ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1972

Seria: ELEKTRYKA z. 37 Nr kol. 356

Jerzy Jakubiec

Instytut Metrologii
i Maszyn Elektrycznych

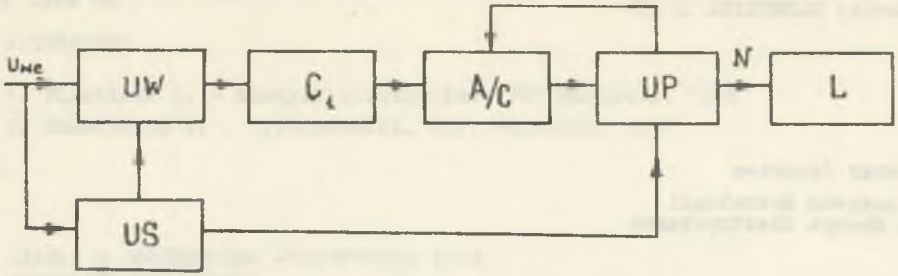
WOLTOMIERZ Z TRWAŁĄ PAMIĘCIĄ

Streszczenie. Artykuł zawiera opis i analizę błędów bezpośredniej metody przetwarzania analogowo - cyfrowego oraz schematy strukturalne woltomierzy z trwałą pamięcią, zbudowanych w oparciu o tę metodę. W dalszej części omawiane są zastosowania tych przyrządów w energetyce.

Wstęp

Szybki rozwój energetyki i związana z tym rosnąca złożoność systemu energetycznego narzucają konieczność stosowania przyrządów do pomiarów i rejestracji napięć i prądów w czasie występowania stanu awaryjnego. Istnieje szereg przyrządów służących do tego celu, lecz są one drogie i skomplikowane. Obecnie w Związku Radzieckim i Anglii trwają badania nad zbudowaniem prostych i tanich przyrządów do pomiarów składowych zerowych prądu i napięcia zwarcia, co pozwala na wyznaczenie miejsca zwarcia doziemnego w liniach energetycznych. W Związku Radzieckim ukazała się próbna seria przyrządów tego typu tzw. woltomierzy i amperomierzy z trwałą pamięcią FIP - 1 i FIP - 2 [1]. Poniższy artykuł został napisany w oparciu o doświadczenia zebrane w trakcie budowy przyrządu analogicznego typu. Woltomierz z trwałą pamięcią należy do grupy przyrządów cyfrowych działających na zasadzie bezpośredniej zamiany napięcia mierzonego na liczbę impulsów. Przyrząd służy do wykonania jednokrotnego pomiaru. Wynik pomiaru jest przechowywany w pamięci licznika aż do momentu skasowania, po którym woltomierz jest gotowy do następnego pomiaru. Spośród wielu możliwych rozwiązań takich przyrządów zostanie omówiony taki, który ze względu na swoją prostotę może znaleźć szerokie zastosowanie w energetyce, do lokalizacji miejsca zwarcia w liniach napowietrznych oraz do badania stanów nieustalonych w liniach energetycznych.

Schemat strukturalny woltomierza z trwałą pamięcią jest przedstawiony na rys. 1.

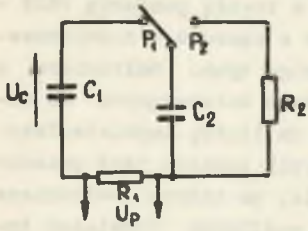


Rys. 1. Schemat strukturalny woltomierza

Głównymi elementami przyrządu są:

- układ wejściowy UW podający na kondensator pamięci C_1 napięcie stałe U_c proporcjonalne do wartości szczytowej $\hat{U}_{we}$ napięcia mierzonego, czyli $U_c = k_f \hat{U}_{we}$,
- kondensator pamięci C_1 utrzymujący napięcie U_c do momentu uruchomienia przetwornika A/C,
- układ sterujący US włączający przyrząd w momencie pojawienia się U_{we} i sterujący pracą przetwornika A/C,
- przetwornik analogowo-cyfrowy A/C,
- układ przekształcający UP, składający się z dyskryminatora amplitudy impulsów, wzmacniacza i układu formującego impulsy,
- licznik impulsów elektrycznych L.

Podstawowym układem omawianego woltomierza jest przetwornik analogowo-cyfrowy (rys. 2) składający się z kondensatora pamięci C_1 naładowanego do napięcia U_c oraz kondensatora $C_2 \ll C_1$ służącego do zamiany napięcia U_c na liczbę impulsów N. Proces ten odbywa się poprzez kolejne ładowanie kondensatora C_2 przez kondensator C_1. Powstałe przy tym impulsy prądowe są podawane na dyskryminator amplitudy, wzmacniane i zliczane przez licznik.



Rys. 2. Przetwornik analogowo - cyfrowy

Po pierwszym zamknięciu się styku P1 na obu kondensatorach ustala się napięcie:

$$U_1 = U_c \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

Następnie kondensator C_2 odłącza się od C_1 i rozładowuje przez rezystancję R_2, po czym znowu zostaje przyłączony do C_1. Proces ten odbywa się do momentu, gdy napięcie na kondensatorze C_1 obniży się do wartości napięcia progowego U_r dyskryminatora amplitudy impulsów, wówczas układ sterujący przerywa proces przekształcania A/C. Zależność między zarejestrowaną liczbą impulsów N, a wartością szczytową napięcia wejściowego $\hat{U}_{we}$ jest następująca:

$$U_r = k_f \hat{U}_{we} \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2}\right)^N, \tag{1}$$

stąd

$$N = C (\ln \hat{U}_{we} - \ln k), \tag{2}$$

gdzie

$$C = \frac{1}{\ln (1 + \frac{C_2}{C_1})} \cong \frac{C_1}{C_2} \quad \text{dla} \quad C_1 \gg C_2$$

$k = \frac{U_r}{k_f}$, k_f - współczynnik proporcjonalności $U_c = k_f \hat{U}_{we}$.

Z wyrażenia (1) można określić podstawowe własności przyrządu:
- liczba zarejestrowanych impulsów N jest funkcją logarytmiczną $\hat{U}_{we}$. W półlogarytmicznym układzie współrzędnych zależność U_{we} od N (charakterystyka wzorcowania przyrządu) jest linią prostą. Współczynnik C charakteryzuje nachylenie krzywej wzorcowania $\hat{U}_{we} = f(N)$ względem osi N, a stosunek

$$k = \frac{U_r}{k_f}$$

określa jej przesunięcie pionowe na osi $\hat{U}_{we}$;
- dla N = 0 zachodzi

$$\hat{U}_{we} = \frac{U_r}{k_f}, \quad \text{zatem stosunek} \quad \frac{U_r}{k_f}$$

stanowi o błędzie nieczułości przyrządu. Wartości napięcia wejściowego

$$\hat{U}_{we} < \frac{U_r}{k_f}$$

nie zostaną pomierzone przez przyrząd;
- maksymalny błąd względny pomiaru wielkości $\hat{U}_{we}$ wynosi:

$$\delta_U = \frac{|\Delta \hat{U}_{we}|}{\hat{U}_{we}} = \frac{|\Delta k|}{k} + \frac{1}{C} |\Delta N| + \frac{N}{C} \frac{|\Delta C|}{C} = \delta_k + \delta_N + \delta_c \tag{3}$$

Z analizy wyrażenia (3) wynikają następujące wnioski:

- proporcjonalna zmiana k_f i U_r nie wpływa na wskazania przyrządu. Jeśli jednak nastąpi zmiana tylko jednej z wielkości k_f lub U_r o x% wartości przyjętej przy wzorcowaniu, spowoduje to wzrost błędu δ_U o x %.
- zależność między $\hat{U}_{we}$ i N (2) jest funkcją logarytmiczną, a stąd wynika istotna własność przyrządu; mianowicie maksymalny względny błąd kwantowania δ_N jest jednakowy na całej skali przyrządu. Dla $\Delta N = \pm 1$ impuls otrzymuje się wzór na wartość względnego błędu kwantowania

$$\delta_N = \frac{1}{C},$$

zatem nie zależy on od liczby impulsów N, tylko wyłącznie od nachylenia charakterystyki wzorcowania. Aby błąd ten był dowolnie mały, należy przyjąć odpowiednio duży stosunek pojemności

$$\frac{C_1}{C_2}$$

- błąd względny przyrządu pochodzący z odchyłek wartości nachylenia C krzywej wzorcowania od wartości przyjętej przy wzorcowaniu jest proporcjonalny do liczby impulsów N. Zmiana C o x % pociąga za sobą powstanie uchybu

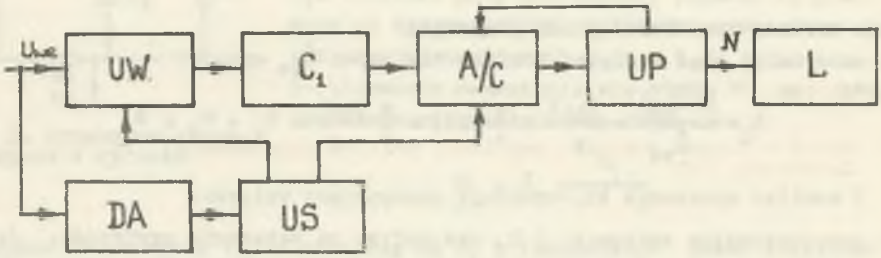
$$\delta_c = \frac{N}{C} \; x \; \% \; [\%]$$

Proporcjonalna zmiana pojemności obu kondensatorów nie zmienia wskazań przyrządu. Jeżeli oba kondensatory są jednego typu, to zmiany ich pojemności starzeniowe lub temperaturowe mało wpływają na dodatkowy błąd przyrządu.

Opisany powyżej woltomierz w zasadzie stosuje się do pomiarów wartości skutecznej napięcia sinusoidalnie zmiennego podawanego na wejście przez określony czas potrzebny dla dokonania pomiaru.

Przyrząd ten może mieć szerokie zastosowanie w energetyce do pomiaru składowych zerowych napięcia i prądu zwarcia w liniach napowietrzonych,co pozwala określić miejsce zwarcia.

Dokonując niewielkiej modyfikacji przyrządu otrzymuje się układ do pomiaru wartości szczytowych krótkotrwałych przebiegów, np. przepięć w liniach energetycznych. Rys. 3 przedstawia schemat strukturalny takiego przyrządu.



Rys. 3. Schemat strukturalny woltomierza z trwałą pamięcią do pomiaru przepięć

Układ wejściowy tego przyrządu musi być tak zbudowany, aby kondensator pamięci C_1 mógł śledzić wartość maksymalną przebiegu badanego,czyli stała czasowa obwodu ładowania kondensatora C_1 musi być odpowiednio mała. W momencie gdy napięcie wejściowe przekroczy wartość minimalną dyskryminator napięcia DA włącza układ sterujący, który odłącza kondensator C_1 od obwodu wejściowego i następnie steruje zamianą napięcia U_c na liczbę impulsów.

Podstawowe cechy woltomierza z trwałą pamięcią można scharakteryzować w następujących punktach:

1. Opisany powyżej woltomierz służy do pomiarów wartości maksymalnej przebiegów napięciowych o czasie trwania większym od około 1 ms. W przypadku pomiarów przebiegów sinusoidalnie zmiennych woltomierz może być wyskalowany w wartościach skutecznych.
2. Przyrząd jest prosty, a zatem tani i o dużej pewności działania. Koszt wykonania 1 egzemplarza przyrządu na polskich przekaźnikach MT - 6 i MT - 12 nie przekracza 5 tys. zł.
3. Woltomierz posiada układ do zdalnego przekazywania wyniku pomiaru i sygnalizacji zadziałania, zatem istnieje możliwość zainstalowania go w stacjach energetycznych bez obsługi ludzkiej.
4. Dokonując niewielkich modyfikacji układu woltomierza można znacznie rozszerzyć zakres stosowalności przyrządu np. można zastosować kilka kondensatorów pamięci a tym samym dokonywać równocześnie kilku pomiarów.
5. Wadą przyrządu jest stosunkowo niewielka impedancja wejściowa wynikająca ze strat mocy w obwodzie ładowania kondensatora C_1. Zapotrzebowanie mocy jest równe stratom mocy w układzie wejściowym oraz energii traconej na rezystancji obwodu ładowania i energii naładowanego kondensatora. Pobór mocy przez przyrząd z obwodu pomiarowego zależy od stałej czasowej obwodu ładowania kondensatora C_1 i można go wydatnie zmniejszyć stosując elementy półprzewodnikowe.

LITERATURA

1. FIP-1 - Fiksirujuszczij impulsnyj pribor. (instrukcja) Optynyj Zawod Łatwenergo 1971 r.

ФИКСИРУЮЩИЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ПРИБОРЫ

Р е з ю м е

В статье описывается принцип действия фиксирующих импульсных приборов, даётся анализ погрешности используемой методы преобразования напряжение-число. Приведены функциональные схемы устройства и его применение в энергетике.

THE VOLTMETER WITH THE FIXED MEMORY

S u m m a r y

This article deals with the description and analysis of the accuracy of the analog - digital converting. The described method of converting is the direct one. The paper includes also the description of the voltmeter with the fixed memory and the applications of this instrument in the power ingineering industry.