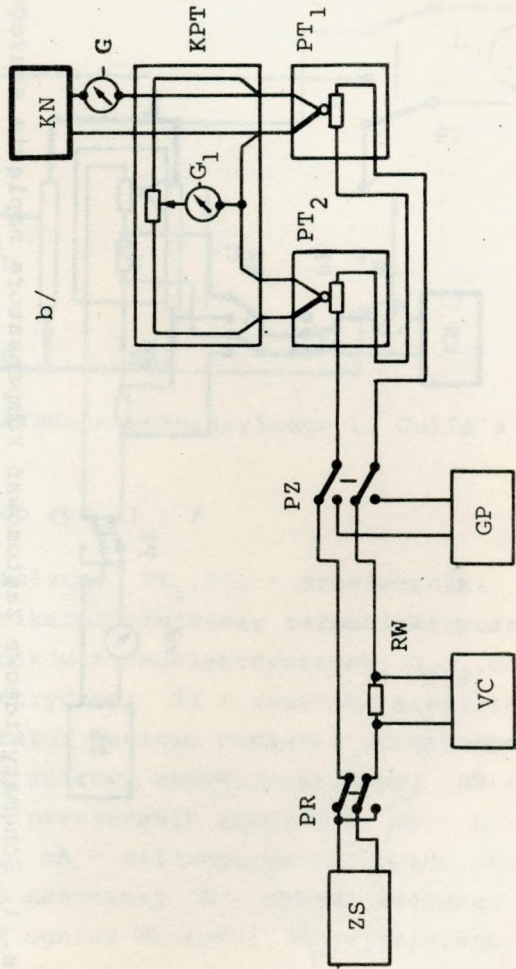
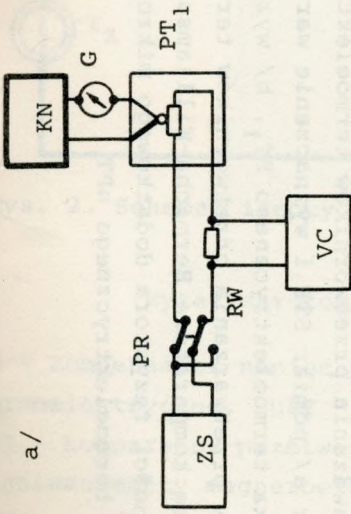
T a b l i c a 2

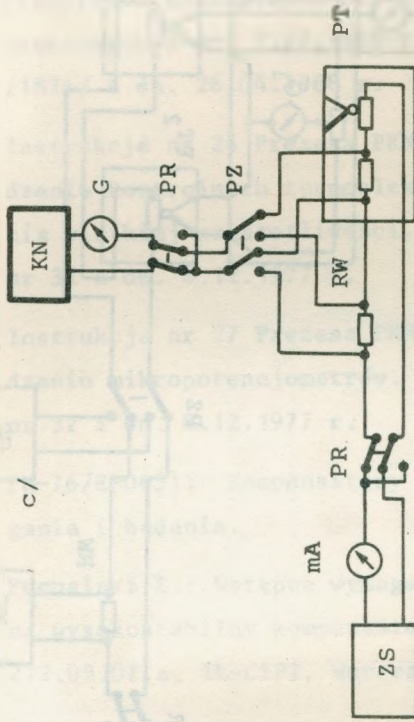
Niestabilność napięcia kompensującego w funkcji czasu nagrzewania

|                                    |          |          |          |          |          |          |          |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Czas nagrzewania<br>min.           | 15       | 30       | 45       | 60       | 75       | 90       | 105      |
| Niestabilność<br>maksymalna<br>%/h | +0,0007  | +0,0011  | +0,0011  | +0,0012  | +0,0010  | +0,0008  | +0,0006  |
| Czas nagrzewania<br>min.           | 120      | 135      | 150      | 165      | 180      | 195      | 210      |
| Niestabilność<br>maksymalna<br>%/h | +0,00038 | +0,00023 | +0,00015 | +0,00008 | +0,00004 | +0,00004 | +0,00003 |

## WYKAZ LITERATURY

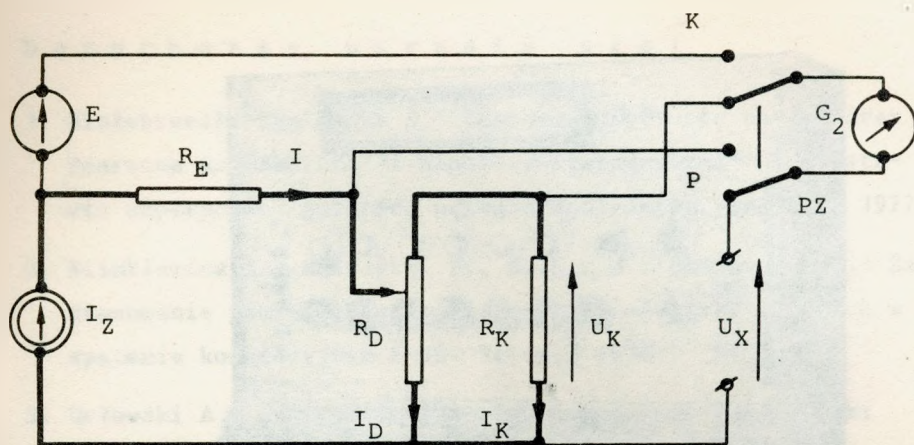
1. Przepisy o kontrolnych przetwornikach termoelektrycznych napięciowych z dn. 7.02.1968 r. Dziennik Urzędowy CUJiM nr 4 /1874/ z dn. 26.04.1968 r.
2. Instrukcja nr 26 Prezesa PKNiM z dn. 21.11.1977 r. o sprawdzaniu kontrolnych termoelektrycznych przetworników napięcia wielkiej częstotliwości. Dziennik Normalizacji i Miar nr 32 z dn. 8.12.1977 r.
3. Instrukcja nr 27 Prezesa PKNiM z dn. 28.11.1977 r. o sprawdzaniu mikropotencjometrów. Dziennik Normalizacji i Miar nr 32 z dn. 8.12.1977 r.
4. PN-76/E-06511. Kompensatory napięcia stałego. Ogólne wymagania i badania.
5. Puchalski E.: Wstępne wymagania techniczno-eksploatacyjne na wysokostabilny kompensator napięć stałych. Praca nr 212.03.07.a, IŁ-CIPT, Warszawa, 1974 r.
6. Julie L.: A universal potentiometer for the range from one nanovolt to ten volts, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. IM-16, No.3, Sept. 1967, pp.187-191.
7. Puchalski E.: Projekt koncepcyjny wysokostabilnego kompensatora napięć stałych. Praca nr 212.03.07.b, IŁ-CIPT, Warszawa, 1975 r.
8. Puchalski E.: Instrukcja techniczno-eksploatacyjna wysokostabilnego kompensatora napięć stałych typ 20/76. Praca nr 3.12-10, IŁ-CIPT, Warszawa, 1976 r.
9. Puchalski E.: Program i wyniki badań laboratoryjnych modelu użytkowego wysokostabilnego kompensatora napięć stałych typ 20/76. Praca nr 5/12-04, IŁ-CIPT, Warszawa, 1978 r.





Rys. 1. Schematy idealowe zastosowań kompensatora napięcia stałego w układach do sprawdzania przetworników termoelektrycznych i mikropotencjometrów: a/ pomiar STE i wyznaczenie wartości błędu rewersji przetwornika termoelektrycznego  $PT_1$ , b/ wyznaczenie wartości różnicy błędów przetwarzania przetworników termoelektrycznych  $PT_1$  i  $PT_2$  za pomocą komparatora Hermacha-Williamsa, c/ wyznaczenie wartości oporności rezystora dodatkowego mikropotencjometru termoelektrycznego uPT

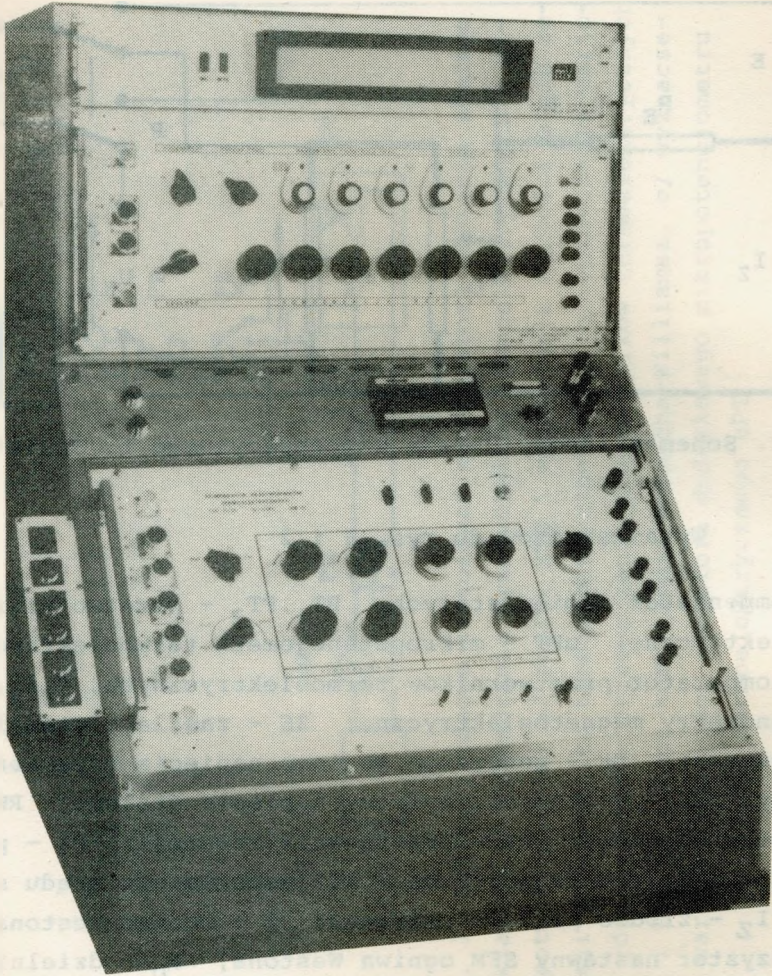




Rys. 2. Schemat ideowy układu kompensacyjnego L. Julie'a

Wykaz skrótów do rys. 1 i 2

KN - kompensator napięć stałych;  $PT_1, PT_2$  - przetworniki termoelektryczne;  $\mu PT$  - mikropotencjometr termoelektryczny; KPT - komparator przetworników termoelektrycznych;  $G_1, G_2, G$  - galwanometry magnetoelektryczne; ZS - zasilacz stabilizowany nastawny; GP - generator poziomu napięcia przemiennego nastawny; VC - woltomierz cyfrowy napięcia stałego; RW - rezystor wzorcowy; PR - przełącznik rewersji; PZ - przełącznik zwielokrotniający; mA - miliamperomierz prądu stałego;  $I_Z$  - źródło prądowe nastawne; E - ogniwo Westona;  $R_E$  - rezystor nastawny SEM ogniwa Westona;  $R_D$  - dzielnik Kelvina-Varleya;  $R_K$  - rezystor kompensacyjny; I - prąd roboczy kompensatora;  $I_D$  - prąd dzielnika Kelvina-Varleya;  $I_K$  - prąd kompensujący;  $U_K$  - napięcie kompensujące;  $U_X$  - napięcie mierzone; K - pozycja "kalibracja" przełącznika PZ; P - pozycja "pomiar" przełącznika PZ.



Rys. 3. Widok ogólny systemu pomiarowego do sprawdzania przetworników termoelektrycznych i mikropotencjometrów

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI  
BIBLIOTEKA NAUKOWA  
Nr S-8240

D o t y c h c z a s   u k a z a ły   s i e :

1. Biało-brzeski R., Sońta S.: Zastosowanie testu chi kwadrat Pearsona do weryfikacji hipotezy statystycznej na podstawie empirycznej gęstości prawdopodobieństwa. Grudzień 1977.
2. Blinkiewicz A., Mędrzycki B., Hutnik M., Sambierski R.: Zastosowanie pamięci kasetowej PK-1 do rejestracji danych w systemie komutacyjnym E-10. Styczeń 1978.
3. Orłowski A.: Optymalizacja układu ogranicznika dynamiki zwłaszcza dla radiofonii krótkofalowej. Luty 1978.
4. Frączek K.: Zasady opracowywania wymagań techniczno-eksploatacyjnych na urządzenia pomiarowe w resorcie łączności. Marzec 1978.
5. Biało-brzeski R., Dudziewicz J.: Minimalna częstość próbkowania sygnału losowego przy pomiarze jego mocy średniej. Marzec 1978.
6. Lewandowski W.: Wprowadzenie komutacji teledacyjnych kanałów cyfrowych w powszechnej telefonicznej sieci komutacyjnej z centralami elektronicznymi E-10. Kwiecień 1978.
7. Dudziewicz J.: Ogólne wytyczne w sprawie prowadzenia i dokumentowania prac naukowo-badawczych wykonywanych w Instytucie Łączności. Kwiecień 1978.
8. Stągrowski A.: Metoda detekcji i pomiaru impulsów o maksymalnych i minimalnych czasach trwania w ciągu. Maj 1978.
9. Chamski J.: System CTI-B dla maszyny cyfrowej R-10. Maj 1978.

S-8270