

Andrzej LEBIEDZKI

POMIARY W BADANIACH TERMICZNYCH I KLIMATYCZNYCH KONDENSATORÓW  
PRZECIWKĄŁÓCENIOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono układy pomiaru pojemności konduktancji i temperatury obudowy badanego kondensatora oraz pomiaru wilgotności względnej powietrza w komorze klimatycznej. Układy te były stosowane w badaniach termicznych i klimatycznych kondensatorów przeciwzakłóceniovych, a wyniki pomiarów były rejestrowane za pomocą czterokanałowego rejestratora cyfrowego.

MEASUREMENTS IN THERMAL AND CLIMATIC TESTS OF CAPACITORS  
FOR RADIO INTERFERENCE SUPPRESSION

Summary. In the paper some measurement systems of capacity, conductance and temperature of capacitor casing as well as measurements of relative air humidity the climatic chamber have been described. These systems have been applied in thermal and climatic tests of capacitors for radio interference suppression and measurement results have been recorded by means of four channel digital recorder.

ИЗМЕРЕНИЯ В ТЕРМИЧЕСКИХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ  
ПОМЕХОПОДАВЛЯЮЩИХ КОНДЕНСАТОРОВ

Резюме. В статье обсуждены системы измерения ёмкости, кондуктанции, температуры корпуса исследуемого конденсатора и влажности воздуха в климатической камере. Эти системы были исследованы в термических и климатических испытаниях помехоподавляющих конденсаторов, а результаты этих измерений регистрировались с помощью четырёхканального цифрового регистратора.

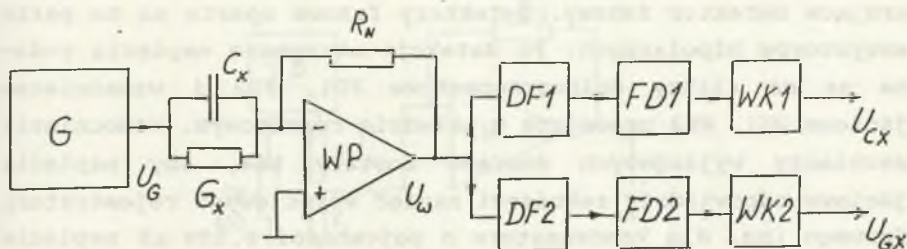
## 1. WPROWADZENIE

Pomiary podstawowych parametrów dielektrycznych kondensatora w badaniach temperaturowych i klimatycznych [3] prowadzonych w laboratorium badawczym oraz w czasie procesu technologicznego są istotnym elementem poprawy jakości produkowanych w kraju kondensatorów przeciwzakłóceńowych. Dotyczy to szczególnie badań kondensatorów, których dielektrykiem jest bibułka kondensatorowa. W tym przypadku o właściwościach dielektrycznych decyduje proces próżniowego suszenia gotowych zwijek kondensatorowych, poprawnej impregnacji zwijki oraz jej hermetyzacji w kubku aluminiowym lub z tworzywa. Przedstawiony w artykule układ pomiarowy wykorzystujący czterokanałowy rejestrator cyfrowy umożliwi rejestrację wartości pojemności, współczynnika strat dielektrycznych i temperatury obudowy badanego kondensatora oraz wilgotności względnej w komorze klimatycznej.

## 2. POMIAR POJEMNOŚCI I KONDUKTANCJI KONDENSATORA

Do pomiaru pojemności i konduktancji kondensatora badanego zastosowano układ ze wzmacniaczem pomiarowym i wzorcem rezystancji  $R_N$  w obwodzie sprzężenia zwrotnego wzmacniacza. Schemat blokowy układu przedstawia rys.1.

W układzie tym zastosowano generator  $G$  napięcia sinusoidalnego o częstotliwości 1 kHz z mostkiem Wiena o dużej stałości amplitudy i częstotliwości oraz małym współczynnikiem zawartości wyższych harmonicznnych. Dla stabilizacji amplitudy generatora zastosowano dodatkowy wzmacniacz, na którego wejścia podawane są wyprostowane napięcia z generatora i napięcie odniesienia z precyzyjnego źródła napięcia referencyjnego i stabilnego termicznie dzielnika rezystancyjnego. Wzmacniacz ten steruje elementem regulacyjnym - tranzystorem polowym w gałęzi ujemnego sprzężenia zwrotnego generatora. Dzięki temu uzyskano wymaganą stabilizację amplitudy generatora w długim przedziale czasu. Względna zmiana amplitudy w czasie 24 godzin wynosi  $\pm 0,2\%$ .



Rys.1. Schemat blokowy układu do pomiaru pojemności i konduktancji. G - generator,  $C_x$ ,  $G_x$  - pojemność i konduktancja badanego kondensatora,  $R_N$  - rezystor wzorcowy, WP - wzmacniacz pomiarowy, DF1, DF2 - detektory fazoczułe, FD1, FD2 - filtry dolnoprzepustowe, WK1, WK2 - wzmacniacze końcowe

Fig.1. Block diagram of capacity and conductance measurement system. G - generator,  $C_x$ ,  $G_x$  - capacity and conductance of measured capacitor,  $R_N$  - standard resistor, WP - measurement amplifier, DF1, DF2 - phase-sensitive detector, FD1, FD2 - low-pass filters, WK1, WK2 - final amplifier

Przy założeniu stałej wartości napięcia generatora i równoległego schematu zastępczego kondensatora napięcie wyjściowe wzmacniacza pomiarowego WP [1] określa zależność:

$$U_{\omega} = U_G R_N (G_x + j\omega C_x), \quad (1)$$

gdzie:

- $U_G$  - napięcie generatora,
- $R_N$  - rezystancja sprzężenia zwrotnego,
- $G_x$  - konduktancja kondensatora,
- $\omega = 2\pi f$  - pulsacja napięcia zasilającego,
- $C_x$  - pojemność kondensatora.

Dokonując detekcji fazowej napięcia  $U_{\omega}$  otrzymano dwie składowe napięć o wartościach proporcjonalnych do pojemności  $C_x$  i konduktancji  $G_x$ .

Układ elektroniczny każdego detektora fazoczułego DF składa się z przesuwnika fazowego napięcia generatora dla składowej

czynnej i biernej, układu formującego napięcie prostokątne sterujące detektor fazowy. Detektory fazowe oparte są na parze tranzystorów bipolarnych. Po detekcji otrzymane napięcia podawane są na filtry dolnoprzepustowe FD1, FD2 i wzmacniacze wyjściowe WK1, WK2 pracujące w układzie różnicowym. Wzmocnienia wzmacniaczy wyjściowych dobrane zostały tak, aby napięcia wyjściowe odpowiadały zakresowi napięć wejściowych rejestratora cyfrowego (np. dla kondensatora o pojemności 0,100  $\mu\text{F}$  napięcie wyjściowe wynosiło 1,000 V).

Zmiana zakresu pomiarowego układu pomiaru pojemności  $C_x$  wykonywana jest przez zmianę wartości rezystancji rezystora wzorcowego  $R_N$  w pętli sprzężenia zwrotnego wzmacniacza pomiarowego. Regulację i skalowanie układu pomiaru pojemności i konduktywności przeprowadzono za pomocą mostka automatycznego E-315A. Wyznaczona niedokładność pomiaru pojemności wynosi  $\pm 0,5\%$  zakresu znamionowego.

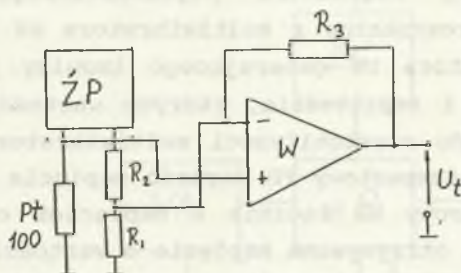
### 3. POMIAR TEMPERATURY KONDENSATORA

Do pomiaru temperatury powierzchni obudowy kondensatora [2] zastosowano miniaturowy rezystancyjny przetwornik platynowy Pt 100 typu P113 w osłonie z cienkościennej rurki mosiężnej. Przetwornik Pt 100 współpracuje z miernikiem temperatury o wyjściu napięciowym dostosowanym do napięcia znamionowego rejestratora cyfrowego RCU-4.

Schemat blokowy miernika temperatury przedstawia rys.2.

W mierniku tym zastosowano bardzo stabilne źródło prądowe ŻP zasilające przetwornik Pt 100 prądem o wartości około 0,5 mA i wzmacniacz napięcia stałego W o małym dryfcie zera. Temperaturze  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  odpowiada napięcie wyjściowe wzmacniacza  $U_0 = 0,000\text{ V}$ , a temperaturze  $t_{100} = 100^\circ\text{C}$  napięcie  $U_{100} = 1,000\text{ V}$ . Sprawdzenia i regulacji układu pomiaru temperatury dokonano za pomocą termometru kwarcowego typu PTK-1 w termostacie. Temperatura w termostacie była stabilizowana z niedokładnością termometru kwarcowego  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

Wyznaczona niedokładność termometru platynowego w zakresie  $20 + 100^\circ\text{C}$  wynosi  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ .

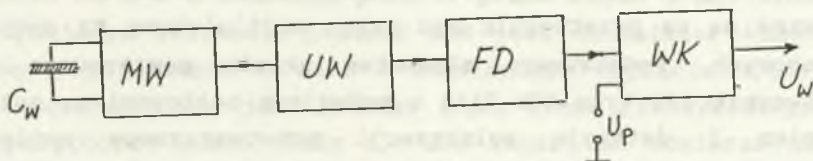


Rys.2. Schemat blokowy termometru platynowego. ŻP - źródło prądowe, W - wzmacniacz pomiarowy,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  - rezystory sprzężenia zwrotnego wzmacniacza, Pt 100 - platynowy czujnik temperatury

Fig.2. Block diagram of platinum thermometer. ŻP - current source, W - measurement amplifier,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  - amplifier feedback circuit resistors, Pt 100 - temperature platinum converter

#### 4. POMIAR WILGOTNOŚCI WZGLĘDNEJ W KOMORZE KLIMATYCZNEJ

Do pomiaru wilgotności względnej w komorze klimatycznej zastosowano pojemnościowy przetwornik typu QTY2 firmy Philips. Przyrost pojemności przetwornika spowodowany wzrostem wilgotności powietrza w komorze prowadził do zmiany częstotliwości multiwibratora.



Rys.3. Schemat blokowy higrometru pojemnościowego.  $C_w$  - czujnik pojemnościowy wilgotności, MW - multiwibrator, UW - uniwibrator, FD - filtr dolnoprzepustowy, WK - wzmacniacz końcowy,  $U_p$  - napięcie odniesienia

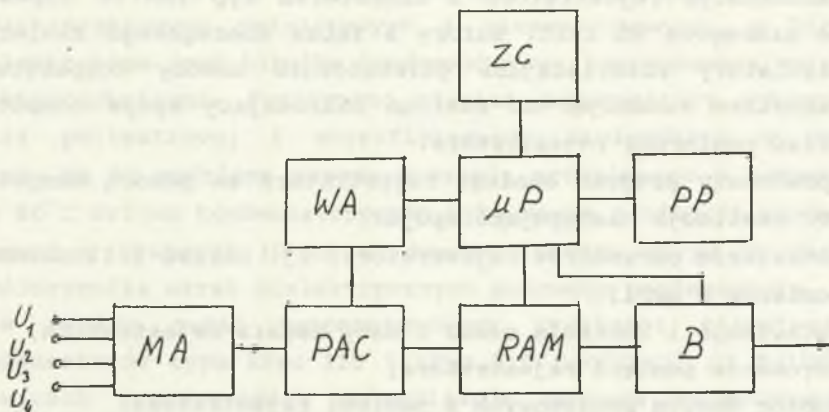
Fig.3. Block diagram of capacity hygrometer.  $C_w$  - capacity humidity sensor, MW - multivibrator, UW - univibrator, FD - low-pass filter, WK - final amplifier,  $U_p$  - reference voltage

Schemat blokowy higrometru pojemnościowego przedstawia rys.3. Napięcie prostokątne z multiwibratora MW podawane jest na układ uniwibratora UW generującego impulsy prostokątne o stałej szerokości i amplitudzie, których wartość średnia proporcjonalna jest do częstotliwości multiwibratora. Uśredniona przez filtr dolnoprzepustowy FD wartość napięcia podawana jest na wzmacniacz końcowy WK łącznie z napięciem odniesienia  $U_p$  tak, że na wyjściu otrzymywane napięcie o wartości  $U_{w1} = 0,60 \text{ V}$  odpowiada wilgotności względnej 60%, a napięcie  $U_{w2} = 1,00 \text{ V}$  wilgotności względnej 100%.

Do regulacji i skalowania higrometru pojemnościowego zastosowano metodę psychometryczną i zestaw pomiarowy dwóch termometrów laboratoryjnych rtęciowych suchego i zwilżanego. Niedokładność pomiaru wilgotności higrometrem pojemnościowym wynosi  $\pm 2\%$  w wymaganym w czasie badań zakresie temperatury w komorze  $20 + 50^\circ \text{C}$ .

## 5. REJESTRATOR CYFROWY RCU-4

Zaprojektowany i wykonany w Instytucie Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej rejestrator cyfrowy RCU-4 [4] pozwala na zarejestrowanie w wewnętrznej pamięci około 4000 wyników pomiarowych z czterech kanałów równocześnie. Znamionowy zakres rejestrowanych napięć wynosi  $\pm 1,9999 \text{ V}$ . Schemat blokowy rejestratora przedstawia rys.4. W rejestratorze napięcia mierzone podawane są na przetwornik a/c przez multiplexer MA sygnałów analogowych. Podstawowym elementem układu pomiarowego jest przetwornik a/c typu ICL 7135 z podwójnym całkowaniem, autozerowaniem i detekcją polaryzacji przetwarzanego napięcia. Podstawowym elementem cyfrowej części rejestratora jest 8-bitowy jednokanałowy mikrokontroler  $\mu\text{P}$  typu 80C32 wykonany w technologii HCMOS zapewniającej minimalny pobór mocy, dużą szybkość działania i wysoką odporność na zakłócenia. Program działania mikrokontrolera umieszczono w pamięci PP trwałej EPROM o pojemności 8 kB. Do rejestracji wyników pomiarów zastosowano pamięć RAM o pojemności 32 kB.



Rys.4. Schemat blokowy rejestratora cyfrowego RCU-4. MA - multiplexer analogowy, PAC - przetwornik analogowo cyfrowy,  $\mu P$  - mikrokontroler, PP - pamięć parametrów rejestratora, RAM - pamięć wyników rejestracji, WA - ciekłokrystaliczny wyświetlacz alfanumeryczny, B - bufor interfejsu szeregowego, ZC - zegar czasu rzeczywistego

Fig.4. Block diagram of digital recorder RCU-4. MA - analog multiplexer, PAC - analog-digital converter,  $\mu P$  - microcontroller, PP - recorded parameters memory, RAM - recorded results memory, B - series interface buffer, ZC - rel time clock

Specjalna konstrukcja tej pamięci umożliwia przechowywanie zapamiętanej informacji przy znacznie obniżonym napięciu zasilania do 2 V i znikomym poborze prądu rzędu 1  $\mu A$ . Źródłem podtrzymującym zasilanie pamięci RAM jest akumulator kadmowo-niklowy o pojemności 60 mA·h i znamionowym napięciu 3,6 V. Z akumulatora zasilany jest również zegar czasu rzeczywistego ZC o małym poborze prądu około 1,5  $\mu A$ . Zegar ten odmierza czas: sekundy, minuty, godziny oraz określa datę: dzień, miesiąc i rok. Zegar umożliwia umiejscowienie każdego zarejestrowanego wyniku w czasie rzeczywistym. Komunikację rejestratora z operatorem umożliwia alfanumeryczny wyświetlacz ciekłokrystaliczny WA oraz zespół czterech klawiszy funkcyjnych. Wyświetlacz ten umożliwia wyświetlanie 32 znaków alfanumerycznych umieszczonych w dwóch wierszach po 16 znaków.

Komunikację rejestratora z komputerem typ IBM PC zapewnia łączy szeregowo RS 232C. Bufory B łączy szeregowego zawierają optoizolatory rozdzielające galwanicznie obwody komputera i rejestratora redukując do minimum zakłócający wpływ komputera na układ pomiarowy rejestratora.

Opracowany program obsługi rejestratora za pomocą komputera IBM PC realizuje następujące opcje:

- ustawienie parametrów rejestratora, tj. okresu i liczebności pomiarów w serii,
- ustawienie i kontrolę czasu i daty zegara rejestratora,
- zerowanie pamięci rejestratora,
- odbiór danych pomiarowych z pamięci rejestratora,
- przedstawienie wyników pomiarów w postaci tabeli zawierającej czas i datę wykonania pomiarów i kolejne wyniki pomiarów w czterech kanałach pomiarowych.

Programowany odstęp czasu między kolejnymi pomiarami w serii jest wielokrotnością 4 sekund. Liczebność pomiarów w jednej serii ograniczono do 2000 pomiarów.

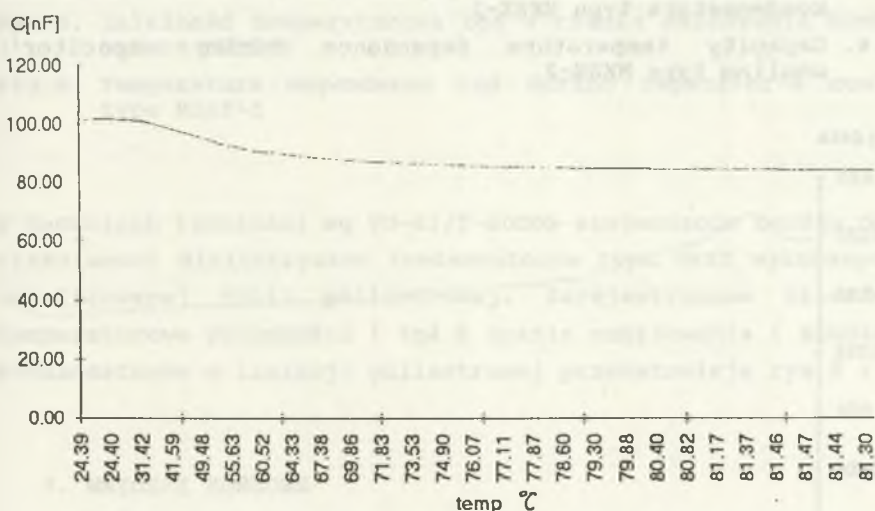
## 6. BADANIA TERMICZNE I KLIMATYCZNE KONDENSATORÓW

W czasie wykonywanych rejestracji obiektem badań był tylko jeden kondensator dla każdej serii pomiarów. Parametrami rejestrowanymi były wartości pojemności  $C_x$ , konduktancji  $G_x$ , temperatura obudowy kondensatora, temperatura lub wilgotność w komorze klimatycznej. Zapamiętane wyniki pomiarów przepisywane były po zapełnieniu pamięci rejestratora RCU-4 na dysk twardy komputera IBM PC i zapisywane w postaci czterech kolumn wyników pomiarowych. Do wyznaczenia wartości współczynnika strat dielektrycznych  $\text{tg}\delta = G_x / \omega C_x$  wykorzystano program Windows 3.1. Program ten pozwala na oddzielenie wartości jednej kolumny wyników pomiaru przez drugą, wprowadzenie stałych współczynników przeliczeniowych oraz wykreślanie zależności funkcyjnych między kolumnami. Program ten pozwala więc na wykreślenie zależności temperaturowych  $C_x = f(t)$  i  $\text{tg}\delta_x = f(t)$  z równoczesnym przeliczeniem skal  $C_x$  i  $\text{tg}\delta_{x,t}$ . Badania tempera-



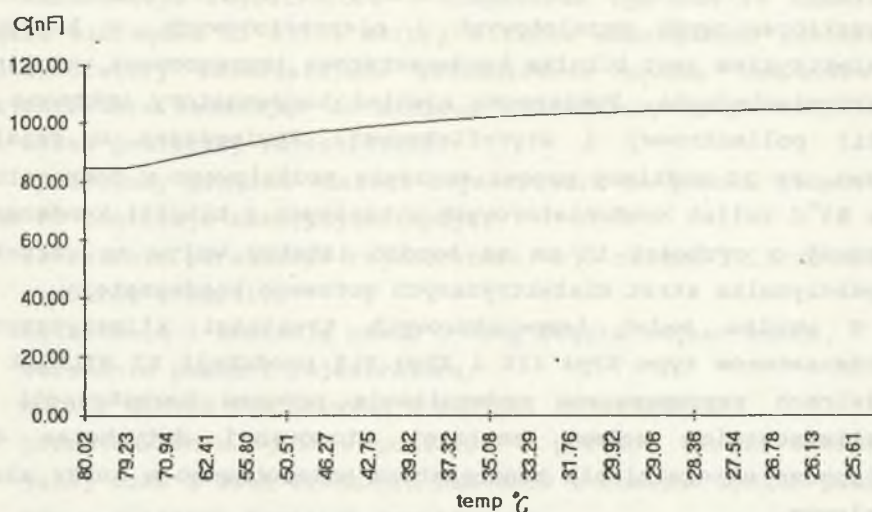
tururowe i klimatyczne wykonane zostały na kondensatorach przeciwzakłóceńowych przelotowych i nieprzelotowych, w których dielektrykiem jest bibułka kondensatorowa impregnowana wazeliną elektrotechniczną. Pomierzono również kondensatory wykonane z folii poliestrowej i styrofleksowej. Stwierdzono w czasie badań, że 30 godzinny proces suszenia próżniowego w temperaturze 80°C zwijek kondensatorowych wykonanych z bibułki kondensatorowej o grubości 10  $\mu\text{m}$  ma bardzo istotny wpływ na wartość współczynnika strat dielektrycznych gotowego kondensatora.

W wyniku badań temperaturowych trwałości klimatycznych kondensatorów typu KPpz 115 i KPpz 015 produkcji SI SILESIA w Gliwicach zaproponowano modernizację procesu hermetyzacji z wyeliminowaniem zalewy smołowej stosowanej dotychczas do wstępnego uszczelnienia kondensatora przelotowego w kubku aluminiowym.



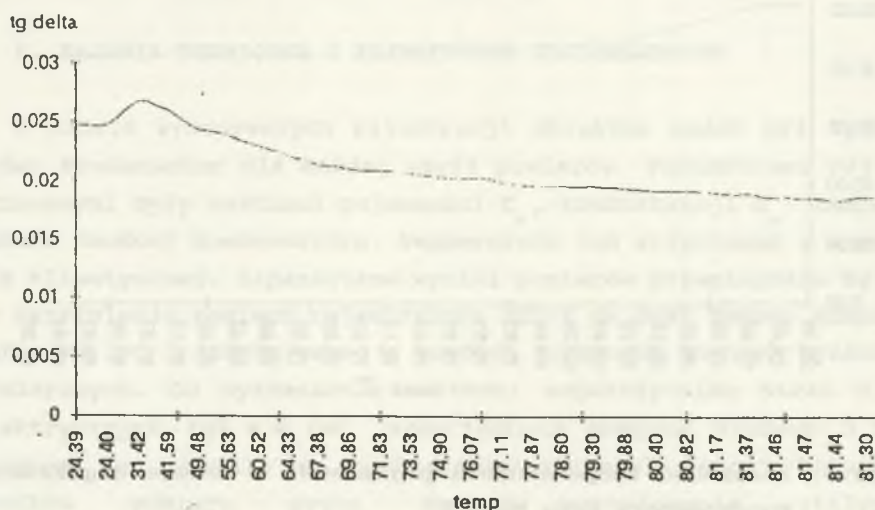
Rys.5. Zależność temperaturowa pojemności w czasie nagrzewania kondensatora typu MKSE-2

Fig.5. Capacity temperature dependence during capacitor's heating type MKSE-2



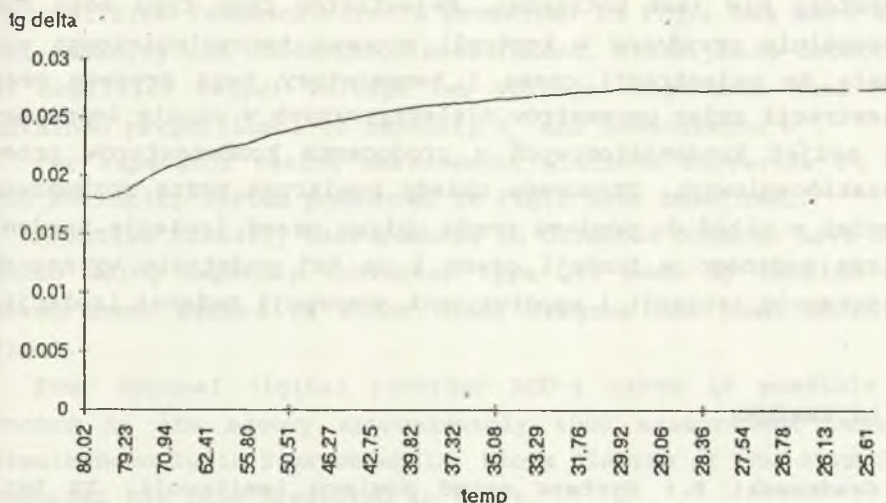
Rys.6. Zależność temperaturowa pojemności w czasie chłodzenia kondensatora typu MKSE-2

Fig.6. Capacity temperature dependence during capacitor's cooling type MKSE-2



Rys.7. Zależność temperaturowa  $\text{tg}\delta$  w czasie nagrzewania kondensatora typu MKSE-2

Fig.7. Temperature dependence  $\text{tg}\delta$  during capacitor's heating type MKSE-2



Rys.8. Zależność temperaturowa  $\text{tg}\delta$  w czasie chłodzenia kondensatora MKSE-2

Fig.8. Temperature dependence  $\text{tg}\delta$  during capacitor's cooling type MKSE-2

W badaniach trwałości wg PN-83/T-80002 stwierdzono bardzo dobre właściwości dielektryczne kondensatorów typu MKSE wykonanych z metalizowanej folii poliestrowej. Zarejestrowane zależności temperaturowe pojemności i  $\text{tg}\delta$  w czasie nagrzewania i studzenia kondensatorów o izolacji poliestrowej przedstawiają rys.5 + 8.

## 7. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawiona metoda rejestracji pojemności  $C_x$ , konduktancji  $G_x$  ( $\text{tg}\delta_x$ ), temperatury obudowy kondensatora, temperatury otoczenia lub wilgotności względnej w komorze badawczej z wykorzystaniem czterokanałowego rejestratora cyfrowego RCU-4 pozwala na badania krótkotrwałe i wielogodzinne kondensatorów i innych obiektów pojemnościowych w zmiennych warunkach otoczenia. Ponieważ układ pomiarowy sam rejestruje wyniki pomiarów w

zadanych odstępach czasu będących krotnością 4 sekund, obecność operatora nie jest potrzebna. Rejestrator tego typu może być szczególnie przydatny w kontroli procesu technologicznego suszenia do rejestracji czasu i temperatury tego procesu oraz rejestracji zmian parametrów dielektrycznych w czasie impregnacji zwijek kondensatorowych u producenta kondensatorów przeciwwzakłóceniovych. Stosowane układy pomiarowe można rozbudować również o układ do pomiaru prądu upływu przez izolację kondensatora badanego w funkcji czasu i na tej podstawie wyznaczać rezystancję izolacji i współczynnik absorpcji badanej izolacji.

#### LITERATURA

1. Szadkowski B.: Synteza metod pomiaru immitancji. ZN Pol. Śl., ser. Elektryka, z. 93, Gliwice 1984.
2. Wiśniewski S.: Pomiary temperatury w badaniach silników i urządzeń cieplnych. WNT, Warszawa 1983.
3. PN-83/T-80002. Kondensatory przeciwwzakłóceniove. Ogólne wymagania i badania.
4. Lebiezki A., Tokarski J., Pokrywka Z.: Sprawozdanie z badań własnych za rok 1992. BW-717/RE-2/92.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Leszek Kiełtyka

Wpłynęło do Redakcji 15 marca 1994

#### Abstract

In the paper some measurement systems of capacity, conductance and temperature of capacitor casing as well as measurements of relative air humidity the climatic chamber have been described. These systems have been applied in thermal and climatic tests of capacitors for radio interference suppression and measurement results have been recorded by means of four channel digital recorder.

A system with measurement amplifier and standard resistor  $R_N$  in amplifier feedback circuit presented in Fig.1 has been used for capacity and conductance measurement. After phase detection of amplifier output voltage two voltage components have been obtained proportional to capacity  $C_x$  and conductance  $G_x$ .

For capacitor casing measurement platinum converter Pt 100 and measuring system presented in Fig.2 have been used.

Relative humidity measurements in climatic chamber have been taken using capacity converter type QTY made by Philips and measurement system of witch block diagram has been shown in Fig.3.

Four channel digital recorder RCU-4 makes it possible to record in its memory approximately 4000 measurement results simultaneously in four channels. Block diagram of the described recorder has been presented in Fig.4.

In Fig.5 to 8 temperature dependencies of capacity and dielectric loss factor  $\text{tg}\delta$  have been recorded during heating and cooling of basic poliester insulation capacitors.