Andrzej Zakrzewski
Zakład Pomiarów Czasu PIAP

Krajowy system sieci czasu i jego elementy

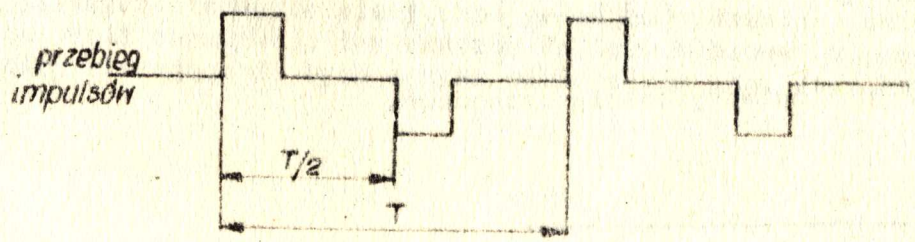
1. W s t ę p

Jedenaście lat temu w Zakładzie Aparatury Zegarowej ówczesnego Centralnego Laboratorium Optyki rozpoczęto pierwsze prace związane z przygotowaniem produkcji elementów sieci czasu. W pracach tych oparto się na najnowszych osiągnięciach światowych w tej dziedzinie. Brak wcześniejszych opracowań krajowych stwarzał przy tym dużą swobodę w wyborze rozwiązań. Mimo, że pod naciskiem doraźnych potrzeb użytkowników, przez dłuższy czas ograniczano się do opracowywania konstrukcji pojedynczych urządzeń i wyrywkowego rozwiązywania zagadnień doraźnych, fakt prowadzenia tych prac niemal wyłącznie przez tę samą grupę ludzi skupionych w jednej komórce organizacyjnej, pozwolił na zachowanie jednolitości opracowań i stopniowe ukształtowanie się krajowego systemu sieci czasu.

Prace nad kodyfikacją tego systemu są obecnie w toku, można już jednak dostatecznie dokładnie omówić jego charakterystyczne cechy.

2. Charakterystyka krajowego systemu sieci czasu

2.1 System sterowania. Krajowy system sieci czasu oparty jest o zasadę przewodowego sterowania odbiornikami wtórnymi za pomocą impulsów p r ą d u s t a ł e g o.



Rys.1.

Przebieg impulsów przedstawiony na rys. 1 charakteryzuje się:

a. Prostokątnym kształtem impulsu,
b. Brakiem potencjału na przewodach linii w czasie przerwy pomiędzy impulsami; stwarza to możliwość dodatkowego wykorzystania linii w czasie przerwy, która w przypadku linii minutowej wynosi około 58 s.

c. Naprzemian zmiennym kierunkiem impulsów, tzn. w kolejno następujących po sobie impulsach prąd płynący przez uzwojenia odbiorników wtórnych zmienia swój kierunek na przeciwny.

2.2 Odbiorniki wtórne. W krajowym systemie sieci czasu odbiorniki posiadają zworę z trwałą polaryzacją magnetyczną, dzięki czemu działanie ich w minimalnym tylko stopniu może być zakłócone przez przypadkowe impulsy pasożytnicze. Wszystkie odbiorniki jednej linii łączone są równolegle, co pozwala na przyłączenie różnej ich ilości bez konieczności dostrajania łącznej oporności całego obwodu. Jednocześnie unika się groźby zatrzymania wszystkich odbiorników linii w przypadku awarii jednego z nich.

Należy zaznaczyć, że system połączenia szeregowego odbiorników linii jest obecnie z powodu wymienionych niedogodności w ogóle rzadko stosowany.

2.3 Okres impulsów sterujących. Przyjęto dwie normalne wielkości okresu przebiegu sterującego: T_1 = 2s oraz T_2 = 2 min. Odpowiadają one odmierzanym przez sieć jednostkom czasu: 1 s i 1 min., gdyż odstępy pomiędzy kolejnymi impulsami /o różnych kierunkach/ wynoszą w tych przebiegach T/2 /rys.1/.

Inne częstotliwości impulsów sterujących, stosowane dla określonych celów specjalnych /np. 6s, 12s, 20s/, stanowią wielokrotności częstotliwości podstawowych. Nie są one znormalizowane, a tylko ustalone zwyczajowo i mogą być wprowadzane w miarę potrzeby w konkretnych układach.

2.4 Ciągłość pracy, niezawodność. Podstawowym zagadnieniem dla działania sieci czasu jest zapewnienie ciągłości pracy, przy czym dotyczy to przede wszystkim zespołu sterującego. Prawdopodobieństwo nieuszkodzenia się określonego elementu 1/, wyznacza funkcję niezawodności:

$$R_i(t) = \exp\left\{-\int_0^t \lambda(t)\ dt\right\}$$

gdzie: (t) jest intensywnością uszkodzeń.

1/ Dotyczy to elementu sieci czasu, a więc urządzenia złożonego jako całości.

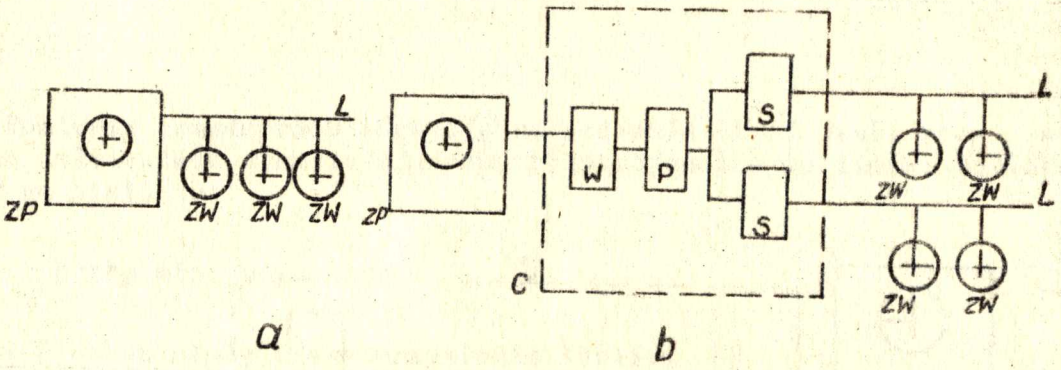
Przy zestawieniu w zespole "n" takich elementów pracujących równocześnie i pełniących tę samą funkcję można zespół uważać za nieuszkodzony, jeżeli przynajmniej jeden z elementów jest nieuszkodzony.

Funkcja niezawodności zespołu przyjmuje wówczas postać:

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^{i=n} \left[1 - R_i\ (t)\right]$$

Uzasadnia to wprowadzenie, celem podniesienia niezawodności, zespołu tzw. rezerwy gorącej, tzn. zbioru elementów pracujących równolegle i zastępujących element podstawowy.

W praktyce projektowania sieci czasu przyjęty system uwzględnia gradację przy wprowadzaniu elementów rezerwowych w zależności od wymaganego stopnia niezawodności. W niewielkich sieciach czasu, o niższych wymaganiach niezawodnościowych, stosuje się zestawienie pojedynczych elementów /jeden zegar pierwotny, mała centrala zegarowa, itd. - jak na rys. 2/ bez wprowadzenia rezerwy.

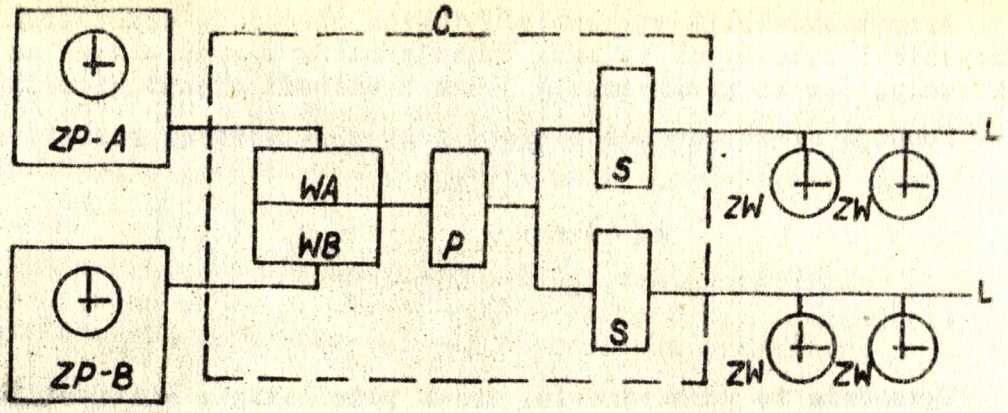


Rys.2.

ZP - zegar pierwotny, L - linia, ZW - odbiorniki wtórne, C - centrala zegarowa, W - zespół wejściowy, P - zespół pośredniczący, S - niezależne zespoły liniowe

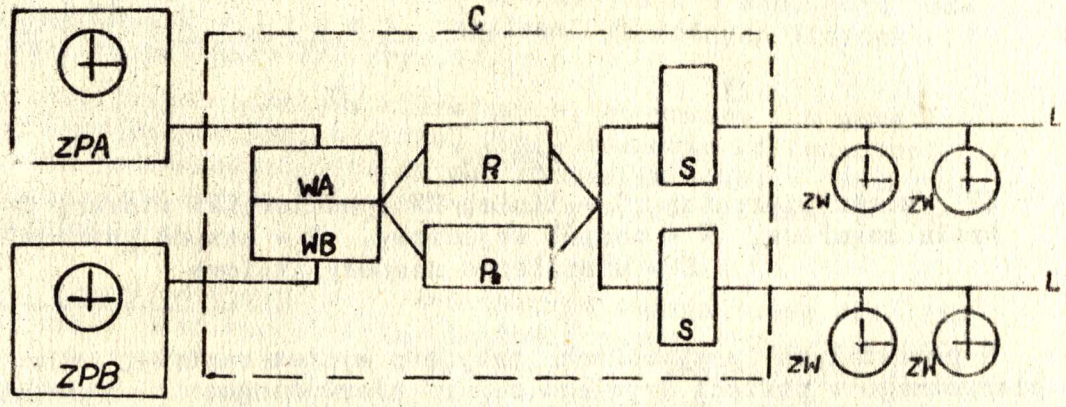
W pozostałych przypadkach przyjęto system rezerwy dla zegara pierwotnego w postaci drugiego zegara pierwotnego, automatycznie przejmującego sterowanie siecią /rys. 3/.

W układach najwyższej klasy mogą być wprowadzone rezerwy dla niektórych dalszych elementów sieci, np. podwójne elementy pośredniczące w centrali zegarowej, dwa niezależne tory kablowe doprowadzające impulsy sterujące do tych samych odbiorników itp. /rys.4/.



Rys.3.

ZPA - zegar pierwotny, ZPB - zegar pierwotny rezerwowy, WA - zespół wejściowy zegara A, WB - zespół wejściowy zegara B, P - zespół pośredniczący, S - niezależne zespoły liniowe, L - linie, ZW - odbiorniki wtórne



Rys.4.

ZPA - zegar pierwotny, ZPB - zegar pierwotny rezerwowy, WA - zespół wejściowy zegara A, WB - zespół wejściowy zegara B, P_1 - zespół pośredniczący - P_2 - zespół pośredniczący rezerwowy, S - niezależne zespoły liniowe, L - linie, ZW - odbiorniki wtórne

2.5 Obciążenie jednej linii, pojemność sieci. Drugą wartością charakterystyczną dla przyjętego systemu sieci czasu, a wypływającą z przesłanek niezawodnościowych, jest optymalna ilość odbiorników wtórnych przyłączonych do jednej linii.

Jeżeli cała sieć czasu zawiera N odbiorników wtórnych, to

$$N = \sum_{i=1}^{i=k} n_i$$

gdzie: "k" jest ilością linii, a "n" ilością odbiorników na jednej linii. Prawdopodobieństwo "p" awarii całej linii jest w przybliżeniu równe prawdopodobieństwu wyłączenia z ruchu wszystkich odbiorników tej linii /"n"/, a prawdopodobieństwo jednoczesnego uszkodzenia "k" linii jest

$$P = \prod_{i=1}^{i=k} p_i$$

Ponieważ prawdopodobieństwo "p" uszkadzania linii jest, przy pewnych założeniach upraszczających, proporcjonalne do ilości odbiorników na linii to:

$$p \longrightarrow p \min, \text{ gdy } n \longrightarrow 1$$

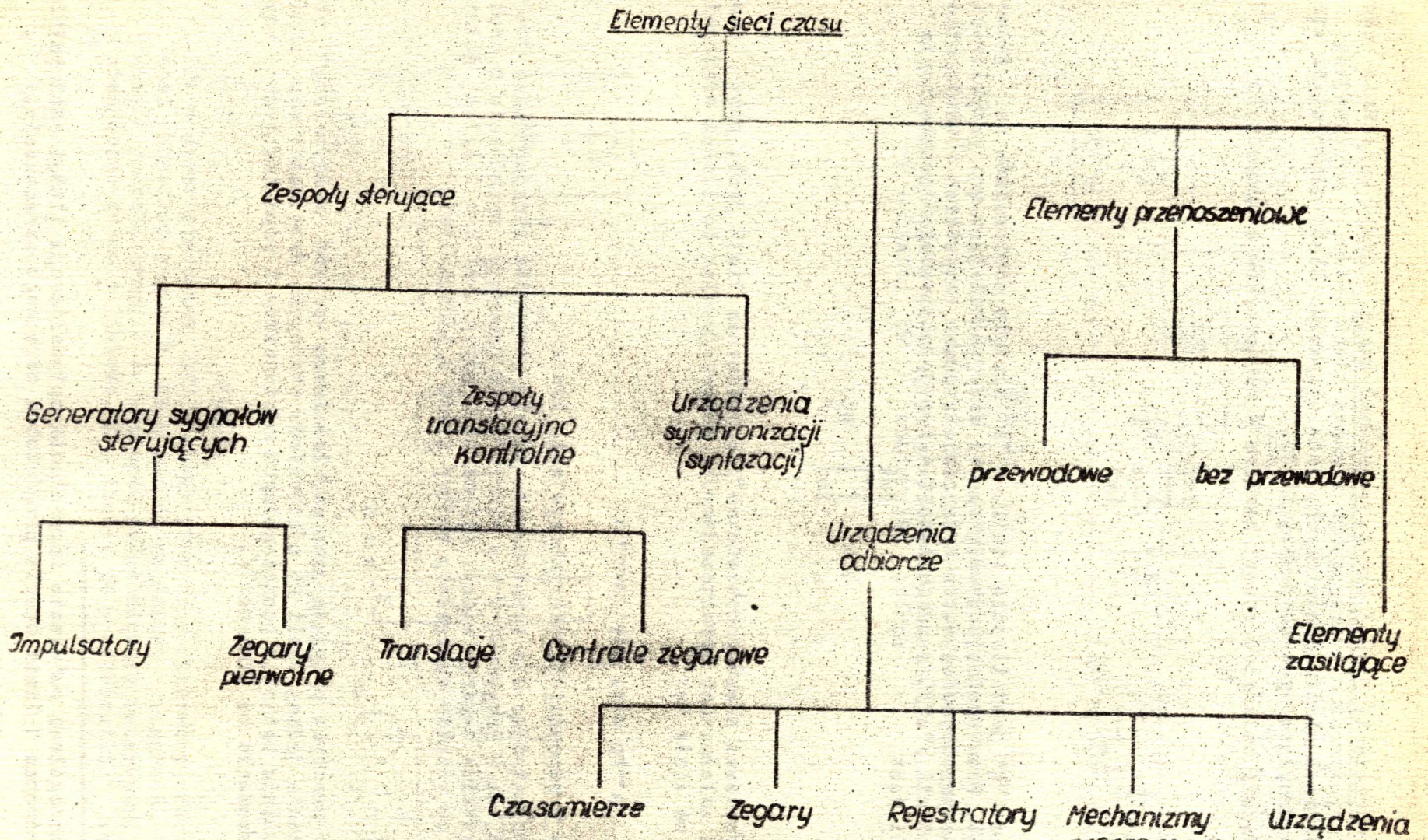
/n = 0 oznaczałoby niewykorzystanie linii/.

Rozpatrując dla uproszczenia jedynie przypadki skrajne można stwierdzić, że w przypadku N = n awaria linii powoduje wyłączenie z ruchu wszystkich zegarów sieci, natomiast w przypadku n = 1 tylko jednego, co wszakże wymagałoby budowy sieci o ilości linii

$$k = N$$

W praktyce przyjęto jako najwłaściwszą wartość maksymalnego obciążenia jednej linii 25 odbiorników wtórnych, przy założeniu zróżnicowania ważności poszczególnych odbiorników i odpowiedniego rozmieszczenia na liniach 1/.

1/ Szczegółowe omówienie zagadnienia optymalizacji ilości odbiorników wtórnych 1 linii będzie przedmiotem odrębnego opracowania.



Rys.5. Klasyfikacja elementów sieci czasu

2.6 Zasilanie. Urządzenia sieci czasu zasilane są prądem stałym ze źródła o napięciu 50 V. Napięcie to stosowane jest do zasilania urządzeń telefonicznych, a w urządzeniach sieci czasu zostało przyjęte ze względu na zastosowanie w nich podzespołów telefonicznych oraz w przewidywaniu instalowania urządzeń sieci czasu łącznie z centralą telefoniczną.

Dopuszczalne wahania napięcia zasilania nie mogą przekroczyć wartości ±10% wielkości nominalnej.

W przypadku małych sieci czasu o znaczeniu lokalnym dopuszczalne jest stosowanie napięcia zasilającego o wysokości 24 V.

3. Elementy sieci czasu

3.1 Klasyfikacja. Podział klasyfikacyjny elementów sieci czasu przedstawiony jest na rys. 5. Dokładniejsza charakterystyka poszczególnych elementów podana jest poniżej.

Impulsatory - generatory impulsów sterujących przeznaczone w zasadzie do pracy n i e c i ą g ł e j.

Zegary pierwotne - które pracując w sposób c i ą g ł y służą jednocześnie do generacji impulsów sterujących i do przechowania czasu.

Ponadto poszczególne typy generatorów różnią się między sobą rodzajem zastosowanego regulatora okresu i w związku z tym klasą dokładności.

T r a n s l a c j e - urządzenia służące do wzmocnienia sygnału celem przedłużenia zasięgu poszczególnych linii.

C e n t r a l e z e g a r o w e - pełnią funkcje bardziej złożone: impulsy z generatora są przez nie przekazywane na większą ilość linii odbiorników wtórnych, dzięki czemu pojemność sieci może być teoretycznie dowolnie duża.

W przypadku sieci wyposażonych w zespoły rezerwowe /np. rezerwowy zegar pierwotny/, w centrali zegarowej dokonywane jest automatyczne włączenie rezerwy w chwili awarii elementu pracującego. Ponadto centrale zegarowe dokonują kontroli pracy układu i sygnalizują uszkodzenia lub nawet stan zagrożenia.

C z a s o m i e r z e - odmierzające przedziały czasu,

Z e g a r y - wskazujące lub rejestrujące czas,

R e j e s t r a t o r y - rejestrujące przebiegi i zdarzenia w funkcji czasu,

M e c h a n i z m y p r o g r a m o w e - umożliwiające programowe sterowanie procesami, których przebieg jest ściśle określony w czasie,

U r z ą d z e n i a n i e z e g a r o w e - wymagające wprowadzenia współrzędnej czasu.

Spośród wymienionych urządzeń odbiorczych powszechnie znane i stosowane w Polsce są niemal wyłącznie zegary wskazujące czas, podczas gdy właśnie pozostałe rodzaje odbiorników kryją w sobie niewyzyskane możliwości zastosowania sieci czasu w dziedzinie automatyki.

E l e m e n t y p r z e n o s z e n i o w e - podstawowym elementem przenoszeniowym w krajowym systemie sieci jest sieć przewodowa, z reguły kablowa.

E l e m e n t y z a s i l a j ą c e - zespół zasilający sieci czasu powinien charakteryzować się pewnością działania i stabilnością napięcia. Zadanie to najlepiej spełnia bateria akumulatorów współpracujących z prostownikiem zasilanym z sieci prądu zmiennego /często w układzie buforowym/, której pojemność uzależniona jest od mocy pobieranej przez inne elementy sieci czasu.

3.2 Opracowane i produkowane w kraju elementy sieci czasu. Obecnie w Polsce produkowane są lub przygotowywane do podjęcia produkcji następujące elementy sieci czasu:

Z e g a r p i e r w o t n y ZPZ - jest to zegar pierwotny średniej klasy /o niedokładności względnej - $1{,}5 \div 10 \times 10^{-5}$/, wyposażony w regulator balansowy. Ma on napęd sprężynowy z naciągiem elektrycznym z sieci prądu zmiennego 220 V 50 Hz.

Nadaje impulsy sterujące minutowe.
Napięcie impulsu sterującego 50 V lub 24 V prądu stałego. Przeznaczony jest w zasadzie do bezpośredniego sterowania małych sieci czasu o niewysokich wymaganiach w zakresie dokładności i niezawodności. Może również współpracować z translacjami oraz małymi i półautomatycznymi centralami zegarowymi.

Wymiary gabarytowe: 200 x 320 x 100 mm

Ciężar ok. 4 kG.

Opracowanie i produkcja - Toruńska Fabryka Wodomierzy "Metron".
Planowany termin uruchomienia produkcji - IV kw. 1967 r. 1/.

Z e g a r p i e r w o t n y ZP3M - jest to zegar pierwotny wysokiej klasy /o niedokładności względnej $-3 \div 10 \times 10^{-6}$/, z wahadłem sekundowym, o napędzie grawitacyjnym.

Nadaje impulsy sterujące minutowe.
Napięcie zasilające 50 V prądu stałego.
Przeznaczony jest do sterowania sieci czasu o wskazaniach minutowych bezpośrednio /sieci małe/ lub za pośrednictwem centrali zegarowej /typ MC, MCR, PCR/.

1/ Szczegółowy opis tego zegara jest zamieszczony w niniejszym zeszycie "Biuletynu PIAP".

Wymiary gabarytowe: 1735 x 330 x 180 cm
Ciężar ok. 38 kG.
Opracowanie - b. Centralne Laboratorium Aparatów Pomiarowych i Optyki.
Produkcja - Toruńska Fabryka Wodomierzy "Metron" - od 1965 r.

Zegar pierwotny ZP4 - zunifikowany zegar pierwotny wysokiej klasy /przewidywane uzyskanie niedokładności względnej mniejszej niż 1×10^{-6}/ z wahadłem sekundowym o napędzie grawitacyjnym. Nadaje impulsy sterujące sekundowe i minutowe.

Napięcie zasilania - 50 V prądu stałego.
Przeznaczony do sterowania sieci czasu o wymaganej wyższej dokładności bezpośrednio /małe sieci minutowe lub sekundowe/ lub za pośrednictwem centrali zegarowej.

Orientacyjne wymiary gabarytowe 1740 x 340 x 200 mm.
Opracowanie - Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów.
Przewidywany termin uruchomienia produkcji: 1969 r.

Zegar kwarcowy QS2 - wysokiej klasy zegar pierwotny /niedokładności $5 \div 10 \times 10^{-7}$/ z rezonatorem kwarcowym.
Częstotliwość rezonatora 200 kHz.
Napięcie zasilania 50 V prądu stałego.
Nadaje impulsy sterujące sekundowe.
Przeznaczony do dokładnych pomiarów czasu dla potrzeb przemysłowych oraz do sterowania sieci czasu o wysokich wymaganiach dokładności wskazań.
Może stanowić element samodzielny bądź też być wbudowany do centrali zegarowej QCR.
Wymiary gabarytowe 480 x 120 x 400 mm
Opracowanie - Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów.
Przewidywany termin uruchomienia produkcji: 1969 r.

Centrala zegarowa MC /MP/ - mała centrala zegarowa współpracująca z jednym zegarem pierwotnym nadającym impulsy sterujące minutowe.
Steruje 2 linie odbiorników wtórnych minutowych.
W wersji MP przystosowana do pracy jako podcentrala w dużych sieciach czasu.
Napięcie zasilania 50 V
Wymiary gabarytowe 490 x 546 x 250 mm
Ciężar ok. 18 kG.
Opracowanie - b. Centralne Laboratorium Aparatów Pomiarowych i Optyki.
Produkcja - Warszawskie Zakłady Aparatury Laboratoryjnej i Pomiarowej.

Centrala zegarowa MCR /MPR/ - mała centrala zegarowa współpracująca z dwoma zegarami pierwotnymi /zasadniczym i rezerwowym/, nadającymi impulsy sterujące minutowe.
Steruje 2 liniami odbiorników wtórnych minutowych.
W wersji MPR przystosowana do pracy w dużych sieciach czasu jako prodcentrala z lokalnym zegarem rezerwowym.

Napięcie zasilania - 50 V
Wymiary gabarytowe - 490 x 546 x 250 mm
Ciężar ok. 22 kG.
Opracowanie - b. Centralne Laboratorium Aparatów Pomiarowych i Optyki.
Produkcja - Warszawskie Zakłady Aparatury Laboratoryjnej i Pomiarowej - od 1965 r.

C e n t r a l a z e g a r o w a PCR - półautomatyczna centrala zegarowa współpracująca z dwoma zegarami pierwotnymi /zasadniczym i rezerwowym/, nadającymi impulsy sterujące minutowe.
Steruje 6 liniami odbiorników wtórnych minutowych.
Napięcie zasilania - 50 V
Wymiary gabarytowe - 1250 x 805 x 255 mm.
Ciężar ok. 70 kG.

Opracowanie - b. Centralne Laboratorium Aparatów Pomiarowych i Optyki.
Produkcja - Warszawskie Zakłady Aparatury Laboratoryjnej i Pomiarowej - od 1966 r.

C e n t r a l a z e g a r o w a SCR - synchronizowana centrala zegarowa współpracująca z dwoma zegarami pierwotnymi /zasadniczym i rezerwowym/, nadającymi impulsy sterujące sekundowe.
Steruje 8 lub 12 linii odbiorników wtórnych /w tym do 8 linii sekundowych/.
Napięcie zasilające 50 V
Wymiary gabarytowe 2040 x 750 x 250 mm
lub 2210 x 750 x 250 mm
Ciężar ok. 100 kG.
Opracowanie - Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów.
Produkcja - Warszawskie Zakłady Aparatury Laboratoryjnej i Pomiarowej od 1967 r.

C e n t r a l a z e g a r o w a QCR - blokowa centrala zegarowa wysokiej klasy współpracująca z dwoma zegarami kwarcowymi QS2 /równorzędne/ lub 1 zegarem kwarcowym QS2 /zasadniczym/ i zsynchronizowanym z rezerwowym zegarem wahadłowym wysokiej klasy, nadającym impulsy sterujące sekundowe.

Konstrukcja centrali umożliwia rozbudowanie dowolnej ilości zespołów liniowych minutowych, sekundowych bądź o częstotliwościach specjalnych /np. impulsy sześciosekundowe/.

Napięcie zasilania 50 V.
Opracowanie - Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów.
Przewidywany termin uruchomienia produkcji: 1969 r.

U r z ą d z e n i e d o k o n t r o l i z w r o t n e j - oprócz urządzeń wymienionych powyżej, w PIAP opracowano wstępnie system kontroli zwrotnej odbiorników wtórnych pozwalający na zdalną, automatyczną kontrolę poprawności pracy każdego odbiornika sieci.

Urządzenie sygnalizuje awarię ze wskazaniem uszkodzonego odbiornika. System ten pozwoli na zwiększenie pewności działania sieci czasu.

Zegar wtórny ZWU - zegar wtórny wskazujący sekundy, minuty i godziny.
Sterowany impulsami sekundowymi
Napięcie impulsu - 50 V
Prąd impulsu 25 mA
Średnica tarczy - 200 mm lub 300 mm
Opracowanie - Toruńska Fabryka Wodomierzy "Metron"
Produkcja - Toruńska Fabryka Wodomierzy "Metron" - od 1965 r.

Zegar wtórny ZWM - zegar wtórny wskazujący minuty i godziny.
Sterowany impulsami minutowymi.
Napięcie impulsu - 50 V
Prąd impulsu - 25 mA
Średnica tarczy - 200 mm lub 300 mm
Opracowanie - Toruńska Fabryka Wodomierzy "Metron"
Produkcja - Toruńska Fabryka Wodomierzy "Metron" - od 1965 r.

Zegar kontrolny KR-2 - kontroler rejestrujący przeznaczony do rejestracji czasu wejścia i wyjścia.
Odbiornik niepolaryzowany, sterowany impulsami minutowymi.
Napięcie impulsu - 24 V
Prąd impulsu ok. 65 mA
Wymiary gabarytowe 320 x 300 x 162 mm
Ciężar ok. 10,5 kG.
Opracowanie - CBKPOM i "Pafal"
Produkcja - Zakłady Wytwórcze Aparatury Precyzyjnej "Pafal"

Mechanizm impulsowy rejestratora - mechanizm wtórny przeznaczony do napędu taśmy w rejestratorze typu PP5 produkcji Krakowskiej Fabryki Aparatów Pomiarowych
Sterowanie impulsami sekundowymi.
Napięcie impulsu - 50 V
Prąd impulsu - 25 mA.
Szybkość posuwu taśmy - do 120 mm/h
Opracowanie - Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów.
Przewidywany termin uruchomienia produkcji 1968 r.
Podobny mechanizm opracowuje się do rejestratorów M 336 produkowanych przez Zakłady "Lumel" wg lic. Siemensa.

3.3 Analiza stanu produkcji krajowych elementów sieci czasu

Z powyższego przeglądu aktualnie produkowanych bądź przygotowywanych do podjęcia produkcji elementów sieci czasu widać wyraźnie, że potrzeby w zakresie asortymentu generatorów można uznać w zasadzie za zaspokojone.

Wśród central zegarowych daje się odczuć brak urządzeń najprostszych: dotychczas nie została opracowana typowa translacja, natomiast mała centrala typu MC/MP, która mogłaby w wielu wypadkach

pełnić rolę translacji, nie jest obecnie produkowana pomimo opracowania konstrukcji i przekazania dokumentacji do WZALIP.

Najgorzej przedstawia się sprawa urządzeń odbiorczych. Asortyment produkowanych zegarów wtórnych jest ubogi i nie pokrywa różnorodnych potrzeb użytkowników /np. zegary zewnętrzne, dwustronne, o dużej średnicy tarczy itp./.

Jedyny jak dotychczas zegar rejestrujący czas - kontroler KR2 jest konstrukcją starą i nie przystosowaną do naszego systemu sieci czasu /mechanizm niepolaryzowany, przystosowany do napięcia 24V, o dużym poborze prądu/.

Pierwszy wtórny mechanizm posuwu taśmy rejestratora wejdzie do produkcji w roku przyszłym. Stanowi to pierwszy krok do bezpośredniego zastosowania sieci czasu w automatycznej kontroli w przemyśle.

Brak natomiast zupełnie mechanizmów programowych. Prace nad konstrukcjami tego typu zostały przerwane we wstępnej fazie wobec braku zdecydowanego zainteresowania ze strony potencjalnych użytkowników.

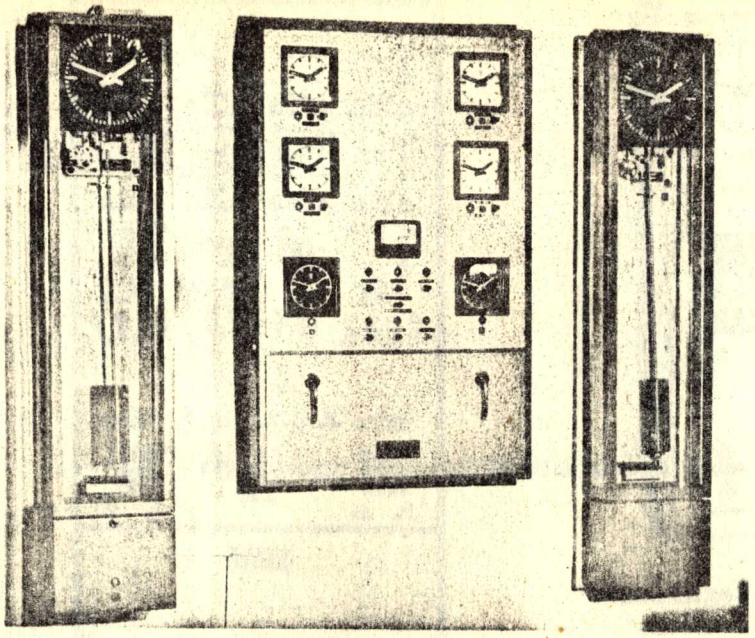
A właśnie różnego typu mechanizmy programowe stwarzają szerokie możliwości wykorzystania współrzędnej czasu do automatyzacji procesów.

4. Przewidywany zakres przyszłych opracowań w dziedzinie sieci czasu

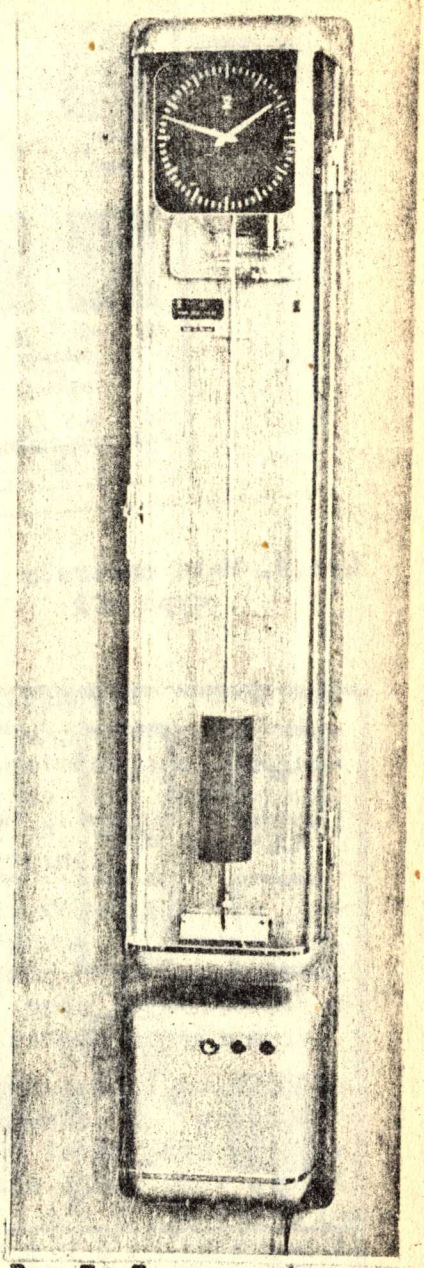
W najbliższych latach przewidywany jest rozwój prac z dziedziny stacjonarnych sieci czasu w następujących kierunkach:

- kodyfikacja systemu i przygotowanie norm w zakresie sieci czasu i ich elementów,
- opracowanie nowych urządzeń, w szczególności różnorodnych urządzeń odbiorczych,
- systematyczna modernizacja już produkowanych urządzeń; wprowadzenie nowoczesnych wysoko sprawnych podzespołów, nowych rozwiązań konstrukcyjnych i układowych.

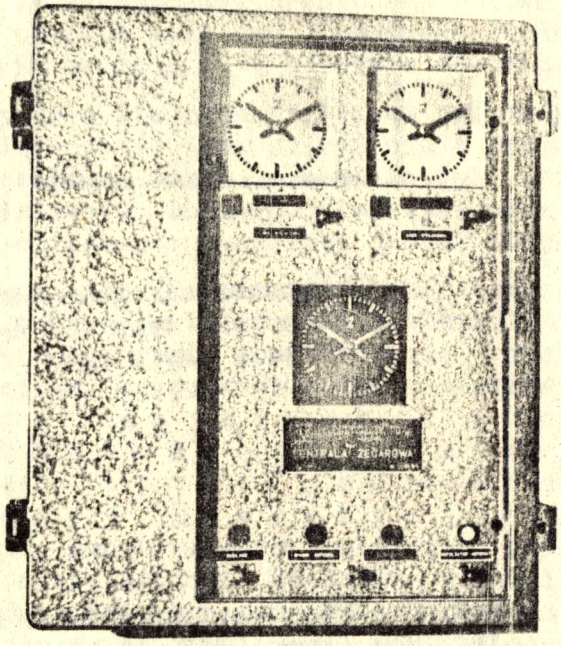
Konsekwentna realizacja tego programu pozwoli na pełne wykorzystanie możliwości sieci czasu oraz na utrzymanie wysokiego poziomu technicznego krajowych urządzeń sieci czasu.



Rys.6. Zespół sterujący złożony z dwóch zegarów pierwotnych 1/ /zasadniczego i rezerwowego/ i czteroliniowej centrali zegarowej typu PCR

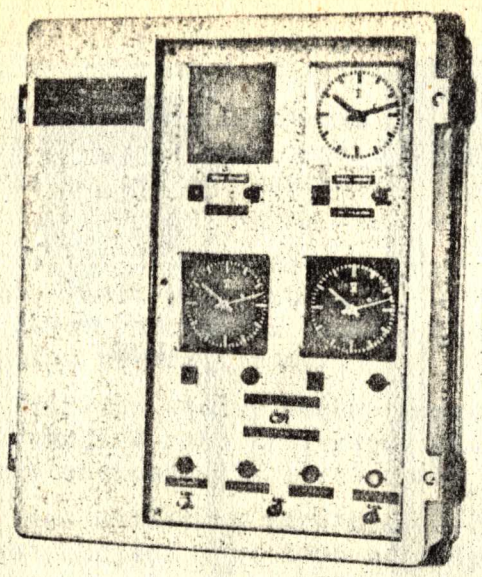


Rys.7. Zegar pierwotny typu ZP3M

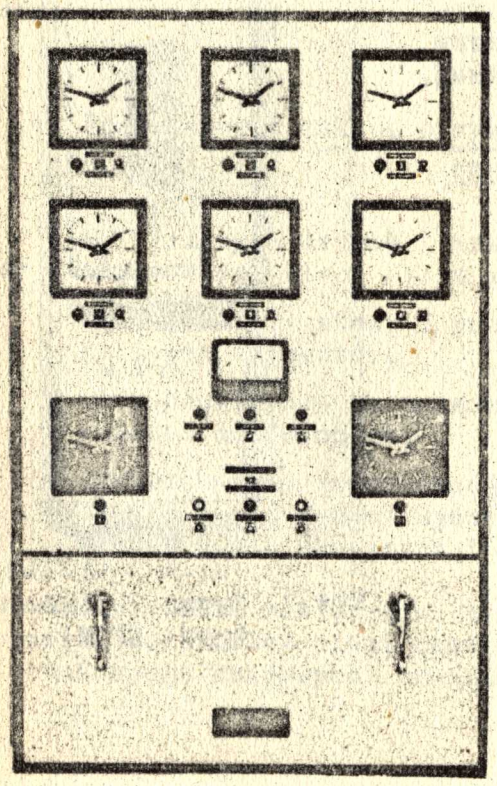


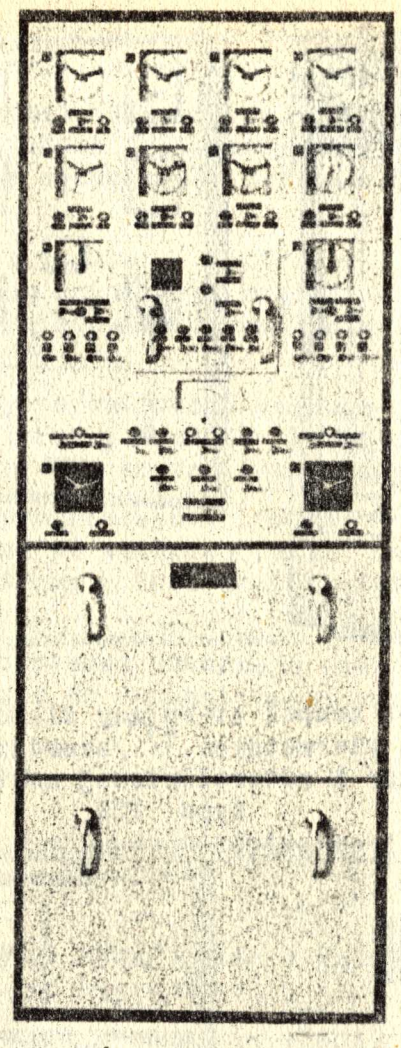
Rys.8. Mała centrala zegarowa typu MP

1/ Zdjęcie przedstawia nieprodukowane zegary typu ZP2, zastąpione obecnie przez zegary typu ZP3M.



Rys.9. Mała centrala zegarowa typu MCR





Rys.10. Synchronizowana centrala zegarowa typu SCR /wykonanie modelowe/

Rys.11. Półautomatyczna centrala zegarowa typu PCR